

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux de Construction

Thème

**Contribution à la caractérisation du béton de sable
de dunes combine avec déchets environnementaux :
état de l'art**

Dirigé par :

Dr. DJEDID TAREK

Devant le Jury :

Mr. FARIK ALI : Président

Mr. LABIODH EL BACHIR : Examineur

Présenté par :

- BOURAS ABDELBASSET

- ZOUARI AHMED SAID

2021-2022

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU.

Nous voudrions saisir cette occasion pour remercier chaleureusement notre promoteur Mr DJEDID Tarek enseignant à l'Université de Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, pour son dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire,

À nos fidèles et sincères collègues qui nous ont accompagnés tout au long des études universitaires. Nous remercions également les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le but de cette étude bibliographique est de présenter quelques études qui éclairent sur la possibilité de la contribution du sable des dunes comme matériau local et abondant, notamment dans le sud algérien, avec quelques déchets recyclé dans le béton du sable pour une grande faisabilité économique d'une part et la préservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement d'autre part, ainsi que l'analyse des expériences menées en termes de connaissance de leurs propriétés mécaniques, physiques et chimiques, ainsi que la possibilité d'améliorer ces propriétés en présentant les résultats de ces études.

Keywords: Sand concrete, Waste , Dune sand

الغرض من هذه الدراسة الببليوغرافية هو تقديم بعض الدراسات التي تلقي الضوء على إمكانية مساهمة رمل الكثبان كمواد محلية وفيرة خاصة في جنوب الجزائر مع بعض النفايات المعاد تدويرها في الخرسانة الرملية لجدوى الإقتصادية الكبيرة من ناحية والمحافظة على الموارد الطبيعية وحماية البيئة من ناحية أخرى ، وكذلك التجارب التي أجريت للاطلاع على خصائصها الميكانيكية و الفيزيائية و الكيميائية إمكانية تحسين هذه الخصائص من خلال .

الكلمات المفتاحية : الخرسانة الرملية ، النفايات ، رمل الكثبان

Abstract

The purpose of this bibliographic study is to present some studies that shed light on the possibility of the contribution of sand dunes as a local and abundant resource, especially in south of Algeria, with some waste recycled in the concrete of the sand for a great economic feasibility and the preservation of natural resources and protection of the environment, as well as the analysis of the experiments carried out in terms of knowledge of their mechanical, physical and chemical properties, as well as the possibility of improving these properties by presenting the results of these studies.

Mots clés : Béton de sable, Déchets, Sable des dunes.

Liste des figures :

Figure I.1 Ratio de production de déchets.	6
Figure I.2 Composition moyenne annuelle de DMA	7
Figure I.3 Déchets inertes.	8
Figure I.4 Déchets ultimes.	9
Figure I.5 Centre de Stockage des Déchets Ultimes.	11
Figure I.6 Incinération de déchets municipaux solides dans un four à grille mobile	12
Figure I.7 Décharge contrôlée des déchets.	13
Figure I.8 Laitiers d'aciérie	15
Figure I.9 Cendres volantes.	16
Figure I.10 Déchets de verre	17
Figure I.11 Pneus usagés	17
Figure I.12 Ciment durci.	18
Figure I.13 Déchets de démolition.	19
Figure I.14 Déchets de brique (chamotte).	20
Figure II-1 La Barkhane.	25
Figure II-2 Morphologie de la Barkhane	25
Figure II-3 Effet des adjuvants sur la perméabilité du béton	34
Figure II-4 Courbes granulométriques de sable dune - site BAKHALA	35
Figure II-5 Vibreur de tamis	36
Figure II-6 Tamis en mm	36
Figure II.7 Les matériaux de la masse volumique apparente	37
Figure II.8 Détermination de l'équivalent de sable.	38
Figure II.9 Diffractogramme aux rayons X du sable de dune	43
Figure II.10 Diffractomètre aux rayons X de l'université de Laghouat	43
Figure II.11 Paramètres de diffractomètre	44
Figure II.12 Vu général (à grande échelle, MEB.) du sable de dune.	44
Figure III.1 Poudre de filler calcaire.	51
Figure III.2 : Fumé de silice (forme de poudre)	52
Figure III.3 : Retrait total en fonction du taux de séchage BS	59
Figure III.4 : Evolution des résistances à la compression en fonction des teneurs en PSE des deux compositions	65
Figure III.5 : Evolution des résistances à la traction par flexion en fonction des teneurs en PSE des deux compositions	66
Figure III.6 Variation de la résistance à la compression du BSFM (CRS, Lf=40mm) en fonction d'âges	68
Figure III.7 Variation de la résistance à la flexion du BSFM (CRS,Lf=40mm) en fonction d'âges.	69

Lise des tableaux

Tableau II-1 Résultats de Résistance obtenues par les mélanges proposés par KOTZIAS	28
Tableau II-2 Granulométrie des sables utilisés	28
Tableau II-3 résistance obtenue par les compositions proposées (au Maroc)	29
Tableau II.4 Compositions des bétons étudiés (à partir du sable de dune de Laghouat)	30
Tableau II.5 Résultats de résistance du béton 3(dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$)	30
Tableau II-6 Résultats de résistance ($E/C=0.7$, teneur en adjuvant est de 2.5%).	31
Tableau II-7 Influence d'énergie de compactage sur la résistance	31
Tableau II-8 Les résultats de résistance à 28 jours.	32
Tableau II-9 Les composition du béton déduites	33
Tableau II.10 : Compositions granulométriques des sables de dune	34
Tableau II.11 Analyse granulométrique de sable dune - site BAKHALA.	35
Tableau II.12 : Résultats Equivalent de sable de sable de dune	38
Tableau II.13 : tamisage de sable de dune << SD1 >>	40
Tableau II.14 : Propriétés physiques des sables du Sud	40
Tableau II.15 : Compositions chimiques des sables du sud	41
Tableau II.16: Caractéristiques physico-chimique de sables dunaires de différentes régions	42
Tableau II.17 Analyse chimique du sable de dune	43
Tableau II.18 Composition chimique des sables de la dune	45
Tableau II.19 Analyse chimique de sable de dune	45
Tableau III.1 : Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment	50
Tableau III.2: Composition chimique et minéralogique de (CPJ-CEM II / 42.5A)	53
Tableau III.3. : Résistance à la compression des ciments	53
Tableau III.4. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment	54
Tableau III.5. Moyennes des masses volumiques apparentes sèches en fonction du pourcentage du PET utilisé	62
Tableau III.6: Résistances mécaniques des deux compositions des bétons élaborés	65
Tableau. III.7 Les résultats des essais de compression	67
Tableau. III.8. Les résultats des essais de flexion	67
Tableau III.9: Résistances mécaniques des deux compositions des bétons élaborés	68

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE :	2
CHAPITRE I :	4
VALORISATION DES DECHETS ENVIRONNEMENTALES DESTINES A LA CONSTRUCTION.....	4
I.1. INTRODUCTION :	5
I.2. DEFINITION :	5
I.3. LES DIFFERENTS TYPES DE DECHETS :	6
<i>I.3.1. Les déchets ménagers :</i>	<i>6</i>
<i>I.3.2. Les déchets non dangereux :</i>	<i>7</i>
<i>I.3.3. Les déchets toxiques :</i>	<i>7</i>
<i>I.3.4. Les déchets inertes :</i>	<i>8</i>
<i>I.3.5. Les déchets industriels banals (DIB) :</i>	<i>8</i>
<i>I.3.6. Les déchets ultimes.....</i>	<i>9</i>
I.4. L'IMPACT DES DECHETS SUR L'ENVIRONNEMENT :	9
I.5. L'IMPACT DES DECHETS SUR LE SECTEUR ECONOMIQUE :	10
I.6. GESTION DES DECHETS :	10
<i>I.6.1. Principes de gestion des déchets</i>	<i>10</i>
<i>I.6.2. Méthodes de gestion des déchets.....</i>	<i>11</i>
I.7. TYPES DE VALORISATION DES DECHETS EN GENIE CIVIL :	14
I.8. LES DECHETS VALORISABLES EN GENIE CIVIL	15
<i>I.8.1. Les laitiers d'aciérie.....</i>	<i>15</i>
<i>I.8.2. Les cendres volantes</i>	<i>16</i>
<i>I.8.3 Les déchets de verre.....</i>	<i>16</i>
<i>I.8.4. Pneus usagés</i>	<i>17</i>
<i>I.8.5. Ciment durci.....</i>	<i>18</i>
<i>I.8.6. Valorisation et recyclage des plastiques.....</i>	<i>18</i>
<i>I.8.7. Déchet de démolition.....</i>	<i>19</i>
<i>I.8.8. Déchets de brique (chamotte).....</i>	<i>20</i>
<i>I.8.9. Sables de fonderies :</i>	<i>20</i>
I.9. CONCLUSION	21

CHAPITRE II :	22
II.1 – INTRODUCTION :	23
II.2 – DEFINITION.....	23
II.3. MECANISMES DE FORMATION	24
II.4. TYPES DES DUNES.....	24
II.5. PHYSIQUE DES DUNES :	24
II.6. PROPRIETES :	26
II.6.1. Silice « quartz » :	26
II.7. INTERET DE SABLE DE DUNE :	26
II.7.1. Les aspects économiques :	26
II.7.2 Les aspects techniques :	27
II.8. UTILISATION DU SABLE DE DUNES :	27
II.8.1 : Diverses utilisations :	27
II.8.2. Utilisation du sable de dunes dans le béton :	27
II.8.3 : Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :	27
II.9. RECHERCHE INTERNATIONALE MENEES SUR LE SABLE DE DUNES.....	28
II.9.1. Recherche menée en UNION SOVIÉTIQUE.....	28
II.9.2. Recherche menée en GOLF ARABE.....	28
II.9.3. Recherche menée en MAROC.....	28
II.9.4. Présentations des investigations ALGÉRIENNES.....	29
II.9.5. DISCUSSION.....	32
II.10. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.....	34
II.10 .1. Compositions granulométriques [9]	34
II.10.2. Composition minéralogique :	40
II.10.3. Caractéristiques physiques :	40
II.10.4. Composition chimique :	40
II.11. CONCLUSION :	46
CHAPITRE III :	47
III.1. INTRODUCTION.....	48
III.2. ETUDE THEORIQUE ET BIBLIOGRAPHIQUE :	48
III.2.1. Définition du béton de sable.....	48
III.2.2. Les composants de béton de sable :	49

<i>III.2.3. Formulation d'un béton de sable :</i>	56
<i>III.2.4. Maniabilité :</i>	57
<i>III.2.5. Durabilité des bétons de sable :</i>	57
<i>III.2.6 Retrait et Fluage</i>	58
<i>III.2.7 Résistance au gel et au dégel :</i>	59
III.3 PRESENTATION DES ETUDES PRECEDENTES :	60
<i>III.3.1. Formulation et maniabilité :</i>	60
<i>III.3.2. Propriétés mécaniques :</i>	64
<i>III.3.3. Résultat et conclusion :</i>	69
<i>III.3.4. Conclusion</i>	71
CONCLUSION GÉNÉRALE	73
REFERENCES	74

INTRODUCTION GÉNÉRALE.

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Le développement de l'homme et sa recherche continue de confort et de luxe l'ont amené à rechercher constamment et au fil du temps ses exigences, et puisque la construction est l'un des moyens les plus importants de confort et de bien-être humain, de nombreuses recherches ont été consacrées à ce domaine, et puisque le béton est l'un des résultats de ces recherches où il est considéré comme l'un des matériaux de construction les plus populaires utilisés à l'ère moderne en raison de ses avantages par rapport à d'autres matériaux tels que le coût et la facilité d'utilisation, en plus d'autres caractéristiques techniques telles que la résistance à la compression et à la déformation sans oublier sa résistance au feu.

La composition de béton comprend des matériaux naturels facilement accessibles tels que les gravats, le sable et l'eau, ces matériaux contrôlent le prix, l'abondance et la qualité du béton.

En Algérie, par exemple, nous utilisons le sable des vallées et des plages pour former le béton, et c'est ce qui a causé de gros problèmes environnementaux. La loi algérienne a adopté une loi limitant l'utilisation du sable des vallées et plages (article 14 de la loi d'août 2005). Cependant, les programmes de développement et le mouvement économique imposent une forte demande en matériaux de construction, notamment en sable et en agrégat. Dès lors, réfléchir à d'autres alternatives à ces matériaux est devenu plus qu'une nécessité. Beaucoup de recherches scientifiques et expérimentales ont été menées pour développer des alternatives locales plus abondantes et moins coûteuses pour produire des bétons performants au moindre coût, et parmi ces alternatives, le sable des dunes, en Algérie par exemple, ce matériau couvre plus de 60% de la superficie du pays, il est inexploité et constitue un obstacle au domaine agricole.

Par conséquent, des nombreuses expériences ont été présentées, que nous énumérerons plus tard, que le sable des dunes de sable peut être inclus dans la composition du béton en raison de certaines caractéristiques telles que le manque de coût et d'avantages physiques et chimiques, et un indice de propreté très élevé, et une absence totale de matières organiques, en plus d'être exempt de nombreuses substances indésirables dans le béton telles que les sulfates, les sulfures ou les carbonates.

Il a également proposé la possibilité d'améliorer certaines propriétés en ajoutant des quantités étudiées de déchets tels que le métal, le plastique, le verre, le caoutchouc ou le bois, en raison des problèmes environnementaux que ces déchets posent pour être éliminés, recyclés et bénéficier. Nous avons divisé cette recherche en trois chapitres liés et séquentiels.

- Le premier chapitre est consacré aux déchets de toutes sortes, à leurs sources, gestion et à leurs effets sur l'environnement et l'économie, ainsi qu'à offrir la possibilité de les valoriser et d'en tirer profit, notamment dans le domaine de la construction.

- Le deuxième chapitre est consacré à la définition de sable des dunes, sa source, ses composants, ses zones d'existence, son importance, ainsi que les propriétés physiques et chimiques de ce matériau et l'étendue de son intérêt économique.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de quelques expériences scientifiques dans ce domaine, c'est-à-dire l'effet de l'entrée de sable des dunes avec des déchets dans la formulation de béton, et à l'extraction des différents résultats expérimentaux auxquels ont abouti ces chercheurs.
- Et à la fin, une conclusion générale de cette recherche, dans lequel nous énumérons le résumé de ces recherches et clarifions les avantages et les inconvénients de l'ajout de ces matériaux, et notre point de vue sur ces expériences, et d'être le début d'autres à venir recherche qui peut enrichir davantage dans ce domaine.

Chapitre I :

VALORISATION DES DECHETS ENVIRONNEMENTALES DESTINÉS A LA CONSTRUCTION.

I.1. Introduction :

La valorisation des déchets dans le domaine génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité très élevés. Le recyclage des déchets touche des impacts économiques très importants. Donc plusieurs pays du monde utilisent différents déchets dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats. Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique. De nombreux déchets sont générés par des processus de fabrication, des industries de services et des déchets solides municipaux. La sensibilisation croissante à l'environnement a énormément contribué aux préoccupations liées à l'élimination des déchets produits.

La gestion des déchets solides est l'une des principales préoccupations environnementales dans le monde. En raison de la rareté de l'espace pour l'enfouissement des déchets et de son coût toujours croissant, l'utilisation des déchets est devenue une priorité. Et de son coût toujours croissant, l'utilisation des déchets est devenue une alternative attrayante à l'élimination.

Le marché exige aujourd'hui de basculer notre économie de plus en plus vers l'économie circulaire. La transition vers cette économie est un chantier clé de la transition écologique. Le modèle linéaire « fabriquer, consommer, jeter » se heurte fatalement à l'épuisement des ressources. Il faut progresser vers une économie différente, où nous limitons les gaspillages et où nous arrivons à faire de nos déchets de nouvelles ressources. Cette transition est un véritable projet de société. Elle invite à faire évoluer nos pratiques de vie, à inventer de nouveaux modes de production et de consommation plus durables. [1]

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.

Dans ce chapitre, nous parlerons des déchets en général et de leur impact sur l'environnement et l'économie tout en citons quelque déchet utilisé dans le domaine génie civil.

I.2. 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. D'autres variantes existent et la notion de déchet peut être abordée de façon économique, sociale, en fonction de sa nature chimique, etc.

Du point de vue économique, un déchet est un bien qui n'a, à priori, aucune valeur marchande. Sociologiquement, le déchet est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet d'une du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels. Actuellement, la définition du déchet n'est pas totalement acceptée par tous. C'est notamment

le cas lors des évolutions qu'il pourra subir (opérations de collecte, tri, transformation primaire) et qui lui confère des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques différentes, et de fait, une valeur économique.

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 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.

Différents types de déchets, Selon leur nature, leur provenance ou encore leur caractère toxique se répartissent en différentes catégories :

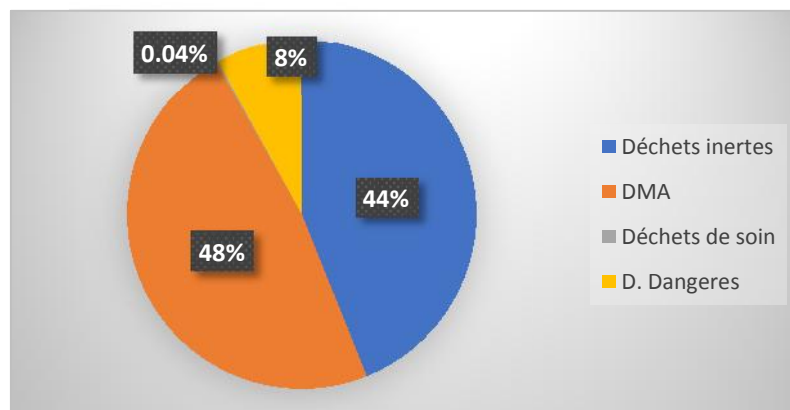


Figure I.1 : Ratio de production de déchets. Source AND, Année 2018/2019

I.3. Les différents types de déchets :

I.3.1. Les déchets ménagers :

Parmi lesquels les ordures ménagères à incinérer et les déchets recyclables triés, ce sont les déchets d'entreprises ou d'industriels qui ressemblent aux déchets ménagers : papiers de bureau, cartons, emballages, palettes de bois, invendus d'un supermarché.

Ces déchets sont traités comme des déchets ménagers mais comme ils sont produits en grandes quantités, ils sont collectés et traités par des sociétés privées.

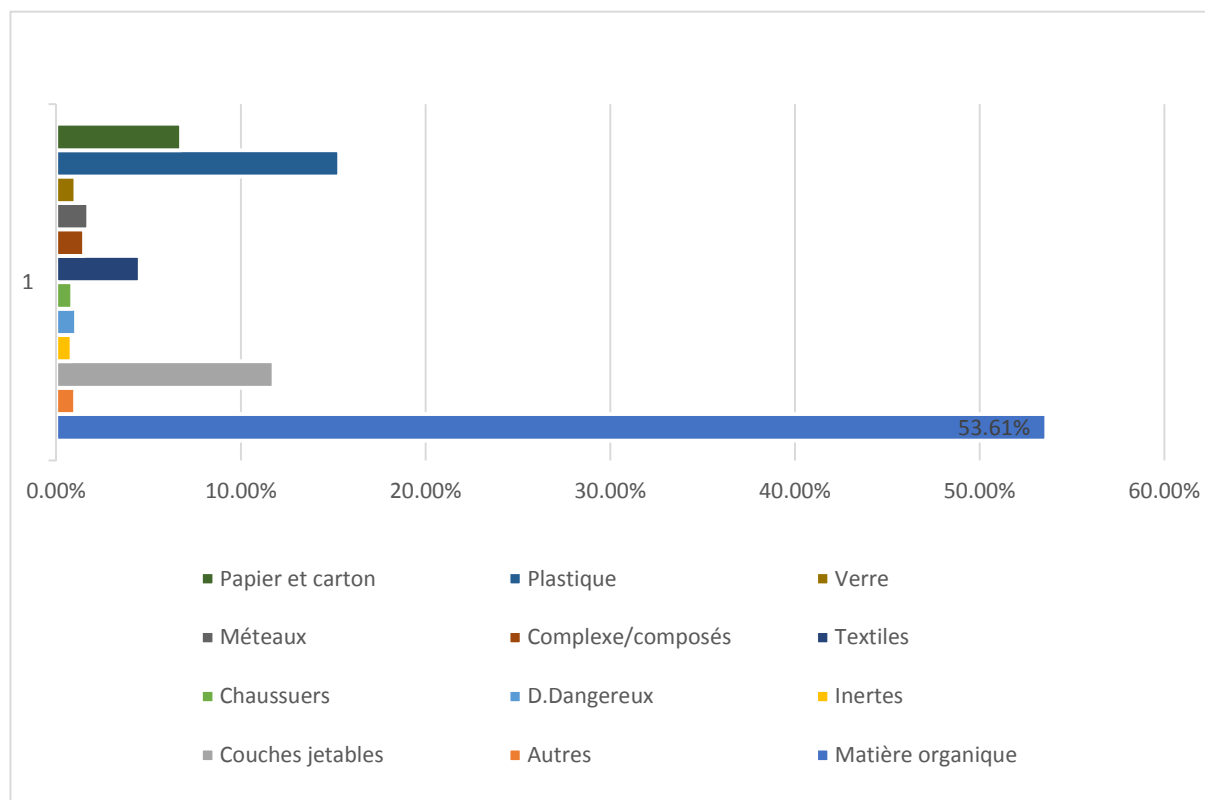


Figure I.2 : Composition moyenne annuelle de DMA (Source AND, Année 2018/2019)

I.3.2. Les déchets non dangereux :

Des activités économiques qui ressemblent aux déchets ménagers, mais sont produits par des entreprises ou des industriels.

I.3.3. Les déchets toxiques :

Ce sont les déchets d'entreprises ou d'industriels qui contiennent des produits toxiques : solvants, vernis, colles, goudrons, huiles, déchets d'équipements électriques et électroniques. Ces déchets sont toxiques et représentent un réel danger pour la santé et pour l'environnement. Ils sont collectés et traités par des sociétés spécialisées. Les déchets d'activités de soins à risques infectieux qui nécessitent un traitement particulier.

I.3.4. Les déchets inertes :

Les déchets inertes sont des déchets qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, qui peuvent être réutilisés en sous-couches pour les routes ou enfouis dans des centres de stockage des déchets.



Figure I.3. Déchets inertes.

Dans le secteur du bâtiment, on distingue les déchets issus des activités de construction, de rénovation, de démolition (béton, briques, tuiles, céramiques, carrelage...) ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux...). Dans le secteur des travaux publics, les déchets inertes correspondent principalement à des déchets minéraux issus de la démolition d'ouvrages d'art et de génie civil mais également à des cailloux et de la terre.

I.3.5. Les déchets industriels banals (DIB)

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce comme la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie. Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...),
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...),
- Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...),
- Les revêtements muraux et de sol textiles,
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation.

- Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses

I.3.6. Les déchets ultimes

Un déchet ultime est défini comme n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux. La notion de déchet ultime n'est pas fonction de ses caractéristiques physico-chimiques mais plutôt du système de collecte et de traitement auquel il appartient.



Figure I.4. Déchets ultimes.

I.4. L'impact des déchets sur l'environnement :

La mauvaise gestion des déchets contribue au changement climatique et à la pollution atmosphérique, elle affecte directement de nombreux écosystèmes et de nombreuses espèces. Les décharges, considérées comme la dernière option dans la hiérarchie des déchets, libèrent également du méthane, un puissant gaz à effet de serre associé au changement climatique. Le méthane est produit par les micro-organismes qui prospèrent sur les déchets biodégradables comme la nourriture, le papier ou les déchets verts présents dans ces décharges. En fonction de leur conception, les décharges peuvent également contaminer le sol et l'eau. Les déchets, une fois ramassés, sont transportés puis transformés. Le processus de transport libère dans l'atmosphère du dioxyde de carbone, le gaz à effet de serre le plus répandu, et de nombreux polluants comme des particules de matières. Une partie de ces déchets peut être incinérée ou recyclée. L'énergie de ces déchets peut être utilisée pour générer de la chaleur ou de l'électricité, elle peut ainsi remplacer l'énergie obtenue à partir du charbon ou du pétrole. La valorisation des déchets peut nous aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le recyclage des déchets est encore plus efficace pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et autres polluants. Lorsque des matériaux recyclés remplacent des matériaux neufs, nous avons besoin d'extraire ou de produire une quantité moins importante de matière première.

I.5. L'impact des déchets sur le secteur économique :

Les déchets représentent une perte économique et une charge pour la société. Le travail nécessaire et les autres ressources (terres, énergie, etc.) utilisées pour l'extraction, la production, la distribution et la consommation d'un produit sont perdus lorsque le matériel restant est écarté. De plus, la gestion des déchets coûte beaucoup d'argent. La création d'une infrastructure de collecte, de tri et de recyclage coûte cher mais, une fois installée, elle peut générer des revenus et créer des emplois. La dimension globale des déchets n'est pas non plus à négliger car elle est liée à nos exportations et importations. Ce que nous consommons et produisons en Europe peut générer des déchets ailleurs sur la planète. Dans certains cas, ces déchets deviennent en réalité une marchandise qui traverse les frontières, que ce soit de manière légale ou illégale. Et si nous pouvions utiliser nos déchets comme ressource et, ce faisant, diminuer la demande d'extraction de nouvelles matières premières ? L'extraction d'une quantité plus faible de matières premières et l'utilisation des ressources existantes permettraient d'éliminer certains des impacts environnementaux générés tout au long de la chaîne de production. Dans ce contexte, les déchets non valorisés représentent aussi une perte potentielle, un gaspillage de matière première et des intrants utilisés dans le système, que ce soit au niveau de la production, du transport ou de la consommation du produit.

I.6. Gestion des déchets :

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

Tous les déchets sont concernés (solides, liquides ou gazeux, toxiques, dangereux, etc.), chacun possédant sa filière spécifique. Les modes de gestion diffèrent selon que l'on se trouve dans un pays développé ou en développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. Les déchets non dangereux sont habituellement gérés sous la responsabilité des autorités locales

I.6.1. Principes de gestion des déchets

Plusieurs principes guident la gestion des déchets, dont l'usage varie selon les pays ou les régions, mais reste à garder les trois règles suivantes : (Réduire, Réutiliser, Recycler).

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, les apports de matières premières et la composition des produits. Parfois le principe de « prévention de la pollution » indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source. Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. A titre d'exemple, plusieurs villes aux États-Unis ont mis en

place des taxes dont le montant est fonction des quantités d'ordures déposées qui se sont révélées efficaces pour réduire le volume des déchets urbains. L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets.

I.6.2. Méthodes de gestion des déchets

La gestion des déchets consiste en la détermination du type de traitement à appliquer à telle ou telle autre catégorie des déchets. Certes pour assurer une bonne gestion des déchets, il faut mettre des moyens sur le plan financier que matériel, par conséquent, la bonne gestion limitera les dégâts sanitaires. C'est ainsi que nous allons examiner successivement les différents modes de gestion des déchets. Ces méthodes sont actuellement au nombre de cinq.

I.6.2.1 L'enfouissement

L'enfouissement est une méthode d'évacuation des déchets organiques qui consiste à creuser une fosse profonde pour y verser des déchets, l'enfouissement consiste à stocker les déchets dans des conditions très contrôlées afin de maîtriser leur impact sur l'environnement.

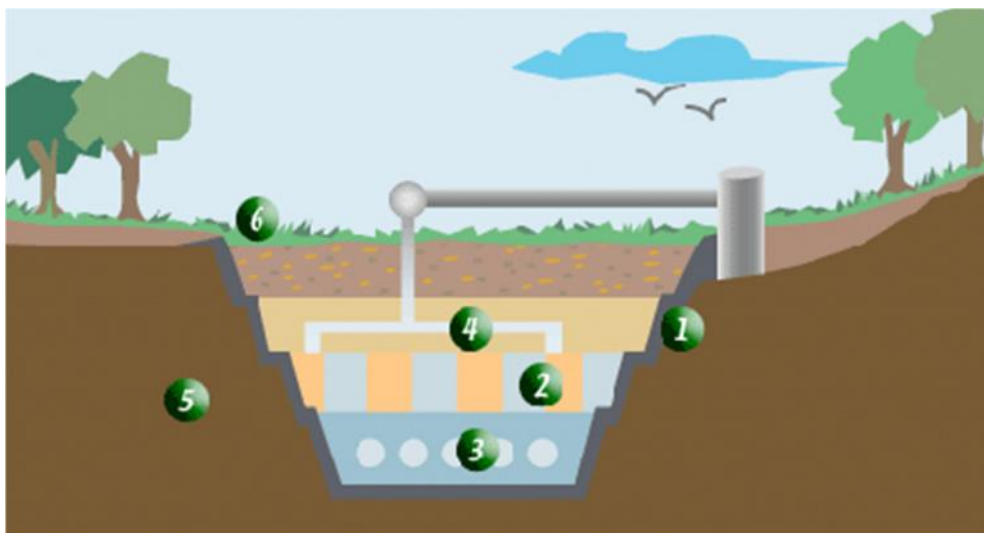


Figure I.5.: Centre de Stockage des Déchets Ultimes.

- 1- Barrière de sécurité naturelle en argile et membrane plastique épaisse étanche, protégée par un tissu.
- 2- Stockage dans des alvéoles.
- 3- Récupération et traitement des lixiviats.
- 4- Fermentation des déchets qui produisent du biogaz.
- 5- Contrôles environnementaux durant l'exploitation et pendant 30 ans à l'issue de l'exploitation.
- 6- Réhabilitation de l'espace naturel.

I.6.2.2. L'incinération

L'incinération des déchets est une technique de transformation par l'action du feu. Incinérer signifie « réduire en cendres » ou, dit autrement, qu'on brûle complètement les matières à incinérer¹. C'est une des techniques de gestion des déchets qui peut servir à produire de l'électricité et/ou de la chaleur (chauffage urbain par exemple), mais qui peut être source de pollution de l'air.



Figure I.6.: Incinération de déchets municipaux solides dans un four à grille mobile

Elle peut être considérée comme un procédé par l'excellence de traitement des immondices, c'est une méthode satisfaisante qui présente cependant quelques inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- 1- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution,
- 2- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée,
- 3- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour sa construction

Il est préférable de retirer certains matériaux des déchets avant leur incinération. Le verre ne brûle pas et lorsqu'il fond, il est difficile à retirer des fours. Bien que les déchets alimentaires brûlent, leur teneur élevée en eau fait souvent baisser le rendement des usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM), il vaut mieux les retirer. Il est nécessaire de retirer les piles, les thermostats et les lampes fluorescentes.

I.6.2.3. La décharge contrôlée



Figure I.7.: Décharge contrôlée des déchets.

La décharge contrôlée est un dépotoir public prévu à l'avance pour l'évacuation des immondices ménagères. Elle a l'avantage d'offrir des éléments pour l'alimentation des jardins ou des plantations d'arbres. Cette méthode n'est pas conseillée pour le traitement des déchets hospitaliers.

I.6.2.4. Le compostage

Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de valorisation de matière organique en un produit stabilisé et hygiénisé disposant des caractéristiques d'un terreau enrichi en composés humiques [2] Cette décomposition de la fraction organique fermentescible des déchets s'opère en présence d'air et par des micro-organismes aérobies (bactéries, champignons...) dans des conditions contrôlées : d'air, de température et d'humidité , le compostage est une pratique consistant à fabriquer du compost à partir de divers déchets végétaux.

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- 1- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique ;
- 2- Réduction de la masse du déchet ;
- 3- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols
- 4- Le processus de compostage est réalisé en deux étapes successives :
- 5- Une étape de fermentation aérobie
- 6- Une étape de maturation du compost.

I.6.2.5. Le recyclage :

Consiste à la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, qui d'économiser des matières premières et de l'énergie, les principaux matériaux recyclables sont les matières plastiques, carton, verre et le papier. En effet le recyclage nécessite de mettre en place une collecte sélective et un tri pour séparer les matériaux en fonction de leur nature.

I.7. Types de valorisation des déchets en génie civil :

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.

I.8. Les déchets valorisables en génie civil

I.8.1. Les laitiers d'aciérie

Les laitiers sidérurgiques sont des matières minérales artificielles produites par l'industrie de l'acier. Ils sont considérés comme déchets, ces matériaux sont Co-générés sous forme liquide (à environ 1500°C) en même temps que la fonte sidérurgique (laitier de haut-fourneau) ou l'acier (laitier d'aciérie). Les laitiers de convertisseur (ou de conversion) sont des laitiers d'aciérie obtenus lors de l'affinage de la fonte sidérurgique, alors que les laitiers d'aciérie électrique sont obtenus lors de la fusion de ferrailles.

Les laitiers sont gérés sous assurance de la qualité et sont aptes à répondre aux normes techniques (encadré ci-dessous) concernant leur utilisation :

- NF EN 13043 Granulats pour mélanges bitumineux et enduits superficiels ;
- NF EN 13242 Granulats pour graves traitées et non traitées ;
- NF EN 13383-1 Enrochements ;
- NF EN 13450 Granulats pour ballasts ;
- NF P 18-545 Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.



Figure I.8. Laitiers d'aciérie

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

I.8.2. Les cendres volantes

Les cendres volantes sont des matériaux minéraux finement divisés, issus de la précipitation électrostatique ou mécanique de particules minérales contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé. Ce sont donc des matériaux pulvérulents, de texture majoritairement vitreuse et de composition silico-alumineuse ou silico- calcique. Les cendres siliceuses ont des propriétés pouzzolaniques et les cendres calciques peuvent posséder des propriétés hydrauliques et /ou pouzzolaniques. Les cendres volantes sont utilisées soit addition au béton, soit comme constituant principal autre que le clinker dans les ciments et contribuent ainsi à la réduction des émissions de CO₂. Elles peuvent être utilisées dans certains ciments de types CEM II, IV, et V. (NF EN 197-1 pour plus de détails).



Figure I.9. Cendres volantes.

I.8.3 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 1/2 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 I.10. Déchets de verre.

I.8.4. Pneus usagés

Les pneumatique est composé de gomme de caoutchouc (à base de polymère d'isoprène), d'acier, de textiles et de divers éléments qui renforcent la résistance de la gomme.

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. En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique



Figure I.11. Pneus usagés.

I.8.5. Ciment durci

Le contact direct des sacs de ciment avec l'eau ou l'humidité provoque une cristallisation de poudre, cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence.



Figure I.12. Ciment durci.

I.8.6. Valorisation et recyclage des plastiques

On appelle le recyclage des plastiques le retraitement des déchets plastiques de postconsommation et de pré consommation en des produits exploitables. 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.

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.

La valorisation des déchets plastiques préserve les ressources qu'ils contiennent, mais demande des intrants pour assurer le processus de transformation, qui peut entraîner des impacts sur l'environnement et des coûts. Les plastiques ne se recyclent pas tous de la même façon.

Puisque les matières plastiques sont utilisées dans de nombreux domaines comme le bâtiment, l'agriculture, l'électroménager, ... cela se traduit par une quantité croissante de déchets plastiques. Il devient important de recycler et de valoriser ces plastiques. Le recyclage chimique vient compléter le recyclage mécanique et transforme les déchets plastiques en matières premières secondaires.

Lorsque les déchets plastiques sont transformés en granulés plastiques via le recyclage mécanique, le recyclage chimique produit de nouvelles matières en modifiant la structure chimique du polymère, de nouveaux procédés qui pourraient permettre de nombreuses possibilités.

D'autre part, plusieurs facteurs économiques doivent être pris en compte tels que les coûts de recyclage du plastique en fonction du processus (collecte, transport, etc.)

I.8.7. Déchet de démolition

Les déchets de démolition et de construction sont composés des trois grandes catégories de déchets, à savoir des déchets inertes, des déchets non dangereux (plastiques, métaux, bois, cartons,) et des déchets dangereux. Certains déchets sont caractéristiques de ces activités : déchets d'amiante, plâtres, déchets contenant du plomb, bois traités.

Aujourd'hui, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Ainsi, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature :

- Les bétons armés sans enduit ni plâtre,
- Les matériaux composés de briques, de tuiles, de graves, de pierres et de blocs rocheux, etc.
- Les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, bois, plastique, etc.
- Les mauvais matériaux avec une teneur en bois, plâtre, plastique : supérieure à 10%,
- Les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes.



Figure I.13. Déchets de démolition.

I.8.8. 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 I.14. Déchets de brique (chamotte).

I.8.9. Sables de fonderies :

Les sables de fonderie sont des sous-produits de l'industrie de la fonderie. Dans le procédé de moulage des pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques (résines phénoliques). Quand le sable n'est plus réutilisable pour l'industrie de la fonderie, il est mis en décharge. Les sables de fonderie sont donc susceptibles de constituer une matière première d'un coût assez faible pour la fabrication des bétons hydrauliques. La réglementation française, en l'occurrence l'Arrêté Ministériel du 16 juillet 1991 relatif à l'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse, précise les conditions de la réutilisation de ces sables : « les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la fabrication de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénol est inférieure à 5mg/kg de sable rapporté à la matière sèche ».

I.9. Conclusion

Réduire, réutiliser, recycler, composter, l'économie circulaire est au cœur de la démarche Zéro Déchet. Le recyclage et l'exploitation des déchets augmentent car la prise de conscience croissante a déjà conduit à la mise en place de nombreuses restrictions fondamentales. Les cotons-tiges, les sacs plastiques et les gobelets sont devenus une ressource recyclable en Algérie ainsi que de nombreux autres produits et avec cela, nous avons encore beaucoup de lacunes pour rattraper les autres pays.

L'augmentation des déchets n'est pas seulement liée à la croissance démographique mais à de nombreux autres facteurs comme le niveau de vie, l'absence de lois cadres en plus du niveau d'éducation, la structure urbaine, les infrastructures de recyclage, le système de collecte, le développement industriel et économique, ainsi que social.

Chapitre II :

**CARACTÉRISATION DU SABLE DE
DUNES.**

II.1 – Introduction :

L'Algérie est située au nord du continent africain, et le désert représente environ 60% de la superficie de l'Algérie, et cette zone désertique recouvre une grande proportion de dunes de sable, Où se situe le plus haut sommet d'Afrique dans la mer de sable Isawan-n-Tevernine dans le désert Algérien, avec une hauteur de 465 m et une longueur de 1980 m. [3]

Nous essaierons dans cette thèse de présenter une étude de la possibilité de bénéficier de ce sable, notamment dans le domaine de la construction.

En raison de l'expansion urbaine et du développement industriel, la demande de matériaux de construction et leurs prix élevés ont augmenté, et la recherche d'un coût moindre en utilisant les ressources naturelles locales est devenue nécessaire et importante.

De ce fait, il a été sérieusement pensé et approfondi dans l'exploitation du sable de dunes dans les mélanges de béton, et de nombreuses études sont apparues dans ce domaine, comme l'ajout de sable fin en remplacement du ciment Portland, ou son ajout dans certaines proportions à la place du sable de vallée. Amélioré certaines propriétés du béton telles que la réduction des pores, l'intensification de l'espace entre (mortier/ gravier) et la modification des propriétés de réfraction (déformation) et cela a permis d'augmenter la durabilité du béton.

Par conséquent, pour assurer le développement de ce matériau de base dans le domaine de la construction, il convient d'inclure une approche de développement durable et une recherche accrue, qui pourront bénéficier de cette ressource naturelle et atteindre un équilibre entre la protection de l'environnement et les considérations économiques et techniques.

II.2 – Définition

Une dune est une forme de relief ou un modelé constitué d'un amas de sable accumulé sur une largeur plus ou moins grande et une pente généralement assez élevée, sous l'action des vents (dune littorale, bordière ou côtière, d'une désertique ou continentale) ou du courant marin sous la mer (dune hydraulique). Le terme appartient au vocabulaire topographique, géographique, géomorphologique. Les ensembles dunaires font partie des formations superficielles qui sont relativement récentes à l'échelle géologique. Il existe des dunes de tailles, de superficie, d'âges et de dynamiques variés. Les processus éoliens ou hydrauliques gouvernent l'édification, l'évolution, les mouvements des dunes et des massifs dunaires et définissent les formes générales et de détails (modelés). D'autres appellations qualifient les ensembles dunaires comme erg, croc, garenne, etc. Ces termes généralement locaux peuvent connaître un usage plus général et qualifier un type particulier de dune. [4]

II.3. Mécanismes de formation

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation).

Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.

Le même processus peut se produire sous l'eau à la faveur d'un courant marin (dune hydraulique), par exemple dans le pas de Calais où elles abritent peu d'espèces mais des espèces rares et inféodées à ce milieu. [5]

II.4. Types des dunes

- 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. A ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine publique 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.
- Les falaises dunaires (dune cliff pour les anglophones) n'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.
- Les dunes perchées, (Cliff-top dune pour les anglophones), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.
- 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. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France.). [6]

II.5. Physique des dunes :

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert.

Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs déplacements menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes.

Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris.

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune. Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir fig. II.1).

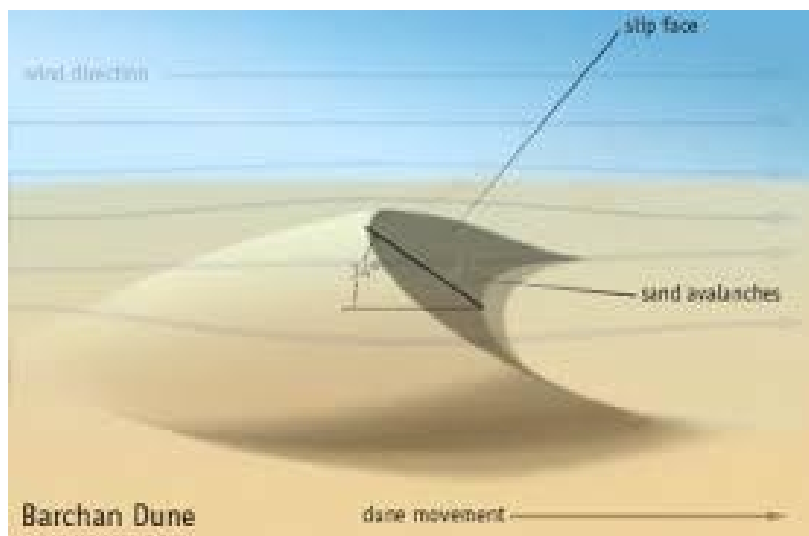


Figure II-1 : La Barkhane

Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent (voir fig. II.2).

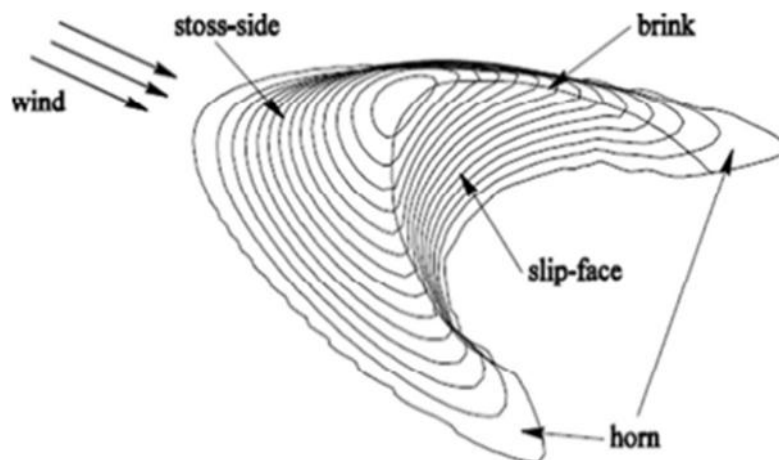


Figure II-2 : Morphologie de la Barkhane

II.6. Propriétés :

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30°, au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable.

Cette propriété peut être exploitée pour étudier des formes parfaites générées par l'écoulement du sable sur des plaques de formes différentes. Par exemple, en faisant couler du sable sur un socle de forme carrée, le sable va former une pyramide parfaite avec des pentes de 30°.

Le sable est utilisé pour faire du béton et comme matière première du verre. Il peut être utilisé pour filtrer les liquides.

Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles). Il est aussi utilisé comme abrasif dans des usines pour nettoyer des pièces métalliques.

Le sable est également un élément important de l'industrie touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte.

II.6.1. Silice « quartz » :

La silice (quartz) est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 .

La silice pure se présente sous la forme d'un minéral dur et existe sous des formes variées dans la nature :

- Principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre ;
- Fréquente dans les roches métamorphiques ;
- Fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre. [6]

II.7. Intérêt de sable de dune :

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

II.7.1. Les aspects économiques :

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. [6]

II.7.2 Les aspects techniques :

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. [6]

II.8. Utilisation du sable de dunes :

II.8.1 : Diverses utilisations :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc.

Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal. Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (Aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. [7]

II.8.2. Utilisation du sable de dunes 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.

II.8.3 : Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle.

A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement.

II.9. Recherche internationale menée sur le sable de dunes.

II.9.1. Recherche menée en UNION SOVIÉTIQUE.

L'Union Soviétique est un pays très pauvre de gros granulats, par contre, il possède des quantités importantes de sable fin. Pour cela, certaines recherches, sur l'intégration de ce sable dans le béton, ont été menées et montrées les suivants :

- L'influence de la forme des grains et de la granularité.
- L'influence des adjuvants ; réducteurs d'eau et fluidifiants.
- La déformation sous charge.

Mais, malheureusement, on n'a pas pu mettre à nu les détails des résultats expérimentaux de ce travail. Ce béton est généralement destiné :

- A la préfabrication des dalles et pavés pour piétonniers, pieux et toitures.
- Au béton projeté : travaux de rénovation avec ferrailage des surfaces et une couche de béton de sable. [8]

II.9.2. Recherche menée en GOLF ARABE.

KOTZIAS (Concrete without coarse aggregate. A.C.I journal 1971) a préparé un béton à partir du sable de dunes. Ce sable a un module de finesse de 1.5, donc sa granulométrie était en dehors de la limite du fuseau recommandé. Les mélanges proposés dans ce travail sont comme suit:

Tableau II-1 Résultats de Résistance obtenues par les mélanges proposés par KOTZIAS

Mélange	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	E/C	RC28 (Mpa)
1	1350	460	0.65	12
2	1350	460	0.65	22

Les résultats obtenus dans ce travail sont toujours très insuffisants, et généralement ce béton est destiné aux fondations, murs de soutènement et pour planchers.

II.9.3. Recherche menée en MAROC.

L'expérience consiste à la confection d'un béton de sable à base de deux types de sables : un sable grossier et une autre fin de la région de Casablanca. Le tableau ci-dessous présente La granulométrie de ces types de sable :

Tableau II-2 Granulométrie des sables utilisés

Sable	> 2 mm	0.08 à 2 mm	<0.08 mm
Grossier	98%	1%	1%
Fin	7%	74%	19%

Les compositions proposées et leurs résultats de résistance sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Les résultats de résistance obtenue par les compositions proposées (au Maroc) [8]

Tableau II-3 résistance obtenue par les compositions proposées (au Maroc)

Béton	Dosage en ciment	Sable fin (kg)	Sable grossier (kg)	Eau (L)	E/C	Resistance à 28 jours (Mpa)	
						à la compression sur cubes	à la traction sur prismes
A	350Kg/m ³	644	966	238	0.68	30.80	2.70
B		483	1127	245	0.70	13.30	2.29
C		805	805	245	0.70	19.20	2.08

II.9.4. Présentations des investigations ALGÉRIENNES.

Le **CNERIB** a avancé ces premiers pas dans ce thème suite aux nombreux travaux lancés par les intéressés.

L'étude menée par : **MEROUAINI. Z et BATATA.** L'un de travaux réalisés. Les matériaux utilisés dans ce travail sont :

- Un sable de dune d'El-Goléa qui a une granulométrie serrée au diamètre maximale de 0.5mm et au module de finesse de 1,47.
- Le ciment utilisé est le CPJ325.
- Des fines calcaires obtenues par criblage du sable de concassage 0/3 à travers le tamis de 80µm.

L'amélioration de la compacité du béton peut varier en fonction du dosage en ciment (270 à 400 kg/m³). Ainsi qu'en teneurs en fines (0 à 10 %).

La composition optimale obtenue est comme suit :

- Ciment = 330 kg/m³.
- Sable = 1530 kg/m³.
- Eau = 260 l/m³.
- Fines = 6 ! Concernant le retrait est assez important (1,5 mm/m).

Un autre travail était mené dans ce sens par **AZZOUZ. L et KENALS et BOUHICHA. M.** Cette étude présente les propriétés du béton de sable de dune et l'influence des ajouts calcaires sur le béton de sable.

Les matériaux utilisés sont :

- Sable de dune de Laghouat au diamètre maximale qui n'excédait pas 0.63mm ;
- Ciment CPA 325 ;

- Des calcaires fins.

Après une série d'essais préliminaires en vue d'obtenir une composition optimale par la variation du rapport E/C de 0.6 jusqu'à 1.2. Les compositions obtenues sont :

Tableau II.4 Compositions des bétons étudiés (à partir du sable de dune de Laghouat) [8]

Béton	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Fines (kg/m ³)	Eau (l/m ³)	E/C
1	1486	330	-	264	0.80
2	1336	330	150	264	0.80
3	1286	330	200	264	0.80
4	1286	330	250	264	0.80

Ces compositions sont obtenues pour des consistances plastiques et des résistances à la compression de 13 à 18 MPa à 28 jours.

Les éprouvettes confectionnées sont conservées dans les trois environnements suivants :

- Environnements I : En l'air libre de 20°±5°C.
- Environnements II : Dans l'eau potable à 15°±2°C.
- Environnements III : Dans l'étuve à 40° ± 5°C.

Deux durées de cure sont proposées pour chaque environnement ; de 5 et 7 jours. Les meilleurs résultats de résistance sont obtenus avec le béton 3 dont les éprouvettes sont conservées dans l'eau (Environnements II).

Tableau II.5 Résultats de résistance du béton 3(dans l'eau potable à 15°±2°C)

Duré de cure	Résistance à la compression F _{c28} (Mpa)	Résistance à la flexion F _{r28} (Mpa)
5 jours	17.73	7.90
7 jours	18.30	8.68

Cette étude est achevée par les conclusions suivantes :

- Quel que soit le mode de conservation et le dosage en fillers, l'âge du béton semble influencé positivement sur les résistances.
- La conservation dans l'eau est meilleure que celle à l'étuve et à l'air libre quel que soit le dosage et la nature des fillers.
- L'essai de retrait a montré que le béton de sable de dune présente de forts retraits hydrauliques. Ces retraits sont essentiellement dus à la finesse des fillers calcaires.
- L'ajout des fillers de brique a, légèrement, amélioré les résistances à la compression et à la flexion à tous les âges du béton par rapport au fillers calcaires.

- Une autre étude menée dans ce sens ; elle consiste à améliorer les caractéristiques du béton de sable par différentes manières à savoir : l'addition de fillers, adjuvant et compactage pour le rendre plus résistant et plus compact. Cette étude a été élaborée par : **GUETTELA.A., MEZGHICHE.B et CHEBIL.R.** Les matériaux utilisés :
- Le sable utilisé : est le sable de dune de la région de Biskra au module de finesse de 1.4 et un coefficient d'équivalent de sable de 87%.
- Ciment utilisé : est le CPJ45 de la cimenterie de Ain-Touta.
- Les fillers : proviennent des déchets de polissage de carrelages a une porosité de 45% et une surface spécifique de 275 m²/kg.
- Les adjuvants : Deux types d'adjuvants sont utilisés ; un plastifiant (SFA) et un fluidifiant (SF). Le rôle d'adjuvant est de réduire la quantité d'eau et d'obtenir des bétons fluides en même temps. Les résultats expérimentaux sont :
- Le béton du sable témoin : sans addition ni de fillers, ni d'adjuvant donne une résistance à la compression de 12.5 MPa, la composition est comme suit :
 - ✓ Ciment 350 Kg/m³.
 - ✓ Sable 1660 Kg/m³.
 - ✓ E/C=0.

Tableau II-6 Résultats de résistance (E/C=0.7, teneur en adjuvant est de 2.5%). [8]

Fillers (kg/m ³)	Résistance à la compression Fc28(Mpa)	
	Fluidifiant (SF)	Plastifiant (SFA)
170	14.4	19.20
200	19	20.40
250	26.3	23.50
260	31	27.50
290	28	28.70
320	26	29
350	23.60	29.80

Tableau II-7 Influence d'énergie de compactage sur la résistance

Energie (KJ/dm ³)	Résistance à la compression Fc28(Mpa)	
	Sans fillers	Avec fillers
1.072	21.50	24
1.608	22	24.90
2.144	22.50	28.20
2.680	22.80	30.30

II.9.5. DISCUSSION

La concentration des fillers assurant la meilleure résistance est de 260 Kg/m³ avec l'adjuvant (SF). Par contre on remarque que la résistance augmente en parallèle avec l'augmentation du dosage en fillers avec l'adjuvant (SFA).

L'énergie de compactage influe positivement sur la résistance sans ou avec fillers. Toutes les investigations précédentes traitent le béton de sable, elle donne des résultats acceptables pour quelques destinations. Il reste, maintenant, d'intégrer le sable de dune dans le béton ordinaire qui contient le sable et le gravier comme granulats. Ce thème a été étudié par **BENTATA. A** qui propose certaines compositions de béton dont le sable de dune est l'un de ses constituants. Le sable de dune utilisé est celui de la région de **Ain –Beida (Ouargla)** qui se caractérise par un module de finesse de 1.02 et un équivalent de sable de 97% (sable très propre), le ciment est un CPJ CEM-A/325 de la cimenterie de **Ain-Touta**.

Une Série d'essais est exécutée sur les compositions suivantes :

- Béton A : avec 100 % sable alluvionnaire (de Hassi- Sayeh).
- Béton B : avec 75% sable alluvionnaire et 25% sable de dune.
- Béton C : avec 50 % sable alluvionnaire et 50% sable de dune.
- Béton D : avec 25% sable alluvionnaire et 75% sable de dune.
- Béton E : avec 100% sable de dune. Le dosage en ciment est constant (400 kg/m³).

Les résultats de résistance sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau II-8 Les résultats de résistance à 28 jours [11].

Béton	E/C	Resistance à 28 jours (Mpa)	
		À la compression	À la traction sur
A	0.52	31	2.50
B	0.52	24	2.20
C	0.52	27	2.60
D	0.53	24	2.40
E	0.55	24	2.50

Le béton ordinaire est toujours prépondérant par rapport aux autres bétons. Le béton à base de sable de dune présente une réduction de résistance à la compression allant jusqu'à 20%, et un retrait triple que celle du béton ordinaire. Les propriétés de l'ouvrabilité, compacité et module d'élasticité sont convergentes pour les deux bétons.

Dans le but d'étudier l'influence des adjuvants sur la perméabilité du béton, **BENCHEIKH.M., BELOUADAH. M., CYR. M. et ET P. CLASTRES** ont menés une étude dans ce sens.

Les matériaux de construction utilisés sont :

- Un ciment CPJ CMII/B 32.5.
- Un sable de dune d'Oued Maàter (Boussaâda) avec un module de finesse de 1,41.
- Trois classes de gravier : 3/8, 8/15 et 15/25.
- Cinq types d'adjuvants ont été utilisés :
 - ✓ Super plastifiant SFR 125.
 - ✓ Retardateur de prise fluidifiant RPF
 - ✓ Super plastifiant haute réducteur d'eau SP 40.
 - ✓ Super plastifiant fluidifiant SF.
 - ✓ Super plastifiant accélérateur de durcissement S120.

En utilisant la méthode de formulation (DREUX-GORISSE) les compositions du béton déduites sont :

Tableau II-9 Les composition du béton déduites [8].

Sable	606 Kg/m ³
Gravier 3/8	182 Kg/m ³
Gravier 8/15	194 Kg/m ³
Gravier 15/25	813 Kg/m ³
Ciment	350 Kg/m ³
Eau	200 litres
Adjuvant	0%-0.5%-1%-2%

Les résultats (Figure II-3) montrent que les conditions climatiques extérieures affectent considérablement le béton relativement à celui conservé au laboratoire. De plus, on constate sur les courbes obtenues une diminution très significative de la perméabilité lorsqu'un adjuvant est utilisé. Les trois adjuvants SFR 122, S120 et SP40 ont montré leur efficacité vis-à-vis d'un béton soumis à des conditions climatiques préjudiciables. Cette réduction peut atteindre 80% pour un béton exposé à l'air et des dosages en adjuvant de 2%.

L'adjuvant influe directement sur la microstructure du béton, il réduit les zones particulières des vides des aréoles de transition, ce qui favorise l'interconnexion pâte-granat. Connaissant que la perméabilité ne dépend pas de la taille des pores mais de leurs interconnexions, l'adjuvant réduit au maximum les vides et produit un matériau plus compact, et donc, plus durable.

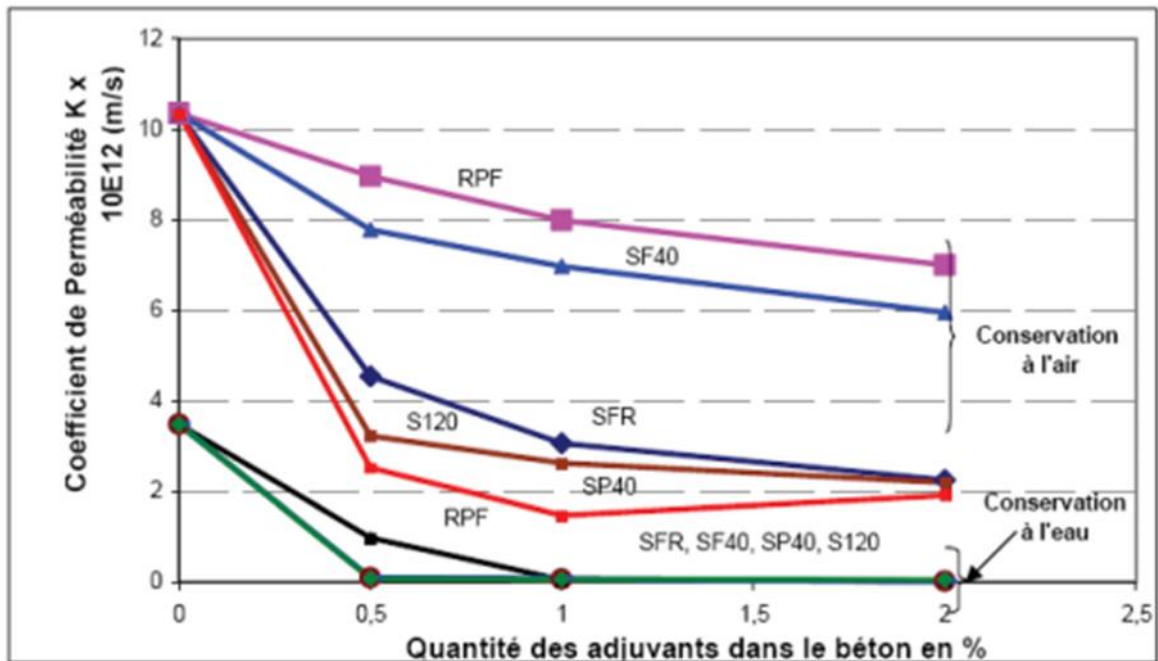


Figure II-3 : Effet des adjuvants sur la perméabilité du béton

Il y a d'autres domaines de valorisation du sable de dune, parmi ces domaines, on peut citer :

- Béton pour constructions de pistes d'aérodrome ; une étude dans ce sens montre la validité du sable de dune pour les couches des roulements dont la résistance minimale est de l'ordre de 15 MPa.
- Dans le domaine des ouvrages routières. [8]

II.10. Caractéristiques principales.

II.10.1. Compositions granulométriques [9]

Les compositions granulométriques représentées par le pourcentage des tamisât sont reportées dans le tableau II.10.

Tableau II.10 : Compositions granulométriques des sables de dune

Tamis (mm) %	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,125	0,08
El-Goléa	100	100	100	99,76	27,13	18,27	9,57	1,46
EL Oued	100	100	100	99,46	91,42	65,59	9,12	0,65
Biskra	100	100	100	99,37	83,84	-	6,89	1,58
Hassi-Bah bah	100	99,98	99,91	99,30	92,71	68,67	4,34	0,57
Ain-Sefra	100	99,99	99,97	99,95	95,86	54,23	2,72	0,01

Ces sables ont une granulométrie fine, (les plus gros grains n'atteignent pas 1mm de taille). [9]

Il y a un autre exemple d'analyse in autre thèse qui a donné les résultats suivants :

La granulométrie est la caractéristique physique essentielle pour l'identification des matériaux puisqu'elle permet de déterminer la répartition des grains suivant leur grosseur. L'analyse

granulométrie effectuée au niveau du laboratoire (LMDC) de l'université d'Adrar, Nous avons compris tous les sables des dunes qui est utilisé par le sable de mer (Oran), sable Normalise et sable carrière). [9]

Tableau II.11 Analyse granulométrique de sable dune - site BAKHALA.

TAMIS	SD			SN	SM	SC
	1	2	3			
6.30						100
5						99.78
4						99.58
3.15						97.56
2.5					100	86.48
2					99.75	71.28
1.6				98.86	95.33	62.58
1.25				70.53	78.8	55.49
0.63	100	100	100	34.69	41.39	35.28
0.5	99.85	99.24	99.81	25.02	36.91	30.17
0.315	54.32	52.43	36.7	13.76	30.15	17.33
0.2	23.88	14.7	10.6	10.3	10.01	6.26
0.16	14.8	7.99	8.2	8.65%	3.28	3.71
0.08	1.16	0.32	0.2	0.44	0.52	0.25
0.063	0.82	0.19	0.06	0.06	0.02	0

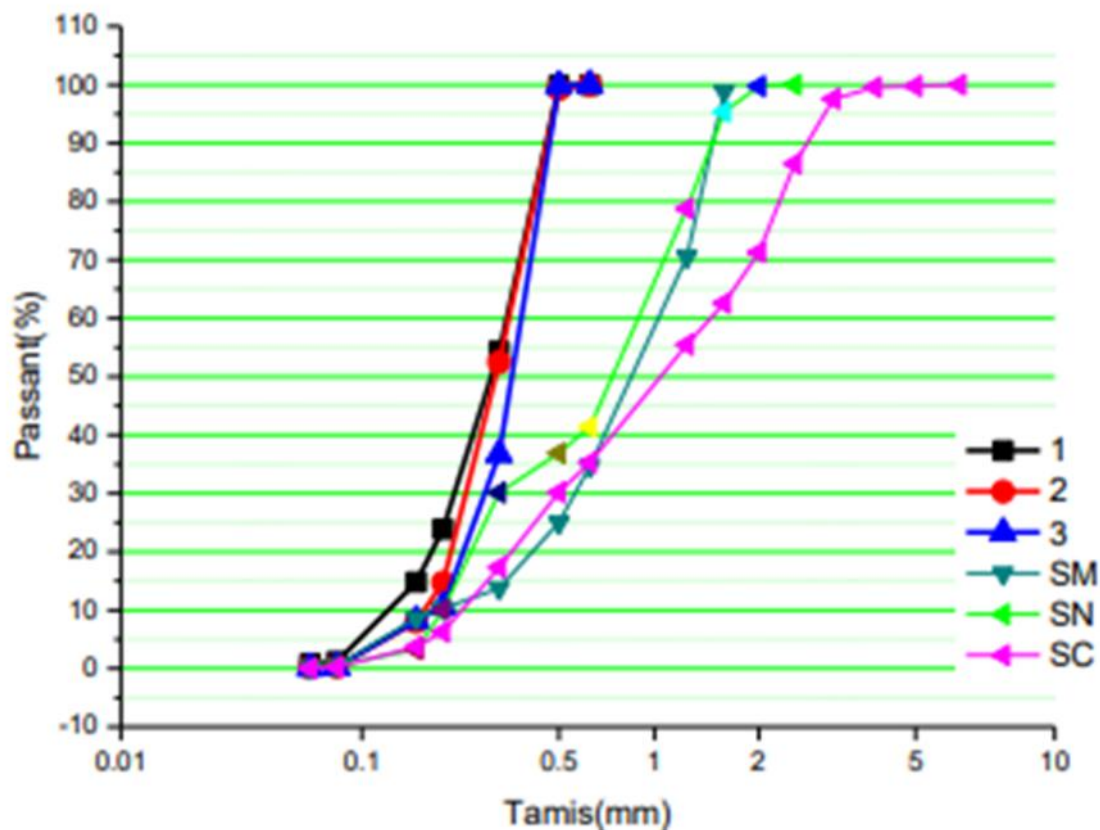


Figure II-4 Courbes granulométriques de sable dune - site BAKHALA.

II.10.1.1. Analyse granulométrique par tamisage (EN933-1 et EN 933-2)

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. On utilise une série de tamis Emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. La courbe qui relie le pourcentage des passants aux diamètres des tamis est appelée courbe granulométrique.

L'essai analyses granulométriques consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoires reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes

Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique :

- 1- Balance et différents poids
- 2- Tamis en mm (20-16-12,5-10-8-6,3-5,4-3,5-1-0,2-0,08)
- 3- Vibreur de tamis



Figure II-5 Vibreur de tamis



Figure II-6 Tamis en mm

Calcule :

- 1- (Pc) : passe cumulée= (en %)
- 2- Et le passant= $100 - (pc)$ Equation 4.3

A partir de l'analyse granulométrique, certains coefficients de classification peuvent être déterminés :

La masse volumique apparente :

1- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

2- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.



Figure II.7. Les matériaux de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad \text{En g/cm}^3 \text{..}$$

M1 : Masse de récipient.

M2 : Masse de récipient remplie.

V : Volume de récipient.

Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301]

La masse volumique absolue est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{p_3 - p_1}{(p_2 - p_1) - (p_4 - p_3)}$$

P1 : Pycnomètre vide.

P2 : 1L+ masse de pycnomètre vide.

P3 : Masse de pycnomètre + masse de sable.

P4 : Masse de pycnomètre + masse de sable + eau. [7]

II.10.1.2. Equivalent de sable (EN 933-8) :

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée. Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins. L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés). [10]

Matériaux utilisés :

- 1- La solution flocculante
- 2- Cylindre gradué
- 3- L'échantillon
- 4- Le piston

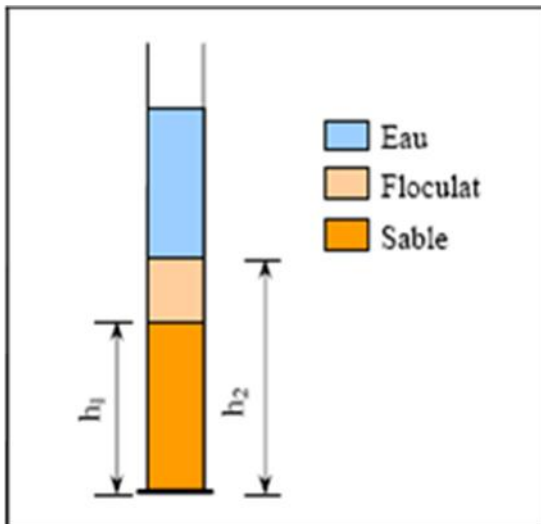


Figure II.8. Détermination de l'équivalent de sable.

Calcul :

L'équivalent de sable est donné par la formule suivante :

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

h_2 : sable propre seulement h_1 : sable propre + élément fins Résultats résumés dans le tableau

suivant: [7]

Tableau II.12 : Résultats Equivalent de sable de sable de dune

	H1	H2	ES (%)	ES Moyenne (%)
ESSAI 1	19	18.90	32.60	32.43
ESSAI 2	6.20	6.10	32.70	

II.10.1.3. Essai au bleu de méthylène (NF P94-068)

L'essai est réalisé selon la norme consiste à déterminer la quantité du bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir d'une couche mono moléculaire la surface des particules d'un matériau en suspension dans l'eau.

La capacité d'adsorption du matériau est déterminée à l'aide du test de la tache. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est le dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide en générale incolore. L'excès du bleu se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole d'un bleu clair. Le test est alors

$$\text{la valeur du bleu } V_b = \frac{\text{quantité du bleu adsorbé (cm}^3\text{)}}{\text{poids sec de la prise (g)}}$$

positif.

Cet essai a le même but que l'essai précédent, mais son avantage est d'être à la fois quantitatif et qualitatif.

- 1- Quantitatif : à nature de fines donnée, plus la teneur en fines sera importante plus la valeur du bleu sera forte.
- 2- Qualitatif : à teneur en fines donnée, plus les fines seront 'actives' plus la valeur de bleu sera également importante. [11]

Module de finesse :

La finesse du sable étudié peut être quantifiée par le calcul du module de finesse M_f . Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture 0.16- 0.315- 0.63- 1.25- 2.5 et 5mm.

Le module de finesse représente, en quelque sorte, et de manière approchée, la surface comprise entre la courbe granulométrique et l'axe horizontale supérieure du graphe.

Il est noté M_f et exprimé par la formule suivante :

$$M_f = \sum \frac{(\text{r} \quad \text{ctén} \quad \text{e \% pé r} \quad \text{d ta} \quad .1 \quad 0.3 \quad 0.6 \quad 1.2 \quad 2.5 \quad 5)}{1} \quad [7].$$

Lorsque M_f est compris entre :

- 1- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 3- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier.

Les résultats et résumé dans le tableau II.9 suivants :

Tableau II.13 : tamisage de sable de dune << SD1 >>

TAMIS	Refus cumulés		Tamisat	Module de Finesse
Dia mm	Poids	%	%	%
6.30				0.90
5			100	
2.50			100	
1.25			100	
0.63	21.33	2.13	97.87	
0.315	57.3	5.73	94.27	
0.16	825.89	82.59	17.41	
0.8	973.13	97.31	2.96	

II.10.2. Composition minéralogique :

Des tests effectués sur la composition minéralogique des sables provenant des différentes régions ont permis de constater que :

- Le quartz forme plus de 85% du sable : les grains sont généralement arrondis et parfois anguleux.
- La calcite se manifeste par des grains de couleurs différentes variant autour de 5% ; ils ne dépassent en aucun cas les 10%.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins, de couleur blanchâtre avec des pourcentages ne dépassant pas les 2 à 3%.
- On peut également trouver dans certains gisements du feldspath, son pourcentage ne dépasse pas les 4%. [9]

II.10.3. Caractéristiques physiques :

On peut regrouper les propriétés moyennes des différents sables étudiés dans le tableau II.14:

Tableau II.14 : Propriétés physiques des sables du Sud [6]

Région	Humidité naturelle en %	Masse volumique apparente (Kg/m3)	Masse volumique absolue (Kg/m3)
El-Goléa	0,34	1590	2500
EL-Oued	2,60	1420	-
Biskra	1,40	1510	-
Hassi-Bah Bah	2,62	1550	-
Ain-Sefra	0,50	1485	2660

II.10.4. Composition chimique :

Les sables de dune sont caractérisés par une teneur relativement importante de silice (SiO₂). Les résultats des analyses chimiques sont regroupés dans le tableau II.15 :

Tableau II.15 : Compositions chimiques des sables du sud [9]

Région	El-Goléa	EL Oued	Biskra	Hassi-Bah bah	Ain-Sefra
SiO₂	94,88	86,85	67,90	94,50	96,86
Al₂O₃	1,28	1,15	0,65	1,67	0,89
Fe₂O₃	0,54	0,40	0,50	0,25	0,39
CaO	0,97	5,81	15,88	1,43	0,66
MgO	0,63	0,30	0,60	0,10	0,09
SO₃	0,52	0,24	0,79	0,65	0,29
K₂O	0,25	0,37	0,16	0,22	0,32
Na₂O	0,14	0,08	0,09	0,23	0,02
TiO₂	0,12	-	-	-	0,08
MnO	0,04	-	-	-	0,05
Cl	0,04	0,004	-	-	-
P-F	1,00	4,60	13,33	1,43	-

Des recherches ont été effectuées par **M. Benmalek** sur le béton de sable de dune de la région de Laghouat, afin d'étudier les performances de béton de sable de Laghouat, il a déterminé les caractéristiques physico-chimiques de sable dunaires de trois régions (Laghouat, Djelfa et Ghardaïa), le sable de la région de Laghouat a été choisi pour ces travaux après les avoir comparés aux caractéristiques élargies aux sables dunaires des régions de Hassi-Bah bah, Ouargla et El-Goléa étudiés par le **CNERIB**.

Dans le tableau II.16 sont regroupées les caractéristiques physico-chimiques de sable dunaire de différentes régions :

Tableau II.16: Caractéristiques physico-chimique de sables dunaires de différentes régions [12]

	Hassi-Bah bah (*)	Djelfa	Laghouat	Ghardaïa	Ouargla (*)	El-Goléa (*)	
Granulométrie	Continue 3% de fines	Continue 1,2 % de fines	Continue 1,8 % de fines	Continue 2,4 % de fines	-	-	
Classe (0/d) En mm	0 /0,425	0 /0,63	0 /0,63	0 /0,425	0 /0,425	0 /0,50	
Module de finesse	1,13	1,11	1,20	1,10	0,93	1,47	
Densité apparente (kg/m3)	1459	1540	1480	1520	1644	1774	
Densité absolue (kg/m3)	2549	2655	2630	2764	2627	2570	
Porosité en (%)	42	42	44	45	42	34	
Compacité en	58	58	56	55	58	66	
Propreté	ES a vue	92	94	93	88	94	93
	ES piston	81	89	89	80	84	88
Eléments nocifs en (%)	Matières organiques	Néant	1,14	Néant	Néant	Néant	Néant
	Sulfates et sulfures	Néant	0,55	0,91	0,69	Néant	Néant
	Chlorures	-	0,00035	0,0007	0,00053	-	-

(*) : valeurs des caractéristiques recueillies auprès du CNERIB.

Nous pourrions citer également d'autres travaux réalisés sur le béton de sable de dune de la région de Laghouat en occurrence **M. Hadjouja** dont l'étude a porté sur la contribution à l'étude physico-mécaniques et durabilité de sable de dune (influence du traitement de cure et à l'ajout des fillers. D'autre part une étude de caractérisation mécanique et, microstructure de béton de sable locaux (effets de fillers) a été établi par **M. Bedrina.Elaboration** et caractérisation d'un béton à base de sable dunaire et de sous-produits industriels par **M. Benmalek et R.Derabla**.

Finalement L'étude des caractéristiques des sables de dune du Sud Algérien a montré qu'ils possèdent, presque en totalité, les mêmes caractéristiques, à l'exception de ceux de la région de Biskra ; et la région d'El Goléa qui possède une compacité acceptable (66%) comparable a celles des sables pour béton traditionnel. Cette conclusion permet de généraliser toute étude à d'autres régions.

Les sables présentent des caractéristiques chimiques et physiques très favorables à l'utilisation en construction, telles que leur propreté (l'absence quasi-totale d'éléments argileux), et leur composition chimique siliceuse (présentant les meilleures performances mécaniques) [6].

Il y a un autre résultat de l'analyse chimique de ce sable de dune est donné dans le tableau II.17 qui suit :

Tableau II.17 Analyse chimique du sable de dune.

Résidus insolubles (SiO ₂) %	95,87
Teneur en sulfate (SO ₃) %	0,91
Matières organiques MO%	-----
Teneur en chlorures %	0,36
Carbonate de Calcium CaCO ₃ %	2.5

Les résultats ci-dessus montrent que les sables utilisés sont des sables siliceux, car, ils sont constitués principalement de silice (SiO₂).

Le diffractogramme de la figure II.9 obtenu par analyse minéralogique de ce sable, menée par rayons X au diffractomètre, confirme la présence du composant minéralogique de l'espèce SiO₂ (silice).

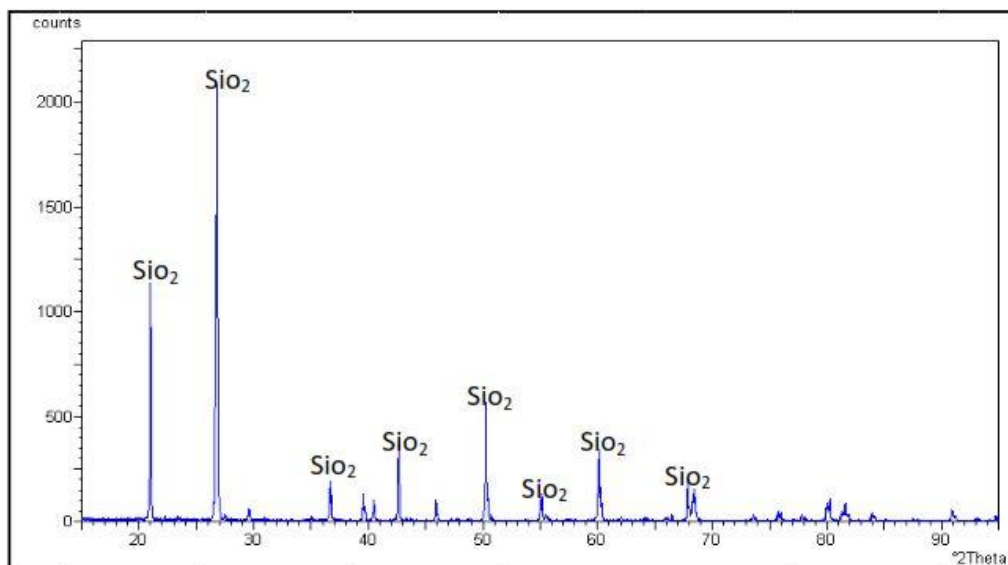


Figure II.9. Diffractogramme aux rayons X du sable de dune



Figure II.10. Diffractomètre aux rayons X de l'université de Laghouat.

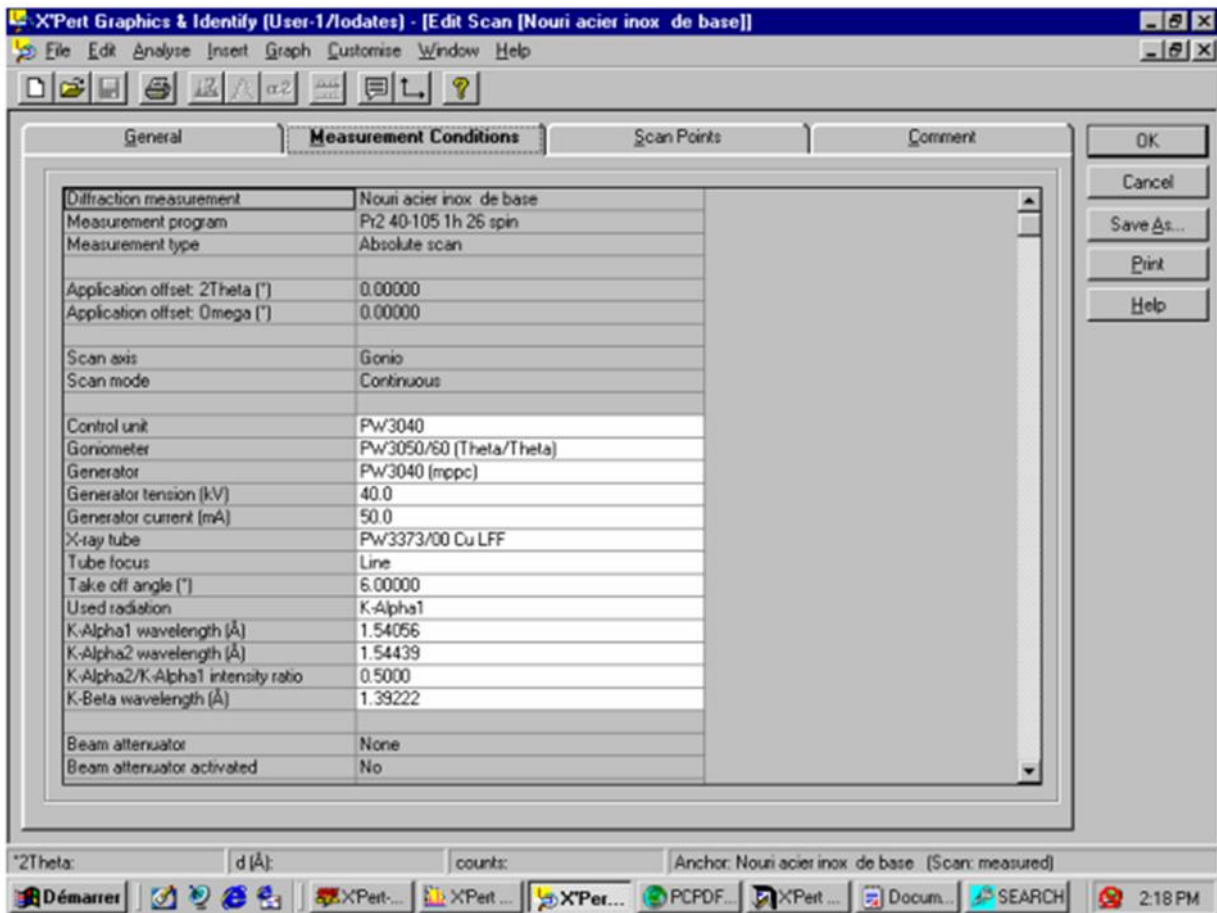


Figure II.11. Paramètres de diffractomètre

Une photo du sable dunaire à grande échelle visualisé par microscope électronique à balayage (M. E. B), effectué par **M. Bedrina** au laboratoire de l'I.U. T d'Amiens en France montre que la majorité des grains possèdent des formes arrondies avec une faible angularité (figure II.8.)

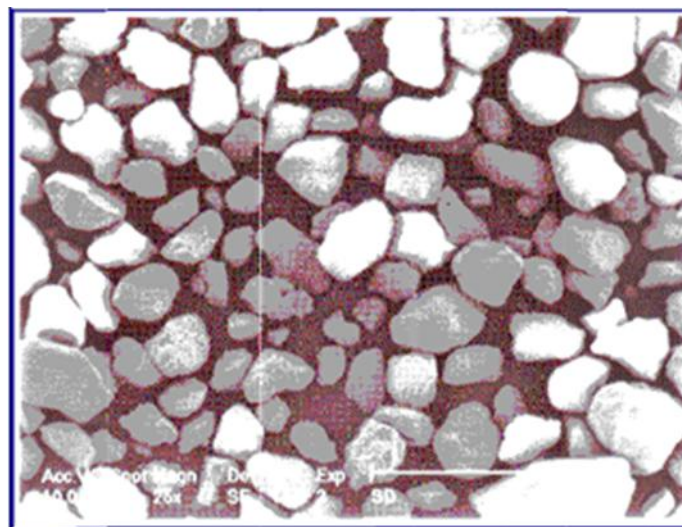


Figure II.12 Vu général (à grande échelle, MEB.) du sable de dune. [8]

Un autre résultat qui sa donne la caractéristiques chimique et minéralogique du sable des dunes Sud de la willaya d'Adrar [13]

Tableau II.18 Composition chimique des sables de la dune.

Composition		Symbole	Unité	Tiloline	Inzgmir	Tabarkanet	Sali	Reggane	Aoulef
Minéralogique	Calcaire total	CaCO ₃	%	0.62	6.23	3.23	0.83	0.83	0.42
	Calcaire actif	CaCO ₃	%	-	3	-	0	0	0
	Gypse total	CaSO ₄	%	0.003	1.223	0.05	0.035	0.018	1.089
Chimique	Ph (1/2.5)	Ph	-	8.66	8.72	8.72	8.72	8.99	8.78
	Conductivité électrique	CE	Ms/cm	0.15	4.19	0.52	0.18	0.20	1.61
	Sulfate	So ²⁴	méq/l	0.3266	0.5971	0.133	0.334	0.177	0.40
	Chlorure	Cl ⁻	méq/l	0.0008	0.0971	0.0087	0.002	0.0008	0.007
	Carbonate	Co ₃ ⁻²	méq/l	-	-	-	-	-	-
	Bicarbonate	HCo ³⁻	méq/l	0.0076	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045

Aussi autre résultat d'analyse chimique sont effectuées au niveau de laboratoire de LTPO d'Oran, elles sont résumées dans le tableau suivant : [7]

Tableau II.19 Analyse chimique de sable de dune.

Éléments	La silice brute (HCL et NH ₄ CL)	Dosage de l'oxide de calcium (Cao)	Dosage de l'oxide de fer (feo ₃)	Dosage de l'alumine (Al ₂ o ₃)	L'anhydride sulfurique (So ₃)	Evaluation des carbonates (caco ₃)
%	89.7	1.63	0.35	0.30	Nul	1.87

II.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé la définition du sable de dunes, ainsi que son origine, ses formes et ses zones d'existence, et les différents usages de cette substance, en plus de son importance économique car elle est considérée comme un matériau essentiel dans l'industrie du verre. Outre son entrée en tant que composante importante dans le domaine de la construction et des travaux publics, nous avons donc présenté quelques recherches mondiales et nationales sur la composition granulaire et minérale et les caractéristiques physiques et chimiques, Afin d'en savoir plus sur l'importance de cet article dans l'économie nationale, d'autant plus qu'il couvre une très grande partie du désert algérien, ce qui a entraîné le problème de la désertification en déplaçant ce sable dans les régions du nord et dans le prochain chapitre, nous aborderons les expériences antérieures des chercheurs pour découvrir la possibilité d'utiliser du sable de dunes dans le béton avec l'ajout de certains déchets.

Chapitre III :

**CARACTÉRISATION DU BÉTON DE
SABLE DE DUNE AVEC DIFFÉRENT
DÉCHETS.**

III.1. Introduction.

La valorisation des matériaux locaux non exploités dans la construction est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays, notamment des pays en voie de développement. C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la recherche des nouveaux bétons capables de résoudre les problèmes économiques et techniques rencontrés dans le domaine de la construction. Parmi ces matériaux, on trouve dans notre région le béton de sable de dune qui est défini comme étant un béton qui ne comportant plus de gravillons ou quantité faible. Il a fait actuellement l'objet des différentes recherches dans lesquelles, il a été montré que, parfois, le béton de sable avec ou sans ajout peut concurrencer le béton traditionnel dans certains usages. Il possède des propriétés spécifiques intéressantes, telles que la résistance, l'absence de ségrégation, le bel aspect de surface et la petite granularité, qui favorisent son utilisation dans certaines structures. Par ailleurs, la réutilisation des différents déchets qui constituent une gêne environnementale sans parler de coûts d'élimination améliore les caractéristiques de BS [14].

Dans ce chapitre, nous présenterons le béton du sable et leur caractéristique physique et mécanique ainsi des essais précédents de l'ajout des quelques déchets pour améliorer leur caractéristique.

III.2. Etude théorique et bibliographique :

III.2.1. Définition du béton de sable

La norme Française A.F.N.O.R. NF P18 500 [15] définit le béton de sable comme suit : « Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau ; admettre une quantité de gravillons. L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation « béton de sable » tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7 (G= gravillon ; S= sable), L'amélioration du comportement du matériau peut nécessiter parfois l'ajout de fines et de fibres. Les dosages en ciment et eau ainsi que leurs performances mécaniques et leurs déformations différées permettent de le distinguer des mortiers.

Le matériau trouve son origine dans le « béton aggloméré » mis au point par François Coing vers la fin du 19^{ème} siècle. Ce mélange était constitué de ciment, chaux, sable et eau. On retrouve cette technique dans l'édification de la tour de Port Saïd en Egypte [52 mètres]. Cependant, le pays où il a été le plus utilisé est incontestablement l'ex URSS. On le retrouve, sous sa formulation moderne, dans la construction du Port de Kaliningrad et du port CHERNAVSKIF à Voroney [Chauvin, 1992].

Après la fin du second conflit mondial, le professeur Rebinder [SABLOCRETE, 1994] reprit les travaux scientifiques, ce qui a rendu possible la construction de nombreux aérodromes. Le développement de ce béton a autorisé son utilisation à plusieurs ouvrages.

III.2.2. Les composants de béton de sable :

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants...

III.2.2.1. Sables

Tous granulats conformes aux définitions des normes NF P 18- 540 [16] et NF P 18-101 il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté.

III.2.2.2. Les fines d'ajout (filler)

Les fillers sont des produits sous forme de poudres, ils sont obtenus par broyage fin de certaines roches (calcaire, basalte...) naturelles ou non. Ils font partie des ajouts soit dans la confection des bétons et plus encore dans la formulation d'un béton de sable.

Grace à leur granularité qui est presque semblable à celle du ciment, ils contribuent à une augmentation de certaines propriétés du mortier ou du béton, ils diminuent la perméabilité et la capillarité ainsi que la fissuration qui peut se produire dans les mortiers et les bétons.

Les fillers sont alors des additifs très utiles pour la confection des mortiers et bétons qu'on doit exploiter car ils ont des couts faibles par rapport au ciment.

Les fillers sont inertes, n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau, ils sont classés dans 0/D lorsque $D \leq 0.08$ mm selon la norme NFP 18-101. [17]

La qualité essentielle du béton d'une façon générale est sa compacité basée sur les paramètres :

- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- L'énergie de mise en place.

La différence entre un béton classique et un béton de sable réside principalement dans la granulométrie. L'optimisation de la compacité en relation avec la granulométrie obéit à certaines règles : les éléments les plus fins se logent dans les vides des éléments les plus gros, dans le béton classique, on parle des éléments les plus gros (10 à 20 mm) ils créent macrolides que l'on peut remplir par le sable.

Dans le béton de sable en remplir ce vide avec de ciment et des fillers, la quantité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité, cette concordance entre besoin en fines et dosage en ciment se traduit par la règle :

$$C = 550\sqrt[5]{D} \text{ Ou } C = 700\sqrt[5]{D} \text{ selon l'usage du béton}$$

C : dosage minimum en ciment.

D : Diamètre de granulat.

Tableau III.1 : Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment

Granularité	${}^5\sqrt{D}$	$550/{}^5\sqrt{D}$	$700/{}^5\sqrt{D}$	
0/25	1.904	290	370	BETON
0/20	1.821	300	385	
0/16	1.741	315	400	
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	
0/4	1.320	415	530	MORTIER
0/2	1.149	480	610	
0/1	1.000	550	700	

On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fins calcaires, ou de broyage de roches massives...) Les dosages en fines d'addition seront souvent importants : entre 70 et 220 Kg/m³ et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influencer grandement sur les caractéristiques de la formule employée. On peut constater que, à dosage constant en fines d'addition :

- La maniabilité est améliorée quand le rapport eau/ciment augmente :
- Pour un rapport eau/ciment fixé, la maniabilité dépend de la nature et du dosage en fines d'addition.

a) Filler calcaire :

Le filler calcaire n'est pas considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif. Son avantage est sa finesse qui peut être utilisée pour optimiser la granulométrie de mélanges de béton. L'addition de filler calcaires peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fin, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable. Les fillers peuvent également influencer l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fin, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable. Les fillers peuvent également influencer

l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton.



Figure III.1. Poudre de filler calcaire.

b) Fumé de silice

Les fumées de silice sont des résidus évacués de la chambre de combustion d'un four destiné à produire du silicium ou des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de $0.1 \mu\text{m}$ (**Figure III.1**), leur surface spécifique est de l'ordre de 20 à 25 m^2/g . Lorsque les microsphères sont bien dispersées, elles vont s'empiler dans les espaces interstitiels restés vides entre les grains de ciment qui possèdent un diamètre moyen environ 100 fois plus élevé. Ces fines particules améliorent les propriétés rhéologiques du mélange (fluidité. Diminution de la ségrégation et du ressuage). Leur grande finesse et leur structure vitreuse en font un produit très réactif. Elles permettent aussi d'obtenir une pâte plus dense car le squelette granulaire est plus compact.

La grande finesse et surface spécifique des fumées de silice tendent à augmenter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la même maniabilité qu'un béton sans fumée de silice. Cependant, en présence d'un super plastifiant et utilisées en petite quantité pour des bétons ayant un faible E/C, les fumées de silice peuvent augmenter quelque peu la quantité d'eau libre dans le mélange de béton et accroître sensiblement la maniabilité. De plus, les fumées de silice augmentent la cohésivité du béton et diminuent donc le ressuage et la ségrégation.



Figure III.2 : Fumé de silice (forme de poudre)

L'utilisation de fumées de silice à des dosages de 7 à 15% par rapport à la masse de ciment, permet au béton d'atteindre des résistances mécaniques élevées, et permet aussi d'avoir des bétons plus denses et plus imperméables, donc plus durable. Cependant, étant donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton, la cure du béton doit être bien effectuée. Par son effet filler et par la formation d'une phase liante, la fumée de silice contribue donc au renforcement des propriétés mécaniques du matériau durci. Les caractéristiques des interfaces pâte- granulat (zone de transition poreuse) en sont grandement améliorées : absence de cristaux de grandes dimensions et orientés, absence de concentration de fissures, meilleure cohésion et meilleure adhérence pâte - granulat. L'augmentation de la qualité des interfaces a un impact direct sur la microfissuration initiale et le processus de fissuration

III.2.2.3. Les ciments :

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. [18] Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine.

Classification des ciments en fonction de leur composition : Les ciments constitués de clinker et des constituants énumérés sont classés, en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P 15-301 et EN 197-1. [19] Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (l'ancienne notation française est indiquée entre parenthèses) :

- CEM I : Ciment Portland Artificiel (CPA).
- CEM II : Ciment Portland Composé (CPJ).

- CEM III : Ciment de Haut Fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment Pouzzolanique (CPZ).
- CEM V : Ciment composé (ou ciment au laitier et aux cendres : CLC).

Tableau III.2: Composition chimique et minéralogique de (CPJ-CEM II / 42.5A)

Composition chimique (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Résidu insoluble	SO ₃	Chaux libre	Cl ⁻	PAF
20.43	5.37	3.00	61.69	1.80	1.12	2.20	0.97	0.027	5.03
Composition minéralogique (%)									
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF			
64.14		10.54		9.16		9.12			

Classification des ciments en fonction de leur résistance à la compression : La norme européenne NF EN 197-4 [20] classe les ciments courants d'après leur résistance à la compression voir (Tableau III.3).

Tableau III.3. : Résistance à la compression des ciments.

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32.5 N	-	16.0	32.5	52.5
32.5 R	10.0	-		
42.5 N	10.0	-	42.5	62.5
42.5 R	20.0	-		
52.5 N	20.0	-	52.5	-
52.5 R	30.0	-		

III.2.2.4. L'eau :

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18- 303. [21] L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables.

III.2.2.5. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons

traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiant ou super plastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins.

Tableau III.4. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment

ADJUVANTS	DOSSAGE EN %
Plastifiants	0.15 à 1.2
Superplastifiants	0.6 à 2.5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0.8 à 2
Retardateurs de prise	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraineurs d'air	0.05 à 3
Rétenteurs d'eau	0.03 à 2

a) Super-plastifiants-hauts réducteurs d'eau :

Les superplastifiants permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné (haut réducteur d'eau), ou sans modifier la teneur en eau, d'augmenter considérablement l'affaissement/l'étalement ou de produire les deux effets à la fois.

Les superplastifiants sont normés selon la NF EN 934-2 [22] , et permettent :

- 1- Réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage tout en maintenant la maniabilité,
- 2- Augmenter la maniabilité tout en conservant les performances.
- 3- Réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en termes de résistances mécaniques initiales et finales élevées.
- 4- Diminution de la porosité et accroissement de la durabilité.

Effets sur le béton frais : Les superplastifiants permettent d'augmenter la maniabilité du béton frais, ce qui lui permet d'être mis en place plus facilement. Ils peuvent ralentir le temps d'hydratation du ciment.

Effets sur le béton durci : Les superplastifiants permettent d'augmenter la résistance mécanique et la durabilité du béton durci mais peuvent réduire sa perméabilité.

b) Plastifiants-réducteurs d'eau :

Les plastifiants permettent de modifier la consistance, de réduire la teneur en eau du béton donné (Réducteur d'eau), ou sans modifier la teneur en eau, d'augmenter l'affaissement / l'étalement ou de produire les deux effets à la fois.

Les Plastifiants sont normés selon la NF EN 934-2 [22] d'avril 1998.

Ils permettent :

- 1- Augmenter la compacité du béton entraînant une amélioration des résistances.
- 2- Faciliter la mise en place du béton.
- 3- Augmenter la maniabilité tout en réduisant l'eau de gâchage.
- 4- Réduire la ségrégation.

a) Accélérateur de durcissement :

Les accélérateurs de durcissement augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.

Les accélérateurs de **durcissement** sont normés selon la NF EN 934-2 [22] d'Avril 1998, puisque la vie du béton passe par trois phases essentielles :

- 1- Plastique : fabrication, transport et mise en œuvre.
- 2- Prise : perte de maniabilité, faibles résistances mécaniques.
- 3- Durcissement : augmentation des résistances mécaniques.

Les accélérateurs de durcissement permettent d'accroître la vitesse de montée en résistance du béton.

c) Retardateurs de prise :

Les retardateurs de prise permettent de retarder le début de prise du béton. Ils sont normés par la NF 934-2 [22] d'avril 1998 et permettent :

- 1- D'augmenter le temps de début de prise.
- 2- De réguler le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

b) Entraîneurs d'air :

Les entraîneurs d'air permettent : d'entraîner, à l'intérieur du béton, des microbulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci, d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel, ils sont normés par la NF EN 934-2 [22] d'avril 1998, et permettent :

- 1- Entraîner à l'intérieur du béton, des microbulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci.
- 2- Améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel et des sels de déverglaçage.

3- Faciliter la mise en œuvre du béton.

c) **Accélérateurs de prise :**

Les accélérateurs de prise permettent de diminuer le temps de début de prise du béton, ils sont normés par la NF EN 934-2 [22] d'avril 1998 et permettent :

- 1- Réduire les temps de prise.
- 2- Mettre le béton hors gel.
- 3- Augmenter la rotation des coffrages.

d) **Hydrofuge de masse :**

Les hydrofuges de masse permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques. Ils sont normés selon la NF EN 934-2 [22] d'avril 1998, Ils se combinent à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du mortier ou du béton.

Les hydrofuges de masse permettent :

- 1- Réduire la perméabilité et l'absorption capillaire du béton.
- 2- Réduire l'apparition des efflorescences.

III.2.3. Formulation d'un béton de sable :

La formulation d'un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques répondant à des critères techniques et économiques puis à combler la porosité de cet empilement avec la pâte de ciment. Cette pâte elle-même étant caractérisée par le rapport E/C pour viser une maniabilité à court terme et une résistance et durabilité à long terme. Le problème de la formulation d'un béton se pose principalement en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité définie comme le rapport du volume solide sur le volume total, correspond au complément à l'unité de la porosité. Les méthodes classiquement utilisées sont celles des bétons ordinaires avec des adaptations compte tenu de la grande quantité de fines utilisée.

Formuler un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques. Les bétons de sables font partie de ces nouveaux bétons aux propriétés spécifiques intéressantes (fine granulométrie, ouvrabilité...), pour lesquels la démarche de formulation demeure très empirique

L'approche théorique ajustée expérimentalement est utilisée pour la formulation des mélanges de bétons de sable donne la composition de mélanges réalisé suivante :

- La mise au point de la composition finale du béton de sable fibré d'après **H. SUIFFI, A. EL MALIKI, O. CHERKAOUI, M. DALAL** [23] nécessite l'étude de l'influence des paramètres des fibres. L'intérêt s'est porté sur l'influence du diamètre et du dosage sur le

comportement mécanique des mortiers. Dans ce sens, ils ont mené une série de formulations avec des variations du taux d'ajout des fibres (PP) allant de 0,05 à 0,5%.

▪ L'étude expérimentale de **REZIG Salim** [24] qui est divisée en deux parties :

✓ **Première partie** : étude de la formulation du béton de sable, en utilisant un ciment (CPJ CEM II /42.5 A), de filler calcaire, de la fumée de silice, de superplastifiant (MEDAPLAST SP 40) et l'utilisation de cinq rapports d'eau / ciment (0,80-0,75-0,70-0,65-0,60).

✓ **Deuxième partie** : étude de la formulation du béton de sable de fibres végétales, et pour étudier l'effet du type de cure sur ces fibres, on a soumis les éprouvettes à deux types de cure (air du laboratoire, eau) ; et puis l'étude de la résistance à la compression, à la traction et à la flexion de l'âge de 7,14 et 28 jours et le contrôle de retrait du béton pendant 28 jours.

Cette étude [24] a démontré que l'utilisation des sables de dune, et l'utilisation de la fumée avec un superplastifiant ont un effet positif sur le comportement rhéologique et mécanique du béton de sable ; elle a démontré aussi que le béton de sable de fibres du palmier dattier donne de résultats meilleurs que le béton de sable de fibres d'alfa, et le béton qui a été traité dans l'air du laboratoire est mieux que le béton qui a été traité dans l'eau, cette différence dans les résultats est due à l'effet de l'eau sur la fibre végétale.

III.2.4. Maniabilité :

Les bétons de sable nécessitent un volume de mouillage important par rapport aux bétons ordinaires et donc, un rapport E/C plus élevé (supérieur à 0,5) que l'on peut réduire en ajoutant des additions en fines, des fluidifiants et des superplastifiants. A noter que la quantité d'eau dépend aussi de la granulométrie du sable : plus ce dernier contient beaucoup d'éléments grossiers, plus la maniabilité augmente. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité [24]. Les rapports élevés de E/C s'expliquent par une surface spécifique plus importante du mélange ; d'ailleurs dans ce béton, on ne raisonne plus par rapport à E/C (eau/ciment) mais à E/L (eau/liant), liant étant l'ensemble des particules fines y compris le ciment.

III.2.5. Durabilité des bétons de sable :

Comme un béton classique, le béton de sable a les mêmes facteurs influent sur la durabilité : porosité, fissuration, corrosion des armatures, agressions chimiques..., c'est de la même façon qu'on y remédie, essentiellement en recherchant la compacité, c'est-à-dire en prenant en compte la granulométrie des constituants et leur complémentarité. Les soins dans la formulation et la fabrication, l'utilisation d'adjuvants appropriés et le respect de quelques règles élémentaires à la mise en œuvre sont autant de gages pour obtenir des bétons de sable compacts et durables. Enfin les données sur la durabilité sont encore peu nombreuses.

L'estimation de la durabilité se fera par conséquent à l'aide d'essais de perméabilité à l'eau et à l'air, de mesure de la carbonatation et de la pénétration des ions chlore. Les conclusions suivantes ont été faites vis-à-vis des attaques physico chimiques [SABLOCRETE, 1994] [14].

- La perméabilité à l'eau du béton de sable est plus faible que celle d'un béton ordinaire (2,5.10⁻¹² contre 10-10 m/s), quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats inférieurs ou comparables pour des bétons de sable optimisés.
- La profondeur de carbonatation en ambiance naturelle pourrait être importante du fait de la faible dimension des pores (< 10µm) et de l'absorption initiale.
- Le comportement à la pénétration des ions chlore est comparable à celui des bétons traditionnels.

III.2.6 Retrait et Fluage

Pour exprimer ce phénomène dans le béton de sable nous citons ce que nous trouvons dans le projet français sur le béton de sable (SABLOCRETE) [14].

Les essais ont été faits parallèlement, dans le temps, sur un béton de sable (BS) et un béton ordinaire (BO) de même niveau de résistance à la compression à 28 jours (25 MPa). Il a été mis en évidence une cinétique de fluage propre du BS semblable à celle du BO, alors que la cinétique de dessiccation est notablement différente de celle du BO. Pour les deux natures de fluage, les valeurs du BS sont à peu près deux fois plus importantes que celles du BO. Autre résultat important : le fluage de dessiccation du BS se manifeste en présence d'un séchage tout à fait uniforme.

Le polypropylène [25] a une faible densité, la meilleure résistance chimique et environnementale, un point de fusion élevé, un faible coût et une résistance au fluage. Le polypropylène est utilisé pour les bouteilles, les récipients médicaux, les tuyaux, les feuilles, les meubles, les articles ménagers, et les récipients à glace.

Le phénomène du retrait hydraulique a été beaucoup étudié, parce qu'il est en liaison avec la tendance à la fissuration des liants durcis qui représentent le premier signe de leur dégradation. Les facteurs qui influent sur ce retrait sont nombreux [24] :

- Le retrait varie avec l'humidité relative et la température du milieu environnant. Il est d'autant plus important, que l'humidité de l'air est plus faible et la température plus élevée.
- Le retrait est d'autant plus grand que l'hydratation du ciment est plus accentuée. Les ciments finement broyés présentent un retrait plus grand que ceux qui ont été broyés grossièrement.
- La composition minéralogique du ciment influe sur le retrait, surtout si le ciment est riche en aluminat tricalcique.
- Le retrait dépend aussi des adjonctions minérales pulvérulentes ainsi que de la fraction fine de granulats.

- La forme des ouvrages et les armatures ont leur effet sur le retrait. Dans le cas des barrages, des murs épais, le retrait est négligeable ; par contre il peut être appréciable dans le cas des planchers, des dalles des enduits.
- Le fumé de silice réduit le fluage. [6]

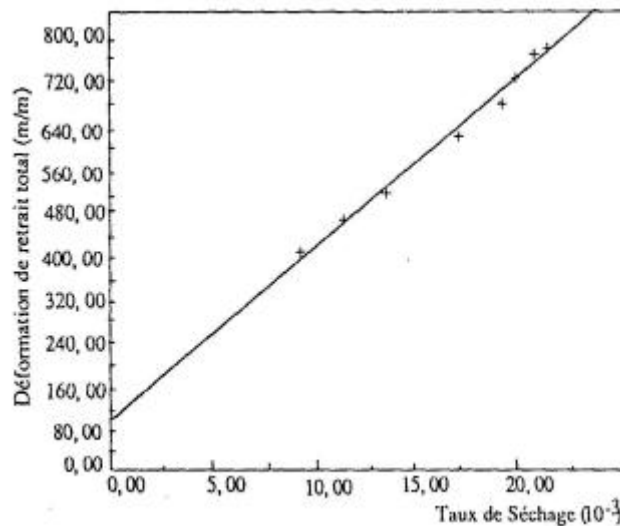


Figure III.3. : Retrait total en fonction du taux de séchage BS

III.2.7 Résistance au gel et au dégel :

Les mécanismes de dégradation du béton sont liés à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordres est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations.

Il est généralement admis que l'accroissement de volume, de l'ordre de 9 %, accompagnant la transformation de l'eau en glace (le béton contient toujours de l'eau non combinée, une partie de cette eau gèle dès que la température descend de quelques degrés en dessous de 0 °c) n'est pas la seule cause de la dégradation du béton. Dans la zone atteinte par le gel, des cristaux de glace se forment dans les plus gros capillaires, créant un déséquilibre thermodynamique qui va déclencher une migration de l'eau des capillaires les plus fins vers les capillaires dans lesquels l'eau est gelée (l'eau dans les capillaires les plus fins restant à l'état liquide). C'est l'accroissement des pressions hydrauliques dans les capillaires, engendré par ces mouvements de l'eau interne non gelée vers les « fronts de congélation », ainsi que les pressions osmotiques créées par les différences de concentrations en sels dissous entre l'eau située à proximité de l'eau gelée et celle non gelée (présente dans les capillaires fins), qui est considéré aujourd'hui comme la cause principale des dégradations.

III.3 Présentation des études précédentes :

III.3.1. Formulation et maniabilité :

La formulation d'un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques répondant à des critères techniques et économiques puis à combler la porosité de cet empilement avec la pâte de ciment. Cette pâte elle-même étant caractérisée par le rapport E/C pour viser une maniabilité à court terme et une résistance et durabilité à long terme. Le problème de la formulation d'un béton se pose principalement en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité définie comme le rapport du volume solide sur le volume total, correspond au complément à l'unité de la porosité. Les méthodes classiquement utilisées sont celles des bétons ordinaires avec des adaptations compte tenu de la grande quantité de fines utilisée.

▪ BELMECHRI Oum Habiba [10] :

L'étude a fixé le dosage en ciment et défini la quantité de fillers nécessaires pour une compacité et une résistance maximale de bétons. L'étude a fait ressortir clairement que quelque soit le type de sable utilisé, la densité du béton (et donc sa compacité) augmente avec l'augmentation de la quantité de fillers. Or un gain de compacité s'accompagne toujours d'un gain de résistance. Partant d'un sable donné (sable de dune) et d'un dosage en ciment fixé a priori, elle détermine la quantité de fines minérales (fines de briques) à substituer au sable de dune pour obtenir une compacité maximale du béton. Puisque En sachant que, plus le béton est compact, plus il est résistant et imperméable.

Après avoir déterminé la composition optimale du béton de sable (matrice), l'auteur procède à l'allègement du matériau par incorporation dans la matrice des granulats de polystyrène expansé en forme de billes. Les mêmes compositions optimales de rapports C/S = 1/3 et C/S = 2/3 ont été utilisées, avec la même teneur en fines de briques fixée à 15%, pour les deux catégories de bétons (1/3 et 2/3). Les dosages pondéraux en granulats PSE du béton de polystyrène sont déterminés par rapport au poids du sable utilisé. [10] a fait varier le dosage en PSE de 0.2% à 1,2% avec un pas de 0.2%. Les propriétés des bétons légers élaborés seront bien entendu confrontées aux mêmes propriétés des bétons témoins des deux catégories (1/3 et 2/3) et confectionnés selon les mêmes procédés de mise en œuvre et de dosage en sable, ciment, fines et eau. Cependant, le seul paramètre variable d'un mélange à l'autre est le dosage en billes de polystyrène expansé.

Pour étudier l'ouvrabilité de béton et pour apprécier son écoulement en fonction de la teneur en fines, et déterminer le rapport E/C permettant de procurer les meilleures résistances mécaniques. Six (6) compositions de différents dosages en fines ont été testées, et ce pour les

deux dosages en ciment ($C/S=1/3$ et $C/S=2/3$). Le pourcentage en fines varie de 5% à 30% avec un pas de 5%, tandis que le rapport (E/C) varie de 0,50 à 1,00 pour la composition 1/3 et de 0,35 à 0,70 pour la composition 2/3. Pour chaque composition, l'auteur a essayé de mesurer le temps d'écoulement de la pâte à l'aide d'un maniabilimètre type « B », et déterminer par la suite, le pourcentage de substitution en fines procurant une résistance à la compression à 28 jours optimale.

Les résultats montrent que pour un même rapport E/C , l'augmentation de la teneur en fines entraîne une augmentation du temps d'écoulement. Ceci est dû à l'augmentation de la surface spécifique du mélange [(1-x) sable+ (x) fines] qui demande plus d'eau. L'auteur [10] remarque également qu'un rapport $E/C \in [0.8-0.9]$ procure une bonne plasticité pour la composition (1/3), alors que la plasticité de la composition (2/3) est meilleure pour un rapport $E/C \in [0.50-0.60]$. A noter que la plasticité de la pâte est jugée bonne pour un temps d'écoulement au maniabilimètre compris entre 2 à 4 secondes). Toutefois, l'optimum de la résistance (compacité maximale) et celui de la bonne maniabilité ne correspondent pas au même rapport E/C , cette dernière demande un rapport E/C plus élevée qui affectera sans doute les performances mécaniques. Cependant, la recherche d'un compromis entre la compacité et la maniabilité demeure nécessaire. La voie envisagée est l'utilisation d'un adjuvant réducteur d'eau (superplastifiant). Celui-ci permet de fixer le rapport E/C correspondant à la résistance à la compression maximale tout en recherchant le dosage en SP correspondant à la bonne maniabilité.

Résultats expérimentaux :

- ✓ La valorisation des déchets de briques par transformation en fines minérales joue un rôle très important dans l'augmentation de la compacité du sable de dune.
- ✓ L'introduction des billes de polystyrène dans la matrice [ciment-sable de dune-fines de briques] a permis d'atteindre des densités du composite comprises entre 1480 et 1270 kg/m³ pour des dosages en polystyrène compris entre 0 et 1,2%.

▪ **Mr Bendekken Mohammed Abdelatif & Mlle Boutebba Houria [26] :**

Cette étude vise à utiliser l'un des matériaux qui sont abondants dans la nature, à savoir le sable des dunes, où ce dernier se trouve en grande quantité dans le désert de notre pays et à exploiter les déchets plastiques (ceintures d'attache) rejetés dans la nature en les décomposant et en les utilisant comme gravier afin de produire un matériau solide et avancé qui répond aux exigences économiques et environnemental.

Le principe est basé sur le remplacement partiel de sable des dunes par des résidus plastiques broyés dans différentes proportions de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% et de montrer dans quelle mesure les propriétés de ce composé sont améliorées.

L'étude a utilisé une méthode empirique pour la formulation du béton de sable, cette méthode est basée sur variation le rapport E/C (40 %.45% .50%.55%) Les déchets plastiques sont introduits avec les différents pourcentages en volume de la quantité de sable.

[26] a utilisé le sable propre, l'eau de gâchage est l'eau potable du robinet, le ciment utilisé est un ciment résistance aux sulfates MOKAOUEM PLUS, le type de déchet plastique utilisé est les ceintures de sertissage des différents emballages.

D'après les l'utilisation de polyéthylène téréphtalate (PET) dans la formulation de béton de sable avec pourcentage défèrent de E/C a l'état sèche, ils sont remarqués que la diminution de la masse volumique affiliée pour les dosages en PET (5%, 10%, 15%, 20% et 25%). Quoique ce taux de réduction est faible on observe que plus la quantité des granulats PET augmente, plus la densité diminue, cela est dû à la nature légère des granulats de PET.

Tableau III.5. Moyennes des masses volumiques apparentes sèches en fonction du pourcentage du PET utilisé.

E/C \ Plastique	0%	5%	10%	15%	20%	25%
	40%	2.15	2.22	2.21	2.04	2.09
45%	2.16	2.2	2.13	2.01	2.05	1.99
50%	2.07	2.13	2.08	2.09	2.02	1.97
55%	2.05	2.09	2.03	2.011	1.99	1.88

▪ **KHELAIFA Hamad [27] :**

L'étude de formulation du béton de sable a été menée avec la méthode expérimentale proposée par le projet de recherche et de développement Sablocrete [14]. Cette méthode s'adapte bien avec les mélanges des bétons compactés destiné aux projets routiers.

L'étude [27] a introduit une nouvelle étape pour le béton de sable mis en place par compactage. Il s'agit du réglage de la teneur en eau pour obtenir un béton ferme qui puisse être compacté sur chantier. (Ajuster le dosage en eau en utilisant un dosage en eau égal à la teneur en eau optimum dans le mélange. Elle est déterminée par la relation densité sèche et la teneur en eau suivant le mode opératoire de l'essai).

Le travail est devisé en deux parties

- ✓ Incorporé des granulats de caoutchouc (0/4 mm) issus de recyclage de pneus usagés en substitution volumique du sable avec trois substitutions volumétriques 10,20,30 % et une formulation sans substitution (mélange témoin).

✓ Utilisés deux types des granulats de caoutchouc (granulats de caoutchouc (0/4mm) et poudrettes de caoutchouc (0/1mm)), quatre substituts volumiques 10, 30, 40,50% et quatre énergies de compactage E1, E2, E3, E4. La substitution des granulats de caoutchouc a été effectuée dans les proportions suivantes : 50% de granulats de caoutchouc (0/4mm) et 50% poudrettes de caoutchouc (0/1mm).

[27] Après l'étude expérimentale des formulations différentes les résultats suivants sont obtenus :

✓ La densité sèche maximale varie un peu lorsque la teneur en eau varie sensiblement. Cette forme de courbe montre que le béton de sable compacté est un matériau peu sensible à la variation de la teneur en eau, et qu'il est très difficile de déterminer le Proctor optimale.

✓ Les valeurs d'humidité optimale (W_{opt}) des mélanges de béton avec l'ajout des granulats de caoutchouc sont plus élevées que celles sans ajout. Cette eau ne participe pas à l'hydratation du ciment mais entraîne une réduction de la densité spécifique apparente sèche des mélanges.

✓ La masse volumique à l'état frais diminue avec l'augmentation du taux des granulats de caoutchouc

✓ **L'incorporation** des granulats de caoutchouc diminue le temps de compactage.

▪ **BELFERAG ALAOUA [28] :**

La présence des fibres au sein d'une matrice joue le rôle de granulats ayant une forme allongée ; cette forme particulière peut engendrer des frottements parasites, créant ainsi une augmentation de la porosité du fait de la perturbation de l'ordre dans lequel les grains sont arrangés ; ce bouleversement dans le squelette granulaire conduit à une diminution de la maniabilité et de la compacité, ce qui donne une faible ouvrabilité. Parmi les paramètres qui influent sur l'ouvrabilité des bétons de fibres [28] à citer :

✓ La géométrie de la fibre (élancement L/d et forme) ;

✓ Le dosage en fibres ;

✓ La granulométrie du mélange.

Concernant la formulation du béton de sable renforcé de fibres métalliques, [28] a gardé le rapport E/C fixe dans la composition de la matrice du béton de sable classique, qui est égal à 0.60. La quantité des fibres incorporées en volume varie de 0.5% à 1.5%, tout en substituant le volume de sable par un même volume de fibres (volume fixe), mais à masse volumique variable, du fait de l'introduction des fibres dans la matrice. En effet, l'ensemble des chercheurs de par le monde s'accorde que l'introduction d'une certaine quantité de pourcentage de fibres dans une matrice de béton avec ou sans gravier diminue d'une manière significative la maniabilité.

A cet effet, l'ajout d'un adjuvant (superplastifiant) afin d'améliorer cette dernière est souvent nécessaire dans la composition des bétons de sable de fibres métalliques (BSFM).

Pour la formulation de béton de sable à base de fibres métalliques, [28] a basés sur l'essai de maniabilité. Et comme la plupart il utilise l'essai de maniabilité dynamique, il le choisi pour, l'essai VéBé. Pour pouvoir travailler avec une quantité d'eau fixe égale à celle d'un béton témoin, il a utilisé un super plastifiant. La quantité de ce dernier est obtenue par l'essai VéBé, de sorte à travailler avec une ouvrabilité constante à un temps d'écoulement $T = 20 \pm 2$ (S).

La composition des bétons de sable de dunes renforcés par ces fibres métalliques est différente de celle d'un béton courant. Lorsqu'on augmentait le taux de fibres, le composite se malaxait, se vibrait et se mettait en place de moins en moins bien. Cela nous conduit à dire que la maniabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibres incorporées, d'où la nécessité d'utiliser un super plastifiant pour assurer une meilleure ouvrabilité. Sans autant toucher à la résistance par l'augmentation du dosage en eau. Ce qui [28] a permis par, la suite, de déterminer la formulation la plus adéquate d'un béton de sable de dunes renforcé par des fibres métalliques tout en gardant le rapport E/C fixe.

▪ **GUERMITI LAID [29] :**

Ce travail porte essentiellement sur la valorisation des matériaux locaux dans la formulation d'un béton de structure. Les matériaux valorisés sont le sable de dune qui se trouve en très grandes quantités dans la région de Laghouat ainsi que dans d'autres régions du pays, notamment dans le sud algérien, et les déchets récupéré sur chantiers "chutes de fil d'attache", comme les fibres métalliques pour renforcer ce type du béton. Ce travail de recherche est présenté en deux parties :

[29] À composer les bétons de fibres on prend la composition optimale sans fibres (de béton ordinaire) corresponde à la valeur de 0,65. Et on fait varier le dosage en fibres de (0,5% à 1%) en volume des constituants secs (en substituant le volume des constituants sec par un même volume de fibres), et pour les différentes longueurs de fibres (20mm, 50mm). Et pour avoir presque la même maniabilité des bétons de fibres on a utilisé des dosages en super plastifiant variés de 0,2% jusqu'au 0,5% d'un pas de 0,1% en poids du ciment.

III.3.2. Propriétés mécaniques :

L'étude [10] présente dans le tableau III.6 les résultats des résistances à la compression et à la traction par flexion des bétons élaborés à l'état sec des deux compositions C/S=1/3 et C/S=2/3.

Tableau III.6: Résistances mécaniques des deux compositions des bétons élaborés.

%PSE	Composition C/S=1/3		Composition C/S=2/3		
	Rc (MPa)	Rt(MPa)	(kg/m3)	Rc (MPa)	Rt(MPa)

	ρ (Kg/m ³)					
0	1940.00	29.82	10.41	2070	51.03	11.04
0.20	1740.00	23.51	8.37	1890.00	37.33	9.21
0.40	1620.00	14.16	6.52	1760.00	31.39	8.58
0.60	1510.00	9.33	5.01	1700.00	27.31	7.02
0.80	1450.00	8.70	4.87	1610.00	18.68	6.90
1.00	1360.00	7.30	4.36	1540.00	13.97	6.57
1.20	1270.00	6.35	3.65	1480.00	12.69	6.00

La variation de la résistance à la compression et à la flexion à 28 jours en fonction de la teneur en PSE sont représentées dans les figures III.4 et III.5 des deux compositions.

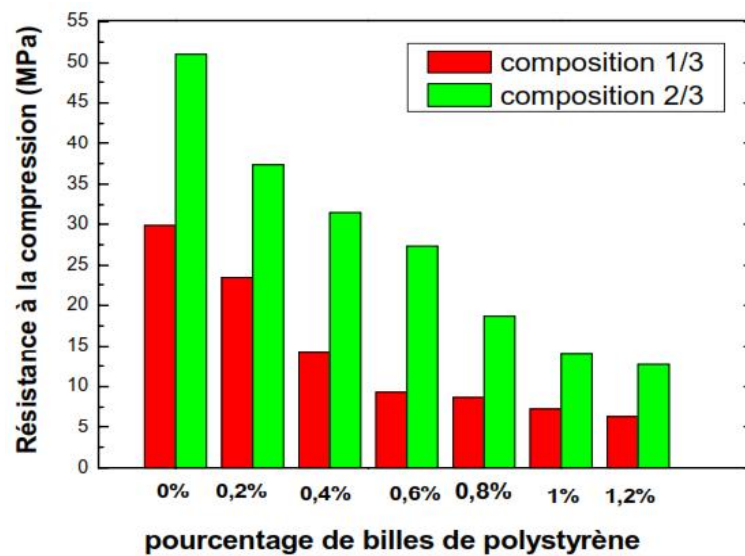


Figure III.4 : Evolution des résistances à la compression en fonction des teneurs en PSE des deux compositions.

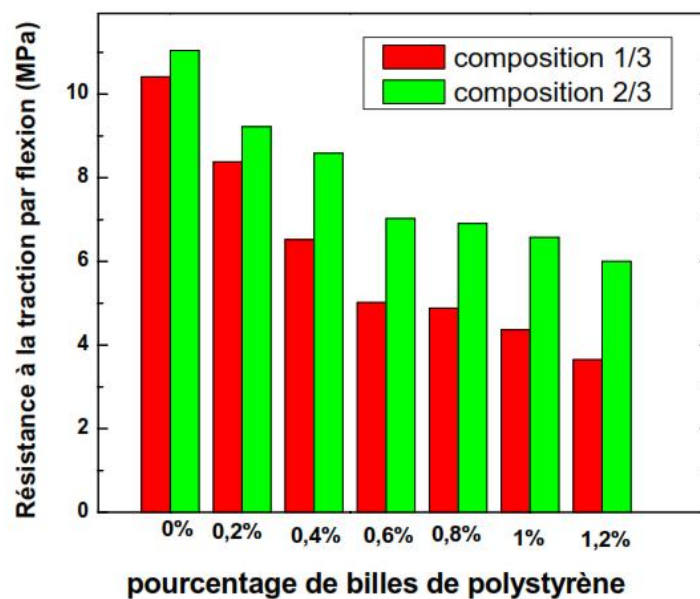


Figure III. 5 : Evolution des résistances à la traction par flexion en fonction des teneurs en PSE des deux compositions.

L'évolution de la résistance à la compression et de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur des PSE montre bien que la résistance, que ce soit en compression ou en flexion, diminuent avec l'augmentation de la teneur des PSE.

La figure III.4 montre une décroissance dans la résistance à la compression en fonction du dosage en PSE. Le taux de décroissance est de l'ordre de 78,70% (de 29,82 à 6,35 MPa) pour la composition 1/3, contre 75% pour la composition 2/3 (de 51,03 à 12,69 MPa).

Les gammes de masse volumique dans lesquelles varient ces résistances sont 1940 à 1270 kg/m³ pour la composition 1/3 et de 2070 à 1480 kg/m³ la composition 2/3.

Les résultats expérimentaux confirment une relation tout à fait évidente entre la densité et la résistance mécanique. Plus le matériau est dense plus sa résistance mécanique est élevée, ces résistances restent bien dans les normes exigées pour un béton léger de construction et d'isolation (classe II) et pour un béton d'isolation (classe III) conformément au classement fonctionnel de la RILEM.

) Dans l'étude [26], les résultats montrent que la résistance à la compression diminue en augmentant le pourcentage des PET quel que soit le rapport E/C, cette diminution est principalement due à l'augmentation du volume des vides et sans doute, le béton le moins compact est le moins résistant. Les facteurs qui peuvent être responsable de la faible résistance à la compression sont : la très faible force d'adhérence entre la surface des déchets plastiques et la pâte de ciment et la nature hydrophobe des déchets plastiques, qui peuvent inhiber la réaction d'hydratation du ciment en limitant le mouvement de l'eau.

Tableau. III.7 Les résultats des essais de compression

E/C \ Plastique	La résistance à la Compression (MPa)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
40%	55.31	54.53	47.34	46.09	44.84	43.75
45%	54.37	55.31	55.46	42.96	42.5	36.4
50%	47.34	45.93	40.78	39.06	35.31	34.37
55%	43.59	41.25	36.09	38.59	28.9	27.5

D'après les résultats d'essais de flexion, représentés dans le tableau. III.8 de l'étude [26] on note qu'une amélioration de la résistance à la flexion en fonction de l'augmentation des pourcentages de PET. Cette croissance est expliquée par le fait d'intégrer les PET (15 et 20 et 25 %), car ces dernières jouent un grand rôle dans la résistance à la flexion, vu la résistance à la flexion élevée des PET.

Tableau. III.8. Les résultats des essais de flexion

		La résistance à la Flexion (MPa)					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
E/C	Plastique						
	40%	4.69	6.37	1.87	3.6	5.1	4.69
	45%	4.5	5.15	3.42	2.95	4.83	5.25
	50%	5.15	2.95	3.14	2.9	3.33	4.97
	55%	5.29	2.81	1.96	2.53	3.18	3.89

) Les essais de compression du béton de sable avec fibre métallique BSFM [28] à base de ciment (CRS 42.5), ont abouti à des résultats, on présente sur les figures III.6 [Lf=40mm a titre d'exemple].

D'après ces résultats constatons qu'il y'a une nette amélioration de la résistance à la compression du BSFM, par rapport à celle du béton témoin, de l'ordre de 39 à 45% pour Lf = 30mm, de 46 à 54% pour Lf =60mm, avec des dosages de 1 et 1.5% de fibres en volume, et de 34 à 53% pour Lf =40mm, avec des dosages de 0.5 et 1% de fibres en volume. Une fois encore [28] constate l'influence positive des fibres métalliques dans l'amélioration de la résistance à la compression ; de ce fait l'étude [28] pense que ces fibres peuvent être utilisées dans la réalisation du béton, en particulier pour la réalisation des fondations et des plateformes, vu les résultats encourageants obtenus en compression. Mais après tout sa nécessite une étude complète sur la durabilité de ce matériau dans les milieux agressifs.

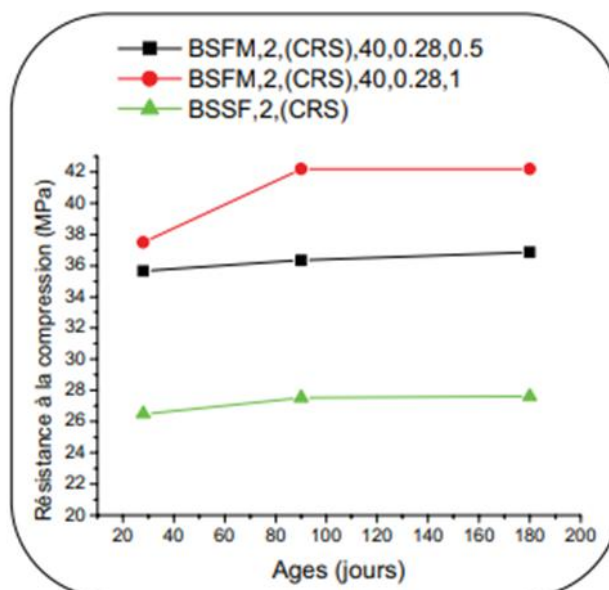


Figure III.6. Variation de la résistance à la compression du BSFM (CRS, Lf=40mm) en fonction d'âges.

Le tableau III.9 présente les résultats des résistances à la compression et à la traction par flexion des bétons élaborés à l'état sec des deux compositions 1/3 et 2/3.

Tableau III.9: Résistances mécaniques des deux compositions des bétons élaborés.

%PSE	Composition 1/3			Composition 2/3		
	(kg/m)	Rc (MPa)	Rt(MPa)	(kg/m ³)	Rc (MPa)	Rt(MPa)
0	1940	29.82	10.41	2070	51.03	11.04
0.20	1740.00	23.51	8.37	1890.00	37.33	9.21
0.40	1620.00	14.16	6.52	1760.00	31.39	8.58
0.60	1510.00	9.33	5.01	1700.00	27.31	7.02
0.80	1450.00	8.70	4.87	1610.00	18.68	6.90
1.00	1360.00	7.30	4.36	1540.00	13.97	6.57
1.20	1270.00	6.35	3.65	1480.00	12.69	6.00

Des essais de flexion ont été effectués cette fois-ci sur du BSFM à base de ciment (CRS 42.5), dans les mêmes conditions de laboratoire que précédemment. Le figure III.7 [lf=40mm], montre qu'il y'a une amélioration de la résistance à la flexion du BSFM par rapport au béton témoin, du même ordre de grandeur que celles confectionnée par le ciment CPJ, et aussi un accroissement de la résistance en fonction de l'âge (la résistance n'a pas chuté en fonction du temps) CRS.

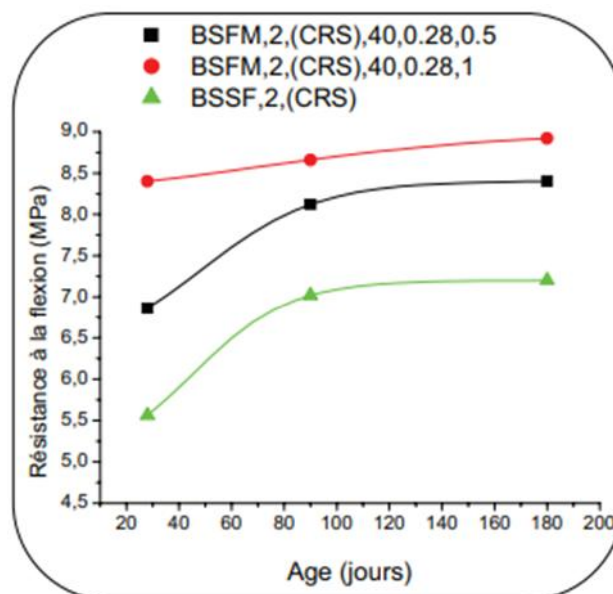


Figure III.7. Variation de la résistance à la flexion du BSFM (CRS, Lf=40mm) en fonction d'âges.

L'étude des propriétés mécaniques du béton de sable fibré, est analysée dans le but de donner des explications sur le comportement observé, ainsi que sur l'efficacité des fibres dans l'amélioration de la résistance du composite en se basant sur les résultats obtenus pour différents essais, [28] a conclu ce qui suit :

- ✓ La longueur des fibres est un paramètre important. Les fibres longues ont donné des résultats supérieurs à ceux des fibres courtes de même diamètre.
- ✓ L'élanement des fibres joue un rôle positif, en effet, plus l'élanement augmente plus la résistance à l'arrachement des fibres de la matrice augmente, ainsi que leurs nombres à volume constant.
- ✓ Le taux d'incorporation des fibres à un rôle secondaire.

III.3.3. Résultat et conclusion :

Suivant les résultats de défèrent études précédents noté dans notre thèse nous pouvons présenter quelques conclusions en fonction des déchets étudiés

) La valorisation des déchets de briques par transformation en fines minérales joue un rôle très important dans l'augmentation de la compacité du sable de dunes et par conséquence l'amélioration notable des performances mécaniques du béton de sable de dune [10].

) L'introduction des PET dans la formulation des BS contribue à l'amélioration des résistances à la flexion [26].

) L'incorporation de granulats de caoutchouc dans des bétons de sable autoplaçant (BSAP) entraîne une modification des propriétés à l'état frais, la modification la plus remarquable étant l'augmentation de l'affaissement lorsqu'en augmente du taux d'incorporation.

) L'étude de la porosité accessible a montré que l'ajout des billes PSE diminue la porosité des bétons de sable légers [10].

) L'essai de capillarité a montré que la sorptivité augmente avec l'augmentation de l'ajout des billes de polystyrène dans le béton [10].

) L'augmentation de l'énergie de compactage améliore la résistance à la traction par fendage de bétons de sable contribué avec granulats de caoutchouc [27].

) Les résistances en compression et en flexion de béton de fibres métalliques sont nettement supérieures à celles d'un béton sans fibres (notamment en flexion) [28] [29]

) L'ajout de fibres métalliques induit une augmentation de masse volumique apparente pour les deux états frais et durcie par rapport à celle du béton sans fibres [29].

) Le dosage et l'élanement de fibres métalliques semblent être les facteurs les plus importants qui diminuent le retrait de séchage et le retrait endogène [29].

) La perte en poids est plus importante par la présence des fibres métalliques [29].

) Les résultats obtenus nous encouragent d'utiliser les bétons de sable autoplaçant (BSAP) et compactés (BSC) en technique routière au vu des avantages économiques et environnementaux.

III.3.4. Conclusion

Nous avons présenté une synthèse en premier lieu sur les bétons de sable (définition, constituants, propriétés, formulations...etc.) et nous avons retenu que les recherches sur ces bétons de sable avaient comme but la détermination d'une composition optimale et estimer ensuite ses performances potentielles grâce à l'utilisation des différents déchets ; Filler, Chamotte, Fibre de verre, Plastique Nous avons également essayé de recueillir le maximum des études effectués par quelques auteurs sur les propriétés physico-chimiques et minéralogique du sable dunaire se trouvant dans les régions du sud de notre pays et qui contribue à la valorisation et au développement des ressources naturelles et locales ; dont les résultats obtenus par ces auteurs sont : Granulométrie fines, Faible module de finesse, Grande porosité et Faible compacité. Ils présentent par contre des qualités exploitables pour leurs emplois dans les bétons de sable : Courbe granulométrique continue, Très bons équivalents de sable et Présence insignifiante d'éléments nocifs. Les sables de dune présentent donc des caractéristiques chimiques et physiques très favorables à l'utilisation en construction, telles que leur propreté (l'absence quasi-totale d'éléments argileux), et leur composition chimique siliceuse (présentant les meilleures performances mécaniques).

CONCLUSION GÉNÉRALE.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce modeste travail, nous avons essayé de nous concentrer sur l'étude du comportement physique, mécanique et chimique du béton de sable de dunes renforcé par divers déchets. A travers ce travail, nous avons conclu qu'il est possible de valoriser les déchets mis au rebut, de les recycler, et de les réinsérer dans un cycle de fabrication, notamment dans le domaine de la construction et travaux publics. En Algérie, par exemple, nous avons constaté qu'il est encore primitif et insuffisant, voire totalement inexistant.

Il en va de même pour le sable des dunes. Malgré son abondance et sa facilité d'obtention, notamment dans le sud algérien, ce matériau est encore utilisé en quantité décente dans certains types de béton, malgré certaines des bonnes propriétés qui le caractérisent.

Les ressources traditionnelles en granulats sont difficiles à obtenir, notamment dans certaines zones, ce qui rend le coût du béton très élevé, en plus de ses impacts environnementaux (comme le drainage du sable des plages et des vallées).

Il faut donc réfléchir sérieusement à la recherche de techniques et de moyens permettant de valoriser les matériaux disponibles localement. Et les utiliser dans divers domaines de la construction, et atteindre une faisabilité économique, technique et environnementale qui peut faire avancer l'utilisation de sable des dunes avec des déchets pour former du béton, d'autant plus que nous avons remarqué que certaines des expériences présentées ont donné des résultats très acceptables,

Références

- [1] AND, «Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie,» AGENCE NATIONAL DE DECHETS, Exerice 2020.
- [2] D. A. (2006), Guide du traitement des déchets. Paris : Dunod., 2006.
- [3] techno-science., «<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Dune.html>,» techno-science.net. [En ligne].
- [4] wikipedia/Dune, «<https://fr.wikipedia.org/wiki/Dune>,» [En ligne].
- [5] wikipedia.A9ton, «<https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton>,» [En ligne].
- [6] A. Hocine, «Etude des bétons à base des sables de dune,» 2009.
- [7] B. & Berrafa, « La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécaniqu.,» 2017 .
- [8] B. Brahim, MAGISTER: CONTRIBUTION A LA VALORISATION DU SABLE DE DUNE DANS LA FORMULATION DU BÉTON DESTINÉ AUX OUVRAGES HYDRAULIQUES EN MILIEUX SAHARIENS, FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR OUARGLA, 2007.
- [9] c. C. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base du sable de dune, « Benabed.B,Azouz.L.,Damene.Z.,» 2005.
- [10] B. HABIBA, ETUDE D'UN COMPOSITE A BASE DE SABLE DE DUNE, CIMENT ET GRANULATS EN BILLES EN POLYSTYRENE EXPANSE, 2012.
- [11] M. Z. A. Batata, «Le béton de sable de dune: sa performance et ses propriétés"; MATLO C91, Séminaire à Biskra (CNERIB),» 1991.
- [12] Benmalek.M., «Contribution à l'étude du béton de sable dunaire pour éléments de structures. Thèse de Magister,l'ENPd'Alger.,» 1993.
- [13] S. & B. MOUSSA, «Etude des caractéristiques physico-chimiques du sable des dunes (cas sites d'Adrar),» 2019.
- [14] SABLOCRETE, BETON DE SABLE, 1994.
- [15] Agence_francaise_de_normalisation, «NF P18 500 Béton de sable,» mai 1995, p. 12 P.
- [16] Agence_francaise_de_normalisation, «540, NF P18,» Granulats - Définitions, conformité, spécifications., p. 36 p, novembre 1997.

- [17] Agence_francaise_de_normalisation, «101, NFP 18,» *Granulats. Vocabulaire. Définitions. Classification.*, p. 3 p, 1900.
- [18] Agence_francaise_de_normalisation, «NF P15 301»*.Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité.*
- [19] La_norme_européenne, «NF EN 197-1,» *définit et présente les spécifications de 27ciments courants*, avril 2012.
- [20] Norme_européenne, «NF EN 197-4»*.composition, spécification et critères de conformité des ciments de haut fourneau et à faible résistance à court terme.*
- [21] Agence_francaise_de_normalisation, «NFP18-303,» *Eau de gâchage pour béton de construction*, p. 1 p, Janvier 1900.
- [22] Agence_normalisation_francaise, «NF EN 934-2,» *Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage*, p. 24 p, Juillet 2012.
- [23] A. M. O. C. M. D. H. SUIFFI, INFLUENCE DE FIBRES EN POLYPROPYLENE SUR LA DUCTILITE D'UN BÉTON DE SABLE, 24ème Congrès Français de Mécanique, Aout 2019.
- [24] R. Salima, MAGISTER: Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux..
- [25] M. T. Houria, Doctorat: Effets de l'Incorporation des Déchets Plastiques sur le Comportement des Bétons, Faculté d'Architecture et de Génie Civil Oran, 2021.
- [26] B. M. A. & B. Houria, Master: Contribution à l'élaboration d'un béton de sable, à base du sable de dune et déchets plastiques (Ceintures de cerclage en PET), 2020.
- [27] K. Hamad, DOCTORAT: Etude de l'effet de l'ajout de granulats de caoutchouc (issus de déchets) sur le comportement des bétons de sable (de dunes) Autoplaçant et compactés, 2021.
- [28] B. Allaoua, MAGISTER: Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, 2006.
- [29] G. LAID, MAGISTER: CONTRIBUTION A L'AMÉLIORATION DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON DE STRUCTURE À BASE DE SABLE DE DUNE CORRIGÉ ET RENFORCÉ PAR DES FIBRES MÉTALLIQUES, 2013.

- [30] K. Hamad, Doctorat : Etude de l'effet de l'ajout de granulats de caoutchouc (issus de déchets) sur le comportement des bétons de sable (de dunes) Autoplaçant et compactés, 2021.