

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté Des Sciences Appliquées

Département De Génie Civil Et Hydraulique



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Civil

Option : Voies et Ouvrages D'art_ Travaux Publics

Présente par

TABET RAOUIA

ZAMAKI FATIMA ZOHRA

Thème

Etude des propriétés mécaniques des bétons de sable de dune avec ajout de poudre d'aluminium issue des déchets industriels

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Mr. MOKHTARI A.

Université Ouargla

Président

Mr. CHAIB H.

Université Ouargla

Examineur

Mr. BELFERRAG A.

Université Ouargla

Encadreur

M^{me}. MEZIANI N.

Université Ouargla

Co- Encadreur

Année universitaire 2018/2019



Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser ici nos remerciements à

Notre créateur ALLAH pour nous avoir donné de la force à Accomplir ce travail.

Et remerciements spéciaux et très chaleureusement pour le professeur « BELFERRAG Allaoua », qui nous a permis de bénéficier de son encadrement. Les conseils qu'il nous a prodigués, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous adressons nos sincères paroles de gratitude, de respect, d'appréciation à notre honorable direction

« MEZIANI Nedjma » dans lequel nous saluons l'esprit de modestie et de bon traitement.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous

Nos proches et amis qui nous ont toujours soutenues

et Encouragées au cours de la réalisation de ce

mémoire..

- **TABET.R**
- **ZAMAKI.F**

Sommaire

Résumé	I
Liste des tableaux	II
Liste de figures	III
Liste de photos.....	IV
Introduction générale.....	2

Chapitre I: Recherche Bibliographique

I.1. Introduction	5
I.2. Historique du béton de sable.....	5
I.3.Béton de sable de dune	6
I.3.1. Historique	6
I.3.2.Constitution du béton de sable	7
I.3.2.1. Sable	7
I.3.2.2. L'eau	7
I.3.2.3. Ciment	7
I.3.2.4.Adjuvant	7
I.3.2.5. Les ajouts	7
I.4. Propriétés des bétons de sable.....	8
I.4.1. La Résistance mécanique	8
I.4.1.1. Résistance à la compression	8
I.4.1.2. Résistance à la traction	9
I.5. Comportement chimique	9
I.6.Déchets industriels	9
I.6.1 Définition	9
I.6.2.Les types des déchets	9

I.6.3.Les caractéristiques des déchets industriels	10
I.6.3.1.Les déchets inertes	10
I.6.3.2. Déchets banals	10
I.5.3.3.les déchets dangereux	11
I.7. Traitement des déchets avec valorisation	11
I.8. Utilisation de poudres d'Aluminium	12
I.9. Conclusion.....	12

Chapitre II: Caractérisation des Matériaux

II.1.Introduction.....	14
II.2.caractéristiques des matériaux utilisées	14
II.2.1.Ciment	14
II.2.1.1.caractéristiques chimiques	14
II.2.1.2.Caractéristiques mécaniques	14
II.2.2. L'eau	15
II.2.3.Les adjuvants	15
II.2.4.les déchets d'aluminium	15
II.2.5. Les sables	16
II.2.5.1. Equivalent De Sable (NFP 18-598)	16
II.2.5.2.La Masse Volumique	18
II.2.5.2.1. Masse Volumique Apparent (NFP 18 -554)	18
II.2.5.2.2.Masses Volumiques Absolues (NFP18-301)	19
II.2.5.3.Analyse Granulométrique (NF P 18-540)	20
II.2.5.3.1. Courbe granulométrique du premier échantillon	21
II.2.5.3.1. Courbe granulométrique du deuxième échantillon	21
II.2.5.3.1. Courbe granulométrique du troisième échantillon.....	22
II.2.5.3.1. Courbe granulométrique du quatrième échantillon.....	22

II.2.5.4. Module de finesse	23
II.3. L'essais de maniabilité (NF P 18-452 et NF P15-437).....	23
II.3.1. Principe de l'essai	24
II.3.2. L'appareil utilisé	24
II.3.3. Conduite de l'essai.....	24
II.3.1. Formulation de béton de sable avec et sans poudre	24
II.3.2. composition du béton de sable	24
II.3.2.1. Préparation des éprouvettes	25
II.4.1.2. Conservation des éprouvettes	26
II.5. Conclusion	26

Chapitre III: Résultats et Discussion

III.1. Introduction	28
III.2. Essai de Flexion	28
III.2.1. Résistance à la flexion.....	28
III.2.1.1. Variation de la résistance à la flexion en fonction du temps	29
III.2.2. Essai de compression	31
III.2.2.1. Résistance à la compression.....	32
III.3.1.1. Variation de la résistance à la compression en fonction du temps	33
III.4. Densité des bétons de sable avec et sans ajout de poudre d'aluminium.....	35
III.5. Maniabilité de mortier.....	36
III.6. Conclusion	37
Conclusion générale et recommandations	39
Références Bibliographiques	41
Annexes.....	44

Résumé

Le processus de valorisation des déchets à deux effets très importants à savoir : environnemental et économique.

Ce travail consiste à récupérer les déchets d'aluminium des ateliers en l'utilisant comme ajout dans la formulation des bétons suivant les dosages de 0,5%, 1% et 1,5%. Les essais sont réalisés sur des éprouvettes (4 × 4 × 16) cm³ à 7, 21 et 28 jours, pour démontrer l'effet de l'ajout de déchet d'aluminium au béton en mesurant la résistance à la compression et à la traction par flexion. Les résultats ont montrés que plus le dosage en poudre d'aluminium augmente plus la résistance mécanique diminue.

Mots-clés : Béton de sable, Poudre d'aluminium, Sable de dunes, Sable alluvionnaire, Compression, Traction par flexion.

ملخص

لعملية استعادة النفايات تأثيرين مهمين للغاية وهم التأثير البيئي و الاقتصادي. يهدف هذا العمل إلى استرجاع نفايات الألمنيوم من الورش باستخدامها كإضافة في الخلطة الخرسانية وفقاً للنسب 0.5%، 1% و 1.5%. تم إجراء الاختبارات على عينات ذات الحجم (4 × 4 × 16) سم³ وفقاً للأعمار التالية 7، 21 و 28 يوم لإظهار تأثير إضافة نفايات الألمنيوم إلى الخرسانة عن طريق قياس قوة الضغط وقوة الشد بالانحناء. أظهرت النتائج كلما زادت نسبة مسحوق الألمنيوم، انخفضت القوة الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة الرملية، النفايات، الألمنيوم، رمل الكثبان، رمل الواد، قوة الضغط، قوة الشد بالانحناء.

Abstract

The process of valorization of waste has two very important effects namely: environmental and economic. This work consists of recovering the aluminum waste from the workshops by using it as an addition in the formulation of the concretes according to the dosages of 0.5%, 1% and 1.5%. The tests are carried out on specimens (4 × 4 × 16) cm³ at 7, 21 and 28 days, to demonstrate the effect of the addition of aluminum waste to the concrete by measuring the compressive and flexural strength. The results showed that the increase of the aluminum powder dosage, leads to the decrease of the mechanical strength.

Keywords: Sand concrete, Aluminum powder, Dune sand, River sand, Compressive strength, flexural strength.

Liste des tableaux

Chapitre II: Méthodes et Matériaux

Tableau II.1 L'analyse chimique du ciment	14
Tableau II.2. Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé	14
Tableau II .3.Composition chimique de l'eau	15
Tableau II.4. Résultats d'essai de l'équivalent de sable	17
Tableau II.5. Résultat de la Masse volumique apparente	18
Tableau II.6. Résultats de la masse volumique absolue	19
Tableau. II.7. Résultats de Module de finesse de différents échantillons.....	23
Tableau II.8. Classe de consistance des bétons.	24
Tableau II.9. Composition du béton de sable pour un volume de 1m^3	25

Liste des figures

Chapitre I: Recherche Bibliographique

Fig. I.1. Les types des déchets	10
Fig. I.2: Stratégies de traitement des déchets	12

Chapitre II: Méthodes et Matériaux

Fig. II.1. Courbe granulométrique (100 % sable de dunes)	21
Fig. II.2. Courbe granulométrique (100% sable alluvionnaire)	21
Fig. II.3. Résultats d'analyse granulométrique (50% SA + 50% SD)	22
Fig. II.4. Courbe granulométrique (40% SD +60% SA)	22
Fig. II.5. Principe de fonctionnement du Maniabilimètre LCPC.	23

Chapitre III: Résultats et Discussion

Fig.III.1. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	29
Fig.III.2. Résistance à la flexion des bétons C1 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	29
Fig. III.3. Résistance à la flexion des bétons C2 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	30
Fig. III.4. Résistance à la flexion des bétons C3 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	30
Fig. III.5. Résistance à la flexion des bétons C4 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	31
Fig.III.6. Dispositif de rupture en compression	32
Fig.III.7. Résistance à la compression des bétons C1 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	33
Fig.III.8. Résistance à la compression des bétons C2 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	33
Fig.III.9. Résistance à la compression des bétons C3 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	34
Fig.III.10. Résistance à la compression des bétons C4 avec et sans poudre d'aluminium en fonction d'âge	34
Fig. III.11. Variation de la densité en fonction des pourcentages de poudre d'aluminium du béton de sable	35
Fig. III.12. Maniabilité de béton de sable	36

Liste des photos

Chapitre I: Recherche Bibliographique

Photo .I.1. Métro de Saint-Pétersbourg	5
Photo I.2. Catégories des déchets	11

Chapitre II: Méthodes et Matériaux

Photo II.1. Déchet d'aluminium utilise	15
Photo II.2.Sable de dune et alluvionnaire	16
Photo II.3.mesure avec une règle de mesure (ESV)	17
Photo II.4. mesure avec un piston (ES)	17
Photo II.5 : Essai de la masse volumique apparente	18
Photo II.6 : Essai de la masse volumique absolue.	19
Photos II.7 : Essai Analyse granulométrique	20
Photo. II.8. Le moule utilisé	25
Photo. II.9. La table vibrante utilisée.....	25
Photo II.10. Conservation des éprouvettes dans l'eau	26

Chapitre III: Résultats et Discussion

photo.III.1. photo.III.1.Essai de Flexion	28
Photo.III.2. Essai de compression	32

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, ...etc. [1]

En France, le béton de sable trouve ses origines dans "le béton aggloméré" confectionné par F.Coignet dans le 3^{ème} quart du XIX siècle, il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement à Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Saïd en Egypt. (Hauteur : 52 m) et du pont de New-York [2].

Après l'oxygène et le silicium, l'aluminium est le troisième élément le plus fréquent dans la croûte terrestre. Malgré son abondance naturelle, ce n'est qu'en 1821 que Pierre Berthier découvre, a Baux de Provence (France), un minerai tirant son nom de ce lieu, la bauxite. Ce minerai est le plus utilisé pour obtenir de l'alumine, produit intermédiaire nécessaire à la fabrication de l'aluminium. Cette découverte tardive est due au fait que l'aluminium n'apparaît jamais de manière naturelle sous sa forme métallique. Il se trouve en effet dans la plupart des roches, mais combiné avec l'oxygène et divers autres éléments.

Le procédé chimique nécessaire à la séparation de l'aluminium des autres composants de la bauxite n'a été découvert qu'en 1825 par un chimiste danois. L'aluminium récupéré est dirigé vers des centres de tri, où un séparateur magnétique extrait les métaux ferreux. Les déchets sont ensuite compactés et envoyés dans les usines de recyclage en Allemagne et en Italie. Là, l'aluminium est broyé puis passé dans un four à pyrolyse où matières plastiques, papiers et vernis sont décomposés et gazéifiés, alors que l'aluminium métallique y est fondu et récupéré sous forme de lingots de métal. Ceux-ci pourront ensuite être apprêtés par laminage en tôle, feuille, ou bande, ou moulés en profilés de différentes formes. [3]

La production des déchets recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin de la réduction des volumes de déchets.

L'utilisation des aluminiums recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique et économique qui intéresse de plus en plus les industriels.

L'objet principal de cette étude est de contribuer à la valorisation de déchet d'aluminium dans la fabrication du béton, cela permet donc d'éliminer les déchets par recyclage ce qui conduit à la protection de l'environnement.

Ce mémoire se subdivise en trois chapitres :

Le premier chapitre est une présentation de l'historique des bétons, des différents types de sable, des déchets et leurs utilisations, ainsi que les propriétés mécaniques du béton de sable.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé les différentes caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la confection des bétons, la formulation et préparation du mélange, ainsi que les différents essais à l'état frais et durci des bétons étudiés.

Le chapitre 3 est consacré à l'analyse et la discussion de l'ensemble des résultats de la résistance mécanique (traction et compression) obtenus.

Enfin, une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats dégagés de cette étude suivi de quelques recommandations.

Chapitre I: Recherche Bibliographique

I.1. Introduction

Dans ce chapitre bibliographique nous avons présentation de l'historique des bétons, des déchets et leurs utilisations, ainsi que les propriétés mécaniques du béton de sable et la valorisation générale de déchets.

I.2. Historique du béton de sable

Le béton de sable est une technique connue de très longtemps en Union Soviétique, l'actuelle Communauté des Etats Indépendants (C.E.I). Il semble que cette technique Soit parvenue dans ce pays par le biais de la Belgique et l'Allemagne. Plusieurs ouvrages sont construits par ce matériau dont on peut citer:

- Le port de Kaliningrad en Prusse-Orientale réalisé au début du siècle 19 ; [4]
- Métro de Saint-Pétersbourg (photo I.1).



Photo I.1. Métro de Saint-Pétersbourg. [5]

En 1918, le Comte Nicolas de Rochefort publie à Petrograd actuelle Leningrad, aux éditions Rickler, un ouvrage de génie civil où il décrit la technique du béton de sable; il donne des détails d'une surprenante fraîcheur technique; il signale dans son ouvrage que, si l'on broie en même temps du clinker et du sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois, conduit aux mêmes résistances qu'un mélange 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment. Le Comte de Rochefort a poussé l'expérience sur les compositions de broyage clinker/sable encore plus faible; 1/8 pour obtenir des résistances étonnantes. [6]

Quelques décennies plus tard, le béton de sable apparaît en France grâce au professeur académicien Rebinder. Il avait lu l'ouvrage du Comte de Rochefort et repris ces idées dans ses propres recherches. En 1971, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C) est contacté pour la première fois par des études sur cette technique. Vers 1920, la technique du béton de sable reste en "veilleuse" autant en URSS qu'en Europe Occidentale. Elle sera de nouveau d'actualité au cours de la deuxième guerre Mondiale où l'armée allemande conforte ses positions et construit des pistes d'aviation, dont certaines en béton de sable. A la fin du conflit, les soviétiques examinent ces pistes. Certaines sont très dégradées, d'autres le sont moins; ils en tirent des

conclusions et les mettent à profit en construisant des aérodromes en béton de sable; en particulier l'aérodrome militaire de Pevek (en Sibérie) et celui d'Arkhangelsk. On peut dire que la pratique de béton de sable s'est étendue à tous les domaines du génie civil et est en progression constante

Depuis la fin de la grande guerre. Il est difficile d'évaluer la production actuelle, mais elle dépasse vraisemblablement le million de mètres cubes par an dans les emplois identifiés des différents secteurs pris en compte dans le projet national français SABLOCRETE [6].

I.3.Béton de sable de dune

I.3.1. Historique

La technique des bétons de sable était tombée en sommeil vers les années 1920 aussi bien en Europe Occidentale qu'en ex URSS pour redevenir d'actualité pendant la deuxième guerre mondiale grâce au comportement de certaines pistes réalisées par l'Allemagne. A travers les différents secteurs (routes, autoroutes, aérodromes, bâtiments et composants du génie civil, ouvrages d'art), les soviétiques ont développé une méthodologie de formulation et surtout de mise en œuvre dans la préfabrication et la projection, Plusieurs ouvrages ont été réalisés à partir de ce matériau et constituent les premières applications de cette technique rapport-sable crête (1987-1991). En 1954, le professeur REHBINDER et son équipe ont réalisées en Russie les premières expérimentations en laboratoire, l'idée de son travail est basée sur le broyage du mélange composé de ciment et du sable, et d'un agent de mouture sur actif. Un adjuvant réducteur est ajouté lors de malaxage. Les travaux donnent un béton de porosité aussi faible que possible, constitué de capillaires très fins et d'homogénéité maximale après mise en place. En 1991, MIRONVOK et STERYNE présentent une étude sur des bétons de sable compact à l'aide de l'équipement à vibro-choc pour la fabrication de structures. En France 1980, des travaux d'expérimentation ont été menés par GUINEZ.R, GLUAIS.G, DELUDE.P. Le but de ces recherches c'est de donner au maçon et entreprises du bâtiment un matériau hydraulique, à base de sable ayant des performances mécaniques modestes, d'autre part, des caractéristiques rhéologiques bien adaptées à une grande facilité de mise en œuvre, sans vibration avec un retrait limité. En Algérie en 1997, Une étude est faite par M.BENMALEK.ML sur le béton de sable de dune. Cette étude a montré qu'en exploitant les caractéristiques physico-chimiques, ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée [7]

I.3.2. Constitutions du béton de sable

I.3.2.1. Sable

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18541 ($ESP \geq 75$ si le sable est roulé et $ES \geq 65$ s'il est broyé). Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D.

Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté ; les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau, ce qui entraîne une chute de résistance. [6]

I.3.2.2. L'eau

Pour convenir à la confection de béton les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles.

La norme P 18-303 limite à cet effet le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30 g/l suivant la nature du béton, spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs même en très faible pourcentage de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas. [8]

I.3.2.3. Ciment

Le ciment (du latin *cæmentum*, signifiant pierre non taillée) est une matière pulvérulente formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il sert à désigner aussi, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier.

C'est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus habituel est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton. [9]

I.3.2.4. Adjuvant

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci..[10]

I.3.2.5. Les ajouts

L'utilisation des ajouts dans le ciment pour la fabrication des bétons de sable offrent des avantages économiques, et écologiques indéniables. Les ciments aux ajouts sont fabriqués dans plusieurs cimenteries

algériennes, et acceptés par les normes en vigueur. Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'effet de ces ajouts cimentaires sur les propriétés physico-mécaniques, et de durabilité du béton. [11]

✓ **Les fibers**

Les fibres (polypropylène, acier, fonte amorphe...)

L'incorporation de fibres dans le béton est la solution simple, efficace, économique et prête à l'emploi pour une utilisation optimale sur le béton. Elles confèrent au béton une excellente résistance aux chocs et à la fissuration. En particulier au jeune âge du béton leur rôle dépend de leur nature, leur dosage et leur longueur. [12]

✓ **Les filler**

Les normes Françaises (1979) définissent les fillers de la façon suivante : Produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, cendres volantes..) naturels ou non. Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns, ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment Portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers. Selon la norme NF P 15-301, la teneur en filler calcaire est limitée à 5 % de la masse du ciment. Les fillers se différencient les uns des autres par : leurs origines, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent, leur finesse, la forme des grains, leur état de surface, leur dureté, leur porosité.

Les fillers sont inertes, s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau, ils sont actifs s'ils ont même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment et d'eau. [13]

I.4. Propriétés des bétons de sable

I.4.1. La Résistance mécanique

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques majeures pour un béton. De ce fait, il est indispensable pour n'importe quelles études de prendre en considération les résistances à la rupture en traction ou en compression [23].

La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs paramètres à savoir : La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants), le dosage en ciment, Rapport E/C, Les conditions de la mise en œuvre, Les conditions de conservation.

Il est défini par la résistance à la compression et par la résistance à la traction.

I.4.1.1. Résistance à la compression

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton. Ce dernier est caractérisé par sa résistance à la compression à 28 jours.

I.4.1.2. Résistance à la traction

La résistance à la traction est moins importante que celle de la compression, du fait que le béton résiste mal à la traction et qui représente environ le 1/10 de sa résistance à la compression. Généralement elle est caractérisée par l'essai indirecte appelé traction par flexion (trois point).

I.5. Comportement chimique

L'attaque externe se produit lorsqu'un matériau cimentaire se trouve en contact direct avec une source de sulfate, comme dans les sols, les eaux souterraines, les eaux d'infiltration, les pluies acides (acide sulfurique) liées à la pollution industrielle atmosphérique.

Elle peut être décrite selon trois processus permettant d'évaluer l'agression :

- Le transfert dans le milieu poreux des ions sulfates qui est contrôlé par la perméabilité et la diffusivité du matériau.
- Les réactions chimiques entre les composants de la pâte de ciment, qui dépendent du ciment utilisé, et les ions.
- Le phénomène d'expansion, résultant de l'apparition de nouvelles phases cristallines et conséquence des deux premiers processus.

I.6. Déchets industriels

I.6.1. Définition

Les déchets industriels nécessitent des traitements appropriés, car ils présentent un réel danger pour la santé humaine et l'environnement. En effet, ces déchets font partie des principaux facteurs de pollution des eaux et du sol. [15]

I.6.2. Les type des déchets

Les déchets peuvent être classés selon leur origine:- ou selon la typologie comme suit : compo stables ou biodégradables, inertes, recyclables, ultimes ou dangereux) .Fig. (I.1). [16]

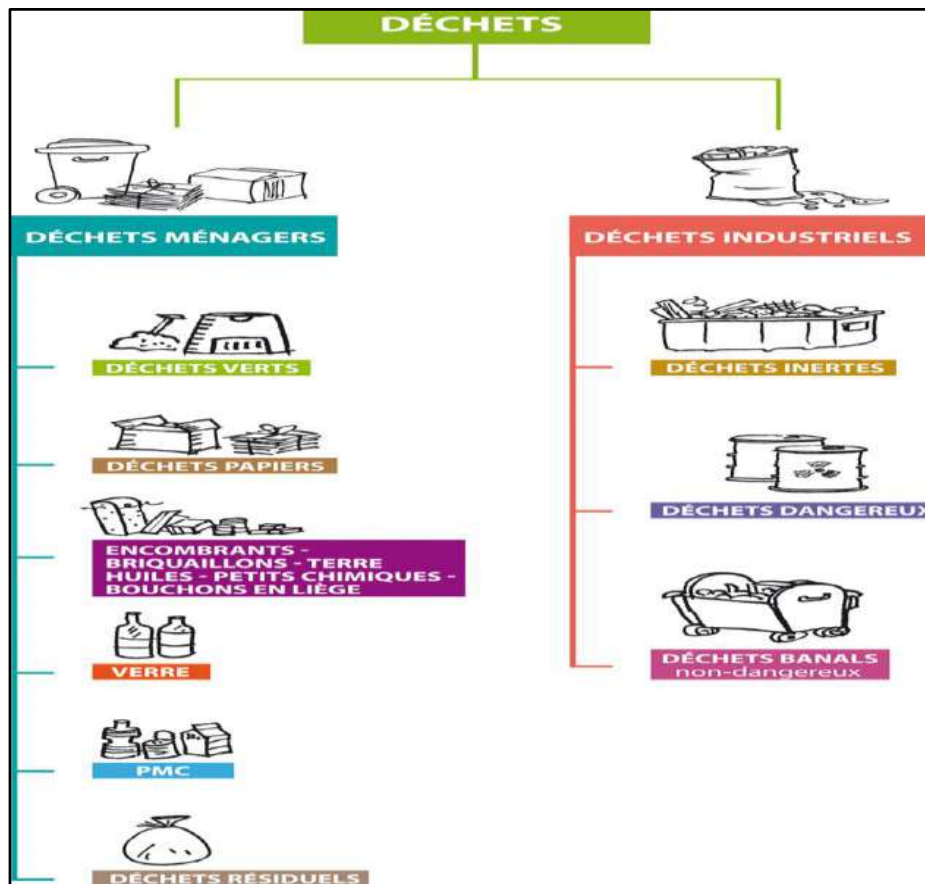


Fig. I.1. Les types des déchets [17]

I.6.3. Les caractéristiques des déchets industriels

Ils sont généralement classés en trois grandes catégories. (Photo. I.2)

I.6.3.1. Les déchets inertes

Tels que les briques, les tuiles, les pierres et les terres sont issus des chantiers... de démolition ou de rénovation. Ce sont des résidus non biodégradables et non polluants. En effet, ils ne produisent aucun effet chimique, en cas d'interaction avec d'autres matières. Ce type de déchet est souvent stocké dans les déchèteries. [15]

I.6.3.2. Déchets banals

Les déchets non dangereux (appelés aussi industriels banals) sont des déchets issus des entreprises, qui par leur nature et leur quantité, peuvent être stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers (déchets ménagers assimilés). Ils ne sont ni inertes, ni dangereux. Par exemples:

Les bois bruts (classe A) et faiblement adjuvantes (agglomérés, bois peints et vernis) (classe B), le plastique, le textile, le carton, le papier, les métaux.... [18]

I.6.3.3. Les déchets dangereux

Déchets qui présentent un risque pour l'environnement et/ou pour la santé humaine par leur toxicité, leur caractère polluant ou leur dangerosité.

L'élimination des déchets dangereux doit faire l'objet de l'émission d'un Bordereaux de Suivi de Déchets Dangereux (BSDD) assurant ainsi une traçabilité des déchets. Le transport de plus de 100 kg de déchets dangereux doit faire l'objet d'une déclaration préalable en Préfecture. *Quelques exemples : résidus de peinture, de colle, bois traité à cœur (classe C), matériaux contenant de l'amiante, emballages souillés par des produits dangereux... [18].*



Photo I.2. Catégories des déchets [18].

I.7. Traitement des déchets avec valorisation

- ✓ La Valorisation s'est un tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive, donc en peu dire en général la valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation.

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. (Fig. 1.2) Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage où de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche. [19]

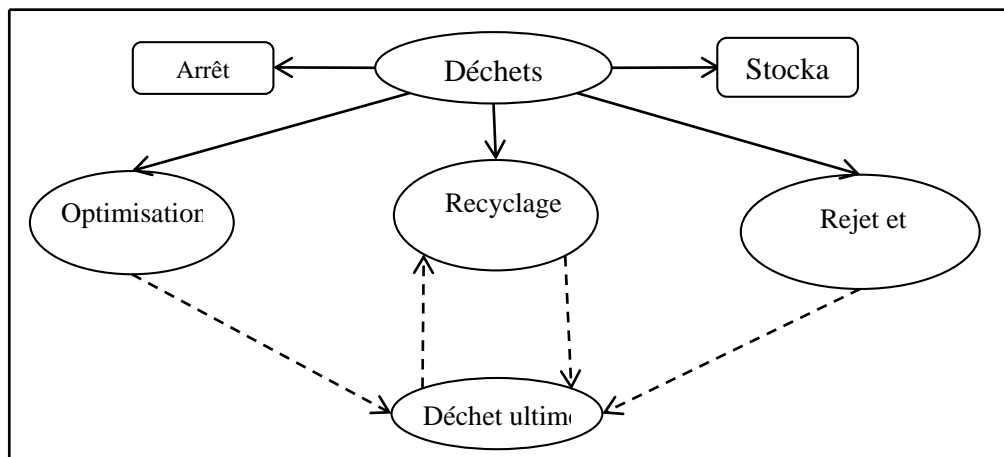


Fig. I.2. Stratégies de traitement des déchets. [19]

I.8. Utilisation de poudres d'Aluminium

La production de déchets en Algérie est estimée à 23 millions de tonnes de différents types et variétés, dont 65% dans le nord de l'Algérie, soit 4% de la superficie du pays, dont 10% sont recyclés, 36% sont destinés à des stations de remplissage techniques et seulement 1%. La fertilisation et la conversion de 46% en déchets publics sont estimées à 12 millions de tonnes par an.

De nombreux experts ont appelé à l'exploitation des déchets en investissant dans l'énorme quantité de bois, fer, papier, plastique, carton, cuivre, aluminium, eaux usées et autres déchets. [20]

Les déchets industriels dans le béton constituent un développement durable de la construction, dans la mesure où ils contribuent à améliorer le ciment, le béton et d'autres matériaux de construction avec des performances satisfaisantes, selon les résultats de nombreuses études menées sur de grandes quantités de déchets en génie civil.

La poudre d'aluminium est utilisée dans la construction en tant que produit chimique dans le béton lorsque l'aluminium réagit avec un alcali dans le mélange de ciment le dégagement d'hydrogène sous forme de bulles provoque une augmentation du volume de béton et donc une réduction de son poids. Il produit ce qu'on appelle un béton cellulaire. [27]

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous pouvons conclure que les déchets industriels présentent à la fois un inconvénient qui se résume dans les dégâts causés à la nature et un avantage parce qu'ils peuvent être valorisés dans divers domaines. De ce fait, ils auront une contribution positive sur le plan économique et sociale.

Chapitre II: caractérisation des Matériaux

II.1. Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse plus particulièrement à l'identification et la caractérisation des matériaux exploités dans cette étude ; le sable de dune, le sable alluvionnaire, le ciment, eau et déchet d'aluminium. La caractérisation est faite d'un point de vue physique (la masse volumique apparente et absolue, l'analyse granulométrie et, chimique). Ces connaissances permettraient de bien connaître les différents paramètres qui vont influencer les propriétés physiques et mécaniques du mélange contenant ces matériaux.

Les essais d'identification des matériaux utilisés ont été réalisés au sein des laboratoires de génie civil d'université d'Ouargla.

II.2. caractéristiques des matériaux utilisés

II.2.1. Ciment

Le ciment utilisé pour la confection des bétons de sables doit être conforme à la norme NF P15-301. Les dosages en ciment sont proches des bétons ordinaires (300 à 400 kg/m³).

Il est à noter que pour un même usage, le dosage en ciment pour les bétons de sable est généralement plus élevé que les bétons classiques. [22]

Le ciment utilisé est un ciment CPJ-CEM II /BL 42.5N (ELMATINE).

II.2.1.1. Caractéristiques chimiques

Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous:

Tableau II.1. L'analyse chimique du ciment [Annexe A]

Mg O	SO ₃	CL	C ₃ S	C ₃ A
1.7	2.50	0.02	62	7.5

II.2.1.2. Caractéristiques mécaniques

Le tableau suivant résume certaines caractéristiques mécaniques de ciment utilisé.

Tableau II.2 .Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé [Annexe A]

Propriétés physiques et mécaniques	CPJ-CEM II /B-L
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	250±50
Rc ₂ (MPa)	≥10.0
Rc ₂₈ (MPa)	≥42.5

II.2.2. L'eau

L'eau de gâchage utilisée pour la totalité de nos essais de formulation de béton de sable, est une eau courante de robinet, dépourvue des excès de sels, de sulfates et d'acides. L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire d'Algérienne des Eaux, les résultats sont Présentés dans le tableau II.3.

Tableau II.3. Composition chimique de l'eau [Annexe B]

Ca ⁺⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NH ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	PH	Salinité
240,48	162,81	23	400	998,03	0,09	720	184,92	7,5	2300

Les concentrations sont données en mg / l.

II.2.3. Les adjuvants

Le plastifiant que nous avons utilisé est appelé MEDAFLUID 40 et un plastifiant réducteur d'eau, il est compatible avec tous les types de ciment [Annexe C]

Les caractéristiques de MEDAFLUID 40 sont :

- ✓ Aspect : Liquide.
- ✓ Couleur : Marron.
- ✓ pH : 8-9.
- ✓ Densité : 1.19.
- ✓ Teneur en chlore : < 1 g /l.
- ✓ Extrait sec 40%.

La principale action pour ce plastifiant est d'améliorer considérablement les propriétés du béton, il s'agit de fluidifier le mélange de béton par dispersion rapide des particules de ciment qui si non ont tendance à rester agglomérées au contact de l'eau seule.

II.2.4. Les déchets d'aluminium



Photo II.1. Déchet d'aluminium utilisé

Le Photo (II.1), montre le déchet utilisé dans cette étude, il se présente généralement sous la forme de minces bandes souples et petites de tailles variables (poudre d'aluminium). Les déchets d'aluminium proviennent de la fabrication et de l'utilisation d'alliages d'aluminium pour applications d'ingénierie, principalement dans les éléments de construction résidentiels, tels que les façades, les revêtements, les fenêtres, les portes et les garde-corps.

Les déchets de classement en aluminium utilisés sont de petite taille et granulé avec une taille maximale d'environ 4 mm. Les pourcentages utilisés dans ce travail est de 0.5%, 1% et 1.5%

La masse volumique de ce déchet est celle de l'aluminium qui est égale à 2.7g/cm^3 .

II.2.5. Les sables

Dans cette étude nous avons utilisé un sable alluvionnaire (SA) provenant d'un site situé à 30 kms de Ouargla sur la RN 56 et un sable de dune (SD) provenant de la région de BOUR ALHAICHA (Ouargla).



Photo II.2. Sables de dunes et alluvionnaire

II.2.5.1. Equivalent de Sable (NFP 18-598)

Les sables utilisés dans différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importantes des argiles fins nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux. Cette proportion relative d'impureté dans le sable peut être déterminée grâce à l'essai de propreté appelé "équivalent de sable". Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable.

✓ But d'essai

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, Ce dernier consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

✓ Principe de l'essai

l'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. l'échantillon est lavé selon un processus

normalisé, puis on le laisse reposer pendant 20 minutes et enfin on prend les mesures h1 et h2 pour pouvoir déterminer l'équivalent de sable ESV et ES.

- Mesure avec une règle de mesure (ESV).

$$ESV = (h2/h1) 100 \% \dots\dots\dots(2.1)$$

- Mesure avec un piston (ES).

$$ES = (h2/h1) 100 \% \dots\dots\dots(2.2)$$

Où :

- hauteur h1: sable propre + éléments fins.
- hauteur h2 : sable propre seulement.

✓ **Préparation d'échantillon**

Il faut tamiser au tamis de 5 mm, éliminer le refus, et recueillir tout le tamisât.

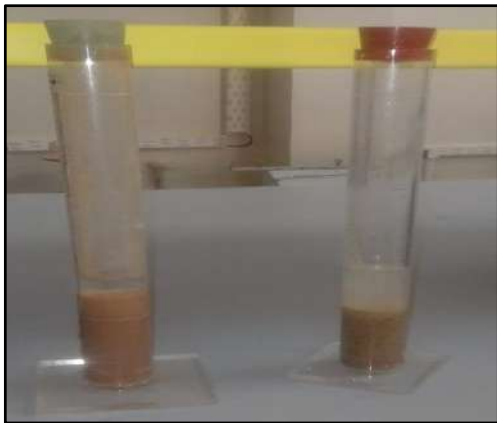


Photo II.4. Mesure avec un piston (ES) [28]



Les résultats des essais concernant l'équivalent de sable sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4. Résultats d'essai de l'équivalent de sable

Nature de sable	SA en (%)	SD en (%)
ESV (moyenne a vue)	87.39	99.51
EV (moyenne à piston)	86.67	92.48
Résultats : - ESV ≥ 85 • ES ≥ 80	sable très propre	sable très propre

Nous pouvons conclure que les sables utilisés sont très propre.

II.2.5.2. La Masse Volumique [23]

C’est une propriété physique principale des matériaux de construction, elle est présentée sous sa forme apparente et absolue.

II.2.5.2.1. La Masse Volumique Apparente (NFP 18 -554)



Photo II.5. Essai de la masse volumique apparente

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.

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.

✓ **Mode opératoire de l’essai**

Verser l’échantillon au centre du récipient, jusqu'a ce qu’il déborde tout autour en formant un cône, ensuite raser à la règle et Peser le contenue.

La masse volumique apparente est calculée à partir de la formule suivante:

$$M_{app} = \frac{M_T - M_0}{v} \dots\dots\dots (2.3)$$

Où :

- M_0 : La masse du récipient de mesure vide.
- M_T : La masse du récipient avec l'échantillon.
- V : le volume du récipient de mesure.

Tableau II.5. Résultat de la Masse volumique apparente

Types de sables	g/cm^3
Sable de dunes	1.47
Sable alluvionnaire	1.67

II.2.5.2.2. La Masse Volumique Absolue (NFP18-301)



Photo II.6 : Essai de la masse volumique absolue.

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

La méthode de l'éprouvette graduée est très simple et rapide.

La formule utilisée pour le calcul de la masse volumique absolue est la suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M_s}{(V_2 - V_1)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Où :

$M_{V\ abs}$: Masse volumique absolue.

M_s : Masse des grains solides

V_1 : Volume de l'eau

V_2 : Volume total (grains solides+ eau)

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

✓ Mode opératoire

- On remplit une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- On pèse un échantillon sec Ms de sable (environ 300 g), on l'introduit dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. Ensuite on lit le nouveau volume V2.

Le volume absolu est $V = V2 - V1$

Le tableau II.6, présente les résultats de la masse volumique absolue des sables de dunes et alluvionnaire.

Tableau II.6. Résultats de la masse volumique absolue

Composition de sable	g/m^3
Sable de dune	2.66
Sable alluvionnaire	2.63

II.2.5.3. Analyse granulométrique (NF P 18-540)



Photos II.7. Essai d'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est l'étude des dimensions des diamètres des grains, leur distribution.

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par tamisage sur des tamis ou passoirs

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101) [24]

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

- Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm.

✓ **But d’essai**

Le but de cet essai consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,08 et 5 mm.

Dans cette étude nous avons utilisé quatre échantillons :

- Premier échantillon : 100% sable de dunes ;
- Deuxième échantillon: 100% sable alluvionnaire ;
- Troisième échantillon : 50% Sable alluvionnaire + 50% sable de dunes ;
- Quatrième échantillon: 40 % sable de dunes + 60% sable alluvionnaire.

Les figures II.1, II.2, II.3 et II.4 présentent les courbes granulométriques des quatre échantillons de sables utilisés dans ce travail. Où nous remarquons que la courbe du sable de dunes (Fig. II.1), est en partie en dehors du domaine normalisé du fait de sa granulométrie à la fois très fin et serrée et que les courbes (Fig. II.2, II.3, II.4) sont placées à l’intérieur du domaine normalisé plus particulièrement la figure II.4, où nous remarquons que cette dernière est entièrement placée à l’intérieur du domaine A (Préférentiel).

II.2.5.3.1. Courbe granulométrique du premier échantillon

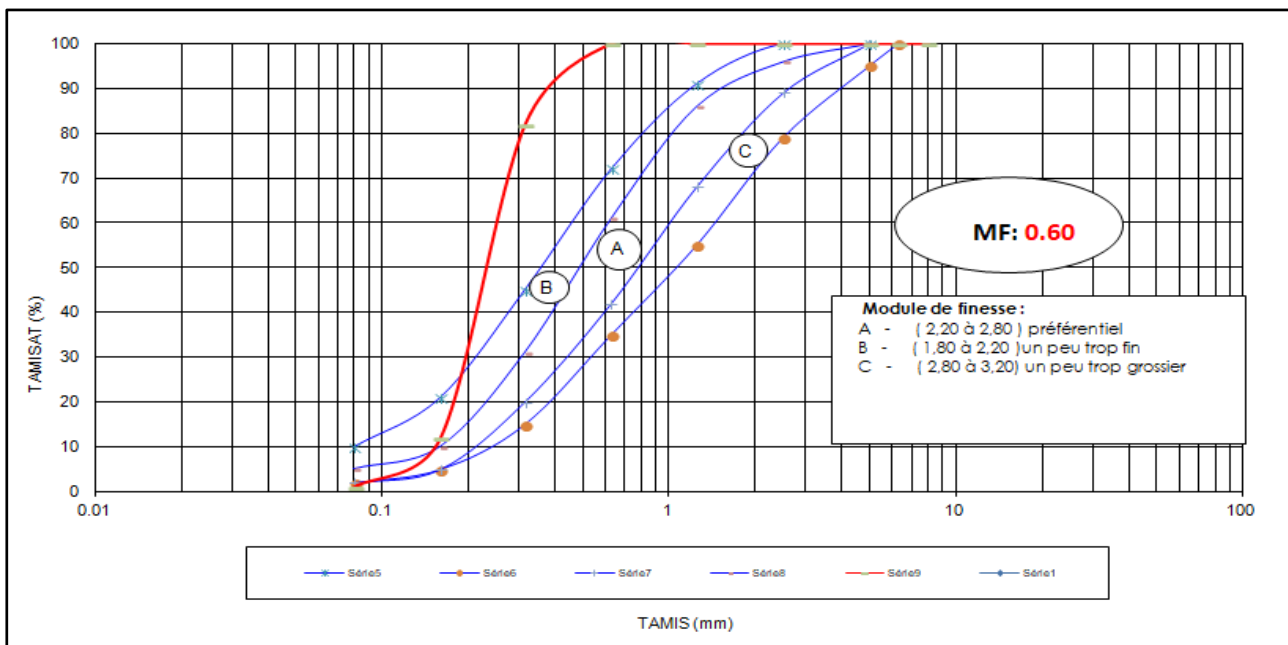


Fig. II.1. Courbe d’analyse granulométrique (100 % sable de dunes)

II.2.5.3.2. Courbe granulométrique du deuxième échantillon

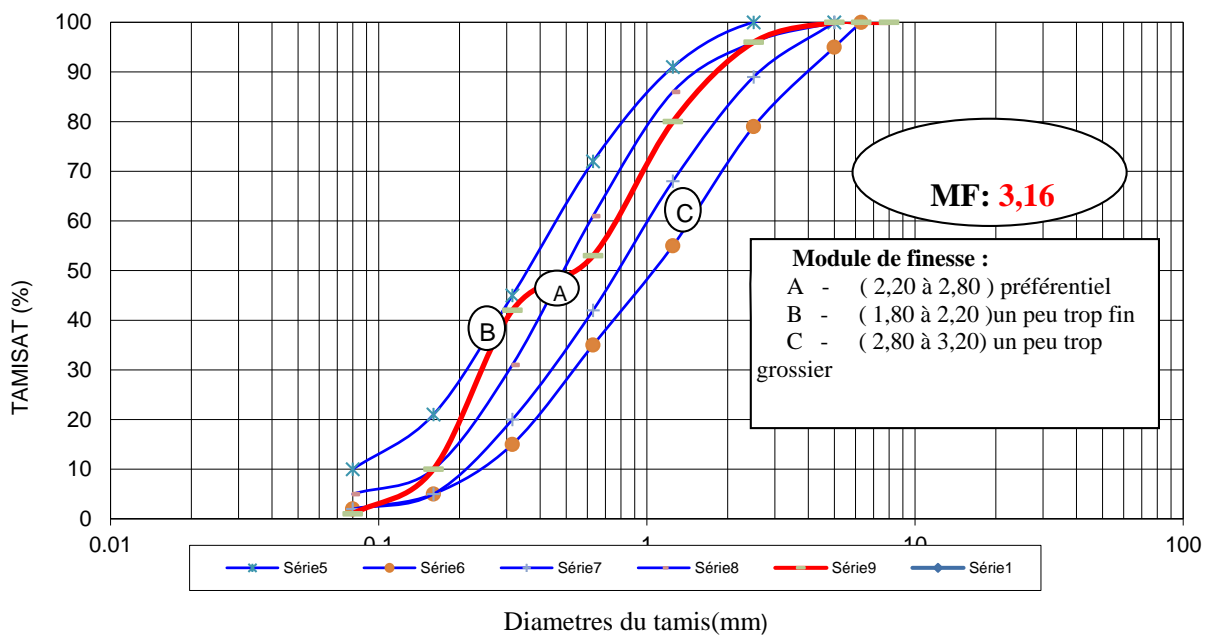


Fig. II.2. Courbe d’analyse granulométrique (100% sable alluvionnaire)

II.2.5.3.3. Courbe granulométrique du troisième échantillon

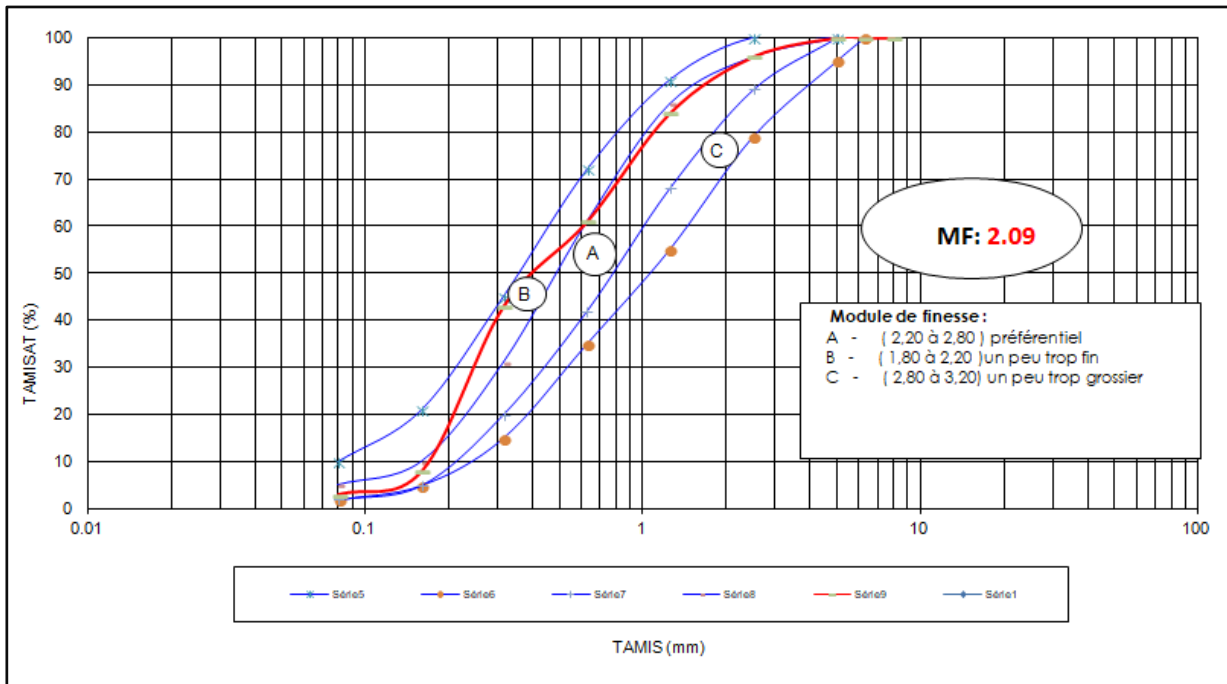


Fig. II.3. Courbe d'analyse granulométrique (50% SA + 50% SD)

II.2.5.3.4. Courbe granulométrique du quatrième échantillon

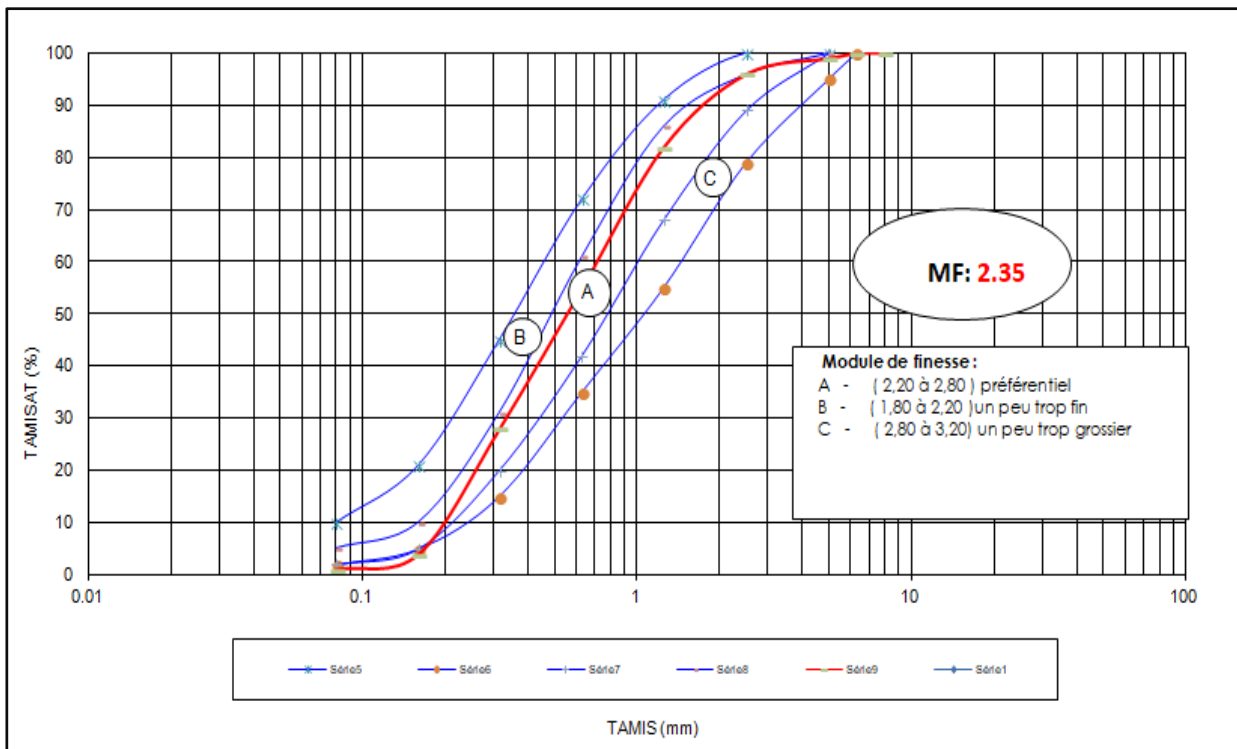


Fig. II.4. Courbe d'analyse granulométrique (40% SD +60% SA)

II.2.5.3.5. Module de finesse

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

Norme Française [NFP 18-540] Le module de finesse est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 5mm. Lorsque MF est comprise entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.2 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables. [24]

Tableau II.8. Résultats de Module de finesse de différents échantillons

Echantillons	Module de finesse (MF)	Classement des sables
SD	0.6	Sable très fin
SA	3.16	Sable un peu trop grossier (C)
50% SA+50% SD	2.09	Sable un peu trop fin (B)
40%SA +60%SD	2.35	Sable préférentiel (A)

II.3. L'essais de maniabilité (NF P 18-452 et NF P15-437)

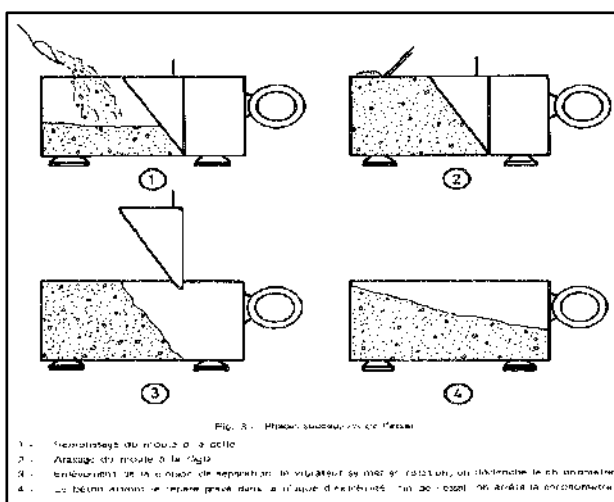


Fig. II.5. Principe de fonctionnement du Maniabilimètre LCPC. [26]

C'est une mesure qui est utile pour déterminée la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage, afin d'avoir un béton ayant une consistance voulue. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance; c'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 et NF P 15 -437.

II.3.1. Principe de l'essai

Dans ces essais, la consistance est caractérisée par le temps que met le mélange pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

II.3.2. L'appareil utilisé

L'appareil utilisé est appelé " Maniabilimètre LCPC" consiste en un boîtier parallélépipédique métallique ayant les dimensions en cm (7.5 x 7.5 x 15), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

II.3.3. Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 3 couches. 3 minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, ce qui provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mélange s'écoule, le chronomètre est arrêté quand le mélange atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps (t) mis par le mélange pour s'écouler caractérise sa consistance.

Tableau II.9. Classe de consistance des bétons. [25]

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$T \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$T \leq 10$

II.4. Formulation de béton de sable avec et sans poudre

Concernant la formulation du béton de sable renforcé de poudre avec les quantités variant de 0.50 à 1.5%, nous avons gardé le rapport E/C du béton témoin, pour se faire nous avons procédé à l'ajout d'un plastifiant (réducteur d'eau) afin de pouvoir travailler avec le rapport E/C fixe.

II.4.1. Composition du béton de sable

Les compositions des échantillons utilisés dans l'étude pour un mètre cube de béton sont :

Tableau II.13. Composition du béton de sable pour un volume de 1m^3 .

% de poudre		Sable en (g)		Ciment en (g)	Eau en (L)	Poudres-en (g)	E/C
		SD	SA				
C 1	Sans poudre						0.58
	0.5%+adj						
	1%+adj						
	1.5%+adj						
C 2	Sans poudre						0.44
	0.5%						
	1%						
	1.5%						
C 3	Sans poudre						0.47
	0.5%+adj						
	1%+adj						
	1.5%+adj						
C 4	Sans poudre						0.49
	0.5%+adj						
	1%+adj						
	1.5%+adj						

II.4.1.1. Préparation des éprouvettes



Photo II.8. Le moule utilisé



Photo II.9. La table vibrante utilisée

Les éprouvettes sont de forme prismatique 4cm x 4cm x 16cm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.

La vibration permet la liquéfaction du mortier et son tassement, ce qui augmente sa compacité et diminue la teneur en air, améliorent aussi les caractéristiques mécaniques et physiques du mortier, tel que, la résistance en compression et l'imperméabilité. Un excès de vibration peut provoquer une ségrégation, cette dernière est causée par la différence de densité entre les petits éléments (ciment et filler) et les grands éléments (granulats et sables) du mélange.

Dans cette étude le serrage de mortier se fait par l'intermédiaire de la table vibrante, l'arrêt de la vibration se fait dès qu'il n'y a plus d'apparition de bulles d'air à la surface des éprouvettes.

II.4.1.2. Conservation des éprouvettes

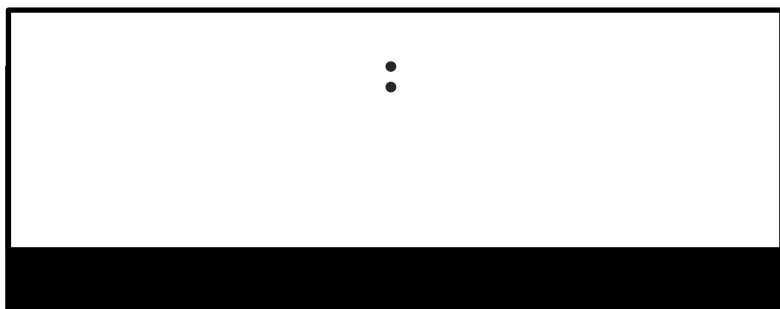


Photo II.10. Conservation des éprouvettes dans l'eau.

Avec le mélange préparé nous avons remplis trois moules de dimensions (4x4x16) cm³. Entre 20 et 24 heures après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau à 20 °C jusqu'au moment de l'essai de l'écrasement.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à la caractérisation des matériaux utilisés (le ciment, l'eau, le sable de dune et le sable alluvionnaire). D'après les résultats d'analyse granulométrique, nous avons remarqué que le sable de dune possède un module de finesse faible contraire à celui du sable alluvionnaire qui lui donne un module de finesse d'un sable un peu trop grossier. Quant aux compositions 40% SD+60% SA et 50% SD+ 50% SA, donnent un module de finesse relativement acceptable. Pour l'équivalent de sable l'ensemble des échantillons sont classés très propre donc acceptable vis-à-vis la norme.



III.1. Introduction

Après une caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés et une série d'expériences sur le mortier frais, dans ce dernier chapitre nous allons entamer une partie intéressante de cette étude; qui se résume dans le comportement mécanique du béton de sable. Où nous allons déterminer la résistance à la compression et à la traction à 7, 21 et 28 jours.

Nous allons également examiner l'effet de l'incorporation des déchets d'aluminium sur les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des mélanges, ainsi qu'une comparaison des résultats obtenus avec les bétons témoins afin d'évaluer l'efficacité de l'ajout d'aluminium dans les bétons de sable.

III.2. Essai de Flexion

Cet essai est réalisé selon la norme NFP 18-407. Par un dispositif à rouleau utilisé en flexion (3points), il a été réalisé à 7, 21 et 28 jours pour toutes les compositions du béton de sable.



Photo III.1. Essai de flexion

III.2.1. Résistance à la flexion

L'essai de flexion est réalisé selon la norme (NFP 18-407). Est exécuté sur trois éprouvettes (4x4x16) cm³. La machine d'essai (Photo III.1) a été effectuée au sein du laboratoire de génie civil de l'université Kasdi Merbah de Ouargla.

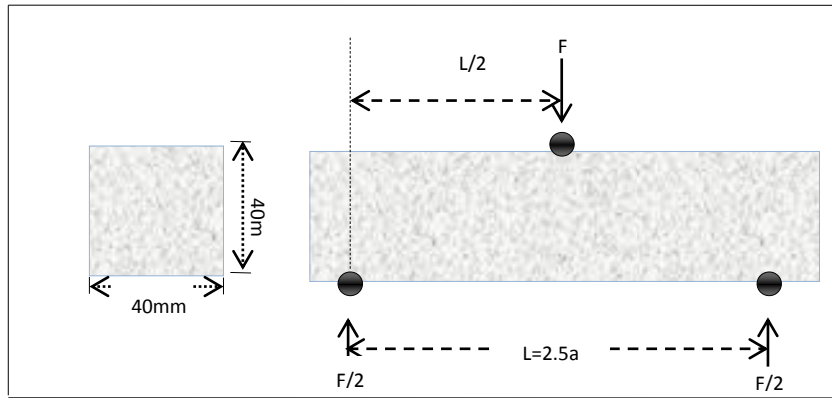


Fig. III.1. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

Le dispositif d'essai comporte deux appuis à roulement distant de 100 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique (4x4x16) cm voire (Fig.III.1), et un troisième rouleau transmettant une charge concentrée F. La contrainte de flexion est déterminée par la relation suivante :

$$R_{rt} = \frac{3 \times F \times L}{2 \times a^3} \dots \dots \dots (3.1)$$

Où :

- $L = 2.5 \times a$
- R_{rt} : Résistance à la flexion en (MPa) ;
- F: Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N) ;
- L: Longueur qui sépare les deux appuis égale à 100 mm ;
- a: Côté de l'éprouvette est égal à 40 mm.

Cet essai est exécuté par une machine désignée pour les tests de flexion, sur les éprouvettes de béton de sable (4x4x16).

**Conclusion générale et
Recommandations**

Conclusion générale et recommandations

L'augmentation naturelle de la population mondiale pousse les gouvernements à fournir de plus en plus d'effort dans le domaine de la construction de logements, d'usines, de structures et de routes cela conduit à une augmentation des déchets divers (déchets industriels, ménagers,... etc.). Qui pose un sérieux problème à la fois à l'économie et plus particulièrement à l'environnement.

Pour parer à ce problème, la valorisation des déchets est l'une des solutions la plus efficace. C'est pour cette raison que nous avons opté dans ce travail à une valorisation d'un déchet industriel (poudre d'aluminium).

Cette étude a été réalisée en trois chapitres, où nous avons déduit les conclusions suivantes:

- Une diminution de la résistance à la flexion et à la compression des bétons contenant la poudre d'aluminium par rapport au béton témoin a été observée.
- Le meilleur résultat de la résistance à la compression des bétons témoins est donné par le mélange C4, suivi de celui de C2 et C3 et en dernière position celui réalisé avec 100% SD (C1).
- Plus le dosage en poudre d'aluminium augmente plus la résistance mécanique (compression et flexion) des bétons diminue.
- La densité des bétons avec ajout de poudre d'aluminium est plus faible par rapport aux bétons témoins.
- Les bétons réalisés avec l'ajout d'un taux de 0.5% de poudre d'aluminium présentent une meilleure résistance à la compression et à la flexion par rapport aux mélanges réalisés avec des taux de 1% et 1.5%.
- Les bétons réalisés avec une formulation ayant une composition de 40% SD + 60% SA (C4) avec et sans ajout de poudre d'aluminium présente une résistance mécanique plus importante par rapport à ceux réalisés avec 100% SD (C1), 100% SA (C2) et 50% SD + 50% SA (C3).
- la maniabilité diminue au fur y'à mesure que le dosage en poudre d'aluminium augmente.

Recommandations

Nous recommandons dans cette étude :

- Etude de la résistance à la flexion et à la compression à l'âge de 60 et 90 jours.
- Réalisation d'analyses chimiques de poudre d'aluminium.
- Etude du retrait des bétons avec ajout de poudre d'aluminium.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] FERGUNE.H, 2016. Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants. Mémoire de Master. Université M'HAMED Bougara Boumerdes
- [2] thesis.univ-biskra.dz/2429/4/Chapitre%2002.pdf
- [3] www.strid.ch/pdf/toutes_filieres2.pdf
- [4] CIM Béton, (1995), Les béton de sable en structure de chaussées, centre d'information sur le ciment et ses applications, Paris, France.
- [5] [https://www.google.com/search?q=métro+de+saint-pétersbourg&source\(06/06/2019-18:13\)](https://www.google.com/search?q=métro+de+saint-pétersbourg&source(06/06/2019-18:13))
- [6] AYACHIA, 2011. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes. Mémoire de Master. Université KASDI MERBAH d'Ouargla.
- [7] BANTATA.A, « Etude expérimentale d'un béton avec sable de dune de la région de Ouargla (Ain El Baida) » Mémoire de magister, Université de Ouargla ,2003/2004.
- [8] [https://www.ensh.dz/files/Cours/1011/Mat%C3%A9riaux%20de%20construction/Eau%20et%20adjuvants.pdf\(28/05/2019-h01:25\)](https://www.ensh.dz/files/Cours/1011/Mat%C3%A9riaux%20de%20construction/Eau%20et%20adjuvants.pdf(28/05/2019-h01:25))
- [9] [http://www.ciment.wikibis.com/\(02/06/2019-h00:53\)](http://www.ciment.wikibis.com/(02/06/2019-h00:53)).
- [10] <https://www.infociments.fr/betons/adjuvants> (14/06/2019-h18:45)
- [11] <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1229/1/Si-Ahmed-Mohamed.pdf>
- [12] <https://fra.sika.com/fr/solutions-produits/marche-construction/technologie-beton/produits-systemes/betons-fibres.html> (02/06/2019-h02:04).
- [13] AZZOUZ.H, 2009. Etude des bétons a base des sables de dune. Mémoire de Magister. UNIVERSITÉ MOHAMED KHEIDER BISKRA
- [14] [https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/maconnerie/le-beton-fibre-4039_A\(02/06/2019-h02:31\)](https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/maconnerie/le-beton-fibre-4039_A(02/06/2019-h02:31)).
- [15] [http://www.economiesolidaire.com/2010/07/19/dechet-industriel/\(02/06/2019-h11:35\)](http://www.economiesolidaire.com/2010/07/19/dechet-industriel/(02/06/2019-h11:35)).
- [16] <http://www.economiedenergie.fr/Les-dechets--les-typologies.html> (02/06/2019-h11:39).
- [17] [http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/gestion-des-dechet-industriels/\(02/06/2019-h11:39\)](http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/gestion-des-dechet-industriels/(02/06/2019-h11:39)).
- [18] <http://www.acevepro.com/12/LES-POINTS-CLES> (02/06/2019-h12:21).
- [19] <http://thesis.univ-biskra.dz/1000/3/chapitre%2001.pdf>
- [20] <https://www.noonpost.com/content/19816> (06/06/2019-h00:13).
- [21] <https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=3780.pdf>

- [22] BELFERRAG, A. 2006. valorisation des fibres métallique issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dune. mémoire magister. Université KASDI MERBAH d'Ouargla
- [23] <http://www.geniecivilfrance.com> (06/06/2019-23:55)
- [24] https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/analyse_granulometrique.pdf
- [25] Norme française, Ciments courants, NF P 15-301, Juin 1994.
- [26] http://media.lcpc.fr/ext/pdf/ifsttar/librarie/fonds_ancien/RR037.pdf
- [27] <http://keu92.org/uploads/Search%20engineering/Awaz%20Sabah%20Nader.pdf>
- [28] https://www.google.com/search?q=equivalent+de+sable&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjiku_YpP7iAhWQasAKHZ4DtkQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=woh-5RWyslEajM (22/06/2019-h00:13).

Annexes