

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N°d'enregistrement

/.../.../.../.../...

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Thème

**Pour une contribution à l'amélioration des
caractéristiques chimiques et mécaniques d'un béton à
base de sables dunaire et ses fines**

Soutenue publiquement le 10 / 06 / 2024

Par

MADANI Keltoum

BOUABDELLI Amel

Devant le jury composé de :

Dr. Cady	MCA	Ghardaïa	Président
Mr.LAROUÏ Abdelbasset	MAA	Ghardaïa	Encadreur
Dr. Dehane	MCB	Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Lorsque j'ai terminé ma thèse de master, j'étais redevable de beaucoup de remerciements et de gratitude à tous ceux qui m'ont soutenu et m'ont apporté aide et conseils. Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à travers des mots sincères et honnêtes :

Tout d'abord et avant tout, je tiens à remercier Dieu tout- Puissant m'avoir donné la force et la patience pour réaliser cet accomplissement.

Je tiens à exprimer ma gratitude infinie à mes professeurs distingués qui n'ont jamais hésité à me fournir leurs précieux conseils et leurs connaissances approfondies Vous avez été un soutien inestimable dans mon parcours académique, et vos directives et conseils ont eu un impact considérable sur le développement de ma pensée et de mes compétences.

Un remerciement spécial à mon superviseur de thèse, **M. LAROUÏ Abdelbasset**, pour son soutien constant et sa grande patience dans mon orientation et son aide à surmonter les obstacles. Vos conseils précieux et vos remarques constructives ont été la pierre angulaire de la réalisation de ce travail.

Je ne saurais oublier de remercier tous ceux qui m'ont aidé, en particulier mes collègues « **HadjerDahmane** » et « **MessaoudaMeddah** » au niveau du Laboratoire Travaux Publique du Sud, qui ont toujours été à mes côtés avec leurs facilités et leurs orientations, me fournissant un soutien moral et une assistance lorsque nécessaire. Votre présence a eu le plus grand impact sur ma réussite et m'a permis de surmonter les difficultés.

Je tiens également à exprimer ma sincère gratitude et mes remerciements à ma chère famille et à mon compagnon de route, qui ont toujours été compréhensifs et m'ont soutenu, en me fournissant tout l'amour et l'encouragement dont j'avais besoin.

Enfin, je voudrais exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué, ne serait-ce qu'avec une parole gentille ou un sourire encourageant, chaque main tendue a été une source d'inspiration et de soutien dans mon parcours académique.

Merci à vous tous, car ce succès est le fruit de efforts et de votre incommensurable.

Que Dieu vous bénisse et vous récompense de tout bien.

Dédicace

À tous ceux qui croient que l'ambition n'a pas de limites et que la science est la clé de toutes les portes fermées.

À mon cher père, qui m'a appris que la foi en soi est la première étape vers le succès, et qui a toujours été mon modèle de travail acharné et de persévérance.

À ma tendre mère, ce succès est le sien, car je n'étais qu'un moyen de le réaliser grâce à son amour et à ses prières sincères. Elle a toujours été une source de générosité et de tendresse.

À celui qui m'a accompagné sur mon chemin, qui a partagé mes rêves et mes ambitions, qui a été à mes côtés dans les bons comme dans les mauvais moments, et qui a toujours été mon soutien en toutes circonstances.

À mes chers frères et sœurs, qui sont ma source d'inspiration et de détermination, en espérant que ce travail les motive à réaliser leurs rêves.

À mes professeurs, qui n'ont jamais hésité à partager leur savoir et leurs expériences, et qui ont toujours été des phares illuminant mon parcours académique.

À mes amis et collègues, qui ont été des compagnons de route et des aides précieuses à chaque étape, et qui n'ont jamais manqué de me conseiller et de me soutenir.

À tous ceux qui ont contribué à faire de moi ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie ce travail à toutes ces personnes merveilleuses, et à tous ceux qui ont eu un impact positif sur mon parcours scientifique.

« MADANI Keltoum »

Dédicace

يشرفني كثيراً أن أهدي هذا العمل المتواضع إلى أعر الناس في العالم
، إلى والدي العزيزين على محبتهم وعطفهم، ولولاهما لم أكن لأنمكّن من تحقيق هدفي، وإلى زوجي العزيز
عمران علاء الدين وابنتي جنى أسيل والطفل محمد جود،
وإلى إخوتي وأخواتي
وكل أساتذة قسم الهندسة المدنية شكراً على كل مساعدة.

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde,

À mes chers parents pour leur amour et leur tendresse, sans qui je n'aurais pas pu atteindre
mon objectif,

À mon cher époux Imran Alaeddine, à ma fille Jana Assil et à l'enfant Mohamed Joud, ainsi
qu'à mes frères et sœurs.

Merci à tous les professeurs du département de génie civil pour toute l'aide apportée.

« **BOUABDALI Amel** »

Résumer

Cette étude expérimentale visait à améliorer les propriétés chimiques et mécaniques du béton en utilisant le sable des dunes du sud algérien (région d'Ain Salah). Les caractéristiques des matières premières ont été analysées et plusieurs formulations de béton et formulation des mortiers contenant des proportions variées de sable des dunes et ses fines ont été testées. Les résultats ont montré que l'utilisation de sable des dunes à hauteur de 30% améliore la résistance à la compression du béton ainsi que sa résistance aux attaques de sulfate, soulignant ainsi son utilité en tant qu'alternative durable et économique au sable ordinaire. De plus, l'utilisation de ce sable contribue à réduire l'impact environnemental de l'industrie du béton en diminuant les émissions de carbone et la consommation des ressources naturelles traditionnelles. L'étude montre la possibilité d'appliquer cette technique à plus grande échelle après des recherches et des développements supplémentaires.

Mots clé : les propriétés chimiques, propriétés mécaniques, amélioration, sable des dunes, les fines de sables des dunes, béton, mortiers, résistance à la compression, attaques sulfatique.

المخلص

هدفت هذه الدراسة التجريبية إلى تحسين الخصائص الكيميائية والميكانيكية للخرسانة باستخدام الرمال الكثبان من الجنوب الجزائري (منطقة عين صالح). تم تحليل خصائص المواد الخام واختبار عدة تركيبات خرسانة و ملاط تحتوي على نسب متفاوتة من رمل الكثبان و رمل الكثبان الناعم. أظهرت النتائج أن استخدام الرمال الكثبان بنسبة تصل إلى 30% يحسن مقاومة الضغط للخرسانة و أيضا مقاومته لهجمات السلفات ، مما يبرز فائدتها كبديل مستدام واقتصادي للرمال العادية. بالإضافة إلى ذلك، يساهم استخدام هذه الرمال في تقليل الأثر البيئي لصناعة الخرسانة من خلال تقليل انبعاثات الكربون واستهلاك الموارد الطبيعية التقليدية. تُظهر الدراسة إمكانية تطبيق هذه التقنية بشكل أوسع بعد مزيد من البحث والتطوير.

الكلمات المفتاحية : الخصائص الميكانيكية، الخصائص الكيميائية، تحسين، رمال الكثبان، رمل الكثبان الناعم، خرسانة، ملاط، مقاومة ضغط، هجمات السلفات، بديل مستدام.

Abstract

This experimental study aimed to improve the chemical and mechanical properties of concrete using dune sand from southern Algeria (region of Aïn Salah). The characteristics of the raw materials were analyzed and several concrete formulations and mortar formulation containing varying proportions of dune sand and fine dune sand were tested. The results showed that the use of dune sand up to 30% improves the compressive strength of the concrete as well as its resistance to sulfate attacks, highlighting its utility as a sustainable and economical alternative to ordinary sand. Additionally, the use of this sand contributes to reducing the environmental impact of the concrete industry by lowering carbon emissions and the consumption of traditional natural resources. The study demonstrates the potential for wider application of this technique following further research and development.

Key words: Mechanical properties, chemical properties, improvement, dune sand, fine dune sand, concert, mortar, compressive strength, Sulfate resistance, sustainable alternative.

Sommaire

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures et des Images.....	I
Liste Des Abréviations	I
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ECO MATERIAUX ET BETON DURABLE	
1. INTRODUCTION	3
2. GENERALITE	3
2.1. Eco matériaux	3
2.1.1. Définition	3
2.1.2. Avantages d'éco matériaux	3
2.1.3. Inconvénient d'écobéton.....	3
2.2. Béton ordinaire	4
2.2.1. Définition	4
2.2.2. Constituants du béton.....	4
2.2.3. Quelques types du béton durable	7
2.2.4. Avantages de béton	8
2.2.5. Inconvénients de béton:	8
2.3. Eco béton.....	9
2.3.1. Définition	9
2.3.2. Le principe du béton écologique	9
2.3.3. Avantages d'éco béton.....	9
3. PRINCIPAUX ALTERNATIVE UTILISE DANS LA CONSTRUCTION.....	10
3.1. Pour mur	10
3.1.1. Le bois.....	10
3.1.2. Béton cellulaire	10
3.1.3. Le brique mono mur	11
3.1.4. Terre crue et prié	11
3.2. Pour isolation	12
3.2.1. La ouate de cellulose.....	12
3.2.2. La laine de mouton.....	12
3.2.3. Liège	13
3.3. Pour béton.....	13
3.3.1. Le béton de cendre	13
3.3.2. Le béton de chanvre	14

3.3.3. Le mycélium	14
4. LE CRITER ECOLOGIQUE QUI EST PRIS EN COMPT D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	15
4.1. Type de matière première.....	15
4.2. Un matériau approprié à chaque application.....	15
4.3. Pronologer la durée de vie	15
4.4. Possibilité de recyclage.....	15
5. AVANTAGE D'UTILISATION D'ALTERNATIVES.....	16
6. REAJUTE POUR ASSURER LA DURABILITE	16
6.1. Variables liés au matériau	16
6.2. Variables liés à la structure	16
6.3. Variables liés à l'environnement.....	17
6.4. Variables économiques	17
7. CONCLUSION.....	18
CHAPITRE II: LE SABLE DE DUNES CARACTERISTIQUE ET USAGES	
1. INTRODUCTION	20
2. CARTE DE PRESENCE DU SABLE DES DUNES EN ALGERIE	20
3. SABLE DE DUNES:.....	21
3.1 Définition.....	21
3.2. Différentes types de sables	21
3.2.1. Sables artificiels (les sables issus d'une chaîne d'élaboration).....	21
3.2.2. Sables naturels.....	21
3.3. Nature de sable des dunes.....	22
3.3.1. Mécanismes des dunes.....	22
3.3.2. Différentes formes d'accumulations sableuses.....	22
3.4. Caractéristiques de sables des dunes	25
3.4.1. Granulométrie	25
3.4.2. Forme des grains : (Microscope électronique à balayage).....	25
3.4.3. Propreté.....	26
3.4.4. Minéraux constituants.....	26
3.4.5. Composition chimiques	26
3.4.6. Signification du sable de dune.....	27
4. SABLE DES DUNES DANS LES BETON ETLE MORTIES	28
5. INFLUENCE DE L'ADDITION DU SABLE DE DUNE EN POUDRE AU CIMENT SUR LES PROPRIETES DU BETON	28
6. INFLUENCE DU POURCENTAGE DE SABLE DU DUNES SUR LES	

CARACTERISTIQUES DU BETON.....	29
7. CONCLUSION.....	31
CHAPITRE III: CARACTERISTIQUE DES MATERIEAUX ET PROTOCOLE EXPREMENTAL	
1. INTRODUCTION.....	33
2. ZONE DE PRELEVEMENT	33
3. CARACTERISATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MATERIAUX	34
3.1. Sable.....	34
3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage : [NFP 94-056]	34
3.1.2. Module de fines : [NFP 18-540].....	35
3.1.3. La masse volumique : [NF P 18-555]	35
3.1.4. Equivalent de sable :[NFP 18-598]	37
3.1.5. Essai au bleu de méthylène (VB) : [NF P 94-068]	39
3.1.6. Essai la perméabilité de sable.....	39
3.1.7. Analyse chimique:	40
3.2. Gravier.....	40
3.2.1. Analyse granulométrique par tamisage : [EN 933-1]	40
3.2.2. Masse volumique : [NF P 18-555]	41
3.2.3. Coefficient de premebilité d'eau : [NFP18-555].....	43
3.2.4. Coefficient d'Aplatissement : [NF EN 933-3]	43
3.2.5. Los Angeles : [NF EN 1097]	45
3.2.6. Micro-Deval : [NF EN 1076-1]	46
3.2.7. Analyse chimique	46
3.3. Ciment.....	47
3.3.1. <i>Caractéristique physique de ciment « Matine »</i>	47
3.3.2. <i>Caractéristiques mécaniques de ciment « Matine »</i>	47
3.3.3. <i>Caractéristiques chimique de ciment « Matine »</i>	47
3.4. Fines.....	48
3.4.2. Analyse granulométrique par sédiment	49
3.4.3. Limites d'Atterberg :[NF P 94-051]	50
3.4.4. Essai bleu de méthylène : [NF EN 17542-3].....	50
3.4.5. Analyse chimique:	51
3.5. Eau de gâchage.....	51
4. CONCLUSION.....	52

CHAPITRE IV : FORMULATION DES ECHANTILLON ET PROTOCOL EXPREMENTAL

1. INTRODUCTION.....	54
2. ETUDE DE RESISTANCE	54
1.1. Présentation de la méthode FAURY	54
1.2. Le rapport E/C.....	56
1.3. Analyse granulométrique : [NF P 18-560]	56
1.4. Les formulations du béton	57
1.5. Préparation des mélanges : [NF 18.404].....	58
1.6. Essai d'essai d'affaissement au cône d'Abrams :[NFP 18-451]	59
1.7. Détermination à la masse volumique fraîche:	60
1.8. Moulage : [NF P18 -422]	61
1.9. Vibration:	61
1.10. Conservation des éprouvettes.....	61
1.11. Démoulage	61
1.12. Détermination de la masse volumique durcie	61
1.13. La résistance à la compression (essai d'écrasement): [NF P 18.406].....	62
2. ETUDE DE DURABILITE	63
2.1. Formulation des mortiers	63
2.2. Préparation des mortiers : [EN 196-1]	64
2.3. Préparation des solutions.....	65
2.3.1. La solution d'acide sulfatique H_2SO_4	65
2.3.2. La solution sulfate de sodium Na_2SO_4	66
2.4. Essais de durabilité	67
2.4.1. PH de la surface de l'échantillon.....	67
2.4.2. La perte de masse de l'échantillon	68
2.4.3. Evolution des dimensions de l'échantillon	68
3. CONCLUSION.....	70

CHAPITRE V: RESULTAT ET DUSCISTION

1. INTRODUCTION	72
2. ETUDE DE RESISTANCE	72
2.1. La densité.....	72
2.2. Essai d'affaissement et E/C.....	73
2.3. Résistance à la compression.....	73
3. Etude de durabilité	81
3.1. PH de la surface de l'échantillon	81

3.1.1.	Le PH de solution acide de sulfate H_2SO_4	81
3.1.3.	Le PH de l'eau distillé H_2O :	82
3.2.	La perte de masse de l'échantillon	82
3.2.1.	La perte de masse des échantillons à la solution acide de sulfate H_2SO_4	82
3.2.2.	La masse des échantillons à la solution sulfate de sodium Na_2SO_4	84
4.	CONCLUSION.....	90
	CONCLUSION GÉNÉRAL.....	92
	Les références bibliographiques	95
	ANNEXES	99

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Analyse chimique du sable de dune (Ben oulakis .A ,2015)	27
Tableau II.2: Les pourcentages des éléments majeurs et mineurs (Zeghichi, Lahmadi et Benghazi, 2012).....	27
Tableau II.3 : Les pourcentages des éléments.....	28
Tableau III .1.Présentation de Module de fines des deux sables	36
Tableau III.2: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique apparente des sables	37
Tableau III.3: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique absolue des sables	38
Tableau III.4: Présentation la valeur de l'équivalent de sable de sable de la dune	39
Tableau III.5:Présentation la valeur de l'équivalent de sable de sable construction	39
Tableau III.6: Classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène (Didier .D, 1999)40	
Tableau III.7: Présentation le résultat d'essais bleu méthylène	40
Tableau III.8:Présentation le résultat d'essais la perméabilité de sable	41
Tableau III.9: Présentation les résultats d'analyse chimique des deux sables	41
Tableau III.10: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique apparente des sables.....	44
Tableau III.11: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique absolue des sables.....	45
Tableau III.12: Présentation le résultat d'essai absorption d'eau du gravier 3/8 et 8 /15	45
Tableau III .13: le résultat d'essai d'aplatissement de gravier 3/8.....	46
Tableau III .14:Présentation le résultat d'essai d'aplatissement de gravier 8/15	47
Tableau III.15: Appréciation de la résistance à la fragmentation. (Chellali .M, 2009).....	47
Tableau III .16: Le résultat d'essai Los Angeles.....	48
Tableau III.17: Appréciation de la duretéMicro-Deval	48
Tableau III .18: Le résultat d'essai Micro-Deval	48
Tableau III.19: le résultat d'analyse chimique du gravier de construction.....	49
Tableau III.20: Présenter les caractéristiques physiques de ciment de « Matine » (fiche technique Matine ,2023)	49
Tableau III.21: Présenter les caractéristiques mécaniques de ciment de « Matine ». (Fiche technique Matine, 2023)	49
Tableau III.22: Présenter les caractéristiques chimiques de ciment de « Matine ». (Fiche technique Matine, 2023)	50

Tableau III.23 : Le résultat d'analyse granulométrique par sédiment des fines.....	53
Tableau III.24: Résulta d'analyse chimique d'eau utilisée.....	53
Tableau IV. 1: Dosage théorique pondéral et volumétrique pour 1 m ³	58
Tableau IV. 2: Le résultat de rapport E/C de compression.....	58
Tableau IV. 3: Volume d'éprouvette cubique.....	59
Tableau IV.4 : Dosage pour un gâcher	60
Tableau IV.5: Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser. (Chellali Mohamed Tyeb)	61
Tableau IV. 6: Présenter les résultats de masse volumique frais de chaque compositions	63
Tableau IV. 7: Présenter les résultats de masse volumique durci de chaque compositions.....	65
Tableau IV. 8: Formulation du mortier normalisé	67
Tableau IV.9: Opérations de malaxage du mortier normal. (LTPS(2024))	68
Tableau IV. 10: Le Protocole utilisé à base de protocole ASTM C 1012	71
Tableau IV.11: Classification de PH. (ROUANE Brahim SILEM Hichem ,2016)	72
Tableau V.1 : Présentent la masse volumique des compositions béton étudiées à l'état frais et durci	76
Tableau V.2: Le résultat d'essai d'affaissement et le rapport E/C des formulations du béton	77
Tableau V.3 : Le changement de ph avec le temps d'étude.....	81
Tableau V.4: Le changement de ph avec le temps d'étude.....	81
Tableau V.5: Le changement de ph avec le temps d'étude.....	81
Tableau V.6 : Comparaison entre toutes les compositions de béton	86
Tableau V.7: Comparaison des études de sables la dune et ses fines de différentes régions...	88

Liste des figures et des Images

Figure I.1 : Le ciment. (https://www.rubi.com/fr/blog/ciment-portland/)	4
Figure I.2 : Les granulats. (https://www.infociments.fr/betons/caracteristiques-et-types-de-granulats).....	5
Figure I.3 : Le sable. (https://www.cdegrouper.com/fr/applications/sables-agregats/sables-concasses).....	6
Figure I.4 : L'eau de gâchage. (https://www.futurasciences.com/maison/dossiers/construction-maison-preparer-bon-mortier-hourdage-1023/page/5)	6
Figure I.5: les adjuvants. (https://can.sika.com/fr/constructionrenovationresidentielle/produits-sika/produits-de-reparationdubetonmaconnerie/adjuvants-et-additifspourbeton.htm)	7
Figure I.6 : Maison en bois. (https://www.batiactu.com/edito/construction-bois-un-marche-qui-va-decoller-50830.php)	10
Figure I.7: Bloc de béton cellulaire. (https://mamaisondeaaz.gedimat.fr/80-murs-en-beton-cellulaire.htm).....	11
Figure I.8: Le brique mono mur. (https://isolation-thermique.org/prix-brique-monomur/)	11
Figure I.9: Bloc de Terre crue. (https://www.rtb.be/article/salon-batireno-energie-et-habitat-le-bloc-de-terre-crue-alternative-ecologique-au-beton-11272259).....	12
Figure I.10: Plaques en la ouate de cellulose. (https://www.efficacite-electrique.fr/les-dangers-potentiels-de-la-ouate-de-cellulose-ce-qu'il-faut-savoir)	12
Figure I.11: Isolation par la laine de mouton. (https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/isolation-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/4/)	13
Figure I.12: La cendre. (https://www.acpresse.fr/les-cendres-volantes/).....	13
Figure I.13: Bloc de cendre. (https://www.shutterstock.com/fr/search/bloc-de-cendre).....	14
Figure II.1 : Répartition des sables de dune en Algérie. (fanack.com, 2020)	20
Figure II.2 : Les nebkas (Mahmoud. A, 2009).....	22
Figure II.3 : Barkhanes (www.aquaportail.com ,2010)	23
Figure II.4 : Dunes paraboliques (www.scientificamerican.com,2015)	23
Figure II.5 : Dunes longitudinales (Banco d'ImágenesGeológicas, 2010)	24
Figure II.6 : Les dunes en dômes (David Green ,2019).....	24
Figure II.7 : Dunes pyramides ou étoile (www.insightsonindia.com ,2024)	25

Figure II.8 : Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune. (Mochten.A, Ben Ghdier .A, .2023).....	25
Image III.1 : Situation géographique de la ville d'In Salah (Google Maps, 2024)	33
Figure III.2 : Prélèvement de l'échantillon de SD. (Source auteur, 2024).....	33
Image III.3: Courbes granulométrique de deux sables.....	34
Image III.4: Essais de l'équivalent de sable (Source auteur, 2024)	38
Figure III.5: l'appareille pour l'essai l'équivalent de sable (Mochten A, Ghdaier A, 2023)....	38
Figure III.6 : Courbe granulométrique de gravier 3/8	41
Figure III.7: Courbe granulométrique de gravier 8/15.....	41
Figure III. 8:Forme d'un granulat. (Salim Amrani, 2009)	44
Image III. 9: Les fines de sable de la dune. (Source auteur, 2024).....	48
Image III.10: Les étapes de l'essai Micro-Deval. (Source auteur, 2024)	49
Figure III.11: Courbe de résultat d'analyse granulométrique par sédiment des fines	49
Image III .12: l'essai de limites d'Atterberg. (Source auteur ,2024)	50
Image III.13: Essai bleu de méthylène. (Source auteur ,2024).....	50
Figure IV .1 : La courbe référence selon la méthode FURY	55
Figure IV.2: Courbe d'analyse granulométrique de sables de la composition utilisée. (Source auteur, 2024).....	57
Image IV. 3: Malaxage. (Source auteur, 2024).....	59
Image IV. 4: Les moles d'éprouvette. (Source auteur ,2024).....	59
Image IV.5: Application de l'essai d'affaissement. (Source auteur, 2024).....	60
Image IV.6: L'appareil de l'encrassement. (Source auteur, 2024).....	62
Image IV.7: Les mortiers à la table devibration. (Source auteur (2024)).....	65
Image IV. 8:Les mortiers. (Source auteur, 2024))	65
Image IV.9: Préparation desolution. (Source auteur ,2024).....	66
Image IV.10: Échantillon dans un sac. (Source auteur ,2024).....	66
Image IV.11: L'échantillon saturé dans la solution. (Source auteur ,2024).....	66
Image IV.12: Bandelettes de papier indicateur le PH. (Source auteur, 2024).....	67
Image IV.13: Le nettoyage de l'échantillon (Source auteur ,2024)	68

Image IV. 14: Les échantillons sont laissés à sécher (Source auteur ,2024).....	68
Image IV.15: L'échantillon avant et après situer à la solution (Source auteur ,2024)	69
Figure V.1: Graphe de résistance de béton à la compression à 7 jours des formulations despourcentages de sable de la dune.....	74
Figure V.2: Graphe de résistance de béton à la compression à 14 jours des formulations despourcentages de sable de la dune.....	75
Figure V.3: Graphe de résistance de béton à la compression à 28 jours des formulations despourcentages de sable de la dune.....	75
Figure V.4: Graphe de résistance de béton à la compression des formulations despourcentages de sable de la dune	76
Figure V.5: Graphe de résistance de béton à la compression à 7 jours des formulations depourcentage des fines.....	77
Figure V.6: Graphe de résistance de béton à la compression à 14 jours des formulations depourcentage des fines.....	78
Figure V.7: Graphe de résistance de béton à la compression à 28 jours des formulations depourcentage des fines	78
Figure V.8: Graphe de résistance de béton à la compression des formulations de pourcentage des fines.....	79
Figure IV.9: Graphe de résistance de béton à la compression des formulations de pourcentage de sable de la dune et des fines	80
Figure IV.10 : Graphe de la perte de masse d'échantillons en solution acide de sulfate H_2SO_4	82
Figure V.11: Graphe de la perte de masse d'échantillons en solution acide de sulfate H_2SO_4 ...	83
Figure V. 12 : La variation de masse d'échantillon à la solution Na_2SO_4	84

Liste Des Abréviations

Al: Aluminium.

Fe : fer.

SiO: dioxyde de silicium.

CaO: Oxyde de calcium.

C3S : Le Silicate Tricalcique.

C2S : Le Silicate Bi calcique.

C3A : L'Aluminate Tricalcique.

C4AF: L'Alumino-Ferrite Tétracalcique.

BAP: Béton autoplçant

BHP: Béton de haute performance.

CO2: Oxyde de Carbone.

D_{max} : Diamètre maximal.

L'IUT : Institut Universitaire de Technologie.

MEB : Microscope électronique à balayage.

DRX : Rayons X.

O₂ : Oxygène.

K₂ : Potassium.

Mg : Magnésium.

LNHC : Laboratoire National d'Habitat et de Construction.

LTPS : Laboratoire Travaux Publiques de Sud.

SD : Sable de dune.

SC : Sable de construction.

µm : Nanomètres.

M_f : module de fines.

R_c : refus cumulés (%).

ρ_{app}: masse volumique apparent (g/cm³).

M : poids moyen (g).

V : volume de récipient (cm^3).

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

M : la masse de sable.

P₁ : le poids des agrégats secs.

P₂ : poids du récipient plein d'eau.

P₃ : poids de récipient et la masse de sable.

P₄ : poids de récipient plein d'eau et la masse de sable.

ES : équivalent de sable (%).

H₁ : hauteur total (cm).

H₂ : hauteur de la partie sableuse sédimentée (cm).

VB : Essai au bleu de méthylène.

W : teneur en eau naturelle en (%).

Ph : poids du sol humide en (g).

Ps : poids du sol sec en (g).

L : distance minimale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.

E : distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.

G : dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

A : Coefficient d'Aplatissement.

Me : passent des grilles (g),

Mg : passent de tamis (g).

CL_A : Coefficient Los Angeles en (%).

P' : Retenue sur le tamis 1,6mm (g).

100%SC : 100% sable de construction.

5%SD+95%SC : 5% Sable de la dune + 95% sable de construction.

10%SD+90%SC : 10%Sable de la dune + 90% sable de construction.

15%SD+85%SC : 15%Sable de la dune + 85% sable de construction.

25%SD+75%SC : 25%Sable de la dune + 75% sable de construction.

5%F+95%C : 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment.

10%F+ 80%C : 10% fines de sable de la dune +90% Ciment.

15%F+ 85%C : 15% fines de sable de la dune +85% Ciment.

25%F+ 75%C : 25% fines de sable de la dune+75% Ciment.

10%SD+90%SC + 5%F+95%C : 10% Sable de la dune+90% sable de construction + 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment.

X : Le refus sur le tamis n-1.

Y : Le refus entre le tamis n-1 et $\frac{n-1}{2}$

V_r : Volume de récipient.

M_r : La masse de récipient.

M_t : Masse de récipient et la masse de béton frais.

δ_r: la masse volumique frais.

R_c: Résistance à la compression (MPa).

F : La charge de rupture (N).

S : Section de l'éprouvette (mm²).

NA₂SO₄: Sulfate de sodium.

H₂SO₄: Acidesulfatique.

M₁: Masse des éprouvettes avant immersion,

M₂: Masse des éprouvettes après immersion.

HR : Humidité.

E : Eau.

C : Ciment.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie connaît actuellement un développement rapide dans le secteur de la construction, confrontée à des défis contradictoires : améliorer la résistance et réduire les coûts d'une part, gérer les ressources et réduire l'impact environnemental d'autre part. Cela nous pousse à rechercher des matériaux de construction durables et disponibles localement pour minimiser les impacts environnementaux et réduire les coûts. D'où la nécessité de trouver des techniques innovantes et de rechercher de nouveaux matériaux.

La rareté des ressources dans de nombreuses régions nous a poussés à rechercher des techniques permettant d'exploiter les matériaux disponibles localement et de les utiliser dans divers domaines de la construction. Parmi ces matériaux, les sables de dunes se distinguent comme une option prometteuse pour la composition du béton, en raison de leurs avantages économiques et environnementaux. L'urbanisation rapide et l'augmentation de la population mondiale accroissent la demande en matériaux de construction, réduisant les réserves et posant des défis pour les générations futures. De plus, la consommation des carrières et de l'énergie provoque des émissions nocives qui polluent le climat et détruisent les habitats naturels. L'extraction et le transport des matériaux peuvent également être coûteux, surtout dans les régions éloignées des sources de sable. En raison de la rareté des ressources dans de nombreuses régions, il est devenu impératif d'explorer des techniques permettant d'exploiter les matériaux disponibles localement et de les utiliser dans divers domaines de la construction. Parmi ces matériaux, les sables de dunes se distinguent comme une option prometteuse pour la composition du béton, en raison de leurs avantages économiques et environnementaux.

Les dunes de sable du désert algérien couvrent une superficie estimée à des milliards de mètres cubes, représentant environ 60 % des terres désertiques, ce qui les rend très abondantes. De nombreuses recherches menées sur l'efficacité de l'utilisation des sables de dunes dans le béton et le mortier dans des régions telles qu'Ouargla [BENCHIKH.M, BELOUADAH. M., CYR. M. et ETP. CLASTRES, 2004], El-Goléa [KHOUADJIA. M.L.K, MEZGHICHE.B, DRISSI.M. 2015], Adrar [SOUILMI .S, BEN MOUSSA .I .2019], et Biskra [GUETTELA .A. MEZGHICHE.B et CHEBILI.R. 2003] ont montré que les sables de dunes peuvent être utilisés dans la composition du béton grâce à leurs caractéristiques physiques et chimiques distinctives. Ces recherches indiquent la possibilité de remplacer une partie des composants traditionnels du béton par des sables de dunes sans compromettre la qualité du produit final.

Ainsi, cette étude vise à atteindre plusieurs objectifs principaux : valoriser les matériaux locaux en exploitant ces ressources comme alternatives naturelles aux composants du béton, et améliorer les propriétés chimiques (durabilité du béton) et mécaniques (résistance du béton). Nous envisageons également la possibilité d'introduire même de petites quantités de sable de dunes de la région d'Ain Salah et ses fines particules dans la composition du béton. Ces objectifs visent à fabriquer un béton qui démontre son efficacité en termes de résistance à la compression et de résistance aux attaques de sulfates.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- **Chapitre I** : Identification des différentes alternatives naturelles au béton traditionnel, les critères de leur classification en tant qu'alternatives et leur valeur d'un point de vue technique et économique.
- **Chapitre II** : Étude bibliographique des sables de dunes et des différents types de dunes, ainsi que l'impact de leur utilisation et des fines en proportions dans la fabrication du béton et du mortier.

- **Chapitre III** : Présentation de l'étude géotechnique réalisée au laboratoire des travaux publics du sud, avec les caractéristiques physiques et chimiques de tous les composants du béton à fabriquer.
- **Chapitre IV** : Présentation du protocole expérimental suivi pour étudier deux parties : la première partie, l'étude de la résistance, où des échantillons de béton proposés sont préparés et testés à l'état frais et solide. La deuxième partie, l'étude de la durabilité, où des échantillons de mortier sont préparés et exposés à des milieux acides et alcalins de sulfates, avec enregistrement des changements observés à des intervalles réguliers.
- **Chapitre V**: présentation des résultats obtenus de l'étude de la résistance, comparaison avec des études précédentes et résultats de l'étude de la durabilité, suivie d'une discussion de ces résultats.

Enfin, ce travail se conclut par une conclusion générale résumant les principaux résultats et proposant des recommandations pour les études futures dans ce domaine.

CHAPITRE I

ECO MATERIAUX ET BETON DURABLE

1. INTRODUCTION:

Le béton est couramment utilisé dans la construction et est présent partout dans notre environnement. Toutefois, sa fabrication nécessite beaucoup d'énergie et produit de nombreuses émissions polluantes. De plus, les constructions en béton occupent beaucoup d'espace. Pour relever ces défis environnementaux, la recherche mondiale se concentre sur le développement d'un béton écologique. **[L'équipe de rédaction .2020]** Malgré son succès, le béton est critiqué pour son impact sur l'environnement. Des initiatives sont en cours pour trouver des alternatives naturelles et écologiques, regroupées sous le nom de "matériaux écologiques" ou "béton vert".

Dans ce chapitre, nous examinerons ce qu'est exactement un éco-matériau, les problèmes associés au béton traditionnel, et nous explorerons l'éco-béton ainsi que les différents éco-matériaux utilisés dans la construction, ainsi que leurs avantages respectifs.

2. GENERALITE:

2.1. Eco matériaux :

2.1.1. Définition :

Les éco matériaux sont des matériaux renouvelables d'origine naturelle, produits par des procédés de transformation ou de fabrication non polluants et économes en énergie. Ces matériaux se distinguent par leurs performances énergétiques, leur résistance (durabilité, protection contre le feu, humidité), leur absence de nocivité pour la santé et le confort qu'ils procurent. Ils sont utilisés dans la construction pour le gros œuvre (murs), l'isolation, les cloisons et les finitions. Les valeurs fondamentales associées aux éco matériaux comprennent la durabilité, la préservation de l'environnement, la santé et la sécurité, la performance énergétique et la robustesse, faisant d'eux un choix idéal pour les projets de construction durable. **[Soucha N, Grine INE .2020]**

2.1.2. Avantages d'éco matériaux :

L'usage de matériaux écologique dans la construction de nouveaux programmes immobiliers offre divers avantages, à fois pour l'environnement et pour les habitants des bâtiments :

- Économies sur les factures grâce à une gestion énergétique améliorée ;
- Réduction de l'empreinte carbone du bâtiment ;
- Confort thermique optimal assurant des températures stables toute l'année ;
- Réduction de l'empreinte carbone grâce à une diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- Économies sur la consommation d'eau ;
- Moindre nuisance sonore grâce à une isolation renforcée ;
- Investissement dans l'innovation par l'utilisation de technologies telles que le chauffage aérothermique ou l'autoconsommation électrique. **[Dkhissi Y.2023]**

2.1.3. Inconvénient d'écobéton :

Le seul obstacle qui limite la généralisation de la construction en béton vert est le tarif. **[Joshua B .2024]**

2.2. Béton ordinaire:

2.2.1. Définition :

Le béton est un matériau composite qui se forme grâce à un mélange minutieusement dosé de plusieurs éléments : un liant tel que le ciment, le bitume ou l'argile, des granulats tel que les graviers ou des sables, de l'eau, et souvent des adjuvants qui modifient ses propriétés physiques et chimiques. Ce mélange, réalisé sur site ou en usine, donne naissance à une pâte homogène dont l'aspect peut varier, et dont le comportement évolue avec le temps. Initialement fluide, elle progressivement jusqu'à devenir totalement solide.

Cette particularité confère au béton une grande diversité d'aspects, de propriétés et performances, selon sa méthode de fabrication, le choix et dosage de ses composants, ainsi que s'il est combiné à d'autres matériaux. Sa forme et sa texture dépendent également du moule ou du coffrage dans lequel il est coulé. [Soucha N, Grine INE .2020]

2.2.2. Constituants du béton :

2.2.2.1. Ciment :

Ce liant minéral est produit par la décarbonatation du calcaire et décomposition de l'argile à une température d'environ 1450°C. Réduits en une fine poudre, souvent de couleur gris, ces composants des minéraux hydratés très stables lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau. Les études menées ont révélé que les principaux composants du ciment Portland incluent :

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S)
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S)
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A)
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF)

Ainsi, que d'autres éléments tels que les sulfates et les alcalins.

Le ciment agit en tant que liant pour le béton hydraulique. Il est constitué d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit au contact de l'eau. Pour la fabrication du béton ou mortier, on utilise généralement du ciment gris ordinaire, connu sous le nom de ciment de Portland. [Soucha N, Grine INE .2020]



Figure I.1 : Le ciment. (<https://www.rubi.com/fr/blog/ciment-portland/>)

2.2.2.2. *Granulats :*

Les granulats se composent d'une multitude de grains minéraux dont la taille comprise entre 0 et 125 mm, les classes dans l'une des sept catégories suivantes : fines, sablons, sables, graves, gravillons, ballast, ou enrochements. Ils sont extraits des dépôts de sable et de gravier alluvionnaires terrestres ou marins, obtenus par le concassage de roches massives telles que calcaire ou les roches éruptives, ou encore par le recyclage de matériaux de démolition. Leur composition, leurs formes et leurs propriétés varient selon l'origine des gisements et les méthodes de production utilisées.

Les granulats les plus couramment utilisés dans la fabrication de mortiers et des bétons proviennent de roches alluvionnaires (granulats roulés ou semi-concassés) ou de roches massives (granulats concassés). Leurs tailles sont déterminées selon des critères granulométriques précis, et ils sont classés en fonction de leur granularité, établie par une analyse granulométrique utilisant des tamis. [Soucha N, Grine INE .2020]



Figure I.2 : Les granulats. (<https://www.infociments.fr/betons/caracteristiques-et-types-de-granulats>)

La maniabilité des bétons est étroitement liée aux caractéristiques des granulats, qui comprennent principalement :

- La granulométrie, la texture de surface et la forme des particules des granulats,
- La densité relative et la masse volumique des granulats,
- L'absorption d'eau, la porosité et teneur en humidité des granulats,
- Les propriétés de résistance mécanique, notamment la résistance à la compression, à la traction et le module d'élasticité,
- La résistance aux cycles de gel et de dégel,
- La présence éventuelle de matières nuisibles dans les granulats,
- La résistance à l'abrasion et aux chocs des granulats. [Soucha N, Grine INE ,2020]

2.2.2.3. *Sable :*

Les sables sont généralement définis comme la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions variant entre 80 µm et 5 mm. Cette définition est générale, mais ses limites peuvent varier selon les classifications. De manière courante, le terme "sable" désigne les éléments dont les dimensions se situent entre 0 et 5 mm, à l'exclusion des plus petits grains. Cette définition inclut également les sables de concassage. Toutefois, lorsqu'on évoque le sable, on pense surtout aux sables naturels présents en abondance dans de nombreux pays, avec des réserves quasi inépuisables. Il convient de noter que la définition granulométrique du sable est complexe, sujette à des variations historiques et géographiques, ainsi qu'à des différences selon son utilisation. [Soucha N, Grine INE ,2020]

Classification des sables:

- *Sable grossier* : près de un cinquième des constituants dépassent les 2mm, tandis que plus de la moitié des particules supérieures à 80 μm se situent entre 0,5 et 5mm. Ces types de sables présentant des caractéristiques qui les rapprochent des gravas.
- *Sable moyen* : moins d'un cinquième des éléments ont une taille supérieure à 2mm, et plus de la moitié des particules supérieures à 80 μm se situent entre 0,2 et 2mm.
- *Sable fin* : plus de trois quarts des particules ayant une taille supérieure à 80 μm mesurent moins de 0,5mm. Ces sables nécessitent des ajustements significatifs pour atteindre des propriétés comparables à celles des gravas. [Soucha N, Grine INE .2020]



Figure I.3 : Le sable. (<https://www.cdegroupe.com/fr/applications/sables-agregats/sables-concasses>)

2.2.2.4. Eau gâchage :

[L'eau de gâchage doit être propre et ne pas contenir plus de 5 grammes par litre de matières en suspension (vases, limons, etc.) ni plus de 35 grammes par litre de matières et sels solubles, sous réserve que ces sels dissous ne risquent pas de nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, sels corrosifs, matières organiques)]. [28]

Une classification traditionnelle permet de distinguer trois types d'eau :

- *L'eau chimiquement liée* : elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car elle est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.
- *L'eau adsorbée* : elle est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs de forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de Van der Waals, la structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas.
- *L'eau libre* : cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les micropores. [R E T C O BA.2010]



Figure I.4 : L'eau gâchage. (<https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/construction-maison-preparer-bon-mortier-hourdage-1023/page/5>)

2.2.2.5. *Adjuvant :*

[Les adjuvants sont des produits d'addition, ajoutés en faible quantité aux mortiers et béton au le début de leurs malaxage et destinés à en modifier certains caractères. L'utilisation des adjuvants doit faire l'objet de justification spéciales, ainsi que d'un accord du maitre de l'ouvre.]

Le mode d'emploi et le doivent être approuvés par le Maître de l'ouvre et strictement respectés. Des précautions particulières doivent être prises pour assures une uniformité du produit dans le mélange.]

[R E T C O BA.2010]

[Les adjuvants se présentent sous forme de poudres ou des liquide que l'on ajoute au début du malaxage, afin d'en assurer une répartition uniforme. On distingue principalement:

- *Les entraineurs d'air* : ces produit parfois mélangés préalablement au ciment provoquent l'inclusion dans la masse de béton de bulles d'air, nombreuses mais très fines, qui confèrent au béton frais une plus grande plasticité et au béton durci une meilleures résistance au gel.
- *Les retardateurs de prise* : ces produits peuvent être nécessaires lorsque la prise du béton doit être retardée (arrêt et reprise de bétonnage, parement lavés, bétonnage par temps très chaud, etc.
- *Les accélérateurs de prise* : ces produits sont utilisés en cas de décoffrage rapide ou de bétonnage par temps froid.]**[R E T C O BA.2010]**



Figure I.5: Les adjuvantes. (<https://can.sika.com/fr/construction-renovationresidentielle/produits-sika/produits-de-reparationdubetonmaconnerie/adjuvants-et-additifspourbeton.htm>)

2.2.3. Quelques types du béton durable :

2.2.3.1. *Béton autoplaçant (BAP) :*

Mis au point par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon dans les années 80, le béton autoplaçant se distingue par sa fluidité exceptionnelle, sa grande malléabilité, son homogénéité et sa stabilité intrinsèque. Contrairement au béton traditionnel, il ne nécessite pas de vibration pour se mettre en place, se laissant guider par la gravité. Sa capacité à épouser parfaitement les contours des coffrages les plus complexes est remarquable, tout en préservant son intégrité sans subir de ségrégation. Ses propriétés se comparent avantageusement à celles du béton vibré classique. **[Soucha N, Grine INE .2020]**

2.2.3.2. Béton de haute performance (BHP) :

Les bétons à résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours, dépassant les 50 MPa, et présentant un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40, se caractérisent principalement par leur remarquable résistance à la compression, qui dépasse de loin celle des bétons ordinaires. Cette caractéristique est obtenue en réduisant la porosité du béton, ce qui est réalisé en diminuant la quantité d'eau de gâchage grâce à l'utilisation d'adjuvants plastifiants et super plastifiants. [Soucha N, Grine INE .2020]

2.2.3.3. Béton durcissement rapide :

Les bétons à durcissement accéléré favorisent le développement rapide des résistances mécaniques. Leur utilisation permet d'effectuer des travaux sur des éléments d'ouvrages nécessitant une remise en service rapide, ainsi que de procéder à un décoffrage anticipé ou à la mise en précontrainte de manière plus rapide dans le cadre de la préfabrication. [Soucha N, Grine INE .2020]

2.2.3.4. Béton léger :

Les bétons légers, caractérisés par leur masse volumique post-séchage de 2100 kg/m³, comprennent notamment les bétons à granulats légers. Ils sont couramment employés pour améliorer le confort thermique dans diverses applications. . [Soucha N, Grine INE .2020]

2.2.3.5. Béton de fibre :

Un béton fibré est un matériau composite qui combine une matrice (le béton) avec un renfort (les fibres). Les fibres jouent un rôle crucial dans la maîtrise des fissures et dans la reprise des efforts en cas de fissuration éventuelle. Elles confèrent au béton des performances et des propriétés qui dépendent de leur nature, de leur forme et de leurs caractéristiques mécaniques. L'utilisation des bétons fibrés s'est considérablement diversifiée, enrichissant ainsi les possibilités de solutions constructives en béton, grâce au développement continu d'une gamme de fibres aux propriétés variées. [Patrick G.2018]

2.2.4. Avantages de béton:

- La possibilité du béton de couler dans la forme et la structure requises (poutre, colonnes, piliers),
- Le rend économique en raison de la disponibilité des matières premières pour cela,
- Une durabilité élevée ou elle reste longtemps sans nécessiter d'entretien lorsqu'elle conçue avec un mélange adapté aux conditions de service et coulée correctement,
- Elle n'a besoin d'être couverte que dans certaines conditions météorologiques extrêmes.
- Sa résistance au feu est élevée,
- Il est facile d'obtenir les composants du béton, tel que le sable, les granulats et l'eau, n'importe où, et ils peuvent être facilement transportés vers n'importe quel endroit,
- Le béton peut supporter tous les effets des conditions météorologiques, donc il convient à toutes les saisons. [2018. مهندس محمد س]

2.2.5. Inconvénients de béton:

- Une fois qu'elle est durcie et renforcée, elle ne peut pas être transformée en une autre forme,

- La construction en béton n'est pas adoptée aux conditions environnementales fortement salines ou acides,
- Elle nécessite quelques jours pour atteindre sa pleine résistance,
- Sans l'utilisation de barres d'armature, la résistance du béton est faible. [2018. مهندس محمد س]

2.3. Eco béton :

2.3.1. Définition :

Le béton écologique est un matériau de construction qui intègre principalement des éléments naturels dans son processus de fabrication, le rendant ainsi plus respectueux de l'environnement et moins polluant que le béton traditionnel. Il peut être composé de divers matériaux tel que des déchets industriels ou des matériaux végétaux biodégradables. De plus, le béton peut être recyclé en le chauffant à très réutilisé. Les avantages du béton écologique comprennent une empreinte carbone réduite et des propriétés souvent équivalentes, voire supérieures, à celles du béton traditionnel, telles qu'une résistance accrue à la chaleur et au feu. Cependant, son principal inconvénient réside dans son coût, ce qui limite sa diffusion malgré ses nombreux avantages environnementaux. [Koffel H.2023]

2.3.2. Le principe du béton écologique:

Le concept du béton écologique repose sur l'utilisation principalement de matériaux d'origine naturelle dans son processus de fabrication. L'objectif est de produire un béton qui soit plus respectueux de l'environnement et moins nocif pour la planète. Ce type de béton peut être élaboré à partir de matériaux végétaux biodégradables. Contrairement au béton "classique" fabriqué à partir de calcaire et d'argile, qui génère une importante quantité de CO₂ lors du mélange de ces deux matériaux, le béton écologique permet de réduire cette empreinte carbone. En effet, il est estimé que l'industrie du béton est responsable de 7% des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, le recours au béton écologique contribue à limiter ces émissions nocives. [Joshua B.2024]

2.3.3. Avantages d'écobéton :

Le béton écologique présente aujourd'hui de nombreux avantages :

- L'utilisation de matériaux locaux et recyclés dans la fabrication du béton,
- Réduire les émissions de dioxyde de carbone de 30%,
- Favorise le développement durable tout en préservant l'environnement,
- La résistance à la compression et à la flexion est presque similaire à celle du béton traditionnel,
- Ce béton nécessite moins d'entretien et de réparation,
- Réduisant le fluage et le retrait du béton,
- Offre une maniabilité améliorée par rapport au béton conventionnel,
- Moins coûteux que le béton classique,
- Respectueuse de l'environnement. [R E T C O BA.2010]

[Le béton recyclé accuse d'un inconvénient de taille : son prix. en effet, il s'agit d'un matériau toujours trop cher, ce qui ne permet toujours pas sa démocratisation.] [Joshua B.2024]

3. PRINCIPAUX ALTERNATIVE UTILISE DANS LA CONSTRUCTION :

Il existe de nombreux matériaux bio-sources déjà utilisé aujourd'hui. Certains sont plus démocratisés que d'autres, mais le secteur de la construction tend vers leur utilisation massive pour transformer le parc immobilier en écosystème auto-suffisant et respectueux de l'environnement.

3.1. Pour mur :

3.1.1. Le bois :

Le bois est un matériau de construction écologique, renouvelable et peu énergivore à produire. Il est utilisé dans des constructions comme les maisons à ossature bois ou en bois massif. Ses avantages comprennent une excellente isolation thermique, une inertie thermique efficace pour protéger contre la chaleur estivale, une perméabilité appropriée, et une construction rapide. Cependant, sa pose nécessite des spécialistes, ce qui peut entraîner un surcoût, et il doit être traité contre les risques d'eau et de feu, avec une attention particulière à la toxicité des produits utilisés. En résumé, le bois offre de nombreux avantages pour une construction durable et respectueuse de l'environnement, malgré quelques considérations spécifiques. [Le grenelle environnement.2009]



Figure I.6: Maison en bois.

(<https://www.batiactu.com/edito/construction-bois-un-marche-qui-va-decoller-50830.php>)

3.1.2. Béton cellulaire :

Le béton cellulaire est un matériau composé de chaux, de ciment, de sable et de poudre d'aluminium, qui libère des bulles d'hydrogène au contact de la chaux, créant ainsi une structure légère et isolante. Il est solide, dur, indéformable et ininflammable, tout en offrant une excellente isolation thermique grâce à l'air emprisonné dans ses alvéoles. Perméable à la vapeur d'eau, il améliore la qualité de l'air intérieur et offre une bonne protection contre les incendies et les inondations. Bien que son installation nécessite une expertise spécialisée, augmentant légèrement les coûts, il reste un choix judicieux en raison de ses avantages environnementaux et thermiques. [Le grenelle environnement.2009]



Figure I.7: Bloc de béton cellulaire.(<https://mamaisondeaaz.gedimat.fr/80-murs-en-beton-cellulaire.htm>)

3.1.3. Le brique mono mur :

La brique à alvéoles en terre cuite a une faible résistance thermique mais possède une excellente inertie thermique, offrant une protection en été. Elle est perméable à la vapeur d'eau, améliorant ainsi la qualité de l'air intérieur. Cette brique est résistante au feu et aux inondations, restant presque intacte après une inondation. Connue sous les noms Mono mur et Bio mur, elle est rapide et économique à mettre en œuvre, tout en fournissant une bonne isolation des murs en hiver.[**Le grenelle environnement.2009**]



Figure I.8: Le brique mono mur.
(<https://isolation-thermique.org/prix-brique-monomur/>)

3.1.4. Terre crue et prié :

Le pisé, une méthode de construction traditionnelle, implique le compactage de terre crue mélangée à de l'eau, éventuellement avec d'autres matériaux comme la paille ou le sable, entre des coffrages. Cette approche permet la création de murs porteurs et de cloisons en utilisant un matériau local, renouvelable et économique. Le pisé présente des qualités thermiques et acoustiques remarquables, en plus de favoriser la régulation de l'humidité à l'intérieur des structures bâties. [**Koffel H.2023**] [**Le grenelle environnement.2009**]



Figure I.9: Bloc de Terre crue.

(<https://www.rtb.be/article/salon-batireno-energie-et-habitat-le-bloc-de-terre-crue-alternative-ecologique-au-beton-11272259>)

3.2. Pour isolation:

3.2.1. La ouate de cellulose :

Composée principalement de papier recyclé (85% de journaux recyclés et 15% de minerais), fonctionne comme un excellent isolant thermique et acoustique. Son processus de fabrication n'engendre aucune pollution significative et consomme très peu d'énergie. Disponible sous forme de plaques ou en vrac, elle offre de multiples avantages en plus de son efficacité thermique. Résistante au feu, elle contribue à réduire la consommation énergétique nécessaire au chauffage et à la climatisation, ce qui en fait un choix écologique et économique. De plus, la ouate de cellulose est recyclable et biodégradable, soulignant ainsi son engagement en faveur de l'environnement. [Koffel H.2023] [Le grenelle environnement.2009]



Figure I.10: plaques en la ouate de cellulose.

(<https://www.efficacite-electrique.fr/les-dangers-potentiels-de-la-ouate-de-cellulose-ce-qu'il-faut-savoir>)

3.2.2. La laine de mouton :

Se distingue comme un isolant naturel, biodégradable et renouvelable. Appréciée dans le domaine de la construction pour ses excellentes propriétés isolantes thermiques et acoustiques, elle constitue un choix optimal. En outre, la laine offre une résistance à l'humidité et aux moisissures, contribuant ainsi à créer des environnements intérieurs sains et durables pour les habitations. [Koffel H.2023] [Le grenelle environnement.2009]



Figure I. 11: isolation par la laine de mouton.

(<https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/isolation-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/4/>)

3.2.3. Liège :

Liège est tiré de l'écorce du chêne-liège, se distingue comme un isolant naturel. Doté de qualités remarquables, il s'avère être renouvelable et recyclable. Ses performances thermiques et acoustiques sont exceptionnelles. De plus, le liège résiste au feu, à l'humidité, aux champignons et aux insectes, en faisant ainsi un choix de construction à la fois sécuritaire et respectueux de l'environnement. En somme, le liège se positionne comme l'un des matériaux écologiques les plus fiables et de haute qualité sur le marché.[Koffel H.2023] [Le grenelle environnement.2009]



Figure I. 12: Plaques de liège.

(<https://www.ecohabitat.fr/isolation-liege/836-plaque-de-liege.html>)

3.3. Pour béton :

3.3.1. Le béton de cendre :

Une alternative de plus en plus prisée au béton classique est le béton de cendres, fabriqué à partir de cendres volantes, un sous-produit de la combustion du charbon qui était autrefois simplement déversé en décharge. Cependant, les cendres volantes ont trouvé leur utilité dans le domaine de la construction : mélangées à de la chaux et de l'eau, elles se transforment en un matériau étonnamment robuste et durable, similaire au ciment conventionnel, réduisant ainsi la nécessité de nouveaux matériaux. Leur présence améliore la maniabilité du béton de cendres, le rendant plus malléable que le béton traditionnel, ce qui facilite la construction de structures complexes. Étant donné que jusqu'à 25 % du ciment peut être remplacé par des cendres volantes, leur utilisation contribue de manière significative à la réduction des émissions de dioxyde de carbone. [Le grenelle environnement.2009]



Figure I. 13: La cendre.



Figure I. 14: Bloc de cendre.

(<https://www.acpresse.fr/les-cendres-volantes/>)(<https://www.shutterstock.com/fr/search/bloc-de-cendre>)

3.3.2. Le béton de chanvre :

Une alternative populaire au béton traditionnel est le béton de cendres, qui est fabriqué à partir de cendres volantes, un résidu de la combustion du charbon qui était auparavant jeté dans les décharges. Mélangées à de la chaux et de l'eau, ces cendres se transforment en un matériau solide et durable, très similaire au ciment ordinaire, réduisant ainsi la demande de nouveaux matériaux. De plus, l'ajout de cendres volantes améliore la fluidité du béton, le rendant plus facile à manipuler et idéal pour la construction de formes complexes. En remplaçant jusqu'à 25 % du ciment par des cendres volantes, on peut réduire de manière significative les émissions de dioxyde de carbone. [Le grenelle environnement.2009]

3.3.3. Le mycélium :

Les champignons révèlent une valeur qui dépasse largement leurs bienfaits nutritionnels. Leur mycélium, des fibres semblables à des racines, peut être séché, traité, puis transformé en divers articles tels que des porte-monnaie, des vêtements, voire des matériaux de construction, en les encourageant à se développer en une substance solide et rocailleuse. Ce mycélium présente une résistance remarquable. Les briques élaborées à partir de ce matériau sont plus légères et plus résistantes au feu que le béton traditionnel. De plus, du fait qu'elles restent techniquement 'vivantes' après leur fabrication, elle peut facilement se réparer d'elle-même en introduisant simplement un champignon supplémentaire dans ses fissures. [Le grenelle environnement.2009]

Bien que les briques de mycélium en tant que matériaux de construction durables soient encore en phase de développement, l'idée que l'architecte puisse un jour intégrer des structures fabriquées à

partir de champignons biodégradables est fascinante .En 2014, une exposition au Musée d'art moderne de New York a présenté une installation architecturale appelée Hy-Fi, entièrement construite à partir de mycélium et de déchets agricoles Bien que Hy-Fi ne soit plus, des ingénieurs explorent le potentiel du mycélium pour des structures futures, plus pérennes. [Le grenelle environnement.2009]

4. LE CRITER ECOLOGIQUE QUI EST PRIS EN COMPT D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

Le choix des matériaux est souvent influencé par l'esthétique, les exigences urbanistiques, les caractéristiques techniques et économiques. Il est important de noter que ce choix est étroitement lié aux techniques de construction. Ainsi, les deux aspects doivent être évalués ensemble. On découvre les différentes conditions pour choisir éco-matériaux :

4.1. Type de matière première :

La compréhension des matières première constituant les matériaux permet d'évaluer leur empreinte environnementale .Les matières premières peuvent être classées en différents catégories :

- La premier catégorie englobe les matières dont les ressources sont limitées ou finies, telles que les dérivés du pétrole, et leur utilisation doit être judicieuse.
- La deuxième catégorie concerne les matières dont les ressources sont illimitées, comme le sable, l'argile et la terre.
- La troisième catégorie comprend les matières renouvelables telles que le bois, la paille, le coton, le roseau et le lin, à privilégier car elles sont inépuisables. [Bruxelles environnement. 2009]

4.2. Un matériau approprié à chaque application :

La longévité d'un matériau dépend de sa qualité, de sa mise en œuvre et son entretien. Optez pour des matériaux offrant la plus grande durabilité possible afin de réduire leur transformation en déchets .Il est crucial de choisir le matériau adapté à chaque usage : intérieur, extérieur, environnement humide, usage intensif, etc.

Par exemple, le bois destiné un usage extérieur doit résister aux intempéries et nécessite une classe de dureté supérieur à celle du bois utilisé en intérieur. Sans cela, il risque de pourrir prématurément et devra être remplacé plus souvent.[Bruxelles environnement. 2009]

4.3. Pronologer la durée de vie :

Visez à offrir aux matériaux une durée de vie optimale, voir à la prolonger, en privilégiant de bons détails de mise en œuvre et les matériaux de qualité supérieure, qui pourront être réparés ou réajustés à long terme sans trop de difficulté. Par exemple, un parquet poncé après des années d'utilisation retrouvera son aspect neuf. Lors de choix, tenez compte des tendances éphémères et privilégiez les matériaux intemporels. De plus, choisissez avec soin les produits d'entretien et de protection afin d'éviter ceux qui sont nocifs pour l'environnement. [Bruxelles environnement. 2009]

4.4. Possibilité de recyclage :

Les matières premières subissent un processus de production pour se transformer en matériaux de construction, ce qui génère des déchets :

- Les déchets de chantier non recyclables sont déversés en décharge et représentent la catégorie la plus néfaste pour l'environnement.
- Une deuxième catégorie concerne les matériaux recyclables et réutilisables. Par exemple, la brique peut être réutilisée comme matériau premier pour produire du béton.
- Une troisième catégorie comprend les matériaux qui, après démolition, peuvent être compostés ou dont les matières premières peuvent être réutilisées dans une application qui les valorise pleinement. Cela inclut, par exemple, les bardages en bois, les toits de chaume, les enduits en terre ou à la chaux. Ces matériaux naturels, les toits de chaume, les enduits en terre ou à la chaux. Ces matériaux naturels. [Bruxelles environnement. 2009]

La durabilité des matériaux est fortement influencée par la qualité des détails techniques et le choix précis du matériau pour une application spécifique. Il est primordial de minimiser initialement l'utilisation des matériaux autant que possible. L'évaluation du matériau sur l'ensemble de son cycle de vie, en tenant compte des aspects environnementaux et sanitaires, est essentielle pour prendre une décision éclairée et écologiquement responsable. [Bruxelles environnement. 2009]

5. AVANTAGE D'UTILISATION D'ALTERNATIVES :

Apprenons à connaître les différents avantages de l'utilisation des alternatives dans la composition du béton :

- L'extraction ou la collecte de cette substance n'entraîne préjudice pour l'environnement,
- Il peut être recyclé intégralement, composté ou réutilisé,
- Sa sécurité pour les organismes vivants est absolue,
- Il n'engendre aucune perturbation de l'environnement électromagnétique,
- Sa fabrication est locale afin de réduire les coûts de transport,
- Son installation ne nécessite aucune énergie supplémentaire,
- Sa longévité est significative pour éviter toute nécessité de renouvellement. [RETCO BA.2010]

6. REAJUTE POUR ASSURER LA DURABILITE :

Pour analyser la question de durabilité, il est crucial de considérer un ensemble exhaustif de variables, souvent interconnectées, qui impactent le comportement du béton :

6.1. Variables liés au matériau :

- Contenu des matériaux de substitution,
- Composition minéralogique des granulats,
- potentiel de présence de la portlandite Ca(OH)_2 ,
- Quantité d'aluminate tricalcique C3A et de silicate tricalcique C3S. [Soucha N, Grine INE.2020]

6.2. Variables liés à la structure :

L'approche globale des problèmes de durabilité requiert la prise en compte des effets des contraintes mécaniques découlant de l'exploitation de l'ouvrage, notamment les charges, la fatigue, les dilatations et les retraits différentiels. Ces contraintes peuvent entraîner des fissures qu'il est important de distinguer clairement de celles générées par l'action d'un agent agressif. Ces fissures ont le potentiel d'accélérer et d'aggraver d'éventuelles réactions chimiques qui, à leur tour, pourraient affaiblir la structure. [Soucha N, Grine INE.2020]

6.3. Variables liés à l'environnement :

Les paramètres essentiels à considérer comprennent :

- Les propriétés physiques et chimiques de l'agent agressif,
- Les conditions climatiques, qu'elles soient naturelles ou artificielles, générales ou locales,
- L'humidité relative de l'environnement et la température qui tend à accélérer les réactions. [L'équipe de rédaction .2020][Rouane B, Silem H.2016]

6.4. Variables économiques :

Les contraintes économiques locales peuvent conduire à choisir des matériaux (granulats, ciment) qui ne sont pas nécessairement optimisés en termes de durabilité. Si l'importance de la structure le justifie, il peut être envisagé d'adopter une approche performantielle basée sur la comparaison des performances d'une formule spécifique de béton avec celles d'un béton de référence conforme aux exigences de la norme **NF EN 206-1** pour l'environnement concerné, en fournissant une démonstration de leur équivalence. [Le grenelle environnement.2009]

7. CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons abordé les principes généraux du béton traditionnel et nous avons été introduits à la nouvelle génération de béton « béton vert » ainsi qu'aux différentes alternatives écologiques explorées par les chercheurs dans le domaine de la construction, et on cite les avantages et inconvénients des bétons. On a aussi expliqué les différents variables influents sur la durabilité du béton.

CHAPITRE II

**LE SABLE DE DUNES CARACTERISTIQUE
ET USAGES**

1. INTRODUCTION :

Dans le cadre de l'emploi des matériaux locaux et de la recherche des alternatives respectueuses de l'environnement dans le domaine de la construction, notre étude cherchera à identifier ce matériau physiquement et chimiquement. Nous trouvons le sable des dunes de sable comme une ressource naturelle largement disponible dans nos déserts algériens ([le Sahara est constituée d'environ 40 % démontages désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc.]).[Ben Ouakhir A H.2015]

Nous présentons dans ce chapitre des études bibliographiques portant sur le sable des dunes, issues de travaux de recherche antérieurs concernant l'utilisation des matériaux locaux, notamment le sable des dunes de notre région dans la wilaya d'Ain Salah

2. CARTE DE PRESENCE DU SABLE DES DUNES EN ALGERIE :



Figure II.1 : Répartition des sables de dune en Algérie. (fanack.com, 2020)

Les vastes étendues désertiques de l'Algérie, couvrant plus de 80% de son territoire, se composent principalement de montagnes, de plaines et de dunes de sable, ainsi que de formations telles que les sebkhas et les chotts. Les régions sahariennes abritent des éléments distinctifs tels que les regs, les ergs, les oasis et les massifs montagneux.

Dans le nord du Sahara algérien, le paysage est marqué par des formations spectaculaires comme le Cirque dunaire de Moul n'Aga, situé dans le Parc culturel du Tassili. Les grands ergs, occidental et oriental, se déploient de part et d'autre de plateaux rocheux tels que la région du Mzab, et sont bordés au sud par le plateau de Tademaït. Ces vastes mers de sable, ponctuées d'oasis luxuriantes, donnent vie à des paysages époustouflants. Au sud-ouest, les ergs Iguidi et Chech s'étendent en vastes étendues de dunes de sable, créant un panorama désertique unique.[Mochten A, Ben Ghدير A E.2023]

3. SABLE DE DUNES:

En règle générale, le terme "sable" désigne couramment un mélange de particules libres qui ne sont pas liées entre elles. Avec une granulométrie généralement comprise entre 0,062 et 5 mm, le sable peut provenir de différentes sources, qu'elles soient naturelles ou artificielles. Le sable d'origine naturelle résulte de la décomposition naturelle des roches lors de leur érosion, tandis que le sable d'origine artificielle est obtenu par le concassage de gros rochers. La composition du sable varie selon les régions, dépendant de la nature des roches locales. [Mochten A, Ben Ghدير A E.2023]

3.1. Définition :

Les sables de dune sont formés par l'accumulation de particules siliceuses de taille pratiquement uniforme, ainsi que de divers minéraux tels que la silice, les silicates, les carbonates et les argiles. Ces sables forment des dunes mouvantes de hauteurs variables. Ils sont largement présents dans plusieurs régions du sud de l'Algérie et représentent environ 30% de la superficie du Sahara. Leur origine remonte à la désagrégation des roches due à l'effet combiné des chocs thermiques et de l'altération des sols constituant les lits des oueds ou des anciens fleuves. [Daheur EG.2019]

3.2. Différentes types de sables :

Il existe de nombreuses caractéristiques qui permettent de distinguer les différents types de sable, notamment entre les sables naturels et ceux qui sont produits par un processus spécifique. [33]

3.2.1. Sables artificiels (les sables issus d'une chaîne d'élaboration) :

Il s'agit de matériaux fabriqués dans le processus de production de granulats et qui peuvent être disponibles en excès par rapport à la production recherchée (gravier ou gravillon). Ces matériaux peuvent être :

- Des sables tamisés issues du criblage primaire d'un mélange brut
- Des sables de concassage qui sont souvent le surplus de la production d'une carrière ou d'une gravière. [Souilmi S, Ben Moussa I.2019]

3.2.2. Sables naturels :

Ces matériaux sont abondants dans certaines régions et résultent d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Leur formation se déroule en trois étapes successives : la décomposition sur place des roches, suivie d'un transport qui les amène à un dépôt où ils prennent différentes formes. Les types les plus courants et les plus familiers sont :

- Sables marins,
- Sables marins littoraux,
- Sables fluviatiles,
- Sables éoliens,
- Sables du Sahara,

- Sables éoliens. [Souilmi S, Ben Moussa I.2019]

3.3. Nature de sable des dunes:

3.3.1. Mécanismes des dunes :

Les dunes se forment dans des régions où le sable est présent en abondance et n'est pas retenu par la végétation (déserts, plages, lits de cours d'eau asséchés). Le sable est érodé et emporté par le vent (phénomène de déflation). Il est transporté près du sol par saltation, puis s'accumule lorsque la force du vent diminue (du côté sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du côté exposé au vent et accumulation sur le côté opposé. [Souilmi S, Ben Moussa I.2019]

3.3.2. Différentes formes d'accumulations sableuses:

En fonction de leur forme et de leurs dimensions, les dunes ou les structures de sable seront désignées de manière spécifique. De plus, en raison des conditions environnementales, ces accumulations peuvent se présenter soit de manière isolée, soit regroupées dans des champs dunaires.

3.3.2.1. *Nebkas* :

Elles indiquent la direction du vent le plus récent et sont présentes uniquement derrière des obstacles, en particulier dans les zones où la végétation est peu dense. Leur taille, qui dépend de celle de l'obstacle, ne dépasse pas 50 cm de longueur et 20 cm de hauteur (voir Figure II.2). La variation directionnelle des vents entrave l'évolution de ces formes en déplaçant à chaque fois le sable déposé lors de la tempête précédente, ce qui limite leur capacité à grossir. [Leghrib Y.2012]



Figure II.2 : Nebkas (Mahmoud. A, 2009)

3.3.2.2. *Barkhanes* :

Ce sont des amas de sable en forme de croissant, appelés barkhanes, qui peuvent atteindre jusqu'à dix mètres de hauteur et 30 à 50 mètres de diamètre. Leur déplacement suit la direction de leurs extrémités, comme illustré dans la figure II.3. Les barkhanes sont des dunes en croissant avec une concavité prononcée du côté sous le vent. [Leghrib Y.2012]



Figure II.3 : Barkhanes (www.aquaportail.com ,2010)

3.3.2.3. Dunes paraboliques :

Ce type de dune est formé par un apport de sable plus important que celui des barkhanes et peut s'étendre sur plusieurs centaines de mètres de longueur, comme illustré dans la figure II.4. Ces dunes prennent une disposition presque perpendiculaire à la direction des vents dominants, mais avec une variabilité directionnelle plus complexe. Cela favorise l'agglomération des dunes par leurs flancs lors des changements de direction du vent. Les dunes paraboliques ont une forme arquée, mais contrairement aux barkhanes, leur côté convexe est orienté vers le vent dominant. [Leghrib Y.2012]



Figure II. 4 : Dunes paraboliques (www.scientificamerican.com,2015)

3.3.2.4. Dunes longitudinales :

Les dunes longitudinales, également appelées dunes seif, sont des formations rectilignes qui s'étirent en parallèle à la direction du vent, comme illustré dans la figure II .5. [Leghrib Y.2012]



Figure II.5 : dunes longitudinales. (Banco d'Imágenes Geológicas, 2010)

3.3.2.5. Dunes en dômes :

Les dunes en dômes présentent une forme circulaire et aplatie qui ne révèle pas de dissymétrie morphologique évidente, bien qu'elles soient formées par un vent unidirectionnel et puissant. [Leghrib Y.2012]



Figure II.6 : Les dunes en dômes (David Green ,2019)

3.3.2.6. Dunes pyramides ou étoile :

Ce sont des structures en forme de pitons pyramidaux qui émergent dans des régions où le vent ne suit pas de direction spécifique. Ces pitons peuvent s'élever jusqu'à 100 mètres de hauteur (voir Figure II.7). Leurs extensions sont appelées zemoula, tandis que les espaces intermédiaires sont désignés sous le terme de oued. [Leghrib Y.2012]

Les dunes en étoiles se composent d'au moins trois crêtes rectilignes qui convergent vers un point culminant. [Leghrib Y.2012]

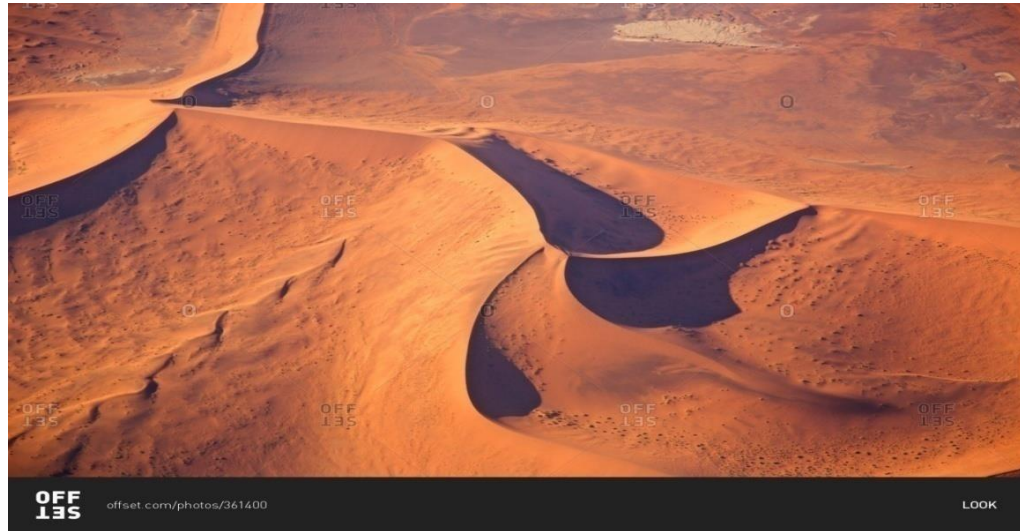


Figure II.7 : Dunes pyramides ou étoile (www.insightsonindia.com ,2024)

3.4. Caractéristiques de sables des dunes :

3.4.1. Granulométrie :

Le diamètre maximal des grains de sable des dunes du Sahara atteint environ $D_{\max}=0,5\text{mm}$. Il est le plus grand du côté droit, le plus proche de la roche-mère, et diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne. Les particules deviennent également de plus en plus arrondies. En revanche, le grain le plus fin mesure environ $0,04\text{ mm}$ de diamètre.

3.4.2. Forme des grains : (Microscope électronique à balayage)

L'expérience a été réalisée à l'IUT d'Amiens, en France, en utilisant un microscope électronique à balayage. La figure II.8 présente une photo agrandie montrant que le sable des dunes, observé sous le microscope électronique à balayage (MEB), se compose de grains ayant des formes arrondies avec une faible angularité. [Daheur EG.2019]

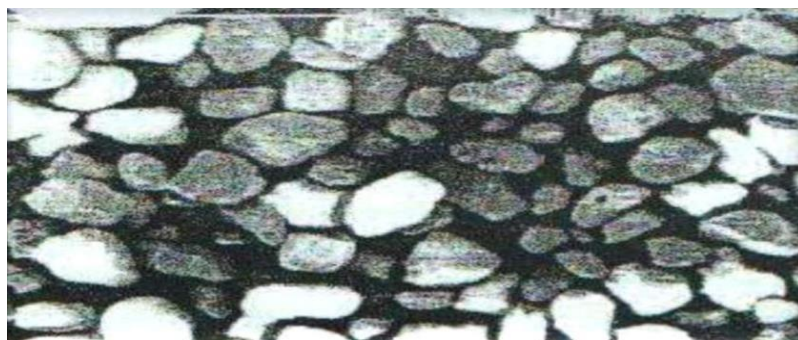


Figure II.8 : Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune. (Mochten. A, Ben Ghdaier .A ,2023)

3.4.3. Propreté :

Les sables des dunes se composent principalement de sable de silice très pur. Ils sont pratiquement exempts de toute trace d'argile. Leur limite de liquidité est d'environ 25, et leur limite de plasticité est indéterminable. L'indice de finesse du sable est supérieur à 60 %. La valeur du bleu est d'environ 0,1.

3.4.4. Minéraux constituants :

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) du sable des dunes révèle la présence d'atomes de silicium (Si) et d'oxygène (O₂), ce qui correspond à la présence de l'espèce SiO₂ (silice). De plus, le pourcentage atomique élevé de Si nous indique que SiO₂ est l'espèce prédominante. Les autres valeurs de pourcentage atomique nous permettent de conclure que le sable des dunes contient également quelques traces, en comparaison avec SiO₂, d'espèces calciques et magnésiques, comme indiqué dans le spectre. [Gueddouda M K .2010]

Le quartz, également connu sous le nom de silice, est un composé chimique composé de dioxyde de silicium (SiO₂) et un minéral dont la formule chimique est SiO₂. Il se trouve sous forme de minéral dur et existe dans diverses formes dans la nature :

- Constituant principal des roches sédimentaires détritiques telles que les sables et les grès, représentant 27% de la croûte terrestre
- Couramment présente dans les roches métamorphiques
- Abondante dans les roches magmatiques : le 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 SiO₄ liés entre eux par les atomes d'oxygène de manière régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre. [Ben Ouakhir A H .2015]

3.4.5. Composition chimiques :

Chaque sable des dunes se distingue par sa composition chimique qui varie d'un endroit à un autre. Nous disposons de certaines études qui mettent en évidence les différences dans les composants chimiques de chaque type de sable des dunes que nous examinons :

- **La 1^{ère} étude :**

Type de sable : le sable de dune de la région de Laghouat.

Qui réalisé cette étude : Gueddouda(2010).

Description de travail : une étude sur Comportement hydromécanique des sols compactés: application à la conception d'une barrière ouvragée, il a utilisé deux matériaux, la bentonite et le sable de dune de la région de Laghouat. Le tableau II .1 illustrés les résultats de l'analyse chimique effectuer par LNHC de Djelfa (Laboratoire National d'Habitat et de Construction).[Mochten A, Ben Ghدير A E.2023]

	Symbole	Unité	Sable des dunes
Résidu insoluble	SiO ₂ +Silice	%	95,87
Sulfates	SO ₃	%	0,91
Chlorures	Cl ⁻	%	0,36
Carbonate de calcium	CaCO ₃	%	2,5
Matières organiques	MO	%	-----

Tableau II.1 : Analyse chimique du sable de dune (Ben oulakir .A ,2015)

- La 2^{ème} étude :

Type de sable : le sable de dunes de la zone située au sud de M'sila (Oued Maiter)

Qui réalisé cette étude : Zeghichi, Lahmadi. A, Benghazi. Z, (2012).

Description de travail : une étude utilisé le sables des dunes un sable couramment utilisé pour la construction aux hauts plateaux et au sud de l'Algérie. Il est prélevé d'une zone située au sud de M'sila (Oued Maiter). Ils ont effectué des analyses chimiques pour déterminer les composants chimiques de sable des dunes. [Zeghichi L, Lahmadi A, Benghazi Z .2012] Vous trouverez les résultats dans le tableau suivant :

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
Unité (%)	90,46	1,38	1,92	1,63	0,39	0,2	0,00	0,22	2,56

Tableau II.2: Les pourcentages des éléments majeurs et mineurs (Zeghichi, Lahmadi et Benghazi, 2012)

Après avoir mené ces études, nous remarquons des différences dans les éléments chimiques entre les trois échantillons, où chaque élément se distingue des autres en termes de nombre et de quantité d'élément également.

En général, cela signifie que les sables des dunes varient d'une région à l'autre car leurs composants chimiques déterminent leur différence.

3.4.6. Signification du sable de dune :

Les bénéfices de l'utilisation de ces granulats se manifestent à deux niveaux :

3.4.6.1. Economique :

La signification économique du sable de dune dans le domaine de la construction réside dans ses caractéristiques spéciales et sa disponibilité étendue. Il est largement utilisé dans la fabrication du béton et d'autres matériaux de construction, ce qui contribue à réduire les coûts de construction en raison de sa facilité d'extraction et de transport. Son utilisation améliore

également l'efficacité de la construction et contribue à la conservation des ressources financières.[Ben Ouakhir A H .2015]

3.4.6.2. *Technique :*

Dans le domaine de la construction, la signification technique du sable de dune réside dans ses propriétés qui en font un matériau précieux pour diverses applications structurales. Son utilisation peut contribuer à améliorer la résistance, la durabilité et la stabilité des structures. En tant que matériau de remplissage ou de base, le sable de dune peut aider à renforcer les fondations et à assurer une meilleure répartition des charges. De plus, ses caractéristiques granulométriques peuvent influencer les propriétés des mélanges de béton, ce qui permet d'obtenir des performances optimales lors de la construction de structures telles que les fondations, les murs et les dalles. En résumé, la signification technique du sable de dune dans le domaine de la construction réside dans sa capacité à améliorer les propriétés mécaniques et la performance des structures. [Ben Ouakhir A H .2015]

4. SABLE DES DUNES DANS LES BETON ETLE MORTIES :

Après avoir examiné plusieurs études ((*ZEGHICHI Leila, LHMADI Azzeddineet BEN GHAZI Zied, 2012*) et (*El EUCH Saloua et SIALA Ahmed ,2015*) sur l'utilisation des sables de dunes dans la composition du béton et du mortier, nous avons tiré les conclusions suivantes des résultats des études divisées en plusieurs raisons, comme suit :

- **Adéquation granulométrique :** Les sables de dunes présentent généralement une granulométrie adaptée aux besoins de la construction, ce qui permet d'obtenir des mélanges homogènes et résistants
- **Propriétés mécaniques :** Les sables de dunes peuvent améliorer les propriétés mécaniques du béton et du mortier en renforçant leur structure et en augmentant leur résistance à la compression et à la flexion
- **Stabilité et durabilité :** En raison de leur composition généralement propre et de leur faible teneur en éléments organiques, les sables de dunes contribuent à la stabilité et à la durabilité des mélanges de béton et de mortier
- **Disponibilité locale :** Dans certaines régions, les sables de dunes sont abondants et facilement accessibles, ce qui en fait un choix économique et pratique pour la fabrication de béton et de mortier. [El Euch S, Siala A.2015] [Zeghichi L, Lahmadi A, Benghazi Z .2012]

Dans toutes les études, les caractéristiques uniques de ces sables sont prises en compte pour garantir l'obtention de résultats optimaux en termes de performance et de durabilité.

5. INFLUENCE DE L' ADDITION DU SABLE DE DUNE EN POUDRE AU CIMENT SUR LES PROPRIETES DU BETON :

Dans le cadre de la recherche de matériaux permettant de réduire les émissions de carbone lors de l'utilisation de ciment, nous avons expérimenté l'utilisation de sable de dune

en poudre au le ciment et avons constaté ses nombreux effets. Nous les avons classés comme suit :

- **Amélioration des propriétés mécanique** : l'ajout de sable de dunes en poudre au ciment a un impact significatif sur les propriétés mécanique du béton, notamment en augmentant sa résistance à la compression, à la flexion et à la traction par fendage.
- **Réduction de la porosité** : l'incorporation de sables de dunes en poudre contribue à améliorer la structure poreuse du béton, ce qui conduit à une diminution de sa porosité. Cette réduction de la porosité est essentielle pour renforcer la durabilité et la résistance aux agents agressifs.
- **Optimisation de l'hydratation du ciment** : le sable de dunes en poudre agit comme un catalyseur pour accélérer le processus d'hydratation du ciment Portland, ce qui favorise le durcissement rapide du béton et améliore sa résistance à court terme.
- **Economique** : L'incorporation de sable de dune en poudre dans le ciment améliore les aspects économiques du béton en réduisant les coûts de fabrication et en favorisant l'utilisation des ressources locales, ce qui renforce la durabilité économique et environnementale. Cette approche permet une meilleure utilisation des ressources locales et réduit les frais de transport. [Gueddouda M K .2010]

6. INFLUENCE DU POURCENTAGE DE SABLE DU DUNES SUR LES CARACTERISTIQUES DU BETON :

L'influence du pourcentage de sable de dune sur les caractéristiques du béton peut être résumée comme suit :

- **Résistance mécanique** : l'augmentation du pourcentage de sable de dune peut améliorer la résistance mécanique du béton en favorisant une meilleure compacité et une distribution granulométrique appropriée, conduisant ainsi à des propriétés mécanique améliorées telles que la résistance à la compression, à la flexion et à la traction
- **Durabilité** : une quantité appropriée de sable de dunes peut contribuer à améliorer la durabilité du béton en réduisant la perméabilité et en limitant la pénétration d'eau et de substance agressives, ce qui peut réduire les risques de fissuration, de corrosion et de détérioration à long terme
- **Ouvrabilité** : Le pourcentage de sable de dune peut influencer la Travaillabilité du béton, en particulier sa consistance et sa facilité de mise en œuvre. Une augmentation du pourcentage de sable de dune peut parfois nécessiter l'ajustement des proportions d'eau et de ciment pour maintenir une bonne Travaillabilité
- **Retrait et déformation** : Un pourcentage élevé de sable de dune peut affecter le retrait et la déformation du béton, en particulier lors du séchage. Cependant, une formulation appropriée peut atténuer ces effets en maintenant un équilibre entre les propriétés mécaniques et la stabilité du béton dimensionnelle du béton. [El Euch S, Siala A.2015] [Zeghichi L, Lahmadi A, Benghazi Z .2012]
- **Durabilité économique** : l' 'utilisation de ressources locales, comme le sable de dune, dans la fabrication du béton offre une solution économique en réduisant les coûts de

production et de transport associés aux matériaux importés. Cela favorise une gestion efficace des ressources disponibles, contribuant à une économie circulaire et durable. À long terme, cette approche permet de rendre les projets de construction rentables en réduisant les dépenses de production, de transport et de maintenance, tout en promouvant une utilisation responsable des ressources naturelles.

7. CONCLUSION :

Les dunes de sable, situées dans le sud de l'Algérie, constituent une source renouvelable de ressources minérales, caractérisées par des particules de diamètre variant entre 0,125 et 0,315 mm. L'usage de la poudre de sable de dune reste peu répandu dans le secteur de la construction en Algérie. Cette situation ouvre la porte à des recherches et à des essais approfondis concernant de nouvelles méthodes, telles que l'incorporation partielle de sable broyé dans le ciment Portland, ainsi que l'introduction de sable de dune à différentes proportions dans les mélanges de béton. Cette approche nous incite à étudier ces techniques.

CHAPITRE III

CARACTERISTIQUE DES MATERIEAUX
ET PROTOCOLE EXPREMENTAL

1. INTRODUCTION :

Le sable des dunes a été utilisé dans plusieurs sujets et études investigatrices dans différentes régions, que ce soit en Algérie ou dans d'autres pays, où le sable des dunes est abondant. Dans la plupart des études, nous avons remarqué l'utilisation du sable des dunes dans le mélange de béton, ce qui est attribuable aux propriétés du sable des dunes qui nous ont permis de l'utiliser.

Dans ce chapitre , nous présenté notre étude bibliographique des matériaux utilisé dans la composition de béton , nous avons utilisé du sable des dunes de la région d'Aïn Salah et de les fines de sable dunaire pour étudier la géotechnique et connaître les propriétés physiques et chimiques de chaque matériau utilisé.

Le programme expérimental inclut les parties suivantes :

- Matériaux utilisée : dans cette partie on a présenté les caractéristiques physiques et chimiques à base d'essais géotechnique.

2. ZONE DE PRELEVEMENT :

- Sable de dune d'Aïn Salah (symbolisé par **SD**) prouvant de la région (26km de sud Est de région Ain Salah), la figure III.2 donne la localisation de sable de la dune étudiée.
- Sable de construction (symbolisé par **SC**) l'échantillon utilisé est prélevé de Ben Brahim prouvant de la région Zalfana (ont été prélevées du concasseur de Ben Brahim à Zalfana), c'est un sable alluvionnaire de classe granulaire (0/3).

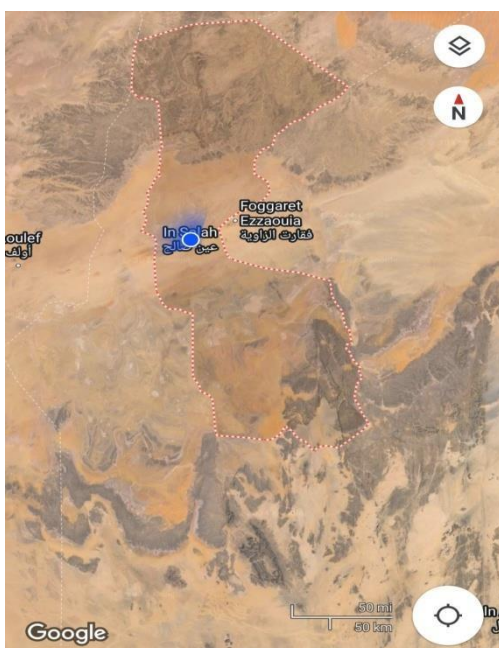


Image III.1 : Situation géographique de la ville d'In Salah. (Google Maps, 2024)

Image III.2: Prélèvement de l'échantillon de la dune d'Aïn Salah. (Source auteur.2024)

3. CARACTERISATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MATERIAUX :

Nous avons exploité des ressources locales pour examiner de manière empirique leurs caractéristiques. Par ailleurs, d'autres aspects de notre projet ont été soumis à des tests menés au sein du Laboratoire des Travaux Publics Sud (LTPS).

3.1. Sable :

Nous avons utilisé deux variétés de sable présentant la même granulométrie, sable de dune de la région d'Ain Salah (commune d'Igostene) et de sable de construction (sable de Ben Brahim (commune de Zalfana)).

3.1.1. Analyse granulométrique par tamisage : [NFP 94-056]

- *But d'essai :*

L'objectif de l'analyse granulométrique est de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles présents dans le sol. Cette analyse est réalisée par tamisage à l'aide de tamis à maille carrée pour les grains dont le diamètre est supérieur à 63 μm .

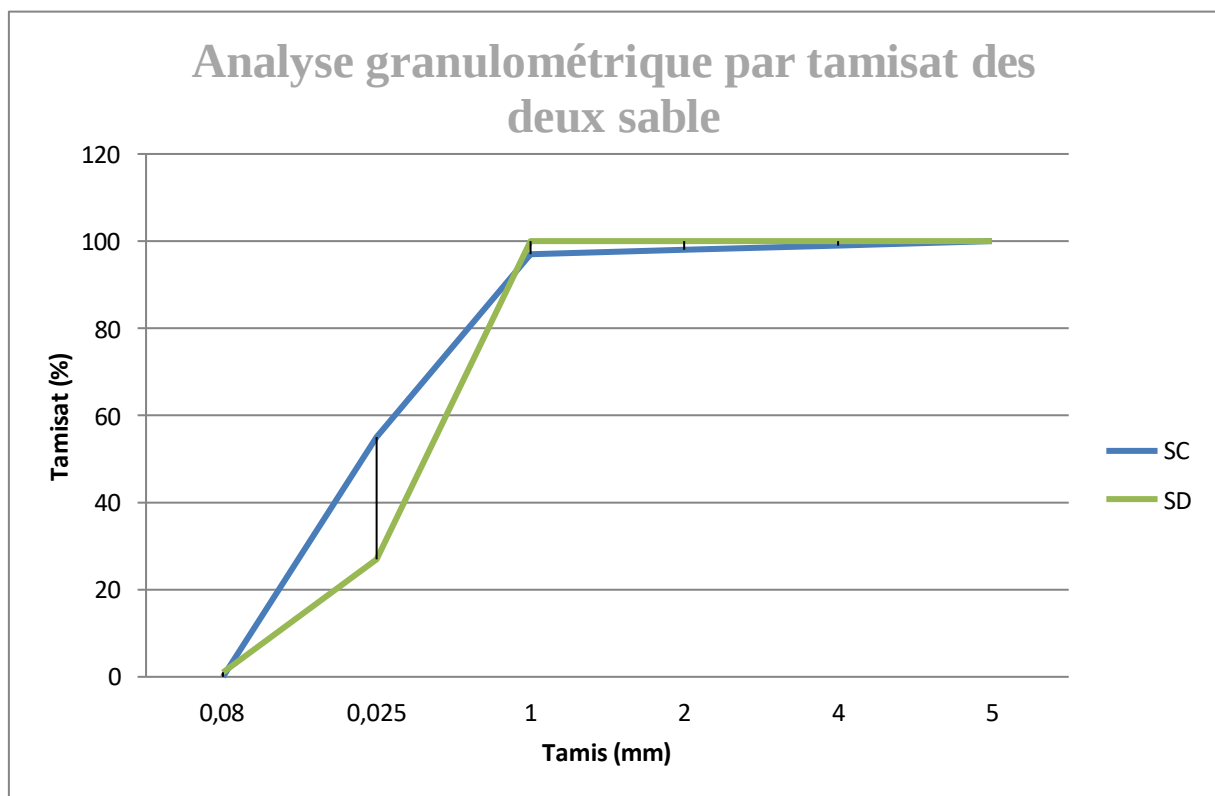


Figure III .3 : Courbes d'analyse granulométrique des deux sables utilisé.(Source auteur.2024)

3.1.2. Module de fines : [NFP 18-540]

Le module de finesse d'un sable est égal 1/100 de la somme le refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis sur la série suivant 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm d'après l'analyse granulométrique que nous avons effectuée précédemment .

Le module de fines M_f calculé par l'expression suivant :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum R_c (\%) \text{ [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]}$$

Avec M_f : module de fines,

R_c : refus cumulés (%).

Lorsque M_f 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 3.3 : le sable est un peu grossier. [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

Après calcul, nous représentons les résultats de chaque sable dans le tableau suivant :

Elément	Module de fines M_f (%)	Classement des sables
Sable de dune SD	2,05%	$1,8 > M_f = 2,05\% > 2,2$ sables fin
Sable de construction SC	3 %	$2,2 > M_f = 3\% > 3,3$ sable grossier

Tableau III .1: Présentation la valeur de module de fines des deux sables.(Source auteur.2024)

3.1.3. La masse volumique : [NF P 18-555]

La masse volumique d'un corps représente la masse de l'unité sur le volume de ce corps. Il existe deux volumes : le volume apparent et le volume absolu. C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (incluant les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 ; Kg/l ; t/m^3).

A : La masse volumique apparente (ρ_{app}) :

- But d'essai :

La connaissance de la masse par unité du volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et le vide qu'elle contient.

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique est :

$$\rho_{app} = \frac{M}{v} (\text{g/cm}^3) [\text{Ghomari F, Bendi-ouis A.2008}]$$

Avec : ρ_{app} : masse volumique apparent (g/cm^3),

M : poids moyen (g),

V : volume de récipient (cm^3). [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

Les résultats inscrits dans le tableau suivant :

élément \	volume récipient	Poids de récipient (g)	Poids de récipient matière $V_2 = P_1 + T$	Poids de matière P_1	Poids moyen M	Masse volumique apparent $M/V (\text{g/cm}^3)$
Sable de	2000	1800	5081,1	3281,1	3277,275	1,64
la dune		1800	5071,1	3271,1		
SD		1800	5078,2	3278,2		
		1800	5078,7	3278,7		
Sable de	2000	1810	5000	3190	3200,75	1,60
constructi		1810	5011	3201		
SC		1810	5016	3206		
		1810	5016	3206		

Tableau III.2: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique apparente des sables.
(Source auteur.2024)

A. La masse volumique absolue (ρ_{abs}):

- But d'essai :

L'objectif de cet essai est de permettre de déterminer la masse d'une fraction granulaire, notamment lors de la préparation d'un mélange de béton. Ce paramètre est particulièrement utile pour calculer la masse ou le volume des différentes classes granulaires mélangées afin d'obtenir un béton aux caractéristiques spécifiées.

$$\rho_{abs} = \frac{P_1}{v = (P_3 - P_4)} (\text{g/cm}^3) [\text{Ghomari F, Bendi-ouis A.2008}]$$

Avec : ρ_{abs} : Masse volumique absolue, **M** : la masse de sable, **P₁** : le poids des agrégats secs, **P₂** : poids du récipient plein d'eau, **P₃** : poids de récipient et la masse de sable, **P₄** : poids de récipient plein d'eau et la masse de sable. [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

élément	Poids d agrégats P ₁	Poids du récipient pl d'eau P ₂	P ₃ = P ₁ +P ₂	Poids de récipient +agrégats eau P ₄	Volume de agrégats V (g)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Sable de la	342,8	2184,6	2527,4	2401,5	125,9	2,72
dune	342,8	2184,6	2527,4	2401,5	125,9	2,72
SD						
Sable de	371,7	2183	2554,7	2412,5	142,2	2,61
construction	371,7	2183	2554,7	2412,5	142,2	2,61
SC						

Tableau III.3: Présentation des valeurs d'essai la masse volumique absolue des sables. (Source auteur.2024)

3.1.4. Equivalent de sable :[NFP 18-598]

Conformément à la norme NFP 18-598, ce test évalue la propreté du sable en se concentrant sur la fraction d'un agrégat qui passe à travers un tamis à mailles carrées de 5 mm. Il fournit une évaluation globale de la quantité et de la qualité des éléments fins en exprimant un rapport volumétrique conventionnel entre les particules sableuses qui se déposent et les particules fines qui s'agglomèrent.

- **But de l'essai:**

L'objectif de cet essai est d'évaluer le degré de pureté des sables utilisés dans la fabrication du béton. Il s'agit de séparer les particules fines agglomérées présentes dans le sable. Une méthode normalisée est utilisée pour calculer un coefficient d'équivalence du sable, permettant ainsi de quantifier sa propreté.

$$ES = \frac{H_1}{H_2} 100(\%) \text{ [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]}$$

Avec : **ES** : équivalent de sable (%), **H₁** : hauteur total (cm), **H₂** : hauteur de la partie sableuse sédimentée (cm).[Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

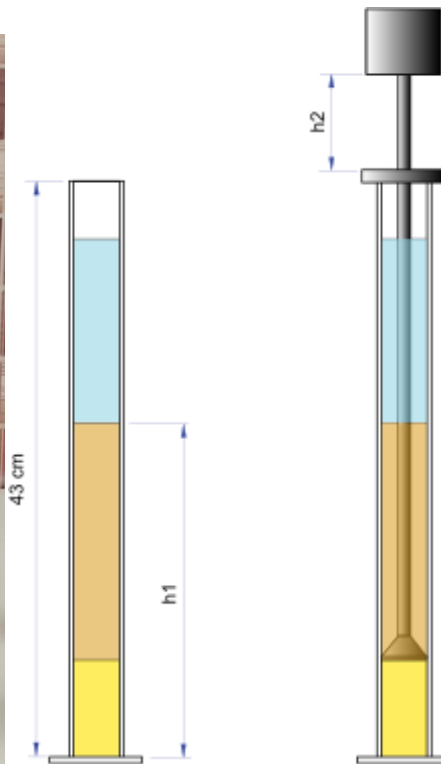


Image III.4: Essais de l'équivalent de sable. (Sourceauteur. 2024) **Figure III.5: L'appareille pour l'essai l'équivalent de sable. (Mochten A, Ghdaier A.2023)**

Les tableaux III.4 et III.5 présentent les valeurs de d'équivalent de sable (ES) des deux sables :

N° essai	H1	H2	ES%	ESP %
01	100	82	82, 00	82,09
02	101	63,34	82,17	

Tableau III.4: Présentation des valeurs d'essai équivalent de sable de la dune. (Source auteur.2024)

N° essai	H1	H2	ES%	ESP %
01	112	54	48,21	48,2
02	110	53	48,20	

Tableau III.5: Présentation des valeurs d'essai équivalent de sable de sable construction. (Source auteur.2024)

- **Observation :**

Pour le sables de la dune : la valeur de ES montre que notre échantillon est un matériau propre.

Pour le sable de construction : la valeur de ES montre que notre échantillon est un matériau argileux.

3.1.5. Essai au bleu de méthylène (VB) : [NF P 94-068]

Cet essai est réputé pour évaluer de manière globale la quantité et la qualité de l'argile présente dans un sol (essai de tâche). Il se réalise sur la fraction 0/2 mm du sol et permet de distinguer les valeurs suivantes :

$$VB = \frac{\text{Quantité de bleu absorbé (cm}^3\text{)}}{\text{poids sec de la prise (g)}} \quad (\text{G/kg}) [\text{Mochten A, Ben Ghdier A.2023}]$$

- **But d'essai :**

L'objectif de cet essai est d'utiliser le bleu de méthylène pour évaluer l'activité générale de la fraction argileuse d'un sol en mesurant la quantité de bleu de méthylène qui peut être adsorbée sur l'échantillon testé.

VB	Sensibilité à l'eau
VB < 0,2	Sols sableux (Sol insensible à l'eau)
0,2 > VB < 2,5	Sol sablo-limoneux (sol peu plastique sensible à l'eau)
2,5 > VB < 6	Sols limono-argileux (Sol limoneux plastique moyenne)
6 > VB < 8	Sol argileux
VB > 8	Sol très argileux

Tableau III.6: Classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène (Didier .D. 1999)

Notre résultat est présenté dans le tableau suivant :

Elément	Valeur de bleu de méthylène (g/kg)
Sable de la dune SD	0,25
Sable de construction SC	0,80

Tableau III.7: Présentation le résultat d'essais bleu méthylène.(Source auteur.2024)

- **Observation :**

Le tableau III.7 représente la valeur au bleu de nos échantillons. Selon le tableau III.6 Nous remarquons que :

- L'échantillon de sable de la dune est propre.

3.1.6. Essai la perméabilité de sable :

- **But d'essai :**

L'objectif est de quantifier le pourcentage d'eau auquel le sol atteint son point de collapse.

Notre résultat est présenté dans le tableau suivant :

Sables	Perméabilité sable (%)
Sable de la dune	0,13
Sable de construction	0,17

Tableau III.8: Présentation lerésultat d’essais la perméabilité de sable. (Source auteur.2024)

3.1.7. Analysechimique:

L’essai a été réalisé au **LTPS** de Ghardaïa, les résultats sont récapitulés sur le tableau III.10.

Elément	Sable de dune SD	Sable de construction SC
Insolubles (%)	97,1	94,4
CaCO ₃ (%)	---	02
AgNO ₃ (%)	0,1	0,25
Cl ⁻ (%)	0,002	0,004
NaCl ⁻ (%)	0,003	0,007

Tableau III.9: Présentation les résultats d’analyse chimique des deux sables.(Source auteur.2024)

- **Observation :**

Ces résultats mettent en évidence une observation significative pour le sable de dune : la présence d'un pourcentage élevé de résidus insolubles (SiO₂ + silice) dépassant 95 %, ce qui confirme que le sable de dune est principalement composé de silice et inexistence de calcaire. Concernant le sable de construction : le pourcentage des insolubles (SiO₂ + silice) est 94,4% avec la présence de calcaire de pourcentage 2%.

3.2. Gravier :

Nous utilisons le gravier de construction pour la confection du béton est prélève de carrier de Ben Brahim. Les fractions utilisent est : **3/8** et **8/15**.

3.2.1. Analyse granulométrique par tamisage : [EN 933-1]

Le tamisage du gravier est effectué à l'aide d'une tamiseuse où la série de tamis est placée sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil. Ensuite, l'ensemble est fixé aux montants par le haut à l'aide de deux ensembles de ressorts et de vis de blocage. La vibration est appliquée pendant une durée de 7 minutes.

Le résultat obtenu est répertoriés dans les tableaux ci-dessous :

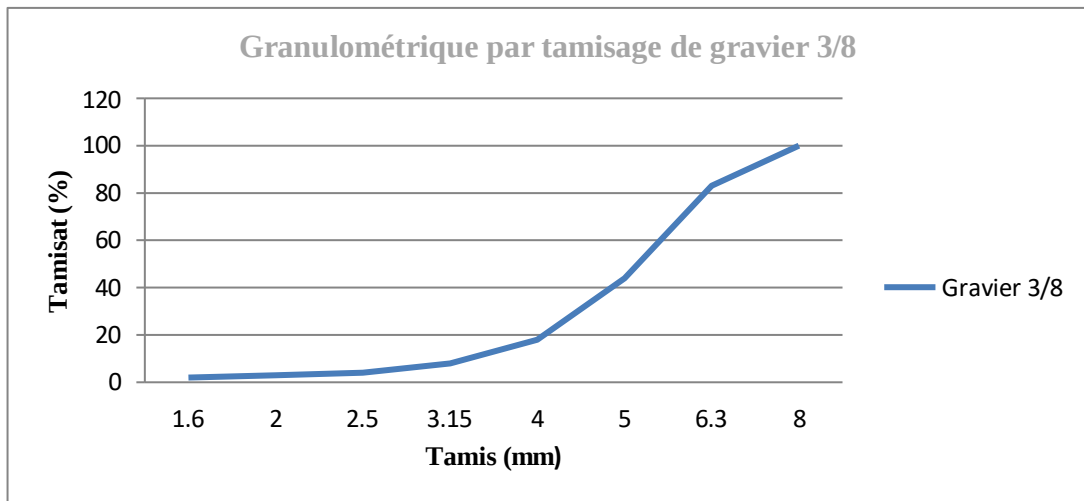


Figure III.6: Courbe granulométrique de gravier 3/8.

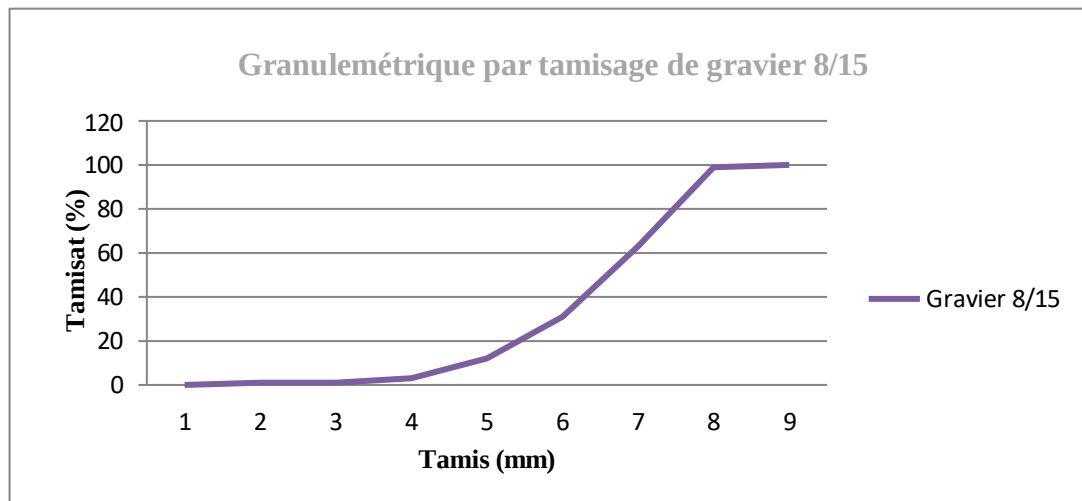


Figure III.7: Courbe granulométrique de gravier 8/15.

3.2.2. Masse volumique : [NF P 18-555]

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Il y a deux volumes : le volume apparent et le volume absolu.

Il s'agit de la masse d'un corps par unité de volume apparent dans son état naturel, y compris les vides et les capillaires. Elle est exprimée en (g/cm^3 ; Kg/l ; t/m^3).

- **But d'essai :**

L'objectif de cet essai est de permettre de déterminer la masse d'une fraction granulaire, notamment lors de la préparation d'un mélange de béton. Ce paramètre est particulièrement utile pour calculer la masse ou le volume des différentes classes granulaires mélangées afin d'obtenir un béton aux caractéristiques spécifiées.

A. La masse volumique apparente (ρ_{app}) :

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique apparente est :

$$\rho_{app} = \frac{M}{v} \quad (\text{g/cm}^3) [\text{Ghomari F, Bendi-ouis A.2008}]$$

Avec : ρ_{app} :masse volumique apparent (g/cm^3), M : poids moyen (g), V : volume de récipient (cm^3).[Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

Les résultats inscrits dans le tableau suivant :

élément	volume de récipient V(g)	Poids de récipient P (g)	Poids de récipient + matière V ₂ = P ₁ +T	Poids de matière P ₁	Poids moyen M	Masse volumique apparent M/V (g/cm^3)
Gravier	5000	3800	9794	5994	6006,5	1,20
3/8		3800	9798	5998		
		3800	9809	6009		
		3800	9825	6025		
	5000	3800	10294	6494	6487	1,30
Gravier		3800	10278	6478		
8/15		3800	10284	6484		
		3800	10290	6490		

Tableau III.10: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique apparente des graviers.
(Source auteur.2024)

B-Masse volumique absolue (ρ_{abs}):

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique absolue est :

$$\rho_{abs} = \frac{P_1}{v=(P_3-P_4)} \quad (\text{g/cm}^3) [\text{Ghomari F, Bendi-ouis A.2008}]$$

Avec : ρ_{abs} : Masse volumique absolue, M : la masse de sable, P_1 : le poids des agrégats secs, P_2 : poids du récipient plein d'eau, P_3 : poids de récipient et la masse de sable, P_4 : poids de récipient plein d'eau et la masse de sable.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

élément	Poids des agrégats secs P ₁	Poids du récipient plein d'eau P ₂	P ₃ = P ₁ +P ₂	Poids de récipient +agrégats + eau P ₄	Volume des agrégats V (g)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Gravier	614	2184	2438	2798	360	2,62
3/8	614	2184	2438	2798	360	2,62
Gravier	542	2183	2725	2518	204	2,62
8 /15	542	2183	2725	2518	204	2,62

Tableau III.11: Présentation les valeurs d'essai la masse volumique absolue des graviers.
(Source auteur.2024)

3.2.3. Coefficient de premebilité d'eau : [NFP18-555]

- *But d'essai :*

Objectif de déterminer le coefficient d'absorption d'un matériau à partir de différentes pesées.

On calculer le coefficient d'absorption d'eau d'un gravier par la formuler suivant :

$$Ab = \frac{(M_0 - M_1)}{M_1} \times 100(\%) \quad [\text{Belouadah M.2017}]$$

Le résultat est défini sur le tableau suivant :

Echantillon	M ₀ (g)	M ₁ (g)	Ab (%)
Gravier 3/8	654,3	637,1	2,69
Gravier 8/15	637,1	619,9	1,95

Tableau III.12: Présentation le résultat d'essai absorption d'eau du gravier 3/8 et 8 /15.
(Source auteur.2024)

3.2.4. Coefficient d'Aplatissement : [NF EN 933-3]

Aplatissement d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation: $G/E > 1.58$

Dans les mêmes conditions $L \leq G \leq E$, on peut déterminer aussi:

- La longueur L, distance minimale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat,
- L'épaisseur E, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat. [Amrani S .2009]

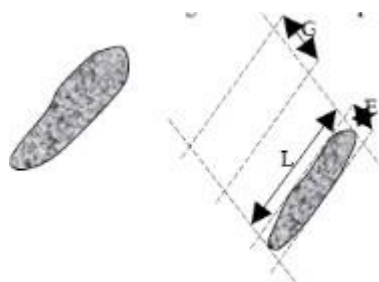


Figure III. 8:Forme d'un granulat. (Amrani.S, 2009)

- **But d'essai :**

L'objectif de cet essai est éviter d'utiliser du granulat plat dans la préparation du béton car il affaiblit la résistance du béton sous pression.

La formule de calculer le coefficient d'aplatissement est :

$$A = \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100 (\%) [\text{Amrani S .2009}]$$

Avec : **Me** :passent des grilles (g),**Mg** : passent de tamis (g).[Amrani S .2009]

Le résultat donné dans les tableaux suivant :

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles	
Classe granulaire	Mg (g)	Ecartement des gril	Me (g)
d/D (mm)		(mm)	
20	---	12,5	---
16	---	10	---
12 ,5	---	8	---
10	---	6,3	---
8	---	5	---
6,3	201,2	4	44
5	720,9	3,15	181 ,2
4	432,1	2,5	124,8
$\sum Mg = 1354,2$		$\sum Me = 350$	
A= $\frac{\sum Me}{\sum Mg}$ × 100 = 25 ,85			

Tableau III .13: Présentationle résultat d'essai d'aplatissement de gravier 3/8.(Source auteur.2024)

Tamisage sur tamis		tamisage sur grilles	
Classe granulaire	Mg (g)	Ecartement des gril	Me (g)
d/D (mm)		(mm)	
20	00	12,5	00
16	55 ,8	10	11
12 ,5	740,9	8	103,5
10	862,3	6,3	84,5
8	408,7	5	58,5
6,3	67,5	4	10,1
5	2,6	3,15	1 ,1
4	---	2,5	124,8
$\sum Mg =1729,1$		$\sum Me =768,9$	
$A= \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100 = 44 ,47$			

Tableau III .14 : Présentation le résultat d’essai d’aplatissement de gravier 8/15.(Source auteur.2024)

3.2.5. Los Angeles : [NF EN 1097]

- *But d’essai :*

L’objectif de cet essai mesuré les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l’usure par frottements réciproques des éléments de gravier.

On applique la formule suivant pour calculer le coefficient Los Angeles :

$$C_{LA} = 100 \times \frac{5000 - P'}{5000} (\%) \text{ [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]}$$

Avec : C_{LA} : Coefficient Los Angeles en (%), P' : Retenue sur le tamis 1,6mm (g). [Ghomari F, Bendi-ouis A.2008]

LOS-ANGELES (%)	APPRECIATION
<15	Très bon
15-20	bon à moyen
20-30	moyen à faible
>30	faible Médiocre

Tableau III.15: Appréciation de la résistance à la fragmentation. (Chellali .M, 2009)

Le résultat est présent au tableau III.20 :

Echantillon	Classe granulaire	Prise d'essai (g)	Nombre des boulets	Retenue sur le tamis 1,6mm (g)	Coefficient Los Angeles (%)	Appréciation (salon le tab III.19)
Gravier 3/8	{ 4/ 5/ 6,34}	5000	07	3678,5	26	moyen à faible
Gravier 8/15	{10/12,5 / 14}	5000	11	3944	21	moyen à faible

Tableau III .16: Présentation le résultat d'essai Los Angeles. (Source auteur.2024)

3.2.6. Micro-Deval : [NF EN 1076-1]

- *But d'essai :*

Le test MICRO-DEVAL vise à évaluer la résistance à l'usure par frottement des matériaux.

Le tableau suivant donne l'appréciation de la qualité des granulats en fonction du coefficient MICRO – DEVAL.

Micro-Deval(%)	Appréciation
<13	Très bon à bon
13-20	Bon à moyen
20-25	Moyen à faible
>25	Médiocre

Tableau III.17: Appréciation de la dureté Micro-Deval. (Source auteur.2024)

Notre résultat est présenté au tableau III.19suivant :

Echantillons	Classe granulaire	Prise d'essai (g)	Retenue sur le tamis 1,6mm (g)	Coefficient Micro-Deval (%)	Moyenn (%)	Appréciation (salon le tableau III.18)
Gravier 3/8	{ 4/ 5/ 6,34}	500	342,5	31,5	30	Médiocre
		500	348,5	30,5		
Gravier 8/15	{10/12,5 / 14}	500	374,3	25,14	25	Moyen à faible
		500	378,0	24,40		

Tableau III .18: Présentation le résultat d'essaiMicro-Deval. (Source auteur.2024)

3.2.7. Analyse chimique :

Nous avons fait l'essai au LTPS de Ghardaïa, les résultats sont récapitulés sur le tableau III.20.

Echantillon	Gravier de construction
Insolubles (%)	20,3
SO ₃ ⁻² (%)	9,05
CaCO ₃ (%)	54
AgNO ₃ (%)	0,95
Cl ⁻ (%)	0,016
NaCl (%)	0,028

Tableau III.19: Présentation le résultat d'analyse chimique du gravier de construction.(Source auteur.2024)

3.3. Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment portland de type **CPJ CEM II /BL 42.5 N**, qui est disponible sur le marché et produit par l'usine de ciment « ELMATIN ».

3.3.1. Caractéristique physique de ciment « Matine » :

Les caractéristiques sont définies au tableau suivant d'après la fiche technique de ciment « Matine ».

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normal (%)	26,5 ± 2,0
Finesse suivant la méthode de Blain (cm ² /g)	3700 -5200
Retrait à 28 jours (µm/ m)	<1000
Expansion (mm)	≤ 3,0

Tableau III.20: Présentation les caractéristiques physiques de ciment de « Matine ».
(fiche technique Matine, 2023)

3.3.2. Caractéristiques mécaniques de ciment « Matine » :

Les caractéristiques sont définies au tableau suivant d'après la fiche technique de ciment « Matine ».

Age	02 jours	28 jours
Résistance à la compres (Mpa)	≥ 10,0	≥ 42,5

Tableau III.21: Présentation les caractéristiques mécaniques de ciment de « Matine ».
(Fichetechnique Matine, 2023)

3.3.3. Caractéristiques chimique de ciment « Matine » :

Les caractéristiques sont définies au tableau suivant d'après la fiche technique de ciment « Matine ».

Eléments	Valeurs
Perte au feu NA_5O_4^2 (%)	10 ± 2
Teneur en sulfates SO_3 (%)	$2,5 \pm 0,5$
Teneur en Oxyede de magnésium M (%)	$1,7 \pm 0,5$
Teneur en Chlorures NA_5O_4^2 (%)	$0,02 - 0,05$

Tableau III.22: Présentation les caractéristiques chimiques de ciment de « Matine ».
(Fichetechnique Matine, 2023)

3.4. Fines :

Les fines utilisées dans cette étude expérimentale sont les fines de sable de la dune. Nous broyons le sable des dunes pour qu'il prenne la forme illustrée dans l'image III.9.



Image III. 9: Les fines de sable de la dune. (Source auteur, 2024)

3.4.1. Préparation des fines :

On peut de 2kg de sable de la dune dans la machine de Micro-Deval avec 2kg des billes, a durée de l'essai est de 2 heures (la vitesse de rotation du cylindre est de 12042tr).

L'objectif de l'expérience est de broyer le sable des dunes pour l'obtenir sous forme de poudre on appelle les fines.



Image III.10: Les étapes de préparation des fines. (Source l’auteur (2024))

3.4.2. Analyse granulométrique par sédiment :

- But d’essai :

Il s’agit de déterminer la répartition en poids des particules de sol de taille inférieure à 0,063 mm.

Le tableau III.28est présenté le résultat d’analyse :

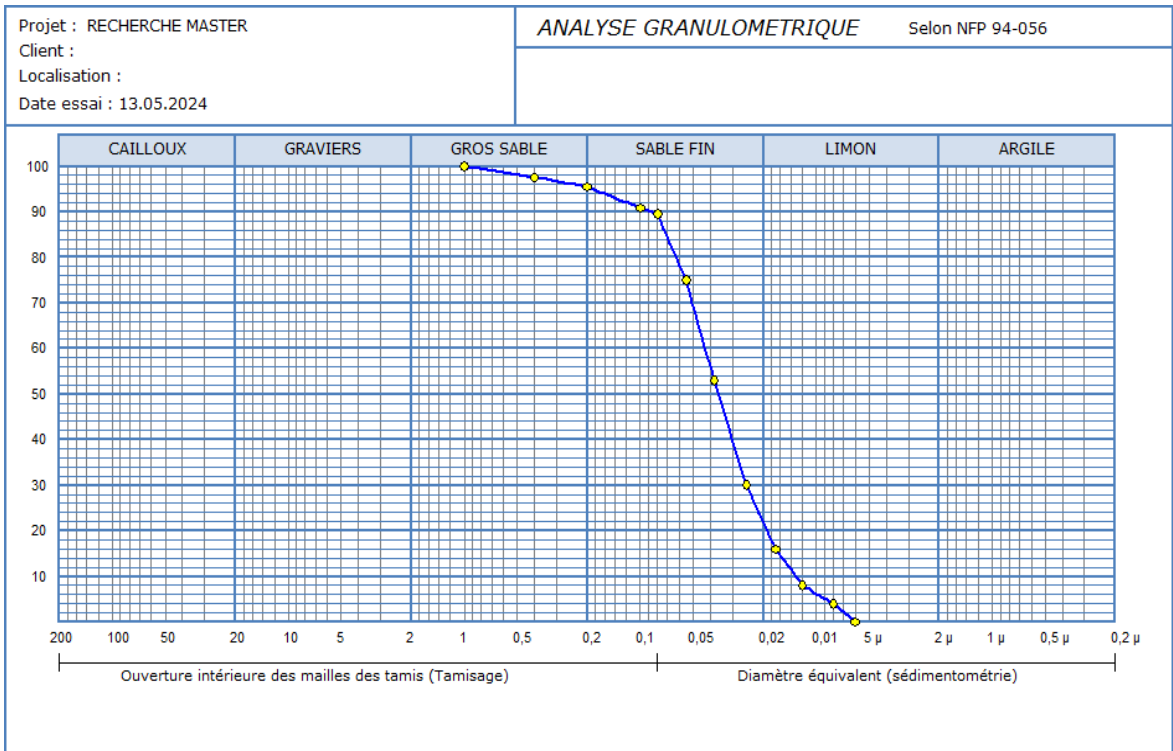


Figure III.11: Courbe de résultat d’analyse granulométrique par sédiment des fines.

- Observation :

On remarque que le sable est fin avec un peu de limon.

3.4.3. Limites d'Atterberg :[NF P 94-051]

Les limites d'Atterberg constituent des paramètres géotechniques visant à identifier un sol et à définir son état en se basant sur son indice de plasticité et de consistance. La consistance d'un sol fin varie significativement selon sa teneur en eau, passant d'un état solide lorsqu'il est sec à un état liquide lorsqu'il est saturé. Entre ces deux états, il existe un état intermédiaire appelé état plastique, comparable à de la pâte à modeler.



Image III .12: L'essai de limites d'Atterberg. (Sourceauteur .2024)

- **Observation :**

Le résultat de limite d'Atterberg non mesurable, donc les fines non argileuses.

3.4.4. Essai bleu de méthylène : [NF EN 17542-3]

- **But d'essai :**

L'essai au bleu de méthylène évalue de manière générale l'activité de la fraction argileuse d'un sol en déterminant la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par l'échantillon test, mesurée par dosage.



Image III.13: Essai bleu de méthylène. (Source auteur.2024)

3.4.5. Analyse chimique:

L'essai a été réalisé au **LTPS** de Ghardaïa, les résultats sont récapitulés sur le tableau III.24.

Elément	Fines
Insolubles (%)	97,1
CaCO₃ (%)	---
AgNO₃ (%)	0,1
Cl⁻ (%)	0,002
NaCl⁻ (%)	0,003

Tableau III.23: Présentation les résultats d'analyse chimique des fines.(Source auteur.2024)

3.5. Eau degâchage :

On a utilisée l'eau de robinets au niveau de laboratoire pour préparés les formulations de béton. Leur composition chimique est indiquée au tableau ci-dessous.

Elément	Eau
PH	8.01
SO₄⁻² (mg/L)	513.94
CL⁻ (mg/L)	352.7
R-D-S (mg/L)	1555

Tableau III.24: résulta d'analyse chimique d'eau utilisée.(Source auteur.2024)

4. CONCLUSION :

Ce chapitre présenté les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux utilisé pour préparé les formulations du béton.

CHAPITRE IV

FORMULATION DES ECHANTILLON ET
PROTOCOL EXPREMENTAL

1. INTRODUCTION :

Notre programme expérimental dans ce chapitre inclut les parties suivantes :

- Etude de résistance : cette partie présente la démarche utilisée pour préparer échantillon de béton, formulation de mélange, mode de malaxage, essai de béton à l'état frais, moulage et démoulage, la conservation d'échantillon, essai de béton à l'état durci.
- Etude de durabilité : cette partie présente la préparation d'échantillon des mortiers, préparation de la solution sulfuriques, observation de impact des solutions sulfurique à l'échantillon (perte de masse, PH de la surface d'échantillon).

2. ETUDE DE RESISTANCE :

Le contenu de notre travail dans consiste en l'analyse et l'étude des facteurs influant sur les propriétés, mécaniques du béton fabriqué à partir de sable dunaire et ses fines, que pour approfondir l'analyse des réactions des matériaux et leur impact sur les propriétés mécaniques du béton.

Le programme expérimental comprend le développement de 9 formulations (total de 81 éprouvettes ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$) de béton, on faire l'écrasement après 7 jours et 14 jours et 28 jours, les formulations sont comme suit :

- | | |
|--|------------------------|
| • Témoin (100% sable de construction) | 100%SC |
| • 5% Sable de la dune + 95% sable de construction | 5%SD+95%SC |
| • 10%Sable de la dune + 90% sable de construction | 10%SD+90%SC |
| • 15%Sable de la dune + 85% sable de construction | 15%SD+85%SC |
| • 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment | 5%F+95%C |
| • 10% fines de sable de la dune +90% Ciment | 10%F+ 80%C |
| • 15% fines de sable de la dune +85% Ciment | 15%F+ 85%C |
| • 25% fines de sable de la dune+75% Ciment | 25%F+ 75%C |
| • 10% Sable de la dune+90% sale de construction + 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment | 10%SD+90%SC + 5%F+95%C |

1.1. Présentation de la méthode FAURY :

Dans notre étude on va travailler avec la méthode de FAURY.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $5\sqrt{D}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense).

- **Calcule le D_{max} :**

Le grand diamètre de granulats $\Rightarrow D_{100\%} = n$

X = Le refus sur le tamis n-1 => le refus sur le tamis 12,5mm=>**x** ;

y = Le refus entre le tamis n-1 et $\frac{n-1}{2}$ =>=> **y**.

$$D_{\max} = n - 1 \left(1 + \frac{x}{2 \times y} \right) \text{ [Rouane B, Silem H.2016]}$$

- Définir la courbe référence :

La courbe de référence constituée par deux droites

$$Y = 31 + 17.8 \sqrt[5]{D_{\max}} + 3.5 Y_{D_{\max}} \text{ [Rouane B, Silem H.2016]}$$

[0.0065 (1%), D/2(Y_{D_{max}})] et [D/2(Y_{D_{max}}), D_{100%} (100%)]

On calcule ces valeurs pour tracer la courbe de référence de composition béton, et pour les données de dosage des matériaux composants.

La figure IV.1 donne les quantités des constituants du mélange de béton :

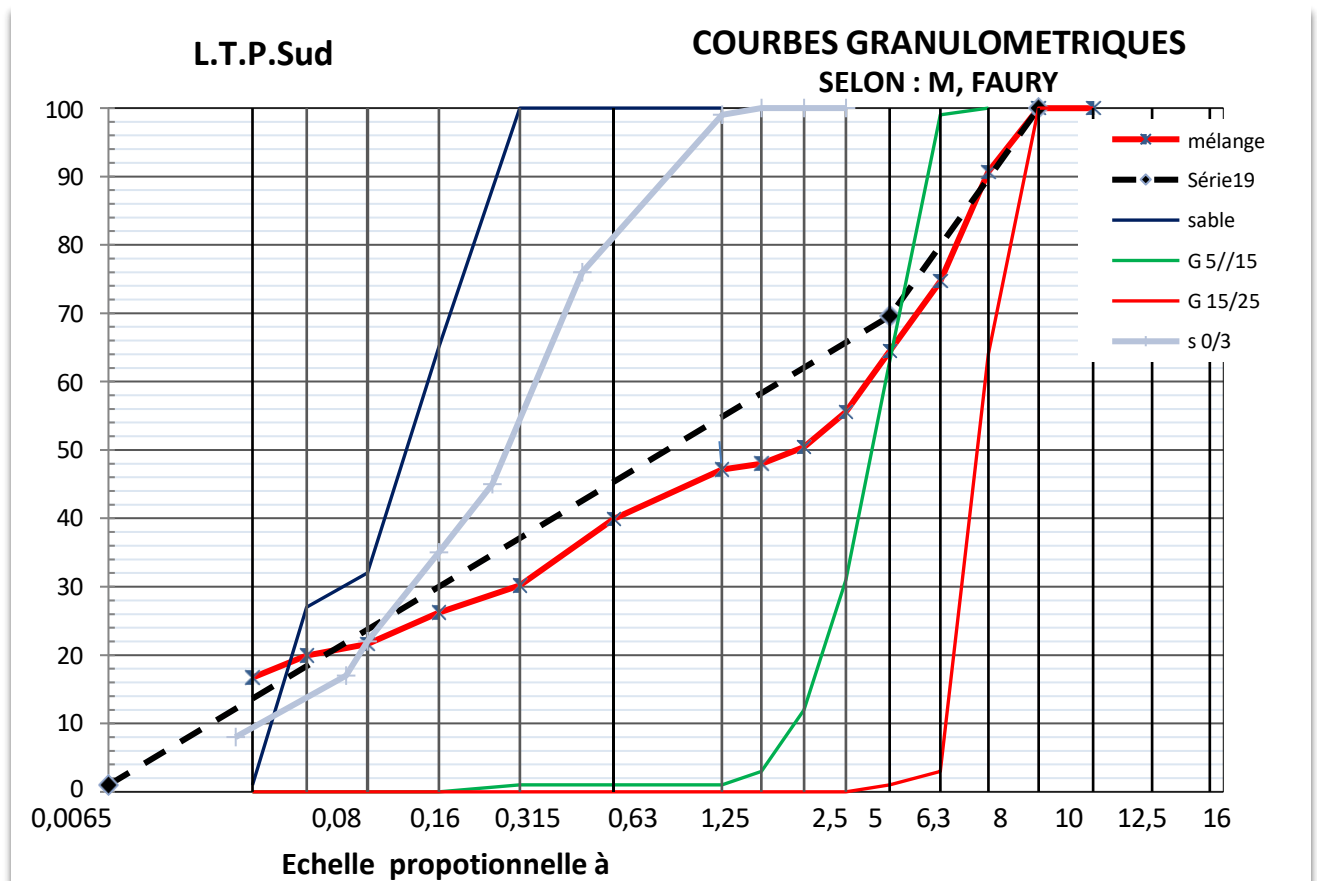


Figure IV .1: La courbe référence selon la méthode FURY.

Constituants	Volume (L)	Poids spécifiques (t/m3)	Dosage pondéral (kg/m3 de béton)	Densité apparente (t/m3)	Dosage Volumétrique (l)	Dosage volumétrique par sac de ciment (l)
3/8	207,2	2,62	543,10	1,3	417,77	52,22
8/15	276,3	2,61	721,37	1,3	554,90	69,36
Sable	207,2	2,61	541,03	1,6	338,14	42,27
Eau	188,3		188,37			23,56
Ciment	129,0	3,1	350			

Tableau IV. 1: Dosage théorique pondéral et volumétrique pour 1 m³.

1.2. Le rapport E/C :

Le résultat de rapport de chaque composition présent dans le tableau suivant :

Formulations	E/(C+F)
100% SC	0,54
5% SD + 95%SC	0,54
10% SD +90%SC	0,54
15%SD +85 % SC	0,54
10%SD+90%SC +	0,54
5%F+95%C	
5%F+90%C	0,54
10%F + 90%C	0,54
15% F + 85%C	0,54
25% F +75 % C	0,54

Tableau IV.2: Présentation le résultat de rapport E/C des formulations. (Source auteur.2024)

1.3. Analyse granulométrique : [NF P 18-560]

On fait l'analyse granulométrique par tamisage de sables aux compositions utilisées dans la formulation du béton, les résultats définis à la figure suivent :

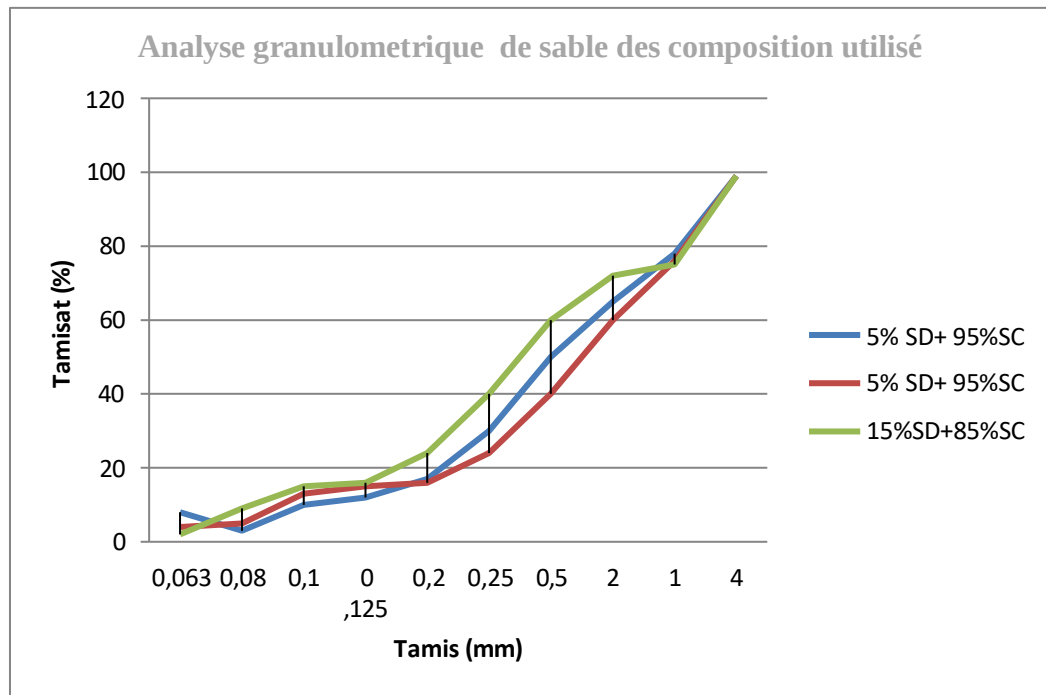


Figure IV.2: Courbe d'analyse granulométrique de sables de la composition utilisée.

1.4. Les formulations du béton :

Nous appliquant les calcule de méthode **FUARY** pour dessiner la courbe référence, et pour ça nous avons besoin de dosage des matériaux aux formulations et dessiner les courbe de composions.

On définir les dosages de composition dans les tableaux suivant et les courbe dans le figure suivant :

Volume (m3)	01cube	10 cubes
	0,003375	0,03375

Tableau IV. 3: Volume d'éprouvette cubique.(Source auteur.2024)

Constituants	Sable (kg/ m ³)		Ciment (kg)		Gravier (kg)		Eau (kg)	E/(C+F)	Total (kg)
	SC	SD	Ciment (C)	Fines (F)	3/8	8/15			
Formulation									
100% SC	18,26	---	11,81	---	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,54	67,59
5% SD + 95%SC	17,34	0,91	11,81	---	12,83	67,59	6,36+ 395g	0,54	67,59
10% SD +90%SC	16,43	1,83	11,81	---	12,83	67,59	6,36 + 360g	0,54	67,59
15%SD +85% SC	15,52	2,74	11,81	---	12,83	67,59	6,36 + 360g	0,54	67,59
10%SD+90% SC + 5%F+95%C	16,43	1,83	11,22	0,59	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,54	67,59
5%F+90%C	18,26	---	11,22	0,59	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,57	67,59
10%F+90%C	18,26	---	10,63	1,18	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,60	67,59
15%F+85%C	18,26	---	10,04	1,77	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,63	67,59
25%F+75%C	18,26	---	8,86	2,95	12,83	67,59	6,36 + 01kg	0,71	67,59

Tableau IV.4: Dosage pour un gâcher de béton (0,03375 m3). (Source auteur.2024)

1.5. Préparation des mélanges : [NF 18.404]

Selon la norme **NF 18.404**, une fois pesés, les composants sont ajoutés dans le malaxeur en commençant par le plus gros et en finissant par le plus fin (le ciment étant ajouté juste avant le sable). Le mélange à sec dure une minute, suivi d'un mélange de deux minutes après l'ajout d'eau. L'ajustement de la quantité d'eau est effectué en fonction de l'affaissement mesuré avec le cône d'Abrams.



Image IV. 3: Malaxage.

Image IV.4: Les moles d’éprouvette.

(Source auteur, 2024)

1.6. Essai d’essai d’affaissement au cône d’Abrams :[NFP 18-451]

Cette expérimentation implique le remplissage d'un moule conique (D=20cm, d=10cm, h=30cm) en trois couches compactées à l'aide d'une tige d'acier de 16 mm de diamètre et d'extrémité arrondie. Chaque couche est compactée avec environ 25 coups. Ensuite, le moule est soulevé avec précaution, et l'affaissement est mesuré.

Affaissement en (cm	Plasticité	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	Normale	Génie civil Ouvrages d’art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	Faible	Ouvrages courants
Plus de 16	Fluide	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

Tableau IV.5: Affaissement au cône conseillé en fonction du type d’ouvrage à réaliser.(Chellali Mohamed Tyeb)



Image IV.5: Application de l'essai d'affaissement. (Source auteur, 2024)

1.7. Détermination à la masse volumique fraîche:

Pour évaluer la masse volumique d'un béton frais, il convient de suivre les étapes suivantes :

- Remplir un récipient de volume V_r avec le béton frais, qui a une masse M_r . Le remplissage se fait en deux couches.
- Araser la surface supérieure du récipient.
- Peser le récipient contenant le béton, noté M_t .

La masse volumique du béton frais, notée δ_f , peut être calculée en utilisant la relation suivante:

$$\delta_f = \frac{M_t - M_r}{V_r} \quad (\text{g/ m}^3) \quad [\text{Rouane B, Silem H.2016}]$$

Le résultat est défini sur le tableau suivant :

Formulation	Masse (g)	Volume (cm ³)	Masse volumique frais (g/cm ³)
100% SC	7602	3375	2,25
5% SD + 95%SC	7750	3375	2,30
10% SD +90%SC	7750	3375	2 ,30
15%SD +85% SC	7830	3375	2,32
10%SD+90%SC + 5%F+95%C	7755	3375	2,30
5%F+90%C	7598	3375	2,25
10%F + 90%C	7760	3375	2,30
15% F + 85%C	7589	3375	2,25

Tableau IV.6: Présentation les résultats de masse volumique fraise de chaque compositions. (Source auteur.2024)

1.8. Moulage : [NF P18 -422]

Après le malaxage, qui prend environ 5 minutes, le béton est prêt à être utilisé. Il est versé dans des moules préalablement enduits d'huile pour faciliter le démoulage après 24 heures. Le coulage se fait en deux couches vibrées jusqu'à ce que le niveau du béton se stabilise, assurant ainsi un remplissage optimal du moule. À la fin du coulage, les éprouvettes doivent être nivelées avec une règle selon les normes **NF P18-422** et **NF P18-423**, assurant ainsi une surface supérieure lisse et bien finie.

1.9. Vibration:

Après avoir été placé dans le coffrage, le béton est soumis à des vibrations à l'aide d'aiguilles ou de vibreurs électriques fixés sur le coffrage. Pendant cette étape, l'air est expulsé des espaces entre les graviers, ce qui permet à la pâte fine de ciment et de sable de les remplir. Ces vibrations favorisent un mélange efficace et améliorent le processus de durcissement.

1.10. Conservation des éprouvettes :

Après la coulée du béton, les échantillons sont maintenus dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire à une température de 25°C. Pour empêcher toute pénétration d'humidité depuis l'extérieur, la surface supérieure du moule est recouverte d'un film plastique.

1.11. Démoulage :

Les échantillons fabriqués sont retirés de leurs moules 24 heures après leur coulée, puis placés dans un environnement adapté pour leur conservation.

1.12. Détermination de la masse volumique durcie :

Pour calculer la masse volumique durcie δ_d d'un béton, les étapes suivantes doivent être suivies:

Mesurer la masse d'une éprouvette durcie, notée M. Dans notre cas, nous utilisons des éprouvettes de dimensions 15x15x15cm².

La masse volumique est obtenue en divisant la masse M par le volume correspondant aux dimensions de fabrications V.

$$\delta_d = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3) [\text{Bentata A. 2004}]$$

Notre résultat est définie au tableau suivant :

Formulation	Masse (g)	Volume (cm ³)	Masse volumique durci aux 28 jours (kg/m ³)
100% SC	7600	3375	2,25
5% SD + 95%SC	7830	3375	2,30
10% SD +90%SC	7870	3375	2, 30
15%SD +85% SC	7915	3375	2,32
10%SD+90%SC +	7775	3375	2,30
5%F+95%C			
5%F+90%C	7580	3375	2,25
10%F + 90%C	7503	3375	2 ,22
15% F + 85%C	7610	3375	2,25

Tableau IV.7: Présentation les résultats de masse volumique durcide chaque composions.
(Source auteur.2024)

1.13. La résistance à la compression (essai d'écrasement): [NF P 18.406]

L'essai de compression est réalisé sur des échantillons cubiques standardisés de dimensions (15x15x15 cm). Le but de cet essai est de déterminer la résistance à la compression. Les échantillons sont chargés progressivement jusqu'à ce qu'ils se rompent, conformément à la norme NA EN 12390-3.



Image IV.6: L'appareil de l'encrassement. (Source auteur.2024)

Les échantillons sont soumis à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est définie comme le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'échantillon. L'essai de compression est effectué sur 07 jours et 14 jours et 28 jours. Après les échantillons sont placés sur les plateaux du dispositif de compression.

$$R_c = F/S \quad (\text{Mpa})$$

[Amrani S.2009]

Avec : **R_c**: résistance à la compression (MPa), **F** : la charge de rupture (N), **S** : section de l'éprouvette (mm²).[31]

2. ETUDE DE DURABILITE :

L'aspect chimique consiste à étudier l'effet des milieux de solution sur des échantillons de mortier de ciment et de sable en les plaçant dans trois solutions différentes: de l'eau distillée, de l'H₂SO₄ et du Na₂SO₄, en les surveillant pendant une période régulières pour prendre les changements de volume et de forme pour chaque échantillon.

On fait cette étude au niveau de laboratoire d'université de Ghardaïa, et la préparation d'échantillon fait au LTPS.

2.1. Formulation des mortiers :

Deux ensembles de compositions de béton sont assemblés comme suit :

- Le premier ensemble de compositions a été défini comme suit: (100% SC), (5%SD+95%SC), (10%SD+90%SC), (15%SD+85%SC),(25%SD+75%SC) en maintenant les mêmes proportions de ciment et d'eau, la seule différence étant la proportion de sable.
- Le deuxième ensemble, nous avons utilisé des proportions fines avec le ciment et avons défini les compositions suivante : (5%F+10%C), (10%F+90%C), (15%F+85%C), (25%F+75%C),(5%SD+95%SC+10%F+90%C) tout en conservant les mêmes proportions de sable et d'eau, tandis que la proportion de ciment varie.

Le tableau suivant présente les compositions des mortiers utilisés pour fabriquer le développement de 10 formulations (4×4 ×16cm) pour un total de 30 échantillons.

Constituants Formulation	Ciment (g)	Fines (g)	Sable de construction (g)	Sable de dunes (g)	Eau (g)	Additions (G)
100% SC	250	---	1350	---	225	l'ajout de 25g d'eau
5% SD+ 95%SC	250	---	1282,5	67,5	225	l'ajout de 34,45g d'eau
10% SD+90%SC	250	---	1215	135	225	l'ajout de 45g d'eau
15%SD +85% SC	250	---	1147,5	202,5	225	l'ajoutde 45g

						d'eau
25% SD +75%SC	250	---	1012,5	337,5	225	l'ajout de 39g d'eau
10%SD+90%SC + 5%F+95%C	237,5	237,5	1215	135	225	l'ajout de 49,14g d'eau
5%F+90%C	237,5	12,5	1350	---	225	l'ajout de 35g d'eau
10%F + 90%C	225	25	1350	---	225	l'ajout de 39g d'eau
15%F + 85%C	212,5	37,5	1350	---	225	l'ajout de 35g d'eau
25%F + 75%C	187,5	62,5	1350	---	225	l'ajout de 35,76g d'eau

Tableau IV.8: Présentation les formulations du mortier. (Source auteur.2024)

2.2. Préparation des mortiers : [EN 196-1]

C'est un mortier réalisé conformément à la norme **EN 196-1**.

Sa composition est la suivante (pour 3 éprouvettes) :

- Sable : 1350g
- Ciment : 250 g
- Eau : 225g

- **Mode opératoire :**

- a. Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- b. Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- c. Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- d. Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.
- e. Le mortier prêt, le verser dans des moules prismatiques 4x4x16 cm. La mise en place est réalisée par vibration.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau.

Opération	Introduction de l'eau	Introduction de ciment	Introduction du sable	Raclage de la cuve		
Durée		30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat de malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt		Vitesse rapide

Tableau IV.9: Opérations de malaxage du mortier normal. (LTPS, 2024)



Image IV. 7: Les mortiers à la table de



Image IV. 8:Les mortiers. vibration. (Source

2.3. Préparation des solutions :

2.3.1. La solution d’acide sulfatique H₂SO₄:

- Mode opératoire :

On a préparé la solution d’acide sulfatique contient 5% de acide par 1L d’eau,

- Dans un récipient en verre approprié, mesurez une quantité de 198g d’acide sulfurique.
- Ajoutez cette quantité l’acide au 1 L d’eau distillé,
- Continuez à remuer jusqu’à ce que l’acide sulfurique soit complètement dilué dans l’eau,
- mesuré le PH de la solution préparée, (PH = 1)
- Peser l’échantillon préalablement saturé dans la solution,
- immersion totale de l’échantillon dans la solution agressive,
- contrôler le PH de la solution de conservation périodiquement,
- suivre l’action des solutions agressive sur l’échantillon par les essais de contrôle de durabilité (par exemple la perte de masse).

Assurez de porte des équipements de protection individuelle.

Nous avons appliqué ce mode opératoire et les images suivant présenter notre préparation :

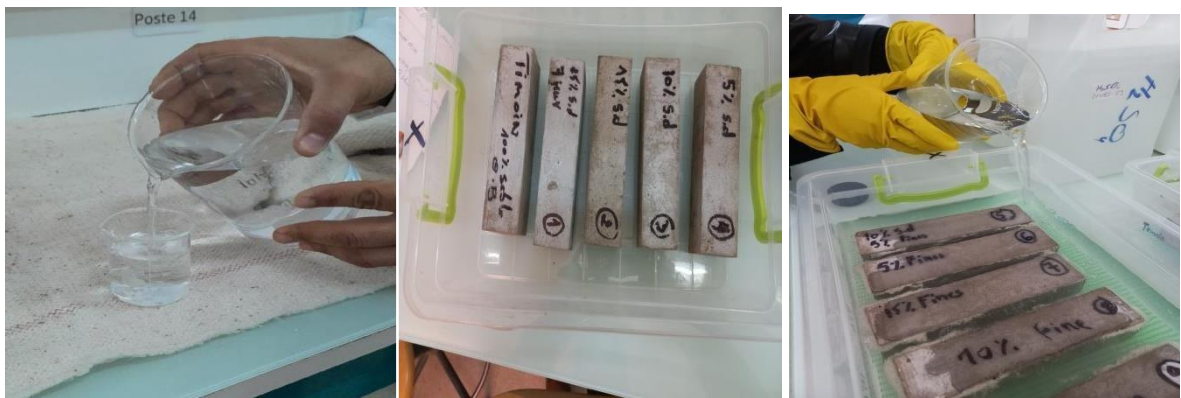


Image IV.9 : Préparation solution.

Image IV.10 : Échantillon dans un sac.

Image IV.11: L'échantillon saturé dans la solution. (Source auteur ,2024)

(Source auteur ,2024)

(Source auteur ,2024)

2.3.2. La solution sulfate de sodium Na2SO4 :

Nous avons appliqué le protocole ASTM C 1012 est le seul protocole normalisé étudiant l’influence des attaques au sulfate sur les matériaux cimentaires. (Certaines normes ont été modifiées en raison de la disponibilité des matériaux et de temps d’étude).

- Mode opératoire :
 - a. Mesurez 198G de poudre de sulfate de sodium.
 - b. Mettons 1L d’eau distillé dans un récipient et déposé au adjutateur chauffent,
 - c. Ajoutez la poudre mesurée à l’eau pour complète la poudre,
 - d. Laissez la solution refroidir à température ambiante avant de l’utiliser.

Il faut porter des équipements de protection des gants en caoutchouc et une blouse de laboratoire.

Origine de l’essai ou norme associée	ASTM C 1012
Cation	Na ⁺
Concentration de la solution d’immersion	198g/L (1, 39 mol/L en Na2SO4)
PH	6-14 après chaque mesure
Renouvellement de la solution	Non
Cycles mouillage/séchage	une fois par mois
Température (°C)	25
Corps d’éprouvette	(40x40x160 mm) Mortier
Durée de l’essai	3 mois

Tableau IV.10: Le Protocol utilisé à base de protocole ASTM C 1012. (Source auteur ,2024)

2.4. Essais de durabilité :

Dans cette section de l'étude, nous avons examiné plusieurs types de tests pour obtenir des résultats nous permettant de confirmer la nocivité du milieu sulfatique. Parmi ces tests, on peut citer : les profondeurs dégradées, les pertes de masses, l'évolution des dimensions.

2.4.1. PH de la surface de l'échantillon :

Nous avons testé régulièrement le pH de la solution en utilisant des bandelettes de papier indicateur de PH disponibles au laboratoire universitaire. Nous avons utilisé le tableau suivant pour classer le PH des solutions.



Image IV.12 : Bandelettes de papier indicateur le PH. (Source auteur, 2024)

Phase	PH
Phase 01	$12 < \text{pH} < 13$ le pH initial de la surface généralement compris entre 12 et 13 (matériau cimentaire sain) inhibe le développement de la dégradation,
Phase 02	$9,5 < \text{pH} < 12$ suite à la carbonatation du béton, le pH de la surface diminue jusqu'environ 9,5 et permet alors la colonisation primaire des agents agressifs
Phase 03	$4 < \text{pH} < 9,5$ les sécrétions métaboliques des microorganismes neutrophiles abaissent le pH de la surface colonisée jusqu'environ 4mm laissant ainsi la possibilité aux espèces acidophiles de s'installer
Phase 04	$\text{pH} < 4$ les substances métabolisées par les espèces acidophiles abaissent le pH de la surface à un niveau très faible, parfois inférieur à 1, c'est la phase de l'attaque la plus critique pour le béton.

Tableau IV.11: Classification de PH. (Brahim.R, Hichem.S, 2016)

2.4.2. La perte de masse de l'échantillon :

La mesure de la perte de masse est utilisée pour évaluer la détérioration : lorsque l'attaque entraîne la dissolution de la matrice cimentaire, une partie du matériau est libérée, entraînant ainsi une perte de masse directe. Dans le cas des attaques qui génèrent des substances expansives telles que le gypse et l'étrangéité secondaire, il y aura alors un gain de masse. Cependant, lorsque l'attaque conduit à la formation de produits de corrosion, cette méthode de mesure de la détérioration pose le problème du brossage de l'échantillon.

En effet, si l'échantillon n'est pas brossé, les produits de corrosion persistent à sa surface, entraînant une incertitude de mesure significative difficile à évaluer. Par conséquent, l'expérimentation ne peut pas se poursuivre dans des conditions optimales après la mesure. La mesure de la perte de masse s'avère être un bon indicateur de la détérioration, mais il est préférable de ne l'utiliser qu'à la fin de l'expérience.

Les éprouvettes sont nettoyées trois fois à l'eau douce pour éliminer le mortier altéré, puis laissées sécher pendant 30 minutes. Ensuite, on procède à la pesée des éprouvettes à l'aide d'une balance.

$$\text{Pert de masse} = \frac{M1-M2}{M1} \times 100 \quad (\%)[30]$$

Avec : **M1**: masse des éprouvettes avant immersion, **M2**: masse des éprouvettes après immersion. [30]



Image IV.13: Le nettoyage de l'échantillon (Source auteur ,2024) **Image IV. 14: Les échantillons sont laissés à sécher** (Source auteur ,2024)

2.4.3. Evolution des dimensions de l'échantillon:

Le changement des dimensions de l'échantillon est également utilisé comme un indicateur de la dégradation du béton. Cet indicateur peut être exploité de deux manières différentes. D'abord, il permet d'évaluer directement les variations dimensionnelles de l'échantillon, généralement associées à une diminution due à la dégradation. Ensuite, il peut servir à déterminer, après le brossage, la quantité de matériau intact restante. La mesure des dimensions d'un échantillon peut être délicate, posant des problèmes de manipulation et surtout de repérage des mesures d'origine. Pour remédier à

cela, certains auteurs fixent les échantillons sur le sac avant de les exposer à des environnements favorables à leur détérioration. Ce sac, qui ne subit que peu ou pas de détérioration, est alors utilisé comme référence pour les mesures.



Image IV.15 : L'échantillon avant et après situer à la solution (Source auteur ,2024)

3. CONCLUSION :

Ce chapitre a été consacré à une présentation détaillée de toutes les phases de l'analyse expérimentale. Nous avons débuté par les caractérisations des divers constituants, suivis de la formulation des bétons, la fabrication des éprouvettes, ainsi que la description du protocole opératoire et des multiples essais mécaniques et chimiques considérés dans cette étude. Les résultats obtenus à l'issue des tests réalisés sont exposés et illustrés dans le chapitre suivant. Cette approche méthodique nous a permis d'aborder chaque aspect de notre recherche de manière approfondie, jetant ainsi les bases solides pour les analyses ultérieures.

CHAPITRE V

RESULTAT ET DUSCISTION

1. INTRODUCTION :

Cette étude revêt une importance particulière dans le cadre de la recherche de solutions durables et efficaces pour remplacer les matériaux conventionnels dans le domaine de la construction, notamment dans les régions sahariennes riches en ressources locales sous-exploitées. L'objectif principal de ce travail est de substituer le sable ordinaire par du sable de dunes, ressource abondante, tout en explorant la possibilité de remplacer partiellement le ciment par les fines issues de ce même sable, ainsi que de combiner les deux approches.

L'intérêt de cette étude dépasse le simple aspect de la résistance mécanique. En effet, elle couvre également l'évaluation des propriétés à l'état frais (telles que la masse volumique et l'ouvrabilité) et à l'état durci (résistance à la compression), sans négliger les aspects liés à la durabilité. Le programme expérimental comprenait deux études :

- une étude de la résistance des échantillons de béton de dimensions 15x15x15 cm. Ces échantillons étaient composés de sable de dunes ajouté au sable de construction, ainsi que de fines de sable dunaire ajoutées au ciment dans le mélange de béton. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés dans une salle (25°C, 50%HR) jusqu'à obtenir une masse constante.
- Une étude de la durabilité du mortier de dimensions 4x4x16 cm. On situés les mortiers aux solutions sulfatique (Na_2SO_4 , H_2SO_4). Les échantillons ont été placés dans des solutions après 3 jours de démoulage et ont été conservés dans une sale climatisée (25°C, 50%HR) pour maintenir une masse constante. Ils ont ensuite été immergés dans les solutions suivantes pendant trois mois, et leurs variations ont été mesurées à intervalles réguliers.

Dans cette partie, portera sur la discussion des résultats des tests de résistance à la compression et leur comparaison avec des études antérieures, ainsi que sur les tests de durabilité en étudiant l'effet des sulfates sur l'évolution de la résistance à la compression.

2. ETUDE DE RESISTANCE :

2.1. La densité:

Formulations	Masse volumique frais (g/cm ³) M ₁	Masse volumique durci aux 28 jours (g/cm ³) M ₂
100% SC	2,25	2,25
5% SD + 90%SC	2,30	2,30
10% SD + 95% SC	2 ,30	2, 30
15% SD + 85% SC	2,32	2,32
5% SD + 90% SC + 10% F + 90% C	2,30	2,30
5% F + 95% C	2,25	2,25
10% F + 90% C	2,22	2 ,22
15% F + 85% C	2,25	2,25
25% F + 75% C	2,26	2,26

Tableau V.1 : Présentation la masse volumique des compositions béton étudiées à l'état frais et durci. (Source auteur ,2024)

- **Interprétations :**

L'augmentation de la masse volumique par exemple entre 2.25 de témoin (100 % SC) et 2.30 de (5% SD + 90%SC). Cela pourrait signifier que l'ajout de divers composants (SD, F, C) n'a pas d'effet notable sur la compaction ou le volume du matériau une fois durci.

2.2. Essai d'affaissement et E/C :

Le résultat de deux essais de béton à l'état frais présentés sur le tableau suivant :

Formulations	Affaissement	Plasticité	E/C
100% SC	08	5 à 9 Plastique	0,54
5% SD + 90%SC	7.5		0,54
10% SD + 95% SC	8		0,54
15% SD + 85% SC	8.5		0,54
5% SD + 90% SC + 10% F + 90% C	8		0,57
5% F + 95% C	7		0,57
10% F + 90% C	7.5		0,59
15% F + 85% C	8.5		0,63
25% F + 75% C	8		0,72

Tableau V.2: Présentation le résultat d'essai d'affaissement et le rapport E/C des formulations du béton. (Source auteur ,2024)

- **Interprétations :**

Fluidité et Consistance : Les formulations ont un affaissement relativement constant, indiquant une bonne fluidité et une capacité à être manipulées sans se durcir trop rapidement. Cependant, les formulations contenant plus des fines (F) et ciment (C) semblent légèrement plus fluides.

Plasticité : Bien que non directement mentionnée, l'affaissement montre que la plasticité est relativement stable et que les formulations sont suffisamment malléables pour les applications qui nécessitent des matériaux faciles à manipuler.

Rapport E/C : Les formulations avec plus des fines (F) et ciment (C) ont un rapport eau/ciment plus élevé, ce qui signifie qu'elles peuvent être un peu plus fluides mais potentiellement moins résistantes.

En résumé, les formulations sont conçues pour être fluides et plastiques tout en maintenant un bon rapport eau-ciment pour une consistance et une performance optimales.

2.3. Résistance à la compression :

L'essai à la compression effectué sur les compositions du béton est réalisé suivant la norme **NA EN 12390-3**. Les résultats sont présentés dans et les figures V.3 ci-dessous:

2.3.1. Les formulations avec le sable des dunes :

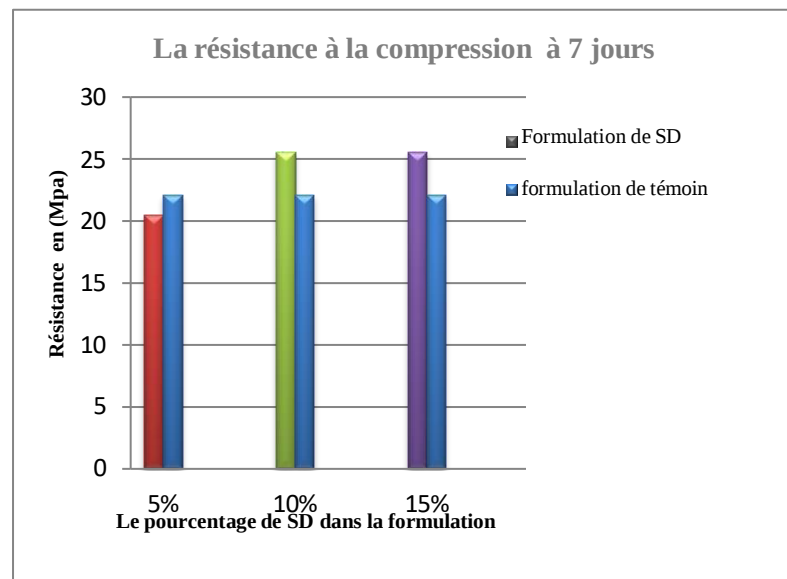


Figure V.1: Graphe de la variation de la résistance de béton à la compression à 7 jours en fonction de pourcentage de sable de dunes. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe présente la résistance du béton à la compression après 7 jours pour différentes proportions de SD (sable de dunes) utilisées dans la formulation, comparativement à la formulation standard (témoin).

L'augmentation de la proportion de SD dans la formulation contribue à l'augmentation de la résistance à la compression jusqu'à un certain pourcentage de 15 %, où la résistance atteint une valeur maximale de 25 MPa. La meilleure performance est obtenue avec 15 % de SD dans la formulation, offrant la plus haute résistance à la compression après 7 jours.

Ces données indiquent que l'utilisation de SD dans la formulation peut améliorer la résistance à la compression du béton aux premiers stades.

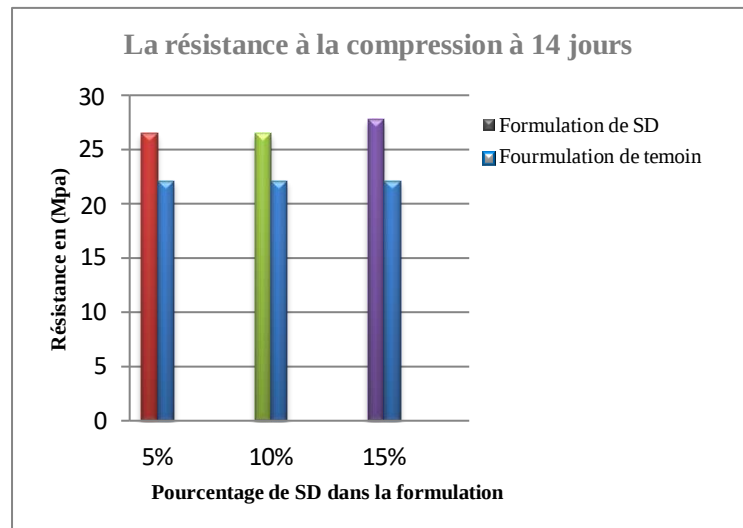


Figure V.2: Graphe de la variation de la résistance de béton à la compression à 14 jours en fonction de pourcentage de sable de dunes. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre la résistance du béton à la compression après 14 jours pour différentes proportions de SD (sable de dunes) utilisées dans la formulation, comparativement à la formulation standard (témoin).

L'augmentation de la proportion de SD dans la formulation contribue à l'augmentation de la résistance à la compression jusqu'à un certain pourcentage (15 %), où la résistance atteint une valeur maximale de 27 MPa. La meilleure performance est obtenue avec 15 % de SD dans la formulation, offrant la plus haute résistance à la compression après 14 jours.

Toutes les formulations contenant du SD montrent une résistance à la compression plus élevée par rapport à la formulation témoin pour les mêmes proportions.

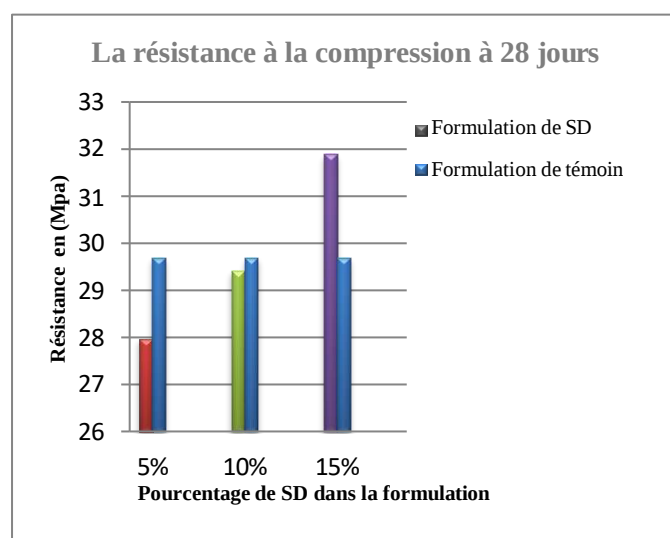


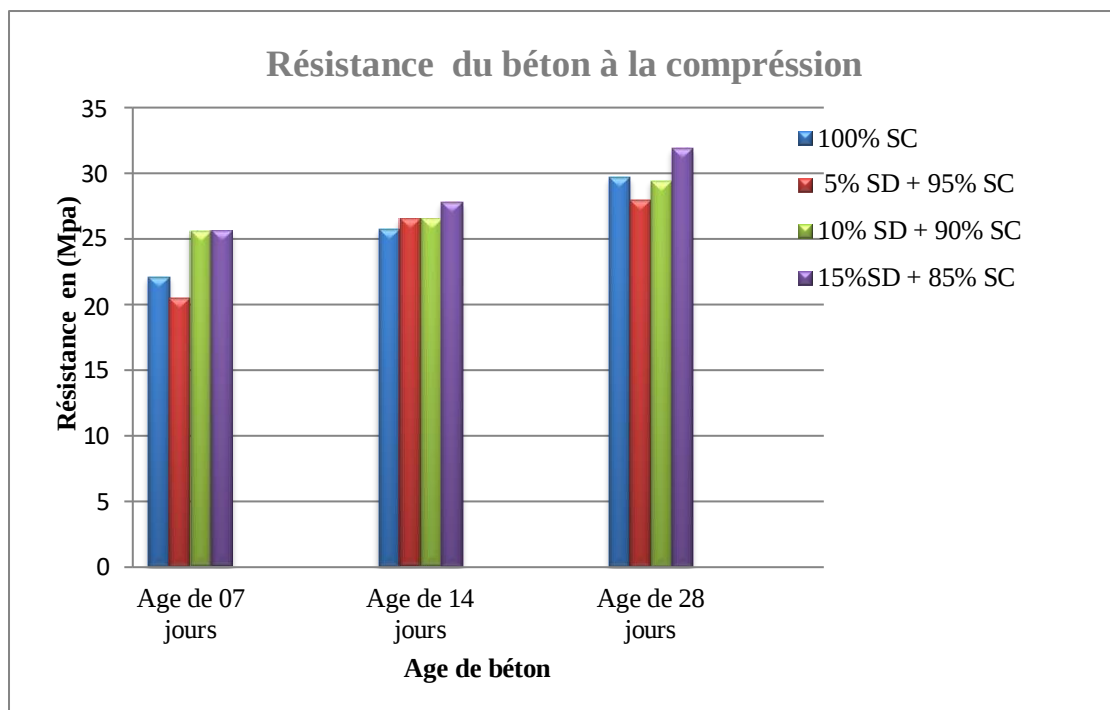
Figure V.3: Graphe de la variation de la résistance de béton à la compression à 28 jours en fonction de pourcentage de sable de dunes. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre la résistance du béton à la compression après 28 jours pour différentes proportions de SD (sable de dunes) utilisées dans la formulation, comparativement à la formulation standard (témoin).

L'augmentation de la proportion de SD dans la formulation contribue à améliorer la résistance à la compression, dépassant la formulation témoin à 28 jours avec une valeur atteignant jusqu'à 32 MPa. Le meilleur rendement est obtenu avec une formulation contenant 15 % de SD, offrant la plus haute résistance à la compression après 14 jours par rapport à la formulation témoin.

Ces données indiquent que l'utilisation de SD dans la formulation peut améliorer la résistance à la compression aux stades de 7, 14 et 28 jours, et pourrait être tout aussi efficace à long terme par rapport à la formulation témoin.



FigureV.4: Graphe de la variation de la résistance de béton à la compression en fonction de pourcentage de sable de dunes. (Source auteur ,2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre la résistance du béton à la compression au fil du temps (07 jours, 14 jours et 28 jours) avec différentes proportions de l'ajout de sable des dunes. L'analyse est la suivante :

Toutes les formulations montrent une augmentation de la résistance à la compression au fil du temps (de 7 à 28 jours), reflétant le développement naturel du béton. L'augmentation du pourcentage de SD (probablement un type d'additif) semble généralement améliorer cette résistance. Le béton avec 15% de SD + 85% de SC a montré la plus haute résistance à tous les âges, indiquant un effet positif fort. Le

béton traditionnel (100% SC) a montré une bonne résistance, mais n'a pas surpassé les mélanges avec 10% et 15% de SD. Il est évident que le pourcentage de 5% SD + 95% SC était moins efficace comparé aux pourcentages plus élevés de SD.

2.3.2. Les formulations avec les fines :

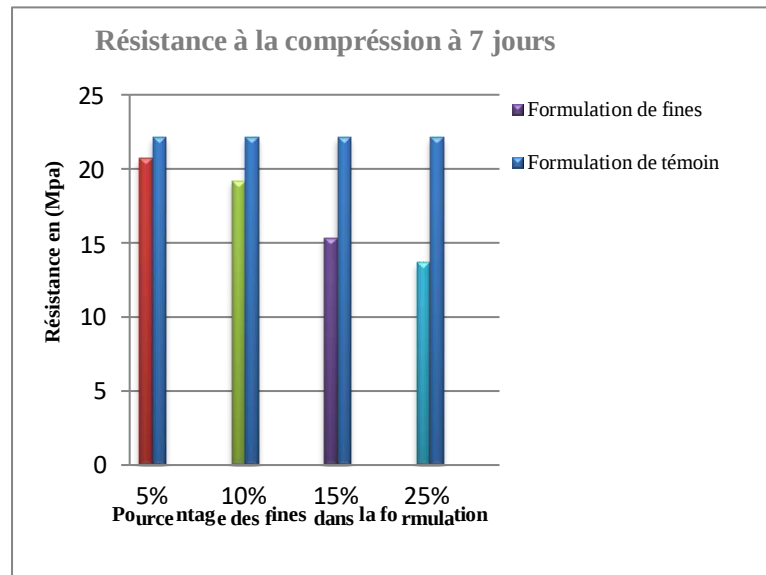


Figure V.5: Graphe de résistance de béton à la compression à 7 jours des formulations de pourcentage des fines. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphique montre la **résistance à la compression à 7 jours** d'un matériau (probablement du béton ou un mortier) en fonction du **pourcentage des fines dans la formulation**. Deux formulations sont comparées : **Formulation de fines** (couleurs variées) et **Formulation témoin** (barres bleues), qui semble être la référence.

Le graphique montre que l'ajout de fines dans une formulation réduit la résistance à la compression à 7 jours, l'effet est négligeable, mais au-delà, la résistance diminue progressivement. La formulation témoin reste la plus performante, indiquant que l'excès de fines nuit aux propriétés mécaniques du matériau.

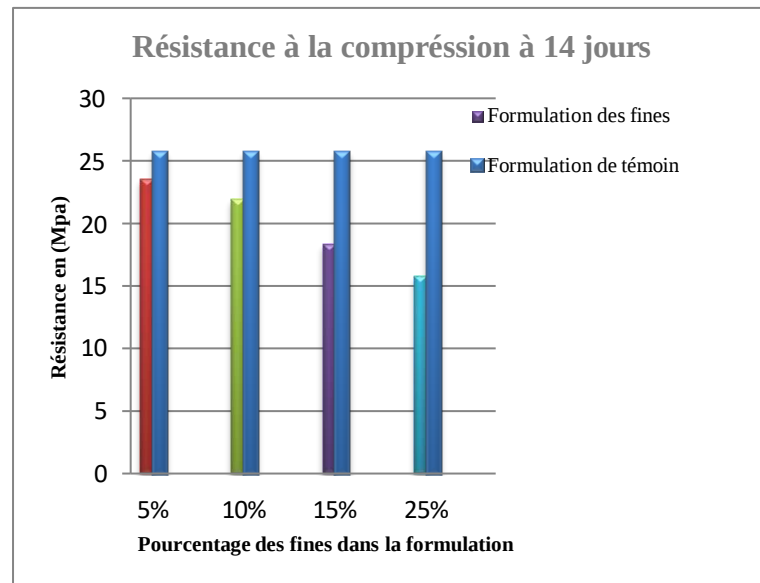


Figure V.6: Graphe de résistance de béton à la compression à 14 jours des formulations de pourcentage des fines. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Ce graphique montre la résistance à la compression à 14 jours selon le pourcentage de fines dans une formulation. On constate que la **formulation témoin** conserve une résistance constante d'environ **26 MPa**, tandis que la **formulation avec fines** voit sa résistance diminuer avec l'augmentation des fines. À 5 %, la résistance reste acceptable (~24 MPa), mais elle baisse à ~22 MPa (10 %), ~18 MPa (15 %) et ~16 MPa (25 %).

L'ajout excessif de fines réduit significativement la résistance à 14 jours. Une faible proportion ,reste tolérable, mais au-delà, les performances mécaniques se dégradent.

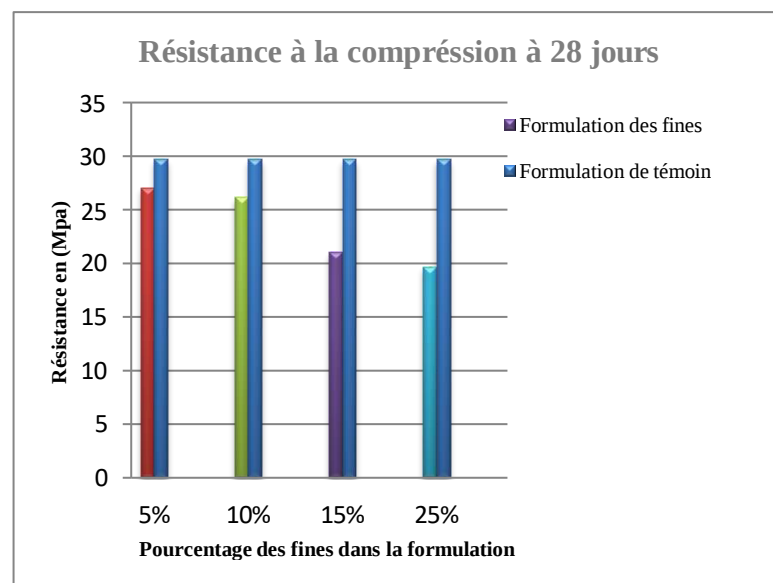


Figure V.7: Graphe de résistance de béton à la compression à 28 jours des formulations de pourcentage des fines. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphique montre la résistance à la compression à **28 jours** en fonction du **pourcentage de fines** dans la formulation. La **formulation témoin** (en bleu) affiche une résistance constante d'environ **30 MPa**, quel que soit le pourcentage de fines.

Pour la **formulation contenant des fines** (à 5 %, la résistance reste élevée (~27 MPa), proche de celle du témoin., 10 %, une légère baisse est observée (~26 MPa), 15 %, la résistance chute davantage (~21 MPa), 25 %, elle atteint environ **20 MPa**).

On remarque que plus le pourcentage de fines augmente, plus la résistance diminue, bien que la perte soit moins marquée qu'aux âges de 7 et 14 jours.

La résistance à la compression à 28 jours diminue progressivement avec l'augmentation du taux de fines, la baisse reste modérée, mais au-delà, les performances mécaniques se dégradent significativement. La formulation témoin reste la plus résistante

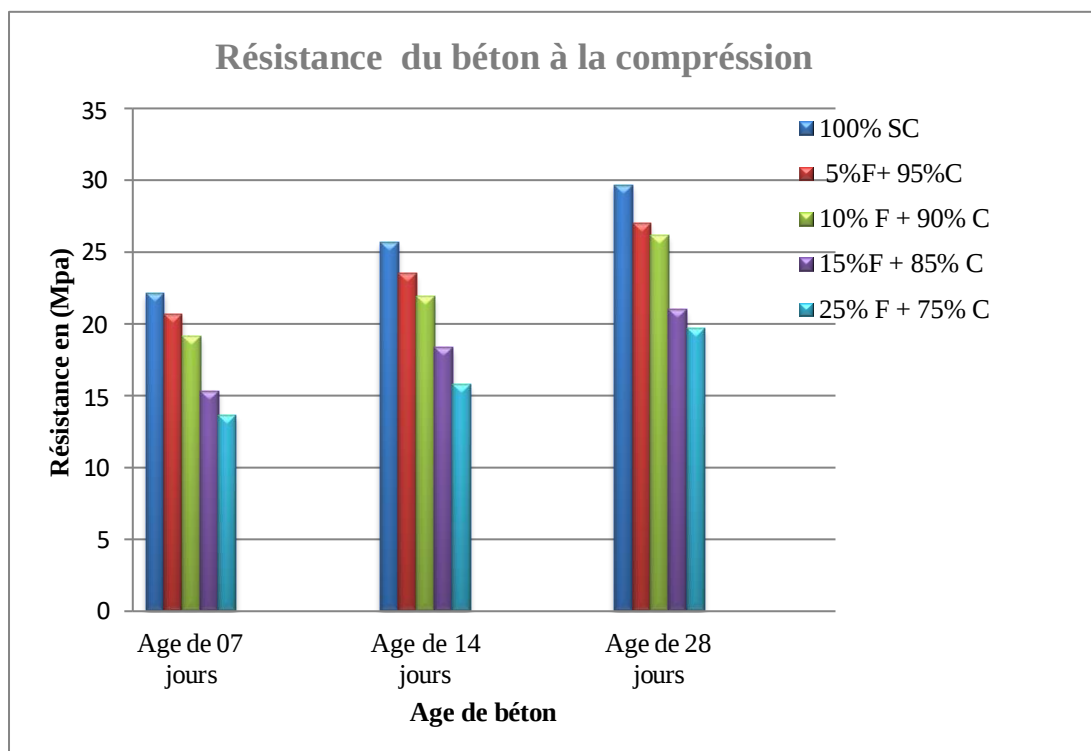


Figure V.8: Graphe de résistance de béton à la compression des formulations de pourcentage des fines.(Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre la résistance du béton à la compression à 07 jours, 14 jours et 28 jours avec différentes proportions de l'ajoute des fines au ciment.

Le béton traditionnel (100% SC) a montré la plus haute résistance à la compression à tous les âges, ce qui indique qu'il est l'option la plus robuste parmi les différentes proportions. L'augmentation du pourcentage des fines au ciment dans le béton réduit considérablement sa résistance à la compression à tous les âges. Plus le pourcentage des fines est élevé, plus la résistance diminue. À l'âge de 28 jours, la différence entre les différentes proportions devient plus évidente, le béton traditionnel surpassant nettement toutes les autres formulations. La proportion de 25% F + 75% C a montré la résistance à la compression la plus faible à tous les âges, ce qui suggère que cette proportion pourrait ne pas être idéale pour les projets nécessitant une haute résistance à la compression.

2.3.3. Les formulations avec le sable des dunes et les fines :

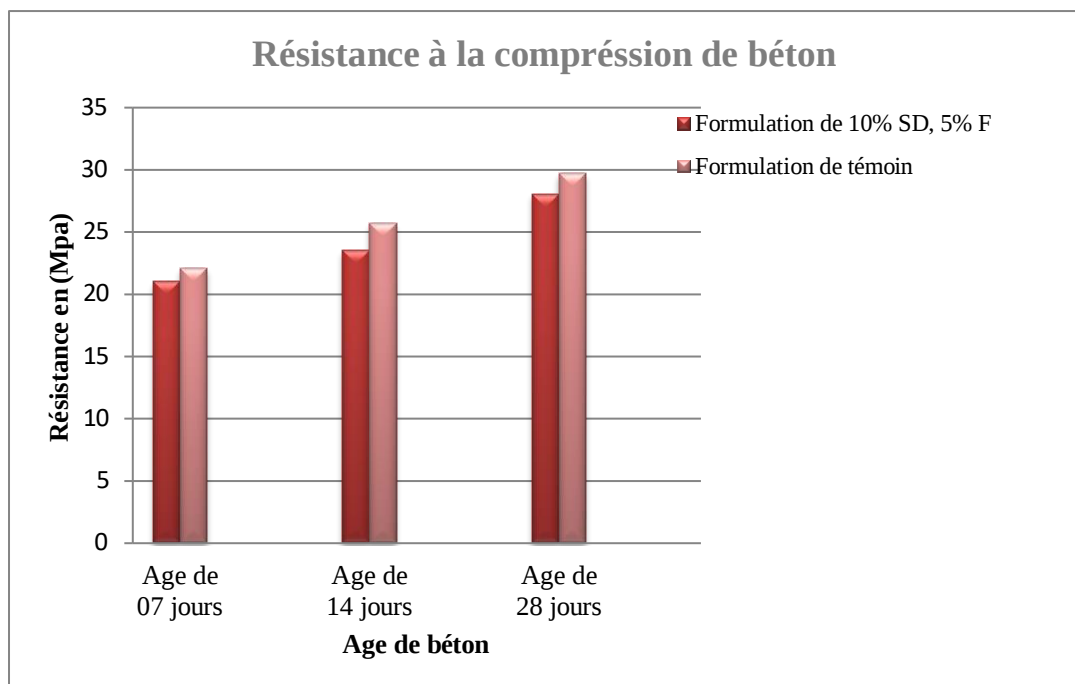


Figure IV.9: Graphe de résistance de béton à la compression des formulations de pourcentage de sable de la dune et des fines.(Source auteur .2024)

- Interprétations :**

Le graphique présente la résistance à la compression du béton pour deux formulations différentes à trois âges différents : 07 jours, 14 jours et 28 jours:

À cet âge, la résistance à la compression du béton amélioré atteint 30 MPa par rapport à 29 MPa pour la formulation témoin, ce qui démontre l'efficacité des additifs utilisés (10% SD et 5% F) dans l'amélioration de la résistance à long terme. Les données montrent que les additifs (10% SD et 5% F) renforcent la résistance à la compression du béton à tous les âges testés (7, 14 et 28 jours). L'amélioration est cohérente à travers tous les âges, ce qui suggère que l'utilisation de ces additifs pourrait être bénéfique pour améliorer les propriétés du béton de manière générale.

3. Etude de durabilité :

3.1. PH de la surface de l'échantillon :

Le PH de la solution est changé chaque fois quant on renouvelée tous les 7 jours, après avoir mesuré la perte de masse du mortier et le pH de la solution. Le tableau suivant présente l'évolution du pH après chaque mesure.

3.1.1. Le PH de solution acide de sulfate H_2SO_4 :

Jours	7j	14j	21j	28j	35j	42j	49j	56j	63j	70j	77j	84j	91j	98j
PH (même dosage du ciment)	1	1	1	2	9	9	9	1	1	2	2	2	2	2
PH (défèrent dosage de ciment)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2

Tableau V.3: Présentation le changement de ph de solution acide de sulfate H_2SO_4 avec le temps d'étude. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

On remarque après l'observation de tableau IV.3comme suite :

- Le PH de solution contient les échantillons de même dosage de ciment on observée que le milieu agressive changer à milieu basique après le renouvellement de la solution.
- Le PH se solution contient les échantillons de défèrent dosage de ciment, on observée que le milieu resté agressive ; avant et après le renouvellement de solution.

Donc, on a suppose que le changement de Ph dans le milieu qui contient le même dosage de ciment que l'acide réagit avec le ciment en sens inverse de la solution qui contient les échantillons de défèrent dosage de ciment ne réagi pas.

3.1.2. Le PH de solution sulfate de sodium Na_2SO_4 :

Jours	7j	14j	21j	28j	35j	42j	49j	56j	63j	70j	77j	84j	91j	98j
PH	6	6	6	6	6	6	6	12	12	12	14	14	14	14

Tableau V.4: Présentation le changement de ph de solution sulfate de sodium Na_2SO_4 avec le temps d'étude. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Nous remarquons après l'observation de tableau IV.4 que le milieu basique à changer au plus basique, nous pensons que ce changement est du à la réaction du sulfate de sodium avec les composent du mortier.

3.1.3. Le PH de l'eau distillé H_2O :

Jours	7j	14j	21j	28j	35j	42j	49j	56j	63j	70j	77j	84j	91j	98j
PH	7	7	7	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14

Tableau V.5:Présentation le changement de phd'eau distillé H_2O avec le temps d'étude.
(Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Nous remarquons après l'observation de tableau IV.5 le changement de milieu naturel à milieu plus basique avec le temps, c'est le fait d'interactions des composants du mortier.

3.2. La perte de masse de l'échantillon :

Nous avons suivie les changements des échantillons dus à la perte de masse et avons mis les résultats dans le tableau suivant :

3.2.1. La perte de masse des échantillons à la solution acide de sulfate H_2SO_4 :

- *Même dosage de ciment :*

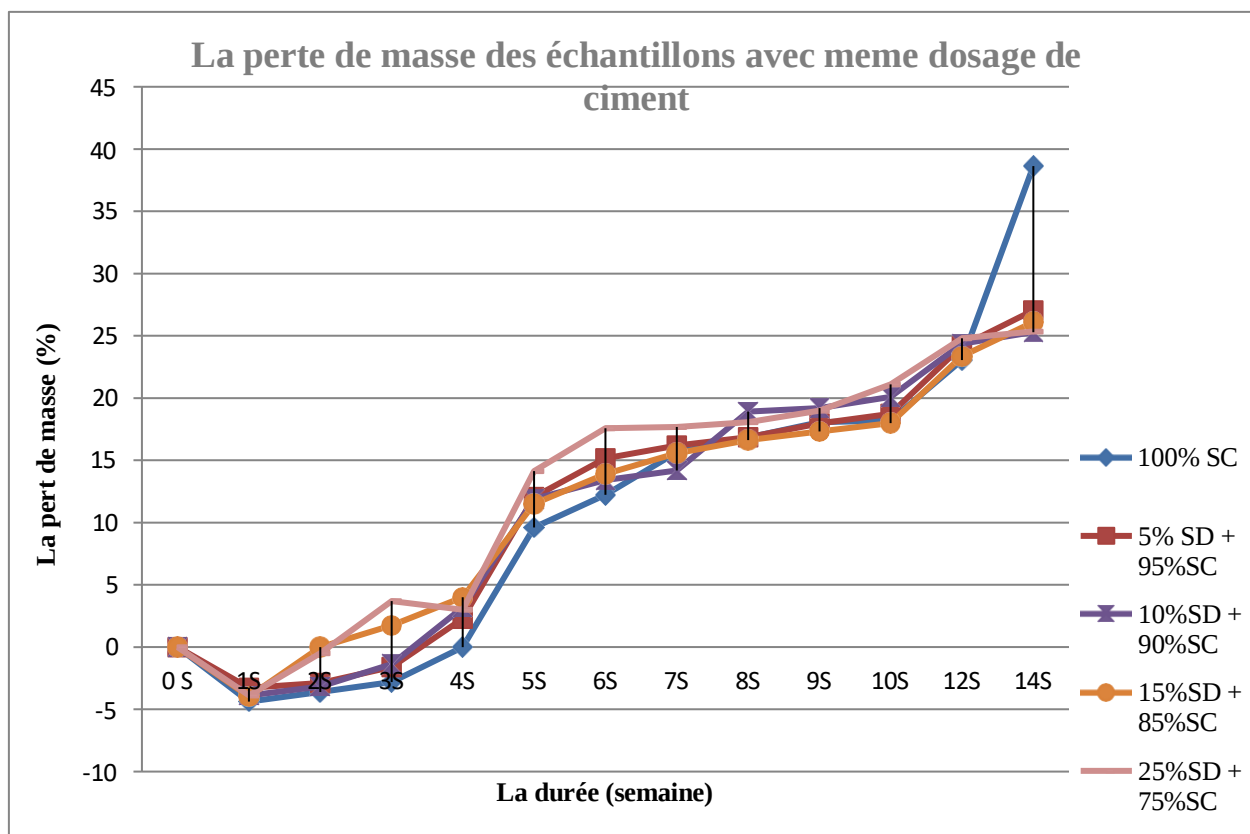


Figure IV.10 : Graphe de la perte de masse d'échantillons en solution acide de sulfate H_2SO_4 .
(Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre une perte progressive pour tous les échantillons de même dosage du ciment avec le temps, ce qui indique une détérioration des matériaux au fil des semaines.

Pour on remarque une augmentation de masse dans les premiers è jours puis une chute régulière de masse dans les jours qui suit pour tous les échantillons de la même manière il est ainsi remarquable que la composition témoin (Sable de construction) présente une perte de masse légèrement un peux plus que les échantillons proposés jusqu'au 12eme semaine et puis une chute de masse importante après la 12eme semaine

Jusqu'à la 12 eme semaine les échantillons avec différents pourcentage de sable de dunes sont relativement plus résistant aux attaques des acide par rapport au échantillon témoin et après la 12 eme semaine les échantillons proposés présentent une bonne résistance vis-à-vis les attaques des acides par rapport au échantillon témoin

La résistance des matériaux à la perte de masse augmente avec l'augmentation de la proportion de poussière dans le mélange, ce qui suggère un effet positif de l'ajout de sable des dunes.

- **Défirent dosage du ciment :**

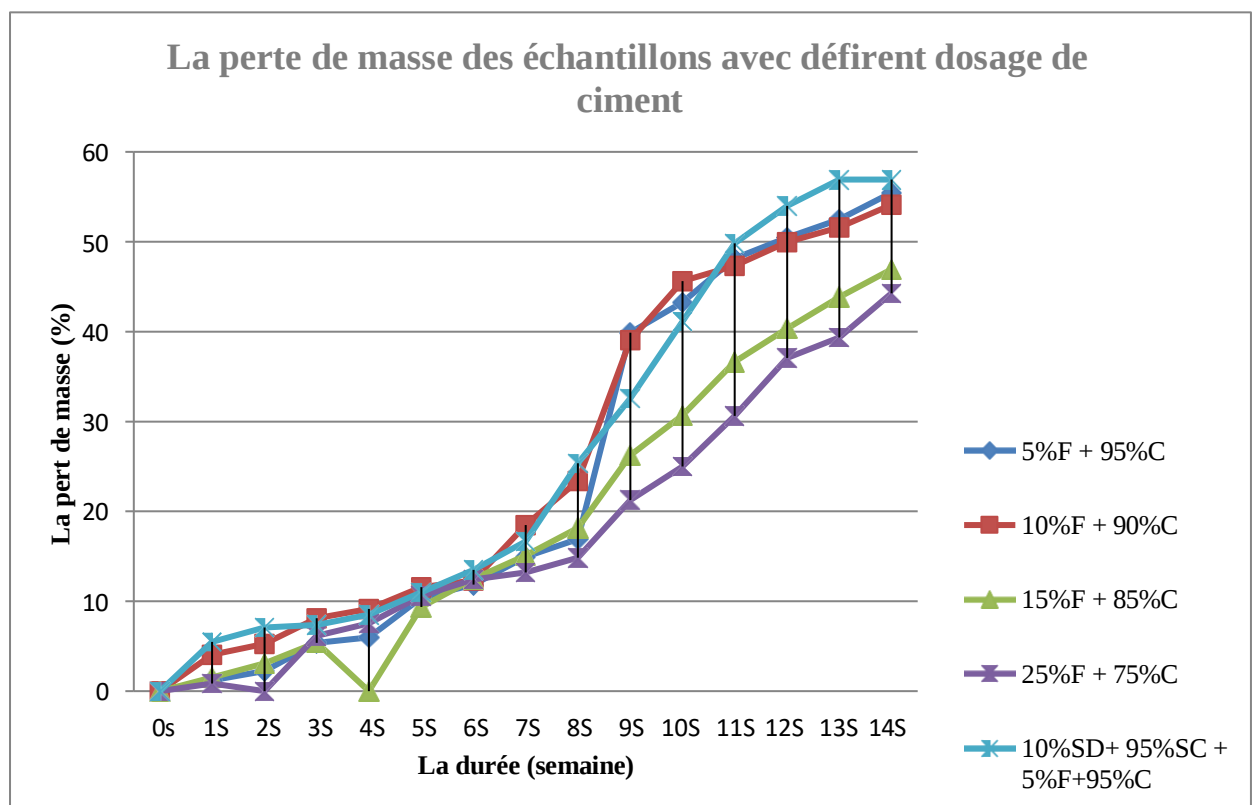


Figure V.11: Graphe de la perte de masse d'échantillons en solution acide de sulfate H_2SO_4 . (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre une perte progressive pour tous les échantillons de différent dosage de ciment avec le temps, ce qui indique une détérioration des matériaux au fil des semaines.

Dans les premières semaines (0-4 semaines), tous les échantillons montrent une augmentation progressive et constante de la perte de masse. De 4 à 10 semaines, la perte de masse s'accélère, surtout dans les échantillons avec les proportions les plus faibles de poussière. Après 10 semaines, tous les échantillons continuent de perdre de la masse, mais à des taux différents. L'échantillon contenant 25% de poussière montre la meilleure résistance.

L'ajout de des fines au ciment semble aider à améliorer la résistance des matériaux à la perte de masse à long terme.

3.2.2. La masse des échantillons à la solutionsulfate de sodium Na_2SO_4 :

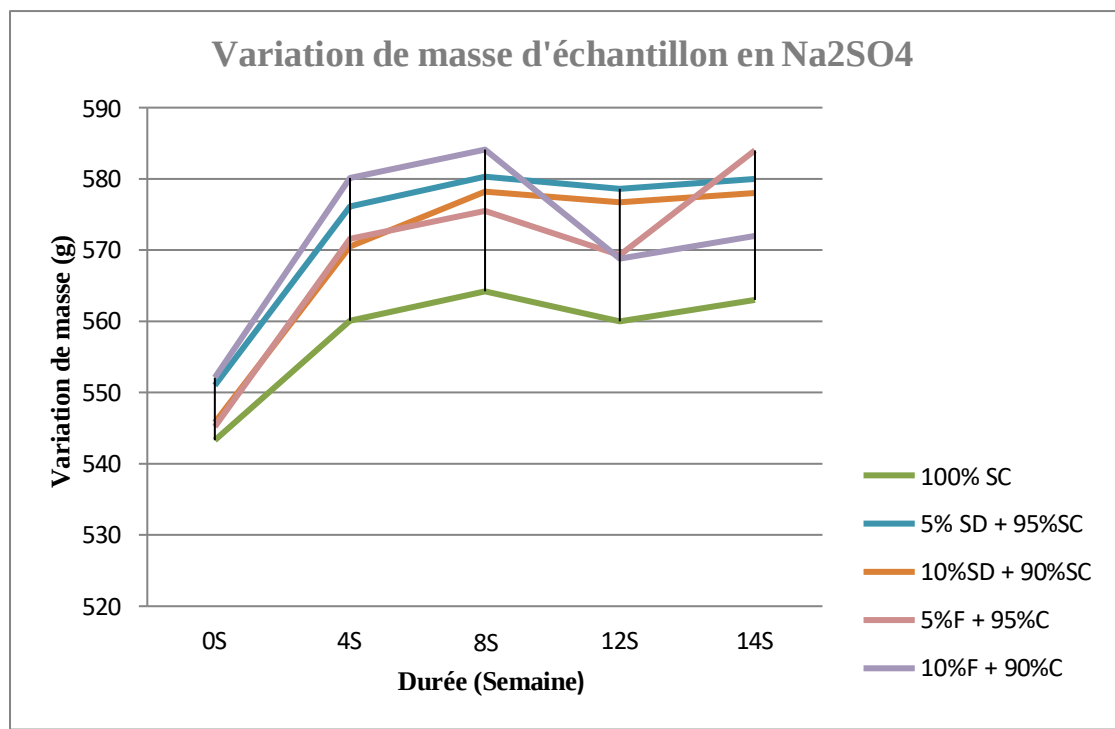


Figure V. 12 : La variation de masse d'échantillon à la solution Na_2SO_4 . (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Le graphe montre l'évolution de la masse (en grammes) de l'échantillon dans la solution de Na_2SO_4 sur une période de 14 semaines. Le graphique comprend des échantillons avec sables des dunes (SD), de sable de construction(SC) et des fines (F).

Pendant les 0-4 semaines, tous les échantillons montrent une augmentation de masse, avec une légère augmentation plus marquée pour ceux contenant de sables des dunes. Entre les semaines 4 et 8, la plupart des échantillons atteignent leur pic de masse. De la semaine 8 à 12, tous les échantillons

perdent de la masse, surtout l'échantillon (100 % SC) et celui avec (10 % F + 90 % C). De la semaine 12 à 14, toutes les masses fluctuent légèrement, mais les échantillons (5 % F + 95 % C) et (5 % SD + 95 % SC) restent relativement stables, tandis que ceux avec 10 % de sable des dunes ou des fines montrent une légère augmentation de masse.

Selon (Gagné, 2018) le gain de masse est due à la migration des ions de SO_4^{2-} dans les barres d'échantillons, L'ajout de sales des dunes (SD) et des fines(F) au ciment semble augmenter l'absorption de la solution

A travers ces résultats et par analogie aux résultats des travaux antérieurs nous citons à titre d'exemple[Belguesmia A .2012], [Aziez M N, Achour A, Bezzar .2019], [Adedoud M .2019] on peut attendre à un gonflement des barres du béton et du mortier dans les semaines qui suit comme conséquence de cette prise de poids continue et donc des apparitions des fissures sur nos échantillons.

Pour éclairer l'impact du sable de dune sur les caractéristiques du béton, le tableau V.12synthétise les résultats obtenus à partir des différents types de béton suivants :

- Témoin (100% sable de construction)	100%SC
- 5% Sable de la dune + 95% sable de construction	5%SD+95%SC
- 10%Sable de la dune + 90% sable de construction	10%SD+90%SC
- 15%Sable de la dune + 85% sable de construction	15%SD+85%SC
- 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment	5%F+ 95%C
- 10% fines de sable de la dune +90% Ciment	10%F+80%C
- 15% fines de sable de la dune +85% Ciment	15%F+85%C
- 25% fines de sable de la dune+75% Ciment	25%F+75%C
- 10% Sable de la dune+90% sale de construction + 5% fines de sable de la dune+ 95% Ciment	10%SD+90%SC + 5%F+95%C

	Dosage de matériaux en un gâcher							Caractéristiques de sable de la dune				Qualité des fines		Caractéristique de mélange de béton				Résistance à la compression
	Ciment (kg /m³)	Eau (L)	Sable de la dune (kg/m³)	Sable de construction (kg/m³)	Gravier 3/8 (kg/m³)	Gravier 8/15 (kg/m³)	Fines (kg/m³)	Module de fines	ES (%)	VB (g/kg)	Limite d'Atterberg	VB (g/kg)	Rapport E/C	Type de moules (cm³)	Masse volumique frais	Masse volumique durci	Fc28 (Mpa)	
100%SC	350	188,37	---	541,03	543,10	721,37	---	2,05	82,09	0,25	Non mesurable	0,25	0,54	15 × 15 cm	2,25	2,25	29,69	
5%SD + 95%SC	350	188,37	27,05	513,98	543,10	721,37	---						0,54		2,30	2,30	27,97	
10%SD+ 90%SC	350	188,37	54,03	487	543,10	721,37	---						0,54		2 ,30	2, 30	29,41	
15%SD +85%SC	350	188,37	81,15	459 ,88	543,10	721,37	---						0,54		2,32	2,32	31,88	
10%SD+90%SC + 5%F+95%C	332,5	188,37	54,03	487	543,10	721,37	17,5						0,54		2,30	2,30	28,06	
5%F+ 95%C	332,5	188,37	---	541,03	543,10	721,37	17,5						0,57		2,25	2,25	27,03	
10%F+80%C	315	188,37	---	541,03	543,10	721,37	35						0,60		2,30	2 ,22	26,16	
15%F + 85%C	297,5	188,37	---	541,03	543,10	721,37	52,5						0,63		2,25	2,25	21,00	
25%F+75%C	262 ,5	188,37	---	541,03	543,10	721,37	87,5						0,71		2,26	2,26	19,69	

Tableau IV.6: Comparaison entre toutes les compositions de béton. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

Selon le tableau IV.6, on constate que les bétons contenant du sable de dune 10%,15% et la composition qui contient le sable dunaire et les fines donnent de meilleurs résultats en termes de résistance à la compression par rapport au béton témoin, tandis que les bétons contenant du fines 5%,10%,15%,25% montrent une résistance à la compression inférieure par rapport au béton témoin.

Plusieurs facteurs influent sur la qualité du béton (la granulométrie du sable, son module de finesse, sa propreté, etc.). Parmi les principaux facteurs, il y a la prise en compte des propriétés du sable utilisé lors de la préparation des compositions (même si elles ne sont pas conformes aux normes), ainsi que le choix approprié de la méthode de formulation. Tous ces éléments contribuent à obtenir un béton présentant des propriétés similaires, voire parfois plus satisfaisantes que le béton standard.

Pour comparer notre béton avec celui destiné aux ouvrages hydrauliques, tel qu'exposé dans la littérature, le tableau suivant met en évidence une comparaison entre les bétons suivants :

- Sable de la dune d'Ain Salah,
- Sable de la dune du Golf Arabe, **[KOTZIAS.1971]**
- Sable de dune d'El-Goléa, **[Khouadjia M L K, Mezghiche B, Drissi M.2015]**
- Sable de dune de la région d'Ouargla, **[Ben Chikh M, Belouadah M, CYR M et ETP, CLASTRES.2004]**
- Fines de sable de la dune d'Ain Salah,
- Poudre de sable de la dune de Biskra. **[Geuttalla S, Mazhiche B.2013]**

Echantillons	Qui fait l'étude	Mélange	Caractéristique de sable du la dune				Caractéristique de mélange				Résistance	
			D _{max} (mm)	D _{min} (mm)	Module de fines	Equivalent de sable (%)	Ciment (kg/m³)	Sable (kg/m³)	Eau (l/m³)	Rapport E/C	Compression Mpa	
Sable de la dune d'Ain Salah (Notre étude)	MADANI.K BOUABDALIA	5%					350	27,05	188,37	0,54	27,97	
		10%	1	0,08	2,05	82,09	350	54,03	188,37	0,54	29,41	
		15%					350	81,15	188,37	0,54	31,88	
Sable de la dune du Golf Arabe	KOTZIAS	1	---	---	---	---	460	1350	300	0,65	12	
		2	---	---	---	---	460	1350	230	0,5	22	
Sable de dune d'El-Goléa	M.L.K KHOUADJIA, B. MEZGHICHE, M.DRISSI	100%	0,63	0,08	1,47	93	330	1530	260	0,78	28.91±1.51	
Sable de dune de la région de Biskra	GUETTEL.A. MEZGHICHE.B et CHEBIL.R	100	---	---	1,4	87	350	1660		0,7	12,5	
		10%	---	---	0,507	95.96	350	64.01	175	0,5	45	
Sable de dune de la région d'Ouargla	BENCHEIKH .M, BELOUADAH. M, CYR. M. et ETP. CLASTRES	100%	---	---	1.02	97	450	---	---	0,55	24	
Fines de sable de la dune d'Ain Salah	MADANI.K BOUABDALIA	5% F					11,22+0,59	1350	225	0,57	27,03	
		10% F	1	0,08	2,05	82,09	10,63+1,18	1350	225	0,60	26,16	
		15% F					10,04+1,77	1350	225	0,63	21,00	
		25% F					8,86+2,95	1350	225	0,71	19,69	
Poudre de sable de la dune Biskra	GUETTALA.S MEZGHICHEB. B.	10%	5	0,08	2,37	68	315+35	538	0.49	---	35	
		20%					280+70	538	0.46	---	40	

Tableau IV.7: Comparaison des études de sables la dune et ses fines de différentes régions. (Source auteur .2024)

- **Interprétations :**

En comparant notre étude avec d'autres études sur le béton et les mortiers à base de sable de dune, le tableau VI.7 met en évidence ces résultats :

Nous remarquons que la résistance à la compression de toutes les compositions de béton varie entre 12 Mpa et 41 Mpa soit de faible à excellente. En comparant avec notre étude, où la résistance à la compression varie de moyenne à excellente, les valeurs se situent entre 27 Mpa et 32 Mpa.

Nous attribuons l'obtention d'une meilleure résistance dans les études utilisant le sable de dune d'Ouargla et Ain Salah aux propriétés spécifiques du sable, telles que sa propreté et sa granulométrie et équivalent de sable enregistré varie entre 82,09% et 97%. Nous concluons donc que les propriétés physiques du sable jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la résistance à la compression.

En comparant les résultats de notre échantillon étudié avec l'utilisation de fines de sable des dunes comme additif au ciment avec les études Guettala. S et Mezghicheb. B, nous constatons que notre résistance à la compression varie de 19 Mpa à 27 Mpa. Ces valeurs sont moyennes par rapport aux résultats de résistance à la compression dans l'étude comparative, qui ont enregistré 35 Mpa et 40 Mpa.

4. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté tous les résultats obtenus et les avons comparés à plusieurs études provenant du Golfe arabe, du Maroc et également des études algériennes. Nos résultats ont été discutés en les comparant avec les résultats de ces études.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRAL

Notre recherche visait l'utilisation du sable des dunes de la région d'Aïn Salah pour atteindre deux objectifs principaux. Le premier est de valoriser les matériaux locaux en l'exploitant comme alternatives aux composants traditionnels du béton tel que le sable des carrières qui nécessite un peu plus d'énergie. Le deuxième est d'essayer de contribuer à l'amélioration des caractéristiques mécaniques et chimiques de ce type des bétons et mortiers à base de sable de dunes. Pour cela, nous avons adopté une méthodologie axée sur l'étude des deux principaux aspects du béton : la résistance et la durabilité.

En ce qui concerne l'étude de la résistance, nous avons commencé par une étude géotechnique pour déterminer les propriétés physiques et chimiques de chaque élément utilisé dans les formulations proposées. Nous avons conçu plusieurs formulations de béton réparties en deux groupes. Dans le premier groupe, le sable des dunes est utilisé à différentes proportions par rapport au sable de construction. Dans le second groupe, est ajouté des fines au ciment à des proportions variables, comprenant quatre échantillons dont un échantillon contenant à la fois du sable et des fines.

Pour l'étude de la durabilité des échantillons de mortier ont été préparés selon des proportions spécifiques, puis exposés directement à des milieux contenant de l'acide sulfurique et du sulfate de sodium après une courte période de maturation de 24 heures, simulant les conditions d'exposition des structures en béton dans des environnements naturels. Des cycles de mesures des variations de masse ont été réalisés sur une période de 14 semaines.

L'analyse des données et les résultats obtenus montrent clairement que l'ajout de sable des dunes (SD) de la région d'Aïn Salah au béton présente des avantages significatifs en termes d'amélioration de sa résistance à la compression. Cela souligne l'importance de considérer les propriétés spécifiques des matériaux utilisés dans la formulation du béton pour atteindre les performances souhaitées. De plus, nos observations indiquent que l'incorporation de fines peut influencer négativement la résistance à la compression, mais lorsque combinée avec le sable des dunes, des résultats prometteurs sont obtenus. Aussi l'ajout de sables des dunes et ses fines ont un impact positif dans les milieux agressifs, et donc ont prouvé la possibilité d'amélioration de la durabilité du mortier. Ces conclusions mettent en évidence l'importance de développer des mélanges de béton adaptés aux besoins de chaque projet, en tenant compte des conditions environnementales et des spécifications structurelles. En fin de compte, cette recherche ouvre la voie à de nouvelles perspectives dans le domaine de la formulation de béton pour des performances optimales en matière de résistance du béton et sa durabilité.

Cette étude démontre que le sable des dunes constitue une alternative durable et efficace au sable ordinaire dans la fabrication du béton, car il peut améliorer certaines propriétés mécaniques et réduire l'impact environnemental de l'industrie. Cependant, cette technique nécessite encore des recherches et des développements supplémentaires pour devenir applicable à grande échelle.

A titre de recommandation nous soulignons que les industries locales dans le domaine de BTP devraient être encouragées à adopter l'utilisation du sable des dunes dans leurs démarches. Il est également essentiel de sensibiliser et de former les ingénieurs et les entrepreneurs sur les avantages de cette alternative pour garantir une large acceptation. La collaboration étroite entre les chercheurs et l'industrie est nécessaire pour développer des solutions innovantes et durables. De plus, promouvoir l'utilisation des ressources abondantes locales comme le sable des dunes peut contribuer à réduire les dépendances en matière d'énergie consommée par les carrières et le transport et donc avoir un effet positif sur l'environnement et l'économie afin d'incarner les objectifs du développement durable, et stimuler l'économie locale en exploitant les matériaux disponibles dans les régions du Sahara.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les références bibliographiques

[Ben Ouakhir A H .2015][Ben Ouakhir.A.H (2015), Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude bibliographique, Mémoire de Master 2ième année, Université Mohamed Khider-Biskra, Page 3 à35.]

[Benchikh M, Belouadah M., CYR M. et ETP CLASTRES. 2004][Benchikh.M, Belouadah. M., CYR. M. et ETP. CLASTRES, effets des adjuvants sur la perméabilité et la porosité d'un béton à base de matériaux locaux sous conditions climatiques, Communication en 1er colloque international USTHB Algérie 2004]

[Bentata A. 2004]Bentata. A(2004), Etude expérimental d'un béton de sable de la dune, mémoire de master, Université d'Ouargla

[Bruxelles environnement.2009]Bruxelles environnement (Mars 2009), le choix judicieux des matériaux : a quoi faire attention ?, INFO FICHES ECO-CONSTRUCTION POUR PARTICULIERS-MAT13, page 1 à 6]

[Daheur E G .2019]Daheur .E. G (2019), Comportement d'un mélange Tuf-Sable de dune sous sollicitations monotones et cycliques, Thèse de doctorat en science, Ecole Nationale Polytechnique, page 22 à 30.

[Dkhissi Y .2023][Dkhissi.Y (28 Aout 2023), Eco-construction : définition et enjeux,climate selectra][https://climate.selectra.com/fr/comprendre/eco-construction\]](https://climate.selectra.com/fr/comprendre/eco-construction)

<https://climate.selectra.com/fr/comprendre/eco-construction>

[El Euch S, Siala A .2015]El Euch .S, Siala.A (2015), Etude expérimentales de valorisation du sables de dune dans la formulation de béton bitumineux, « Matériaux de construction alternatifs », page 25 à 31

[Geuttalla S, Mazhiche B.2013]Geuttalla .S, Mazhiche .B(2013), Influence de l'addition du sable de dune en poudre en poudre au ciment sur les propriétés des bétons.CFM 2013-21ème Congrès Français de Mécanique ,Aug 2013, Bordeaux, France hal-03439819.

[Gueddouda MK .2010][Gueddouda M.K (2010), Comportement hydro-mécanique des sols compactés : Application à la conception d'une barrière ouvragée « sable de dune –bentonite, Thèse de doctorat, Université de Tlemcen-Algérie.]

[https:// reserchagte.net/publication/358008615](https://reserchagte.net/publication/358008615)

[Guettela A, Mezghiche B, Chebili R .2003][Guettela. A, Mezghiche. B, Chebili.R (2003), Valorisation d'un déchet industriel pour la confection d'un béton de sable» Communication en 2 eme séminaire international M'sila, page 413à421)]

<https://www.infociments.fr/betons/betons-fibres>

[Joshua B .2024][Joshua.B (2024), le béton écologique ça existe, Green watt]

<https://www.greenwatt.fr/le-beton-ecologique-ca-existe/>

[Khouadjia M L K , Mezghiche B, Drissi M .2015]Khouadjia .M.L.K, Mezghiche. B, Drissi.M (2015), Evaluation expérimentale et numérique de la résistance à la compression des bétons à base des sables de carrière modifiés avec du sables de dune, Courrier du Savoir – N°20, Décembre2015, pp.123-128]

[Koffel H .2023]Koffel.H (23 mars 2023), Les matériaux éco-responsables dans la construction immobilière Agence de bordeaux.

[KOTZIAS.1971][KOTZIAS, «Concrete without coarse aggregate» A.C.I journal1971]

[Ghomari F ,Bendi-ouis A .2008]L'équation est tirée de M. Ghomari F. & Mme Bendi-ouis A (2008), Science des matériaux de construction, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.

[Le grenelle Environnement.2009][Le grenelle Environnement (sept 2009), Construction, les éco-matériaux, SIDDTS – MIG.1]

https://www.seine-et-marne.gouv.fr/contenu/telechargement/5061/35943/file/FIC_20090900_eco_mat.pdf

[Leghrib Y .2012][Leghrib.Y (2012), Etude et valorisation des sables des dunes dans la confection des briques (sable de cuvette d'Ouargla), Thèse de doctorat en science, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.]

[Ghomari F, Bendi-ouis A .2008][M. Ghomari.F. & Mme Bendi-ouis.A (2008), Science des matériaux de construction, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen]

[Merouaini Z , Batata A .1992] Merouaini.Z, Batata.A, (1992), Le béton de sable : sa formulation et ses propriétés, Revue de construction N0 44.

[Mochten A, Ben Ghdier A E.2023]Mochten .A, Ben Ghdier. A. E(2023), Amélioration de comportement mécanique du sable de dune par l'ajout d'un correcteur granulométrique « fines calcaire », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Ghardaïa, page 4 à 7.

[Mohamed Mahmoud Adedoud 2019]Mohamed Mahmoud Adedoud (2019), protocole pour évaluer la durabilité des mélanges de sédiments cimentés face aux attaques sulfatique, Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Canada.

[Ofev .2021]Ofev (21 Juillet 2021), En quête de la recette idéale, le béton se met au vert, Environnement Suisse.

<https://www.umwelt-schweiz.ch/fr/en-quete-de-la-recette-ideale-le-beton-se-met-au-vert>

[Patrick Guiraud .2018]Patrick Guiraud (Avril 2018), Béton fibré, Les bétons fibrés : un vaste choix de solutions constructives,infociments.

<https://www.infociments.fr/betons/betons-fibres>

[L'Equipe de rédaction .2020][Rédigé par L'Equipe de rédaction (23 Mars 2020), Définition éco construction, Travaux.eco]

<https://travaux.eco/definition-eco-construction/>

[R E T C O BA.2010][Règles d'exécution des travaux de construction d'ouvrages en béton armé 2010]

[Rosselle E-FR .2023][Rosselle.E-FR (28 November 2023), Béton écologique : quand les matériaux se mettent au vert, Design & Make, AutoDesk, France]

<https://www.autodesk.com/fr/design-make/articles/beton-ecologique>

[Rouane B, Silem H .2016][Rouane.B, Silem.H (2016), l'effet de l'eau de barrage sur les propriétés du béton, présenté pour l'obtention du diplôme : Master, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi, Bordj Bou Arreridj]

[Amrani S .2009][Salim Amrani (2009), Etude essais réalisés sur les matériaux de construction, laboratoire NBR centre Casablanca, Ecole Mohammedia d'ingénieurs, Rabat, Maroc]

[Soucha N, Grine I N E .2020]Soucha. N et Grine .I. N.E (October 2020), étude bibliographique sur la durabilité des bétons dans les stations d'épuration, Mémoire de Master, université 08 Mai 1945 de Guelma, page 15 à 40.

[Souilmi S, Ben Moussa I .2019]Souilmi .S, Ben Moussa .I (2019), Etude de caractéristique physico-chimique du sable des dunes (cas sites d'Adrar), Mémoire master académiques, Université Ahmed Draïa Adrar, page 3 à 22.

[Zeghichi L, Lahmadi A , Benghazi Z .2012][Zeghichi. L, Lahmadi.A , Benghazi.Z (2012), Contribution à l'étude des caractéristiques du sable de dune et de son effet sur le comportement des bétons autoplaçant, Université de M'sila, B.P. 166, Ichbilia, M'sila 28000, Algérie, 09-12 Mai, 2012.]

[هندسة على السريع), مزايا و عيوب الخرسانة كمادة إنشائية2018 مهندس محمد السيد (18فبراير)
[مهندس محمد س .2018]

<https://www.handsaxyz.com/2021/02/advantages-and-disadvantages-of-concrete.html>

ANNEXES

ANNEXES

مختبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
EPE / SPA AU CAPITAL DE : 1.400.000.000 DA

Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa ☎ +213 (0) 671 85 82 16/ +213 (0) 29 25 27 37 / +213 (0) 29 25 27 38
 ☎ +213 (0) 29 25 27 44 ✉ BP 332 47000 Ghardaïa ✉ contact@ltpsdz.com 🌐 www.ltpsdz.com

RAPPORT D'ESSAI

- Détermination de la granularité des Granulats -

~ Analyse Granulométrique par Tamisage ~

EN 933-1 :2012 | NA 2607 : 2014

PV N° : 06 /GR/ 2024 Version (*) :.....

Structure:	UNITE GHARDAIA	Étuve N°:	L.039.15.S.010
Lieu de travail:	SERVICE MATERIAUX	Balance N°:	L.022.15.S.045
N° Dossier:	ETUDE DE BETON	Tamiseuse N°:	L.078.15.S.002

Echantillon	SABLE																
Tamis (mm)	40	31.5	25	20	16	12.5	10	8	6.3	5	4	2	1	0.500	0.250	0.125	0.063
Tamisé (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	90	55	12	3,0
										le pourcentage de fines f(%)= 3							

Observation :

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées sont identifiées en « gras », les explications de ces modifications sont mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport.

(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation » précédé par la mention « avertissement : »

• Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai,

• Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus.

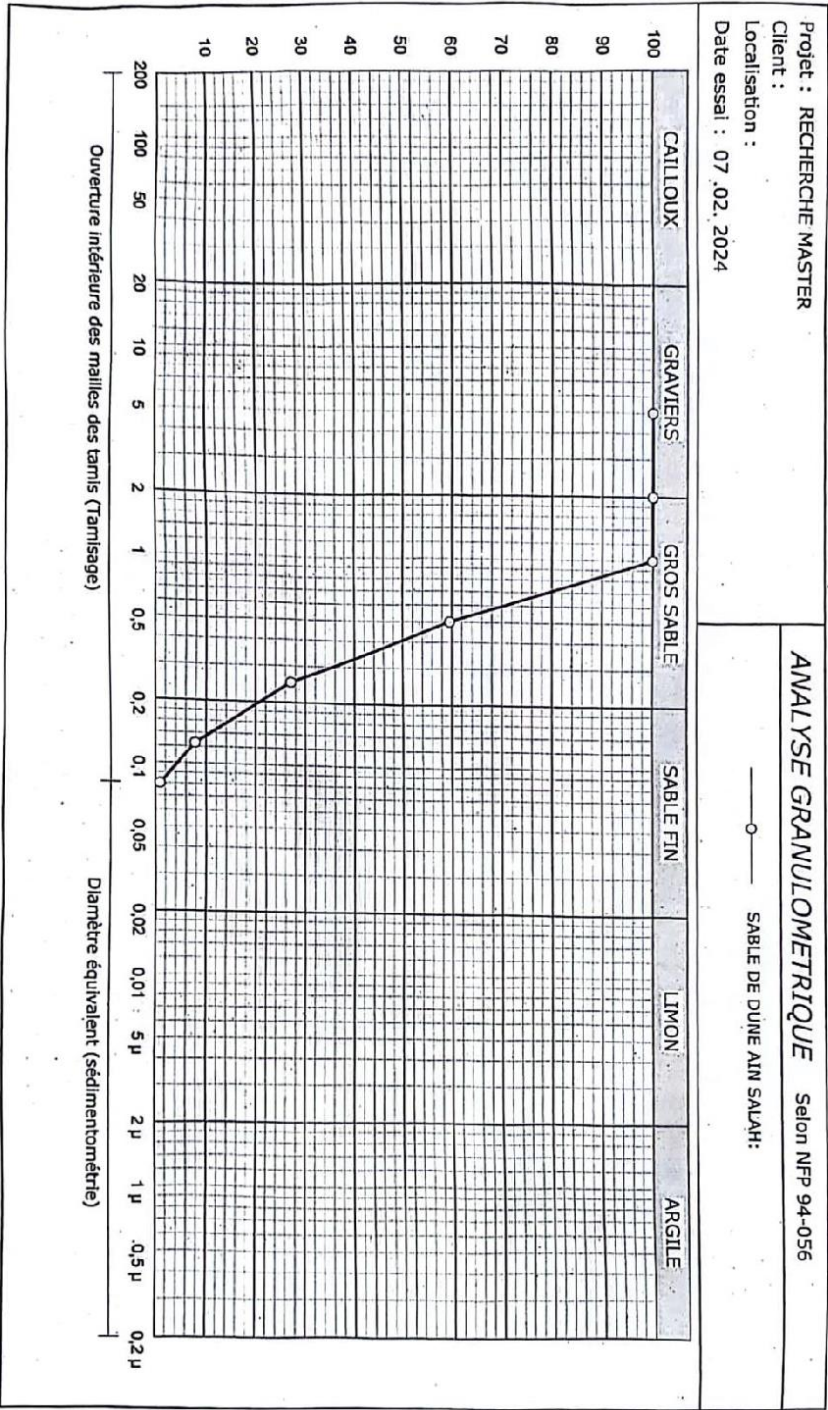
Date de réception d'échantillon : 30/01/2024
 Dates d'exécution d'essai : 30/01/2024
 La date d'émission du rapport : 15/02/2024

Nom et Prénom du Contrôleur :

Visa :

Avertissement : Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS.

FIN RAPPORT



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES GRANULATS
NF P 18-560 Septembre 1990

Structure: U.GHARDAIA

N° Dossier interne: 05/AM/2023

Classe granulaire: SABLE

Prise d'essai: 600g

Équipements utilisés: balance/Etuve

Recherche de sable

sable de chaque

dans le sable

Lieu de travail: SERVICE MATERIAUX

Date:

Opérateur:

N° D'inventaire : L21.51.15/ L49-01-15

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31,5					
25					
20					
16					
12,5					
10					
8					
6,3					
5					
4					
3,15					
2,5					
2	00	00	00	100	100
1,60					
1,25					
1	05	0,5	0,05	99,95	100
0,80					
0,63					
0,500	404,2	404,7	40,47	59,53	60
0,400					
0,315					
0,250	324,9	729,9	72,89	27,11	27
0,200					
0,160					
0,125	192,6	921,5	92,15	7,85	08
0,100					
0,080	69,00	990,5	99,05	0,95	02

L'opérateur

Visa du responsable

• Module de finesse:

$$M_F = \frac{(0,05) + 40,47 + 72,89 + 92,15}{100} = 2,05$$

F-5-5p.03

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DES SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE
MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE RLANCHON
BTS.DUT

Structure : UNITE GHARDAIA
N° Dossier interne: RN 49 BEN BR/
Échantillon : **SABIE** 7
Équipements utilisés: balance

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX
Date: 25/10/2023
Opérateur : B.LARBI
N° D'inventaire: L21.51.15

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V = 2000$

Poids $P = 1810$

$P_1 + T = 5000$

$P_1 = 3190$

$P_2 + T = 5011$

$P_2 = 3201$

$P_3 + T = 5016$

$P_3 = 3206$

$P_4 + T = 5016$

$P_4 = 3206$

Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 3201$

Masse volumique apparente $\rho' / V = 1,60 \text{ g/cm}^3$

Masse volumique absolue :

Poids des agrégats secs $P_1 = 371,70$

Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 2183$

$P_3 = P_1 + P_2 = 2554,7$

Poids récipient + agrégats + eau =

$P_4 = 2412,50$

Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 142$

Masse volumique absolue $\rho / V = 2,61 \text{ g/cm}^3$

L'Opérateur

Visé du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE
MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE RLANCHON

BTS.DUT

Structure : U. GHARDAIA

N° Dossier interne: *Recherche 10-06*

Echantillon: *zeste de dune Ain Sakh*

Équipements utilisés: balance

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX

Date:

Opérateur:

N° D'inventaire: 121.51.15

Masse volumique apparente :

Volume du récipient $V = 2670$

Poids $P = 1800$ g

$P_1 + T = 50781,1$ g

$P_2 + T = 50781,1$ g

$P_3 + T = 50781,1$ g

$P_4 + T = 50781,1$ g

Poids moyen $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 3278,7$ g

Masse volumique apparente $P/V = 12,28$ g/cm³

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

$P_4 = 3278,1$ g

$P_1 = 3278,1$ g

$P_2 = 3278,1$ g

$P_3 = 3278,1$ g

L'opérateur

Visa du responsable

F-5-SI.02



مخبر الأشغال العمومية في جنوب
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE DE PAILLASSE
QUALIFICATION DES FINES - ESSAIS AU BLEU DE METHYLENE
NF EN 933-9 : 2022

Structure	U 104	N° Dossier	Recherche Master	
Lieu de travail	6ce ID	Echantillon	Sable Zelfan 9	

Vérification des équipements (étalonnage, vérification et état)	Équipement	N° Inventaire ou N° série	Constat*	Valeur de correction**
	Thermomètre			
	Étuve			
	Balance			
	Tamis mm (0.125 ou 2.)			
	Burette			
	Agitateur			
	Reference Solution 10g/l	N° PV	Date	
Réactifs (N° Lot)	Bleu.M.poudre	Eau distillée		

Description de l'échantillon :

(*) : C= conforme, NC=non conforme.

(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction

N°	ÉTALE	EXIGENCE	VALEUR															
1	Date et Heure Début D'essai	16.03.2024	9h20															
2	Choisir la méthode de travail	- Fraction 0/2 mm ☒ - Fraction 0/0.125 mm ☐																
3	Réduire l'échantillon de laboratoire. Tamiser l'échantillon réduit.	- Par division ou quartage - Tamis 2 ou 0.125 mm - Pour obtenir deux sous-échantillons ≥ 200 g	Tamis = 02 mm M = 280.22 g M ₀ = 200 g prise d'eau															
5	Placer l'un des sous-échantillons tamisés « M » à l'étuve	- À 110 °C $\pm$ 5 °C pour les matériaux non sensibles à la chaleur - À 40 °C $\pm$ 5 °C pour les matériaux sensibles à la chaleur	Tare : 94 Masse Tare 147.42g Température d'étuvage : 110 °C Heure d'étuvage : 9h30															
6	Assurer que la masse constante « M' » est atteinte et calculer la teneur en eau	- La durée entre deux pesées successive (M_i et M_{i+1}) est au minimum 1 h $R = \frac{M_i - M_{i+1}}{M_i} \times 100 < 0.1 \%$	<table border="1"> <tr> <th>1 h</th> <th>2 h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> </tr> <tr> <td>279.98g</td> <td>279.98g</td> <td>280</td> <td>280</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td colspan="5">R = 0.03 (%)</td> </tr> </table>	1 h	2 h	h	h	h	279.98g	279.98g	280	280	280	R = 0.03 (%)				
1 h	2 h	h	h	h														
279.98g	279.98g	280	280	280														
R = 0.03 (%)																		

Eclaircissement de sable

- sable de dune -

①

$H_1 = 100$

$H_2 = 82$

$E_s = 82,00$

②

$H_1 = 100$

$H_2 =$

$E_s = 82,17$

$E_{sM} = 82,09\%$

~~- Sable de Tamer-Vasat -~~

~~$E_{sM} = 82,17\%$~~

Essai de prise (Témoin)

Gris Ciment

début d'essai: 10:03

$$\left. \begin{array}{l} 11:07 \\ 11:50 \\ 11:14 \\ 12:35 \\ 13:15 \end{array} \right\} \Rightarrow 0,00$$

$13:27 \Rightarrow 0,1$

$13:39 \Rightarrow 3,5$

$13:41 \Rightarrow 5$

$13:43 \Rightarrow 6$

(début de prise 13:38)

$13:45 \Rightarrow 7$

$13:52 \Rightarrow 10$

$13:57 \Rightarrow 12,5$

$14:01 \text{ — } 14:50$

(Fin de prise 14:50)

début $\xrightarrow{12 \text{ min}}$ Fin

$$\begin{array}{l} \text{Ciment } 500 \text{ g} \\ \text{L'eau } 145 \text{ g} \end{array} \Rightarrow \frac{E}{C} = \frac{145}{500} =$$

Essai d'essai de ciment (4 ±)

• Le temps de mélange: 30s $\rightarrow$ 01:30

• stopée le mélange et malaxeur et malaxée par main: 15 — 30s

• Malaxeur 30s

(L'essai prend 4 min)

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DES SUD

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE
MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE R.LANCHON
 BTS.DUT

Structure : UNITE GHARDAIA
 N° Dossier interne : 149 BEN BRAH
 Échantillon : 8/15
 Équipements utilisés: balance

Lieu de travail : SERVICE MATERIAUX
 Date : 25/10/2023
 Opérateur : B.LARBI
 N° D'inventaire: L21.51.15

Masse volumique apparente :Masse volumique absolue :

Volume du récipient V= 5000

Poids P= 3800

$P_1+T= 10294$ $P_1= 6494$

$P_2+T= 10278$ $P_2= 6478$

$P_3+T= 10284$ $P_3= 6484$

$P_4+T= 10290$ $P_4= 6490$

Poids moyen $M=(P_1+P_2+P_3+P_4)/4 = 6487$

Masse volumique apparente $P/V = 1,30 \text{ g/cm}^3$

Poids des agrégats secs $P_1= 542,00$

Poids du récipient plein d'eau $P_2= 2183$

$P_3= P_1+P_2= 2725$

Poids récipient + agrégats + eau =

$P_4= 2518,20$

Volume des agrégats $V=P_3-P_4= 207$

Masse volumique absolue $P_1/V = 2,62 \text{ g/cm}^3$

L'Opérateur

Visa du responsable

Dates d'exécution d'essai : 27/10/2023.

La date d'émission du rapport : 29/10/2023.

Avertissement : Le présent rapport ne doit pas



مخبر الأشغال العمومية في جنوب

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE DE PAILLASSE
QUALIFICATION DES FINES - ESSAIS AU BLEU DE METHYLENE
NF EN 933-9 : 2022

Structure	11/11	N° Dossier	Recherche Maurten
Lien de travail	5 ^{ème} ED	Echantillon	Sable de dune Ain Salah

Vérification des équipements (étalonnage, vérification et état)	Équipement	N° Inventaire ou N° série	Constat*	Valeur de correction**
	Thermomètre	A 124 36-14		
	Étuve	L. 039.45.5.002		
	Balance	L. 022.15.5.000		
	Tamis mm (0.125 ou 2)	7030488		
	Burette	/		
	Agitateur	L. 034.45.5.002		
	Reference Solution 10g/l	N° PP	Date	
Réactifs (N° Lot)	Bleu de poudre	Eau distillée		

Description de l'échantillon : /

(*) : C= conforme, NC=non conforme.

(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction

N°	ÉTALE	EXIGENCE	VALEUR										
1	Date et Heure Début D'essai	07.02.2023	8h40										
2	Choisir la méthode de travail	- Fraction 0/2 mm ☒ - Fraction 0/0.125 mm ☐											
3	Réduire l'échantillon de laboratoire. Tamiser l'échantillon réduit.	- Par division ou quartage - Tamis 2 ou 0.125 mm - Pour obtenir deux sous-échantillons ≥ 200 g	Tamis = 021 mm M = 230 g M ₀ = 200 g										
5	Placer l'un des sous-échantillons tamisés « M » à l'étuve	- À 110 °C $\pm$ 5 °C pour les matériaux non sensibles à la chaleur - À 40 °C $\pm$ 5 °C pour les matériaux sensibles à la chaleur	Tare : 122 Masse Tare : 123,48 Température d'éuvage : 110 °C Heure d'éuvage : 8h48										
6	Assurer que la masse constante « M » est atteinte et calculer la teneur en eau	- La durée entre deux pesées successive (M_i et M_{i+1}) est au minimum 1 h $R = \frac{M_i - M_{i+1}}{M_i} \times 100 < 0.1 \%$	<table border="1"> <tr> <th>1 h</th> <th>2 h</th> <th>h</th> <th>h</th> <th>h</th> </tr> <tr> <td>224,50 g</td> <td>224,91 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> R = 0,04 (%)	1 h	2 h	h	h	h	224,50 g	224,91 g			
1 h	2 h	h	h	h									
224,50 g	224,91 g												

Page 1 sur 2

GM-G-07-01.01

Recherche Master

Sable + Kaolinite
calhama

VB P=200gr



		$\omega = \left[\frac{M - M'}{M'} \right] \times 100$	$M' = 299,96 \text{ g}$ $\omega = 0,11 (\%)$
7	Verser (500 ± 5) ml d'eau distillée dans le bécher et ajouter la prise d'essai « M ₀ » dans le cas de la fraction 0/2 et ajouter la prise d'essai « M _{1F} » dans le cas de la fraction 0/0.125 et	- En remuant bien avec la spatule $M_{1F} = 30 + (0,3 \times \omega)$	$M_{1F} / M_0 = 2,00 \text{ g}$
8	Agiter la solution colorée et remplir la burette de solution colorée	-	☒
9	Mettre en marche l'agitateur et déclencher le minuteur.	- Positionner les ailettes à environ 10 mm du fond du bécher ; - Agiter le contenu du bécher pendant 5 min à (600 ± 60) tr/min ; - Réduire la vitesse de l'agitateur à (400 ± 40) tr/min et agiter continuellement pendant la poursuite de l'essai.	☒
10	Test à la tache	- Par dose de 5 ml avec 1 mn d'agitation ; - Auréole persiste pendant 5 min (6 taches) - Si l'auréole disparaît dans 4 minutes : ajouter une autre dose de 5 ml - Si l'auréole disparaît dans la 5^{ème} minute : ajouter une autre dose de 2 ml - Si la quantité des fines est faible, ajouter la Kaolinite comme suite : 30,0 ± 0,1 g séchée à (110 ± 5) °C à masse constante ; - V' ml de solution colorée dans le bécher où $M_1 = \frac{M_0}{1 + \left(\frac{\omega}{100} \right)} \quad MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10 \quad MBF = \frac{V_1}{M_{1F}} \times 10$	$\omega = 0,11 (\%)$ $M_{1F} / M_0 = 2,00 \text{ g}$ $V' = 30 \text{ ml}$ $V_1 = 45 \text{ ml}$ $M_1 = 199,48 \text{ g}$ $MB_{(...)} = 0,80 \text{ g/Kg}$
11	Date et heure de fin d'essai	16.03.2024 13h00	

Observation :

/

Nom et Prénom du Technicien : _____ Visa : _____

Nom et Prénom du Contrôleur : _____

Date : _____

Visa : _____

Contrôle et vérification	Oui	Non
Qualification du technicien		
Renseignement correct		
Vérification du matériel		
Calcul correct		



وزارة الأشغال العمومية
مجمع دراسة المنشآت، المراقبة والمساعدة "جايكا"
مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
EPE-SPA AU CAPITAL SOCIAL DE :303.000.000 DA

Zone des activités Bouhrouba w. GHARDAÏA-

+213 (0) 29 25 27 44

RP 332 GHARDAÏA 47000

+213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 39

dg.ltpsud@ltps.dz

www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI
DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
METHODE LOS ANGELES
NF EN 1097 - 2: 2010

PV N° : /LA/ 2023		Version ⁽¹⁾ :01	
Structure	Unité Ghardaïa	Étude N°	L49-01-13.
Lieu de travail	Service Contrôle	Balance N°	L022.15.S.026
N° Dossier	RN49 Benbrahim	Machine LA N°	L048.15.S.006

Échantillon **	Classe granulaire	Prise d'essai (g)	Retenu sur le tamis 1.6 mm (g)	Coefficient Los Angeles LA (%) ⁽¹⁾	Incertitude de mesure U (%) ⁽²⁾
3/8	4/6.3	5000.0	3678.5	26	
8/15	10/14	5000.0	3944.0	21	
15/25	10/14	5000.0	3851.2	23	

(1) : Enregistrer le résultat arrondi à l'entier le plus proche.

(2) : coefficient d'élargissement k=2.

Observation :	Tamis	N° Série
	50 mm	
	40 mm	
	31,5 mm	
	22,4 mm	
	16,5 mm	1203367
	14,0 mm	0908586
	12,5 mm	1203351
	10,0 mm	1203338
	6,30 mm	1203306
	5 mm	1203288
	4 mm	1203275
	1,6 mm	0908486

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées sont identifiées en « gras », les explications de ces modifications sont mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport.

(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation » précédé par la mention « avertissement : ».

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.
- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus.
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client.

Date de réception d'échantillon : 27/10/2023.

Dates d'exécution d'essai : 27/10/2023.

La date d'émission du rapport : 29/10/2023.

Nom et Prénom du Contrôleur :

Belmokhtar Maatallah

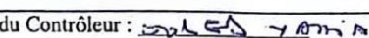
Visa :



		$\omega = \left[\frac{M - M'}{M'} \right] \times 100$	$M' = 224,21 \text{ g}$ $\omega = 0,09 \text{ } (\%)$
7	Verser (500 ± 5) ml d'eau distillée dans le bécher et ajouter la prise d'essai « M ₀ » dans le cas de la fraction 0/2 et ajouter la prise d'essai « M _{1F} » dans le cas de la fraction 0/0.125 et	- En remuant bien avec la spatule $M_{1F} = 30 + (0.3 \times \omega)$	$M_{1F} / M_0 = 230 \text{ g}$
8	Agiter la solution colorée et remplir la burette de solution colorée		☒
9	Mettre en marche l'agitateur et déclencher le minuteur.	- Positionner les ailettes à environ 10 mm du fond du bécher ; - Agiter le contenu du bécher pendant 5 min à (600 ± 60) tr/min ; - Réduire la vitesse de l'agitateur à (400 ± 40) tr/min et agiter continuellement pendant la poursuite de l'essai.	☒
10	Test à la tache	- Par dose de 5 ml avec 1 mn d'agitation ; - Auréole persiste pendant 5 min (6 taches) - Si l'auréole disparaît dans 4 minutes : ajouter une autre dose de 5 ml - Si l'auréole disparaît dans la 5^{ème} minute : ajouter une autre dose de 2 ml - Si la quantité des fines est faible, ajouter la Kaolinite comme suite : - 30,0 ± 0,1 g séchée à (110 ± 5) °C à masse constante ; - V' ml de solution colorée dans le bécher où $V' = 30 \text{ MB}_K$ $M_1 = \frac{M_0}{1 + \left(\frac{\omega}{100} \right)} \quad MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10 \quad MBF = \frac{V_1}{M_{1F}} \times 10$	$\omega = 0,09 \text{ } (\%)$ $M_{1F} / M_0 = 230 \text{ g}$ $V' = 30 \text{ ml}$ $V_1 = 35 \text{ ml}$ $M_1 = 199,82 \text{ g}$ $MB_{(...)} = 0,25 \text{ g/Kg}$
11	Date et heure de fin d'essai	04...02-2023.....	

Observation :

Nom et Prénom du Technicien : MADANI + BONARDELLI

Nom et Prénom du Contrôleur : 

Date : 08/02/2023

Visa : 

Contrôle et vérification	Oui	Non
Qualification du technicien	X	
Renseignement correct	X	
Vérification du matériel	X	
Calcul correct	X	

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

Analyse chimique des eaux

Structure : Unité Ghardaïa

Lieu de travail : Service chimie

Date : 10/03/2023

Opérateur: BOUCHRIA -M

N° Dossier interne : etudiant

N°	Eau
PH	8.01
SO ₄ ⁻²	513.94 mg/L
Cl ⁻	352.73 mg/L
R-D-S	1555 mg/L

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
ANALYSE CHIMIQUE SOMMAIRE

Structure : Unité Ghardaïa

Lieu de travail : Service chimie

Échantillon :

N° Dossier interne : **étudiant**

Date : **12/03/2024**

Opérateur : **BOUCHRIA-M**

Équipements utilisés : Balance- Etuve-Four.

N° D'inventaire : L.21.05-15-L49.08.09 -L53.02.86

ÉCHANTILLON		Sable du dune ain salah	Sable ben brahim zalfana	Graver 3/8 ben brahim					
INSOLUBLES NFP 15-461	Creuset+précipité	23.711	27.117	26.523					
	Creuset vide	22.740	26.173	26.320					
	Poids du résidu	0.971	0.944	0.203					
	% Insolubles	97.1	94.4	20.3					
SULFATES BS 1377	Creuset+précipité			16.194					
	Creuset vide	19.675	22.075	15.930					
	Poids du résidu			0.264					
CARBONATES NFP 15-461	% SO_3^{2-}			9.05					
	V NaOH								
	% CaCO_3	00	02	54					
	PH, (initial)	7.87	7.90	8.01					
CHLORURES Méthode de Mohr	PH, (titrage)	6.70	6.88	6.90					
	V_{AgNO_3}	Test 1 0.2	Test 2 0.2	Test 1 0.3	Test 2 0.4	Test 1 1	Test 2 1.1		
	V_m (moyen)	0.1	0.25	0.95					
	%Cl	0.002	0.004	0.016					
MATIERE ORGANIQUE NFP 94-055	% NaCl	0.003	0.007	0.028					
	% Matière organique	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$	V_1 $V_m =$
AUTRES ESSAIS									

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-5ca.03



مجمع دراسة المنشآت، المراقبة والمساعدة "جايكا"
مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
EPE-SPA AU CAPITAL DE : 1.400.000.000 DA

Zone des activités Bouhraoum w- GHARDAÏA-

+213 (0) 29 25 27 44

BP 332 GHARDAÏA 47000

+213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 39

dg.ltpsud@ltps.dz

www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI
Détermination De La Résistance À L'usure
Micro-Deval
NF EN 1097 - 1: 2011

PV N° : 01/MD/ 2022 Version ^(*) :			
Structure	Unité Ghardaïa	Étude N°	L49-01-13.
Lieu de travail	Service Contrôle	Balance N°	L022.15.S.026
N° Dossier	RN49 Benbrahim	Machine MDE N°	L.049.15.S.004

Type *essai		M _{DE} ☐		M _{PS} ☐		M _{DERB} ☐	
Échantillon**	Classe granulaire	Essai N°	Prise d'essai M (g)	Retenu sur le tamis 1.6 mm m (g)	Coefficient Micro deval (%)	Moyenne (%) ⁽¹⁾	Incertitude de mesure U (%) ⁽²⁾
3/8	4/6.3	01	500	342.5	31.5	30	
		02	500	348.5	30.3		
8/15	10/14	01	500	374.3	25.14	25	
		02	500	378.0	24.40		

(1) la valeur est arrondie à l'entier le plus proche (2) : coefficient d'élargissement k=2.

Observation :	Tamis	N° Série
	50 mm	
	40 mm	
	31,5 mm	
	16.0mm	
	14,0 mm	0908586
	12,5 mm	1203351
	10,0 mm	1203338
	8 mm	
	6,30 mm	1203288
	5 mm	1203275
	4 mm	0908486
	1,6 mm	1203367

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées sont identifiées en « gras », les explications de ces modifications sont mentionnées dans la rubrique « observation » du rapport.

(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation » précédé par la mention « avertissement : ».

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.
- Les échantillons ont été fournis par le client, les résultats de ce rapport s'appliquent aux échantillons tels qu'ils ont été reçus.
- L'estimation de l'incertitude de mesure sur le résultat peut être communiquée à la demande de client.

Date de réception d'échantillon : 27/10/2023.

Dates d'exécution d'essai : 27/10/2023.

La date d'émission du rapport : 29/10/2023.

Nom et Prénom du Contrôleur :

Belmokhtar Maatallah

Visa :

Avertissement : Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du LTPS.

- FIN RAPPORT -

Page 1 sur 1

F-5-G-04.00

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Hydraulique et Génie Civil

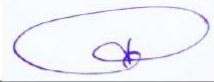


كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم العلوم والتكنولوجيا

Université de Ghardaïa

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures.

Autorisation d'impression d'un mémoire du Master

Les membres du jury	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	CADY Mokhtaria	
Examineur 1	DEHANE Sara	
Encadrant	LAROUÏ Abdelbasset	

Je soussigné M^{me} : Cady Mokhtaria

Président de jury des étudiants :

1. MADANI Keltoum
2. BOUABDELLI Amel

Thème

**Pour une contribution à l'amélioration des
caractéristiques chimiques et mécaniques d'un béton
à base de sables dunaire et ses fines**

J'autorise les étudiants mentionnés ci-dessus d'imprimer et déposer leur manuscrit final au niveau du département.

Président de jury :



Le chef de département :