

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 محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie civil

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Par :

- HAMMAMID AMMAR
- AOUIR ABDELOUAHAB

Sujet

Identification des caractéristiques physiques, mécaniques et minéralogiques des matériaux carbonatés destinés aux travaux de BTPH, cas des carrières d'agrégats de la région d'ibn badais, wilaya de Constantine.

Soutenu publiquement, le 17 / 09 / 2023, devant le jury composé de :

M. BENOUDAH ABDELATIF	MCB	Univ-BBA	Président
M. MAAFI NABIL	MCB	Univ-BBA	Examineur
M. BENAMMAR ABDELHAFID	MCB	Univ-BBA	Encadrant
M. HADJI REHAB	Pr	Univ-BBA	Co-Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

- ***Maman**, tu es la meilleure mère du monde. Tu m'as toujours soutenu, encouragé et aimé. Tu es ma source d'inspiration et de motivation. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi. Je te dédie ce diplôme avec fierté et gratitude.*
- ***mon père**, tu es mon héros et mon modèle. Tu m'as appris à être courageux, honnête et travailleur. Tu as toujours cru en moi et en mes rêves. Merci pour ton soutien inconditionnel et ta confiance. Je te dédie ce diplôme avec respect et admiration.*
- ***Chers membres de ma famille**, vous êtes ma force et mon bonheur. Vous m'avez accompagné tout au long de mon parcours académique avec bienveillance et générosité. Vous avez partagé mes joies et mes peines, mes succès et mes échecs. Merci pour votre présence et votre affection. Je vous dédie ce diplôme avec amour et reconnaissance.*
- ***Cher professeur D.BENAMMAR ABDELHAFID**, vous êtes un excellent enseignant et un guide précieux. Vous m'avez transmis votre savoir, votre passion et votre sagesse. Vous m'avez aidé à développer mes compétences, ma créativité et ma confiance en moi. Merci pour votre patience, votre dévouement et votre encouragement. Je vous dédie ce diplôme avec estime et respect.*
- ***Cher collègue AOUIR ABDELOUAHAB**, vous êtes un ami fidèle et un partenaire efficace. Vous m'avez soutenu, conseillé et écouté. Vous m'avez fait rire, réfléchir et progresser. Merci pour votre collaboration, votre solidarité et votre amitié. Je vous dédie ce diplôme avec sympathie et appréciation.*

AMMAR HAMMAMID

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail ;

*À, **ma mère; mon père***

*à Mes chers enfants **Adam et Ayoub** ; A mes
chères filles : **Omeima et Acil**, sans oublier leur
mère qui m'a soutenu ; A mes chers frères et
sœurs,*

*À mes professeurs superviseurs, Ben Ammar
Abdel Hafid et Haji Rehab, et à tous mes
professeurs avec qui j'ai étudié.*

Aouir Abdelouahab

Remerciements

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre plus sincère gratitude pour votre soutien tout au long de la réalisation de notre mémoire. Votre contribution a été essentielle à la réussite de ce projet.

Tout d'abord, nous voudrions remercier notre Dieu pour Sa bénédiction et Sa grâce infinie. Nous sommes reconnaissants pour toutes les opportunités et les bénédictions qu'Il nous a offertes, ainsi que pour Sa guidance tout au long de ce processus.

Nous tenons également à exprimer ma gratitude envers nos parents pour leur amour, leur soutien et leur encouragement constants. Nous sommes reconnaissants pour tout ce qu'ils ont fait pour nous tout au long de notre parcours académique. Nous tenons à remercier notre encadreur, Dr. BENAMMAR Abdelhafid et le Pr. HADJI REHAB pour leurs patiences et leurs expertises. Vos conseils avisés et votre soutien constant ont été d'une grande aide tout au long de ce projet.

Nous sommes reconnaissants pour tout ce que vous avez fait pour nous. Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude envers le jury pour avoir accepté et approuvé notre mémoire. Votre évaluation approfondie et objective de notre travail nous a aidés à améliorer nos compétences et notre compréhension du sujet.

Résumé

Résumé :

Ce mémoire présente une analyse approfondie des caractéristiques des matériaux carbonatés extraits des carrières d'agrégats de la région d'Ibn Badais, situées dans la wilaya de Constantine, en Algérie.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les propriétés physiques (granulométrie, forme, propreté) mécaniques (résistance à la compression, à l'abrasion) et minéralogiques (composition chimique, cristallographie) des matériaux carbonatés. Ces matériaux sont largement utilisés dans les travaux de BTPH, où les normes de qualité et de performance sont essentielles.

L'analyse vise à identifier les caractéristiques influençant la qualité des agrégats et à formuler des recommandations permettant leur utilisation optimale dans les projets de BTPH.

Les résultats obtenus permettent de classer les matériaux carbonatés selon leur qualité et leur performance, et de proposer des recommandations pour leur utilisation optimale dans les travaux de BTPH.

Mots clés : matériaux carbonatés, analyse chimique, minéralogique, résistances mécaniques.

ملخص

ملخص :

تقدم هذه الأطروحة تحليلاً متعمقاً لخصائص المواد الكربونية المستخرجة من محاجر الركام بمنطقة ابن باديس الواقعة في ولاية قسنطينة بالجزائر.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الخواص الفيزيائية (حجم الجسيمات والشكل والنظافة) والميكانيكية (المقاومة للضغط والتآكل) والمعدنية (التركيب الكيميائي وعلم البلورات) للمواد الكربونية. وتستخدم هذه المواد على نطاق واسع في أعمال BTPH، حيث تعتبر معايير الجودة والأداء ضرورية.

ويهدف التحليل إلى تحديد الخصائص التي تؤثر على جودة الركام وصياغة توصيات تسمح باستخدامها الأمثل في مشاريع BTPH.

النتائج التي تم الحصول عليها تجعل من الممكن تصنيف المواد الكربونية حسب جودتها وأدائها، واقتراح توصيات للاستخدام الأمثل لها في أعمال BTPH.

الكلمات المفتاحية: المواد الكربونية، الكيميائية، التحليل المعدني، المقاومة الميكانيكية.

Abstract

Abstract:

This dissertation presents a comprehensive analysis of the characteristics of carbonate materials extracted from the aggregate quarries in the Ibn Badais region, located in the Constantine province of Algeria.

The objective of this study is to evaluate the physical properties (particle size, shape, cleanliness), mechanical properties (compressive strength, abrasion resistance), and mineralogical properties (chemical composition, crystallography) of carbonate materials.

These materials are widely used in construction and public works projects, where quality and performance standards are essential.

The analysis aims to identify the characteristics that influence the quality of aggregates and provide recommendations for their optimal use in construction and public works projects.

The obtained results allow for the classification of carbonate materials based on their quality and performance, and offer recommendations for their optimal utilization in construction and public works projects.

Keywords : carbonate materials, chemical analysis, mineralogical analysis, mechanical properties.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les granulats	
I.1. Introduction.....	5
I.2. Les sols.....	5
I.3. Les matériaux granulaires.....	6
I.3.1. Les granulats (Agrégats).....	6
I.3.1.1. Les différents Types des granulats.....	7
I.3.1.2. Production des granulats.....	11
I.3.1.3. Qualités et propriétés des granulats.....	13
I.3.1.4. Fonctions des granulats.....	14
I.3.1.5. Détériorations des granulats.....	14
I.3.1.6. Les caractéristiques des granulats.....	16
I.3.1.7. Utilisations des granulats dans la construction, les routes, le ballast ferroviaire :.....	22
I.3.1.8. Propriétés souhaitables des granulats routiers :.....	23
I.4. Conclusion.....	26
Chapitre II : Les matériaux carbonatés	
II.1. Introduction.....	28
II.2. CARBONATE DE CALCIUM.....	29
II.2.2. Définition.....	29
II.2.3. Etat naturel :.....	29
II.2.4. Contexte géologique :.....	29
II.2.4.1. Description.....	30
II.3. Domaine d'application du carbonate de calcium.....	30
II.3.1. Critères physiques et chimiques.....	31
II.4. OXYDE DE CALCIUM.....	31
II.4.1. Définition.....	31
II.4.2. Différents types de chaux :.....	32
II.4.3. Utilisation de la chaux.....	32
II.5. IDENTIFICATION DU GISEMENT DE DJEBEL EL MADJENE.....	33
II.5.1. PREAMBULE.....	33
II.5.2. DONNEES REGIONALES.....	33
II.5.2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE.....	33
II.5.2.2. GEOMORPHOLOGIE, HYDROGRAPHIE, HYDROGEOLOGIE ET CLIMAT:.....	34
II.5.2.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROGEOLOGIE.....	34

Tableau de matières

II.5.2.4. APERÇU GEOLOGIQUE REGIONAL STRATIGRAPHIE ET LITHOLOGIE :	36
II.6. IDENTIFICATION DU MINERAL DE CARBONATE DE CALCIUM MECHAN TILLONNAGE	38
II.7. CONCLUSION	39

Chapitre III : Les matériaux employés et les différents essais réalisés

III.1. Introduction	41
III.2. Caractérisation et formulation	41
III.2.1. Caractéristique des matières premières utilisant	41
III.2.1.1. Caractéristique du Gravier	41
III.2.1.2. Essai Los Angeles (NF P 18-573)	51
III.2.2. Calcul de la composition du béton :	53
III.2.2.1. Méthode de calcul de la composition du béton :	53
III.2.3. Les essais sur le béton :	54
III.2.3.1. Essais à l'état frais	54
III.2.3.2. Essais à l'état durci :	55
III.2.3.3. Essais destructifs :	55

Chapitre IV : Résultats et discussion des résultats

IV.1. Analyse des caractéristiques chimiques et minéralogiques des matériaux carbonatés :	59
IV.2. Analyse des caractéristiques mécaniques des matériaux carbonatés :	61
IV.2.1. Résistance mécanique :	61
IV.2.2. La vitesse ultrasonique :	62
IV. Conclusion générale	65
IV.3. Conclusion générale	66
IV.4. Références bibliographiques	67

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les granulats

Figure I.1: Les différents types de granulats. (Labo geo Arif-Setif : Mai 2023)	7
Figure I.2:Alluvions de gravier sur la rivière Granulats Vicat Saint-Jean-le-Vieux Carrière de roches alluvionnaires (Gisement silico-calcaire).....	9
Figure I.3:Carrière ENOF. (BOUMERDES ALGERIE)	9
Figure I. 4:Granulats Concassés. (Labo Geo Arif-Setif : Mai 2023)	11
Figure I. 5:Granulats roulés.....	11
Figure I. 6: Étapes de fabrication de granulats (Source : Lafarge granulats)	13
Figure I. 7:Forme d'un granulat	19
Figure I. 8: des granulats routiers (ingénieur Haseeb Jamal - Aug 30, 2017).....	23
Figure I. 9:Agrégats dans le ballast ferroviaire	25

Chapitre II : Les matériaux carbonatés

Figure II. 1:Les différentes roches de carbonate de calcium.....	29
Figure II. 2:Schéma de différentes utilisations du carbonate de calcium.....	31
Figure II. 3:Le cycle de la chaux.....	33
Figure II. 4:Réseau hydrographique de la wilaya de Constantine.....	35
Figure II. 5: échantillons (CARRIERE COSIDER-CONSTANTINE :Mai 2023)	39

Chapitre III : Les matériaux employés et les différents essais réalisés

Figure III. 1:Déférents types de graviers.....	41
Figure III. 2:courbe granulométrique du gravier.....	45
Figure III. 3:courbe granulométrique du sable.....	45
Figure III. 4:courbe granulométrique du GNT.....	46
Figure III. 5:Appareillage Micro Deval	50
Figure III. 6:Résultat Essai Micro Deval	50
Figure III. 7:Appareillage Los Angeles (LABO GEO ARIF-SETIF :Mai 2023)	52
Figure III.8: courbe de mélange (Méthode de DREUX GORISSE)	53
Figure III. 9:l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton + Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	55
Figure III. 10:Essai sclérométrique (Labo Geo Arif-Setif : juin 2023) + Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques IS.....	55
Figure III. 11:La machine pour essai de compression et affichage de la résistance	56
Figure III. 12:Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage	56
Figure III.13: Spectrométrie de fluorescence des rayons X (LABO GEO ARIF-SETIF)	57

Chapitre IV Résultats et discussion des résultats

Figure IV.1:diagramme de DRX du matériau carbonaté utilisé.....	60
Figure IV. 2:Le cycle de la chaux	60
Figure IV. 4 : les résistances à la flexion des éprouvettes à base des matériaux carbonatés.....	61
Figure IV. 3: les résistances à la compression des éprouvettes à base des matériaux carbonatés.....	61

Chapitre I : Généralités sur les granulats

Tableau I. 1: Différents types de granulats issus de roches massives (Ait Chikhouné, 2015).....	10
Tableau I. 2: Substances indésirables sur l'utilisation des granulats (Arquie & Tourenq, 1990).....	16
Tableau I. 3: La teinte des granulats en fonction de l'origine minéralogique.....	22

Chapitre III : Les matériaux employés et les différents essais réalisés

Tableau III.1: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (15/25).....	42
Tableau III. 2: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15).....	43
Tableau III. 3: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (3/8).....	43
Tableau III. 4: Résultat de l'analyse granulométrique de sable (0/4).....	44
Tableau III. 5: Résultat de l'analyse granulométrique de GNT (0/31.5).....	45
Tableau III. 6: Masse volumique apparente du gravier utilisée.....	47
Tableau III. 7: Masse volumiques absolues des gravies utilisée.....	48
Tableau III. 8: la porosité, la compacité et l'indice des vides.....	49
Tableau III. 9: Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval (NF P18-572, 1990).....	51
Tableau III.10: Les résultats Micro Deval des deux échantillons.....	51
Tableau III.11: Tableau de référence des valeurs de Los Angeles (NF P 18-573, 1990).....	52
Tableau III. 12: Coefficients LA et MDE pour les différents échantillons.....	52
Tableau III.13: composition de mélange pour 6 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire.....	54
Tableau III. 14: composition de mélange pour 6 éprouvettes cylindrique (16×32cm) d'un béton ordinaire.....	54

Chapitre IV : Résultats et discussion des résultats

Tableau IV.1: Composition chimique des matériaux carbonatés.....	59
Tableau IV. 2: Composition minéralogique des matériaux carbonatés.....	59
Tableau IV. 3: La vitesse ultrasonique des différents échantillons.....	62
Tableau IV. 4: LA résistance du béton A partir de l'indice sclérométriques Is de la zone testée.....	64

Introduction générale

Les caractéristiques physiques et minéralogiques des granulats sont étudiées pour plusieurs raisons importantes dans le domaine de la construction et des travaux publics. A titre exemple la qualité du matériau, les caractéristiques physiques des granulats, telles que la granulométrie (tailles des particules), la forme, la propreté et la compacité, influencent directement la qualité du matériau. Une granulométrie appropriée garantit une bonne distribution des particules et une meilleure adhérence entre les granulats et le liant, ce qui améliore la résistance mécanique et la durabilité des structures.

En effet, la performance mécanique, les caractéristiques mécaniques des granulats, telles que la résistance à la compression, la résistance à l'abrasion et la résistance au gel-dégel, sont essentielles pour évaluer la capacité des granulats à résister aux contraintes et aux conditions environnementales. Ces propriétés permettent de déterminer si les granulats conviennent à une utilisation spécifique, telle que la construction de routes, de ponts ou d'autres structures. Aussi la compatibilité avec le liant, les caractéristiques minéralogiques des granulats, telles que leur composition chimique et leur structure cristalline, peuvent affecter l'interaction entre les granulats et le liant utilisé, tel que le ciment dans le béton. Une bonne compatibilité entre les granulats et le liant est essentielle pour assurer une bonne adhérence et une résistance adéquate dans les structures en béton.

Pour la durabilité des constructions, les caractéristiques physiques et minéralogiques des granulats sont également importantes pour évaluer la durabilité des structures à long terme. Des granulats de qualité et de bonnes propriétés mécaniques peuvent contribuer à la résistance aux intempéries, à la résistance à l'usure et à la résistance aux attaques chimiques, ce qui prolonge la durée de vie utile des ouvrages.

L'analyse des caractéristiques physiques et minéralogiques des granulats permet d'évaluer leur qualité, leur performance mécanique et leur compatibilité avec le liant, tout en garantissant la durabilité des structures construites. Ces informations sont essentielles pour assurer la qualité et la sécurité des projets de construction et des travaux publics.

Ce travail est élaboré au sein du l'universitaire de Université Ferhat Abbas Sétif. Notre mémoire est composée en quatre chapitres, après une introduction générale qui définit la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés, le premier chapitre comporte une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les granulats. Dans le chapitre suivant, nous présentons une étude sur les matériaux carbonatés. Dans le troisième chapitre, nous définissons nos objectifs et précisons notre démarche expérimentale. Nous présentons également le détail des méthodes expérimentales et les études préliminaires permettant de justifier le choix

Introduction générale

des matériaux et des protocoles d'essais. Le quatrième chapitre est consacré aux résultats et la discussion de résultats. En dernier lieu, une conclusion générale est donnée résumant le travail expérimental de cette mémoire et proposant des perspectives à étudier dans l'avenir.

Chapitre I

Généralités sur les granulats

1. Introduction

Le granulat est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125 mm, destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Les caractéristiques des granulats dépendent de plusieurs paramètres, notamment la nature de la roche d'origine.

L'agrégat peut être utilisé de plusieurs façons dans la construction. Dans le ballast des routes et des voies ferrées, les granulats sont utilisés pour résister à la charge globale (statique et dynamique), pour répartir correctement la charge sur le sol de support et pour drainer l'eau de la surface. Dans le béton, l'agrégat est utilisé pour l'économie, pour réduire le retrait et les fissures et pour renforcer la structure. Ils sont également utilisés dans les processus de filtration de l'eau et de traitement des eaux usées. [1]

Chaque jour plus d'un million de tonnes de granulats est produit pour répondre aux besoins en aménagement, notamment dans la construction et les travaux publics. Le granulat constitue ainsi la première ressource naturelle consommée par l'Homme, après l'eau.

Dans le secteur du bâtiment, un logement consomme environ 100 à 300 tonnes de béton, sachant qu'un mètre cube de béton nécessite près deux tonnes de granulats. Concernant le domaine des travaux publics, 80% des granulats produits sont absorbés par la construction des routes ; 30.000 tonnes de granulats étant nécessaire pour 1 km de route. On retrouve également les granulats dans les pistes d'atterrissage, les voies ferrées et les équipements collectifs (écoles, hôpitaux...). Enfin, le génie civil (barrages, viaducs, ponts) utilise aussi des granulats intégrés au béton. [2]

2. Les sols

Sont des mélanges de grains solides, issus de roches d'origine éruptive, sédimentaire ou métamorphique, d'air et d'eau. Il est couramment qualifié de meuble, d'hétérogène de faible compacité, suivant les éléments principaux de sa constitution, sables, limons, marnes, argiles, humus et galets.

Les sols sont des matériaux naturels, constitués de grains minéraux pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau.

C'est le résultat d'une altération naturelle physique ou chimique des roches. Les grains peuvent être de dimensions très variables, allant des argiles aux blocs. Ils sont de natures géologiques diverses : alluvions, colluvions, matériaux meubles sédimentaires, dépôts glaciaires, sols résiduels, ... Leur pourcentage de matières organiques est inférieur ou égal à 3%. Les sols résiduels sont des sols formés sur place par un processus d'altération physico-chimique des

roches, par exemple : arènes granitiques, latérites, les latérites et bauxites des régions tropicales comportent notamment des matériaux argileux et graveleux.

3. Les matériaux granulaires

Les matériaux granulaires sont présents dans de nombreux secteurs d'activité, notamment dans le domaine du génie civil, sous la forme de matière première (granulats, ciments) et substrat des fondations (sols granulaires), mais aussi dans divers procédés industriels (fabrication de céramiques, traitement de surfaces...), industrie pharmaceutique (poudres, capsules...), agro-alimentaire (céréales)... La maîtrise de ces matériaux nécessite une bonne connaissance de leur comportement mécanique. De très nombreux travaux concernent le comportement en volume. Cependant, la région d'interface entre le matériau granulaire et la paroi s'avère avoir des caractéristiques propres qu'il est essentiel de comprendre puisqu'elle constitue une des conditions aux limites du problème mécanique. La transmission des efforts et des déplacements entre la paroi et le matériau granulaire dépend fondamentalement du comportement de cette couche d'interface. Du point de vue structurel, c'est une information indispensable pour la conception des ouvrages de fondation, par exemple. Le dimensionnement des parois de silos et des conduites est fondée sur les efforts appliqués par le milieu lors de son stockage (condition statique) ou en mouvement (condition de déformation). D'un autre côté, la réponse du milieu granulaire (comportement contrainte/déformation, par exemple) dépend fortement du type et du niveau des sollicitations agissantes au niveau de cette interface. Dans le cas d'une fondation, l'intérêt est de solliciter le milieu granulaire dans des limites statiques. Par ailleurs, dans une conduite, c'est l'inverse, puisqu'elle transport des particules sera plus efficace pour un bas niveau d'efforts.

On distingue plusieurs types de matériaux granulaires qu'on peut distinguer en deux grandes familles :

- **Les matériaux synthétiques** : ce sont des matériaux créés par l'homme.
- **Les géo matériaux** : ce sont des matériaux granulaires constitués par des éléments de sols ou de roches, parmi ces matériaux on trouve deux sous catégories, à savoir : les matériaux géo composites et les matériaux naturels [3].

3.1. Les granulats (Agrégats)

Les granulats de construction sont une large catégorie de matières premières granulaires de différentes tailles (sable, gravier, pierre concassée, scories, béton recyclé, etc.) utilisées dans la construction.

Ensemble de grains minéraux de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm [4] (NF P18-540, 1997), tout matériau granulaire utilisé dans la construction (NF P18-545, 2008).

Le granulat est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil, des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais, Il a la propriété de résister à des forces externes mécaniques et/ou climatiques importantes. Selon sa dimension, il se situe dans l'une des 7 familles suivantes [5] :

- ✓ Fillers (fines) : 0/D avec $D < 2$ mm, avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
- ✓ Sablons : 0/ avec $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm.
- ✓ Sables : 0/ avec $1 < D \leq 6,3$ mm.
- ✓ Graves : 0/ avec $D > 6,3$ mm.
- ✓ Gravillons : d/ avec d à 1 mm et $D \leq 125$ mm.
- ✓ Ballast : d/ avec $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique à l'aide des tamis.

d: dimension inférieure du granulat

D : dimension supérieure du granulat



Figure I.1: Les différents types de granulats. (Labo geo Arif-Setif : Mai 2023)

3.2. Les différents Types des granulats

On peut citer plusieurs types en fonction de plusieurs critères concernant le granulat lui-même.

3.2.1. En fonction de leurs masses volumiques réelles

3.2.1.1. Granulats légers

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est inférieure à 2 t/m^3 , comme les argiles, les schistes, les laitiers expansés ou encore les pouzzolanes. Ils sont destinés à la préparation des bétons légers.

3.2.1.1.1. Granulats courants

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est entre 2 et 3 t/m^3

3.2.1.1.2. Granulats lourds

Comme les matériaux naturels, alluvionnaires (silex, calcaire dur silico-calcaire) de densité entre 2.5 et 2.7, éruptifs ou sédimentaires (grès, porphyres, diorite, basaltes...etc.) de densité entre 2.6 et 3.

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est supérieure à 3 t/m^3 . Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour construire des ouvrages nécessitant une protection biologique contre le rayonnement. On utilise en particulier les barytines, les magnétites qui ont une densité entre 3.4 et 5.1, aussi les riblons et les grenailles de fonte qui ont une densité entre 7.6 et 7.8. [6]

3.2.1.2. En fonction de leurs origines

3.2.1.2.1. Les granulats naturels

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- Éruptives : granites, basaltes porphyres,
- Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites
- Métamorphiques : gneiss, amphibolites

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires.

3.2.1.2.2. Les Granulats de roches meubles (Alluvionnaires)

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière et en mer éventuellement, Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats.



Figure I.2: Alluvions de gravier sur la rivière Granulats Vicat Saint-Jean-le-Vieux Carrière de roches alluvionnaires (Gisement silico-calcaire)

3.2.1.2.3. Les Granulats de Carrières (concassés) :

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage....

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues.



Figure I.3: Carrière ENOF. (BOUMERDES ALGERIE)

Tableau I. 1: Différents types de granulats issus de roches massives (Ait Chikhoune, 2015)

Types de roches massives	Exemple de famille de granulats
Roche magmatique Roche éruptive.	Granite, rhyolite, porphyre, diorite, basalte, etc.
Roche sédimentaire	Grès, grès quartziques, silex, calcaires, etc.
Roche métamorphique	Gneiss, micaschistes, quartzites, etc.

3.2.1.2.4. Les granulats artificiels

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés. Ces granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

3.2.1.2.4.A. Sous-produits industriels, concassés ou non

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenu par refroidissement lent à l'air libre, en fosse, il a l'aspect et les propriétés d'une roche magmatique.

Il peut être plus ou moins poreux, plus le refroidissement est lent et en couches minces, plus le laitier est cristallisé et compact.

3.2.1.2.4.B. Granulats à hautes caractéristiques

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

3.2.1.2.5. Les granulats recyclés

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction

3.2.1.3. En fonction de la forme de leurs grains

3.2.1.3.1. Les granulats concassés

Les sont obtenus en concassant des roches dures (siliceuses, calcaires ou granitiques). Les grains sont anguleux, ils doivent être soigneusement lavés afin de les débarrasser des poussières qui les recouvrent au moment du concassage (pierres concassées).



Figure I. 4:Granulats Concassés. (Labo Geo Arif-Setif : Mai 2023)

3.2.1.3.2. Les granulats roulés

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau ou le gel. Ainsi, ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes. Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer
- Les granulats de dunes.
- Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.



Figure I. 5:Granulats roulés

3.2.2. Production des granulats

La production des granulats nécessite plusieurs opérations successives sur le même site ou non, selon le site lui-même ou la roche est exploitée. On distingue les opérations suivantes :

3.2.2.1. Le décapage

Décaper, c'est retirer les couches de sol situées au-dessus des niveaux à exploiter :

-
- Terre végétale.
 - Roches plus ou moins altérées.
 - Niveaux stériles.

3.2.2.2. L'extraction

Dans les carrières, les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement :

- Gisement de granulats alluvionnaires exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague)
- Gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs. [7]

3.2.2.3. Concassage et broyage

La fragmentation des matériaux se fait par concassage et broyage, le concassage étant la fragmentation grossière et le broyage l'élaboration des sables, petits gravillons et fillers. C'est une opération purement mécanique à l'aide des différents appareils, fonction des différents types de concassage. Le concassage a pour objet de réduire les dimensions pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer la forme des granulats. [7]

3.2.2.4. Le criblage

C'est l'opération permettant de séparer et de classer un ensemble des grains 0/D en sous ensemble 0/D_i ou D_i/D_i. Cette opération est principale et indispensable puisqu'elle va donner les produits finaux commercialisés tels que : sable, gravillons, graves, etc. avec une dénomination précise comme : sable 0/4, sable 0/2, gravillon 6/10, etc.

3.2.2.5. Le lavage

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution et l'excès de fines.

3.2.2.6. Le défanage

Il a pour but d'éliminer par voie sèche l'excès de fines de broyage des sables.

3.2.2.7. Classification granulométrique des produits

3.2.2.8. Stockage et livraison

3.2.2.9. Contrôle et assurance de la qualité

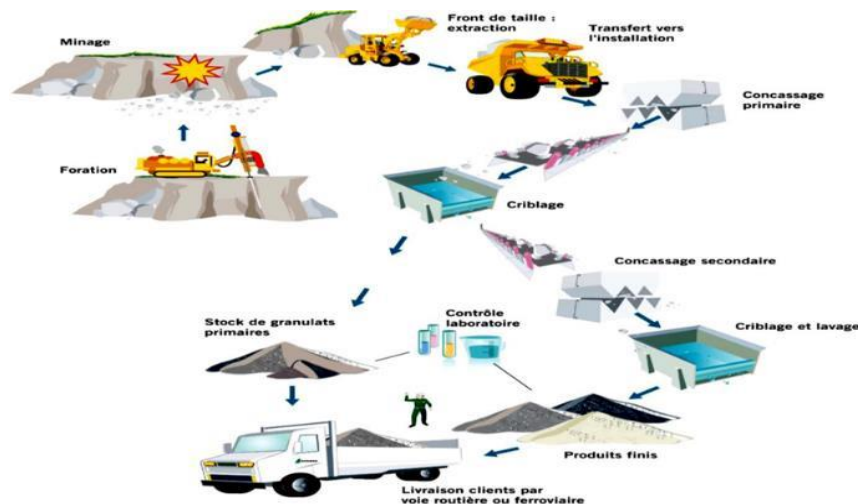


Figure I. 6: Étapes de fabrication de granulats (Source : Lafarge granulats)

3.2.3. Qualités et propriétés des granulats

3.2.3.1. La densité

Doit être élevée pour mieux résister aux différents efforts auxquels le matériau est soumis. Un bon matériau devra avoir une densité apparente au moins égale à $2,5 \text{ g/cm}^3$ par rapport à un optimum de masse volumique compris entre 2 et $2,8 \text{ g/cm}^3$. [8]

3.2.3.2. La dureté

Le granulat doit être assez dur pour résister aux chocs ainsi qu'à l'usure par abrasion provoqués par les charges et pour supporter l'action destructrice de l'émiettement.

3.2.3.3. L'angularité et la rugosité

Les granulats doivent présenter des surfaces assez rugueuses et des arêtes vives pour assurer la cohésion de la masse. Elles permettent donc aux éléments de s'assembler entre eux de façon à former un ensemble compact et cohérent. Cette cohésion assure le contact et le frottement.

3.2.3.4. La perméabilité

Le granulat doit assurer un bon drainage ou écoulement des eaux pluviales car l'eau qui reste entre les granulats y forme finalement de la boue (poussière détremée), cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement et soulèvement de la structure.

3.2.3.5. L'élasticité

Permet d'amortir la transmission des charges reçues et d'atténuer l'amplitude des efforts dynamiques appliqués à l'ensemble. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.

3.2.3.6. La dilatation

Sous l'effet de réchauffement (expansion thermique) ou d'humidité, le matériau solide accuse une expansion, un gonflement ou une augmentation de son volume.

3.2.3.7. La rétraction/contraction

Elles correspondent à la réponse mécanique de raccourcissement, qui se traduit par un durcissement suite à une diminution de volume ou de longueur, ou bien c'est le retour du matériau solide à son état initial après dilatation.

3.2.3.8. Le non-géllivité

Plus un granulat est imperméable, plus il est mieux protégé et insensible aux effets du gel, qui se traduit par la résistance à l'écaillage et aux cycles d'imbibition-dessiccation en présence des eaux et des solutions minérales tels que les sels fondants [8].

3.2.4. Fonctions des granulats

Les principales fonctions des granulats sont liées aux propriétés géométriques, physico-mécanique et chimique comme :

- La transmission, la répartition et la réduction des charges statiques et dynamique exercées.
- La résistance aux forces triaxiales, transversales et latérales.
- Le drainage et l'évacuation rapide des eaux, qui s'infiltrant à travers l'ensemble des granulats en raison de la granulométrie particulière
- L'amortissement et l'absorption du maximum de vibration et de chocs en raison de ses propriétés rhéologiques (élasticité et plasticité). Ce rôle amortisseur résulte de la dissipation d'énergie par frottement des grains entre eux [8].

3.2.5. Détériorations des granulats

L'ensemble des travaux de recherche et d'analyse issues des études réalisées jusqu'à lors ont montré que les granulats ne se détériorent pas d'une manière sensible sous les effets d'un seul processus, d'une cause unique. Généralement, c'est une combinaison de plusieurs facteurs provenant de diverses origines. Ils ont confirmé aussi que les granulats provenant des roches calcaires sont très sensibles aux détériorations physiques (usure et fragmentation) et chimiques (souillure) et les causes principales en sont les suivantes [8] :

- L'usure mécanique
- La pollution
- L'altération physico-chimique.

3.2.5.1. Détérioration par usure mécanique

C'est l'émoussement et affaiblissement des angles sous l'effet de frottement et de chocs, sous l'influence de l'augmentation importante des charges. Ces détériorations se trouvent amplifiées par :

- L'introduction de matériel de mise en œuvre et d'entretien inadapté.
- L'apparition des défauts en provenance de variation de la rigidité verticale et défauts géométriques de la mise en place (nivellement).
- L'augmentation du trafic et des vitesses.
- L'hétérogénéité des granulats.
- Le granulat au contact d'une plate-forme rocheuse et dure, s'écrase et se transforme en poudre. [8]

3.2.5.2. Détérioration par pollution

La pollution des granulats accroît la demande en eau, fait chuter les résistances des matériaux composites, augmente les retraits et nuit à la durabilité des bétons. Les éléments de pollution sont essentiellement [8] :

- Les matières organiques : particules de charbon, débris de végétaux..., et les fragments decoquilles.
- Les particules fines d'argile adhérentes au granulat et qui l'isolent du liant.
- Les éléments inertes très fins (qui ne réagissent pas avec la solution, ex silice, calcite, FLD) de 200 µm à 20 µm de diamètre, ce qui les assimilent à des argiles.
- Les sulfates et sulfures, qui provoquent la désagrégation du béton par augmentation du volume (expansion) des parties qui les contiennent.

3.2.5.3. Détérioration par Altération

Sous les effets de l'eau, du climat et d'agents polluants, le granulat subit une altération physico-chimique, comme l'évolution de la granulométrie (apparition des fines) et une baisse des caractéristiques mécaniques.

L'eau agit sur les granulats de différentes manières en provoquant.

La diminution de la portance dans les sols saturés : Dans les cas d'inondations, l'apparition des pressions interstitielles et l'imbibition des matériaux sensibles à l'eau provoquent [8]: Une diminution de la portance, Un poinçonnement, Une remontée des fines.

La réduction de l'élasticité : L'imbibition des granulats lubrifie ce matériau, le frottement grain à grain diminue. Ainsi, le rôle d'amortisseur se trouve réduit du fait de la diminution de son élasticité.

La pollution des agents agressifs : En présence d'agents agressifs comme le gaz carbonique et l'acide sulfurique, les granulats de calcaire, se dissolus.

L'altération par hydratation : L'altération par hydratation entraîne la décomposition de la roche.

Tableau I. 2: Substances indésirables sur l'utilisation des granulats (Arquie & Tourenq , 1990)

Substances polluantes	Les effets possibles
Argiles	Écrans aux liants en raison de leurs grandes surfaces, réduction de la maniabilité
micas	Écran aux liants
coquilles	Faibles adhérence des liants
Hydroxydes de fer	Gonflement avec l'eau
Matières organiques	Fixation de la chaux, imbibition de la prise des ciments
Minéraux altérés où altérables	Formation d'argile, gonflement
Fragments de roche poreux	Absorption d'eau ou de bitume
Fragments de bois, résidus végétaux	Écaillage de surface

3.2.6. Les caractéristiques des granulats

3.2.6.1. Les caractéristiques géologiques

3.2.6.1.1. La composition minéralogique

La connaissance précise de la composition minéralogique nous aide dans le choix des roches des granulats. L'homogénéité de la composition minéralogique est un critère important quant aux caractéristiques mécaniques des roches : si la composition est relativement homogène, elle confère à la roche un bon comportement mécanique. La présence de minéraux altérés (montmorillonite, schiste, marne,) réduit le comportement mécanique de la roche.

3.2.6.1.2. La Texture

La texture est l'agencement et arrangement des minéraux dans les roches ; le comportement mécanique est généralement très bon, pour les roches magmatiques plutoniques qui présentent une texture grenue.

Pour les roches sédimentaires, l'homogénéité de la composition joue un rôle beaucoup plus important que la texture.

3.2.6.1.3. L'altération

C'est le vieillissement naturel d'un matériau et son adaptation à de nouvelles conditions physico-chimiques différentes de celle qui régnaient lors de sa formation. Elle induit des modifications physiques, chimiques et minéralogiques dans les roches.

L'altération dépend de plusieurs facteurs et conduit à des mécanismes très diversifiés :

L'hydrolyse : fixation d'eau provoquant la destruction d'un corps et son remplacement par un autre. Exemples : feldspaths → kaolinite ; Anhydrite (CaSO_4) → gypse

L'altération météorique : à l'échelle du massif, elle se propage de haut en bas et concerne uniquement les parties superficielles, dites stériles.

Altération profonde : dite aussi transformation hydrothermale ; elle se propage de bas en haut et concerne le massif en entier. Les minéraux tels que : les argiles, les hydroxydes de fer, zéolites, la pyrite, le charbon et les inclusions organiques peuvent, dans le cas où ils constitueraient un pourcentage important, avoir des effets néfastes sur les caractéristiques mécaniques des roches.

3.2.6.1.4. La tectonique :

La connaissance de la tectonique nous permettra, d'une part, de situer les roches par rapport aux contraintes de déformation et d'autre part, de retrouver les périodes d'accalmie ayant permis la formation de roches homogènes, massives et dures. [9]

3.2.6.2. Les caractéristiques géotechniques

3.2.6.2.1. Les caractéristiques géométriques

3.2.6.2.1.A. granulométrie

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat. Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être

déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560, 1996). Les dimensions des granulats influent sur la résistance (élasticité) et sur la mise en œuvre.

3.2.6.2.1.B. La classe granulaire

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D . Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné $0/D$.

3.2.6.2.1.C. Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, ce module est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimé en pourcentage sur les tamis d'une série bien déterminée et normalisée. Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en élément fins. [9]

3.2.6.2.1.D. Coefficient d'aplatissement

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrées utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles.

Le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58. La norme (NF P 18-561) définit les modalités de sa mesure.

3.2.6.2.1.E. Forme des granulats

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

La longueur L , distance maximale 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.

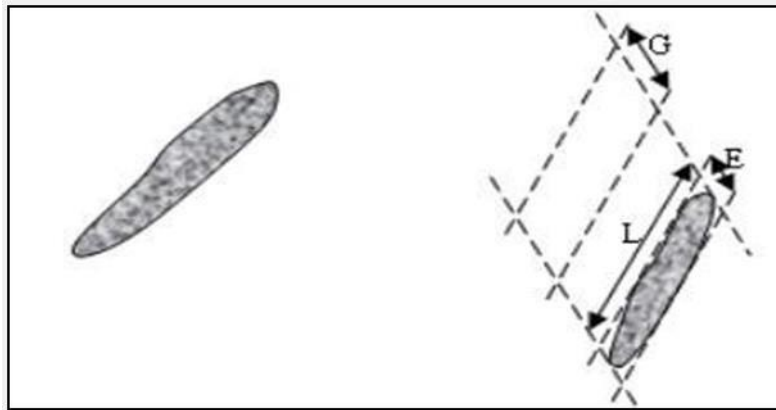


Figure I. 7: Forme d'un granulat

Une bonne angularité des granulats permet d'augmenter le frottement inter granulaire. L'état de surface (degré de rugosité et de friction) de granulats influe sur la résistance mécanique, La compacité et L'adhérence. [9]

3.2.6.3. Les caractéristiques physico-chimiques

3.2.6.3.1. Propreté des granulats

Le granulat doit être débarrassé de toute matière polluante (poussière, fines et débris). Les impuretés entraînent des défauts d'adhérence granulats- pâte.

La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses.

Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 5 mm (tamisage effectué sous eau).

Dans le cas des sables, la propreté est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau, applicable uniquement sur la fraction 0/2mm. Plus la valeur d'équivalent de sable est grande, plus le sable est propre.

La propreté des granulats peut être évaluée par l'essai au « bleu de méthylène » qui exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines. Plus la valeur de bleu de méthylène est petite, plus les sables sont propres. Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer.

3.2.6.3.2. Masse volumique apparente

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis. Elle est comprise entre 1400 kg/m³ et 1600 kg/m³ pour les granulats roulés silico- calcaires. La valeur

apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. [6]

3.2.6.3.3. Porosité

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprime en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers. [6]

3.2.6.3.4. L'absorption d'eau des granulats

La plupart des granulats absorbent l'humidité après avoir été stockés dans un environnement sec pendant un certain temps. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et lui fait prendre du poids s'appelle l'absorption.

Selon la nature du granulat, l'absorption peut varier considérablement. Pour les granulats légers, elle peut varier de 0 % à plus de 30 % en poids sec.

En général, les granulats naturels utilisés pour fabriquer le béton sont peu poreux et absorbent peu d'eau lorsqu'ils sont mélangés avec du ciment et de l'eau. D'autre part, les agrégats artificiels, tels que les agrégats légers d'argile expansée, sont poreux. Lors de la détermination de la quantité d'eau nécessaire à la fabrication du béton, il est nécessaire de prendre en compte l'absorption d'eau par le granulat.

3.2.6.3.5. Les caractéristiques mécaniques

Sont déterminées par des essais visant à reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats.

3.2.6.3.5.A. Résistance à l'usure et à l'attrition des granulats

Il s'agit d'une propriété très importante pour les matériaux utilisés dans les composites chaussée-base, qui sont soumis à des déformations périodiques dues au passage des véhicules et aux effets de frottement entre les granulats.

La résistance à l'abrasion des granulats a été déterminée par essai Micro-Deval en présence d'eau. Le test consiste à reproduire les phénomènes de frottement et d'usure dans un cylindre en rotation. Cette résistance est caractérisée par le coefficient Micro De Waal, MDE, qui représente la proportion d'éléments fins produits lors de l'essai. Plus le coefficient MDE est faible, plus la résistance à l'usure du granulat est élevée.

3.2.6.3.5.B. Résistance à la fragmentation des granulats

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture. La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA)

Il consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques. Le coefficient LA représente la proportion d'éléments fins produits au cours de l'essai. Plus le coefficient, est faible plus la résistance des granulats, est élevée.

3.2.6.3.5.C. Résistance au polissage des granulats

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement, L'essai consiste à soumettre une plaquette courbe constituée d'une mosaïque de granulats 7,2/10 mm au polissage sous l'action d'une roue et l'apport d'un mélange d'eau et d'abrasif. Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.

3.2.6.3.5.D. Résistance des granulats au gel-dégel

La vulnérabilité du granulat est en fonction de trois critères, l'absorption d'eau, la résistance à la fragmentation après l'essai gel-dégel et sa sensibilité au gel. [6]

3.2.6.4. Les caractéristiques chimiques

3.2.6.4.1. Réaction alcali-silice

Dans des conditions où les granulats contenant de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali réaction peuvent provoquer un gonflement.

3.2.6.4.2. Teneur en soufre et en sulfates

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse.

On détermine la teneur en sulfates (SO₃) si S est supérieure à 0,08 %, la teneur en sulfates (SO₃) doit être inférieure à 0,2 %, Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement.

Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène [6].

3.2.6.4.3. Les caractéristiques esthétiques

Les granulats sont disponibles dans une large variété de teintes naturelles.

Tableau I. 3: La teinte des granulats en fonction de l'origine minéralogique

Nature des granulats	Teintes
Calcaires durs	Noir, bleu, rose, beige, blanc, vert
Granites	Jaune, rose, gris, vert
Basaltes	Noir ou bleu-noir
Grès	Gris, rouge, beige
Diorites	Bleu ou rose
Quartzites	Rose, gris, blanc
Silex	Beige ou bistre

Suivant l'origine, les granulats offrent différentes qualités :

Calcaires (marbres, pierres marbrières) : bonne adaptation aux traitements par polissage. Siliceux (quartz, quartzites) : bonne résistance à l'abrasion. Éruptifs et métamorphiques (basaltes, granites, diorites, porphyres) : très grande variété de coloration [10].

3.2.7. Utilisations des granulats dans la construction, les routes, le ballast ferroviaire :

Les utilisations des granulats peuvent être résumées dans les trois catégories suivantes :

- En tant que matériau porteur.
- Comme matériau de remplissage.
- En tant que matériau infiltrant.

3.2.7.1. Utilisations des granulats dans le béton :

Le granulat est un ingrédient essentiel du béton. Les utilisations des granulats dans le béton sont :

- Augmente le volume de béton, donc réduit le coût. Les granulats représentent 60 à 75 % du volume de béton et 79 à 85 % du poids du CCP.
- Fournir une structure rigide.
- Pour réduire le retrait et la fissuration.
- Les granulats de béton sont utilisés dans de nombreuses structures et sous-structures, par ex [1] : différents éléments d'un bâtiment, ponts, fondations.
- Plus la taille du granulat est petite, plus sa surface est grande et plus il faudra de matériau liant (ciment), d'où un coût plus élevé.

- Plus la taille des agrégats est grande, plus les vides seront grands, ce qui entraînera un gaspillage de liant (ciment).
- Par conséquent, un mélange d'agrégats grossiers et fins est utilisé dans le béton pour éviter ces deux problèmes.

3.2.7.2. Utilisations des granulats dans les routes :

Les granulats sont utilisés comme base, sous-couche et/ou surface des routes sous plusieurs formes [1] :

- Stabilisé à l'aide de matériaux cimentaires (mélanges de ciment, cendres volantes, laitier, chaux).
- Stabilisé avec des matériaux bitumineux (bitume ou goudron).
- Stabilisé avec d'autres matériaux (résines, fibres, géosynthétiques, etc.).
- Agrégat recyclé.

Dans les routes, il est également utilisé pour aider à répartir la charge et à aider les eaux souterraines à s'écouler de la route [1].

3.2.8. Propriétés souhaitables des granulats routiers :



Figure I. 8: des granulats routiers (ingénieur Haseeb Jamal - Aug 30, 2017)

Les granulats constituent la majeure partie de la structure de la chaussée. Supportent les contraintes qui se produisent sur les routes et doivent résister à l'usure due à l'action abrasive du trafic. Les granulats sont également utilisés dans les chaussées souples et rigides. Par conséquent, les propriétés des granulats sont d'une importance considérable pour les autoroutes [1] :

- Force
- Dureté
- Durabilité
- Forme des agrégats
- Adhésion au bitumen

A. Force

Les granulats à utiliser dans la construction de routes, en particulier les granulats utilisés dans la couche de roulement de la chaussée, doivent être suffisamment solides/résistants à l'écrasement pour supporter les contraintes élevées induites par les charges de roue de trafic intense.

B. Dureté

Les granulats utilisés dans la couche de roulement sont soumis à un frottement ou à une abrasion constante dus au trafic en mouvement. L'action abrasive peut être augmentée en raison de la présence d'un matériau

abrasif comme le sable entre les pneus du véhicule et les agrégats exposés à la surface supérieure. Ainsi, ils doivent être suffisamment durs pour résister à l'usure due à l'action abrasive du trafic [1].

Les agrégats de la chaussée sont également soumis à des chocs dus aux charges des roues en mouvement. L'ampleur de l'impact augmente avec la rugosité de la route et la vitesse du véhicule. Les chocs violents sont courants lorsque des véhicules à pneus en acier lourdement chargés se déplacent sur WBM. La résistance à l'impact ou la ténacité est donc une autre propriété souhaitable des granulats.

C. Durabilité

Les granulats utilisés dans les routes sont soumis aux actions physiques et chimiques des pluies et des eaux souterraines, de leurs impuretés et de l'atmosphère. Ainsi, il est souhaitable que les pierres de route utilisées dans la construction soient suffisamment solides pour résister à l'action des intempéries. La propriété des granulats de résister aux effets néfastes des intempéries peut être appelée solidité [1].

D. Forme de l'agrégat

Les granulats routiers peuvent être arrondis, anguleux, floconneux ou allongés. Les particules floconneuses et allongées ont moins de résistance que les particules arrondies et cubiques. Ainsi, des particules trop floconneuses et trop allongées doivent être évitées [1].

E. Adhésion au bitume

Les granulats des chaussées bitumineuses doivent avoir moins d'affinité avec l'eau par rapport au bitume, sinon le revêtement bitumineux sur les granulats sera enlevé en présence d'eau.

Afin de décrire l'aptitude des granulats à être utilisés dans la construction de routes, les tests suivants sont utilisés [1] :

- Écrasement
- Abrasion
- Essai de choc
- Solidité
- Test d'adhérence du bitume
- Essai de forme
- Gravité spécifique et absorption d'eau

3.2.8.1. Utilisations des agrégats dans le ballast ferroviaire



Figure I. 9: Agrégats dans le ballast ferroviaire

3.2.8.2. Agrégats dans le ballast ferroviaire :

Les propriétés des granulats utilisés dans le ballast ferroviaire sont très différentes de celles utilisées dans les routes. Les utilisations des granulats dans le ballast ferroviaire comprennent [1]:

Un train entièrement chargé pèse des milliers de tonnes. Pour éviter d'endommager les rails, le sol et les autres structures à proximité, un agrégat très résistant est nécessaire non seulement pour supporter ce poids élevé, mais également pour le répartir et le transférer correctement au sol.

Le ballast ferroviaire est généralement constitué d'une roche ignée dure (concassée), comme le granit, avec un diamètre plus grand variant entre 30 mm et 50 mm. Des particules plus fines que ce diamètre en proportion plus élevée réduiront ses propriétés de drainage. Alors qu'une proportion plus élevée de particules plus grosses entraîne une répartition incorrecte de la charge sur les traverses [1].

autres utilisations comprennent les remblais, les remblais et les applications de drainage et de filtration.

4. Conclusion

Les granulats jouent un rôle très important dans le domaine du génie civil ; Le granulat disparaît dans les ouvrages et est de ce fait, pas connu de tous. Pourtant, il est présent partout dans notre cadre de vie. Ils sont les principaux composants du béton. Ils conditionnent la résistance mécanique du béton et contribuent également à l'aspect esthétique de l'ouvrage. Ils y apportent de la luminosité et de la couleur et peuvent aussi être utilisés en guise de décoration (béton décoratif). On les utilise pour la construction des chaussées. Ces matériaux forment la structure entière des routes. Ils composent la couche de forme et la couche de roulement. Pour ce type de chantier, les constructeurs peuvent les utiliser seuls ou les associer de liant (bitume ou ciment). Pour construire 1 kilomètre d'autoroute, il faut environ 30 000 tonnes de granulats.

Les granulats sont aussi utilisés pour toutes les constructions utilisant du béton : immeuble, poutrelle, dalle, parpaings, etc. Ils y apportent du volume et de la résistance.

Il faut environ 2 tonnes de granulats pour 1 m³ de béton.

enfin, on utilise également les granulats dans la réalisation du ballast de nos voies ferrées. 10 000 tonnes de granulats sont nécessaires pour la construction d'un kilomètre de voie ferrée.

Chapitre II

Les matériaux carbonatés

1. Introduction

Le carbonate de calcium est un composé chimique inorganique largement répandu dans la nature. Il est présent dans de nombreux minéraux, tels que le calcaire, la craie et le marbre. Sa formule chimique est CaCO_3 .

Le carbonate de calcium a une gamme d'applications diverses et est utilisé dans plusieurs industries. Il est couramment utilisé dans l'industrie de la construction pour la fabrication de ciment, de mortier et de béton. Il est également utilisé dans la production de chaux vive et de chaux éteinte, qui sont utilisées dans la construction, la métallurgie, l'agriculture et le traitement de l'eau.

Dans l'industrie manufacturière, le carbonate de calcium est utilisé comme charge ou renfort dans la fabrication de divers produits. Il est utilisé dans la production de papier, de plastiques, de peintures, d'adhésifs et de revêtements pour améliorer les propriétés mécaniques des matériaux et réduire les coûts de production.

Le carbonate de calcium est également utilisé dans l'industrie alimentaire. Il est utilisé comme additif alimentaire pour ses propriétés de texture et son rôle de régulateur de pH. Il est souvent utilisé dans les produits laitiers, les boissons, les céréales et les compléments alimentaires pour apporter du calcium supplémentaire.

En dehors de son utilisation industrielle, le carbonate de calcium est également utilisé dans des applications médicales. Il est utilisé comme supplément de calcium pour traiter les carences en calcium chez les individus, et il peut être prescrit pour le traitement des affections liées à l'ostéoporose.

En résumé, le carbonate de calcium est un composé chimique largement utilisé dans diverses industries et dans notre vie quotidienne. Ses applications vont de la construction à la fabrication, en passant par l'industrie alimentaire et médicale. En raison de ses propriétés et de sa disponibilité abondante dans la nature, le carbonate de calcium joue un rôle essentiel dans de nombreux aspects de notre société.

2. CARBONATE DE CALCIUM [2]

2.3. Définition

- Nom Chimique : carbonate de calcium.
- Formule : CaCO_3
- Poids Moléculaire : 100,09 g/mol
- Forme Cristalline : Calcite rhomboédrique.
- Teneurs moyennes de l'écorce terrestre : 4% en Ca, 7% en CaCO_3 .

2.4. Etat naturel :

Le calcium est surtout présent dans la nature sous forme carbonatée, CaCO_3 , principalement sous forme de calcite ou d'aragonite, dans des roches calcaires (qui par définition, contiennent plus de 50 % de CaCO_3), des dolomies, contenant de la dolomite, $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$, des marnes, contenant de la calcite et de l'argile. Les principaux autres composés naturels du calcium sont: le sulfate de calcium (gypse), principalement utilisé dans la fabrication du plâtre, le phosphate de calcium, principalement utilisé par l'industrie des engrais et le calcium. Tous sont traités dans les chapitres correspondants. Calcaires particuliers : craie (contenant de 90 à 98 % de CaCO_3), castine (fondant utilisé en sidérurgie, métallurgie, verreries...), stalactites, stalagmites, marbre (formé par transformation métamorphique du calcaire). Les dépôts de calcaire abondent presque partout dans le monde, où ils représentent 20 % des roches sédimentaires. Le calcaire est extrait, généralement, à ciel ouvert.

2.5. Contexte géologique :

Les carbonates de calcium utilisés, comme charge, sont généralement obtenus par broyage de roches naturelles par ordre de blancheur croissante tels que les craies, les calcaires et les marbres.



craie

calcaire

marbre

Figure II. 1: Les différentes roches de carbonate de calcium

Un certain nombre d'impuretés peuvent affecter les caractéristiques physiques ou chimiques de ces calcaires, tel que :

- Le carbonate de magnésium (dans les calcaires dolomitiques) ;
- Les argiles (calcaires marneux) ;
- Le quartz (calcaires gréseux) ;
- La silice (cherts ou silex) ;
- Les matières organiques (colorations brunes ou grises) ;
- Les oxydes et sulfures.

2.5.1. Description

C'est une poudre fine, blanche, microcristalline, inodore et insipide. Elle est pratiquement insoluble dans l'eau (14mg/l à 25°C, 18mg/l à 75°C) et l'alcool. La présence de sel d'ammonium

ou de dioxyde de carbone augmente la solubilité dans l'eau, et, la présence d'hydroxyde alcalin la diminue.

- PH : 9 dans une solution diluée à 10% ;
 - La dissociation du carbonate de calcium ou décarbonatation, sous l'effet de la chaleur sepratique environ vers 900°C ; il faut environ 396 Kcal/kg de CaCO₃.
 - CaCO₃ + chaleur* vers 900°C ---> CaO (oxyde de calcium) + CO₂(gaz carbonique)
 - Stabilité du produit: produit stable dans les conditions normales d'utilisation et de stockage ;
 - Produits non toxiques ;
 - Produits non dangereux pour l'environnement ;
 - Condition de Stockage : Stocker à l'abri de l'humidité et assurer une bonne ventilation du local;
 - Masse volumique absolue : MVA (kg/m³) = 2.7 ;
 - Module de déformation : E= 80000 MPa.
- Les caractéristiques des carbonates de calcium utilisés, comme charges minérales, dépenentessentiellement de l'utilisation visée :
- Les charges, grossières (20 à 45µm), sont utilisées en raison de leur densité et de leur prix peuélevé (moquettes) ;
 - Les charges, de granulométrie moyenne (10 à 20µm), contribuent à l'augmentation de la blancheur et à réduire les prix (mastics, adhésifs) ;
 - Les charges fines (3 à 10µm) et ultrafines (0.5 à 2µm), permettent d'améliorer les résistances techniques et électriques, la densité, la couleur et l'opacité, ou de résoudre certains problèmes de fabrication (papier, plastiques, peintures).

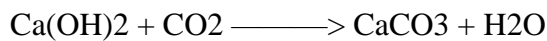
3. Domaine d'application du carbonate de calcium [11], [15],[16]

Le carbonate de calcium constitue la matière première principale dans plusieurs applications. En fonction de la qualité du minerai et des exigences techniques, le carbonate de calcium est utilisé comme charge ou comme matière de base.

3.1. Critères physiques et chimiques

Les principaux critères physico-chimiques pour un carbonate de calcium de qualité sont sa teneur en CaCO_3 , ses teneurs limites en éléments nuisibles, son degré de blancheur, sa granulométrie et son taux d'humidité. Selon son degré d'élaboration, le carbonate de calcium est utilisé dans des activités, à savoir dans :

➤ **Les industries de transformation** : En qualité de charge, il rentre dans la fabrication: De la peinture, des enduits, des mastics; Des caoutchoucs et plastiques; De la chaux; Du carbonate de calcium précipité ; (PCC) : CaCO_3 est également produit synthétiquement, en quantités nettement moins importantes, par précipitation du lait de chaux purifié, à l'aide de CO_2 (voir un schéma de production sur le site Solvay) selon, la réaction :



- La fabrication du ciment ;
- Dans les alliages à base de titane.
- Pour l'amendement des sols acides .

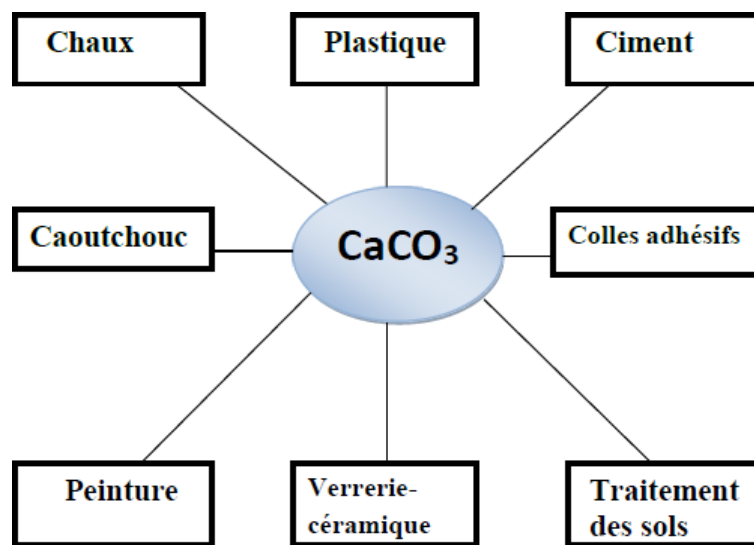
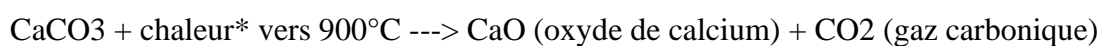


Figure II. 2:Schéma de différentes utilisations du carbonate de calcium

4. OXYDE DE CALCIUM [15],[18]

4.1. Définition

L'oxyde (chaux vive) est obtenu par calcination du calcaire, entre 900 et 1400°C (une température basse donne une chaux plus réactive) dans différents types de fours rotatifs et verticaux

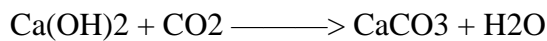


La chaux vive obtenue est un solide poreux, avec une porosité, pouvant varier de 25 à 55 %. Elle doit être stockée à l'abri de l'humidité et de l'air, car l'humidité atmosphérique donne de

l'hydroxyde, qui, en présence de dioxyde de carbone atmosphérique, produit du carbonate et libère de l'eau qui éteint d'autant plus la chaux vive.

4.2. Différents types de chaux :

Chaux grasses (> 90 % de CaO) : obtenues à partir de calcaire pur (> 95 % de CaCO₃), donnent de l'onctuosité aux mortiers, lorsqu'elles sont utilisées en construction. Chaux maigres : obtenues à partir de calcaire moins pur. Utilisées en construction, ces chaux (appelées chaux aériennes) peuvent fixer le CO₂ de l'air, pour redonner du carbonate de calcium, selon la réaction :



- Chaux hydrauliques naturelles : obtenues à partir de calcaire, contenant jusqu'à 22 % d'argile qui, lors de la calcination donne des silicates et aluminates de calcium, faisant prise par hydratation, selon les mêmes réactions que la prise d'un ciment.
- Chaux magnésiennes (5 % < MgO < 34 %) ou dolomitiques (34 % < MgO < 41,6 %), obtenues à partir de calcaire magnésien ou de dolomie. Elles contiennent MgO ou Mg(OH)₂, après hydratation.

4.3. Utilisation de la chaux

Produit entièrement naturel, connu depuis fort longtemps, les chaux connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt dans le bâtiment mais ont toujours connu un grand nombre d'utilisations :

- La sidérurgie ;
- le traitement des eaux et des fumées ;
- le traitement des sols en place ;
- la Métallurgie. Elle est également utilisée, lors de la lixiviation cyanurée des minerais d'or, afin de maintenir en permanence un pH basique ;
- la Chimie : utilisée en pétrochimie et pour produire le carbure de calcium, le carbonate de calcium précipité, l'hypochlorite de calcium, etc. L'obtention de pH basiques, pour la flottation des minerais, le traitement des eaux...
- la Pâte à papier: pour régénérer la solution de soude et de sulfate de sodium, qui se transforme en carbonate de sodium, lors de la séparation de la cellulose

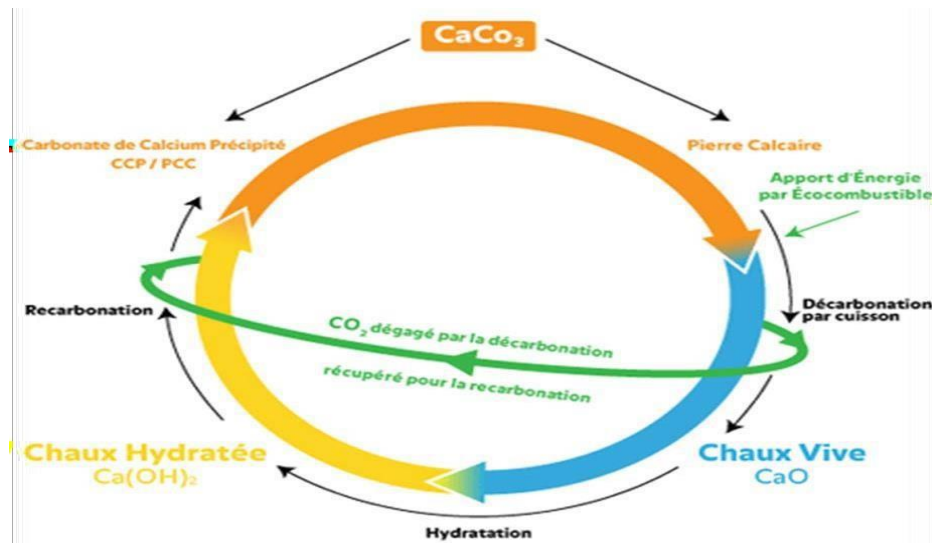


Figure II. 3: Le cycle de la chaux

5. IDENTIFICATION DU GISEMENT DE DJEBEL EL MADJENE

5.1. PREAMBULE

Ce rapport expose les résultats de travaux de recherches géologiques et synthétise l'ensemble des travaux géologiques réalisés sur le gisement de calcaire de Djebel Madjene sous permis d'exploration de carrière qui porte le N°7191PXC, commune d'Ouled Rahmoune, Wilaya de Constantine et cela conformément à la disposition de la loi minière N° 14-05 du 24 Février 2014 pour l'élaboration du rapport géologique. Les travaux effectués comportent essentiellement des travaux de surfaces itinéraires pédestre, bibliographie sur la région d'étude, levé topographique, des analyses de laboratoire et sondages électriques verticaux "SEV" afin d'évaluer qualitativement et quantitativement les réserves géologiques sur place, en tenant compte des conditions technico-minières du gisement. Les réserves géologiques ont été évaluées sur la base du plan topographique échelle 1/1000 et des limites du périmètre d'exploitation octroyé.

Les réserves de calcaire contenues à l'échelle du périmètre ont été évaluées en catégorie C1. Toutes les analyses et essais ont été tirés à partir des travaux réalisés par Laboratoire CETIM de Boumerdès.

5.2. DONNEES REGIONALES

5.2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE

Constantine se situe entre latitude $36^\circ 17'$ et la longitude $6^\circ 37'$ en plein centre de l'Est algérien, précisément à 245 km des frontières algéro-tunisiennes, à 431 km de la capitale Alger vers l'Ouest, à 89 km de Skikda vers le Nord et à 235 km de Biskra vers le Sud.

Elle est bâtie sur un majestueux ROCHER situé sur les deux côtés de OUED RHUMEL, elle est ainsi cernée par de véritables obstacles naturels ; les repères géographiques montrent que la région n'est pas homogène par rapport à sa position et par rapport au niveau de la mer. Elle se situe entre les deux lignes KENTOUR 400 et 800 m et 1200 m vers le Sud. Du fait de ses potentialités économiques et sociales, la wilaya de Constantine se place parmi les wilayas les plus importantes du pays, elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 2297,20 Km².

La wilaya de Constantine se situe à l'est du pays et limitée de :

- Au nord par la wilaya de Skikda ;
- À l'est par la wilaya de Guelma ;
- À l'ouest par la wilaya de Mila ;
- Au Sud par la wilaya d'Oum el Bouaghi.

5.2.2. GEOMORPHOLOGIE, HYDROGRAPHIE, HYDROGEOLOGIE ET CLIMAT:

5.2.2.1. GEOMORPHOLOGIE

Le relief de la wilaya est structuré en trois grandes zones dont les caractéristiques physiques sont les suivantes :

- La zone montagneuse au nord

Ces formations sont le prolongement de la chaîne tellienne qui s'abaisse vers l'Est .elles prennent des directions d'ensemble Sud-Ouest et Nord-Est qui sont dominées respectivement par le mont de Chettaba et le massif de Djebel Ouahch. A l'extrême Nord aux limites de la wilaya de Mila et Skikda on trouve le mont Sidi Driss qui culmine à 1364 m d'altitude.

- La zone des bassins intérieurs

Cet ensemble en forme de dépression s'étend d'Est-Ouest de Ferdjioua dans la wilaya de Mila à Zighoud-Youcef. Elle est limitée au Sud par les hautes plaines avec une altitude variant de 500 à 600 m; cet ensemble composée de basses collines est entrecoupé par les vallées du RHUMEL et de Boumerzoug.

- La zone des hautes plaines

Située en Sud-Est de la wilaya entre les chaînes intérieures de l'atlas tellien et l'atlas saharien, elles s'étendent sur les communes de Ain Abid et Ouled Rahmoune.

5.2.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROGEOLOGIE

La région de Constantine reçoit entre 400 et 600 mm de pluies par an. Le potentiel hydrique a été renforcé par l'entrée en production du barrage de Beni- Haroune dans la Wilaya de Mila.

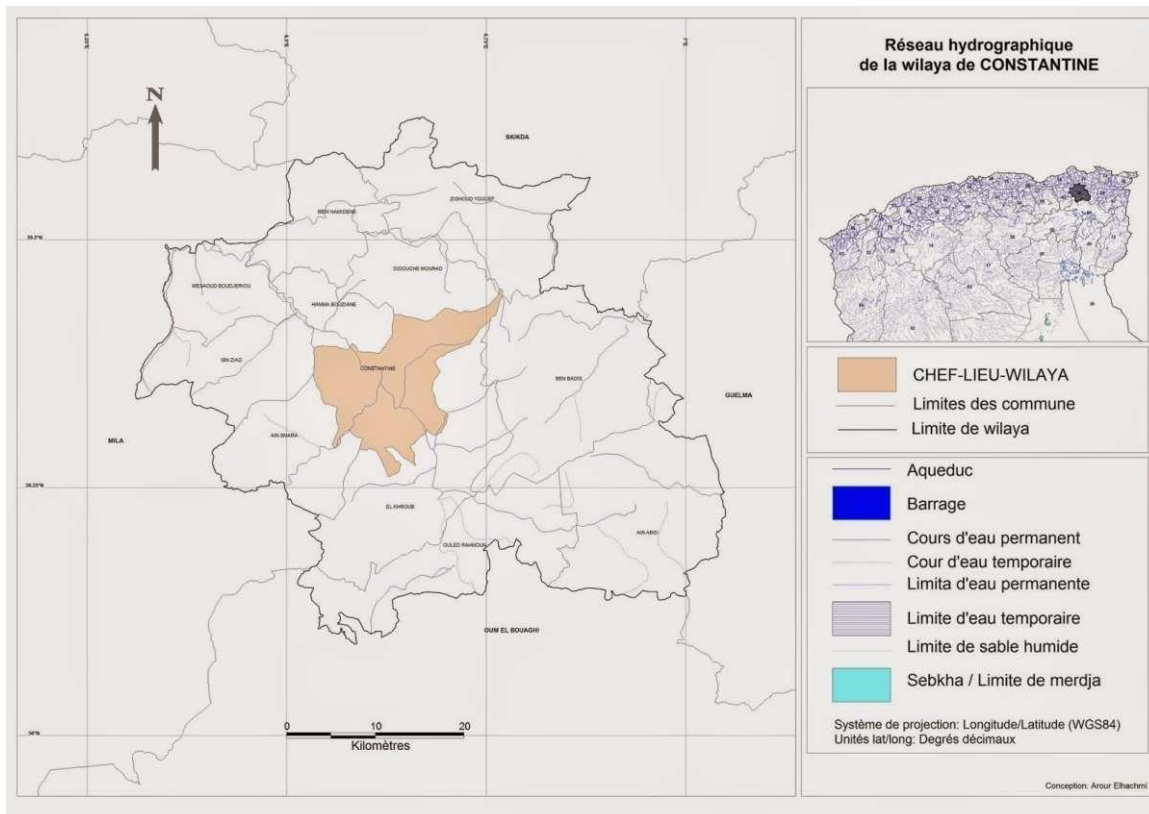


Figure II. 4: Réseau hydrographique de la wilaya de Constantine

Le réseau hydrographique de cette région est dense, il est composé essentiellement par Oued Bou Merzoug et ses affluents, Oued Berda, Oued Tarf, Oued Mehiris et Oued Ouarka. La région de Constantine elle-même est le point de confluence de deux principaux cours d'eau. Oued Bou Merzoug (de direction N-S en amont puis devient NW-SE en aval) et Oued Rhumel (direction varie le long de son parcours) et qui traverse les gorges de Constantine. Le ravinement intense de la région forme les affluents des deux Oueds, parmi ces affluents, on trouve Oueds Athmènia, Seguin, Ziad et Smendou qui convergent tous vers Oued Rhumel, et Oueds El Klab, Melah, Berda et affluent Oued Bou Merzoug. Oued Hamimine qui Ce qu'il faut noter c'est la faiblesse de leurs débits, voir l'assèchement en période des grandes chaleurs. Par contre en période pluvieuse ; la violence des pluies fait souvent que le débit des Oueds atteint des pointes record, pour retomber quelques jours plus tard à un niveau assez bas. Le climat de la wilaya de Constantine est méditerranéen avec des températures mensuelles très voisines de celles que l'on peut rencontrer à Madrid. La moyenne pluviométrique varie de 500 mm à 700 mm par an. Données climatiques à Constantine.

Données climatiques à Constantine.

Mois année	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	
Température minimale moyenne (°C)	2	3	4	6	10	15	17	18	15	11	6	3	9
Température moyenne (°C)	7	8	10	12	16	21	25	25	21	16	11	8	15
Température maximale moyenne (°C)	1	12	14	17	22	28	32	32	27	22	16	12	21
Record de froid (°C)	-3	-3	-2	-2	-2	1	5	8	10	7	2	-3	-3
Record de chaleur(°C)	2	27	27	30	35	41	41	41	38	36	27	27	41
Précipitations (mm)	0	60	60	50	40	20	0	10	20	40	50	80	560

Source : Weatherbase, statistiques sur 20 ans⁹.

5.2.4. APERÇU GEOLOGIQUE REGIONAL STRATIGRAPHIE ET LITHOLOGIE :

Les massifs du constantinois appartiennent aux domaines externes de la chaîne des maghrébides. Il s'agit essentiellement de formations calcaires Jurassico-crétacé et une couverture marno-calcaire d'âge Sénonien supérieur à Eocène.

Il se présente en pointement diapirique et en lames éjectées le long des accidents.

Il s'agit de masses de gypses et d'argiles très caractéristique qui contiennent le plus souvent des blocs calcaire-dolomitiques, des marnes bariolées verdâtres, des minéraux libres tels le quartz et des dolomites.

• La Jurassique

Il affleure en bordure des massifs du Djebel Kheneg, du Djebel Akhal, au nord de Constantine et dans les massifs d'Ain M'lila;

Il s'agit en général de dolomies et de calcaires à silex, dont la puissance peut dépasser 600m. Ces formations sont localement associées à des calcaires massifs oolithiques et parfois à des marnes.

• crétacé

Le néocomien débute au-dessus d'un Hard grounds au Dj Kheneg, au Dj Friktia, et au Dj Kerker. Il s'agit d'une épaisse série de marnes, de calcaires argileux et de marno-calcaires contenant des niveaux jaunes d'Ammonite pyriteuses. L'épaisseur de ces niveaux ne dépasse pas les 250m.

• Barrémien :

Le barrémien affleure dans les massifs du Djebel Kheneg, du Dj Chettabah, du Dj Felten et du Dj Oum Settas. Il est représenté par une épaisse série de calcaires massifs, clairs dans lesquelles s'intercalent de rares passées de marnes grises.

Les calcaires contiennent une riche microfaune dont les Lithoïdes.

- **L'Aptien :**

Il est représenté par des calcaires homogènes comprenant une série épaisse de calcaires gris en bancs réguliers très riche en Miliolidés et débris de rudistes.

- **L'Albien- Vraconien :**

Décrit par T.Raven (1957) dans le massif de l'Oum settas, il est constitué de marnes, marnocalcaires et légèrement phosphates. L'ensemble de la série ne dépasse jamais 100 mètres.

- **Cénomaniens :**

Il est représenté dans les massifs du Kheneg, du Grouz, du Felten, du Rocher de Constantine, et Dj Kellal et de l'Oum settas, par une épaisse série de calcaires blancs massifs associés à des barres biodétritiques à rudistes, des niveaux de biomicrites à Miliolidés et localement des calcaires rubanés.

- **Turonien :**

Le Turonien montre dans le rocher de Constantine, dans les massifs de l'Oum settas et du Felten une lithologie comparable à celle du cénomanien. Il comprend des calcaires rubanés, incluant de grosses barres de calcaires massifs clairs à rudistes (Radiolarites, Hippurite) et à minces intercalations des calcaires sombres.

- **Le Sénonien inférieur :**

Le sénonien inférieur est essentiellement marno-calcaires. Au niveau du synclinal du Texas, il montre une épaisse série marno-calcaire et des marnes à Globotruncana dans laquelle sont localement signalés des niveaux à Ammonites et à Huitres.

- **Le Sénonien supérieur :**

Il est représenté par des formations marno-Calcaires. Il peut reposer en discordance sur plusieurs termes inférieurs d'âge différents (Aptien à Turonien).

Au Nord et au Nord-ouest du massif de l'Oum Settas, dans le Rocher de Constantine et plus au N-E dans les massifs de Guelma, le sénonien supérieur est représenté par une série condensée de calcaires biomicritiques.

- **Paléogène :**

Le paléocène est représenté par des formations marneuses faisant suite aux séries du Maestrichtien. Les affleurements les plus septentrionaux des zones externes comportent une centaine de mètres de marnes noires dans lesquelles s'intercalent des calcaires en boules jaunes. Le sommet de la série est souligné par des calcaires à concrétions phosphatées et des marnes à Globigerinides.

- **L'Eocène :**

Au environ de Constantine, l'écène est représenté par une série épaisse à dominance calcaire. Cette série débute par des marno-calcaires, des calcaires bitumineux à rognons et lits de silex noirs, puis des calcaires phosphatés attribués à l'yprésien.

Par dessus cet ensemble, vient une puissantesérie de marnes brunes à passées calcaires jaunes parfois lumachéliques du Lutétien.

- **L'Oligocène :**

Les rares affleurements attribués à l'Oligocène, décrits à Kherrata, à Djemila, à oued Zenati et à l'Est



Figure II. 5:EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE L'ALGERIE EL KHROUB ECHELLE 1/ 50 000

6. IDENTIFICATION DU MINERAI DE CARBONATE DE CALCIUM ECHANTILLONNAGE

Dans le cadre d'essais d'enrichissement du minerai de carbonate de calcium du gisement de Djebel El Madjène (W. Constantine), pour une éventuelle utilisation dans l'industrie chimique (carbonate de calcium, chaux), des échantillons ont été prélevé.

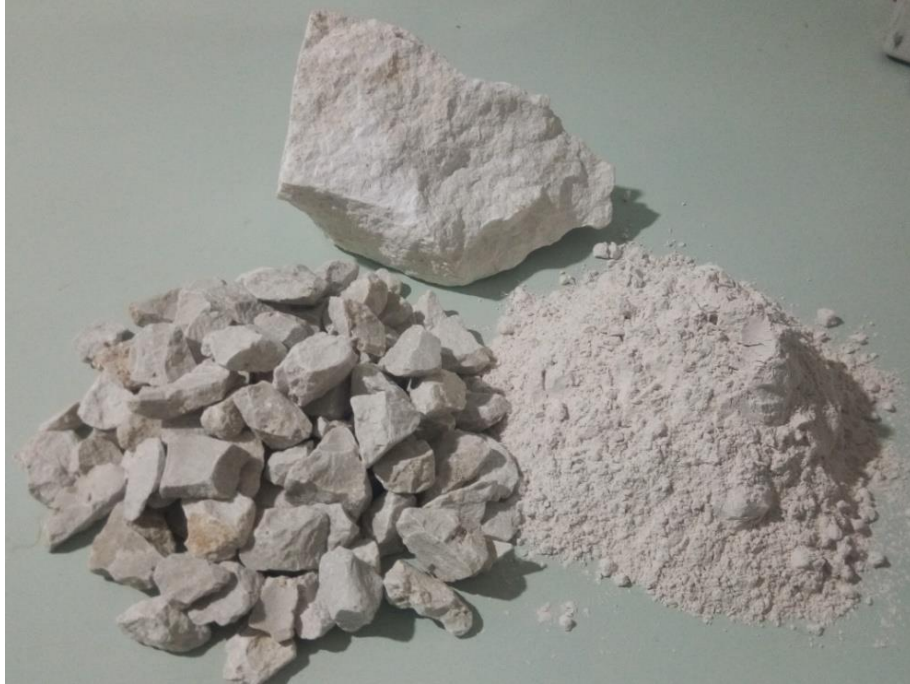


Figure II. 6: échantillons (CARRIERE COSIDER-CONSTANTINE :Mai 2023)

7. CONCLUSION

L'objectif de cette étude préliminaire a consisté à produire du carbonate de calcium et de la chaux, répondant aux normes, afin d'être utilisé dans diverses industries (ciment, peinture, papier, pharmacie, métallurgie....). Notre étude a porté sur des échantillons de CaCO_3 , provenant du gisement du Djebel El Madjène. Comme recommandation, il est donc nécessaire de pratiquer un dépoussiérage. Généralement, le bâtiment présente une structure adéquate pour faire face aux sollicitations sismiques de la zone, mais des mesures supplémentaires, notamment une évaluation structurale détaillée, doivent être prises pour garantir sa sécurité et sa conformité aux normes professionnelles en vigueur.

Chapitre III

Les matériaux employés et les différents essais réalisés

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les matériaux utilisés pour la préparation de nos bétons et mortier ainsi que leurs caractéristiques qui est composé principalement de calcite (carbonate de calcium - CaCO_3). On produit les granulats calcaires par l'écrasement de roche sédimentaire - calcaire, Agrégats de calcaire (parfois appelés chaux ou agrégat de dolomite) est l'un des principaux types de granulats que, outre le gravier et les types de granit est utilisé dans la construction de routes et dans la production d'objets en béton armé.

Les procédures relatives à la préparation et à la confection des bétons testés sont aussi présentées. Nous décrivons par la suite les méthodes expérimentales préconisées, nous citons l'affaissement au cône d'Abrams pour les bétons ordinaires à l'état frais, l'étalement pour les mortiers témoin, la résistance à la compression et à la traction par flexion du béton à l'état durci.

2. Caractérisation et formulation :

Nous allons présenter dans cette partie, les caractéristiques essentielles des différents Constituants du béton et mortier.

2.1. Caractéristique des matières premières utilisant :

2.1.1. Caractéristique du Gravier :

Les fractions de graviers utilisés dans notre étude expérimentale pour la confection des différents types de béton sont : Gravier blanche et noire



Figure III. 1: Différents types de graviers

2.1.1.1. Analyse granulométrique par tamisage [NF P 18-560] :

2.1.1.1.1. But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

2.1.1.1.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique.

2.1.1.1.3. Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à $0.2D$, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres [1].

2.1.1.1.3.A. Gravier 15/25 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravier (15/25), représentés dans le tableau.

Tableau III.1: Résultat de l'analyse granulométrique de gravier (15/25)

Tamis (mm)	Gravier 15/25			
	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
25	37.8	37.8	0.95	99.05
20	525.4	563.2	14.08	85.92
16	2643.6	3206.8	80.17	19.83
12.5	757.2	3964	99.1	0.9
10	8	3972	99.3	0.7
8	4	3976	99.4	0.6
6.3	4	3980	99.5	0.5
Fond	0	-	-	-

Gravier 8/15 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravier (8/15), représentés dans le tableau :

Tableau III. 2:Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15)

Tamis (mm)	Gravier 8/15			
	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	32.12	32.12	1.07	98.93
12.5	573.58	605.7	20.19	79.81
10	1104.9	1710.6	57.02	42.98
8	814.8	2525.4	84.18	15.82
6.3	390.6	2916	97.2	2.8
5	51	2967	98.9	1.1
4	3	2970	99	1
2.5	2	2972	99	1
Fond	0	-	-	-

Gravier 3/8 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (3/8),représentés dans le tableau.

Tableau III. 3:Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (3/8)

Tamis (mm)	Gravier 3/8			
	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	24.20	24.20	0.8	99.20
6.3	382.3	406.5	13.55	86.45
5	1174.5	1581	52.7	47.3
4	1056	2637	87.9	12.1
2.5	297	2934	97.8	2.2
2	3	2937	97.9	2.1
1.25	2	2939	97.9	2.1
Fond	0	-	-	-

Sable 0/4 :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (0/4),représentés dans le tableau (III. 4) .

Tableau III. 5: Résultat de l'analyse granulométrique de sable (0/4)

Tamis (mm)	sable 0/4			
	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
4	39	39	1.3	98.7
2.5	693	732	24.4	75.6
2	252	984	32.8	67.2
1.25	537	1521	50.7	49.3
1	186	1707	56.9	43.1
0.63	339	2046	68.2	31.8
0.5	93	2139	71.3	28.7
0.315	177	2316	77.2	22.8
0.25	87	2403	80.1	19.9
0.16	99	2502	83.4	16.6
0.125	45	2547	84.9	15.1
0.08	48	2595	86.5	13.5
0.063	9	2604	86.8	13.2
Fond	0	-	-	-

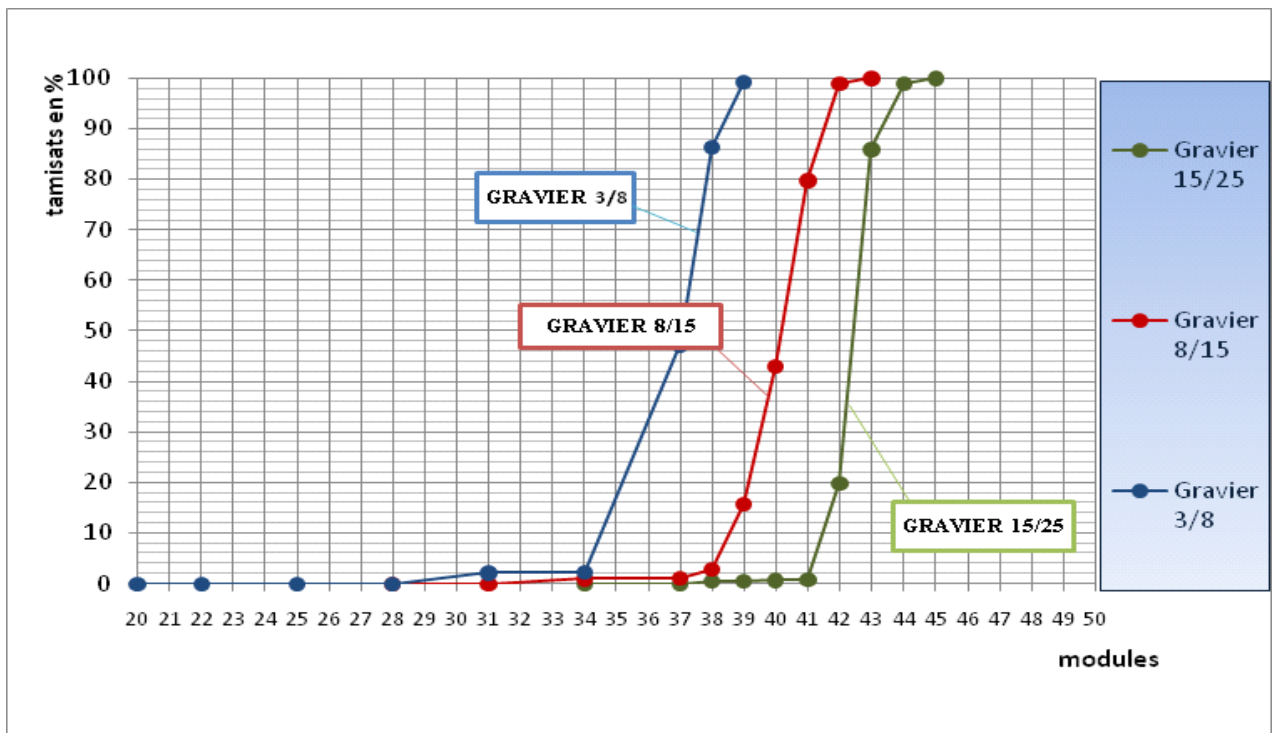


Figure III. 2: courbe granulométrique du gravier

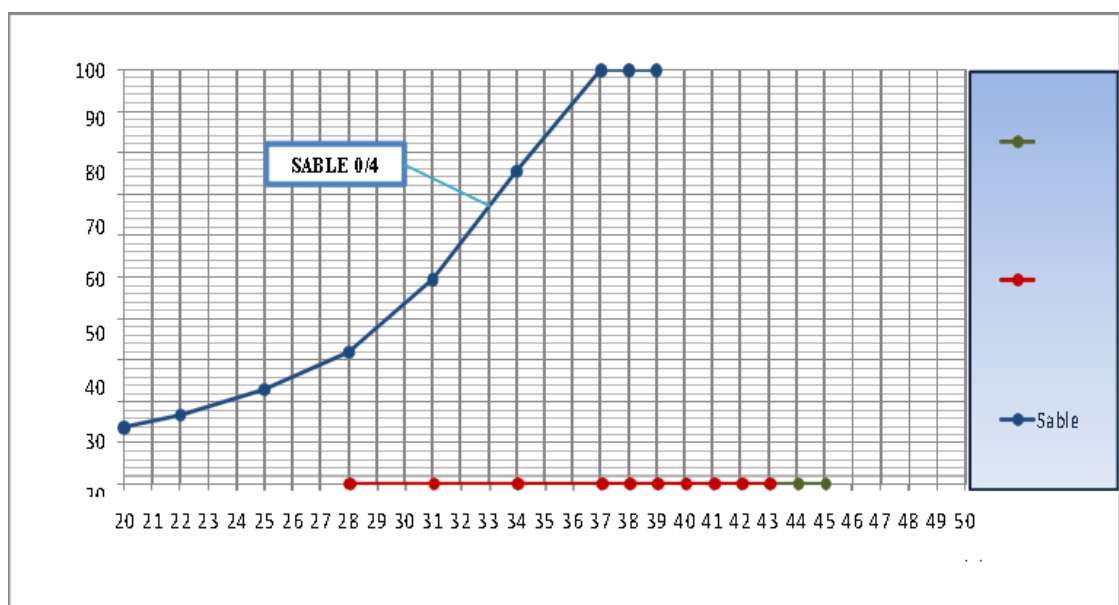


Figure III. 3: courbe granulométrique du sable

Tableau III. 6: Résultat de l'analyse granulométrique de GNT (0/31.5)

Tamis (mm)	sable 0/4			Tamisât (%)
	Refus partiel (g)	Refus cumule		
		(g)	(%)	
80	0	0	0	100
50	0	0	0	100
40	0	0	0	100

31.5	0	0	0	100
25	0	0	0	100
20	100	100	2	98
16	800	900	18	82
12.5	600	1500	30	70
10	300	1800	36	64
8	400	2200	44	56
6.3	500	2700	54	46
5	550	3250	65	35
4	150	3400	68	32
2	500	3900	78	22
1	350	4250	85	15
0.4	250	4500	90	10
0.2	200	4700	94	6
0.08	150	4850	97	3
Fond	0	-	-	-

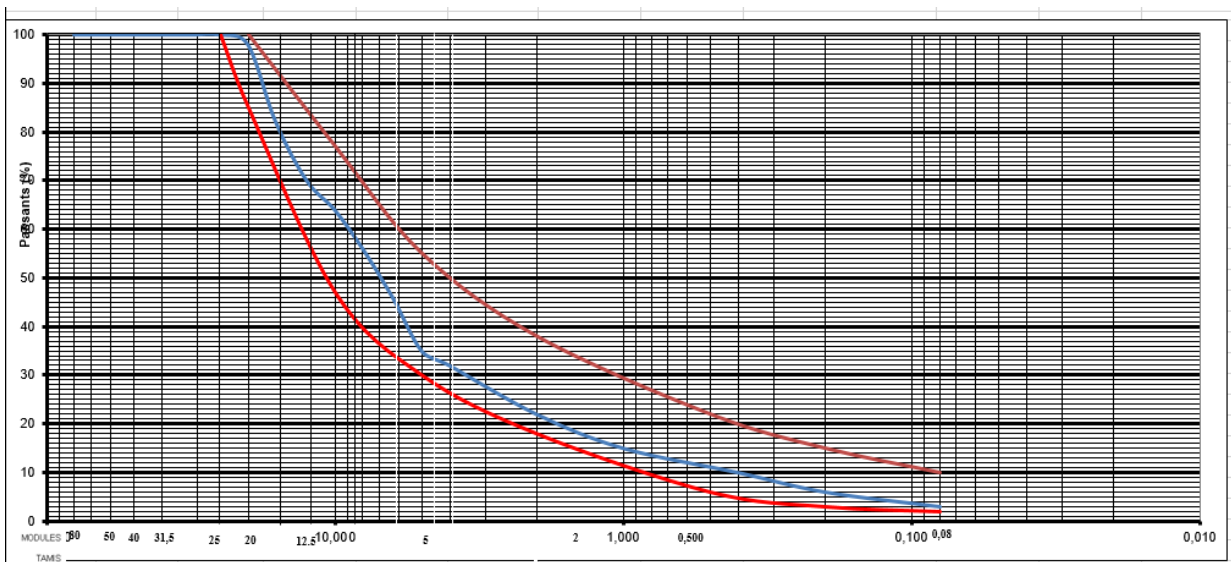


Figure III. 4: courbe granulométrique du GNT

2.1.1.2. La densité :

En sens physique : c'est le degré de remplissage de la masse d'un corps par la matière solide. Elle est calculée par le rapport de la masse volumique de ces matériaux à celle de l'eau à une température elle est exprimée sans unité.

2.1.1.2.1. Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps.

Il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité : une densité est le quotient entre la masse d'un certain volume d'un matériau et la masse du même volume d'eau à 4 °C, c'est – à – dire une grandeur sans unité. Comme il existe le volume apparent et le volume absolu, on distinguera :

2.1.1.2.2. Masse volumique apparente (γ) : (NF P 18 554)

C'est la masse d'un corps par unité de volume total y compris des vides entre les grains de constituants.

Tableau III. 7: Masse volumique apparente du gravier utilisée

Fraction	V (cm ³)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	γ_{app} (g/cm ³)	γ_{app} (moy) (g/cm ³)
3/8	5000	3616	10400	1.31	1.32
			10300	1.33	
			10300	1.33	
8/15	5000	3616	10200	1.31	1.33
			10300	1.33	
			10500	1.37	
15/20	5000	3616	10400	1.35	1.34
			10300	1.33	
			10400	1.35	

2.1.1.2.3. La masse volumique absolue (ρ) :

La masse volumique absolue (spécifique) (est la masse d'un corps par unité devolume de la matière pleine sans aucun vide entre les grains.

Tableau III. 8: Masse volumiques absolues des gravies utilisée

Fraction	M (g)	$V_1 (cm^3)$	$V_2 (cm^3)$	$\rho_{app}(cm^3)$	ρ_{appmoy} (g/cm^3)
3/8	300	400	530	2.3	2.36
			520	2.5	
			530	2.3	
8/15	300	400	520	2.5	2.43
			530	2.3	
			520	2.5	
15/25	300	400	520	2.5	2.57
			510	2.72	
			520	2.5	

2.1.1.3. Porosité : (NF EN 1097-3)

La porosité est l'ensemble des vides (pores) dans un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). Le calcul de la porosité est exprimé généralement par le rapport du volume des vides au volume du matériau

C'est le rapport du volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

Détermination de la porosité : $P\% = (1 - M_0) / V$

Avec $V = M_0 / \rho_{ab}$ ρ_{ab} : masse volumique absolue
Alors $P\% = [(1 - M_0) / M_0 * \rho_{ab}] * 100$

100

En peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

2.1.1.4. La compacité :

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle exprime en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

2.1.1.5. Indice de vide :

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains. V : étant le volume total occupé par les granulats.

$$E(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Tableau III. 9: la porosité, la compacité et l'indice des vides

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	Indice des vides e (%)
(8/15)	44.03	55.97	0.786
(15/25)	50.72	49.28	1.02
(3/8)	41,2	62,40	0,53

Essai d'usure Micro-Deval (NF P 18-572)

L'essai micro-deval permet de mesurer la résistance à l'usure des matériaux granulaires utilisés dans le domaine de bâtiment et des travaux publics, selon la norme NF P 18-572 (1990).

Dans notre cas, l'essai permet la détermination de la résistance à l'usure des matériaux en présence d'eau, pour étudier le comportement du matériau dans les plus mauvaises conditions climatiques.

Le coefficient Micro-Deval (MDE) est critère de classification des sols granulaires et matériaux rocheux. Plus le pourcentage d'usure est faible, plus l'échantillon est



Figure III. 5: Appareillage Micro Deval



Figure III. 6: Résultat Essai Micro Deval

résistant à l'usure.

- Le coefficient micro-deval s'exprime par la formule

$$M_{DE} = \frac{M - M'}{M} \times 100$$

Avec :

M : Masse sèche totale de l'échantillon soumis

à l'essai . M = 500g .

M : masse de refus de 1,6 m.

Plus le coefficient MDE est élevé, moins le matériau est résistant à l'usure.

Les résultats obtenus sont interprétés en se référant aux valeurs présentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 10: Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval (NF P18-572, 1990)

Coefficient MDE	Appréciation
< 10	Très bon à bon
10 à 20	Bon à moyen
20 à 35	Moyen à faible
>35	Médiocre

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.11: Les résultats Micro Deval des deux échantillons

Echantillons	Fraction en mm	MDE en %
Echantillon n°1	10-25	38,00
Echantillon n°2	16 – 31,5	36,00

L'essai Micro-Deval réalisé sur l'échantillon n°1 a présenté des valeurs de coefficient MDE = 38,00 % et l'échantillon n°2 a présenté des valeurs de coefficient MDE = 36,00 %.

En se basant sur les valeurs de références présentées dans le tableau IV.3, le matériau peut être classé comme un matériau médiocre qui résiste mal à l'usure en présence d'eau. Pour ce type de sollicitations, le matériau est déconseillé ou à utiliser après un traitement éventuel en couches inférieures où les matériaux sont moins exposés à l'usure et à l'eau.

2.1.2. Essai Los Angeles (NF P 18-573)

La mesure de la résistance à la fragmentation par choc est destinée à évaluer des granulats à se fragmenter sous l'action du trafic. Seul l'essai Los Angeles est pris en compte pour la définition des catégories de résistance mécanique normalisée, selon la norme NF P 18-573 (1990).



Figure III. 7: Appareillage Los Angeles (LABO GEO ARIF-SETIF :Mai 2023)

Tableau III.12: Tableau de référence des valeurs de Los Angeles (NF P 18-573, 1990)

Coefficient LA	Appréciation
< 15	Très bon à Bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 40	Moyen à faible
>40	Médiocre

L'essai Los Angeles réalisé sur l'échantillon n°1 a présenté un coefficient (LA) 40,50% sur la fraction (10 - 25) mm. Ces valeurs sont supérieures à 40, ce qui signifie que nous sommes en présence d'un matériau médiocre, qui résiste mal à chocs. L'échantillon n°2 présente une moyenne à faible résistance aux chocs avec un coefficient (LA) de 36,20 % sur la fraction (16 – 31.5) mm. On peut constater ainsi, que la granulométrie peut influencer même légèrement, sur la résistance aux chocs d'un matériau.

Tableau III. 13: Coefficients LA et MDE pour les différents échantillons

Echantillons	Fraction(mm)	LA(%)	MDE(%)	MDE+LA(%)	Catégorie
Echantillon n°1	10 - 25	40,50	38,00	78,50	E
Echantillon n°2	16 – 31,5	36,20	36,00	72,20	E

D'après le tableau (III.12) et les résultats des essais réalisés, nous pouvons dire que :

On constate que les deux échantillons n°1 et n°2 présente une valeur élevée (MDE+LA < 80), donc on peut le classer dans la catégorie E.

Ce type de matériaux peut être utilisé en couches de chaussées, avec ou sans traitement, à définir selon le trafic.

2.2. Calcul de la composition du béton :

2.2.1. Méthode de calcul de la composition du béton :

Le calcul de la composition du béton a pour le but de déterminer le dosage en ciment, granulats et eau pour un dosage de 1 m³ de béton frais afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique voulue.

➤ D'après la Méthode de DREUX GORISSE :

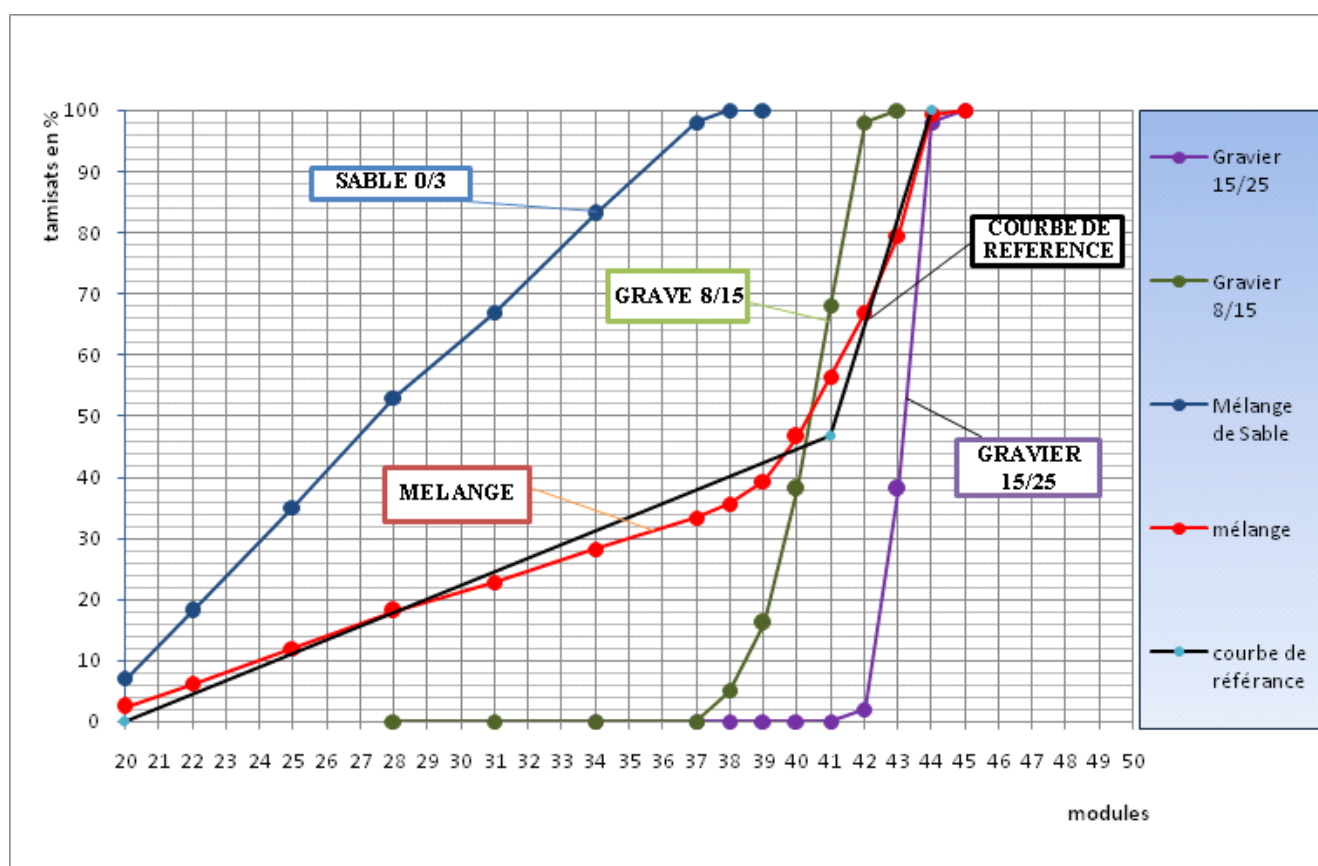


Figure III.8: courbe de mélange (Méthode de DREUX GORISSE)

2.2.2. Volume de mélange d'essais :

Béton ordinaire :

Volume du gâchage pour 6 éprouvettes cubiques

(10×10×10) cm³ :

- Pour une éprouvette :

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.001 \text{ m}^3$$

Pour 6 éprouvettes :

$$V = 0.001 \times 6 = 0.006 \text{ m}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

➤ **la composition du béton pour 1m³**

Tableau III.14: composition de mélange pour 6 éprouvettes cubiques d'un béton ordinaire

Ciment (Kg)	L'eau (Kg)	Sable (Kg)	Pierre concassé		Masse Volumique Total du Béton (6 épreuve) (kg)
			(8/15) (Kg)	(15/25) (Kg)	
2,1	1,31	3,84	2,9	3,63	13,8

➤ Volume du gâchage pour 6 éprouvettes cylindrique (16× 32) cm³

Pour une éprouvette :

$$V = \pi \times R^2 \times H = 3.14 \times 8^2 \times 32 = 6433.98 \text{ cm}^3 = 0,006433 \text{ m}^3$$

Pour 6 éprouvettes :

$$V = 6433.98 \times 6 = 38584,32 \text{ cm}^3 = 0,038584 \text{ m}^3$$

On a effectué une majoration en volume de 20% sur les dépenses des différents constituants , les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III. 15: composition de mélange pour 6 éprouvettes cylindrique (16×32cm) d'un béton ordinaire

Ciment (Kg)	Eau (Kg)	Sable (Kg)	Pc (8/15) (Kg)	Pc (15/20) (Kg)	Masse Volumique Total du Béton (6 éprouvette) (kg)
13,5	8,43	24,71	18,7	23,38	88,74

2.3. Les essais sur le béton :

2.3.1. Essais à l'état frais

2.3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams : [NF EN 12350–2]

L'essai réalisé avec cet appareil est normalisé selon la norme NF EN 12350-2, désigné par essai de consistance ou plus généralement par essai d'affaissement au cône d'Abrams il détermine la plasticité du béton.

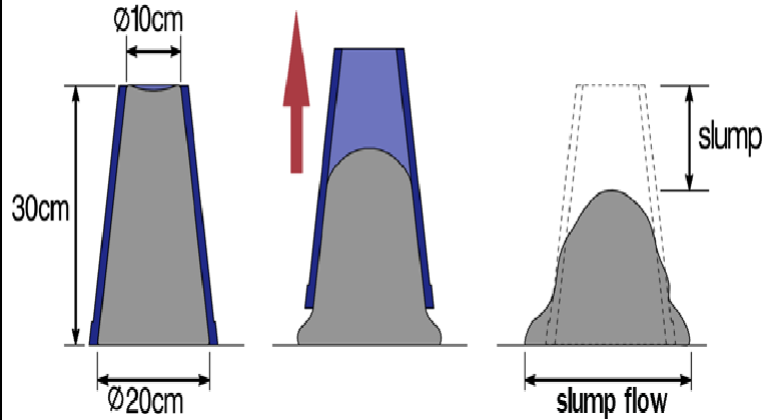


Figure III. 9:l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton + Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams

2.3.2. Essais à l'état durci :

2.3.2.1. Essais non destructifs :

Essai d'auscultation dynamique (Essai Scélérométrique) : (NF EN 12504-2)

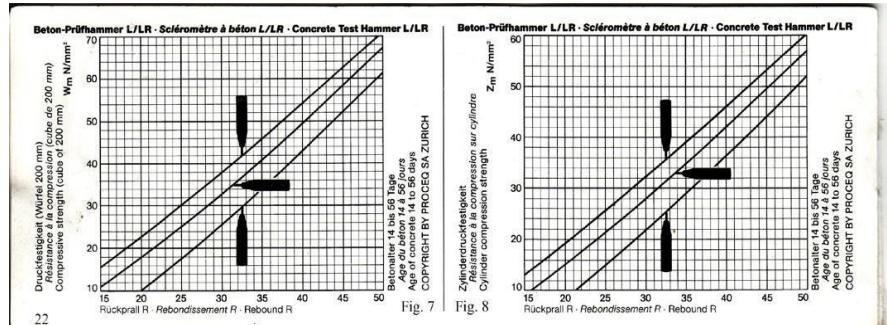


Figure III. 10:Essai scélérométrique (Labo Geo Arif-Setif : juin 2023) + Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice scélérométriques IS

2.3.3. Essais destructifs :

2.3.3.1. Essai de compression [NFP 18-406]

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP18-406), sur des éprouvettes cylindriques et cubiques de dimensions (16 x 32 cm) et (10x10x10cm³) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f_{cj} Obtenus à 14, 28 et 90 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres et des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kn en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj}=FS$ (en Mpa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette.



Figure III. 11: La machine pour essai de compression et affichage de la résistance

2.3.3.2. Essai de traction par fendage : [NFEN 12390–6]

La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en traction calculée. Les éprouvettes cylindriques (composites) sont soumises à l'essai de traction par fendage pour évaluer la qualité de l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.

Avec cette méthode, la contrainte d'adhérence n'est que celle de la traction par fendage, qui sera calculée par la formule suivante : $f_t = 2P/\pi DL$,

Avec : P, c'est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical ;

D et L, sont le diamètre et la longueur du cylindre.



Figure III. 12: Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage

➤ **Analyses chimiques par spectrométrie de fluorescence des rayons x**



Figure III.13: Spectrométrie de fluorescence des rayons X (LABO GEO ARIF-SETIF)

Chapitre IV

Résultats et discussion des résultats

1. Analyse des caractéristiques chimiques et minéralogiques des matériaux carbonatés :

La fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire non-destructive de l'échantillon. Elle est utilisée pour l'analyse de la composition chimique des matériaux minéraux (céramiques, verres, glaçures, pierres,). La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire, donc permet de déterminer les concentrations en éléments purs. Cependant, les éléments sont souvent présents sous la forme de composés (molécules, cristaux polyatomiques) dans le matériau initial. Il peut donc être souhaitable de présenter des pourcentages de composés plutôt que d'éléments. Les résultats obtenus sont présents dans les tableaux IV.1 et IV.2 .

Tableau IV.1:Composition chimique des matériaux carbonatés

Composition chimique des matériaux carbonatés	Teneur en%
CaO	55,66
SiO ₂	0,19
Al ₂ O ₃	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
Na ₂ O	0,01
K ₂ O	0,01
P ₂ O ₅	0,01
MgO	0,12
TiO ₂	0,01

La composition minéralogique déterminée d'une manière semi-quantitative par diffraction des rayons X (DRX).

Tableau IV. 2:Composition minéralogique des matériaux carbonatés

Composition minéralogique des matériaux carbonatés	Composition minéralogique en %
Quartz	/
Calcite	99
Dolomite	/
Feldspath potassique K (Orthoclase)	/
Muscovite	/
Minéraux ferrugineux + autres	1

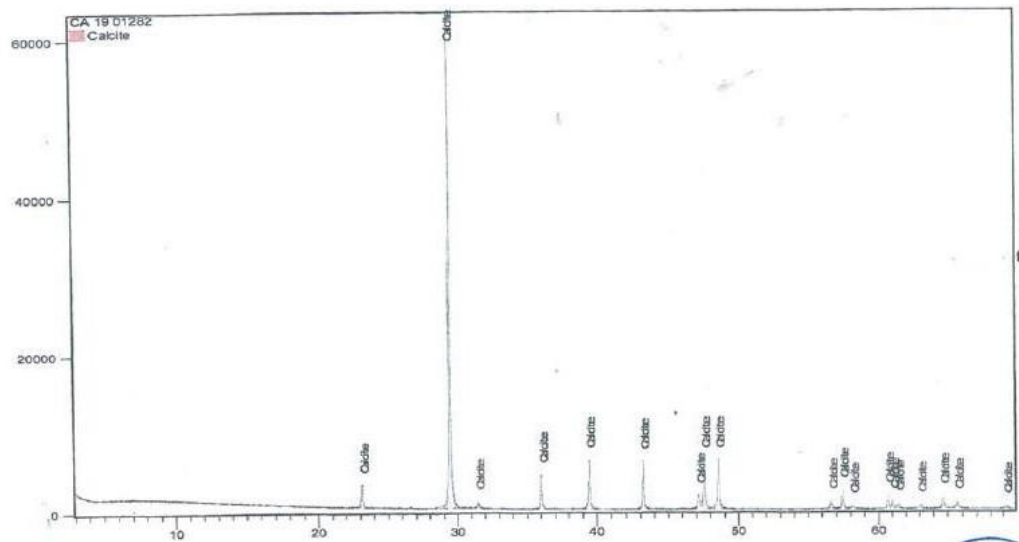


Figure IV.1:diagramme de DRX du matériau carbonaté utilisé

Les analyses chimiques par rayon X démontrent une roche purement calcaire, l'échantillon a un taux de chaux (CaO) très élevé issu de la carbonisation du calcaire qui représente plus de 99 %, onnote une faible présence de minéraux ferrugineux

Le taux élevé des carbonates de calcium favorise l'exploitation de l'échantillon comme matière première pour la production de la chaux et de l'oxyde de carbonate en formons une réaction de décomposition fortement endothermique suivant le schéma ci-dessus :

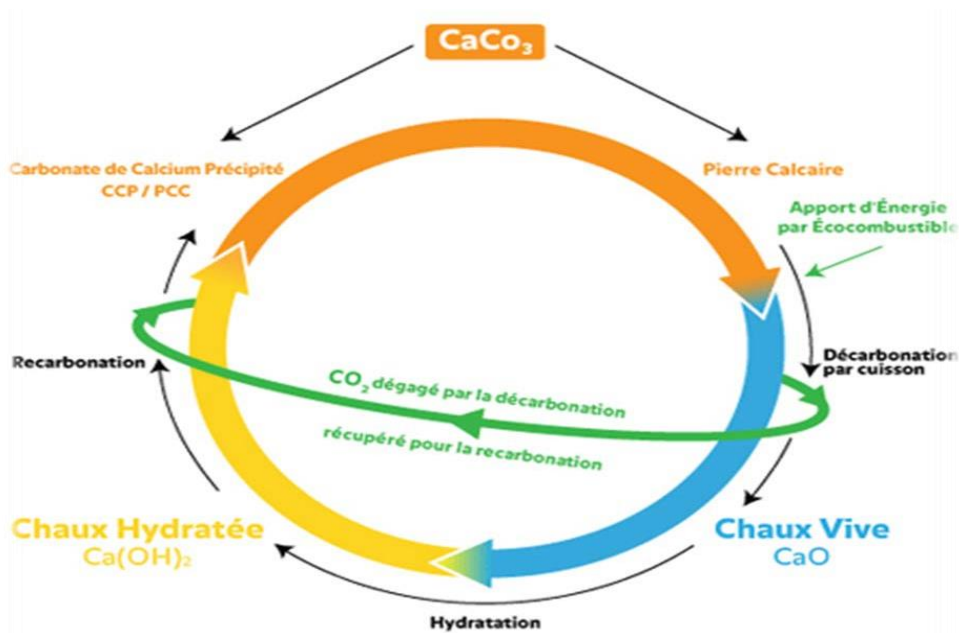


Figure IV. 2:Le cycle de la chaux

L'élément obtenu de cette décomposition (la chaux) peut utiliser dans plusieurs domaines :

- Dans la construction (Un liant pour bâtir et pour restaurer)
- Dans la construction routière stabilisation et assèchement des sols argileux, ou ajout dans le bitume).
- Dans les traitements des eaux (pour corriger l'acidité des eaux).

2. Analyse des caractéristiques mécaniques des matériaux carbonatés :

2.1. Résistance mécanique :

Des tests d'écrasement ont été réalisés sur des échantillons cubiques de dimensions (10 x 10 x 10) cm² afin de mesurer la résistance moyenne de trois échantillons à différents âges de durcissement. Les résultats des tests de compression et flexion pour les différents mélanges sont représentés dans les figures IV.3 et IV.4.

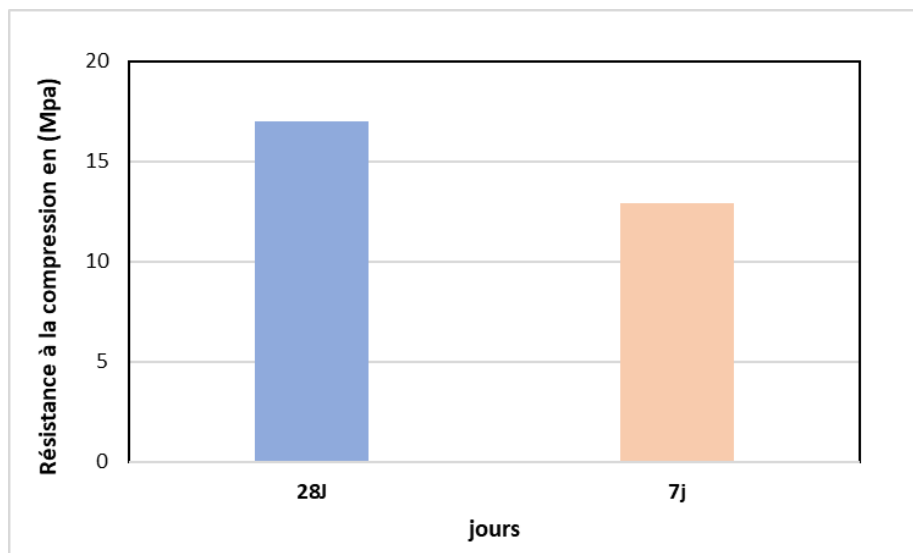


Figure IV. 3: les résistances à la compression des éprouvettes à base des matériaux carbonatés.

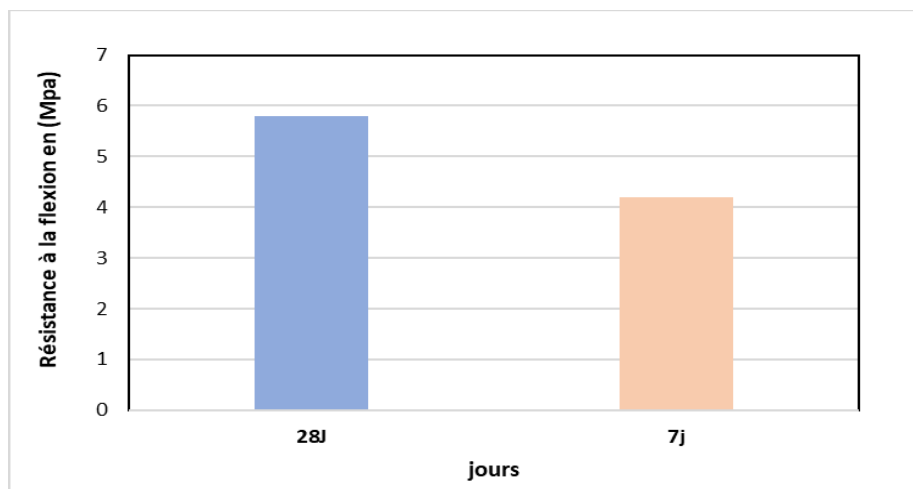


Figure IV. 4 : les résistances à la flexion des éprouvettes à base des matériaux carbonatés.

Selon les résultats obtenus à partir du processus de béton sous pression, il a été constaté que les résultats sont faibles et ne sont pas à la hauteur du résultat souhaité.

De plus, après avoir observé les échantillons comprimés, une réfraction a été enregistrée dans le gravier, ce qui indique une faiblesse dans la dureté du gravier, contrairement à ce qui est observé dans des échantillons autres que le carbonate de calcium, où la réfraction est enregistrée au niveau de la pâte de ciment, et cela est indiqué par les résultats de Los Angeles et ses normes concernant l'invalidité de ce matériau dans le béton armé des bâtiments et des installations techniques, afin qu'il puisse être utilisé dans d'autres domaines des travaux publics.

Selon les résultats obtenus et en comparaison avec le catalogue MTP (ministère des travaux public) relatif aux granulats, l'arrêté interministériel relatif aux sables de concassage destinés pour les bétons hydrauliques, les enrobés et bétons bitumineux et les spécifications des normes de référence NF P18-545, EN 12620, EN 13242 et EN 13043.

2.2. La vitesse ultrasonique :

L'auscultation par ultrasons est une méthode de contrôle non-destructif qui permet d'évaluer l'homogénéité du béton ou du mortier, en mesurant la vitesse de propagation des ondes longitudinales à travers ces matériaux. Cette méthode repose sur le principe de mesurer le temps nécessaire à une onde pour parcourir une distance donnée. La relation entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance à la compression est influencée par de nombreuses variables, notamment l'âge du mortier, les conditions d'humidité, etc.

le tableau IV.3 présente une la vitesse de l'ultrason qui se travers un prisme de 10 x 10 cm².

Tableau IV. 3: La vitesse ultrasonique des différents échantillons

Ep	Temps T (μs) en fonction V (m/s)		
	t : sens 1	t : sens 2	V _{moy} (m/s)
1	38.8	39.6	2551
	t moy : 39.2		
2	37.9	38.2	2628
	t moy : 38.05		
3	37.4	37.6	2666
	t moy : 37.5		

D'après la Classification du béton on a : la vitesse entre 2000 à 3000 (m/s) donc : le béton est classé en qualité de médiocre.

2.3. L'indice sclérométriques Is :

Le scléromètre est constitué d'une tête en acier, d'un ressort calibré et d'un manche utilisé pour mesurer le « rebond » de sa tête après son choc avec la surface d'un matériau ou d'une structure. Le scléromètre s'utilise généralement dans le secteur de la construction et parfois dans d'autres secteurs industriels.

La dureté du béton est définie selon les rapports gradués entre la hauteur du rebondissement et la dureté du béton à la compression par le moyen défini préalablement. Le scléromètre de Schmidt est un appareil polyvalent et d'usage simple. La vérification s'effectue toujours sous une même énergie de test de 2,207 J. Le scléromètre de Schmidt est utilisé pour la détermination de la résistance à la compression du béton. Son principe est basé sur la résilience d'un matériau au choc. Il est calibré au moyen de l'impact d'un mouton de choc sur une surface de béton avec une énergie normalisée. La hauteur de son rebondissement est fonction de la résistance du béton à la compression. L'énergie cinétique de rebond du scléromètre est une mesure indirecte de la dureté du béton ou de sa résistance à la compression (pression indiquée en N/mm^2 ou MPa, deux unités équivalentes). La capacité de charge mécanique du béton est essentiellement évaluée sur base de sa résistance à la compression.

- A partir de l'indice sclérométriques Is de la zone testée et de l'abaque illustré ci après on peut déduire directement la résistance du béton

Tableau IV. 4: LA résistance du béton A partir de l'indice sclérométriques I_s de la zone testée

Essais N°	Désignation des éléments	Age du béton (jours)	Nombre de coups	Angle de direction	Indice sclérométrique (I_s)				Résistance (Mpa)
					P1	P 2	P3	Moyenne	
01	Cube 01	+28	10	0°	18	20	19	19	18
02	Cube 02	+28	10	0°	22	20	21	21	19
03	Cube 03	+28	10	0°	23	21	22	22	20

Conclusion générale

3. Conclusion générale

En conclusion, cette étude fournit des informations précieuses sur les propriétés des matériaux carbonatés utilisés dans les travaux de BTPH.

Les résultats obtenus permettent de prendre des décisions éclairées lors de la sélection et de l'utilisation de ces matériaux dans les projets de construction.

Les recommandations issues de cette étude contribueront à améliorer la qualité et la performance des ouvrages de construction, tout en assurant une utilisation optimale des ressources disponibles.

L'analyse **granulométrique** des courbes cumulatives des granulats utilisés dans notre étude a montré que ces sables sont bien classés.

L'analyse **chimique** a montré que ces granulats présentent une composition chimique majoritairement calcaire, avec une teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) de 99%.

Les résultats de l'**analyse minéralogique** par diffraction des rayons X (DRX) des granulats indiquent une présence significative de **calcite** (CaCO_3) dans les échantillons, ce qui confirme leur **richesse** en ce minéral.

Les résultats des **tests mécaniques** démontrent que ces matériaux possèdent les caractéristiques nécessaires pour être utilisés dans divers domaines du génie civil.

En fin, Les résultats obtenus ont permis de classer les matériaux carbonatés selon leurs performances et leurs domaines d'application potentiels dans les travaux de **BTPH**.

4. Références bibliographiques

- [1] J. Haseeb, «Uses of Aggregates in Construction, Roads, Railway Ballast,» *ABOUT CIVILENGINEERING*, 30 Aout 2017.
- [2] T. PIGEON, utilisation granulas dand le doman construction et traveux public, 35680Louvigné-de-Bais France: Pigeon Entreprises.
- [3] G. j. KOVAL, «Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'école nationale des ponts etchaussées,» ParisTech, Paris, 11 janvier 2008.
- [4] AFNOR, «Granulats - Définitions, conformité, spécifications,» *Afnor EDITIONS*, n° %136, pp. 18-540, novembre 1997.
- [5] G. Maucuit-Lecomte, Fiches technique Tome 2 : « Les bétons, composition, fabrication etmise en oeuvre », 2005.
- [6] D. LOZAC, «Les constituants des bétons et des mortiers,» France, 2005.
- [7] Y. LAMRANI et M. ELMOUDEN, Revue sur les essais normalisés applicables auxgranulats pour des applications du génie civil et positionnement de la modélisation granulaire sur ces essais, 2016.
- [8] K. ARAB et H. BOUZIANE, Caractérisation géotechnique des granulats de la région de Sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballast, Sétif: Mémoire ingénieur, 2009.
- [9] Rachi et Dendani , 1990.
- [10]C. AIT CHIKHOUNE, Caractéristiques géotechniques des granulats, 2015.
- [11]J. BARON et R. SAUTREY, «Le béton hydraulique,» Paris, 1982
- [12]Z. DJAMA, Comportement mécanique et rhéologique des bétons à base des granulatsrecyclés, 2015.
- [13]D. C. C. FRANCE, «La Technologie du Béton,» chez *Guf*.
- [14]R. MAILLOT, «Mémento technique des Granulats,» Paris, 2001.
- [15]A. M. NEVILLE, «Propriétés des bétons,» chez *traduis par le CRIB*, 2000.
- [16]V. PHOUMMAVONG, «Cours en ligne matériaux de construction,» chez <http://www.la.refer.org/materiaux/>, Laos.
- [17] THIZIRI et MEZIANI, Caractérisation géotechnique des granulats carrières : EL MAHAROUN et IBOUDRARENE en vue de leur exploitation dans le domaine routier, Tizi-Ouzou: Mémoire master II, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou(UMMTO).
- [18] THAIBAOUI. Khalil « Essais d'amélioration de l'indice de blancheur du minerai de carbonate de calcium d'El-Khroub » (PFE 2009) ENP Alger
- [19]M.GHEDIR BRAHIM Samir« Essais d'amélioration de l'indice de blancheur du minerai de carbonate de calcium d'El-Khroub », (PFE 2005) ENP Alger

[20] AKKAL Rezki « Etude comparative des procédés minéralurgiques appliqués à la valorisation des feldspaths d'origine locale : critères de choix des procédés et définition d'un procès » (thèse magister 2006) ENP Alger

[21] J.DEDEK, Le carbonate de chaux, Lauvin, (1966)

[22] M.OULD HAMMOU « cours de Minéralurgie », école nationale polytechnique

[23] C. AIT CHIKHOUNE, Caractéristiques géotechniques des granulats : cas des granulats de l'oued SEBAOU et de la carrière EL MAHAROUNE, 2015.

[24] L. BELAGRAA, cours matériau de construction, à l'Université El Bachir Ibrahimi, 3^{ème} année, département de génie civil, 2011.

[25] A.SAADA « cours de Métallurgie », école nationale polytechnique

[26] P.BLAZY, La valorisation des minerais, Paris, (1970)

[27] G.GILLET, Séparation magnétique, technique de l'ingénieur

[28] Projet sur l'évaluation du gisement des calcaires de Djebel El Madjène, ORGM, décembre 2010

[29] Projet sur l'évaluation du gisement des calcaires de Djebel El Madjène (carbonate de calcium, chaux, granulats et sable de carrière) W.Constantine, ORGM, décembre 2011

[30] A.ROSKILL, The economics of ground calcium carbonate, London, First edition (2002) [12]: J .GOUPY, L. Creighton, Introduction aux plans d'expériences, 3^e édition, Dunod

[31] J. GOUPY, Les plans d'expérience [14]:F.DONET, l'eau de javel et ses usages [15]:<http://www.futura .sciences.fr/calcite> [16]:<http://www.eng.spa>

[32] Rapport finale de l'ENG

[33] RAPPORT GEOLOGIQUE FINAL/ AGREGATS DU GISEMENT D'AIN SMARA, CONSTANTINE (A. A. MOUSSA ET FETTOUM).

[34] D. P. BOERAEVE, «Technologie du béton» Edition Groupement Belge du béton, 1994.