



Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

M^r MOULOUD HAMZA

M^r MALKI YACINE

Thème

***Caractérisations et propriétés des mortiers à
base de rejets miniers et leurs impacts sur
L'Environnement***

Soutenu le 02/07/2024 devant le jury composé de:

Présidente:	M ^{me} SADOUKI. S	MCA	U.A.M.B
Encadreure :	M ^{me} BOUZIDI.N	Prof	U.A.M.B
Encadreure:	M ^{me} ATTIL.S	MCA	U.A.M.B
Examineur:	M ^r AKDIM. A	MCA	U.A.M.B

Année Universitaire: 2023-2024

Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude envers Dieu pour nous avoir accordé le courage, la force et la patience nécessaires pour réussir ce modeste projet de fin d'études.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère envers notre chère Encadreuse, la Professeure N.Bouzidi, pour son soutien moral, sa disponibilité, ses précieux conseils et les efforts considérables qu'elle a déployés pour assurer le succès de ce travail. Nous avons été honorés et heureux de travailler en collaboration avec vous.

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance envers notre Encadreuse, madame S. Atil, M.C.A, pour sa contribution majeure à ce projet, ses conseils précieux et sa disponibilité.

Nous exprimons aussi notre profonde considération aux membres du jury : la présidente de notre soutenance Présidente: M^{me} SADOUKI SAMIA MCA et l'examineur : M^r AKDIM Abdel Ghani M.C.A, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et nous avoir fait l'honneur de l'examiner.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude envers la doctorante Madame I. Laala, monsieur H.Slimanou et Madame H. Bouzeriba pour leurs temps et leur disponibilité, ainsi que leurs précieux conseils.

Enfin, nous exprimons notre gratitude envers tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Votre soutien et vos encouragements ont joué un rôle crucial dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicace

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes parents pour leur amour inconditionnel, et leurs encouragements tout au long de cette expérience académique.

Votre présence a été la clé de ma persévérance et de ma résilience à mon succès.

Ma source d'inspiration et de motivation a été votre confiance en moi.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes sœurs pour leur présence à mes côtés, et leur encouragement.

A mon très cher binôme Votre appui constant été une source de force et de motivation. Je tiens à exprimer ma gratitude envers mes amis pour votre amitié authentique, votre écoute attentive et vos encouragements continuels.

Grâce à votre présence, cette expérience a été plus plaisante et j'ai pu surmonter les obstacles rencontrés.

À mes proches élargis.

Mouloud Hamza

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a :

Mon très cher père,

Ma très chère mère,

Ma sœur et mon frère,

À Mon Binôme,

Tous mes amis et collègues.

MALKI YACINE

Liste des abréviations

Na₂O :oxyde de sodium

K₂O :oxyde de potassium

MgO :oxyde de magnésium

E/C :le rapport eau/ciment

D_{max} : Diamètre maximale

CEE :La Communauté Économique Européenne

lcpc :Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

cf Coefficient de gonflement

bne ;bna ; tn 3 ; tn2: differents types de marne de l'échantillon

E.V. : électron volt

D_{hkl}: Distance interarticulaire

Tr/m: Tours par minute

R.insoluble :résidu insoluble

P.A.F : Pertes a feux

SOMIFOS : société des mines de phosphates

µm : micro mètre

LTMGP : laboratoire de technologies des matériaux et génie des procédés

T.P.L :triphosphate of lime

B.P.L :bone phosphate of lime

T.P.L :2.185*P₂O₃

MNNC : Marne noire non calciné

MNC :Marne noire calciné

MBNC :Marne beige non calciné

MBC :Marne beige calciné

Tables des Matières

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I Synthèse Bibliographique.....	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Mortiers	2
I.3 Rejets miniers.....	15
I.4 Rejets miniers issus de traitement de minerai de phosphate issus de la mine djebel onk.....	18
I.5 Marnes	22
I.6 Conclusion	27
Chapitre II : Matériels.....	28
II.1 Introduction.....	29
II.2 Préparation des rejets.....	29
II.3 Analyse chimique par Fluorescence X:	35
II.4 Analyse minéralogique par diffraction X.....	36
II.5 Procédé de calcination	38
II.6 Technique de caractérisation de mortier élaboré.....	41
II.7 Conclusion	42
Chapitre III : Caractérisations physico- chimiques des matériaux utilisés.....	43
III.1 Introduction	44
III. 2Analyse granulométrique	44
III. 3Analyses de composition chimique par FRX.....	47
III. 4Analyses minéralogiques DRX	55
III. 5Conclusion.....	58
Chapitre IV : Caractérisation Des Mortiers	59
IV. 1Introduction.....	60
IV. 2Elaboration du mortier.....	60
IV. 3Caractérisation des mortiers élaborés.....	66

IV. 4Conclusion	73
Conclusion général.....	74
Références bibliographiques	
Annexe	
Résumer	
Abstract	

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1 Types des adjuvants avec leur abréviation et les effets principaux selon SN EN 93.....	23
Tableau 2 Nom de la roche selon la classification LCPC.....	24

Chapitre III

Tableau III 1 Répartition granulométrique de la marne noire.....	44
Tableau III 2 .classes de distribution granulométrique	45
Tableau III 3 Analyses chimiques des éléments majeurs de la marne noir non calciné et calciné à 800 C°	47
Tableau III 4.Analyses chimiques des éléments majeurs de la marne beige non calcine et marne beige calcine à 800 C°	50
Tableau III 5 Composition Potentiel du ciment (BOGUE).....	51
Tableau III 6 .Caractéristiques mécanique Norme (196-1).....	52
Tableau III 7 Composition chimique Norme (EN196-2).....	53
Tableau III 8 Composition chimique du sable utilisé	54

Chapitre IV

Tableau IV. 1.Composition minéralogique du ciment CEM I 42,5 N-LH SR5 utilisé	61
Tableau IV. 2.La composition du mortier.....	62
Tableau IV. 3.Compositions massiques des mortiers pour différents pourcentages de marne beige calcinée	62
Tableau IV. 4.Valeurs des résistances des mortiers à la Flexion (la moyenne)à 28 jours.....	66
Tableau IV. 5.Valeurs des résistances des mortiers à la compression à 28 jours... ..	70

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1 Pyramide de Saqqarah.....	3
Figure 2 Mortiers industriels.....	4
Figure 3 Constituant du mortier.....	5
Figure 4 Fumée de silice.....	8
Figure 5 Les fibres polypropylène	9
Figure 6 Pouzzolane naturelle.....	10
Figure 7 Situation géographique du gisement de djebel Onk	18
Figure 8 Courbe de granulométrie de la marne avant et après compactage (Cardoso et al, 2009).....	25
Figure 9 Évolution de la granulométrie de la marne après plusieurs cycles séchage-mouillage	25
Figure 10 Gonflement et dégradation des échantillons de marne en fonction du temps (Pejon et al, 1997... ..)	26

Chapitre II

Figure II. 1 .Concasseur à mâchoire (laboratoire préparation mécanique)	30
Figure II. 2 .L'échantillon divisée en 4 parties égales numérotées.....	30
Figure II. 3. Broyeur à disques et anneau oscillants... ..	32
Figure II. 4. Dispositif de broyeur à disques et anneaux oscillants.....	32
Figure II. 5. Marne noire $\leq 0.125 \mu\text{m}$	33
Figure II. 6.tamiseuse vibrante.....	34
Figure II. 7. 500g de tamisât destiner à la calcination	34
Figure II. 8. Spectromètre à fluorescence X (de marque Scias).....	35
Figure II. 9. Le principe de fonctionnement de diffraction par FX ;.....	36
Figure II. 10. Diffractomètre a RX (CRAPC-BEJAIA)	37
Figure II. 11. Principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X.	38
Figure II. 12. Four à moufle de calcination.....	39
Figure II. 13.pot fraîchement sortie du four.....	40
Figure II. 14.beige calciné	40
Figure II. 15 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	41
Figure II. 16. Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	42

Chapitre III

Figure III 1.Courbe d'analyse granulométrique	46
Figure III 2 Composition chimique de la marne noire.....	48
Figure III 3 Composition chimique de la marne beige	51

Figure III 4 Caractéristiques mécaniques norme (196-1)	53
Figure III 5 .Composition chimique du sable.....	55
Figure III 6 Diffractogramme RX de la marne noire.....	56
Figure III 7 Diffractogramme RX de la marne noire.....	57

Chapitre IV

Figure IV. 1.Le ciment GICA utilisé.....	60
Figure IV. 2 .Matériel du malaxage du mortier	63
Figure IV. 3.Moule du mortier (Labo de Génie civil béton Bejaia)	64
Figure IV. 4.Agitateur d'éprouvettes (table à choc). (Labo de Génie civil Bejaia).....	65
Figure IV. 5.bassins d'eaux pour la préservation d'éprouvettes	65
Figure IV. 6.Etuve de laboratoire (labo génie civil).....	66
Figure IV. 7.Machine de flexion	66
Figure IV. 8.Courbe des résultats de flexion (MNC)	68
Figure IV. 9.Courbe des résultats de flexion (MC)	69
Figure IV. 10.Essai de compression.....	69
Figure IV. 11.Resistance à la compression des mortiers de marne beige non calcinée	70
Figure IV. 12.Resistance à la compression des mortiers de marne beige calcinée.....	71
Figure IV. 13.Spectre de DRX regrouper M0 et le NC (5%,10%,15%).....	72
Figure IV. 14.Spectre de DRX du M0, & le calciné (5%,10%,15%)	73

Introduction général

Introduction général

Introduction général

La caractérisation et les propriétés des mortiers à base de rejets miniers et leur impact sur l'environnement sont des aspects importants à prendre en compte.

Les rejets miniers, tels que la marne, peuvent être utilisés comme matière première dans la production des mortiers, qui sont couramment utilisés dans la construction. Il est essentiel de comprendre les caractéristiques et les propriétés de ces mortiers pour évaluer leurs performances et leur impact potentiel sur l'environnement.

Les mortiers fabriqués à partir de rejets miniers peuvent présenter des propriétés différentes de celles des mortiers traditionnels.

La composition des rejets, y compris la présence de minéraux et d'autres substances, peut affecter la résistance, la durabilité et la maniabilité du mortier. Il est essentiel d'étudier les caractéristiques spécifiques des déchets miniers et leur aptitude à être utilisés dans les mortiers.

En outre, il convient d'évaluer l'impact environnemental de l'utilisation des rejets miniers dans les mortiers. Il s'agit notamment d'évaluer le rejet potentiel de substances nocives dans l'environnement au cours de la production, de l'utilisation et de l'élimination de ces mortiers. Des pratiques de gestion des rejets et des systèmes de surveillance appropriés doivent être mis en place pour minimiser les effets négatifs sur l'environnement.

Dans l'ensemble, la compréhension de la caractérisation, des propriétés et de l'impact environnemental des mortiers à base de rejets miniers est cruciale pour les pratiques de construction durable et la minimisation de l'empreinte écologique de l'industrie de la construction.

L'industrie minière génère des quantités importantes de rejets, dont la marne, une roche sédimentaire riche en calcaire et en argile. Ces déchets miniers posent des problèmes environnementaux considérables, notamment l'occupation de sols, la pollution de l'eau et les risques pour la santé humaine.

Le présent travail est représenté en quatre chapitres dans le premier chapitre de ce Travail : nous avons présenté brièvement le mortier et les rejets miniers (marne) et leur Impact sur l'environnement. Dans le deuxième chapitre, on expose les matériels et les méthodes utilisées.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation physico-chimique de la marne, du sable, du ciment et aux propriétés de l'élaboration et aux caractérisations dans le quatrième chapitre qui clos ce PFE.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale qui englobe et résume ce travail.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

I.1 Introduction

Les mortiers sont des matériaux essentiels dans le domaine de la construction, utilisés pour assembler des éléments en pierre, en brique ou en béton, ils jouent un rôle crucial dans la solidité et la durabilité des structures.

Traditionnellement, les mortiers ont été fabriqués à partir de chaux, de sable et d'eau. Cependant, l'utilisation croissante du ciment Portland, un matériau énergivore et polluant, soulève des préoccupations environnementales grandissantes.

Dans ce contexte, l'élaboration de mortiers alternatifs à base de rejets miniers, tels que les marnes, présente un intérêt majeur, les marnes sont des roches sédimentaires riches en argile et en calcaire, abondamment disponibles dans de nombreuses régions du monde, elles offrent une alternative prometteuse aux liants traditionnels, permettant de réduire l'empreinte environnementale de la construction tout en préservant les performances techniques des mortiers.

L'utilisation de mortiers à base de marnes pourrait avoir un impact positif significatif sur le secteur de la construction en réduisant l'empreinte environnementale des bâtiments et en favorisant l'utilisation de matériaux locaux et durables

I.2 Mortiers

I.2.1 Historique

Selon les données historiques et les définitions attribuées aux mortiers, ces substances sont documentées comme ayant émergé entre 10 000 et 3 000 ans avant J.-C.

Parmi les premiers exemples d'utilisation significative des mortiers se trouve la pyramide de Saqqarah, érigée par Imhotep, généralement considéré comme l'un des pionniers dans leur développement, leur utilisation s'est progressivement répandue avec l'avènement de la maçonnerie, et les mêmes types de mortiers ont été employés pendant des siècles, bien que les connaissances techniques et scientifiques sur leur fonctionnement aient été limitées jusqu'à la fin du XVIIIe siècle.

Les efforts de recherche ont réellement débuté au début du XIXe siècle, notamment grâce aux travaux de Louis Vicat, qui a découvert le concept d'hydraulicité en 1817, un autre jalon significatif a été l'étude approfondie des mortiers à la chaux réalisée par le Général Treussart en 1824, apportant ainsi une contribution notable à la compréhension de ces matériaux.

Ces études, ainsi que d'autres contributions notables comme celles de Joseph Aspdin, ont pavé la voie à l'émergence des premières usines de fabrication de ciment moderne, l'une des premières, établie par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer, a ouvert de nouvelles perspectives dans l'utilisation des mortiers en introduisant des formulations cimentaires innovantes.

Jusqu'au début du XXe siècle, les mortiers étaient souvent préparés sur les chantiers par des mélanges manuels, les débuts des mortiers industriels, préparés et dosés en usine, ont été observés à Paris au tout début du XXe siècle, grâce aux travaux de Georges Weber et Jean-Baptiste Broutin, cette transition vers des méthodes industrielles a pris un véritable essor en France après la Seconde Guerre mondiale, principalement pour soutenir les efforts de reconstruction en Europe. [1]



Figure I. 1.Pyramide de Saqqarah

I.2.2 Définition

Le mortier représente un matériau fondamental dans le domaine de la construction, servant à consolider les éléments structurels, garantir la résistance de l'édifice et remplir les vides entre les blocs de construction, typiquement, il résulte d'une combinaison minutieuse de sable, d'un agent liant tel que le ciment ou la chaux, et d'eau, selon des ratios spécifiques.

Les proportions exactes varient en fonction des exigences de chaque projet et peuvent également être influencées par l'incorporation éventuelle d'adjuvants. Cette composition chimique complexe confère au mortier des propriétés mécaniques et physiques cruciales, notamment en ce qui concerne sa résistance à la compression, son adhérence et sa durabilité dans des conditions environnementales variées. (2)



Figure I. 2.Mortiers industriels

I.2.3 Composition du Mortier

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

(Liant + sable) + Eau = mortier

Le ciment est un liant hydraulique constitué d'une fine poudre minérale qui réagit chimiquement avec l'eau lors de son hydratation. Cette réaction conduit à la formation d'une pâte qui subit un processus de prise, durcissant progressivement au contact de l'air ou de l'eau.

En tant que composant principal du béton, le ciment joue un rôle crucial en transformant un mélange initialement non cohésif en une structure solide et durable, sa composition principale comprend des silicates et des aluminates de calcium, résultant de la combinaison de différents éléments tels que le calcium (CaO), la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃) et l'oxyde de fer (Fe₂O₃).

Les matières premières nécessaires à sa fabrication sont extraites de la roche calcaire pour la chaux, tandis que l'alumine, la silice et l'oxyde de fer sont obtenus à partir de l'argile.

En plus des oxydes mentionnés, le calcaire et l'argile peuvent contenir d'autres composés tels que $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et MgO , ainsi que de l'oxyde ferrique. (3)

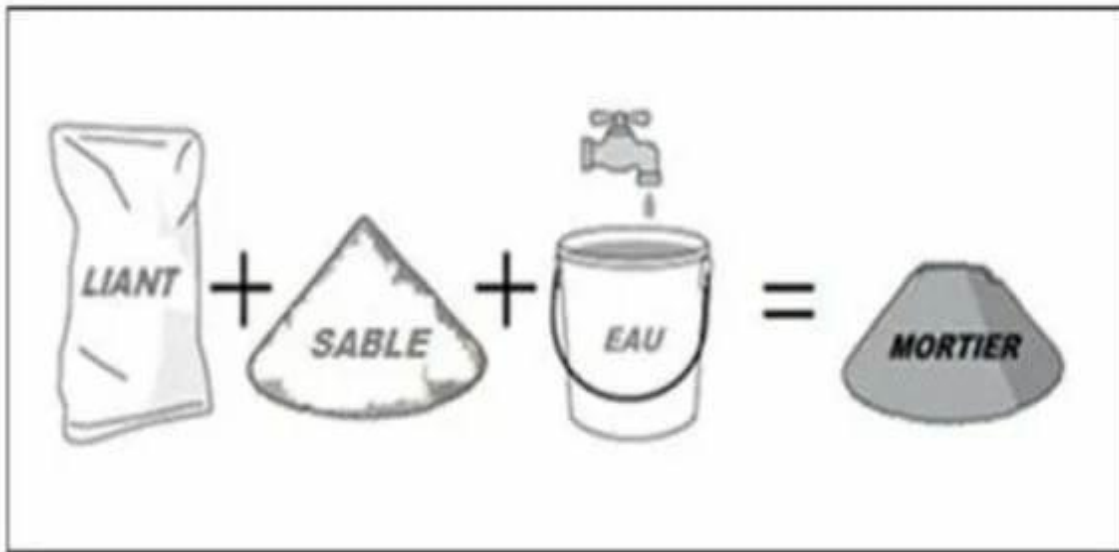


Figure I. 3. Constituant du mortier (5)

I.2.4 Matière première de mortier

Les composants essentiels du mortier sont le sable, un liant minéral et l'eau. Pour optimiser le Mortier, on peut utiliser des adjuvants et des additions minérales.

Dans l'aperçu qui suit, c'est surtout la large gamme d'adjuvants qui saute aux yeux. L'influence de ces derniers sur le mortier est très importante et les possibilités sont nombreuses. Le dosage doit toutefois se faire avec précision, ce qui ne pose aucun problème dans une usine ou une centrale de mortier. Par contre, l'ajout d'adjuvants sur chantier présente des risques.

I.2.4.1 Sable

Le sable forme le squelette inerte du mortier durci. Il doit présenter une bonne répartition Granulométrique et être propre, c'est-à-dire ne contenir ni matériau organique ni particules Argileuses.

Bien que le maçon choisisse traditionnellement un sable fin, il est également Possible de confectionner du mortier correctement ouvrable avec du sable moyen à gros ($D_{\max} = 5$ mm), un tel mortier exigera moins de liant et donnera néanmoins de bons résultats sur le plan de la résistance mécanique, de plus, il aura un retrait limité, la présence d'une quantité réduite

de matériaux fins ou d'adjuvants est nécessaire pour se prémunir contre le ressuage de l'eau de gâchage.

Le sable fin, et surtout le sable argileux (sable jaune plastique,) exige un dosage trop élevé en eau et donc en liant également, ce qui augmente la sensibilité au retrait.

Les particules argileuses absorbent beaucoup d'eau et la structure du mortier durci peut, de ce fait, être sensible au gel.

I.2.4.2 Liants

Les liants servent agglomérer les grains de sable. Ce sont de fines matières minérales sous forme de poudre : liants hydrauliques (réagissant avec l'eau) ou hydraulité latente; liants Pouzzolaniques (réagissant avec la chaux); liants durcissant par réaction avec le CO₂ de l'air.

En pratique, ce sont le ciment, la chaux, et des matières hybrides présentant les caractéristiques des deux, dans certains concepts, la notion de "liant" est étendue l'ensemble des matières fines inertes et liantes, adjuvants et polymères.

Différents liants:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc);
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..)
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes

I.2.4.3 Ciment

I.2.4.3.1 Fabrication

La fabrication du ciment Portland se fait à partir de la pierre calcaire et de l'argile. Ces matériaux sont extraits des carrières, concassés et stockés, puis l'analyse chimique est faite pour déterminer le dosage des matières premières.

Après avoir été dosées, les matières premières sont broyées et mélangées. La poudre ainsi obtenue est introduite dans l'extrémité supérieure d'un four rotatif légèrement incliné.

I.2.4.3.2 Classification des ciments industriels

Les ciments sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon les Normes NF P 15-301 et EN 197-1

- * CPA-CEM I : ciment Portland artificiel (CPA dans la notation française)
- * CPJ-CEM II : ciment Portland composé (CPJ)
- * CHF-CEM III : ciment de haut fourneau
- * CPZ-CEM IV : ciment pouzzolanique
- * CLC-CEM V : ciment au laitier et aux cendres (ciment composé)

En plus des ciments courants cités précédemment, il existe des ciments courants à caractéristiques complémentaires comme le cas des ciments résistant aux sulfates (CRS), ciments pour travaux à la mer, ciments pour travaux au contact d'eaux très pures. (6).

I.2.4.4 Eau de gachage

L'eau est l'élément essentiel pour la fabrication du mortier. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du mortier, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.

Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation:

- les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également. À côté, les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent :
- les eaux usées:
- les eaux vannes ou contenant des détergents:
- les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques. (4)

I.2.4.5 Additions

Les additions pour le béton sont définies dans la norme NF EN 206-1. Par additions, on entend de fines matières minérales sous forme de poudre, d'une granularité comparable à celle du ciment. On distingue les additions inertes (type I : farine de quartz, filler calcaire,...) et les additions à hydraulicité latente (scories) ou Pouzzolanique (type II : pouzzolanes naturelles et sous-produits de l'industrie, comme les cendres volantes de charbon pulvérisé et les fumées de silice). Les additions ont une influence favorable sur l'onctuosité et le pouvoir de rétention d'eau. Si on en utilise trop, la résistance du mortier diminue fortement. (7)

I.2.4.5.1 Fumée de silice

Les fumées de silice sont des particules très fines (environ $1\mu\text{m}$) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium.

Elles font l'objet des normes NF P 18-502 et EN 13263-1. Ces normes fixent les spécifications auxquelles doivent satisfaire les fumées de silice destinées à la confection des bétons.

Les fumées de silice sont utilisées pour leur rôle correcteur de composition granululaire, pour optimiser la compacité par remplissage des vides du béton en complément des autres composants et pour leurs qualités pouzzolanique. Les fumées de silice sont des additions de Type II. Leur masse volumique absolue est comprise entre 2100 et 2400 kg/m^3 . Elles sont réparties en deux classes A et B en fonction de caractéristiques physico-chimiques (teneur en CaO, teneur en sulfate, en chlorure et en carbone libre) et physiques (masse volumique absolue et aire massique). (8)



Figure I. 4. Fumée de silice

I.2.4.5.2 Fibres polypropylènes

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés, découvert en 1954. Ils sont obtenus suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre les propriétés mécaniques élevées.

Ces fibres se présentent le plus souvent en faisceaux qui une fois introduits dans le matériau se séparent et se répartissent dans la masse du béton. Leurs longueurs les plus courantes varient de 10 à 15 mm pour des diamètres compris entre 15 et 250 microns, leur masse volumique est d'environ $0.9 \text{ kg}/\text{cm}^3$ et leur résistance à la traction est sensiblement le quart de celle des fibres métalliques. (9)

Les fibres de polypropylènes sont surtout utilisées dans la fabrication de pieux de fondation, de panneaux de revêtement, d'éléments flottants de débarcadère et amarres pour les marines, de matériaux de réparations des routes, et de couches de lest pour les tuyaux sous-marins.

Les études menées avec ce type de fibres ont montré que ce matériau présentait des propriétés mécaniques comparables à celle d'un béton renforcé par des fibres de verres.

- l'amélioration de la cohésion à l'état frais ;
- la limitation du faïencage et des fissurations dues au retrait plastique ;
- l'augmentation de la résistance aux chocs ;
- une meilleure imperméabilité à l'état durci ;
- une réduction des risques de ségrégation et de ressuage.



Figure I. 5. Les fibres polypropylène

I.2.4.5.3 Types des fibres utilisées dans le domaine de la construction

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, parmi eux nous citons :

- a) Les fibres métalliques (acier, fonte) ;
- b) Les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes) ;
- c) Les fibres minérales (amiante, verre, carbone) ;
- d) Les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier) ;
- e) Les fibres animales (poil, laine, soie). (10)

I.2.4.5.4 Fillers calcaires

Les fillers calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles (calcaires, basalte, bentonite, etc.) présentant une teneur en carbonate de calcium CaCO_3

supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 micron.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

I.2.4.5.5 La pouzzolane

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes.



Figure I. 6.Pouzzolane naturelle

I.2.4.5.6 Le laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités.

I.2.4.6 Adjuvants

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. Voir Annexe « A »

L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale.

L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise. (11)

I.2.4.6.1 Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé.

I.2.4.6.2 Accélérateurs de prise

Les adjuvants correspondant à la norme mentionnée ne contiennent pas de chlore ; les constituants sont généralement des dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque. Ils sont à recommander pour les bétonnages par temps froid, les décoffrages rapides, les scellements, les travaux en galerie, les travaux sous l'eau, etc.

Les accélérateurs chlorés sortent du champ de la norme NF Adjuvants. Il est à noter qu'un béton fortement accéléré, au moyen d'adjuvants, risque d'avoir une résistance mécanique finale légèrement diminuée.

I.2.4.6.3 Retardateur de prise

Est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et Les bétons de ciment. Il est utilisé pour ralentir la réaction d'hydratation du ciment et donc sa Prise. Ceci permet d'augmenter son temps de travail. L'hydratation du ciment est la réaction Chimique qui a lieu entre le ciment et l'eau. Les retardateurs de prise sont ajoutés aux matériaux cimentaires à des ratios entre 0,2 et 0,5% de la masse de ciment utilisé. (12)

I.2.4.6.4 Plastifiants réducteurs d'eau

Ces adjuvants trouvent leur emploi dans l'industrie du béton préfabriqué, qui exige des bétons fermes, pouvant être démoulés rapidement, dans les grands ouvrages de génie civil nécessitant des résistances élevées, ainsi que pour le bétonnage avec coffrages glissants.

I.2.5 Different types de mortiers

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

- Les mortiers de ciment : Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,5. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.
- Les mortiers de chaux : Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.
- Les mortiers bâtards : Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux.

Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une Quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

Caractéristiques principales des mortiers

Les caractéristiques principales des mortiers sont : Ouvrabilité ; prise ; résistances mécaniques Retraits et gonflements, etc.

I.2.5.1 Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA Ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie Également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silicocalcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à L'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

I.2.5.2 Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, Conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de Mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en Œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains Adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié,
- Mortiers d'imperméabilisation,
- Mortier d'isolation thermique,
- Mortier de jointoiment,
- Mortier de ragréage,
- Mortier de scellement, mortier pour chapes,
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,

A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être consacré à:

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits Monocouche),
- la pose des carrelages (mortiers colles et mortiers de joints),
- la préparation des sols (chapes, réparations, enduits de lissage, d'égalisation),
- les assemblages (éléments de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),
- l'isolation et l'étanchéité (systèmes d'isolation thermique par l'extérieur, D'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- les travaux spéciaux (gunitage, réparations d'ouvrages d'art et de génie civil, scellement et Calages, coulis d'injection, cuvelages). (13)

I.2.5.3 Mortier durci / mortier plastiques

Caractéristiques du mortier durci

Les essais sont souvent effectués sur prisme de 4*4*16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les Éprouvettes sont brisées en traction par flexion puis en compression. Les rapports (résistance En compression/résistance en traction par flexion) augmentent en fonction de temps.

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- La nature et dosage en ciment ;
- Le rapport E/C ;
- La granulométrie et la nature du sable ;
- L'énergie de malaxage et mise en œuvre ; (14)

I.2.6 Mode d'élaboration

L'élaboration du mortier nécessite plusieurs étapes essentielles, chacune jouant un rôle dans la création d'un mélange homogène et performant. Voici les étapes clés de cette procédure :

1. Choix des éléments: En général, le mortier est constitué de trois éléments essentiels : le sable, le liant (ciment, chaux, etc.) et l'eau. Il est essentiel de choisir avec soin chaque matériau en fonction des exigences particulières du projet de construction.

2. Déterminez les proportions adéquates de chaque ingrédient en fonction du type de mortier souhaité pour mesurer les ingrédients. En général, les proportions habituelles sont exprimées en quantités, comme 1 partie de ciment pour 3 parties de sable.

3. Combinez le ciment et le sable sec dans une brouette ou un bac de mélange pour mélanger les ingrédients secs. Avec une pelle, mélangez les deux ingrédients jusqu'à ce qu'ils soient répartis de manière homogène.

4. Ajoutez de l'eau en petites quantités au mélange sec à la fois. Pour mélanger l'eau avec le mélange sec, vous pouvez utiliser une pelle ou une truelle. Il est important de ne pas ajouter une quantité excessive d'eau d'un seul coup, car cela pourrait rendre le mortier trop liquide.

5. Continuez à mélanger le mortier jusqu'à ce qu'il soit homogène et lisse, afin d'obtenir une consistance homogène. Il doit être assez humide pour faciliter le travail, mais pas trop liquide.

6. Afin d'évaluer la consistance, vous pouvez utiliser une truelle pour prendre une petite quantité de mortier et le laisser tomber en douceur. Il s'agit d'un monticule de mortier qui reste debout quelques instants avant de s'effondrer légèrement.

7. Il est recommandé d'utiliser immédiatement le mortier après sa préparation, car il commencera à se durcir au fil du temps. Ainsi, ne préparez que la quantité de mortier nécessaire pour votre projet particulier.

I.3 Rejets miniers

I.3.1 Définition de rejet minier:

Le rejet minier ou résidu minier : c'est toute substance issue de l'activité minière soit travaux de recherche, exploitation ou traitement du minerai sans valeur marchande établie qui accompagnent le minerai.

Ces résidus peuvent être naturelles (stériles franc, minerais non exploités) ou des produits artificiels issus des phases de traitement (rejets de laveries). Elles sont entreposées en surface dans des empilements (15)

I.3.2 Types des rejets miniers:

Chaque étape d'exploitation génère un type de rejet avec des caractéristiques physiques et chimiques différentes, on peut citer :

I.3.2.1 Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants :

La capacité de drainage de l'acide minier est une question-clé. La réponse déterminera si un projet minier proposé est acceptable pour l'environnement.

Lorsque des matériaux minés (tels que les parois des mines à ciel ouvert et des mines souterraines, les résidus, les déchets rocheux et les matériaux lessivés déversés) sont excavés, exposés à l'eau et à l'oxygène, des acides peuvent se former si les minéraux sulfurés de fer (en particulier la pyrite) sont abondants et s'il y a une quantité insuffisante de matériaux neutralisants pour contrebalancer la formation d'acide.

L'acide, à son tour, lessivera ou dissoudra les métaux et autres contaminants dans les matériaux minés et formera alors une solution acide, à forte teneur en sulfate et riche en métal (y compris les concentrations élevées de cadmium, de cuivre, de plomb, de zinc, d'arsenic, etc.).

I.3.2.2 L'érosion des sols et des déchets miniers dans les eaux de surface :

L'érosion peut provoquer le chargement important de sédiments (et tous polluants chimiques l'accompagnant) vers des plans d'eau proches, surtout pendant des tempêtes sévères et de grandes périodes de fonte de neige

Les principaux facteurs influençant l'érosion comprennent le volume et la vitesse du ruissellement provenant des précipitations, le taux d'infiltration des précipitations dans le sol,

la quantité de la couverture végétale, la longueur de la pente ou la distance à partir du point d'origine du ruissellement en nappe au point où la sédimentation commence, ainsi que les structures de contrôle d'érosion opérationnelles.

I.3.3 Défis de réutilisation des rejets miniers

Le mode de réutilisation des rejets miniers a commencé avec les nouvelles technologies de gestion des déchets. La technologie gouverne le cycle de vie des matériaux compte tenu du mode d'extraction, de fabrication, d'utilisation et de mise au rebut. L'application des nouvelles technologies appropriées est considérée comme une solution potentielle pour améliorer les performances de la gestion de ces rejets. Ceci pose des défis technologiques qui sont sujet d'études afin d'atténuer les impacts des services inefficaces de gestion.

I.3.4 Réhabilitation

Le concept de « fermeture de projet » signifie que les fermetures de sites sont prises en compte dans les études de faisabilité de nouvelles opérations minières, qui sont ensuite surveillées et mises à jour en continu tout au long du cycle de vie de la mine. Dans tous les cas, les effets nocifs sur l'environnement doivent être réduits au minimum.

Il n'est pas possible de restaurer un site dans son état d'origine. En règle générale, la responsabilité de préparer le site à cette fin incombe à l'exploitant. Pour recevoir une autorisation de disposer de matériaux, il devra cataloguer les spécificités des matériaux retenus (quantité, qualité/consistance, dangers éventuels). Dans un projet impliquant des résidus ayant un potentiel net de DMA, la principale préoccupation est d'empêcher un futur drainage acide.

I.3.5 Utilisation des déchets miniers comme matière alternative dans la fabrication du béton

La demande exponentielle sur les bétons et mortiers, en raison de leurs propriétés mécaniques importantes et leur durabilité, incite les industriels à trouver d'autres alternatives aux matières premières utilisées dans la production de ces matériaux de construction. Les résidus abandonnés qui contiennent des métaux résiduels ont été utilisés efficacement comme agrégats dans les mortiers avec de bonnes performances mécaniques et de durabilité (16).

D'autres études ont montré la possibilité d'intégration des résidus miniers comme matériels de cimentation ou comme additifs dans les bétons et mortiers (17).

Un intérêt particulier a été porté aux possibilités de substitution du liant (ciment) par des rejets ayant des caractéristiques similaires en particulier les résidus de sable bitumineux provenant de l'industrie minière des sables bitumineux.

Ces résidus sont considérés comme un matériau de cimentation dans le béton de haute performance. En effet, ils sont valables comme un substituant partiel du ciment avec une amélioration des résistances à la compression et à la flexion à court et long terme.

En plus, ces résidus font partie des additifs respectueux de l'environnement et potentiellement rentables. Des résidus miniers provenant du traitement de fer ont été également testés comme liant alternatif remplaçant une fraction du ciment.

I.4 Rejets miniers issus de traitement de minerai de phosphate issus de la mine Djebel Onk

I.4.1 Situation géographique

La région de Djebel Onk est située au Sud Est de l'Algérie, à 100 km de la Wilaya de Tébessa et à 20 km de la frontière Algéro Tunisienne, sur la route qui relie Tébessa et El Oued. Et par voie de chemin de fer servant au transport des Phosphates vers le port minéralier d'Annaba éloignée de 340 Km.

Le massif de Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts de Nememcha qui prolonge vers l'Est le massif des Aurès. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635m. La région de Djebel Onk est subdivisée en 5 secteurs miniers Djemi Djema, Tarfaya Et Djebel-Onk Nord, Bled Hadba, Kef Essenoun. (18)

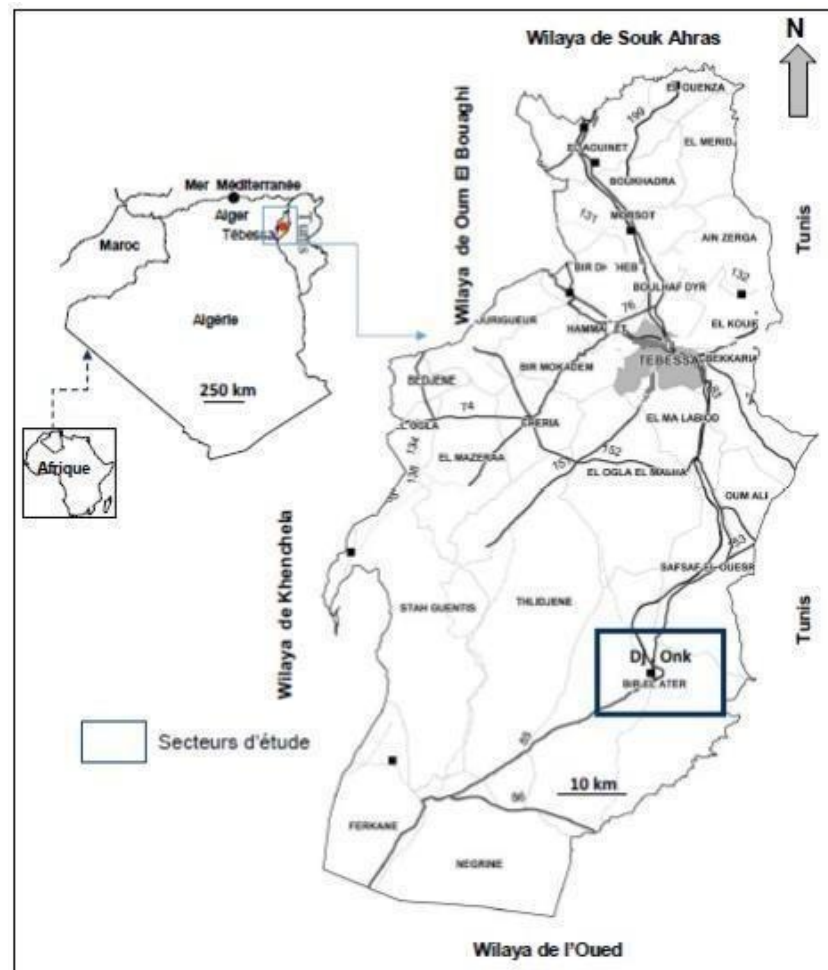


Figure I. 7. Situation géographique du gisement de djebel Onk

I.4.2 Caractéristiques pétrographiques

D'après des études antérieures, la zone de Djebel-Onk et Djemi Djema sont des phosphates en grains, sableux (pseudoolithes et pellets), souvent à support organique (diatomées radiolaires principalement), dont la granulométrie appartient le plus souvent à la classe des arénites (grains inférieurs à 2 mm), plus rarement à celle des rudites (proportions de grains supérieurs à 2 mm).

Les faciès sont homogènes, à grains fins (200 à 300 μm), ou bien hétérogènes, à grains fins et grossiers (jusqu'à 2 à 3 mm). Ils sont pulvérulents à bien lithifiés, et le ciment peut être argileux, calcique ou dolomitique. Mis à part les grains de phosphates, les autres éléments figurés sont rares (grains de quartz et de glauconie).

Les faciès phosphatés ont une couleur généralement beige à brune, ils peuvent être gris à noir à la base de la couche. Ces teintes sombres, et l'existence de composés organiques,

attestent que la couche n'a pas subi d'altération météorique importante et qu'elle a été protégée des phénomènes d'oxydation, ce qui serait responsable de la pigmentation des grains de phosphate.

I.4.3 Minéralogie des phosphates de Djebel Onk

Le minerai de phosphate est constitué d'une matière phosphatée et d'une exogangue (19). Les minerais du gisement de Djemi Djema ont montré que :

- La matière phosphatée : en plus de l'endogangue qui représente 5,3% (de la matière phosphatée), celle-ci est constituée d'une fluorapatite carbonatée et d'un sulfo-carbonate fluoré alcalino-terreux parfois hydraté $[(S, C, O_4)_6 (K, Na, Ca, Mg) F_2 nH_2O]$;

- L'endogangue : est formée d'opale, quartz, illite, eau, matière organique et d'éléments accessoires. Elle contient Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO et SiO_2 en très faible quantité (0.3 % du minerai en moyenne pour chaque élément) ;

- L'exogangue : elle est formée de trois types de constituants :

- carbonatés : il y a une prédominance de dolomie

- sulfatée : on trouve des traces d'epsomite $[MgSO_4 \cdot 7H_2O]$

- silicatés représentés par la silice libre tel que le quartz, l'opale ou la silice amorphe ; le feldspath ; l'heulandite, la glauconie et l'illite.

Les faciès phosphatés ont une couleur généralement beige à brune, mais peuvent être gris foncé à noir à la base de la couche principale. Ces teintes sombres, et l'existence de composés organiques attestent que la couche a été protégée des phénomènes d'oxydation (20)

. Sur le plan minéralogique, (21) indique que l'apatite des phosphates du gisement de Djemi Djema est une francolite fortement substituée, avec remplacement des ions PO_4^{3-} par des ions CO_3^{2-} de l'ordre de 26%. Sur le plan teneur, le minerai tout-venant titre de 23 à 28% P_2O_5 , avec une moyenne autour de 25%. Les teneurs en MgO sont variables de 1,8 à 4% et plus, en raison de la présence d'une exogangue dolomitique bien développée.

Le phénomène minéralisateur s'exprime de différente manière : par épigénie de particules organiques (diatomées, radiolaires, coprolithes, micropellets et des particules

algaires) ; par phosphatisation de particules non organiques (pellet, lithoclastes, grains de quartz et de glauconie) ; par phosphatisation locale de la gangue carbonatée ; par précipitation directe d'apatite dans le réseau inter-cristallin.

I.4.4 Generalités sur le phosphate

I.4.4.1 Définition

Le phosphate est un minerai caractérisé par le radical PO_4^{3-} . Parmi les nombreuses espèces, notons l'apatite (à Ca et F), la turquoise bleue (Cu, Al), la vivianite bleue (F), la monazite (Ce, La, Th) et des produits d'altération des gîtes uranifères (autunite ou uranite; chalcocite).

Elle est une roche sédimentaire marine (sauf la phosphorite) contenant des minéraux phosphatés sous forme amorphe ou cryptocristalline (collophane), ou sous forme finement cristalline (variétés proches de l'apatite), en quantité suffisante pour être exploitée (industrie des engrais p. ex.). Ces phosphates dérivent de l'apatite des roches magmatique, mise en solution dans la mer et fixée par des végétaux et des animaux (par exemple : os avec 60% de phosphates, dents avec 90%, excréments,...etc.) (Dictionnaire de géologie;)

I.4.4.2 Usage des phosphates

L'utilisation des phosphates a été initialement associée au développement de l'agriculture qui est la plus grande consommatrice d'engrais phosphatés. En dehors du rôle fondamental du phosphore dans la production agricole, les 15% des phosphates d'usage non agricole sont utilisés dans la métallurgie (alliage), l'industrie chimique (pesticides, détergents), pétrolière (lubrifiant), alimentaire et pharmaceutique.

I.4.4.3 Secteur de préparation mécanique

Ce secteur consiste trois opérations essentielles, dans le but est de libérer la substance utile de la gangue et de réduire les dimensions des blocs de $D_{\max}=1200$ mm jusqu'à 20 mm. Ces opérations sont respectivement comme suite :

I.4.4.3.1 Concassage

Cette opération a pour but la réduction des blocs (1200 mm) à une granulométrie inférieure à 200 mm. Elle se fait au moyen d'un concasseur à cône giratoire « BABITLES» et un concasseur à percussion « HAZEMAG».

I.4.4.3.2 Broyage

Cette opération consiste à réduire les dimensions du produit concassé jusqu'à une dimension de 20 mm. Elle est effectuée avec trois broyeurs articulés en parallèle, avec une capacité de production de 300 t/h chacun.

I.4.4.3.3 Criblage

Cette dernière opération de la préparation mécanique consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 15 mm au moyen de trois cribles vibrants à résonances WEDAG d'une capacité de 300 T/h/crible et deux cribles vibrants inclinés HAZEMAG d'une capacité de 600 T/h/crible et une ouverture de 10 mm. Le passant du crible ayant une granulométrie inférieure à 15 mm alimente les deux voies pour l'obtention du produit marchand.

I.4.5 Phosphates et environnement

Les phosphates naturels contiennent des cations métalliques qui peuvent être valorisés en tant que sous-produits (U, TR, V, Ti...) (22) ou qu'il convient d'éliminer parce qu'ils constituent un danger pour l'environnement (U, Cd, Mo, Se, As...) par suite de l'utilisation des engrais phosphatés (23).

Le taux de cadmium dans le sol européen est devenu, ces dernières années, une des principales préoccupations de la CEE. Il a été estimé que 30 à 60% du cadmium contenu dans les récoltes provient de l'atmosphère et 40 à 70% du sol. Une des sources de cadmium dans le sol est l'engrais phosphaté. Au rythme actuel d'utilisation de ces engrais, surtout dans les pays industrialisés, il y a une accumulation de cadmium dans le sol.

Le phosphore est, avec le nitrate, un des grands responsables du phénomène de l'eutrophisation. Un autre problème environnemental est que les terrils de phosphogypse découlant de la production industrielle d'engrais contiennent des éléments radioactifs. Pour cela des études de valorisation et de dépollution des phosphates ont été effectuées (Boussen, 2007), dans le but de récupérer certains éléments, tel que l'uranium, ou d'éliminer certains éléments toxiques ou nuisibles tels que le cadmium et les métaux lourds.

I.5 Marnes

I.5.1 Définition des marnes

La marne est une roche sédimentaire, mélange de calcite(CaCO_3) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 %. Au-delà de 65 % de calcaire, il s'agit d'un calcaire argileux, tandis qu'en deçà de 35 % de calcaire parfois argile calcareuse ou argile calcarifère. (24).

I.5.2 Origine des marnes

Les marnes sont des origines sédimentaires, se présentent sous forme de dépôts massifs, les particules constituant les marnes, sont le plus souvent transportées par l'eau et le vent.

Elles s'accumulent dans les creux ou au fond de l'eau. Quel que soit le milieu, l'ensemble des particules finit par se déposer en couches superposées formant des dépôts sédimentaires.

La fraction argileuse de la marne provient soit de l'altération des massifs émergés, qui sont des argiles, soit par un processus acheminé par un réseau hydrographique, les niveaux argileux se déposent dans le bassin de sédimentation.

Les marnes auront une origine détritique ou alors une origine chimique ou les minéraux argileux s'étaient, dans ce cas, à partir d'ions en solution dans l'eau. Pendant et après le dépôt, les phénomènes de diagenèse interviennent, aboutissant ainsi à la formation du matériau dit « marne », (25)

Ce massif, par leur propre poids, exercent une pression sur les particules. Les couches se compactent et se stabilisent. Cet ensemble d'actions appelé « diagenèse » donne aux matériaux un aspect stratifié et compact.

I.5.3 Genèse des marnes

La formation des marnes résultante, soit de l'altération des massifs émergés, soit de la reprise des sols. Après un transport, les minéraux argileux stockés au bassin de sédimentation. Dans les étapes proprement chimiques du cycle sédimentaires, les néoformations dominent (carbonates, silex, phosphate). Au cours du dépôt, et après celui-ci, il comprend les phénomènes de diagenèses, d'après (26).

Les aspects de la diagenèse varient selon le type de sédiments ou par leur taille:

□ Diagenèse des carbonates: par l'étude de la sédimentologie des carbonates on voit deux types de phénomènes :

- Un qui affecte la composition minéralogique et chimique (recristallisation, remplacement, dissolution, cimentation, formation de nodules).

- Et l'autre qui altère la structure (déformation, fracturation, plastique).

Diagenèse des minéraux argileux: sont affectées en raison de leur taille, de leur surface spécifique élevée, de leur structure feuilletée facilitant les échanges d'ions entre le minérale et son entourage. (27)

I.5.4 Caractéristique des marnes

Les marnes situées entre les calcaires et les argiles, ainsi les calcaires marneux, ne contiennent que 5% à 35% d'argile, les marnes argileuses de 65% à 95% d'argile, tandis que, les marnes au sens stricte contiennent de 35% à 65% d'argile (28), les marnes sont tendres, poreuses, friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont mouillées, sa sensibilité à l'eau favorise les instabilités de pente, le glissement de terrain et le ravinement, le fluage des marnes, sont à l'origine de catastrophes régulières. (Tab.02, Tab.03)

Les marnes sont contrairement aux argiles, elles font réagies avec les acides à cause de la présence du calcaire. La finesse des éléments constitutifs (minéraux argileux, carbonates et, parfois, silice en faible quantité). Les marnes classées dans le groupe des lutites, ou pélites (29).

Les alternances marne-calcaire sont très fréquentes dans les séries sédimentaires et portent le nom de formation marno-calcaire.

Tableau.I. 1 . Nom de la roche selon le pourcentage de calcaire et d'argile

CaCO3 %	Argiles %	Nom de la roche	Comportement
00%	100%	Argile	Plastique
10%	90%	Argile	Plastique
35%	65%	Marne argileuse	Plus ou moins rigide
65%	35%	Marne	Plus ou moins rigide
90%	10%	Calcaire marneux	Rigide
100%	00%	Calcaire	Rigide

Tableau.I. 2 . Nom de la roche selon la classification LCPC

Classification LCPC	
Roches	Pourcentage de CaCO
Argile ou Silt	00% a10%
Argile ou Silt-Marneux	10% à 30%
Marne	30% à 70%
Calcaire-Marneux	70% à 90%
Calcaire-Marneux	90% à 100%

I.5.5 Comportement des marnes

Les marnes sont réputées avoir un comportement complexe, car elles pourraient être très dures à l'extraction et très altérables à la fois, les blocs extraits perdent toute résistance au bout de quelque temps d'exposition aux intempéries. Les caractéristiques mécaniques des marnes liées à :

- L'importance respective de chacune des phases.
- La nature minéralogique de la phase argileuse.
- La présence d'argiles montmorillonitiques ou d'argiles fibreuses comme les phyllosilicates.

On peut classer le comportement des marnes selon les liaisons entre carbonates :

- Si les liaisons entre carbonates sont abondantes et fortes, le matériau aura un comportement de roche.
- Si les carbonates sont noyés dans une matrice argileuse, le matériau aura un comportement de sol.

I.5.5.1 Comportement physique des marnes

Le comportement physique de la marne est souvent lié à l'évolution de sa granulométrie et sa plasticité, d'après les études sur un remblai construit en marne (30), ont remarqué une augmentation des proportions fines après le compactage, les résultats sont présentés dans la figure 9

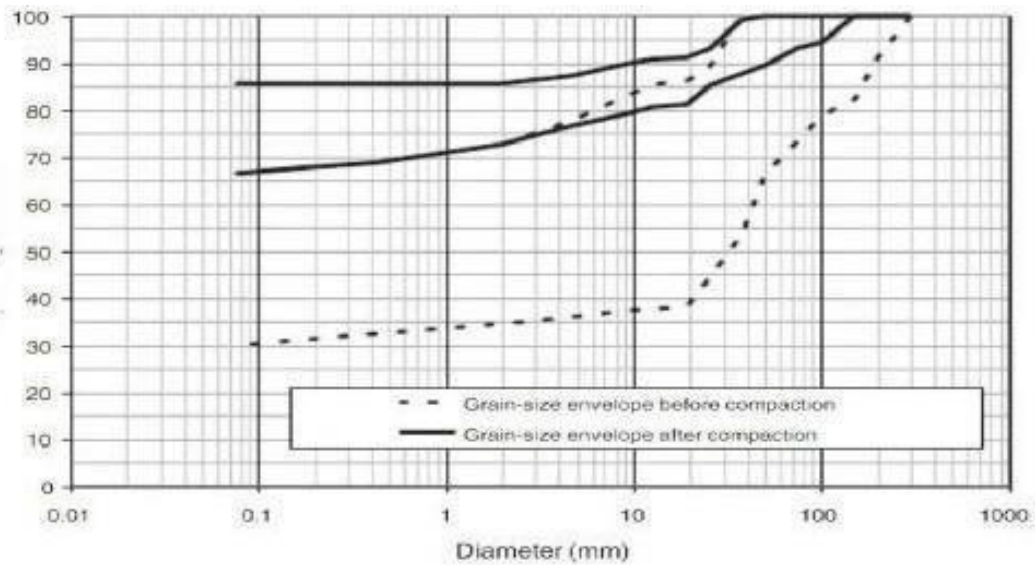


Figure I. 8. Courbe de granulométrie de la marne avant et après compactage [31]

Un fragment de marne séché, lorsqu'on le plonge dans l'eau, se désagrège d'autant plus rapidement que la proportion de calcaire est plus faible, la figure 10 représente les résultats des travaux réalisés par Cardoso et Alonso (2012) dans le cadre d'étude le comportement physique des marnes compactées dans différents états hydriques. Ils ont remarqué qu'après plusieurs cycles de séchage-mouillage, les particules de la marne compactée deviennent plus fines.

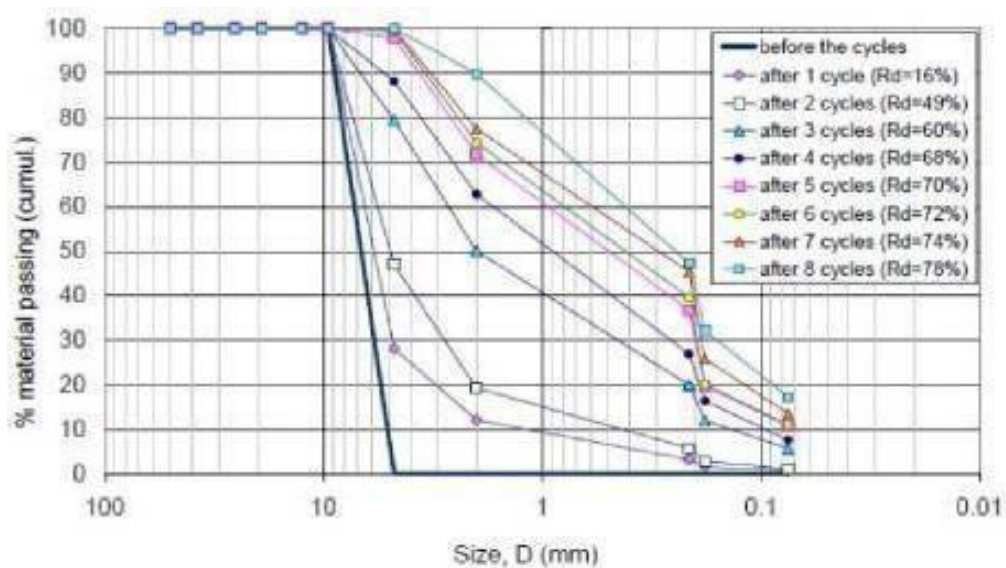


Figure I. 9. Évolution de la granulométrie de la marne après plusieurs cycles séchage-mouillage

I.5.5.2 Comportement mécanique des marnes

D'après Cardoso et al (2012), la marne compactée possède un double comportement,

- Déformations à l'état sec
- Dégradation des liaisons de la matière au milieu saturé

Les déformations à l'état sec s'expliquent par la rupture des particules et leur réorganisation dans la matrice solide engendrant un effondrement de la structure-t-elle que la dégradation des liaisons de la matière, ce qui déclenche le phénomène du gonflement ainsi que la chute brutale de la rigidité et de la résistance de l'ensemble de fragment.

Selon (28) (Figure 11) le gonflement des marnes peut être généré par plusieurs moteurs, les plus essentiels sont :

- La proportion d'argiles.
- La présence de la matière organique.

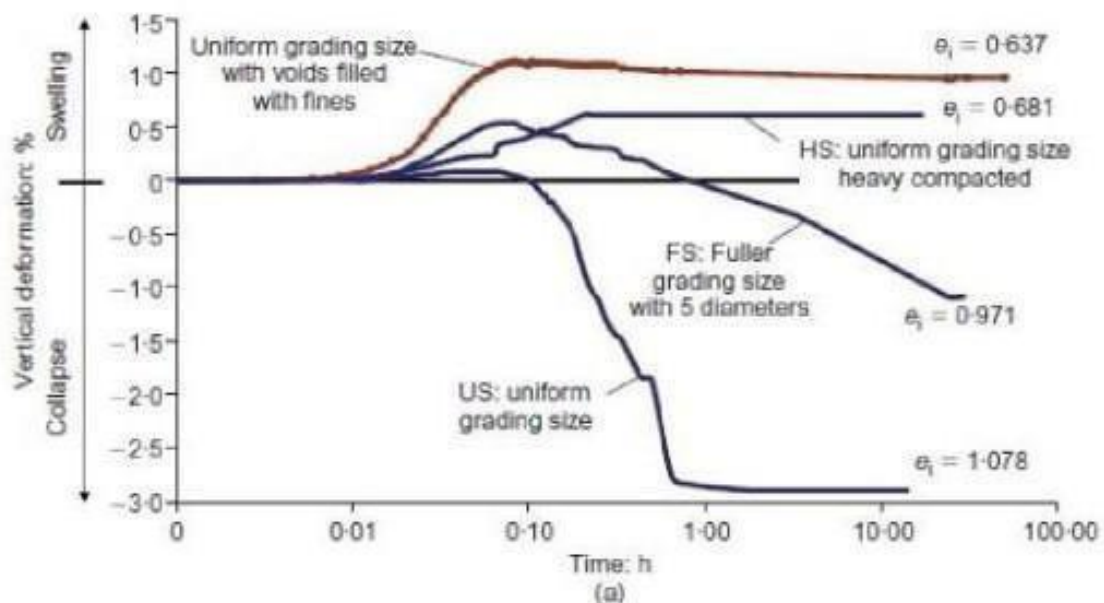


Figure I. 10. Gonflement et dégradation des échantillons de marne en fonction du temps (28)

Dans l'étude (30) sur la sensibilité à l'eau des marnes, il remarque que les marnes qui affleurent la surface de sol sont souvent endommagées par des infiltrations d'eau, ce qui va réduire leur performance mécanique, (Figure 10).

Les différences de comportement au gonflement constatées pour ces matériaux ne sont pas liées uniquement à la présence de la marne. Si on observe les paramètres physiques de ces matériaux tels que le degré de saturation et l'indice des vides, jouent également un rôle important, D'après (28), le gonflement le plus faible sont des formations presque saturées, avec un indice des vides et une porosité très faibles, des masses volumiques sèches et humide élevées, par contre les marnes d'un autre type présentent un faible degré de saturation, une forte porosité, un indice des vides intermédiaire et des masses volumiques plus faibles. Ces caractéristiques indiquent que cette formation présente un gonflement plus important que les marnes noires.

Aussi Paaza et al (1998) dans leur étude sur la marne de Granada en Espagne, ils ont trouvé que les propriétés de cisaillement sont liées à la plasticité de la marne. Les mêmes auteurs remarquent qu'après une forte dégradation, la marne devient plus plastique ce qui diminue son angle de frottement interne.

I.6 CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique à montre que nombreux produits peuvent être utilisés dans La formulation du mortier :

- Améliorer certaines propriétés mécaniques et physiques.
- Et aussi l'effet, l'action des additions minérales sur la matrice cimentaire
- Les différents types des adjuvants utilisés pour les formulations des mortiers.

Dans cette revue bibliographique, notre objectif était de définir les différents Constituants du mortier, Les mécanismes d'action, et sa caractérisation.

- Les différents types des mortiers et ces classes.
- Type et choix d'un mortier en fonction de la Performance.

Chapitre II :
Matériels
Et Méthodes

II.1 Introduction

Ce chapitre vise à fournir une description détaillée des outils, des protocoles et des processus utilisés dans le cadre de notre étude, nous détaillerons les équipements et les matériaux utilisés suivis des méthodes expérimentales employées pour la collecte et l'analyse des données.

Chaque étape du processus sera décrite avec précision influant les conditions expérimentales, les techniques de mesures,

En fournissant ces informations de manière exhaustive nous espérons non seulement démontrer la rigueur de notre démarche scientifique mais également contribuer à l'avancement de la recherche dans ce domaine.

II.2 Préparation des rejets

C'est un échantillon du phosphate qui provient de la mine de djebel Onk située dans la wilaya de Tébessa.

L'échantillonnage a été réalisé par la SOMIPHOS.

II.2.1 Séchage

Le séchage à l'air libre consiste à exposer les échantillons prélevés à l'environnement ambiant afin d'éliminer toute humidité présente. Pour ce faire, les échantillons sont disposés dans un endroit bien ventilé (laboratoire génie minier), à l'abri de l'humidité et de la pluie directe.

Ils sont étalés sur des surfaces propres et non contaminantes, comme des plateaux ou des bâches, en veillant à les espacer pour permettre une meilleure circulation de l'air. Le temps de séchage nécessaire est 48H afin d'assurer que nos échantillons sont secs.

II.2.2 Concassage

Afin de produire un matériau homogène, les échantillons ont subi un concassage primaire au niveau du laboratoire de préparation mécanique (génie minier).

Nous avons utilisé un concasseur à mâchoire de marque Fritsch Pulvérisent, modèle « N° 2553/BF/FF/2011 ». La masse de l'échantillon est 5 kg, l'ouverture du concasseur est de 2 mm, cette valeur est choisie selon les besoins de notre étude, nous cherchons à remplacer une partie de sable par les rejets, puisque le sable généralement utilisé est de diamètre qui varie entre 0 et 2 mm.



Figure II. 1 .Concasseur à mâchoire (laboratoire préparation mécanique)

II.2.3 Quartage et homogénéisation

Le Quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon, par division en quatre quarts, dont on prélève deux quarts opposés, les deux autres quarts seront gardés comme témoin, c'est une opération de réduction de poids de L'échantillon pour l'analyser.

L'échantillon concassé et homogénéisé est étalé sous forme d'une galette puis divisée en 4 parties égales numérotées ((1+3 et 2+4)), On prendra une partie des deux parties opposées (1+3 ou 2+4) puis on gardera une autre partie comme témoin.



Figure II. 2 .L'échantillon divisée en 4 parties égales numérotées

II.2.4 Analyse granulométrique (EN 933-2):

L'essai de granulométrie est une méthode de caractérisation physique utilisée pour analyser la répartition des différentes tailles de particules dans un matériau. Il consiste à séparer le matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes en utilisant une série de tamis. Les dimensions des mailles et le nombre de tamis sont sélectionnés en fonction des caractéristiques de l'échantillon et de la précision requise.

Les masses des grains retenus sur chaque tamis sont ensuite rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages cumulés de particules passant à travers chaque tamis sont présentés sous forme de valeurs numériques et, si nécessaire, peuvent également être représentés graphiquement. Cette représentation permet de visualiser la répartition granulométrique du matériau et d'obtenir des données précises sur les différentes fractions de tailles de particules présentes.

L'obtention de cette dernière après le traitement mécanique a été réalisée en utilisant une tamiseuse vibrante pour effectuer un tamisage à voie sèche sur une série de tamis d'ouverture allant de 2 à 0,063.

II.2.5 Broyage

Le processus de broyage consiste à réduire la taille des matériaux solides tels que les minerais et les roches pour les transformer en particules plus petites et plus facilement exploitables dans différents secteurs tels que les matériaux de construction, La forme des granulats influence sur la facilité de mise en œuvre et le compactage du béton/mortier. Ainsi la compacité du mélange, donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment. En plus l'état de surface des grains influence sur la compacité du mélange et l'adhérence du granulat à la pâte de ciment.

Le broyeur à disques (laboratoire LTMGP U.de Bejaia) permet de broyer à sec ou humide des matériaux solides, cassants et extrêmement durs. Le but visé est d'obtenir une fraction finement broyée ($\leq 125\mu\text{m}$)

Application : mines et métaux, céramique, agriculture et environnement, analyses infrarouges et Rayon X.



Figure II. 3. Broyeur à disques et anneau oscillants.



Figure II. 4. Dispositif de broyeur à disques et anneaux oscillants.

Mode opératoire :

La réalisation de broyage se fait en divisant la quantité initiale (1 kg de marne beige et 1 kg de noir) selon la capacité de broyeur avec une vitesse de rotation de 600 tr/min pendant 05 min (03 cycles) Jusqu'au broyage total des quantités initiales.

Résultats du broyage**Figure II. 5.** Marne noire $\leq 0.125 \mu\text{m}$ **II.2.6 Tamisage**

Le tamisage est une méthode de prétraitement mécanique qui permet de diviser des particules en fonction de leur taille, voici le fonctionnement de cela. Le tamisage repose sur le fait que l'effluent (comme de l'eau) passe par un média filtrant (un tamis) dont la taille de maille est déterminée. Les particules dont la granulométrie dépasse la maille sélectionnée sont retenues par ce tamis. Il est possible de décharger les déchets solides collectés dans un système de compactage afin de diminuer leur poids/volume et d'atteindre une siccité optimale.

Mode opératoire :

Le tamis de taille inférieure à $125\mu\text{m}$ est rempli de marne finement broyée. On les ajoute au fond du tamis et on les utilise efficacement avec la tamiseuse vibrante. La durée de marche est de 10 minutes et l'amplitude est de 40.

Le processus se répète plusieurs fois jusqu'à ce que nous arrivions à un poids de 1 Kg chaque de chaque marne.



Figure II. 6. tamiseuse vibrante.

Résultats du tamisage

1000g de chaque type de Marne a été récupéré, qui sera soumis à des analyses FRX, DRX et le procédé de calcination. La première portion sera calcinée à 800°C pendant une heure, la deuxième portion restera brute, puis elles seront les deux utilisées pour l'élaboration du mortier.



Figure II. 7. 500g de tamisât destiner à la calcination.

II.3 Analyse chimique par Fluorescence X:

La spectrométrie de fluorescence X est méthode d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Comme est une propriété spectrale des atomes qui est analysée pour obtenir des informations qualitatives sur la composition élémentaire de divers mélanges (32)

La FRX est employée dans divers secteurs tels que la recherche et le développement, la cimenterie, les métaux et alliages, l'environnement, les polymères et plastiques, les revêtements et films minces.

Elle peut analyser des substances allant du Béryllium (Be) à l'Uranium (U), et propose une analyse micrométrique pour des échantillons de taille inférieure à 500 μm .



Figure II. 8. Spectromètre à fluorescence X (de marque Scias)

II.3.1 Principe de fonctionnement

Lorsqu'un matériau est exposé à un rayonnement de courte longueur d'onde haute énergie, comme les rayons X, les rayons gamma ou les faisceaux d'électrons ou des ions suffisamment accélérés pour que les atomes qui composent le matériau puissent subir ionisation, c'est -à-dire qu'un ou plusieurs électrons par atome (on dit aussi orbitales atomiques). Par conséquent, le rayonnement de fluorescence peut être analysé d'une manière équivalente en énergie par logiciel d'analyse, à partir des concentrations élémentaires et des formules chimiques on parle d'analyse de dispersion d'énergie ou de longueur d'onde (ROUESSAC).

Le spectre du matériau analysé est intensité du rayonnement en fonction de l'énergie, généralement exprimée en électronvolts (vé) ou en longueur d'onde. C'est un outil puissant pour l'analyse chimique élémentaire, branche de la chimie analytique.

La (figure II.09) montre le principe de fonctionnement de diffraction par FX ;

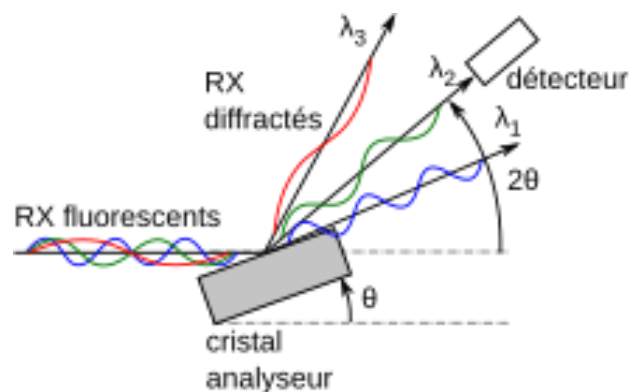


Figure II. 9. Le principe de fonctionnement de diffraction par FX ;

En résumé, la FRX représente une méthode d'analyse puissante et polyvalente qui joue un rôle essentiel dans de multiples secteurs de la science et de l'industrie., elle offre la possibilité d'analyser rapidement et de manière précise la composition élémentaire des matériaux, ce qui favorise la recherche, le développement et la qualité des produits.

II.4 Analyse minéralogique par diffraction X

C'est une méthode d'analyse de la structure cristalline des matériaux cristallisés, qu'ils soient massifs, sous forme de Poudre ou Solide. En observant le motif de diffraction produit par les rayons X qui le traversent.

Cette technique analytique est également utile pour détecter la présence d'impuretés ou de contaminants, qui pourraient affecter la qualité du produit final. La quantification des phases minérales et de leurs éléments respectifs est un aspect critique de l'analyse minéralogique (33) (34) (35) (36.).

La DRX est largement utilisée dans de nombreux domaines comme moyen non destructif et de déterminer l'arrangement atomique et moléculaire de ces matériaux, donnant les propriétés d'une variété de ces matériaux, y compris les minéraux, la céramique et les métaux, aussi est utilisé pour caractériser la structure cristalline des matériaux cristallins, ainsi que la texture et la microstructure qui l'accompagne grâce à cette technique est non destructive, locale, sélective et quantitative .



Figure II. 10. Diffractomètre à RX (CRAPC-BEJAIA)

II.4.1 Principe de fonctionnement

L'application d'une méthode d'analyse minéralogique est employée pour l'examen des matériaux cristallisés, elle s'applique sur des échantillons massifs. Grâce à l'examen de ces propriétés, les scientifiques peuvent identifier à la fois la composition et la pureté du matériau.

Le traitement des diffractogramme obtenu est un spectre s'effectue à l'aide d'un logiciel « X perte plus » basé sur la fiche d'une base de données faisant correspondre les distances inter réticulaires d'aux angles 2θ enregistrés. 2θ DRX balayés.

Chaque phase minérale cristallisée est caractérisée par un ensemble de pics 2θ DRX correspondant à la périodicité de la distance réticulaire. La méthode Rietveld (1993) permet une interprétation quantitative d'un diffractogramme. La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé (37).

La condition de la réflexion est donnée par l'équation de Bragg dans laquelle est exprimée sous la forme (Derfouf. Ch. 2011) :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Avec :

- • n : l'ordre de la diffraction ;
- • λ : longueur d'onde de rayon X ;
- • θ : l'angle entre le faisceau incident et le plan diffractant ;
- • d : la distance inters réticulaire entre deux plans diffractant d'un Cristal.
- Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs. La figure ci-dessous représente le principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X :

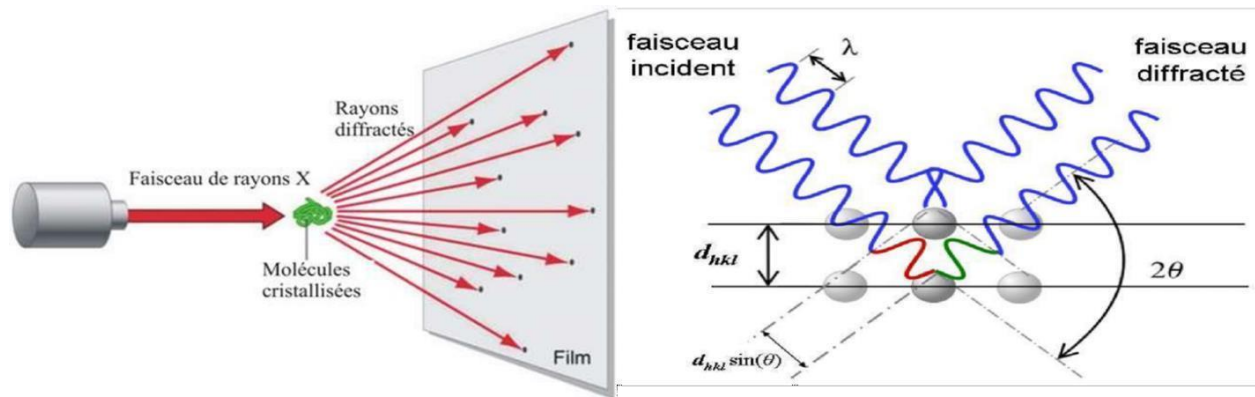


Figure II. 11. Principe de fonctionnement de la diffraction par rayons X.

II.5 Procédé de calcination

Le processus de calcination implique de chauffer intensément un matériau solide dans une enceinte fermée. Les températures élevées lors de ce chauffage, souvent supérieures à 800 °C, altèrent les caractéristiques physiques et chimiques du matériau. Voici quelques aspects essentiels de la combustion :

- La calcination consiste à chauffer un matériau inerte afin de le décomposer ou de provoquer des réactions chimiques actives, dont l'un des effets essentiels est l'élimination d'une partie de la matière organique sous forme gazeuse (CO_2 , H_2O ...). Elle agit également sur les propriétés d'usage (composition, granulométrie, densité, porosité, surface spécifique, dureté, capacité calorifique, conductivité thermique...etc.)
- Le but de calcination est d'augmenter la teneur en TPL du phosphate tout en brûlant les matières organiques contenues dans le produit.



Figure II. 12. Four à moufle de calcination

Mode opératoire :

Les fours sont situés au laboratoire physique (département science de la matière) (figure II.12), l'échantillon de 500 g de marne beige a été préparé pour la calcination dans 4 creusets en porcelaine, les échantillons ont subi une calcination sous un cycle thermique Chaque échantillon est chauffée jusqu'à 800°C avec une vitesse de chauffage de 10°C/min suivie d'un maintien d'une heure et un refroidissement à l'inertie du four.

Résultats

Afin d'obtenir une marne calcinée, nous avons utilisé un four à l'Université de « Bejaia » pour traiter 1000g de chaque marne (noir, beige) à une température de 800°C.

Voici les résultats figure II.13.pot fraîchement sortie du four.



Figure II. 13.pot fraîchement sortie du four.



Figure II. 14.beige calciné

II.6 Technique de caractérisation de mortier élaboré

II.6.1 Résistance a la Flexion :

La machine utilisée est la machine de flexion trois points (deux appuis et un une force concentrée au milieu). Si la charge de rupture de l'éprouvette en flexion est P , le moment de rupture est $P l/4$ et la contrainte de traction correspondante est $P l/4$ sur la face inférieure de l'éprouvette. La formule pour calculer le R_f (en N/mm^2) est la suivante : $R_f = 1,5 * P * l / b^3$. (38)

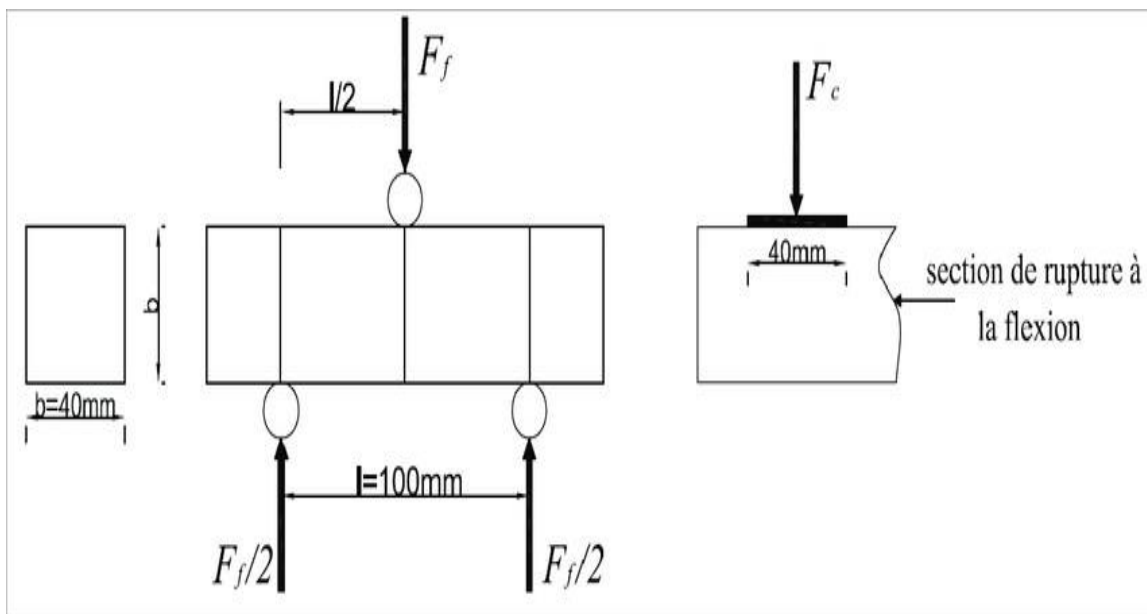


Figure II. 15 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

D'où : La résistance en flexion, exprimée en newtons par millimètre carré ou en MPa, s'appelle R_f . Le côté de la section carrée du prisme, en millimètres, est indiqué par b .

La charge appliquée au centre du prisme à la rupture est exprimée en newtons. La distance entre les appuis est exprimée en millimètres. On utilise une machine de flexion à trois points (avec deux appuis et une force concentrée au centre).

II.6.2 Résistance a la Compression :

Les échantillons obtenus après une épreuve de flexion doivent être soumis à une nouvelle épreuve de compression. Latéralement, centrer chaque demi-prisme par rapport aux plateaux de la machine à une distance de ± 0.5 mm en utilisant le dispositif avec une surface d'application de 4×4 cm². Ensuite, appliquer la charge en augmentant progressivement avec une vitesse providence jusqu'à ce qu'elle se brise.

La machine utilisée est la machine de compression, conforme à la norme EN12390-4 avec un dispositif de surface 4×4 cm².

On calcule la résistance en compression R_C (exprimée en N/mm²) en utilisant la formule suivante :

$R_C = F_c / b^2$ Avec : La résistance à la compression est exprimée en MPa.
 F_C : Charge de déconnexion en (N). b : La taille de l'éprouvette est de 40 mm (38)

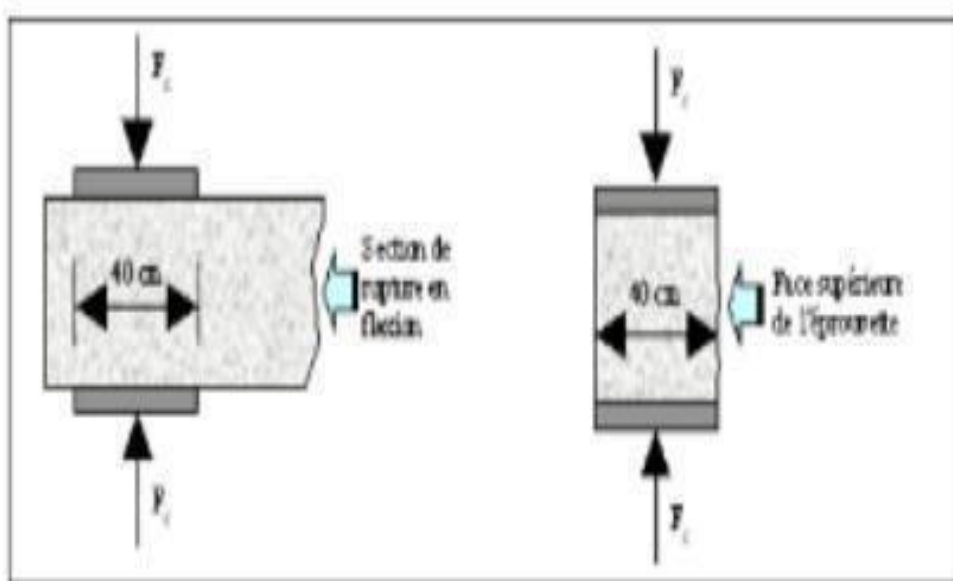


Figure II. 16. Dispositif pour l'essai de résistance à la compression

II.7 Conclusion :

Grâce aux tests d'identification mentionnés précédemment, nous avons pu évaluer la qualité des matériaux sélectionnés pour la réalisation de cette étude et grâce à notre compréhension des principales caractéristiques des matériaux, nous pouvons sélectionner les dosages appropriés afin de produire un mortier de qualité de plus, cela nous permet de commenter et d'argumenter de manière significative les résultats des essais mécaniques.

Chapitre III :
Caractérisations physico-
chimiques des matériaux
utilisés

III.1 Introduction

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus pendant le programme d'analyses sont abordées dans ce chapitre, il serait intéressant de poursuivre cette étude en analysant plus en détail les transformations minéralogiques qui se produisent lors de la calcination.

Cela englobe des méthodes telles que la diffraction des rayons X et la fluorescence en rayon X, qui peuvent fournir des données précieuses sur les phases minérales présentes et leur composition chimique.

Les résultats obtenus nous donneront la possibilité de connaître et d'évaluer le comportement des divers matériaux qui entre dans l'élaboration du mortier.

Afin de faciliter la compréhension des résultats, ils seront exposés à travers des tableaux et des histogrammes.

III.2 Analyse granulométrique

Le tamisage de la marne noire sommitale issu de minerai de phosphate de Djebel-Onk selon la norme (EN 933-2), l'échantillon est de 500g et le tamisage est à une amplitude de 05A pendant 10min sur une série de tamis allant de, (2mm, 1mm, 0,9mm, 0,5mm ; 0,35mm ; 0,25mm ; 0,125mm ; 0.63mm jusqu'à <0.63mm).

Les résultats portés dans le tableau (III. 1) et représenté par les courbes de la figure (III.1).

Tableau III 1 Répartition granulométrique de la marne noire

Tamis mm	Masse (g)	Rendement pondérale %	Rendement de refus cumulé %	Rendement de passants cumulé%
2	121.16	24.285	24.285	75.715
1	60.28	12.08	36.365	63.635
0.5	47	9.42	45.785	54.21
0.25	87.29	17.496	63.281	36.719
0.125	91.12	18.26	81.541	18.45
0.063	50.23	10.068	91.609	8.391
≤0.063	41.82	8.38	99.989	0.011
Total	498.9	100	-----	-----

D'après la courbe d'analyse granulométrique, on a obtenu : $D_{10} = 0.075$ mm, $D_{30} = 0.20$ mm, $D_{50} = 0.43$ mm, $D_{60} = 0,81$ mm, $D_{90} = 0$ mm on calcule après le coefficient de HAZEN (C_u) et le coefficient de courbure pour savoir l'état de notre matière selon les équations suivantes :

Facteur de courbe :

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$1 < C_c < 3 \rightarrow$ matériau bien gradué (la continuité est bien répartie).

$C_c < 1$ ou $C_c > 3 \rightarrow$ matériau mal gradué (la continuité est mal répartie).

Facteur d'uniformité :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

D_{60} = diamètre effectif des particules qui correspond à 60 % des passants.

D_{10} = diamètre effectif des particules qui correspond à 10 % des passants.

D'après la valeur du coefficient d'uniformité on distingue cinq classes de distribution granulométrique (39) voir Tableau

Tableau III 2 .classes de distribution granulométrique

Coefficient d'uniformité	Classe de distribution granulométrique
$C_u \leq 2$	Granulométrie très serrée
$2 < C_u \leq 5$	Granulométrie serrée
$5 < C_u \leq 20$	Granulométrie semi étalée
$20 < C_u \leq 200$	Granulométrie étalée
$200 < C_u$	Granulométrie très étalée

Pour la marne noire le coefficient d'uniformité d'HAZEN (Cu) est grand $Cu = 10.8$ c'est-à-dire la granulométrie est semi étalée ; le Cu permet de caractériser de façon quantitative l'étalement d'a courbe granulométrique donc l'échantillon présente une granulométrie hétérogène, ce qui nous laisse à dire que la résistance mécanique des différents composants minéralogiques de l'échantillon est très variable.

Le coefficient de courbure (Cc) étant inférieur à 1, le Cc décrit la forme de la courbe et cela s'explique par le fait que la granulométrie est mal graduée (continuité mal répartie).

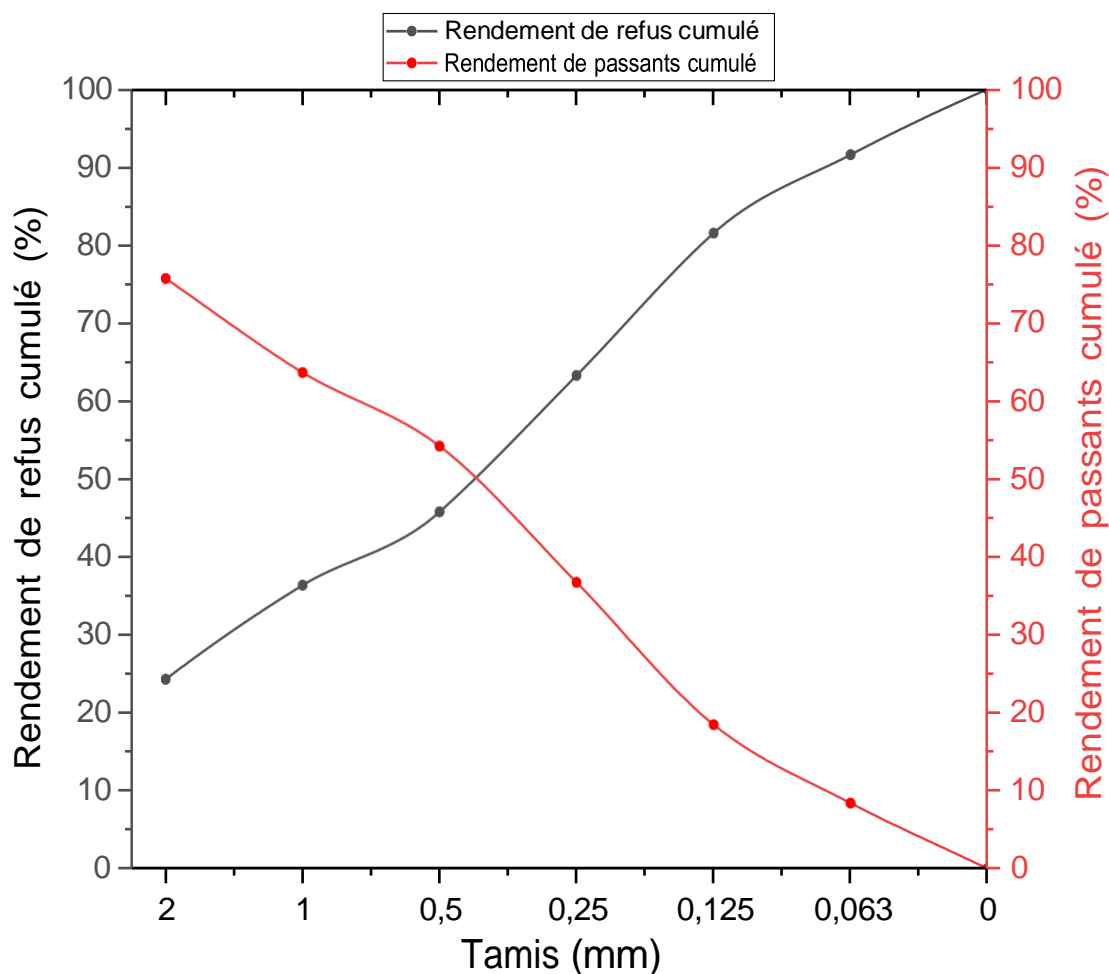


Figure III 1. Courbe d'analyse granulométrique

III.3 Analyses de composition chimique par FRX

La composition chimique des échantillons a été déterminée par la Fluorescence aux rayons X au niveau du CRAPC de Bejaïa. Les résultats obtenus par FRX sont présentés dans les tableaux et les histogrammes suivants

Tableau III 3 Analyses chimiques des éléments majeurs de la marne noir non calciné et calciné à 800 C°

	MNNC	MNC
Al	1,32	1,02
As	0	9,2E-4
Ca	42,29	40,17
Cr	0,01473	0,02666
Cu	0,00294	0,00668
E.L	35,38	35,08
Fe	0,37693	0,48885
K	0,12636	0,0489
Mg	4,24	8,39
Ni	0,00602	0,00365
P	11,02	8,19
S	2,08	3,83
Si	2,93	2,48
Sr	0,17867	0,20195
V	0	0,02542
Y	0,00987	0,01102
Zn	0,02421	0,03528
Zr	0,00157	0

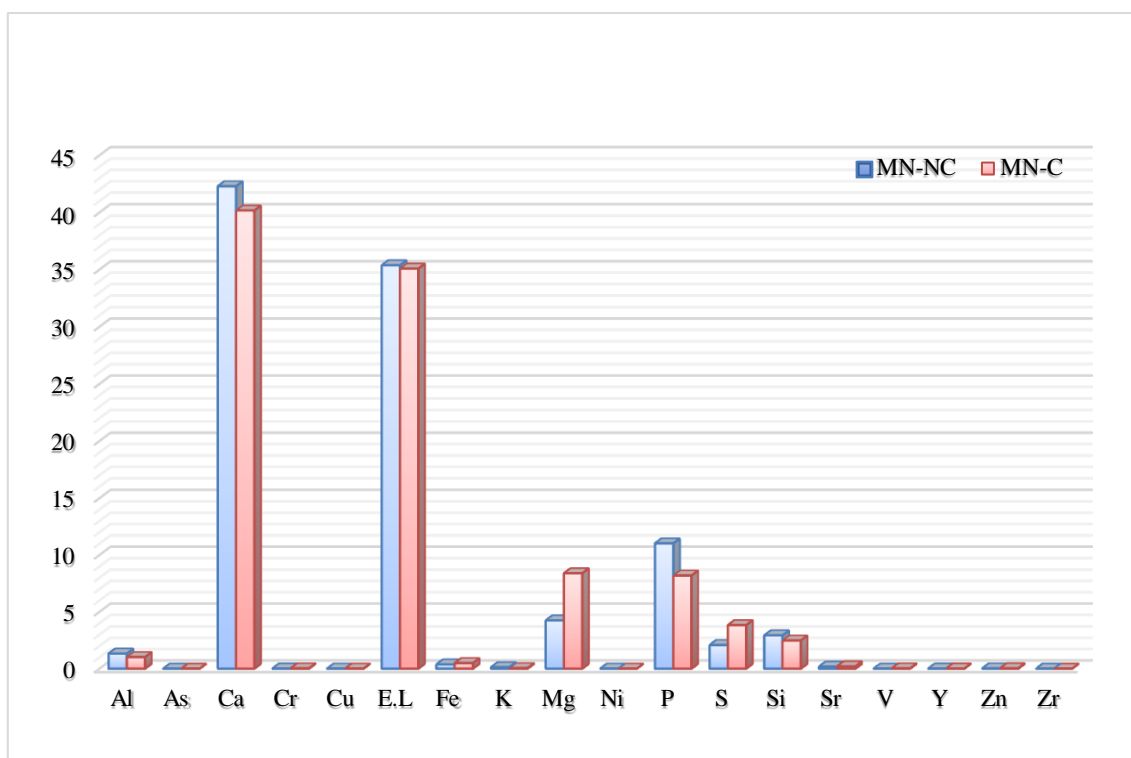


Figure III 2 Composition chimique de la marne noire

III.3.1 Marne noir non calciné

Les résultats FRX montrent que le calcium, phosphore et le Mg sont les minéraux dominants avec des pourcentages 42.29% ; 11.02% et 4.24% respectivement. Le S et Si est peu présent dans cet échantillon, avec un pourcentage massique de 2,08 % et 2,93% pour chaque un, suivi de et Al 1,32%.

L'analyse élémentaire montre un pourcentage assez considérable en Apatite et en dolomite, des traces de cadmium, fer, nickel et silicium.

III.3.2 Marne noir calciné

D'après les résultats de l'analyse pour cet échantillon on remarque la diminution de taux de calcium 40.17% et du phosphore 8.19% ainsi que le Si représente 2,48% et l'augmentation de Mg à 8,39 %.

L'analyse élémentaire montre une forte teneur en Magnésium et un pourcentage assez considérable en Sulfure par contre la teneur en Plomb est négligeable. Cet échantillon montre beaucoup d'éléments en traces tel que le zinc, nickel, Strontium, l'Yttrium.

III.3.3 Marne beige non calciné

L'analyse élémentaires montre un pourcentage assez considérable en Ca, et au Phosphore.

D'après les résultats de l'analyse pour cet échantillon on remarque que le Si représente un pourcentage faible de 3,16 % et un taux de Al 1,44 % par contre le taux de Mg est à 3,9%.

Cet échantillon montre des traces de rubidium, nickel, fer, zirconium et de Molybdène.

III.3.4 Marne beige calciné

L'analyse élémentaires montre une forte augmentation de la teneur en calcium et phosphore 50.86% et 10.73% respectivement, avec une augmentation relativement légère en sulfure.

Les résultats de l'analyse pour cet échantillon on remarque que le Si à légèrement augmenté à 3,35% et un taux d'Al faible par rapport aux autres échantillons avec 1,37%. Alors que le Mg montre une forte augmentation a 7.26%.

Cet échantillon montre d'autres éléments en traces avec des teneurs très faibles on note le nickel, fer, le cuivre, le zinc.

Tableau III 4. Analyses chimiques des éléments majeurs de la marne beige non calcine et marne beige calcine à 800 C°

	Mbnc	Mbc
E.L	35,44	21,43
Mg	3,9	7,26
Al	1,44	1,37
Si	3,16	3,35
P	10,78	11,73
S	2,18	3,03
K	0,20229	0,17971
Ca	42,27	50,86
Cr	0,01868	0,03487
Fe	0,39964	0,49286
Ni	0,00378	0,00321
Cu	0,0038	0,00385
Zn	0,02594	0,03254
Sr	0,15361	0,20095
Y	0,01016	0,01294
Zr	0,00139	0,00238
Rb	0,0007	0,00095
Mo	0,00226	0,00338

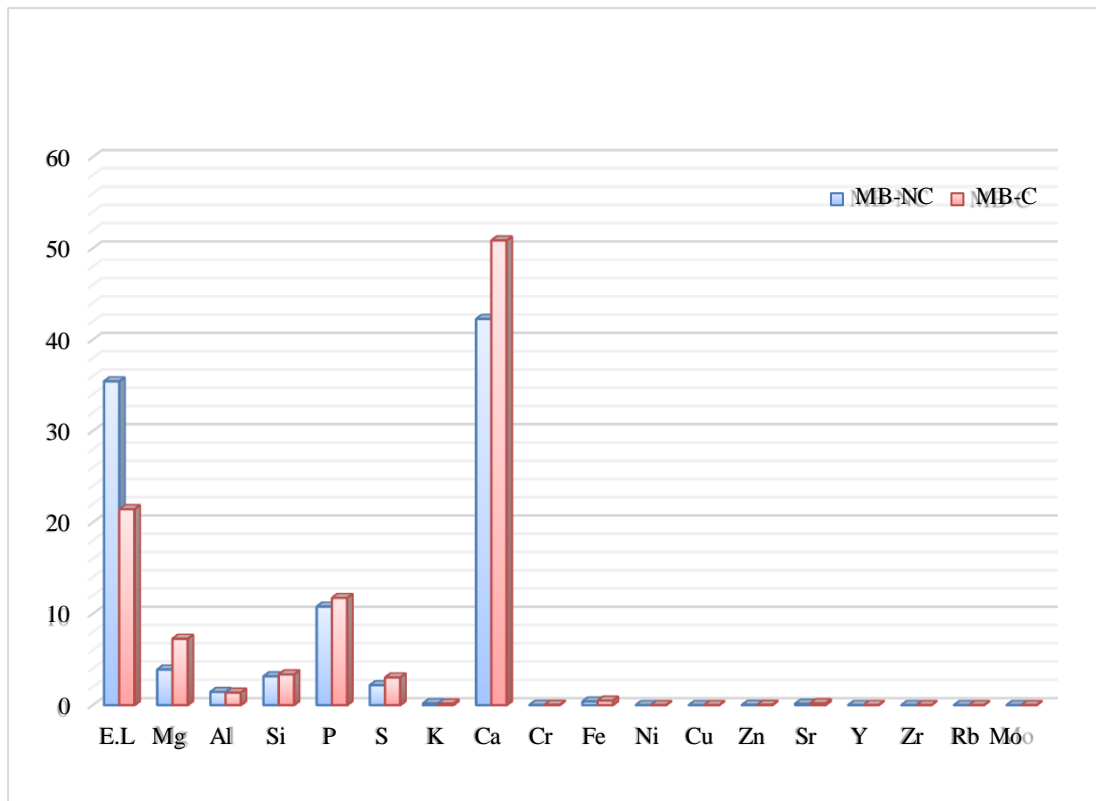


Figure III 3 Composition chimique de la marne beige

III.3.5 Ciment

La composition chimique et minéralogique du CEM I 42,5 N-LH SR5 utilisé pour la confection des bétons sont résumés, qui sont élaborés à la base de la fiche technique fournie par le laboratoire de l'usine "GICA", en Annexe 01 .

Tableau III 5 Composition Potentiel du ciment (BOGUE) :

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
%	60.13	12.06	2.55	16.23

Alite (C₃S) : Silicate tricalcique ;

Belite (C₂S) : Silicate bicalcique ;

Célite(C₃A) :Aluminate tricalcique

(C₄AF):l'aluminoferritetétracalcique(5).

Tableau III 6 .Caractéristiques mécanique Norme (196-1)

Résistance à la Flexion MPa	02 jours	--	3.8
	28jours	--	7.5
Résistance à la Compression MPa	02 jours	≤ 10	16.4
	28 jours	≤ 42.5	46.4

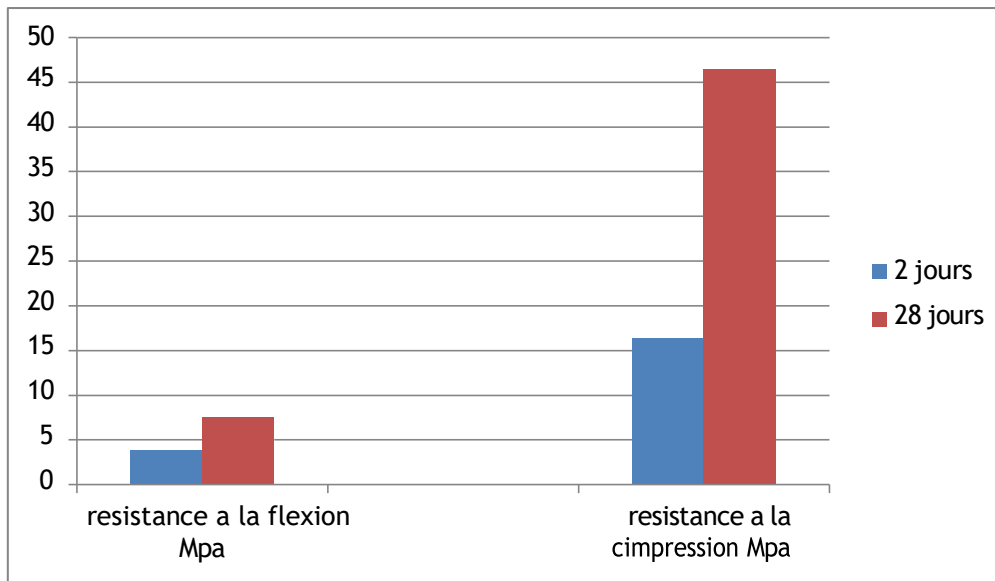


Figure III 4 Caractéristiques mécaniques norme (196-1)

Tableau III 7 Composition chimique Norme (EN196-2) :

Élément	Mesures
SiO ₂ -T	20.82
Al ₂ O ₃	4.37
Fe ₂ O ₃	5.34
CaO-T	63.38
MgO	1.42
SO ₃	2.15
K ₂ O	0.27
Na ₂ O	0.13
Cl	0.000
P.A.F	0.77
CaO Libre	0.64
R.insoluble	0.80

III.3.6 Sable

Les caractéristiques chimiques de ce sable sont données par le tableau ci-dessous:

Remarques (Tableaux III.8/Figure III.7) :

- Forte perte au feu (P.F) :

La perte au feu mesure la quantité de matières organiques ou les carbonates qui est perdue lors de chauffage a haute température.

- Forte dose de CaO (Oxyde de calcium) :

Indique généralement une présence significative de calcaire (CaCO_3) ou de dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Tableau III 8 Composition chimique du sable utilisé

Éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₃	TiO ₂	PF	Cl	SO ₃
Teneurs (%)	1.73	0.29	0.24	53.57	0.96	0.14	0.05	0.08	0.05	0.02	42.88	0.008	<0.05

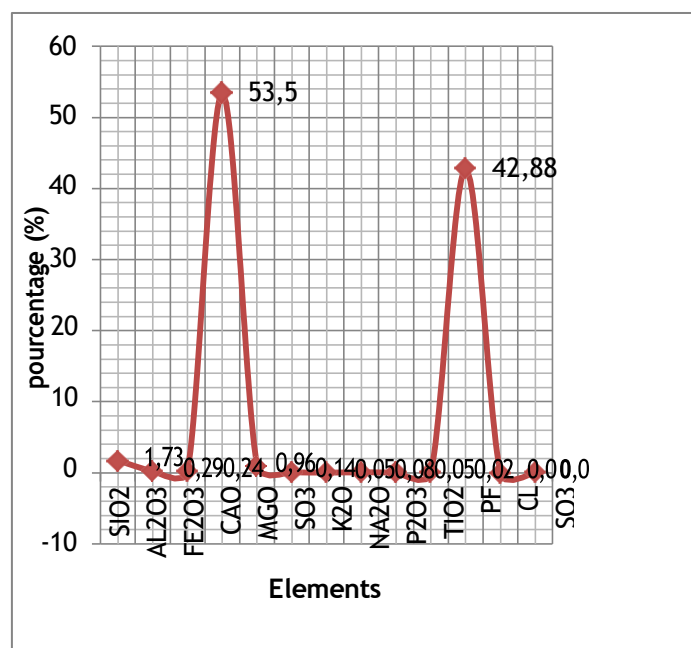


Figure III 5 .Composition chimique du sable

III.4 Analyses minéralogiques DRX

L'étude minéralogique de la marne, effectuée par diffraction des rayons X (DRX) est portée sur la fraction broyée (< 125 µm), les résultats obtenus pour les différents types de marne ont mis en évidence la présence des minéraux principalement recherchés suivants :

- Fluorapatite, Hydroxylapatite et Dolomite comme minéraux principaux.
- cristobalite, quartz, Calcite et clinozoïsite en faible quantité.

Ces résultats ont révélé des différences appréciables qui sont du a la calcination

III.4.1 Marne Noir

Les figures suivantes présentent les résultats obtenus pour la marne noire calcinée et non calcinée (figureIII.8, figureIII.9, figureIII.10).

Les résultats suivants ont démontré la présence des minéraux principaux tels que la fluorapatite, l'hydroxyapatite et la dolomite.

➤ D'après le diffractogramme et l'analyse semi quantitative (Figure III.9 / 10), de la marne noire non calciné : une faible quantité de calcite CaCO₃ (environ 3%) et de quartz SiO₂ qui se diffracte à (20.81°-26.92° et à36.49 °2Th). Les phases minéralogiques les plus fréquentes sont la dolomite et l'apatite en deux phases minéralogiques (La fluorapatite Ca₅F(PO₄)₃ et L'hydroxyapatite Ca₅(PO₄)₃(OH)).

➤ Des différences notables ont été observées après la calcination (Figure III.10), la calcination à 800°C fait la libération de plus de phases apatitiques ce qui justifié l'augmentation d'intensité des pics à les $^{\circ}2\theta$: 32.23°- 33.48°- 47.35° et 49.75°.

➤ La transformation de quartz (hexagonal) en cristobalite (tétragonal) et clinozoisite $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ avec l'augmentation de calcite et la diminution la phase dolomitique.

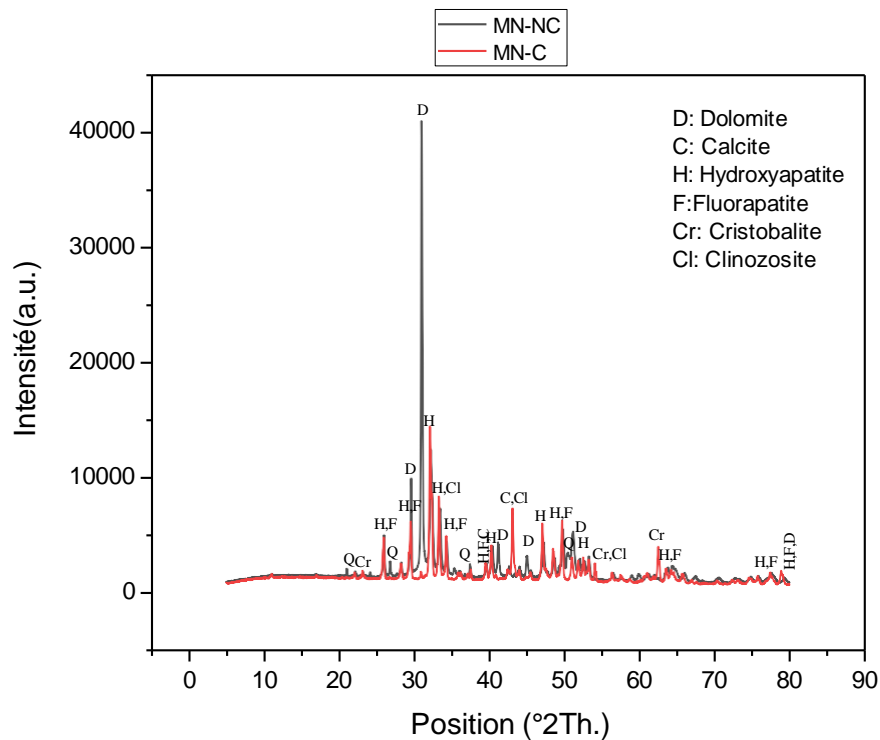


Figure III 6 Diffractogramme RX de la marne noire

III.4.2 Marne beige

Les résultats obtenus pour la marne Beige calcinée et non calcinée sont illustrés dans les figures III.11, III.12 et III.13. Les examens réalisés ont montré la présence des minéraux clés : fluorapatite, hydroxyapatite, dolomite. La présence de quartz et de calcite est limitée.

- D'après les résultats de diffraction par rayon X regroupé à (Figure III.11) et l'analyse semi quantitative (Figure III.12/13.), de la marne beige non calcinée : la présence de fluorapatite, l'hydroxyapatite diffractant à (25.85°- 32.17°, 33.37° et à 49.63°) et la dolomite comme phases majeurs et une faible quantité de calcite CaCO_3 (environ 1%) et de quartz SiO_2 (4%).
- La calcination à 800°C fait la transformation de quartz en cristobalite avec la diminution de la phase dolomitique en hydroxyapatite, fluorapatite et calcite. Cette transformation fait la suppression du pic intense à 30.86 °2Th caractérisant la dolomite

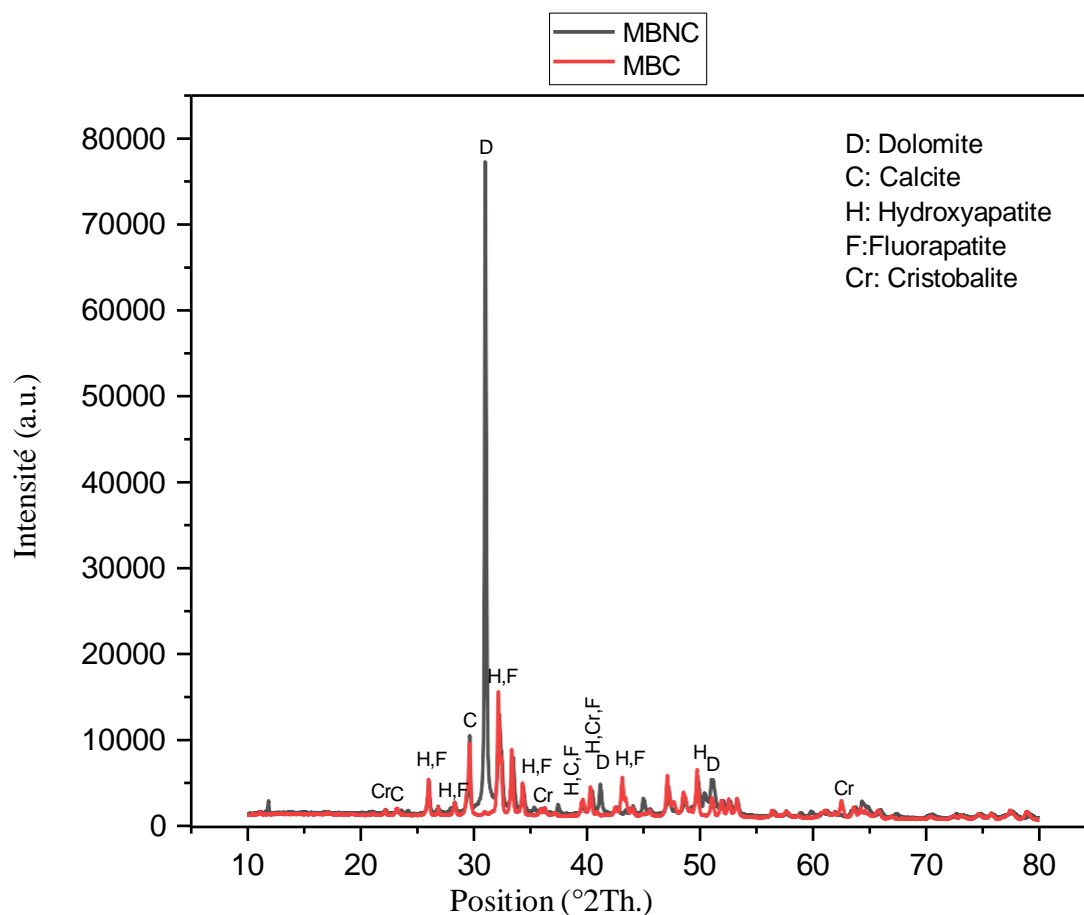


Figure III 7 Diffractogramme RX de la marne noire

III.5 Conclusion

Les phases de calcite (comme la dolomite) et la cristobalite sont généralement moins stables à des températures élevées, par conséquent, leur présence peut diminuer suite à la calcination et cela peut avoir un impact sur les propriétés du matériau, comme sa résistance à la compression ou sa durabilité.

La calcination peut favoriser la formation de phases d'apatite comme l'hydroxyapatite et la fluorapatite en raison des transformations thermiques qui se produisent, ces phases sont généralement favorisées par rapport à la calcite, la dolomite et la cristobalite, qui peuvent se décomposer ou subir des transformations lors de la calcination.

Ces changements de composition s'expliquent par la décomposition des carbonates de calcium et de magnésium lors de la calcination, libérant les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} et augmentant la teneur en oxygène.

Cependant, les transformations spécifiques dépendent de nombreux facteurs, dont la température, la durée de la calcination et la composition chimique de la matière première.

Ces résultats fournissent des informations précieuses sur les propriétés physico-chimiques des marnes noir et beige et peuvent être utilisés pour diverses applications, telles que la fabrication de matériaux de construction, l'agriculture et l'industrie chimique.

Chapitre IV : Caractérisation Des Mortiers

IV.1 Introduction

La première section de ce chapitre détaille la procédure de préparation des mortiers en utilisant la marne beige deux types de marne sont étudiés la calcine obtenue par un processus de calcination et la non calcine utilisée dans son état naturel.

La seconde partie de chapitre est dédiée à la caractérisation des mortiers élaborés deux méthodes principales sont utilisées pour évaluer les propriétés de mortier la diffraction des rayons X (DRX) cette technique permet d'identifier les phases minéralogiques présentes dans les mortiers et de comprendre les transformations chimiques induites par la calcination et fournissent les informations cruciales sur la cristallinité, la composition minéralogique et les éventuelles réactions chimiques au sein du mortier. Et les tests mécaniques (Compression et Flexion) qui permettent de mesurer la résistance des mortiers au effort mécanique et de comparer la performance de mortier à base de marne calcinée et non calcinée, les résultats obtenus fournissent des indications sur la durabilité et l'aptitude des mortiers à être utilisés dans des applications de constructions.

IV.2 Elaboration du mortier

IV.2.1 Composition du mortier

IV.2.1.1 Le ciment

Le ciment utilisé est de Ain El Kebira « SCAEK » tel qu'il est défini dans la norme algérienne NA 442 : 2013 ainsi que la norme EN 196-1, EN 196-2, (EN 196-3 et 6), EN 197-1 : Il convient parfaitement pour les ouvrages en contact avec les milieux agressifs (eaux, sol, air...) ainsi que ceux nécessitant une basse chaleur d'hydratation (ouvrages massifs) offrant ainsi une durabilité accrue.



Figure IV. 1. Le ciment GICA utilisé

Composition minéralogique du ciment CEM I 42,5:

La composition minéralogique du CEM I 42,5 N-LH SR5 utilisé pour la confection des mortiers est résumée dans le tableau ci-dessous, qui est élaboré à la base de la fiche technique fournie par le laboratoire de l'usine "GICA" (voir Annexe B).

Tableau IV. 1. Composition minéralogique du ciment CEM I 42,5 N-LH SR5 utilisé :

Elements	C3S	C2S	C3A	C4AF
%	60.13	12.06	2.55	16.23

IV.2.1.2 Le sable

Les sables Argileux doivent avoir une granulométrie adéquate et être composés de grains fins, moyens et gros. Les grains fins sont placés entre les gros grains afin de combler les espaces vides. Ils ont une importance capitale : ils diminuent la variation de volume, les dosages seront effectués en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage causées par l'augmentation du volume de sable humide.

Le sable utilisé dans notre étude est un sable calcaire d' El M'hir, wilaya Bordj-Bou-Argeridj.

IV.2.1.3 L'eau de gâchage

Tellement Les quantités d'eau et de ciment jouent un rôle crucial donc ces deux paramètres ont un impact considérable sur l'ouvrabilité et la résistance plus le rapport entre l'eau et le ciment est élevé, plus l'ouvrabilité augmentera.

Effectivement, à mesure que l'eau augmente, le mortier aura tendance à se remplir facilement les formes et en général, le rapport des masses E/C « moyen » est établi à 0,5 et ce rapport est le plus fréquemment employé, car le mortier obtenu présente une bonne ouvrabilité tout en étant solide...

IV.2.2 Mortiers ordinaires témoins

Nous avons confectionné un mortier de référence (sans additions de la marne) dont la composition est inspirée de celle du mortier normal défini par la norme EN 196-1.

Tableau IV. 2. La composition du mortier :

Mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	E/C	Eau (ml)
MTC	450	1350	0.5	225

IV.2.3 Mortiers à base d'ajouts (MB-C / MB-NC)

Cette étape consiste à ajouter une masse de marne beige calcinée, les pourcentages retenus sont les suivants : (5%, 10%, 15% et 20%) en utilisant le ciment (CEM I 42,5 N-LH SR5).

Les mortiers fabriqués seront nommés par : [MNC5%, MNC10%, MNC15% et MNC20%] et aussi [MC.5%, MC.10%, MC.15% et MC.20%], les compositions massiques retenues sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

Notation : MC → Mortier Calciné

MNC → Mortier Non Calciné

Tableau IV. 3. Compositions massiques des mortiers pour différents pourcentages de marne beige calcinée

Mortiers (g)	Ciment (g)	Sable (g)	Marne calcinée (g)	E/C	Eau (g)
MC5%,	450	1350	5% = 22.5	/	225
MC10%,	450	1350	10% = 45	/	225
MC15%	450	1350	15% = 67.5	/	225
MC20%	450	1350	20% = 90	/	225

Pour les mortiers fabriqués à base de marne non calcinée, les compositions sont les mêmes que celles des mortiers donnés par le tableau ci-dessus (tableau VI 4).

On a confectionné 04 moules de mortiers à différents pourcentages de marne non calciné (MNC5%, MNC10%, MNC15% et MNC20%).

IV.2.4 Préparation du mortier

Ce mortier est réalisé conformément à la norme (EN196-1).

Pour la préparation de 03 éprouvettes 4*4*16 cm les quantités sont ; données par le tableau VI 3 ci-dessus.

Les proportions en masse doivent être les suivantes : une partie de ciment ; trois parties de sable et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment=0.50).

IV.2.4.1 Malaxage du mortier

Mode opératoire :voire annexe « C »

Lorsque l'eau est mesurée en volume, elle doit être introduite avec une précision de ± 1 ml, On malaxe chaque gâchage de mortier mécaniquement pendant 4 min au moyen du malaxeur et le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit depuis la mise en marche et l'arrêt du malaxeur , qui doit être respecté

Introduire l'eau et le ciment dans le récipient en prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment, dès que l'eau et le ciment entre en contact on met immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage suivantes :

Enregistrer le temps de démarrage à la minute près, comme étant le temps zéro, après 30s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable pendant les 30 seconde suivantes.

Dans le cas de la préparation des trois éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm, les quantités des composants sont respectivement les suivantes :



Figure IV. 2 .Matériel du malaxage du mortier

IV.2.4.2 Préparation d'éprouvettes

Les éprouvettes sont de forme prismatique de (40x40x160) mm.



Figure IV. 3. Moule du mortier (Labo de Génie civil béton Bejaia)

IV.2.4.3 Moulage des éprouvettes

- L'éprouvette a été moulée immédiatement après avoir préparé le mortier.
- Élaboration des moules aux dimensions appropriées de 40x40x160mm,
- Vérification des serrages des moules en les huilant.
- Passages des moules sur une table vibrante.

Remplir les moules en deux couches du mortier préparé, avec 20 à 30 chocs pour chaque couche.

- Étendre le mortier en utilisant une table à chocs. Le moule doit être soigneusement arasé avec une règle métallique et posée lentement sur la face du moule.
- Maintenir les moules humides jusqu'à ce qu'elles soient démoulées.
- Les moules doivent être démoulées après 24 heures de leur fabrication.
- On passe après à la conservatoire des échantillons préparés.



Figure IV. 4.Agitateur d'éprouvettes (table à choc). (Labo de Génie civil Bejaia)

IV.2.4.4 Conservation des éprouvettes

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le démoulage on les conserve dans l'eau pendant 28 jours.



Figure IV. 5.bassins d'eaux pour la préservation d'éprouvettes

IV.2.4.5 Séchage des éprouvettes



Figure IV. 6. Etuve de laboratoire (labo génie civil)

IV.3 Caractérisation des mortiers élaborés

IV.3.1 Techniques de caractérisation des mortiers élaborés

IV.3.1.1 Paramètres mécaniques

La méthode de la charge concentrée à mi-portée est utilisée pour évaluer la résistance à la flexion, en utilisant le dispositif de flexion normalisé. Il est nécessaire de faire pression sur les faces latérales de moulage des demi-prismes obtenus lors de l'essai de flexion, avec une section de 40 mm x 40 mm.

IV.3.1.1.1. Résistance à la traction par flexion

La machine utilisée est celle de flexion trois points (deux appuis et une force concentrée au milieu).

Si l'éprouvette en flexion présente une charge de rupture de P , le moment de rupture est $P/4$ et la contrainte de traction correspondante est $P/4$ sur la face inférieure de l'éprouvette. Le calcul du R_f (en N/mm^2) se fait selon la formule suivante :

Le R_f s'élève à $1,5 * P/b^3$, d'où : On désigne la résistance en flexion en newtons par millimètre carré ou en MPa.

On exprime la charge appliquée au centre du prisme lors de la rupture en newtons. On mesure la distance entre les appuis en millimètres.

Une machine de flexion à trois points (deux appuis et une force concentrée au point) est utilisée.

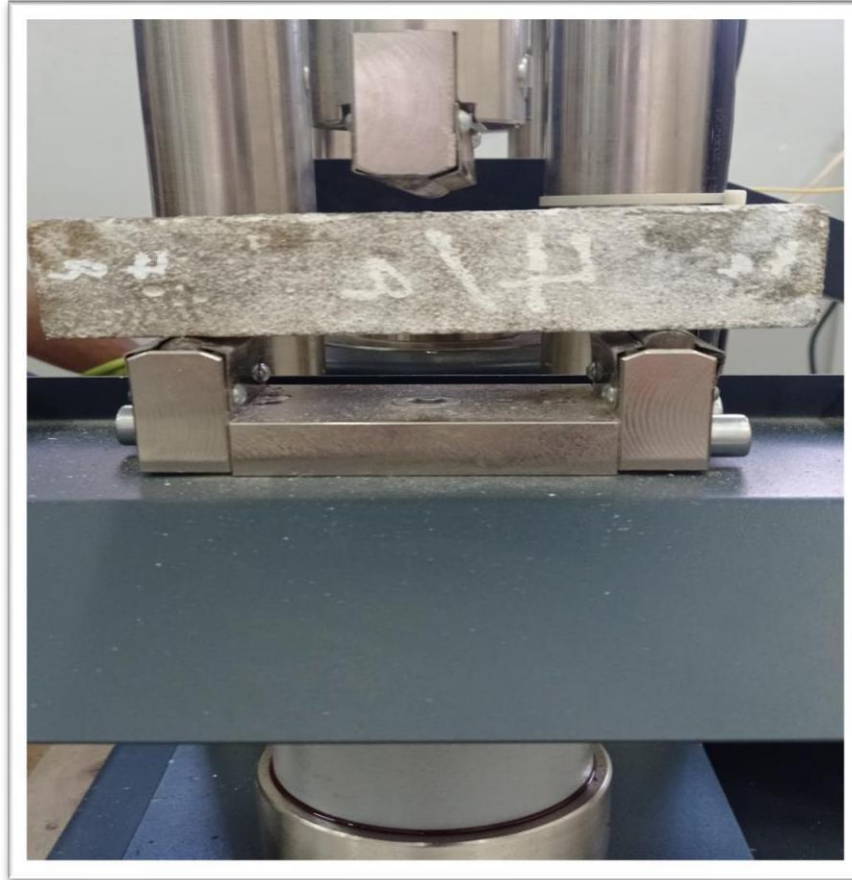


Figure IV. 7.Machine de flexion

Résultats

Tableau IV. 4. Valeurs des résistances des mortiers à la Flexion (la moyenne) à 28 jours

Mortier	Résistance à la flexion (MPa)
M0	2,62
MNC5%	2,94
MNC10%	3,08
MNC15%	3,21
MNC20%	3,14
MC5%	2,62
MC10%	2,97
MC15%	3,18
MC20%	3,33

Interprétation

D'après la figure IV.8, la résistance a la flexion de mortier a base de marne non calcine s'améliore en fonction de la mesure avec l'augmentation de la teneur de ce dernier jusqu'à 3,21MPa qui représente le mortier de 15% d'ajout au de la de ce point des augmentations supplémentaire des composants pourrait légèrement réduire la résistance.

Pour la figure IV.9, la résistance a la flexion de mortier a base de marne calcine s'améliore en fonction de la mesure avec l'augmentation des pourcentages ajoutées jusqu'à 3,33MPa au de la de ce point des augmentations supplémentaire des composants pourrait légèrement réduire la résistance.

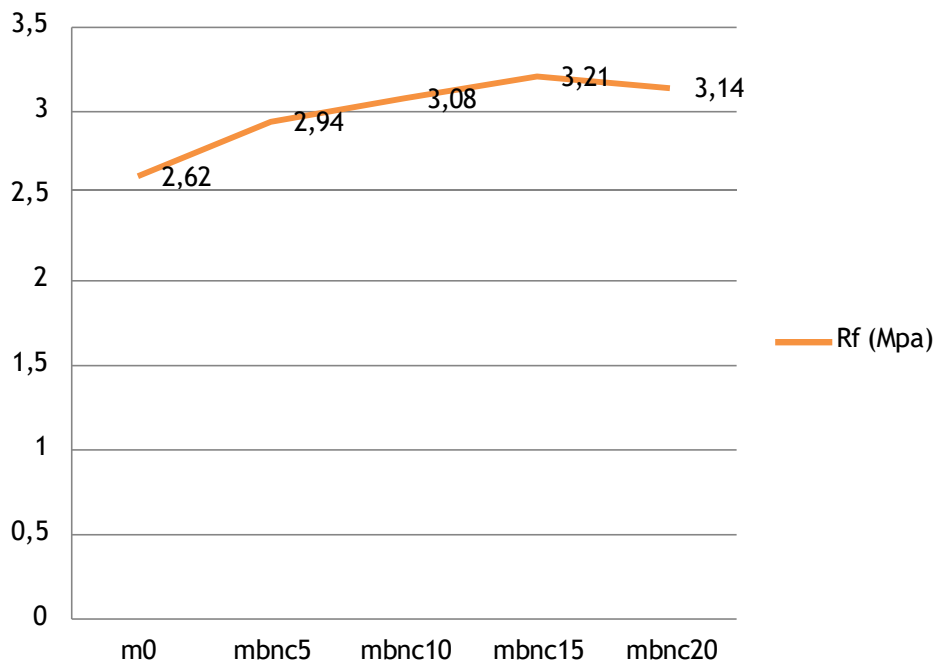


Figure IV. 8. Courbe des résultats de flexion (MNC)

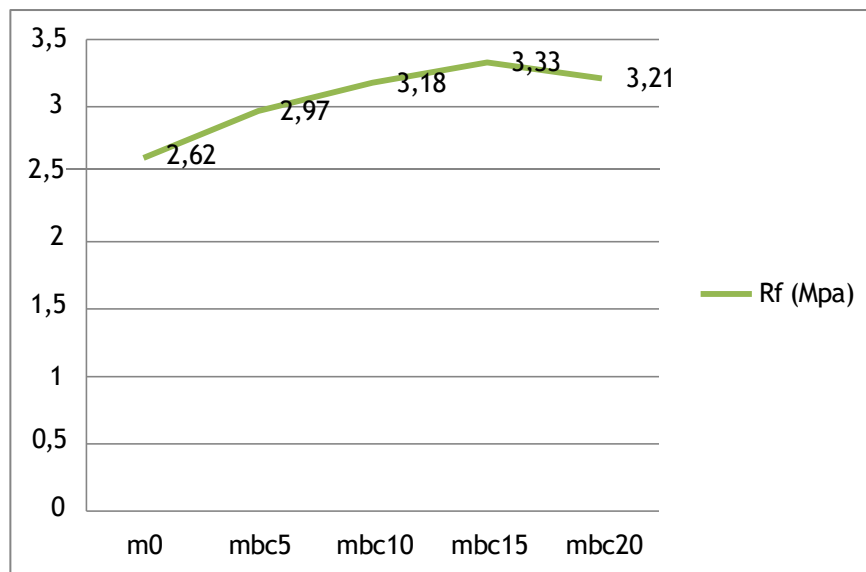


Figure IV. 9. Courbe des résultats de flexion (MC)

IV.3.1.1.2. Résistance à la compression

Les échantillons obtenus après une épreuve de flexion doivent être soumis à une nouvelle épreuve de compression. Latéralement, centrés chaque demi-prisme par rapport aux plateaux de la machine à une distance de ± 0.5 mm en utilisant le dispositif avec une surface d'application de 4×4 cm². Ensuite, appliquer la charge en augmentant progressivement avec une vitesse providence jusqu'à ce qu'elle se brise.

La machine utilisée est la machine de compression, conforme à la norme EN 12390-4 avec un dispositif de surface 4×4 cm².



Figure IV. 10. Essai de compression

On calcule la résistance en compression RC (exprimée en N/mm² en utilisant la formule suivante : $RC = Fc/ b^2$)

Avec :

FC : Charge de déconnexion en (N).

B : La taille de l'échantillon qui est de 40mm.

Résultats

Tableau IV. 5. Valeurs des résistances des mortiers à la compression à 28 jours

Mortier	Resistance à la compression (MPa)
MTC	46,57
MC5%	50,47
MC10%	57,80
MC15%	57,48
MC20%	55,63
MNC5%	47,16
MNC10%	52,95
MNC15%	40,63
MNC20%	39,44

Ces résultats sont présentés sous forme de courbes, donnés par les figures ci-dessous

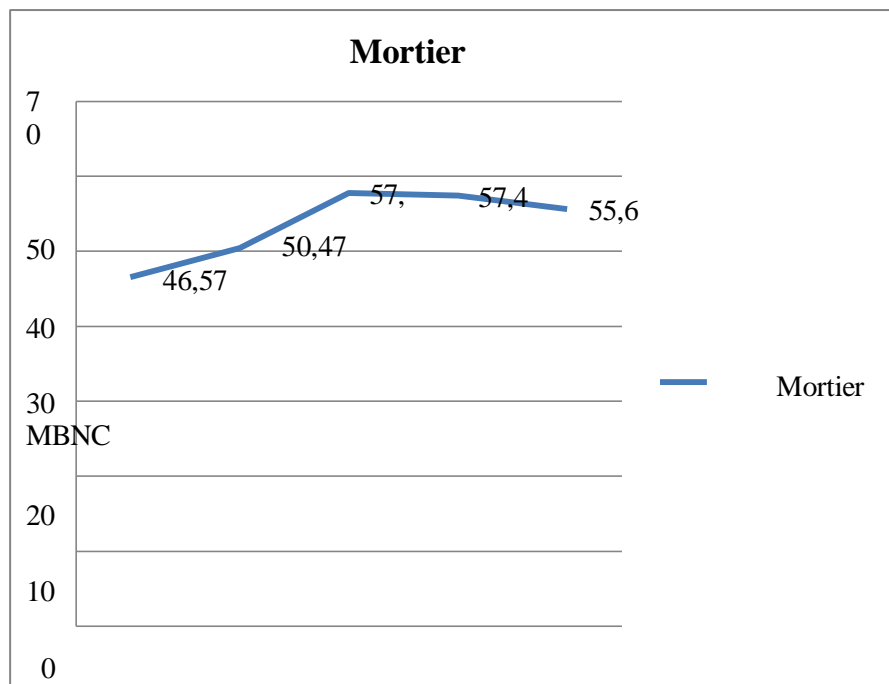


Figure IV. 11. Resistance à la compression des mortiers de marne beige non calcinée

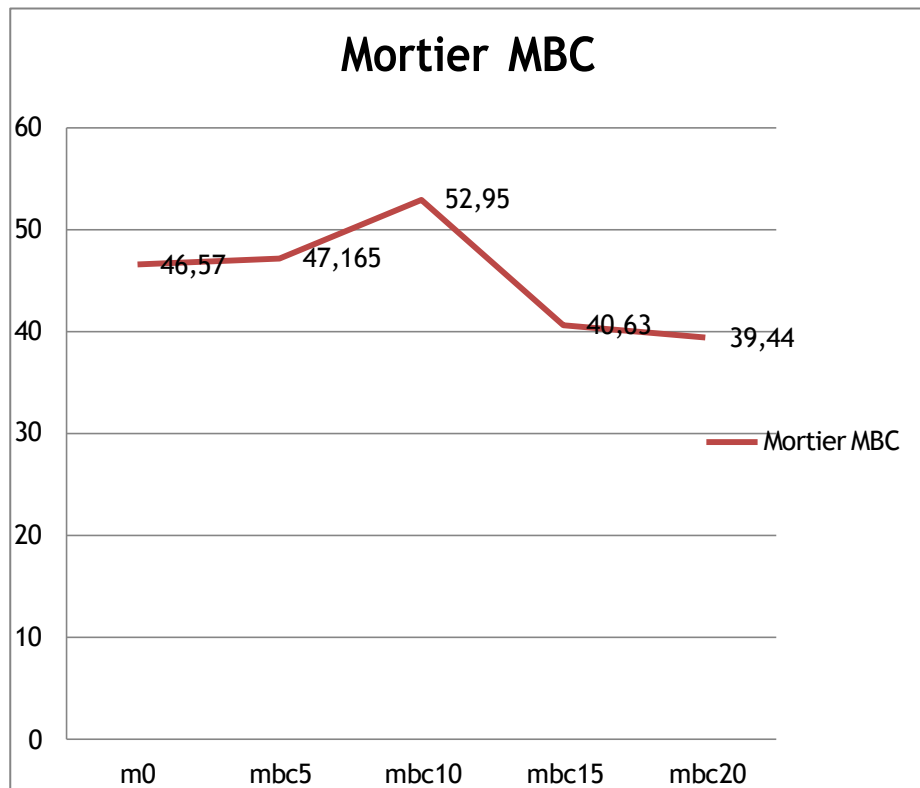


Figure IV. 12. Résistance à la compression des mortiers de marne beige calcinée

Interprétation

D'après la figure IV.11, on remarque que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente au fur et à mesure d'augmenter le pourcentage de la marne non calcinée. Cette augmentation est due à la porosité existante dans le mortier, plus on augmente la marne le mortier devient plus compacte, implique plus résistant. Mais celle du mortier à 10% de marne est de bonne résistance et on s'aperçoit que le mortier se stabilise à 15% puis s'abaisse légèrement à 20%.

Pour la figure IV.12, on remarque que la résistance à la compression à l'âge de 28 jours augmente au fur à mesure mais elle atteint un pic à 10% puis diminue directement que le mortier normal. Cet abaissement est dû à la chaux libérée pendant la calcination de la marne qui pourrait également avoir une réaction alcaline nocive avec les granulats du mortier, affaiblissant sa structure.

Si on compare les deux figures, on remarque que les mortiers fabriqués à base de marne non calcinée ont des résistances meilleures à celles des mortiers à base de marne calcinée.

On peut dire que la calcination influence négativement sur les résistances à la compression des mortiers.

IV.3.1 Caractérisations chimiques (DRX)

Phases Minérales Identifiées

- Ca (Calcite) : Calcite $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ est une forme cristalline du carbonate de calcium
- P (Portlandite) : Portlandite $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ est souvent présente dans les ciments hydratés. Elle se forme lorsque le clinker du ciment réagit avec l'eau.
- C_3S (Alite) : silicate tricalcique Les échantillons avec des pourcentages plus élevés d'ajouts (calcinés ou bruts) montrent une diminution de la C_3S et une augmentation de calcite (Ca)

On remarque dans la figure IV.13 les mortiers à base de marne non calcinée qu'avec la diminution d'intensité d'Alite (C_3S) et avec l'augmentation de celle du (Ca) que les propriétés mécaniques s'améliorent.

Cela indique une modification des phases minérales en fonction de l'ajout de matériaux calcinés ou bruts, affectant la composition minéralogique des mortiers.

Les échantillons avec des ajouts brutes montrent une transformation plus marquée par rapport aux échantillons calcinées, surtout via les testes de compressions.

On aperçoit dans la figure IV.14 qu'un certain équilibre doit se développer pour améliorer les propriétés mécanique car si on compare entre les résultats des non calciné et les calciné on trouve que ces premiers sont plus promoteurs

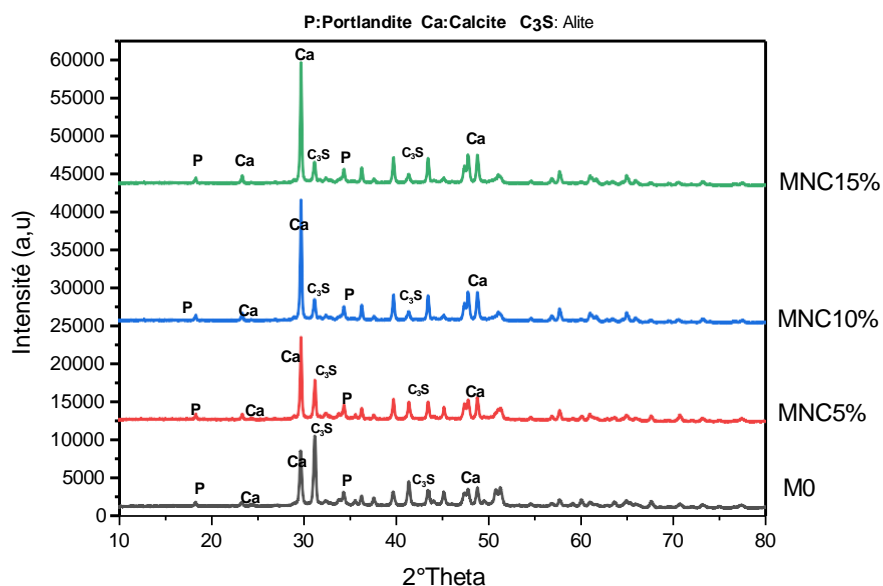


Figure IV. 13.Spectre de DRX regroupant M0 et le NC (5%,10%,15%)

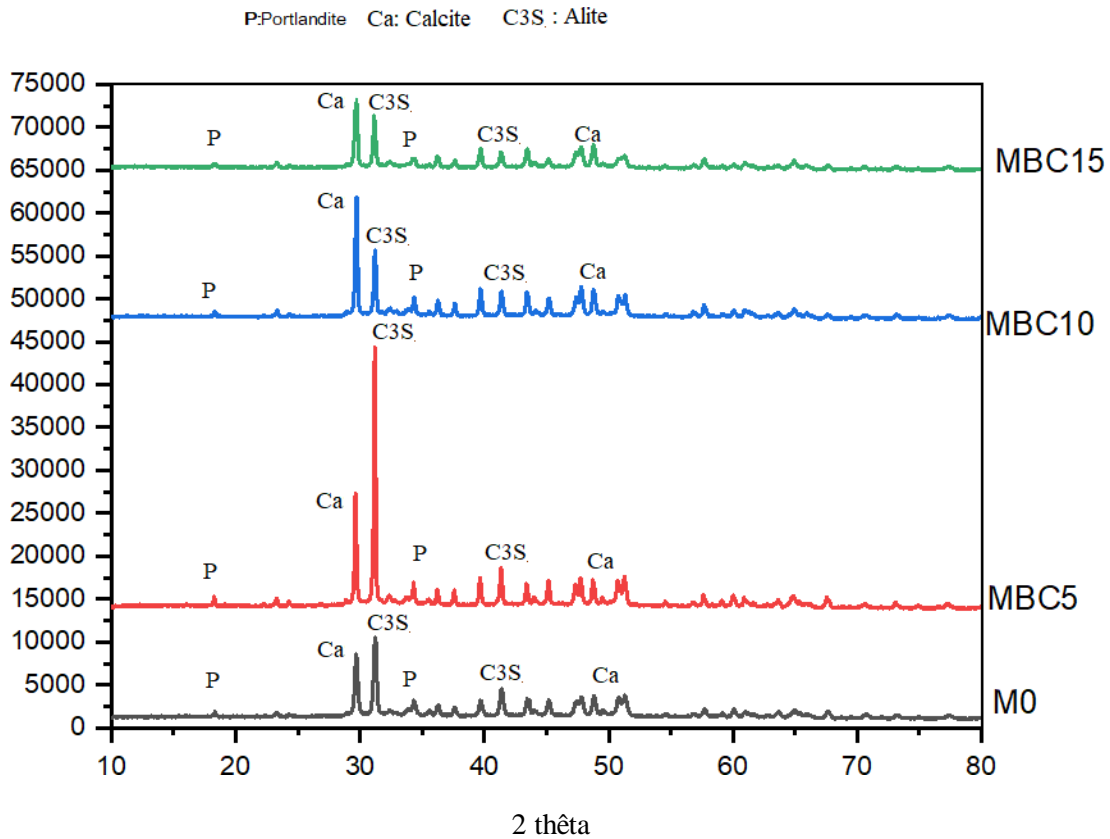


Figure IV. 14.Spectre de DRX du M0, & le calciné (5%,10%,15%)

IV.4 Conclusion

Grâce à la présence de marne, la résistance à la Flexion a été améliorée, a une seule condition, ne pas ajouté plus de 15%, sinon l'incorporation de 20% de marne a entraîné une diminution de la résistance.

L'incorporation de marne a permis d'augmenter la résistance à la compression, puis d'en diminuer. La raison de cette augmentation initiale est la diminution de la porosité, ce qui permet au mortier de devenir plus compact et donc plus résistant. À l'inverse, l'ajout de 20% de marne a provoqué une réduction de la résistance, sans doute en raison d'un excès qui a eu un impact négatif sur la nature du mortier.

Conclusion général

Conclusion général

Conclusion général

Ce travail expérimental a pour objectif d'étudier, de caractériser de point de vue physique et chimique les marnes (considérées comme rejet minier) dans le domaine des mortiers. Notre deuxième objectif est d'étudier les propriétés mécaniques (Compression et flexion) des mortiers élaborés à base des marnes (calcinées et non calcinées) comme ajout. La comparaison entre les deux types de mortiers est faite en associant à cela une étude minéralogique de ces différents mortiers.

Ainsi, en réalisant ce travail on a abouti à plusieurs conclusions :

- La caractérisation physico-chimique détaillée des matériaux étudiés, mettant en avant des variations significatives dans les minéraux dominants, les éléments tracés, la composition chimique, la granulométrie.

- Les caractérisations chimiques de la marne noir présente un taux de CaCO_3 et en P_2O_5 importants avec des valeurs de 42,29% et 11,02% et un taux réduit de silice de 2,93% et de Sulfure à 2,08%.

- Pour la marne beige, elle présente un taux considérable en CaCO_3 (42,27%) et en P_2O_5 de (10,78%) et un taux réduit de silice et du magnésium avec 3,16% et 3,9% respectivement.

- Les phases minéralogiques des deux marnes sont l'apatite et la dolomite comme minéraux principaux et une faible quantité de quartz, et la calcite.

Cette étude expérimentale nous a aussi permis de tirer les conclusions sur les mortiers élaborés à base des marnes calcinées et non calcinés ce qui suit :

- Après élaborations, les propriétés mécaniques par rapport à la flexion pour la marne beige nous donne une valeur optimale de 3,21MPa pour la non calciné et une résistance de 3,33MPa pour la calciné. Par ailleurs, les propriétés mécaniques relatives à la compression nous donnent les valeurs de 52.95 et 57.8 MPa respectivement pour les mortiers à base des marnes non calcinées et calcinées. Cela est dû à la présence de la portlandite en quantité excessifs dans les mortiers élaborés a base des marnes, et aussi l'excès de CaCO_3 révélé par les résultats de DRX.

En perspective

Cette étude serait plus complète en :

- Elaborant des mortiers avec la substitution des marnes par le ciment,
- Etudiant la lixiviation des mortiers dans plusieurs milieux agressifs,
- Etudiant la durabilité des mortiers dans les milieux agressifs (acide, basique, sulfaté)

Références Bibliographiques

Bibliographie

- [1]. Ahmed, itim. Etude des deformations de retrait d'un mortier. Contenant differentes additions minerales. S.l. : universite de chlef, 26-27 octobre 2010.
- [2]. Hamida, akchiche. Contribution à la modélisation du retrait et du fluage des bétons et mortiers renforcés par des fibres de palmier dattier en régions désertiques. S.l. : université d'ourgla, 2007.
- [3]. Hocine, azzouz. Etude des bétons à base des sables de dune. S.l. : université de biskra.
- [4]. Benjamaa, zakia and hamida, ikram. Etude d'un mortier ordinaire par l'incorporation, sujet du mémoire. S.l. : universite de tiaret, 2023.
- [5]. Point, thomas. Influence des hydroxypylguars sur les propriétés du mortier de ciment à l'état frais. 27 juin 2014.
- [6]. Holcim. Guide pratique du béton : concevoir et mettre en œuvre des bétons durables. Suisse : s.n., 2009.
- [7]. Vicat, louis joseph. Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires. Goujon : s.n., 1818.
- [8]. Treussart, général. Mémoires sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires. Carillan-goeury : s.n., 1829.
- [9]. Weber, georges. Les innovations de la reconstruction . France : s.n., 1970.
- [10]. Loucif, ali bouacida. Effet de la qualité de ciment sur les propriétés mécaniques. S.l. : universite de tebessa, 2016.
- [11]. A and neville. Propriétés des bétons. S.l. : eyrolles, 2000.
- [12]. Afnor. Méthodes d'essais des ciments - partie 1 : détermination des résistances mécaniques ». S.l. : afn 196-nf en 196-1, 2006.
- [13]. Cherif, baiker mohamed. Contribution à l'étude des caractéristiques physico-mécaniques d'une brique à base du sable des dunes et les copeaux de bois. Mai 2016.
- [14]. Ahmed, hadj sadok. Eau de gâchage et adjuvants .chapitre 3. S.l. : ecole nationale supérieure d'hydraulique, 2020.
- [15]. Brgm, etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du. Elément à prendre en compte pour l'évaluation des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un plan de prévention des risques miniers. 2003.
- [16]. S, hamoudi. Etude de la distribution des elements traces dans les minereais de phosphate de djebel onk. Tébessa : université abd rerrahmane mira bejaia, 2010.
- [17]. G., duchatelle. Minerai de phosphate de djebel onk, carrière de djemi djema. S.l. : rapp. Interne cerphos, 55p, 1975.

- [18]. Dass amiour m., mezghache h. Et elouadi b. The use of three physico-chemical methods in the study of the organic matter associated with the sedimentary. S.l. : doi 10.1007/s12517-011, 2011.
- [19]. M, larouci. Etude de la caractérisation et de la valorisation du minerai de. S.l. : université orléans. 1 vol texte 194p., 1988.
- [20]. Dictionnaire de géologie;
- [21]. Cherniak d. J. Krea m. Et khalaf h.monir m. A., nabawia a. M. Ogihara s.rakovan j. Et reeder r.j. intracrystalline rare earth element distributions inapatite. 2000,1996.
- [22]. Nathan y., benalioulhaj n., prévôt l. Et lucas j. . The geochemistry of cadmium in the phosphate-rich and organic-rich sediments of the oulad-abdoun. S.l. : journal of african earth sciences, vol. 22, no. 1, pp. 17-27, 1996.
- [23]. Boussen. Valorisation de l'acide phosphorique par précipitation du cadmium et per-traction de l'uranium. S.l. : faculté des sciences, rabat – maroc, 2007.
- [24]. Foucault, a.raoult, j.f.,cecca, f., platevoet, b. Dictionnaire de géologie,8e édition. S.l. : dunod-universciences, 2014.
- [25]. Bensaifi, e.a. etude du comportement des marnes et des matériaux argileux gonflants : traitement et réutilisation dans les projets routiers. S.l. : université 08 mai 1945 guelma., 2020.
- [26]. Hammar,d., meziani, s. Identification et caractérisation mécanique de la marne de tizi-ouzou : application au domaine routier. S.l. : universite de tizi-ouzou, 1996.
- [27]. El roul, i. Utilisation de la marne dans les chaussées. S.l. : université mouloud mammeri de tizi-ouzou., 2017.
- [28]. Pejon, oj. Et al. Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement,importance de la minéralogie et des textures. Spain : bulletin of engineering geology and the environment, 1997.
- [29]. Mehidi, k. Contribution à l'étude du comportement mécanique des marnes remaniées de kabylie. S.l. : université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 1997.
- [30]. Alonso, ee.cardoso, r. Degradation of compacted marls: a microstructural investigation, soils and foundations. 2009.
- [31]. Alonso, ee., pineda, ja., cardoso, r. Degradation of marls; two case studies from the iberian peninsula. Geotechnique. V, 23. P, 47-75. 2010.
- [32]. Cimbeton. Collection technique cimbéton guide de prescription des ciments pour des. S.l. : collection cimbeton, 2009.
- [33]. M, mimouni. "les renforts fibreux utilisés dans les matériaux de construction". 1994.

[34]. Coussy. Thèse doctorat. Stabilisation de rejets miniers pollués à l'arsenic à l'aide de Sous-produits cimentaires : étude de l'influence de la cristalochimie sur le risque de mobilisation des polluants. p 373. S.l. : Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

[35]. ROUESSAC, FRANCIS ROUESSAC ANNICK. Analyse chimique, méthodes et Techniques instrumentales modernes 6e édition dunode 2007.

[36]. Laue, Von. M et. 1926.

[37]. WL, Bragg. 1934, .

[38]. CS.BARRETT. 1957, .

[39]. Genzel.Ch, HANK.V et. 1997.

[40]. ADJISSA.M. Analyse et caractérisation de minerai de fer de Gara Djebilet (ouest Tindouf_ Algérie)Mémoire de fin d'étude. S.l. : mine et géologies université de Bejaia, 2019.

[41]. I.hamida, H.Z.Benjamaa. Etude Dun mortier ordinaire par l'incorporation d'une argile calciné, mémoire de fin d'étude, génie civil,. Université de Tiaret, : s.n., 2023.

Annexes

Annexe

Annexe « A »

Fiche technique du ciment utilisé CEM I 42.5

Fiche technique du ciment

CPA 42,5

CEMI

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

COMPOSITIONS CHIMIQUES Norme (EN 196-2)			Essais physiques Norme (EN 196-3 et 6)		Garantie NA 442	Mesures
ELEMENTS		Mesures	P.S	(g / Cm ³)		
SiO ₂ -T	%	20.82	SSB	cm ² /g		3.22
Al ₂ O ₃	%	4.37	Temps De Prise Min	Début	≥ 60	211
Fe ₂ O ₃	%	5.34		Fin		316
CaO-T	%	63.38	Expansion mm	A. Chaud	≤ 10	0.09
MgO	%	1.42				
SO ₃	≤ 3 %	2.15	Refus %	45 μ		22.06
K ₂ O	%	0.27	Consistance Normale	%		24.52
Na ₂ O	%	0.13	S.C.A.E.K			
Cl	≤ 0,1%	0.000				
P.A.F.	%	0.77				
CaO Libre (PT207 CERILH 1970)	%	0.64				
R.Insoluble	%	0.80				
COMPOSITION POTENTIELLE DU CIMENT (BOGUE)			CARACTERISTIQUES MECANIQUE Norme (196-1)			
C ₃ S	%	60.13	R. Flexion MPa	02 JOURS		3.8
C ₂ S	%	12.06		28 JOURS		7.5
C ₃ A	%	2.55	R. Compression MPa	02 JOURS	≥ 10	16.4
C ₄ AF	%	16.23		28 JOURS	≥ 42.5	46.4

Chef Service Contrôle Qualité :

Annexe « B »

Mode d'élaboration du mortier

Fabrication des mortiers

Conduite de l'essai

La pesée des constituants

Dans le cas de la préparation de trois (03) éprouvettes 4x4x16 cm, les quantités sont les suivantes :

- Sables → 1350g .
- Ciment → 450g .
- l'ajout de la poudre de marne (0), (22.5g), (45g), (67.5g), (90g).
- Eau → 225g .

✚ Elaboration de mortier

On utilise un malaxeur.

➤ **Préparation des mortiers**

On mélange à l'aide d'un malaxeur normalisé la composition d'un mortier pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Mélanger l'eau et le ciment pendant 30s à 1^{ère} vitesse
- Arrêt du malaxeur, puis ajouter le sable
- Mélanger le tout à 30s à la 1^{ère} vitesse
- Puis à la 2^{ème} vitesse pendant 30s
- Arrêt du malaxeur pendant 2mn pour nettoyer les parois
- Mélanger ensuite pendant 1mn à la 2^{ème} vitesse.

➤ **Préparation des moules**

Mettre le mortier préparé dans l'appareil à chocs. On introduit la quantité préparé en deux fois (deux couches) avec 20 à 30 chocs pour chaque couche.

Annexe « C »

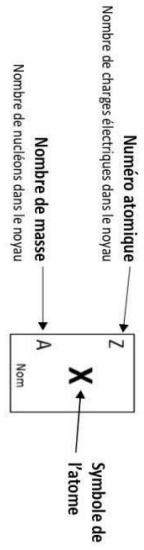
Tableau périodique

TABLEAU PERIODIQUE DES ELEMENTS CHIMIQUES

(HORS LANTHANIDES, ACTINIDES)

On confond souvent « élément chimique » et « atome ». Les éléments chimiques existent sous forme d'atomes. Mais chaque élément chimique existe en plusieurs versions appelées **isotopes**. Des atomes isotopes ont le même nombre de protons mais des nombres de neutrons (et donc nombre de masses) différents. Pour chaque élément chimique, le nombre de masses. A indique correspond à celui de l'isotope le plus répandu sur Terre.

1 H Hydrogène	2 He Hélium	3 Li Lithium	4 Be Beryllium	5 B Bore	6 C Carbone	7 N Azote	8 O Oxygène	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium	13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon	19 K Potassium	20 Ca Calcium
21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium
55 Cs Césium	56 Ba Baryum	57-71 Lanthanides (ou terres rares)	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium
223 Fr	226 Ra		111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tennessine
			118 Og Oganesson						



 Métaux alcalino-terreux Métaux de transition
 Métaux Alcalins Eléments chimiques créés en laboratoire.

 Métaux pauvres Non métaux
 Métalloïdes Halogènes
 Gaz rares

A quelques exceptions près la masse des atomes augmente avec le numéro atomique.
 Les symboles des éléments chimiques commencent toujours par une majuscule.

Résumé

Les déchets miniers peuvent être des ajouts cimentaire et ils font actuellement partie des développements les plus récents dans la gestion des déchets car leur utilisation apporte une amélioration des propriétés mécaniques des matériaux cimentaire et un bon impact pour l'environnement.

Leurs utilisation ont pour objectif de réduire la production des déchets de l'industrie miniers en contribuant de manière économique à résoudre le problème environnemental.

Ce travail expérimental étudie les avantages et la possibilité de substitution partielle de ciments par l'ajout (5%,10%,15%,20%) de la marne non calcine et calcine à 800° dans les mortiers

Les propriétés physico chimiques et mécaniques des marnes et des mortiers ont été étudié.

D'après les résultats expérimentaux obtenus il ressort que la quantité d'ajouts de marne beige est un paramètre qui influe sur les variations des résistances mécaniques.

Mots clé : Mortier, déchets, marne, calcination, résistance mécanique, caractérisation physico-chimiques

Abstract:

Mining waste can be cementitious additions are currently among the most recent developments in waste management because their use brings an improvement in the mechanical properties of cementitious materials and a good impact on the environment.

On the one hand, their use aims to reduce the production of waste from the mining industry by contributing in a simple and economical way to solving the problem linked to the environment.

This experimental work studies the advantages and the possibility of partial substitution of cements by the addition of non-calcined and non-calcined marl in mortars.

This experimental study consists of preparing a mortar by adding a certain percentage of the addition of uncalcined marl and calcined at 800C° (5%,10%,15%,20%).

The physicochemical (DRX, FRX) and mechanical properties of marls and mortars were studied.

From the experimental results obtained it appears that the quantity of beige marl additions is a parameter which influences the variations in mechanical resistance

Key words: Mortar, waste, marl, calcination, mechanical resistance, physicochemical characterization