

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème

**Formulation et caractérisation d'un mortier léger (L W M)
contenant la diatomite algérienne**

Réalisé par : **BEN RABAH HAMZA**
HERHAR OUSSAMA

Devant le jury composé de :

Mme laouchedi dalila	MCB	UAMOB	président
Mr Hami Brahim	MCB	UAMOB	Examineur
Mr Messboua Noureddine	MCB	UAMOB	Promoteur
Mme Ait Ahmed Fatiha	MAA	UAMOB	Co-promotrice

Année Universitaire 2022/2023

DÉDICACE



Je dédie ce travail

Avant tout à ma chère mère **NORA**

A mon père **KAMEL**

Et aussi à mes frères **AMINE ,YOUCEF**

Toute la famille Ben Rabah

A mon cher binôme herhar Oussama et sa famille

A tous mes amis

Tous les membres de bureau d'étude :**DEMDOUM, MEZIANE ,MEDJKEN**

,HANNECH ET LES AUTRES MEMBRES

BEN RABAH HAMZA



DÉDICACE



Je dédie ce travail

A mon père **SAID**

A ma chère mère **LOUIZA**

à mes sœurs **NORA, LOUBNA, ABIR**

A Toute ma famille

A mon cher binôme ben Rabah hamza et sa famille

A tous mes amis



HERHAR OUSSAMA

Remerciement

En premier lieu, nous remercions Allah le tout-puissant de nous avoir aidés durant toute notre vie, sans lui ce manuscrit n'aurait pas pu voir le jour.

En second lieu, nous tenons à adresser notre grand remerciement à notre promoteur professeur Mesbouaa Noureddine et madame Aït Ahmed Fatima au Département du Génie Civil de l'Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, pour avoir accepté de nous diriger et guider dans cette étude, pour son soutien inconditionnel, et avec qui on a une relation de confiance. Je tiens également à le remercier pour sa grande disponibilité.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Nos remerciements vont aussi aux personnalités du bureau d'étude demdoum karim ; abbas meziane ; medjgan ; hannach et tout les membres de bureau (Bouira)

Nos remerciements vont aussi aux membres de laboratoire de génie civil (samir, farid ;..)

Et notre assistant spécial fathi menad et la dame rosa qui n'ont jamais hésité de nous faire part de leur grande expérience du travail.

Nous n'oublions pas les responsables de la bibliothèque qui nous ont beaucoup facilité notre étude.

Nous remercions tous les enseignants du département de génie civil.

Nous adressons nos remerciements à tous nos amis(es) et à toute notre famille, tout particulièrement nos parents pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, merci.

Résumé

La diatomite n'est pas largement employée dans la production de matériaux de génie civil. Néanmoins, l'incorporation de diatomite dans le ciment peut modifier les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons léger et des mortiers.

L'objectif principal de ce travail est de mettre en valeur l'utilisation de la diatomite dans la fabrication des mortiers en ciment. Dans ce contexte, la diatomite brute a été traitée thermiquement et une première phase de caractérisation des propriétés physico-chimiques a été effectuée. La diatomite est calcinée à 750, 800, 850 et 900 °C lors du traitement thermique. Une fois les diatomites identifiées, des mortiers seront fabriqués en remplaçant partiellement le ciment par des pourcentages de diatomite de 5 %, 10 %, 15 % et 20 %.

Les résultats obtenus démontrent que l'incorporation de diatomite dans le mortier améliore ses performances par rapport au mortier ordinaire ayant un super plastifiant.

Les résistances mécaniques des mortiers à base de diatomite fabriqués avec un super plastifiant sont considérablement plus élevées que les mortiers ordinaires en termes de résistance mécanique en compression et en flexion. Les caractéristiques physiques sont cependant légèrement améliorées.

Mots clé : la diatomite , bétons léger , mortiers , traitement thermique , compression , flexion.

ملخص

لا يستخدم الدياتوميت بشكل شائع في تصنيع مواد الهندسة المدنية ومع ذلك، يمكن للأسمنت تعديل الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الخفيفة والملاط.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تسليط الضوء على استخدام الدياتوميت في صناعة الملاط الأسمنتي. في هذا السياق، تمت معالجة الدياتوميت الخام بالحرارة وتم تنفيذ المرحلة الأولى من توصيف الخواص الفيزيائية والكيميائية. تتم المعالجة الحرارية للدياتوميت عند 750 و800 و850 و900 درجة مئوية. بمجرد تحديد الدياتومايت ، سيتم عمل الملاط ، واستبدال الأسمنت جزئياً بنسب من الدياتومايت 5% ، 10% ، 15% و 20%.

أظهرت النتائج أن إضافة الدياتومايت إلى الملاط يحسن من أدائها مقارنة بالملاط العادي ذات المدنات الفائقة القوة الميكانيكية للملاط القائم على الدياتوميت المصنوع من مادة ملدنة فائقة أعلى بكثير من الملاط العادي من حيث المقاومة الميكانيكية في الإنضغاط والإنحناء. تم تحسين الخصائص الفيزيائية بشكل طفيف.

كلمات مفتاحية: الدياتوميت ، الخرسانة الخفيفة ، الملاط، المعالجة الحرارية ، الإنضغاط ، الإنحناء.

Abstract

Diatomite is not commonly used in the manufacture of civil engineering materials. However, cement can modify the physical and mechanical properties of light concrete and mortars.

The main objective of this work is to highlight the use of diatomite in the manufacture of cement mortars. In this context, the raw diatomite was heat-treated and a first phase of characterization of the physico-chemical properties was carried out. Diatomite is calcined at 750, 800, 850 and 900°C during heat treatment. Once the diatomites have been identified, mortars will be made, partially replacing the cement with percentages of diatomite of 5%, 10%, 15% and 20%.

The results showed that adding diatomite to the mortar improves its performance compared to ordinary mortar with super plasticizer.

The mechanical strengths of diatomite-based mortars made with a super plasticizer are considerably higher than ordinary mortars in terms of mechanical resistance in compression and in bending. However, the physical characteristics are slightly improved.

Word keys: Diatomite , light concrete , mortars , heat treatment , compression , bending.

Nomenclature

C = CaO : l'oxyde de calcium

S = SiO₂ : dioxyde de silicium

A = Al₂O₃ : oxyde d'aluminium

F = Fe₂O₃ : oxyde ferrique

Na₂ : peroxyde de sodium

P₂O₅ : acide phosphorique

O : oxygène

M = MgO : L'oxyde de magnésium

H = H₂O : l'eau

E : eau

C : ciment K : clinker

CPA : Les ciments Portland Artificiel

CPJ : Les ciments Portland composes

CHF : Les ciments de haut-fourneau

CPZ : Les ciments pouzzolaniques

CLC : Les ciments au laitier et aux cendres

MPa : mégapascal

D : diamètre

Kg /m³ : Kilogramme par mètre cube

J : joule

m : mètre

R_c : résistance a la compression

GPa : giga pascal

°C : degré Celsius

TiO₂ : dioxyde de titane

K₂ : L'oxyde de potassium

CEM II : ciment Portland compose

m : mètre

R_c : résistance a la compression

GPa : giga pascal

°C : degré Celsius

TiO₂ : dioxyde de titane

K₂ : L'oxyde de potassium

CEM II : ciment Portland compose

M_F : module de finesse

H 1 : hauteur 1

H 2 : hauteur 2

ES : équivalent de sable

M nécessaire : masse nécessaire

ESP : équivalent de sable au piston

ESV : équivalent de sable visuel

ρ_d : La masse volumique apparente

ρ_s : La masse volumique absolue

P2O5 : acide phosphorique

TABLE DES MATIERS

Remerciement

Résumé

Introduction générale 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES BETONS

I .1.Introduction.....	3
I .2. Constituants du béton.....	3
I .2.1 Ciment	3
I .2.2 Composition chimique et minéralogique du ciment	4
I .2.3 Le clinker (K).....	5
I .3. Types de ciments.....	6
I .3.1 Types de ciments selon classe de résistance.....	7
I .3.2 Dosage de ciment.....	8
I .4. Granulats	8
I .4.1 Classification des granulats	8
I .4.2 Type des Granulats	9
I .4.3 Les Sables	10
I.5. Eau de gâchage	11
I.6. Adjuvants.....	12
I.7. Types de béton.....	13
I.8. Comportement mécanique.....	17
I .8.1 Résistance à la compression	17
I .8.2 Résistance à la traction	17
I.9. Comportement chimique	18
I.10.CONCLUSION.....	18

CHAPITRE II : BETON LEGER

II .1. Introduction.....	20
II .1.1. Le béton cellulaire	21
II .1.2. Le béton caverneux.....	22
II .1.3. Les bétons de granulats légers :.....	23
II .1.3.1 Les bétons de granulats légers naturels	23
II .1.3.2. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique.....	23
II .1.3.3. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial	24
II .2. Classification du béton léger :.....	25
II .3. Propriétés physiques des bétons à granulats légers.....	27
II .3.1. Masse volumique.....	27
II .3.2. Maniabilité et mûrissement	27
II .4. Comportement mécanique des bétons légers	28
II .5. Propriétés élastiques des bétons légers	31
II .6. Durabilité des bétons légers	32
II .6.1. Le phénomène de cure.....	33
II .6.2. L'interface pate/granulats	34
II .7. Conclusion.....	36

CHAPITRE III : MATERIAU DIATOMITE

III.1.introduction.....	37
III.2. Domaine d'utilisation	38
III.3. Caractéristiques physiques et chimiques de la diatomite	38
III.4. Classification des kieselguhrs d'après KARPOV.....	40
III.5. Observation microscopique	40

III.6. Techniques expérimentales	41
III.6.1 Préparation de la diatomite	41
III.6.1.1 Manipulation chimique.....	41
III.6.1.2 Manipulation thermique.....	42
III.7. Racines et formation des gisements.....	43
III.8 Les diatomites dans le monde.....	43
III.9 Conclusion	44

CHAPITRE IV : partie expérimentale

IV.1. Introduction	45
IV.2. Matériaux utilisés	45
IV.2.1. Le ciment.....	45
IV.2.1.1. Caractérisation du ciment	45
IV.2.2. Sable	47
IV.2.2.1. Définition.....	47
IV.2.2.2. Analyses granulométriques	47
IV.2.2.3. Module de finesse	48
IV.2.2.4. Equivalent de sable	49
IV.2.2.5. La masse volumique	52
IV.2.3. L'adjuvant	53
IV.2.3.1. Caractéristiques :	53
IV.2.3.2. Mode D'emploi :	54
IV.2.3.3. Conditionnement Et Stockage :	54
IV.2.4. Eau de gâchage.....	54
IV.2.5. La diatomite	54
IV.2.5.1. Traitement thermique	54
IV.2.5.2. Analyse chimique quantitative	55
IV.2.5.3. Masse volumique.....	56
IV.2.5.4. Evolution du temps de prise	57
IV.3. Préparation des mortiers	57
IV.3.1. Mortier normal (Témoin)	57
IV.3.2. Préparation des éprouvettes.....	58

IV.3.3. Le malaxage	58
IV.4. Mortiers avec diatomite.....	59
IV.4.1. Les essais sur les mortiers avec diatomite :.....	59
IV.4.1.1. Les essais physiques	59
IV.4.1.2. Les essais mécaniques.....	60
IV.5. Résultats des essais.....	62
IV.5.1. Résultats essais physiques	62
IV.5.1.1 Remarques sur les résultats d'essais physiques.....	62
IV.5.2. Résultats des essais mécaniques	63
IV.5.2.1. Essais de flexion trois points	63
IV.5.2.2. Essais de compression	64
IV.6. Analyses statistiques des résultats	65
IV.7. Discussion et interprétation des résultats :.....	66
IV.7.1. Les Propriétés physique :	66
IV.7.2. Les propriétés mécaniques :	67
IV8. Conclusion	68
Conclusion générale	69

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure. I.1 constituant de béton	3
Figure I.2.le ciment.....	4
Figure. I.3 les différent types de granulat	8
Figure. I.4 série des tamis en mm	9
Figure. I.5.béton armé	14

CHAPITRE II :

Figure. II.1 béton caverneux	22
Figure. II.2 béton de granulat léger	23
Figure. II.3 les béton de granulat léger de matériaux ayant subi un traitement thermique. 24	
Figure. II.4 les bétons de granulat léger de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial	24
Figure. II.5 les bétons de granulat de matériaux artificiels divers traitement spéciaux	25
Figure. II.6 interface pâte-granulat et mécanismes d'interaction.....	27
Figure. II 7 résistance en compression (a) et module élastique (b) en fonction de la masse volumique du béton durci , résultats à 28 jours	29
Figure. II.8 relation contrainte-déformation des bétons de granulats légers soumis à un effort de compression uni-axial.	30
Figure. II.9 évolution des modules d'young de bétons légers en fonction de leur résistance à compression	31
Figure. II.10 (a) transfert des efforts dans le modèle pâte granulats (b) transfert des efforts dans le modèle pâte granulats très déformable	35
Figure. II.12 évolution du pourcentage de porosité en fonction de la distance à la surface de granulat.....	36

CHAPITRE III :

Figure . III.1 site de dépôt de sig (Algérie)].	37
Figure. III.2 MEB de diatomite brute (a) et calcinée (b)	38
Figure. III.3 contenu d'adsorption et de désorption de diatomite brute et calcinée.....	39
Figure. III.4 microstructure de la diatomite]	41
Figure. III.5 images correspond à la diatomite après le traitement chimique]	42
Figure. III.6 image correspond de diatomite après le traitement thermique	42

CHAPITRE IV :

Figure. IV. 1 CEM II/A de classe 42.5	45
Figure. IV 2 Série des tamis.....	47
Figure. IV.3 Courbes granulométriques de se sable utilisé.....	48
Figure. IV. 4 Principe de l'essai	49
Figure. IV.5 Essai d'équivalent de sable.....	50
Figure. IV. 6 Essai masse volumique absolue	52
Figure. IV.7 Adjuvant MIDALFLOW 30.....	54
Figure. IV.8 Calcination de diatomite.....	55
Figure. IV.9 La courbe masse volumique apparente	56
Figure. IV.10 La courbe masse volumique apparente	56
Figure IV.11 Effet de dosage de diatomite calciner a 900° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment	57
Figure. IV.12 (a) : Malaxeur, (b) : Moules prismatiques	58
Figure. IV.13 Mesure de la masse des éprouvettes.	60
Figure IV 14 Machine d'essais de compression pilotée par ordinateur (laboratoire de la faculté).	60
Figure. IV.15 La faculté dispose d'une machine d'essais de flexion et de compression pilotée par ordinateur. Cette machine est utilisée pour effectuer des essais de flexion sur des éprouvettes, puis les mêmes échantillons sont utilisés pour les essais de compression.....	61
Figure. IV..16 Essais de flexion et compression	61
Figure. IV.17 Les densités relatives des différentes variations de diatomées en corrélation avec leur période de formation	62
Figure. IV.18 Évolution temporelle des propriétés de résistance à la flexion pour les différentes variations de diatomite examinées.....	63
Figure. IV.19 Évolution temporelle des propriétés de résistance à la flexion pour les différentes variations de diatomite examinées.....	64
Figure. IV.20 Une relation entre la masse volumique et la résistance à la flexion a été observée.....	65
Figure. IV.21 Une relation entre la masse volumique et la résistance à la compression a été observée.....	65
Figure. IV.22 relation entre les résistances en compression et celles en flexion.....	66

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau . I.1.les principaux constituants du ciment Portland.	4
Tableau . I.2.La classe de résistance de ciment.	7

CHAPITRE II :

Tableau II 1 les propriétés comparées des bétons cellulaires.....	21
Tableau . II .2 Classification des bétons légers en fonction de la densité.....	26
Tableau . II .3 Classification des bétons légers en fonction de la masse volumique	26

CHAPITRE III :

Tableau. III.1 Compositions chimiques de la diatomite Algérienne brute et calciné.	39
Tableau. III.2: Analyse physique chimique de la diatomite naturelle Algérienne.....	40
Tableau. III.3 Classification du kieselguhr	40
Tableau. III.4 Composition chimique d'échantillons de kieselguhr provenant des différents gîtes reconnus dans le monde.....	44

CHAPITRE IV :

Tableau. IV.1 Composition chimique ciment CEM II/A 42.5.	46
Tableau. IV.2 Caractéristiques minéralogiques de ciment.	46
Tableau IV.3 Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5	46
Tableau. IV 4 Les conclusions d'analyse granulométrique de sable 0/3.....	48
Tableau. IV.5 Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable....	51
Tableau. IV.6 équivalent de sable.	51
Tableau. IV.7 tests chimiques FRX de la diatomite brute et calcinée.....	55
Tableau. IV.8 Les temps de début et de fin de prise de la pâte de ciment ont été mesurés en utilisant différentes ratios E/C de diatomite calcinée à 800°C.....	57
Tableau. IV.9 La répartition des masses des composants utilisés Pour chaque variante étudiée :.....	59
Tableau. IV.10 Les masses volumiques de diverses variations de diatomite varient en fonction de leur âge	62
Tableau. IV.11 : L'évolution temporelle des résistances en flexion trois points des différentes variantes différentes variantes de diatomite a été étudiée.....	63
Tableau. IV.12 résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps....	64

Introduction générale

Lors de la construction, le béton et le mortier occupent une place prépondérante parmi les matériaux les plus utilisés. Il est essentiel de les combiner soigneusement avec d'autres éléments, dans le but de :

- Combler les interstices entre les blocs de construction
- Garantir la stabilité structurelle de l'ouvrage
- Solidariser les éléments entre eux.

Le mortier est fabriqué en mélangeant un liant (chaux ou ciment), du sable, de l'eau et parfois des additions. Les différents paramètres peuvent être modifiés pour obtenir diverses compositions de mortier : adjuvants, liant (type et dosage) et ajouter, doser avec de l'eau. En ce qui concerne le liant, il est possible d'utiliser différents types de ciments et de chaux, mais le choix et le dosage dépendent de la nature de la construction à réaliser et de son environnement spécifique.

L'idée du thème est née pour l'objectif de la valorisation est d'incorporer la diatomite dans les matériaux de génie civil.

D'une part, l'ajout de diatomite dans le processus de production du ciment permet de réduire les coûts et de limiter les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), contribuant ainsi à la préservation de l'air et de l'environnement.

D'autre part, pour modifier leurs propriétés physiques et mécaniques, la diatomite peut remplacer partiellement le ciment dans la fabrication de bétons et de mortiers de revêtement.

L'industrie du génie civil accorde une attention particulière à la fabrication économique de ciments respectueux de l'environnement, à l'amélioration de la résistance mécanique et, surtout, à la modification des propriétés physiques du béton.

L'exploitation de la diatomite dans la fabrication de bétons ou de produits d'isolation tels que les mortiers offrent une perspective prometteuse. Cela représente une piste de recherche très intéressante, en particulier dans les pays situés dans des zones froides (comme les pays d'Europe du Nord) et les pays à climatchaud. La diatomite peut être valorisée et utilisée comme ajout dans la production de ciment, ou comme composant permettant de fabriquer des bétons plus légers et mieux isolants, grâce à sa nature friable et à ses propriétés physiques distinctives.

Introduction générale

L'objectif de ce mémoire consiste à exploiter la diatomite afin de produire des mortiers. Le but est d'identifier le traitement approprié ainsi que la quantité de diatomite permettant d'obtenir des propriétés mécaniques et thermiques optimales pour les différents matériaux utilisés.

ce travail est subdivisé en deux parties :

Le premier volet présente une recherche bibliographique sur le béton et ses propriétés ainsi on a parlé sur le matériau géoressources qu'est la diatomite (sa composition, son utilisation...). Sa disponibilité et sa facilité d'utilisation,

Le deuxième volet présente la partie expérimentale et la discussion des résultats.

Chapitre I

Généralités sur les bétons

I.1.Introduction

Les caractéristiques essentielles du béton qui influencent sa stabilité et sa longévité sont sa résistance mécanique et sa capacité de déformation. La composition du béton (notamment la quantité et la nature des différents éléments tels que le ciment et l'eau) est déterminante dans le développement de ces propriétés. D'autres facteurs tels que la maturation du béton, les conditions de mise en place (malaxage, vibration, protection) et les environnements dans lesquels il sera exposé peuvent également influencer les qualités du matériau en question. Enfin, les sollicitations auxquelles le béton sera soumis jouent également un rôle important dans son comportement mécanique.

➤ Définition

Le béton est un matériau hétérogène, composé principalement par des granulats et de ciment, l'amélioration de certaines propriétés pour faire face à des conditions spécifiques. Chacune de ses parties ont un impact significatif sur le mixte.

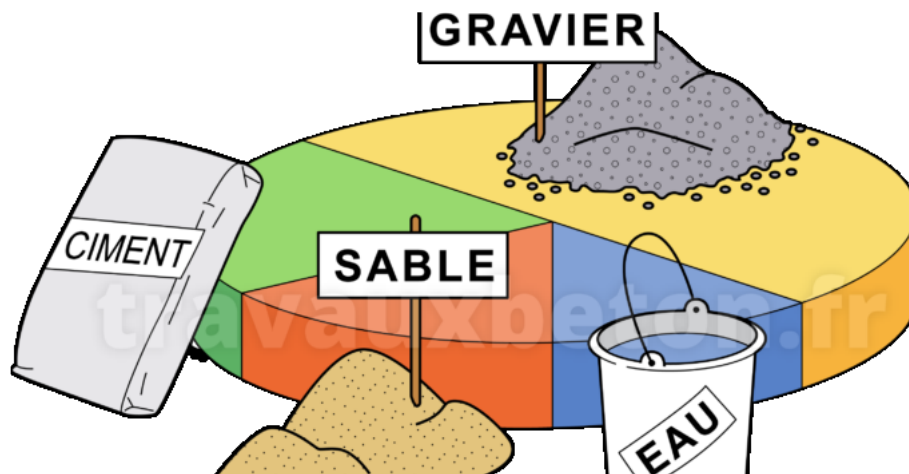


Figure.I.1 Constituant de béton[01].

I.2. Constituants du béton

I.2.1 Ciment

Le ciment est une substance qui agit comme un agent de liaison hydraulique composé de poudre minérale. Effectivement, il suffit de combiner une petite quantité de poudre avec de l'eau, du sable et du gravier pour créer un matériau dur à température ambiante en quelques heures.[01]



Figure.I .2.le ciment [01]

Le ciment de bon qualité est constitué de clinker Portland, de gypse et parfois d'autres additifs, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles.[02]

En partie chimique des ciments, il est courant d'utiliser une nomenclature spécifique afin de décrire les changements chimiques ; cette nomenclature emploie l'initiale des oxydes au lieu des symboles chimiques classiques :

(C = CaO ; S = SiO₂ ; A = Al₂O₃ ; F = Fe₂O₃ ; M = MgO ; H = H₂O...)

Tableau.I .1 les principaux constituants du ciment Portland[01].

Composition du ciment Portland	
Silicate tricalcique,	Ca ₃ SiO ₅ ou 3CaO, SiO ₂ : C ₃ S ;
Silicate dicalcique	Ca ₂ SiO ₄ ou 2CaO, SiO ₂ : C ₂ S ;
Aluminate tricalcique	Ca ₃ Al ₂ O ₆ ou 3CaO, Al ₂ O ₃ : C ₃ A
Alumino ferrite Tetra calcique	Ca ₂ Al ₂ O ₁₀ Fe ₂ ou 4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ : C ₄ AF

I .2.2. Composition chimique et minéralogique du ciment

Les liants sont fabriqués en mélangeant du substance dans des proportions appropriées :

- Oxyde de calcium
- Silice
- Alumine

- Oxyde ferrique
- Magnésie
- Anhydride sulfurique
- Sulfate de calcium

I.2.3 Le clinker (K)

Le clinker est composé essentiellement du calcaire (95%) et 20 % d'autres éléments, qui est commun à tous les ciments courants. Les quatre principales phases cristallines composent le clinker :

- **C₃S ou l'alite :**

Le silicate tricalcique est composé de 3CaO.SiO₂ et confère une résistance mécanique au matériau durant sa jeunesse. Ce composant représente entre 60-65% du clinker. Lors de son hydratation, le silicate tricalcique génère une réaction qui dégage de la chaleur qui mène à la création de silicate de calcium hydraté ainsi que d'hydroxyde de calcium.

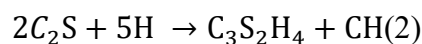
Représenter dans l'équation (1) :



Contrairement à la Portlandite, un composé cristallin clairement défini, La composition des silicates de calcium n'est pas clairement déterminée et est communément désignée par C-S-H. L'alite, qui est le principal composant du clinker, réagit lorsqu'il est mélangé avec de l'eau de gâchage, il réagit pour former des hydrates qui contribuent à la résistance du matériau à court et moyen termes.

- **C₂S ou la bélite :**

Le silicate bicalcique, dont la formule chimique est 2CaO.SiO₂, est un élément clé dans l'obtention de résistances mécaniques durables pour les matériaux. Il représente entre 5% et 20% du clinker. Lorsqu'il est hydraté, il produit du silicate de calcium hydraté ainsi que de l'hydroxyde de calcium, ce qui constitue une réaction exothermique. Représenter par l'équation (2) :

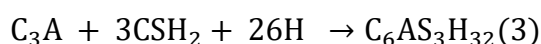


La création des hydrates est nettement moins rapide que celle provenant de la réaction entre l'alite et l'eau du mélange, mais elle est essentielle pour garantir la solidité à plus long durée.

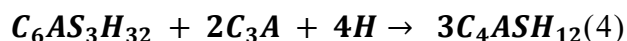
- **C3A ou la célide:**

Le tricalcique aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), un élément chimique, est indispensable à la prise du béton, mais possède une résistance mécanique et chimique faible. Constituant 4 à 12% du clinker, il est également désigné par l'appellation "célide". L'hydratation du tricalcique aluminat s'effectue en deux phases distinctes.

La présence de sulfate entraîne la formation dans l'équation (3) lors de l'hydratation de C3A ;



Par la suite, lorsque la concentration en sulfate diminue, l'ettringite interagit avec le résidu de célide restant pour produire du mono-sulfo-aluminat hydraté comme indiqué dans l'équation (4) :



La célide joue un rôle crucial dans la théologie de la pâte et la résistance à court terme du matériau en raison de sa forte réactivité avec l'eau de gâchage.

- **C4AF ou la ferrite :**

Alumino-ferrite tétracalcique de composition chimique constitue entre 1% et 5% du clinker.

I .3. Types de ciments

Il est possible de sélectionner un type de ciment ordinaire adapté aux exigences de la construction, telles que la résistance du béton, les conditions environnementales, le moment de l'année et la finalité de l'ouvrage.

La classification des ciments est effectuée en fonction de leur composition chimique.[03]

:Les ciments Portland Artificiel (**CPA – CEM I**) :

Le constituant principal de ce matériau est le clinker, qui représente au moins 95 % de sa composition. Les autres éléments présents sont désignés comme composant secondaire

– Les ciments Portland composés (**CPJ – CEM II/A ou B**) :

La composition des deux sous-catégories diffère en termes de pourcentage d'addition inérale : la sous-catégorie A présente une plage de 6 à 20 %, tandis que la sous-catégorie B affiche une plage de 21 à 35 %.

- Les ciments de haut-fourneau (**CHF – CEM III/A, B ou C**) :

Les pourcentages de laitier dans les trois catégories respectives se situent dans les plages suivantes : [36 % à 65 %], [66 % à 80 %], [81 % à 95 %].

- Les ciments pouzzolaniques (**CPZ–CEM IV/A ou B**):

La catégorie A contient des pouzzolanes dans une proportion de 10 % à 35 %, tandis que la catégorie B présente une teneur en pouzzolanes allant de 36 % à 55 %.

- Les ciments au laitier et aux cendres (**CLC – CEM V/A ou B**) :

Ces ciments comprennent un mélange des deux types d'additifs est réalisé , avec des doses allant de (18 à 30) % ou de (31 à 50) %, respectivement. La composition de ces différents ciments est définie par les éléments qui les composent.

I.3.1 Types de ciments selon classe de résistance

Les ciments sont classés en 3 catégories de résistance : 32,5, 42,5 et 52,5. Ces catégories sont déterminées par la résistance moyenne typique du ciment à 28 jours en MPa. La résistance mécanique à la compression d'un ciment est évaluée à 28 jours. La résistance normale supérieure est fixée à 28 jours pour les ciments des classes 32,5 et 42,5, comme indiqué dans le tableau suivant:

Tableau I2 La classe de résistance de ciment. [03]

la classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court délai		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 L	/	≥ 12	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 N	/	≥ 16		
32,5 R	≥ 10	/		
42,5 L	/	≥ 16	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 N	≥ 10	/		
42,5 R	≥ 20	/		
52,5 L	≥ 10	/	≥ 52,5	/
52,5 N	≥ 20	/		
52,5 R	≥ 30	/		

I.3.2 Dosage de ciment

En règle générale, le dosage en ciment des constructions est situé entre 200 et 300 kilogrammes par m^3 de béton utilisé et entre 300 et 400 kg/m^3 de béton armé. Pour les constructions en béton précontraint, une quantité minimum est de 350 kg/m^3 . En fait, les résistances sont généralement étroitement liées aux dosages pour des intervalles de 200 à 500 kg/m^3 . [03]

I.4. Granulats

Les granulats ont un rôle important essentiel dans la composition du béton, influençant à la fois ses propriétés et son coût. Ils sont produits par les industries extractives et désignent un ensemble de particules minérales utilisées pour la fabrication de mortiers, de bétons, de couches de fondation, de revêtements de chaussées et de ballasts pour les voies ferrées. [04]



Figure I.3 les différents types de granulats [04]

I.4.1 Classification des granulats

Les granulats sont catégorisés selon leur taille, évaluée en utilisant des tamis à mailles carrées dont la dimension minimale est indiquée en mm. Le matériau qui passe à travers le tamis est désigné comme "tamisât", tandis que celui qui reste sur le tamis est appelé "refus". Les granulats ayant des dimensions allant de "d" pour les plus petits éléments à "D" pour les plus grands éléments sont désignés sous le terme de "granulats d/D". La norme P18-540 décrit les appellations et les caractéristiques dimensionnelles des différentes classes granulaires :

- Les fillers ou fines 0/D ($D < 2\text{mm}$ et $70\% < 0,063\text{mm}$)
- Les sablons 0/D ($D < 1\text{mm}$ et $70\% < 0,063\text{mm}$)
- Les sables 0/D ($1\text{mm} < D < 6,3$)
- Les graves 0/D ($D > 6,3$)

- Les gravillons d/D ($d > 1 \text{ mm}$ et $D < 125 \text{ mm}$)
- Ballast d/D ($d > 25 \text{ mm}$ et $D < 50 \text{ mm}$)

Avec :

D : dimension $>$ du granulat ; d : dimension $<$ du granulat.

Les granulats sont caractérisés en utilisant un processus de tamisage. En passant par une série de tamis, dont les mailles sont dimensionnées comme suit en millimètres :

0.063 * 0.08 * 0.10 * **0.125** * 0.16 * 0.2 * **0.25** * 0.315 * 0.4 * **0.5** * 0.63 * 0.8 * **1** * 1.25 * 1.6 * **2** * 3.15 * **4** * 5 * 6.3 * **8** * 10 * 12.5 * 14 * **16** * 20 * 25 * **31.5** * 40 * 50 * **63** * 80 * 100 * **125**.

Les dimensions des tamis indiquées en gras sont conformes à la série de base. Par conséquent, ils doivent être utilisés lors d'une étude granulométrique. En plus de tout tamis supplémentaire requis pour créer la courbe. [05]



Figure. I .4 série des tamis [05]

I.4.2 Type des Granulats

- **Granulats naturels :**

Ces granulats sont minéraux et dérivent de pierre massives ou de roches meubles qui n'ont subi aucune altération autre que des processus mécaniques. Les granulats de pierre meuble, communément appelés granulats roulés, ont obtenu leur forme grâce à l'érosion. Les granulats de roche massive ont des formes anguleuses car ils sont obtenus par abattage et concassage

- **Granulats artificiels :**

Ces granulats sont d'origine minérale et sont obtenus par le biais d'un processus industriel impliquant des transformations thermiques ou d'autres types de transformations.

- **Granulats recyclés:**

Obtiennent en traitant des matériaux inorganiques utilisés dans le passé dans la construction, comme le béton de démolition.[03]

I.4.3 Les Sables

Le sable est une substance constituée de particules granulaires composé de petites particules résultant de la désagrégation de matériaux minéraux, principalement des roches, ou organiques tels que des coquilles et des squelettes de coraux. Sa taille varie de 0,063 mm (limon) à 2 mm (gravier). Les sables utilisés dans le béton peuvent être naturels ou fabriqués artificiellement.[06]

- **Les sables naturels**

- **Sable de mer :**

Généralement, le sable est considéré comme pur et de qualité excellente à condition qu'il ne soit pas excessivement fin. Cependant, le sable de mer, situé à l'embouchure des rivières, est souvent inutilisable en raison de son mélange fréquent avec de la vase. Cependant, le sel est présent dans le sable marin ; Il n'y a pas de problème pour les travaux de mer et de fondations, mais il est crucial de prendre des mesures préventives adéquates lors des travaux d'élévation car les murs peuvent être humides. Si le sable de mer est utilisé dans cette situation, il est indispensable de procéder à un lavage préalable du sable avec de l'eau douce et de le purifier.

- **Sable d'oued ou de rivière:**

Il est obtenu en effectuant le curage. Extraire le sable du lit des cours d'eau, les endroits donnant des matériaux siliceux sont choisis pour effectuer ces curages. Cependant, le sable provenant des rivières présente une texture schisteuse dans certaines régions et produit moins bien, particulièrement lorsque le schiste est friable, il a tendance à se transformer en argile, ce qui nécessite une attention particulière. En outre, il est important de retirer le sable gypseux de la rivière.

– **Le sable de dune :**

Il s'agit d'un type de sable marin qui présente une qualité de construction médiocre en raison de sa composition composée d'éléments très uniformes et très fins.

– **Le sable de carrière :**

Fréquemment, ce sable renferme de l'argile qui enveloppe les grains de sable, ce qui limite leur adhérence aux liants. Par conséquent, son utilisation nécessite une grande prudence. En revanche, les sables quartzeux dépourvus de matières terreuses ou argileuses sont particulièrement adaptés pour les travaux de maçonnerie.

➤ **Les sables artificiels**

Les granulats artificiels peuvent être obtenus par deux sources principales : la transformation thermique des roches, minerais et déchets après cuisson, ou par le processus de démolition d'ouvrages divers. Ils sont produits par le concassage de roches résistantes telles que les calcaires durs, les grès, les quartzites et les laves. Ces matériaux sont très intéressants pour la fabrication de béton ainsi que pour la production de revêtements de chaussées. Cependant, il est essentiel de contrôler attentivement le pourcentage de fines. Parmi les différentes variétés de sables artificiels, on peut distinguer :

– **Le sable de tuiles ou de briques :**

En effectuant le broyage de débris de briques ou de tuiles, nous créons un sable de haute qualité doté de propriétés pouzzolaniques exceptionnelles.

– **Le sable de laitier de haut fourneau concassé :**

Dans les régions de l'est de la France et à travers tout le pays, ce sable est largement employé pour produire des assises de chaussée stabilisées. Ce granulats artificiel possède des propriétés remarquables en matière de résistance et de granulométrie, ce qui en fait un choix privilégié.

I.5. Eau de gâchage

Le dosage de l'eau joue un rôle essentiel dans la formulation du béton, ainsi que dans son influence sur les caractéristiques du béton lorsque l'eau s'évapore ou est absorbée pour différentes raisons (comme l'évaporation, la réaction chimique ou l'absorption par les granulats).[07]

L'eau de mélange est un élément indispensable du béton et remplit deux fonctions principales. Elle améliore la maniabilité du béton à l'état frais et favorise l'hydratation des particules de ciment est influencée par la quantité d'eau utilisée, ou plus précisément par le rapport E/C, exerce une influence significative sur la porosité, la perméabilité, la résistance mécanique, la durabilité, la microstructure et la vitesse d'hydratation du béton.[03]

Afin d'être appropriées pour la fabrication de béton, les eaux utilisées ne doivent contenir ni substances susceptibles d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait altérer les qualités intrinsèques du béton.

Parmi les différentes catégories d'eau qui peuvent être utilisées pour la fabrication de béton, on retrouve :

- Les eaux potables
- Les eaux utilisées pour rincer les bétonnières ou les camions malaxeurs et qui sont destinées au recyclage.
- Les eaux issues de précipitations et de l'écoulement des eaux de surface.

Parmi les eaux qui ne devraient pas être utilisées, on trouve :

- Les eaux usées ;
- Les eaux usées provenant des produits détergents.;
- Les eaux industrielles pouvant contenir des déchets organiques ou chimiques sont incluses parmi celles qui ne devraient pas être utilisées.[05]

I.6. Adjuvants

Les adjuvants sont des substances qui se dissolvent dans l'eau et, lorsqu'elles sont ajoutées au ciment à des quantités inférieures ou égales à 5 % de son poids, permettent d'améliorer certaines caractéristiques du béton. Ils offrent une large gamme d'options dans la formulation du béton, ce qui facilite sa mise en place, réduit les coûts, améliore les propriétés du béton durci et peut même conférer de nouvelles propriétés.

Parmi les divers types d'adjuvants, ce sont les super plastifiants qui jouent un rôle crucial dans la maniabilité du béton. Ces super plastifiants sont des polymères organiques solubles dans l'eau. Ils sont synthétisés par une opération complexe de polymérisation, ce qui donne naissance à de longues chaînes de molécules à masse molaire élevée. Ces molécules s'enroulent autour des particules de ciment, et en fonction de leur nature, elles provoquent une

répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques à la surface des particules, ou une répulsion stérique en repoussant les particules les unes des autres. [04]

Il est possible d'utiliser divers adjuvants afin d'améliorer les propriétés du béton :

- Accélérateurs de prise
- Plastifiants
- Super plastifiants
- Retardateurs de prise
- Entraîneurs d'air

I.7. Types de béton

L'évolution des bétons se poursuit de manière continue en raison des avancées technologiques. La composition du béton peut changer. Il est possible d'adapter son dosage et ses composants selon les caractéristiques souhaitées. Le béton, sous ses différentes formes, répond aux exigences de sécurité et aux désirs des hommes.[08].

➤ Les Bétons Prêts à l'Emploi :

Les BPE sont des bétons fabriqués de manière industrielle dans une centrale à béton, puis livrés sur le chantier dans des camions-toupies. Ces bétons sont prêts à être utilisés immédiatement, que ce soit en les déversant directement à partir de la goulotte du camion-toupie, ou en utilisant un tapis ou une pompe à béton pour faciliter leur mise en place.[03]

➤ Le béton armé :

Le béton armé est un matériau composite qui associe les caractéristiques mécaniques du béton et de l'acier. Il est constitué d'une combinaison de ciment, d'agrégats et d'eau, auxquels sont ajoutées des armatures en acier pour renforcer sa résistance à la traction. Lorsque le béton subit des forces de traction, l'acier intervient pour compenser cette faiblesse et retarder l'apparition de microfissures.(**Figure.I.5**)



Figure.I.5.Béton armé [03]

➤ **Le béton précontraint :**

Les techniques de précontrainte consistent à étirer les armatures en acier qui composent les armatures du béton, agissant ainsi comme des ressorts, afin de comprimer le béton lorsqu'il est au repos.

Dans la méthode de précontrainte, généralement utilisée dans la construction, Les armatures subissent une mise en tension avant que le béton ne prenne. Ensuite, elles sont relâchées, ce qui a pour effet de comprimer le béton simplement par adhérence. Cependant, Cette méthode n'aboutit pas à l'obtention des niveaux de précontrainte aussi élevés que dans le cas de la post-tension.

Dans la technique de post-tension, des câbles de précontrainte sont positionnés à l'intérieur de gaines intégrées au béton. Une fois le béton durci, les câbles sont étirés à l'aide de vérins, mettant ainsi la structure en compression. L'application de cette méthode qui est assez complexe, est généralement réservée aux grandes constructions (telles que les ponts) car elle nécessite l'utilisation de « pièces d'about » encombrantes (des dispositifs placés de chaque côté de l'ouvrage pour permettre la mise en tension des câbles).[03]

➤ **Bétons de Hautes Performances**

Les bétons de hautes performances, également appelés BHP, se distinguent des bétons normaux par leurs propriétés améliorées, telles que :

- Les BHP se distinguent par leur résistance accrue à la compression, ce qui permet de réduire la quantité de béton requise. De plus, ils offrent une excellente fluidité grâce à l'utilisation de super-plastifiants, ce qui facilite grandement leur mise en œuvre, le pompage et la surface lisse sans vibrer le béton.
- Des besoins en eau plus faible.
- En outre, les propriétés de compacité et de porosité élevées des BHP améliorent la résistance du béton, limitant ainsi la pénétration des agents agressifs et préservant l'intégrité. Cela prévient la corrosion des armatures et améliore la résistance du béton au cycle de gel/dégel.[03]

➤ Le béton projeté

Le béton projeté est une technique où le béton est propulsé à haute vitesse sur une surface à l'aide d'air comprimé. Cette méthode de projection permet de compacter le matériau grâce à la force de l'impact, l'empêchant ainsi de s'affaisser ou de s'écouler. Bien qu'il s'agisse simplement d'une méthode de mise en place différente, le béton projeté possède des propriétés équivalentes à celles d'un béton classique ayant une composition similaire. Il est possible d'appliquer cette approche avec seulement une surface de soutien, ce qui la rend applicable sur des surfaces courbes et non uniformes, éliminant ainsi le besoin de recourir à des coffrages. Le béton projeté peut être fabriqué de deux manières : l'une consiste à le faire par voie sèche, tandis que l'autre implique une approche humide :

- Le procédé par voie sèche :

Le procédé sec est largement privilégié pour les travaux de réparation. Dans ce procédé, les matériaux secs tels que le ciment et les granulats sont directement intégrés dans une canalisation, puis acheminés à l'aide d'air comprimé jusqu'à une lance. À la sortie de la lance, de l'eau sous pression est ajoutée au mélange. L'avantage du procédé sec réside dans sa capacité à être interrompu et repris à tout moment pendant les travaux, car le béton reste sec dans la lance, évitant ainsi toute solidification. Ce procédé permet également d'obtenir aisément des résistances élevées grâce à la possibilité d'utiliser de faibles rapports E/L. Toutefois, le principal inconvénient du procédé sec réside dans la quantité d'eau ajoutée au mélange, qui est dosée de façon directe en utilisant une lance par l'opérateur, ce qui rend la surveillance de la qualité plus complexe.

- Le procédé par voie humide :

Ce procédé implique la pompe traditionnelle de béton ou de mortier, qui est ensuite projeté à grande vitesse sur une surface en utilisant de l'air comprimé via une lance. Lorsque de grandes quantités doivent être produites, le procédé par voie humide est principalement employé. En utilisant du béton classique, les proportions des composants du mélange sont connues, cela simplifie la gestion et l'évaluation de la qualité. [03]

➤ Bétons auto plaçant et auto-nivelant

Ces bétons se distinguent par leur excellente fluidité, leur homogénéité et leur stabilité. Ils sont mis en place dans le coffrage sans nécessiter de vibration, et se mettent en forme sans besoin de compactage. Leur capacité à être pompés, à maintenir leur fluidité pendant une longue période et à s'écouler sans perdre leur stabilité les caractérise. Ils se différencient des bétons classiques principalement en raison de leurs caractéristiques lorsqu'ils sont à l'état frais, qui représentent un compromis entre la fluidité et la résistance à la ségrégation. Une fois durcis, ces bétons présentent des performances similaires comparé à ceux des bétons traditionnels qui sont compactés par vibration. [03]

➤ Les bétons légers

Les bétons légers sont intéressants car ils permettent de diminuer considérablement le poids de l'édifice. Les masses volumiques des bétons légers sont de 300 à 1800 kg/m³, contre 2300 kg/m³ pour le béton classique. [03]

Cette caractéristique est également recherchée dans les bétons isolants thermiques, où la conductivité varie en fonction de la densité. Les bétons légers sont réalisés en ajustant la composition (bétons à structure poreuse) ou en utilisant des granulats de faible densité, tels que l'argile expansée, le polystyrène agrandi ou le liège. Il est également possible de créer des vides en provoquant une réaction qui libère du gaz, comme c'est le cas avec le béton cellulaire. [03].

➤ Les Bétons de fibres

Un type de béton appelé béton de fibres est celui dans lequel une armature a été incorporée directement grâce à l'incorporation directe de fibres individuelles lors du mélange ou l'application par projection. Les fibres peuvent être estimées comme un type de granulats spécial, caractérisé par une forme allongée et une résistance élevée à la traction. Elles ont la capacité d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de freiner la propagation des fissures. Les fibres contribuent à améliorer le comportement de la matrice

après l'apparition des fissures en maintenant une résistance significative lors de l'augmentation des déformations, en formant des ponts au niveau des fissures.[09].

I.8. Comportement mécanique

I.8.1 Résistance à la compression

Le béton présente une résistance intrinsèque à la compression en raison de sa composition , en particulier s'il est armé, c'est pourquoi on essaiera de le soumettre au maximum à ce type de charge plutôt qu'à la traction. C'est pourquoi le béton n'est utilisé que très rarement seul, mais plus fréquemment, il est associé à des barres en acier qui supportent les contraintes de traction . Ainsi, Quel que soit le béton que vous sélectionnerez sera spécialement adapté à la construction de structures soumises à la compression.

La classe de résistance du béton fournit une indication directe de sa résistance à la compression. Elle est notée C X/Y, où X signifié la résistance à 28 jours d'un échantillon cylindrique de béton, tandis que Y représente la résistance à 28 jours d'un échantillon rectangulaire. Ces valeurs normalisées sont très utiles pour choisir Adapter la composition du béton en fonction des charges auxquelles il sera soumis . Les bétons couramment Employés sur les sites de construction ou dans la construction résidentielle sont généralement de classe C25/30 ou C30/37, tandis que Les classes de résistance plus élevées sont destinées aux projets de grande ampleur. [10]

I.8.2 Résistance à la traction

Lorsque l'on mentionne le béton et la traction ensemble, il est couramment question d'un problème ou d'un incident dans la construction, plutôt que de souligner les excellentes compétences du béton à résister à ces types d'efforts. En réalité, la traction n'est pas le domaine privilégié d'application du béton. En l'absence d'armature, le béton peut même se comporter de manière cassante, similaire au verre, lorsqu'il est soumis à des forces de traction. C'est l'une des raisons pour lesquelles Le concept du béton armé a été élaboré.

En raison de sa grande résistance à la traction, Joseph Louis Lambot a pris la décision d'associer le béton à l'acier, afin de combiner les principales caractéristiques de ces deux matériaux et ainsi créer un matériau parfaitement adapté. [11]

Il est impossible d'utiliser uniquement du béton pour résister à des forces de traction, car les méthodes de calcul du BAEL (Béton Armé aux États Limites) ou des Eurocodes ne prennent pas en compte la résistance à la traction du béton, par souci de sécurité.

Lors de la conception de vos structures, il est essentiel de veiller à ce que le béton soit soumis à un minimum d'efforts de traction, en évitant notamment que des éléments tels que des suspentes ne soient soumis à cette contrainte. Il est également crucial de dimensionner correctement les armatures en acier qui assureront la reprise de ces efforts. Plus il y aura de forces de traction à prendre en compte, plus il sera nécessaire d'ajouter des armatures en acier, ce qui peut se traduire par une hausse des dépenses de construction [10].

I.9. Comportement chimique

La durabilité d'un béton réside dans sa capacité à maintenir sa résistance et à remplir son rôle pendant toute sa période d'utilisation pratique, même s'il ne peut pas durer indéfiniment. Cela signifie que le béton doit être capable de résister aux mécanismes de dégradation auxquels il peut être soumis à diverses conditions, telles que les cycles de gel-dégel et divers types d'agressions chimiques. [02]

La dégradation du béton peut être attribuée à des facteurs externes ou à des phénomènes internes. Les facteurs externes comprennent des forces mécaniques, des influences physiques et des réactions chimiques. Parmi les phénomènes chimiques externes, on trouve la présence d'éléments nocifs tels que des ions chlorures, sulfates et dioxyde de carbone, ainsi que divers gaz et liquides d'origine naturelle ou artificielle. [02]

La durabilité est une caractéristique aussi essentielle que les propriétés mécaniques pour le matériau béton. Elle se réfère à la capacité du matériau à préserver ses propriétés physiques et ses performances mécaniques dans des conditions de sécurité adéquates tout au long de la durée de vie prévue de la structure, en tenant compte des conditions réelles d'utilisation et dans l'environnement spécifique dans lequel elle se trouve. La perméabilité est le paramètre clé qui influence la durabilité. En effet, une perméabilité réduite contribue à une amélioration significative de la durabilité du béton. [02].

Afin d'estimer la durabilité potentielle d'un béton, il est important de comprendre les mécanismes qui peuvent conduire à sa détérioration, ainsi que la résistance du matériau face à ces processus de dégradation. [02]

I.10. CONCLUSION

Pour conclure, les bétons sont des éléments de base en matière de construction que l'on utilise dans la plupart des projets de cette catégorie. Ils sont composés de ciment, d'eau, d'agrégats et, parfois, d'additifs pour améliorer leurs caractéristiques. Les bétons sont résistants, durables et faciles à fabriquer, et trouvent une utilisation variée, allant des

immeubles de grande hauteur aux routes et aux ponts. Les bétons sont également très flexibles, car ils peuvent être adaptés pour répondre à différents besoins en utilisant des adjuvants. Toutefois, leur processus de fabrication requiert une quantité importante d'énergie, ce qui peut causer une empreinte carbone élevée. Il est donc essentiel de rechercher des solutions permettant de diminuer leur empreinte écologique. En définitive, les bétons demeurent un choix privilégié pour de nombreuses applications de construction et leur amélioration continue permet de répondre aux besoins accrus en matière de durabilité et d'efficacité énergétique.

Chapitre II

Béton léger

II .1. Introduction

Le béton est un matériau de construction composé de granulats (sable, gravillons) agglomérés avec un liant. Le béton léger se distingue du béton ordinaire par sa faible masse volumique, ce qui le rend particulièrement adapté à de nouvelles applications. En effet, sa densité varie entre 300 et 1850 kg/m³, tandis que celle du béton classique se situe entre 2200 et 2600 kg/m³ [12]. D'après mon expérience antérieure, les bétons légers sont caractérisés par une masse volumique inférieure à 1800 kg/m³. Ils sont composés de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques comme les époxydes et les mousses de polyuréthane. Ces bétons présentent généralement une faible densité par rapport aux bétons traditionnels. En effet, la masse volumique de la plupart de ces bétons est plus faible par rapport aux bétons traditionnels, qui ont des masses comprises entre 2200 et 2600 kg/m³[13]. Ces bétons offrent des possibilités d'utilisation dans l'isolation, l'allègement ou les deux simultanément. De plus, s'ils sont dotés de granulats permettant d'atteindre les résistances requises, ils peuvent également être utilisés pour des éléments porteurs. Ainsi, les bétons de construction légers sont influencés par leur masse volumique et ces différentes résistances. Lorsqu'ils sont utilisés de manière appropriée, ces deux facteurs permettent de proposer des solutions optimisées sur le plan de la construction, de l'économie ainsi que sur les aspects liés à la performance du bâtiment dans tous les domaines de la construction. Ils ouvrent de nouvelles perspectives dans le domaine de la construction en offrant divers avantages. Le béton léger se distingue par sa faible masse volumique, sa capacité à répondre aux exigences spécifiques, son rapport poids/résistance optimal, ainsi que par ses propriétés d'isolation thermique remarquables. De plus, il présente une résistance élevée à la chaleur, au feu et au gel, et est généralement résistant aux agressions physiques et chimiques couramment rencontrées dans le domaine de la construction. [13]

Pour produire du béton léger, il est essentiel de prendre en considération deux facteurs importants :

- Les spécificités de la formulation du béton léger.
- La source des composants spécifiques utilisés pour fabriquer le béton léger, tels que les matériaux légers naturels, artificiels et recyclés.

La réduction de la masse volumique s'obtient en remplaçant une partie des matériaux par de l'air. Trois zones peuvent accueillir ces vides d'air, à savoir :

- Soit dans la pâte de ciment,
- Soit entre les gros granulats en retirant les granulats fins.

- En éliminant les granulats fins entre les gros granulats. Cela conduit à trois types de désignations pour ces bétons, à savoir :
 - - Les bétons cellulaires
 - - Les bétons caverneux sans fines
 - - Les bétons caverneux sans fines

II .1.1. Le béton cellulaire

Le béton cellulaire est le fruit d'études approfondies qui ont débuté il y a plus de 150 ans. Actuellement, des recherches sont menées par Zernike sur des mélanges de chaux vive et de sable utilisés dans des conditions de températures élevées. [14].

Les bétons cellulaires sont des mélanges de mortier contenant de petites bulles d'air. Ils sont composés d'un mélange de sable, de ciment Portland et d'agents moussants qui créent un volume d'air important et des bulles à l'intérieur du matériau. Différentes techniques, comme le béton cellulaire, le béton caverneux et le béton de granulats légers, peuvent être utilisées avec de l'eau savonneuse ou en utilisant la méthode du gommage. L'interaction chimique entre la poudre d'aluminium, le ciment et l'eau lors du mélange produit des sels et de l'hydrogène, donnant ainsi naissance aux bulles. Ces processus exigent une précision dans le dosage et des calculs minutieux, et sont généralement réalisés en usine plutôt que sur le chantier de construction..

Tableau. II .1 les propriétés comparées des bétons cellulaires [13]

Volumique Masse sèche (kg/m³)	Résistance en compression (MPA)	Résistance en flexion (MPA)	Module d'élasticité (MPA)	Conductivité thermique (Jm/m2 s° C)
450	3.2	0.65	1.6	0.12
525	4.0	0.75	2.0	0.14
600	4.5	0.85	2.4	0.16
675	6.3	1.00	2.5	0.18
750	7.5	1.25	2.7	0.20

L'augmentation de la masse volumique du béton (voir Tableau II.1.1) est associée à une augmentation de sa résistance et de son module d'élasticité. Ainsi, il est possible d'atteindre

une résistance spécifique en ajustant la masse volumique du béton. De plus, il est important de noter que l'ajout d'armature ou de microfibras peut améliorer la résistance à la flexion en permettant de supporter les contraintes de flexion et en contrôlant la formation de microfissures sous une charge. [13]

Le béton le plus adapté pour les planchers projetés est le béton léger "cellulaire" ou "aéré". Il s'agit d'un matériau léger, durable et relativement résistant, qui offre une facilité de manipulation. Ces caractéristiques sont particulièrement importantes dans la construction de logements abordables, comme l'ont souligné Agustín et al. (1990). Le béton cellulaire non traité à l'autoclave peut être mis en œuvre avec un équipement minimal et ne nécessite que peu d'outils spécialisés. [15]

Les bétons cellulaires sont généralement distingués par leur faible masse volumique et leur résistance à la compression relativement modeste. Leur utilisation principale se limite souvent au remplissage de murs, de plafonds, de planchers ou de remblais. [13]

II.1.2. Le béton caverneux

Les bétons caverneux sont fabriqués en éliminant le sable du mélange de béton, ce qui crée des cavités ou pores à l'intérieur du matériau. Ces bétons sont composés de gros granulats recouverts d'une fine couche de pâte de ciment. Cette substitution conduit à une réduction de la densité et de la résistance à la compression du béton. [13].

Généralement sont des mélanges de granulats, qu'ils soient normaux ou légers, liés par une pâte de ciment. Cette pâte de ciment laisse de l'air piégé entre les granulats, créant ainsi une porosité élevée. Par conséquent, ces bétons ont la capacité de permettre le drainage. [15].

En général, ces bétons ne sont pas utilisés dans le but de rechercher la légèreté du matériau, mais plutôt pour des raisons économiques liées à la diminution de la quantité de ciment employée.



Figure. II.1 béton caverneux [13]

II .1.3. Les bétons de granulats légers :

Les bétons de granulats légers sont fabriqués comme les bétons courants, mais avec des granulats légers. Il existe en effet de nombreuse variété de bétons de granulats légers que l'on peut classer de différentes façons. Cormon propose une classification basée sur l'origine des granulats et on peut ainsi distinguer quatre grands groupes. [17] :



Figure. II.2 béton de granulats légers [17]

II .1.3.1 Les bétons de granulats légers naturels

Ces bétons sont produits en utilisant des matériaux volcaniques naturels tels que la ponce ou la pouzzolane, qui sont des matériaux très poreux et permettent la création de granulats légers. En Algérie, ces matériaux sont peu connus et donc peu utilisés, mais il est possible que leurs propriétés spécifiques les rendent plus avantageux pour certains projets à l'avenir.

II .1.3.2. Les bétons de granulats légers de matériaux ayant subi un traitement thermique

Les bétons utilisent divers types de granulats tels que l'argile, le schiste, l'ardoise, la perlite expansée et la vermiculite exfoliée. Leur résistance à la compression varie de 3 à 36 MPA et leur masse volumique est d'environ 336 kg/m³. La perlite expansée est obtenue en chauffant des verres volcaniques contenant de l'eau. Cependant, ce type de granulats n'est pas produit en Algérie, mais principalement aux États-Unis et en Union soviétique. La vermiculite, quant à

elle, est un minéral composé de feuillets élémentaires contenant des molécules d'eau intercalées. Lorsqu'elle est chauffée, elle subit une exfoliation qui écarte les feuillets. Il est important de souligner que ces deux types de granulats sont extrêmement légers, avec une densité apparente inférieure à 150 kg/m^3 , et sont principalement utilisés dans la fabrication de bétons isolants non porteurs.



Figure. II.3 les béton de granulat léger de matériaux ayant subi un traitement thermique

II .1.3.3. Les bétons de granulats légers de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial

Ces bétons sont fabriqués en utilisant du mâchefer, résultant de la combustion du charbon ou des déchets ménagers. Cependant, l'utilisation de ce matériau est en déclin marqué et est principalement limitée à la fabrication de parpaings.



Figure. II.4 les bétons de granulat léger de matériaux artificiels ne subissant pas de traitement spécial

Les bétons de granulats de matériaux artificiels subissant divers traitements spéciaux

Il est possible d'utiliser d'un grand nombre de déchets issus de l'industrie, tels que le laitier de haut fourneau, spécifiquement celui d'EL-HADJAR, pour produire des granulats légers. Ces granulats peuvent être expansés sur place lors de la production. De même, les cendres volantes et le verre peuvent être frittés et expansés pour être utilisés dans la fabrication de granulats légers. [17]

Pour être complet, il convient de noter que les matériaux fabriqués à partir de débris végétaux sont également classés parmi les bétons légers. Enfin, des bétons de granulats légers peuvent également être fabriqués en employant des agents de liaison d'origine organique (comme des résines synthétiques et des mousses plastiques) plutôt que des liants hydrauliques.



Figure. II .5 les bétons de granulat de matériaux artificiels divers traitement spéciaux [17]

II .2. Classification du béton léger :

Les bétons légers sont caractérisés par deux principales propriétés qui influencent les autres caractéristiques et données nécessaires au calcul. Ce sont :

1. La masse volumique sèche, représentée par $\gamma_{(b_s)}$ ou γ_{bs} .
2. La résistance à la compression mesurée après 28 jours.

Selon la norme EN 206, les bétons légers sont répartis en six catégories selon leur densité exprimée en kilogrammes par mètre cube (Kg/m^3) [18].

Tableau. II .2 Classification des bétons légers en fonction de la densité [12]

Classe de densité	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
Densité en Kg/m ³	De 901 à 1000	De 1001 à 1200	De 1201 à 1400	De 1401 à 1600	De 1601 à 1800	De 1801 à 2000

Le nouveau standard EN 206 propose Les bétons peuvent être classés en fonction des plages de masse volumique spécifiées dans le tableau ci-dessous :

Tableau. II .3 Classification des bétons légers en fonction de la masse volumique [18]

Classe de masses volumiques	LC 1.0	LC 1.2	LC 1.4	LC 1.6	LC 1.8	LC 2.0
Masse volumique en Kg/m ³	>800 et ≤1000	>1000 et ≤1200	>1200 et ≤1400	>1400 et ≤1600	>1600 et ≤1800	>1800 et ≤2100

Il est logique de proposer une autre classification pour le béton léger en se basant sur sa masse volumique, étant donné que la masse volumique et la résistance sont étroitement liées. C'est pourquoi la norme ACI 213R-8713.141 divise les bétons en trois catégories en fonction de leur masse volumique, qui varie entre 1350 et 1900 kg/m³ :

Le béton léger de structure :

Le béton utilisé pour des applications structurales présente une masse volumique comprise entre 1350 et 1900 kg/m³, avec une résistance minimale à la compression de 17 MPa.

Le béton léger à faible masse volumique, utilisé principalement comme isolant thermique, a une masse volumique allant de 300 à 800 kg/m³, avec une résistance à la compression inférieure à 7 MPa ($R_c < 7$ MPa).

Le béton de résistance moyenne se situe entre les deux catégories mentionnées précédemment. Sa résistance à la compression varie entre 7 et 17 MPa.

II .3. Propriétés physiques des bétons à granulats légers

Les interfaces entre la pâte et les granulats légers présentent généralement une meilleure qualité microstructurale par rapport aux bétons à granulats rigides. Divers mécanismes d'interaction physique, chimique et mécanique ont été répertoriés. En plus de L'impact de la faible élasticité des granulats sur la formation de microfissures aux interfaces (voir Figure II .7).

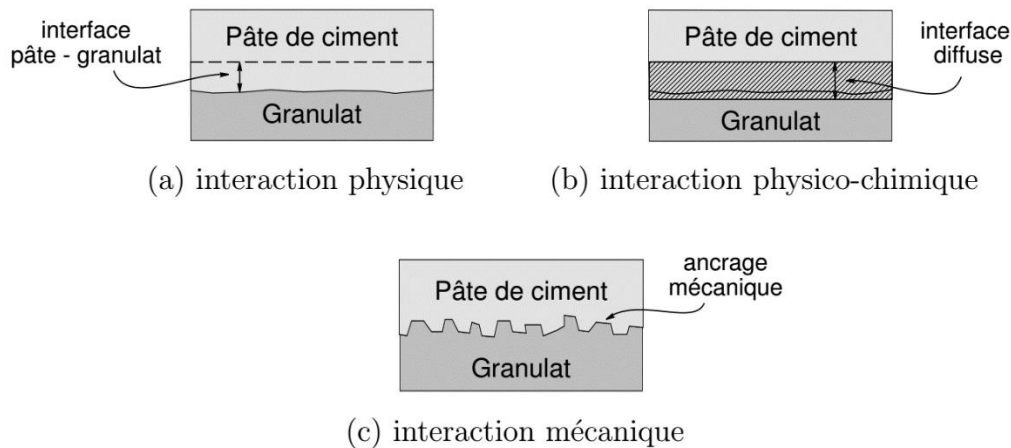


Figure. II .6 interface pate-granulat et mécanismes d'interaction [19]

II .3.1. Masse volumique

La masse volumique du béton léger est une mesure de la densité de ce matériau spécifique. Elle correspond à la quantité de masse contenue dans un volume donné de béton léger

$$\rho = \frac{m}{v}$$

La masse volumique du béton léger est généralement inférieure à celle du béton traditionnel, ce qui signifie que le béton léger est moins dense. Cette caractéristique est obtenue en utilisant des granulats légers, tels que des granulats d'argile expansée, de la perlite ou de la vermiculite, qui ont une masse volumique inférieure à celle des granulats traditionnels comme le sable et le gravier. La masse volumique du béton léger est exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3) et peut varier en fonction de la formulation spécifique du béton léger utilisé. [22].

II .3.2. Maniabilité et mûrissement

L'utilisation de granulats légers dans la production de béton peut entraîner une absorption significative d'eau pendant le mélange. Cette absorption d'eau dépend de facteurs tels que la structure poreuse des granulats, leur humidité et le rapport eau/ciment de la matrice cimentaire. Des études antérieures ont montré que cette absorption peut entraîner une perte rapide de la maniabilité du béton lors de son durcissement. [23 ; 24 ; 25]

Cependant, l'absorption d'eau par les granulats légers peut également avoir un effet positif sur la microstructure du béton en favorisant l'hydratation de la matrice cimentaire. L'eau absorbée par les granulats agit comme une réserve pour l'hydratation ultérieure. [26 ;27 ;28]

En revanche, lorsque des granulats légers à sec sont utilisés, leur absorption d'eau réduit la maniabilité du béton. Si le béton est vibré avant que l'absorption des granulats légers à sec ne soit complète, des vides peuvent se former en raison de la dessiccation. Ces vides peuvent compromettre la résistance du béton, à moins qu'il ne soit revibré. [20]

Pour minimiser la perte de maniabilité des bétons légers, différentes méthodes ont été utilisées avec succès, telles que le pré-mouillage des granulats ou l'application de traitements de surface pour réduire leur absorption d'eau. Des substances telles que la paraffine et la pâte de ciment ont été utilisées à cet effet [29].

II .4. Comportement mécanique des bétons légers

La résistance en compression des bétons légers dépend principalement de la qualité des granulats, de la matrice cimentaire et de la masse volumique du béton durci. La densité des granulats légers influence leur résistance et leur rigidité, et elle est également liée aux processus de fabrication et aux matériaux utilisés.

Selon les résultats obtenus, il est difficile d'atteindre une résistance en compression supérieure à 60 à 70 MPa pour une masse volumique de 1800 à 1900 kg/m³ en utilisant des granulats légers. Au-delà de cette limite, l'augmentation du dosage de ciment et la réduction du rapport eau/ciment n'améliorent plus la résistance du béton léger.

Lors de la rupture des éprouvettes, on observe la formation de plans de rupture parallèles à la direction de la charge, ainsi que des fissures dans les granulats, ce qui indique un mode de rupture différent par rapport aux bétons avec des granulats rigides. Selon les recommandations de l'ACI 213, il est possible d'augmenter la résistance en réduisant la taille des granulats grossiers tout en maintenant le même dosage de ciment [31].

En outre, la substitution d'une partie des granulats fins légers par du sable naturel peut augmenter la résistance en compression, même si cela entraîne une augmentation de la masse volumique du béton pour une formulation donnée [32;33; 34;35].

Le module d'élasticité des bétons légers est directement lié à leur masse volumique plutôt qu'à leur résistance. Les bétons légers ayant une masse volumique comprise entre 1500 et 1900 kg/m³ ont un module d'élasticité de 15 à 25 GPa, inférieur à celui des bétons avec des granulats rigides. Cependant, les équations normatives sont généralement exprimées en fonction de la résistance, ce qui les rend applicables aux bétons légers et aux bétons avec des granulats rigides. [33]

$$E = 43.10^{-6} \rho^{15} \sqrt{f'_c} \quad \text{Pour } [(f'_c) < 41 \text{ MPa}] \quad (1)$$

$$E = 9.5 f'_c^{0.3} \left(\frac{\rho}{2400}\right)^{15} \quad \text{Pour } [(f'_c) < 86 \text{ MPa}] \quad (2)$$

Avec E en (GPa), ρ en (kg/m³), (f_c) en (MPa) sur cylindres 150 x 300 mm, (f_c) en (MPa) sur cylindres (100 x 200) mm

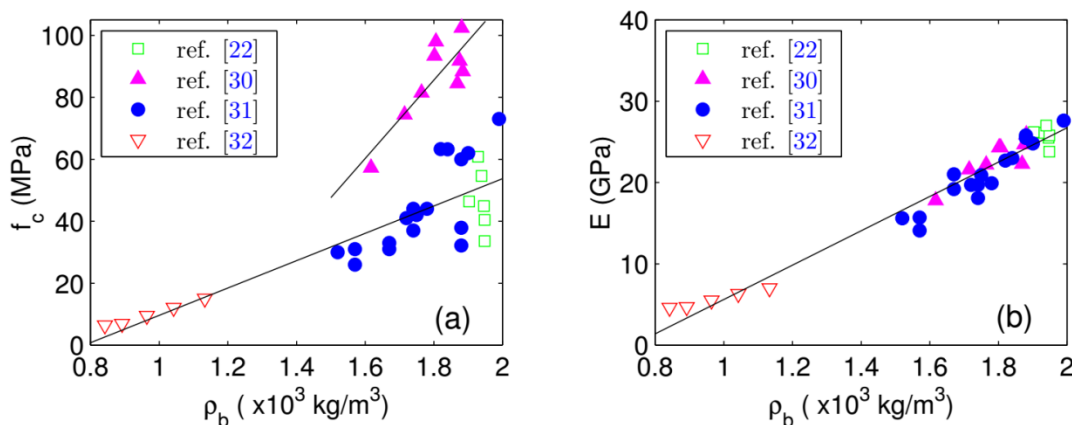


Figure. II 7 résistance en compression (a) et module élastique (b) en fonction de la masse volumique du béton durci, résultats à 28 jours [32; 33; 34;35].

La figure (II.9) La relation contrainte-déformation des bétons à granulats légers sollicités en compression uni axiale est présentée dans [33; 36]. Cette figure met en évidence que le module élastique des bétons légers ainsi que la linéarité de la relation contrainte-déformation augmentent avec la résistance du matériau. Ainsi, plus la résistance du matériau est élevée, plus son comportement devient fragile. Les déformations maximales des bétons légers, d'environ 3,3 à 4,6 mm/m pour des résistances de 50 à 90 MPa, sont supérieures à celles des bétons à granulats rigides de même résistance.

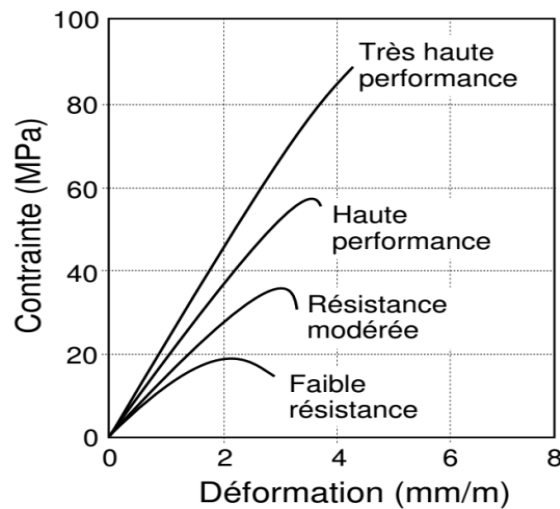


Figure. II .8 relation contrainte-déformation des bétons de granulats légers soumis à un effort de compression uni-axial. [33].

En outre, les granulats légers présentent un module élastique relativement faible, ce qui entraîne des déformations instantanées plus importantes du béton et des déformations subies lorsqu'une charge est appliquée. accrues. En réalité, à la différence de granulats rigides, les granulats légers ne contribuent pas à la déformation de la pâte de ciment [37]. Indépendamment de la résistance, des conditions de maturation et de l'âge, le coefficient de Poisson moyen des bétons légers est de 0,20. Cependant, les résultats obtenus pour les bétons conservés en chambre humide variaient de 0,13 à 0,24, tandis que pour les bétons soumis à des conditions ambiantes, il était de 0,15 à 0,26 [36].

En résumé, les bétons légers non renforcés présentent une résistance à la traction relativement faible, surtout lorsque les fissures se propagent à travers les granulats plutôt qu'aux interfaces. Des études ont mesuré des résistances au fendage allant de 3,30 à 4,20 MPa et des contraintes

maximales en flexion de 5,00 à 7,60 MPa pour des bétons légers ayant une masse volumique moyenne de 1940 kg/m³ [32]. Des résultats similaires ont été obtenus par Zhang, avec des résistances au fendage variant entre 3,50 et 5,60 MPa, et des contraintes maximales en flexion allant de 5,40 à 7,30 MPa pour des bétons ayant une masse volumique de 1620 à 1885 kg/m³ [24]. L'incorporation de microfibrilles dans les bétons légers présente un effet similaire à celui observé dans les bétons à granulats rigides, améliorant la ductilité du matériau en favorisant la localisation des fissures.

II .5. Propriétés élastiques des bétons légers

A raison de leur faible densité, les granulats légers présentent des modules plus bas que les granulats de densité normale. Par conséquent, la valeur du module d'élasticité d'un béton léger est nettement inférieure comparé à celui d'un béton conventionnel. Le module d'élasticité d'un béton léger présente une valeur généralement estimée à être de 3 à 4 fois moins élevée que celle observée dans un béton conventionnel ayant la même résistance équivalente. Il a été observé qu'il y a une corrélation positive entre l'augmentation du module d'élasticité et l'augmentation de la résistance à la compression [20]. Cette relation, illustrée dans la Figure II.4, a été confirmée grâce aux différentes études réalisées de recherche de Wilson et al, De Larrard et al, et Zhang [32;34 ;33].

Cet avancement se caractérise par être attribuable en raison du fait que le module de Young est déterminé à travers le module d'élasticité du granulat ainsi que par la part qu'il représente en volume dans le béton. D'autres liens ont été établis également et ont été identifiés, à titre d'exemple, l'influence sur le module de Young est négligeable en ce qui concerne le processus de maturation, mais plutôt à travers le module d'élasticité du granulat de plus grande taille. Étant donné que les granulats légers présentent une densité apparente inférieure à celle de la matrice cimentaire, ils contribuent donc à la réduction du module de Young du béton. Par ailleurs, il convient de souligner la remarquable liaison entre les granulats légers et la matrice cimentaire empêche l'avancement précoce de microfissures de liaisonnement [20].

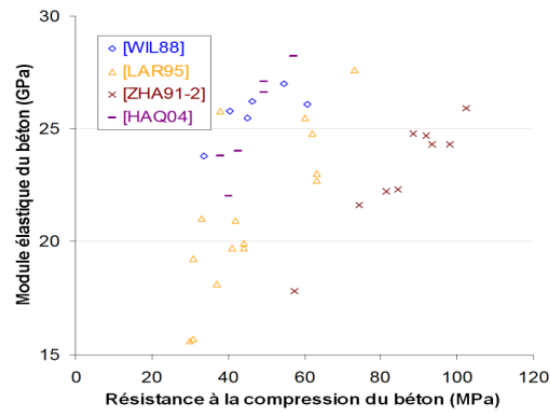


Figure. II .9 évolution des modules d'Young de bétons légers en fonction de leur résistance à compression [32][34][33]

II .6. Durabilité des bétons légers

Sur le plan économique, la durabilité du béton léger est principalement déterminée par son environnement et sa composition. De nombreuses études théoriques et expérimentales ont confirmé l'utilisation de granulats de faible densité n'a pas d'incidence sur sa durabilité à long terme. Ces études ont examiné le comportement du béton léger face à divers mécanismes de détérioration et ont analysé différents paramètres spécifiques le concernant. Il a été constaté que la perméabilité des granulats légers pris en continu et ne possède pas d'effet sur La capacité d'absorption d'eau du béton. Cependant, les granulats peuvent générer de grands volumes de vides, ce qui augmente La capacité de perméation des gaz dans les bétons légers. Dans le cas de ces composites cimentaires, ce paramètre revêt une importance cruciale pour quasiment toutes leurs propriétés, y compris leur résistance mécanique.

La résistance en compression est souvent considérée comme le principal critère lors de la conception de structures en béton et de l'établissement de normes de conformité. Une porosité plus faible est associée à une résistance accrue, mais Il est crucial d'ajouter à cette évaluation d'autres considérations telles que la perméabilité, la diffusion et la répartition des dimensions des pores ainsi que leurs dimensions. Lorsque la porosité est identique, les agents agressifs ont plus de difficulté à pénétrer lorsque les pores sont de taille réduite [38].

Les bétons légers avec une résistance à la compression similaire ne présentent pas nécessairement la même durabilité, et il est essentiel de considère d'autres critères pour évaluer leur performance. Comme pour les bétons à granulats rigides, l'incorporation la

présence d'air entraîné assure une protection efficace du matériau contre les effets néfastes du gel et de l'écaillage. [21, 30, 19, 33, 39]. En général, la résistance à la corrosion des bétons légers à haute performance est similaire à celle des bétons conventionnels composés de granulats rigides.

Si le processus de séchage n'est pas contrôlé, il peut générer des contraintes de traction qui dépassent rapidement la résistance à la traction du béton. Dans le cas des bétons légers, l'intensité du retrait de séchage est influencée par la proportion et la perméabilité de la matrice cimentaire, ainsi que par le degré de saturation des granulats. Les bétons légers à haute performance, caractérisés par une proportion élevée de matrice cimentaire et des granulats ayant un faible module élastique, présentent un potentiel de retrait supérieur à celui des bétons utilisant des granulats rigides ayant une résistance similaire. Toutefois, en raison de leur homogénéité et de leur capacité de déformation élevée, les bétons légers sont moins susceptibles de se fissurer. De plus, les granulats légers fabriqués à des températures élevées possèdent une composition minéralogique qui les rend résistants aux attaques chimiques et à la réactivité alcali-silice. Cependant, il est essentiel de choisir le ciment approprié et de respecter le rapport eau/ciment afin d'assurer la durabilité des bétons légers face aux agressions chimiques.

II .6.1. Le phénomène de cure

Le béton léger est moins sensible aux conditions de conservation que le béton traditionnel [22]. Les granulats légers présents dans le béton léger possèdent la capacité d'absorber de l'eau , ce qui évite une dessiccation rapide en atmosphère sèche et compense Lorsque le ciment est exposé à l'air libre, il a besoin d'une certaine quantité d'eau pour son processus d'hydratation., le béton léger ne perd que 25 % de sa résistance, tandis que le béton traditionnel peut perdre jusqu'à 40 % de sa résistance selon le degré d'humidité ambiant. Lorsque la pâte de ciment subit Lorsque les conditions de conservation entraînent une réaction d'hydratation ou de séchage, un gradient d'humidité se crée. Dans ce contexte, les granulats légers jouent le rôle d'un réservoir d'eau., qui se déplace vers la pâte de ciment par succion capillaire, favorisant ainsi une hydratation efficace [40, 26].

La température interne pendant l'hydratation du ciment a un impact sur les propriétés du béton, qui dépend de l'environnement de conservation. À mesure que le béton se solidifie à des températures plus élevées, il présentera une résistance initiale élevée, mais sa résistance à

la rupture peut être inférieure à celle obtenue avec un durcissement normal. Les bétons légers peuvent être exposés à des températures plus élevées pendant le durcissement en raison de la réaction d'hydratation du ciment produit de la chaleur, par rapport aux bétons de granulats rigides. De plus, L'augmentation de la température peut entraîner se prolonger sur une période plus longue et favoriser les gradients thermiques en raison de la meilleure capacité d'isolation des bétons légers [41].

II.6.2. L'interface pâte/granulats

Plusieurs études ont confirmé l'existence d'une zone de jonction entre la pâte de ciment et les agrégats, appelée "auréole de transition". Cette zone est caractérisée par son épaisseur et sa porosité, qui sont influencées par les échanges d'eau à l'interface entre la pâte et les granulats, en fonction de la capacité d'absorption des granulats. Les auréoles de transition se forment principalement en raison de l'incapacité des grains de ciment secs à adhérer étroitement aux gros granulats pendant le malaxage, ce qui entraîne une augmentation de la porosité et une diminution de la résistance. Elles se composent généralement d'une fine couche de texture fixée aux granulats, suivie d'une couche plus poreuse. Cette dernière présente une porosité élevée en raison de la présence de cristaux de grande taille et présente une faible résistance mécanique, ce qui la rend vulnérable aux fissures en raison de sa forte porosité.

La zone de transition au niveau des granulats classiques est plus poreuse et plus significative que la pâte de ciment hydratée située à une certaine distance des gros granulats. Une telle zone existe également près des granulats fins, mais son épaisseur est généralement plus faible.

L'impact des granulats légers, notamment ceux issus du recyclage, sur la zone de transition et la résistance globale du matériau a été l'objet de nombreuses études. Selon AM Neville, l'eau absorbée par les granulats lors du malaxage est disponible avec le temps pour hydrater les grains de ciment qui n'ont pas été complètement hydratés. Cette hydratation supplémentaire, se produisant principalement à l'interface entre les granulats et la pâte de ciment, renforce l'adhérence entre les granulats et la matrice.

Des comparaisons ont été effectuées entre l'interface des granulats légers et des granulats conventionnels. Il a été constaté que l'auréole de transition et la taille des granulats légers (10 à 15 μm) étaient inférieures à celles des granulats conventionnels (jusqu'à 35 μm), mais que cette auréole était plus dense que le reste de la pâte de ciment hydratée. Des modèles ont

également été développés pour étudier le transfert d'effort entre la pâte et les granulats rigides, ainsi qu'entre les granulats extrêmement déformables et la pâte.

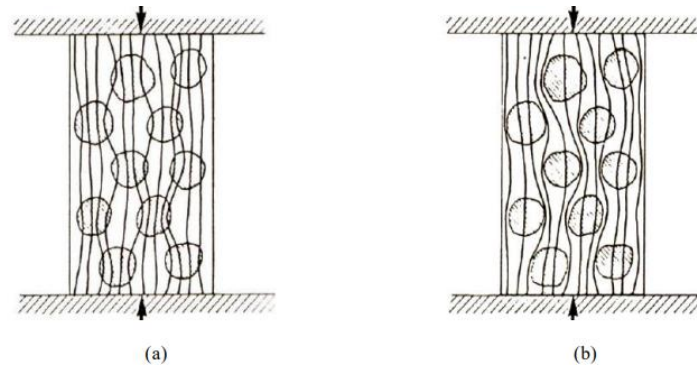


Figure. II .1 (a) transfert des efforts dans le modèle pate granulats **(b)** transfert des efforts dans le modèle pate granulats très déformable [22].

De plus, la capacité des granulats à adhérer à la pâte de ciment est expliquée par leur rugosité résultant de leur porosité. Selon AM Neville, cette rugosité favorise une interconnexion mécanique efficace entre les deux matériaux, où la pâte de ciment pénètre fréquemment dans les pores ouverts à la surface des gros granulats [44]. Il est également pertinent de souligner que la nature des granulats peut influencer leur liaison avec la pâte. Selon Neville et Tasong, les caractéristiques minéralogiques des granulats fins ont un impact sur la microstructure de la zone de transition. Par exemple, dans le cas des granulats calcaires, une réaction chimique se produit entre les granulats et le ciment, ce qui entraîne une densification de la zone interraciale. De plus, une plus grande capacité d'absorption d'eau des granulats conduit à une réduction de l'accumulation d'eau dans la zone de transition .

La Figure II.13 met en évidence deux zones distinctes : dans les 10 micromètres les plus proches du granulat, la porosité est plus élevée par rapport au reste de la matrice, tandis qu'au-delà de cette distance jusqu'à 50 micromètres, la porosité diminue inversement. La surface du granulat présente une plus grande quantité d'eau de ressuage, qui diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne du granulat. Cette migration de l'eau de la pâte vers les granulats est due à leur capacité d'absorption. Au-delà des premiers 10 micromètres de l'interface, le rapport eau/ciment devient inférieur à celui du mélange, bien que la quantité d'eau par rapport à la pâte reste en excès. La zone de pâte située entre 10 et 50 micromètres autour du granulat est plus dense que le reste de la pâte, indiquant ainsi une porosité réduite. Cette diminution de porosité est déterminée par les capacités d'absorption des granulats. Les granulats qui ont été préalablement immergés pendant 24 heures avant le mélange continuent d'absorber de l'eau et

subissent les mêmes processus physiques que les granulats secs, bien que de manière moins subissent les mêmes processus

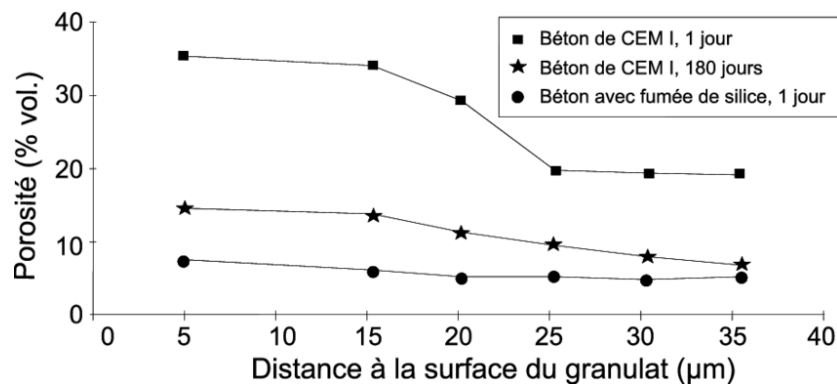


Figure. II .2 évolution du pourcentage de porosité en fonction de la distance à la surface de granulat [45].

Les granulats légers ont une plus grande porosité, ce qui réduit l'effet de paroi, et leur zone de transition diffère de celle des granulats normaux. Selon divers auteurs [48; 33], la zone interfaciale mince est caractérisée par des liaisons mécaniques et chimiques entre la pâte et les granulats. Dans le cas des granulats d'argile expansée, cette zone interfaciale est très fine, d'environ 5 à 10 μm, et présente un réseau poreux constitué d'aiguilles d'étrangéité [48].

En réalité, la pâte de ciment peut pénétrer les rugosités et les pores à la surface des granulats légers, ce qui crée un ancrage mécanique améliorant l'adhérence entre les granulats et la pâte de ciment [33]. Ce mécanisme d'ancrage est similaire au phénomène d'imprégnation précédemment observé, où du portlandien (CH) se dépose dans la structure de l'enveloppe externe des granulats, selon Wassermann [47].

II .7. Conclusion

Le béton léger présente de multiples atouts, tels que sa faible densité, sa résistance, sa durabilité et La mise en œuvre de ce procédé est très simple.. Il trouve de nombreuses applications, allant des éléments de construction, tels que les blocs de béton, aux dalles et aux revêtements de sol pour les zones piétonnes. grâce à des améliorations continues de sa composition, le béton léger gagne en popularité dans le secteur de la construction, moderne. Il offre des solutions novatrices et budgétaire pour les projets de construction, tout en contribuant à la réduction de l'impact environnemental.

Chapitre III

Le matériau diatomite

III.1. Introduction

Une roche sédimentaire biogénique composée de silice qui s'appelle la diatomite constituée principalement ou entièrement de frustules ou de squelettes de diatomées pétrifiées. Depuis le Crétacé terminal, les diatomées sont des algues unicellulaires aquatiques qui se sont développées dans des eaux douces, saumâtres et salées.

Les caractéristiques distinctives des produits diatomitiques, telles que leur inertie chimique, leur faible densité apparente, leur porosité, leur surface spécifique et leur grande capacité d'absorption des liquides, leur pouzzolanité, Leurs propriétés essentielles sont étroitement liées: leur composition chimique et leur structure.

➤ Définition

La diatomite, également appelée terre à diatomées ou kieselguhr, est une roche sédimentaire légère qui se compose principalement de coquilles extrêmement poreuses. Les diatomées sont de minuscules Des organismes constitués d'une seule cellule semblables à des algues, mesurant généralement entre 10 et 15 μm , et possédant une coque siliceuse robuste. Cette roche se présente sous une couleur claire et suscite un intérêt particulier En raison de ses caractéristiques distinctives, telles qu'une porosité élevée (entre 80 % et 90 %), une perméabilité élevée, une légèreté, Une granulométrie réduite, une surface spécifique considérable, une faible conductivité thermique, une inertie chimique et des pores micro cellulaires bien développés caractérisent cette matière. En Algérie, les gisement géologiques de diatomite sont estimées à 6500000 tonnes dans la région de Sigg, située à maascara [49].



FigureIII.1 site de dépôt de Sig (Algérie)[49].

III.2. Domaine d'application

Le kieselguhr trouve des applications dans les secteurs ci-dessous, représentant un pourcentage de la production mondiale :

- Environ 60 % de la production mondiale de kieselguhr est utilisée pour la filtration des huiles végétales et minérales, des jus de fruits et des eaux industrielles.
- Environ 25 % de la production mondiale de kieselguhr est dédiée à la fabrication de peintures, pesticides et à son utilisation comme charge dans divers autres produits.
- Environ 15 % de la production mondiale de kieselguhr est attribuée à l'industrie d'isolation, en raison de sa très faible conductibilité thermique. La structure en alvéoles de la diatomite est exploitée dans la filtration de diverses boissons alcoolisées, du sucre, de l'huile, des produits chimiques organiques et inorganiques, ainsi que de l'eau. De plus, elle a été employée pour éliminer les bactéries et les virus de l'eau provenant des réseaux de distribution publics. Les propriétés de l'inertie chimique, de la surface spécifique élevée et de la capacité d'absorption de liquide. Peut absorber jusqu'à trois fois sa masse ont de ce minéral un support utile pour les pesticides, un absorbant dans les litières pour animaux domestiques et une substance capable d'absorber les déversements de pétrole.

III.3. Propriétés physiques et composition chimique de la diatomite

Des images microscopiques de diatomites naturelles et calcinées obtenues par microscope électronique à balayage (MEB) comme suit [49] :

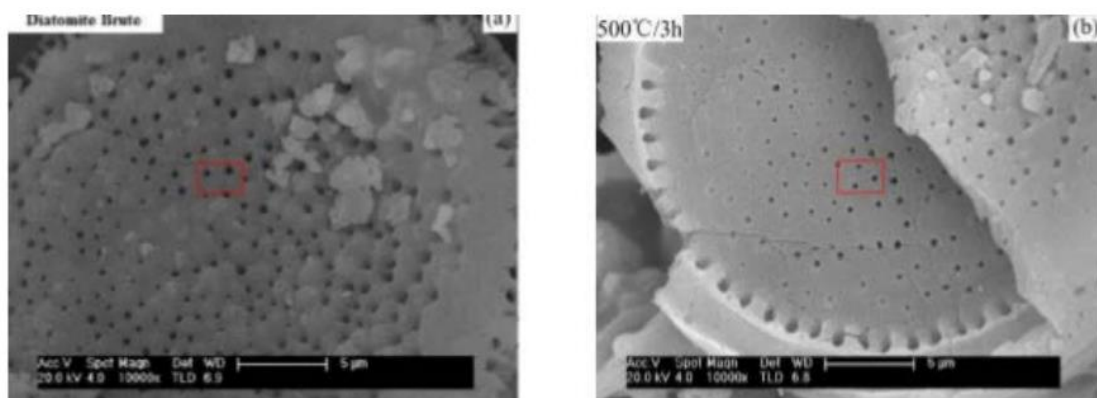


Figure.III.2 MEB de diatomite brute (a) et calciné (b)[49].

La Figure III.2 (a) illustre la structure en plaque ronde de la diatomite brute, caractérisée par une taille et une distribution uniforme des pores. En revanche, sur la Figure III.2 (b), La structure des micropores de la diatomite subit des modifications après une calcination à 500 °C pendant 3

heures. Les pores deviennent plus petits et leur nombre augmente, avec un diamètre minimal d'environ 50 nm. Par ailleurs, des fissures apparaissent à la surface de la diatomite calcinée. Cette transformation conduit à une diatomite présentant des pores petits et denses, améliorant ainsi ses performances de contrôle de l'humidité. La Figure III.3 présente une comparaison des performances d'adsorption et de désorption entre la diatomite brute et la diatomite calcinée.

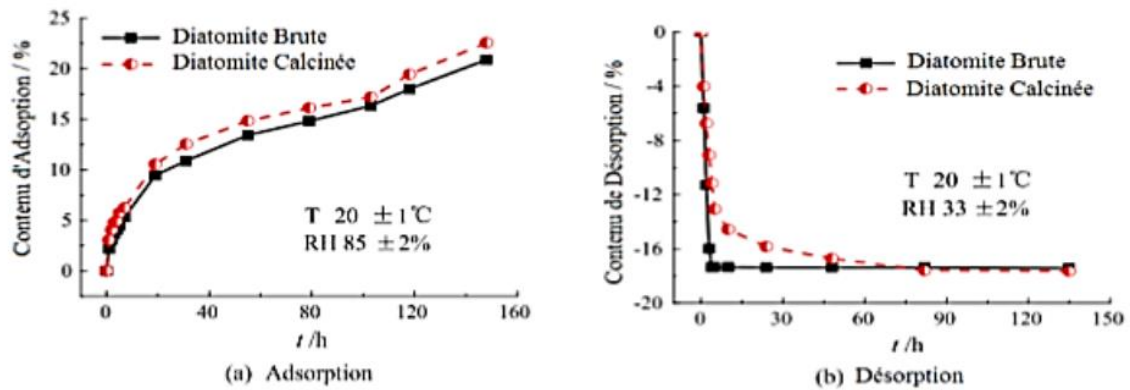


Figure III.3 contenu d'adsorption et de désorption de diatomite brute et calcinée[49].

Il est évident que la diatomite calcinée présente une capacité accrue à réguler et contrôler l'humidité relative à l'intérieur des constructions par rapport à la diatomite brute. Cette capacité est attribuable aux petits pores denses qui peuvent générer des forces capillaires plus puissantes. En revanche, la diatomite calcinée libère l'excès d'humidité plus lentement en raison de la rétention d'eau favorisée par ces petits pores denses. Cette désorption lente et uniforme favorise un cadre intérieur plus agréable et confortable pour les occupants. Par conséquent, la calcination améliore les performances d'adsorption et de désorption de la diatomite. Des recherches ont révélé que la diatomite algérienne est principalement composée de silice (SiO_2), d'oxyde de calcium (CaO) et de corindon (Al_2O_3). Cependant, La diatomite, après avoir été calcinée à une température de 1100 °C pendant 2 heures, dévoile une composition plus élevée en silice, comme le montre le tableau III.1.

Tableau.III.1 Compositions chimiques de la diatomite Algérienne brute et calciné, [50].

Constituent	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	TiO_2	K_2O	Fe_2O_3	L.O.I
Diatomite brut (%)	60.71	16.25	0.40	7.90	0.04	0.25	1.05	1.17	14.65
Diatomite calciné (%)	73.14	15.72	0.36	8.08	0.04	0.16	1.37	1.45	–

Dans une étude menée par B. Hamdi en 2013 [51], l'utilisation potentielle de la diatomite algérienne en tant que matériau isolant thermique a été examinée. Les conclusions de cette étude

ont mis en évidence que ce produit naturel est essentiellement constitué de silice avec une impureté majeure de CaO (19%) qui affecte La surface de cette substance première (voir tableau III.1). L'analyse physico-chimique a également révélé une porosité extrêmement élevée de la diatomite, pouvant atteindre 72% (voir tableau III.2).

Tableau.III.2: Étude physico-chimique de la diatomite naturelle provenant de l'Algérie, [51]

Diatomite calciné	<i>SiO2</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Al2O3</i>	<i>K2O</i>	<i>Fe2O3</i>	<i>Na2O</i>
W (%)	73.85	18.80	1.84	1.80	0.78	1.455	1.15
Caractérisation	couleur	PH	<i>SN2(m2/g)</i>	<i>Vp(cm3/g)</i>	Pt(%)	–	–
ND	blanche	7.90	21.00	01.18	72.16	–	–

III.4. Classification des kieselguhrs d'après KARPOV

Selon les directives des normes russes, les diatomites (Kieselguhrs) sont classées en différents groupes en se basant sur leur composition minérale dominante, ainsi que sur des critères tels que l'humidité et le poids volumique comme suit [52]

Tableau.III.3 Classification du kieselguhr selon les normes Russe (KARPOV, 1979)

Composants	1ere qualité	2eme qualité	3eme qualité
<i>SiO2</i>	80%	62%	51%
<i>CaO</i>	9%	11%	17%
H2O pas plus de	25%	–	–
Poids volumique (t/m3)	0.73	–	–

III.5. Observation microscopique

Les diatomites possèdent des caractéristiques essentielles En rapport avec leur configuration physique , qui se compose d'un agglomérat de fines particules perforées présentant Un arrangement systématique de petites cavités (voir Figure III.4). Cette porosité confère à la diatomite une perméabilité élevée [55], ce qui en fait un matériau largement utilisé dans diverses industries alimentaires pour la filtration de l'eau, des jus de fruits, du vin et de l'huile, dans le but d'éliminer les bactéries et les protozoaires. Elle est également utilisée comme support chromatographique. De plus, grâce à la présence de silice opaline d'une finesse exceptionnelle et sous forme amorphe, la diatomite est utilisée comme source de silice réactive. Ces conclusions mettent en évidence La diatomite se caractérise par sa nature amorphe et sa structure poreuse.

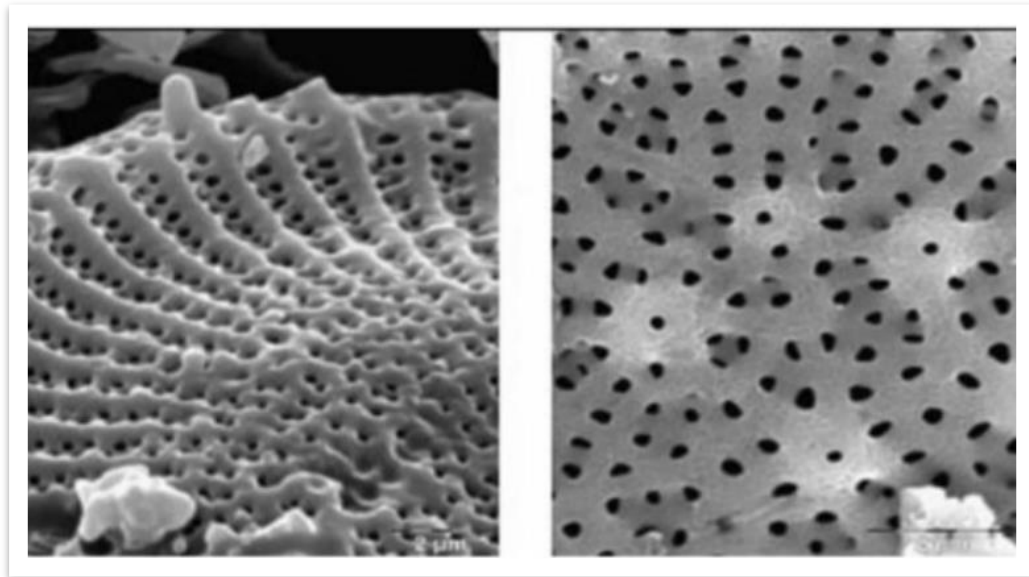


Figure.III.4La composition microscopique de la diatomite [52]

III.6. Techniques expérimentales

III.6.1 Préparation de la diatomite

III.6.1.1 Manipulation chimique

Le traitement chimique de la diatomite consiste à appliquer des procédés chimiques spécifiques pour modifier les propriétés de cette roche sédimentaire composée de restes fossilisés de diatomées (algues unicellulaires). Plusieurs méthodes de traitement peuvent être utilisées en fonction des objectifs recherchés.

L'acidification de la diatomite implique l'utilisation d'acides tels que l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique pour altérer la surface de la diatomite. Ce processus augmente la réactivité de la diatomite et crée des sites actifs sur sa surface.

Le traitement chimique de la diatomite est largement utilisé dans divers domaines, notamment la filtration, la catalyse, les adsorbants et l'agriculture. Ces traitements permettent de personnaliser les propriétés de la diatomite pour répondre aux exigences spécifiques des applications variées.



Figure.III.5 Les images reflètent la diatomite après le traitement chimique [53,54]

a) Diatomite traitée par H_2SO_4 et b) diatomite traitée par HNO_3

III.6.1.2 Manipulation thermique

L'activation thermique est une méthode qui implique le chauffage de la diatomite à des températures élevées. Ce traitement thermique permet d'éliminer les impuretés organiques et de modifier la structure de la diatomite, augmentant ainsi sa surface spécifique et améliorant ses propriétés d'adsorption.

L'objectif principal du traitement thermique est d'activer la diatomite en augmentant sa surface spécifique et en éliminant les impuretés organiques présentes. En chauffant la diatomite à des températures contrôlées, généralement entre 500 et 900 degrés Celsius, les matières organiques présentes sont éliminées par combustion, laissant une structure poreuse et une surface réactive.

Afin d'améliorer les propriétés de la diatomite brute, un traitement thermique a été effectué en utilisant un processus de calcination à deux températures différentes, soit 800 °C et 1000 °C, pendant une durée de 2 heures. Les produits obtenus à la suite de ce traitement ont été appelés **DTT8** et **DTT1** respectivement, comme mentionné dans les références [53,54].

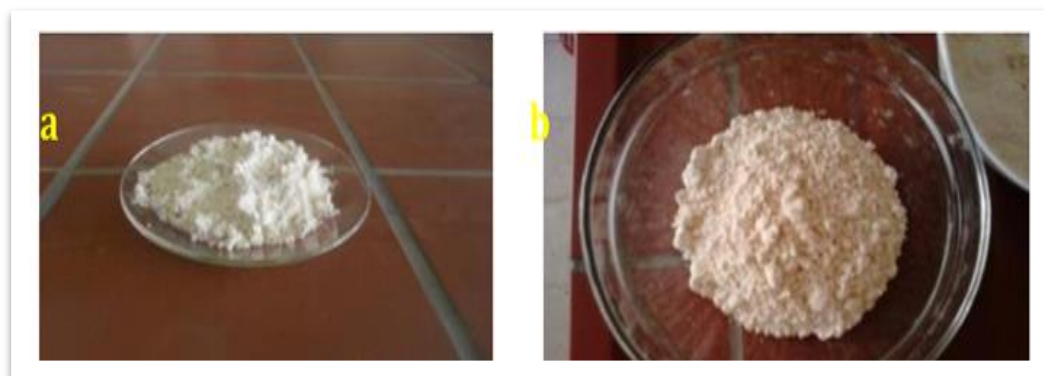


Figure.III.6 L'image représente la diatomite après avoir subi le traitement thermique. [53,54]

a) Diatomite chauffée à 800°C b) diatomite chauffée à 1000°C

III.7. Racines et formation des gisements

Les gisements de diatomite sont formés par l'accumulation et la sédimentation des frustules de diatomées au fond de l'eau. Au fil du temps, ces dépôts sont compacts et transformés en diatomite solide par des processus géologiques. Les caractéristiques des gisements varient en fonction des conditions environnementales et géologiques spécifiques à chaque région. Les diatomées peuvent être présentes dans divers milieux aquatiques tels que les eaux douces, saumâtres ou salées. Elles peuvent également se retrouver dans les sols et les mousses lorsque les conditions d'humidité sont réunies. Cependant, leur développement est restreint à des conditions environnementales particulières. Les principaux avantages sont les suivants :

- Les diatomées requièrent des eaux claires et profondes pour leur processus de photosynthèse.
- Une zone de dépôt caractérisée par une faible énergie et une très faible quantité de sédiments détritiques.
- Les diatomées prospèrent dans des environnements présentant une température basse, une altitude élevée ou des conditions climatiques froides qui leur sont favorables.
- La production des frustules des diatomées dépend de la présence de dioxyde de carbone, d'éléments nutritifs essentiels, et surtout de la présence de silice soluble.
- En revanche, l'absence de certaines substances solubles, telles que certains sels, qui inhibent la croissance, est nécessaire

III.8 Les diatomites dans le monde

Il existe deux principales catégories de gisements qui ont été répertoriées :

- Les gisements de diatomite en milieu marin sont associés à des zones côtières où des courants froids remontent, créant ainsi des conditions propices à la formation de ces dépôts.
- Les gisements terrestres sont fréquemment liés à des bassins lacustres de différentes tailles, généralement formés par des activités volcaniques.

La production mondiale de diatomite de matières sèches ou calcinées commercialisables s'élève à 1,8 millions de tonnes par an. Les Etats-Unis sont les premiers pays producteurs

avec près de La moitié de la production mondiale provient de cette région, tandis que l'Europe représente une part beaucoup plus faible avec 0,25 millions de tonnes, le Japon avec 0,15 millions de tonnes, la Chine avec 0,10 millions de tonnes et le Mexique avec 0,10 millions de tonnes. [56]

TableauIII.4 Composition chimique d'échantillons de kieselguhr provenant des différents gîtes reconnus dans le monde [56].

	USA	Japon	URSS	Allemagne	France		Algérie
	Lompoc Californie %	Terre de Nilgata%	Kamychlv (Oural) %	Hanovre %	Auvergne %	Ardèche %	Mascara %
SiO₂	88,6	86	72.92	79.72	91.6	95.6	58.4
Al₂O₃	3,72	5.8	6.58	4.52	1.5	1.8	1.66
Fe₂O₃	1,5	1.6	3.56	4.33	2.2	1.3	1.55
TiO₂	0,2	0.22	0.48	0.34	-	0.4	0.1
P₂O₅	0,1	0.03	-	0.63	-	-	0.2
CaO	0,6	0.7	1.43	4.17	0.2	0.5	13.8
MgO	0,6	0.29	0.98	0.98	0.3	-	4.57
Na₂O	0,5	0.48	0.65	0.38	-	-	0.96
K₂O	0,5	0.53	0.72	1.16	-	-	0.5
P au f	3,7	4.4	4.91	2.39	3.4	3.8	17.48

III.9 Conclusion

En résumé, la diatomite présente un ensemble d'avantages considérables en termes de construction ; en tant que matériau naturel et écologique, elle est légère, résistante, facile à travailler et possède de fortes propriétés. Dans l'ensemble, la diatomite est une option écologiquement responsable et durable pour ceux qui recherchent des solutions de construction saines et sécuriser.

Chapitre IV

Partie

expérimentale

IV.1. Introduction

La section pratique de cette étude a été menée au sein du laboratoire de la faculté des sciences et des sciences appliquées. Dans cette section, nous examinons les propriétés des matériaux utilisés dans le cadre de ce projet de recherche, les méthodes de mélange pour préparer nos compositions, ainsi que les essais expérimentaux variés permettant de caractériser ces matériaux à l'état durci.

IV.2 Matériaux utilisés

IV.2.1 Le ciment

Le ciment CEM II/A de résistance 42.5, utilisé dans ce contexte, est fourni par la cimenterie de Sour El-Ghozlane [57].



Figure.IV. 1 CEM II/A de classe 42.5

IV.2.1.1. Caractérisation du ciment

Les tableaux ci-dessous fournissent une description des propriétés physiques, chimiques et minéralogiques du ciment utilisé dans notre étude.

Tableau. IV.1 Composition chimique ciment CEM II/A 42.5.

Elément	Pourcentage %
CaO	55
SiO ₂	21.06
Al ₂ O ₃	04.03
Fe ₂ O ₃	03.10
Mg O	02.01
SO ₃	02,20
K ₂ O	01.03
Na ₂ O	00,30
P.A.F à 1000°C	08
CaO libre	01,56

Tableau.IV.2 Caractéristiques minéralogiques de ciment.

Elément	%
C ₃ S	70
C ₂ S	13.02
C ₃ A	6.98
C ₄ AF	10

TableauIV.3 Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5

Désignations		Garantie NA442	Moyenne	Unités
Surface spécifique		/	4000	cm ² /g
Poids spécifique		/	03,10	g/ cm ³
Consistance normale			26,15	% H ₂ O
Temps	Début de prise	≥ 62	154	min
	Fin de prise		325	min
Chaleur d'hydratation à 41 h		273	238	j/g
Expansion à chaud		≤ 10	3	mm
Refus sur tamis 45 µm		/	16	%

IV.2.2. Sable

IV.2.2.1. Définition

Un composant passif utilisés dans la fabrication du béton. Deux critères essentiels pour évaluer la qualité d'un sable utilisé dans la fabrication du béton sont sa propreté, mesurée par le test d'équivalent de sable, et sa granularité, mesurée par l'analyse granulométrique.

IV.2.2.2. Analyses granulométriques

La caractérisation granulométrique reflète la répartition des poids des particules en fonction de leur taille. L'essai consiste à séparer un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions croissantes ou décroissantes en utilisant une série de tamis. La partie des matériaux qui traverse les tamis est appelée passant (ou tamisât), tandis que celle qui est retenue et appelée refus. Le refus et le passant sont exprimés en pourcentage de la masse totale sèche de l'échantillon analysé.



Figure.IV.2Série des tamis

Les conclusions de l'analyse granulométrique du sable 0/3 utilisé dans cette étude sont présentées de manière concise dans le tableau IV.4

Tableau.IV.4 Les conclusions d’analyse granulométrique de sable 0/3

Tamis en mm	Refus cumulé en g	Refus cumulé en %	Tamisât cumulé en %
08,00	00	00	100
06,30	00	00	100
04,00	00	00	100
02,00	38,60	16	84
01,00	86,10	36	64
00,50	124,7	52	48
00,25	163,4	68	32
0,125	196,2	81	19
0,063	210	87,1	12,9

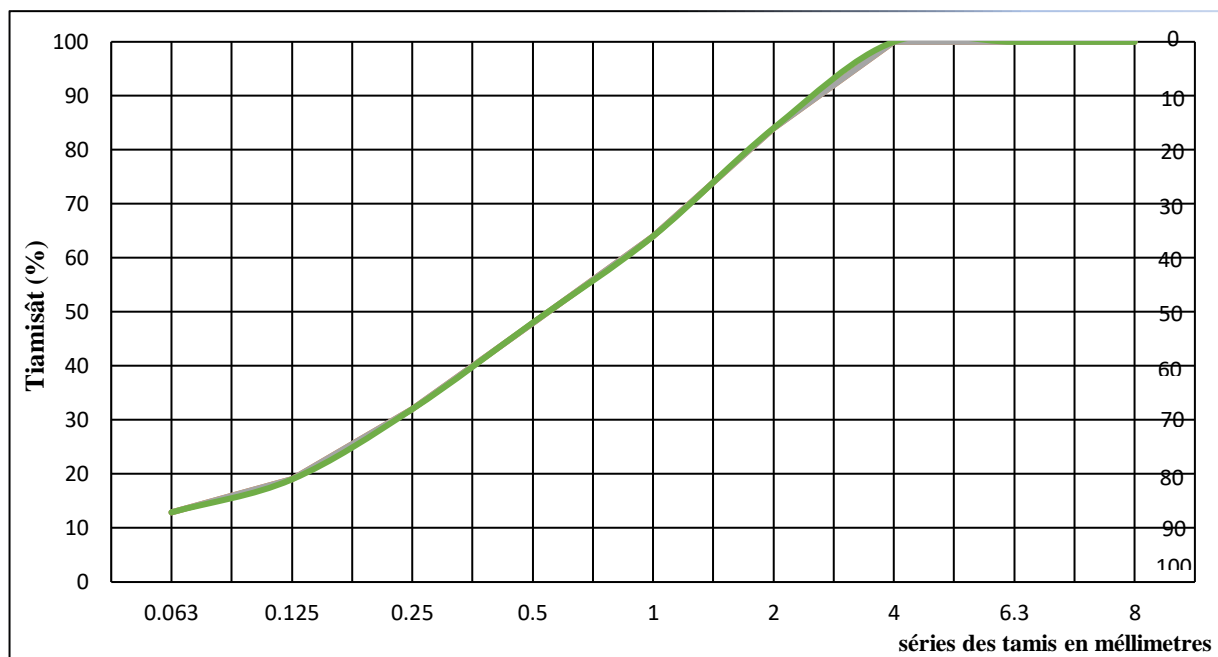


Figure.IV.3 Courbes granulométriques de se sable utilisé

IV.2.2.3. Module de finesse

En se basant sur les résultats obtenus donnés au **tableau IV.4** et la courbe granulométrique (**Figure IV.4**) nous pouvons constater que l’allure est presque étalée, donc c’est un sable moyen. Suivant la Norme Européenne EN12620 on a :

$$M_f = 1/100 \sum \text{refuscumulé en \% (0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4)}$$

$$M_f = 1/100(81+68+52+36+16) \mathbf{M_f = 2,53}$$

Suivant la Norme NF EN 196-6 2,2 < M_f < 2,8 Donc notre sable est utilisable

IV.2.2.4. Equivalent de sable

Cet essai est réalisé sur la fraction du granulat qui passe à travers un tamis à mailles carrées de 2 mm Il permet d'évaluer la propreté du sable en termes de quantité et de qualité des éléments fins. Il exprime le rapport conventionnel volumétrique entre les éléments fins qui forment des floes et les éléments sableux qui se déposent.

Pour mener à bien l'essai, la fraction 0/2 mm du matériau étudié est lavée selon un processus normalisé, puis laissée en repos. Au bout de 20 minutes, les éléments sont mesurés comme suivants :

- H 1= sable propre en présence d'éléments fins
- H 2 = sable propre uniquement.

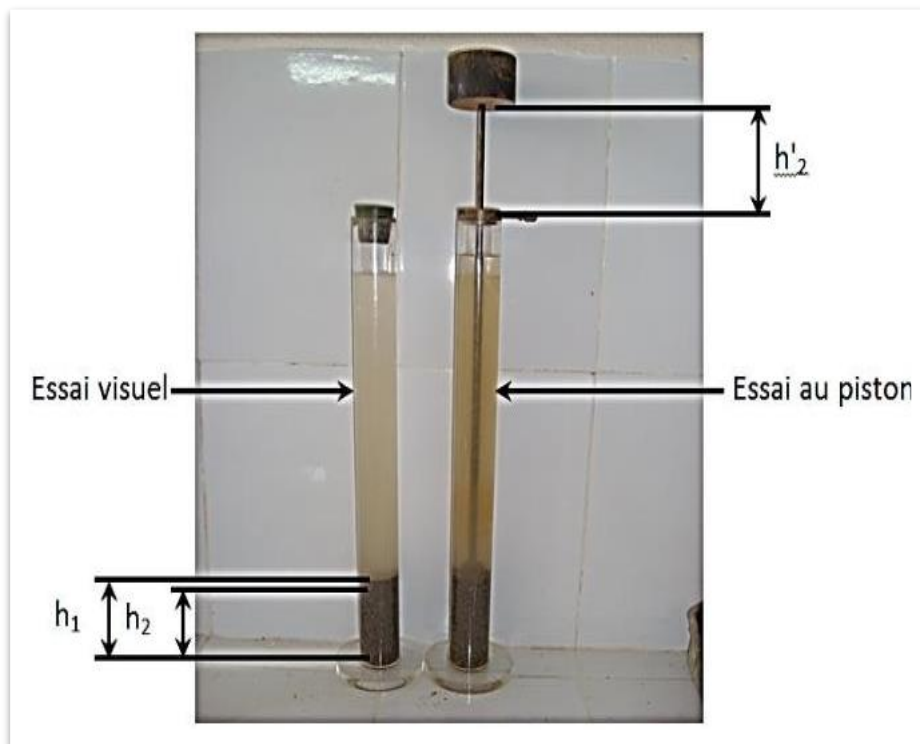


Figure. IV.4 Principe de l'essai.

- L'équation ci-dessous permet de calculer la valeur de l'équivalent de sable :

$$ES = \frac{H1}{H2} \times 100$$

- Équivalent de sable visuel ou Esp équivalent de sable au piston sont utilisés pour mesurer la hauteur H2 soit visuellement ou avec un piston.

➤ **Equipements nécessaires**

Équipement nécessaire pour l'essai de sable équivalent :

1. Deux récipient en verre ou en plastique transparent, de forme cylindrique, utilisé pour contenir l'échantillon de sable et l'eau lors de l'essai

2. Un piston d'essai.

3. Tubes de décantation pour nettoyer les choses.

4. Quatre tamis d'ouverture de mailles de 2 mm ;

5. Une balance de précision

6. Étuve, chronomètre, pipette.

➤ **Préparation des échantillons de sable**

Une fois la teneur en eau calculée, la masse nécessaire est déterminée à l'aide du calcul.

$$M_{\text{nécessaire}} = 120 \times (100 + w) \div 100$$



Figure. IV.5 Essai d'équivalent de sable.

➤ **Les valeurs de ESP et ESV**

Le tableau IV.5 Les valeurs d'équivalent de sable, présentées dans le tableau, fournissent des indications sur la nature et la qualité du sable.

Tableau.IV.5 Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable :

Équivalent de sable visuel	Équivalent de sable au piston	La nature et qualité du sable
ESV < 64%	ESP < 59 %	<ul style="list-style-type: none"> indique la présence d'argile dans le sable. Cela peut entraîner un risque de gonflement, ce qui rend le sable inapproprié pour la production de béton de haute qualité
64% < ESV < 74%	59 ≤ ESP < 69 %	<ul style="list-style-type: none"> Indique la présence légèrement d'argile dans le sable n'est pas significativement affecté par les normes de propreté en ce qui concerne la qualité du béton.
75% ≤ ESV < 85 %	70% ≤ ES < 80 %	<ul style="list-style-type: none"> Le sable est bien (propre) contenant une faible proportion de fines argileuses est optimal pour la production de bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85 %	ESP ≥ 80 %	<ol style="list-style-type: none"> Sable très bien (très propre): Une concentration élevée de fines argileuses risque de réduire la plasticité du béton.

➤ D'après l'essai on a le tableau des résultats suivants :

Tableau. IV.6 équivalent de sable.

	Visuel (cm)	Piston (cm)
Échantillon 1	h ₁ =15,2 h ₂ =9,3	h _p =9,8
Échantillon 2	h ₁ =13,80 h ₂ =8,5	h _p =8,9
ES %	61	65

Donc : 61 < ES < 65

La qualité du béton n'est pas significativement affectée par le sable de propreté admissible légèrement argileux.

IV.2.2.5. La masse volumique

➤ Masse volumique apparente

Est une mesure de la masse d'un matériau par unité de volume, y compris les vides et les espaces inter particulaires. Elle représente la densité totale d'un matériau en incluant à la fois la masse des particules solides et les vides présents entre ces particules.

➤ Mode opératoire

- Préparation de l'échantillon
- Mesure de volume de l'échantillon
- Mesure de la masse de l'échantillon
- Calcul de la masse volumique apparente par la division de la masse de l'échantillon sur son volume.
- Répétition de l'essai pour améliorer la précision

➤ Résultat

La masse volumique apparente est donnée est représenté dans la relation suivante :

$$\rho_d = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

$$\rho_d = 1740 \text{ kg/m}^3$$

➤ Masse volumique absolue

Est une mesure de la masse d'une substance par unité de volume, sans prendre en compte les vides ou les espaces inter particulaires. Elle représente la masse des particules solides uniquement, sans inclure les espaces vides entre ces particules.



Figure.IV.6 Essai masse volumique absolue

➤ **Mode opératoire**

1. L'échantillon doit être placé dans un récipient en plastique.
2. Ajouter l'eau
3. Préparer l'échantillon
4. Placer l'échantillon dans l'entonnoir et remuer le mélange avec un agitateur pour libérer l'air.
5. Observez la quantité d'eau récente dans l'échantillon V2.
6. Mettez les granulats dans un récipient en plastique et jetez le contenu.
7. Répétez cette tâche à au moins deux reprises.

➤ **Résultat**

La masse volumique absolue est représenté par la relation suivante:

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

$$\rho_s = 2541 \text{ kg/m}^3$$

IV.2.3. L'adjuvant

Les adjuvants, en quantité minime, sont des substances chimiques ajoutées au mortier frais dans le but d'améliorer ses caractéristiques physico-mécaniques

on a ajoutées un super plastifiant **MEDAFLOW 30** haut réducteur d'eau lors de la préparation de mortier

Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. **Le MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du mortier d'une façon remarquable. **Le MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

IV.2.3.1. Caractéristiques :

Il a un Aspect Liquide de ph entre 6 et 6.5, Densité (1.06+0.02), une teneur en chlore inférieur a 1 g/l et un extrait sec de 30%.

IV.2.3.2. Mode D'emploi :

Le MEDAFLOW 30 est ajoutées à l'eau de gâchage, mieux vaut le rajouter plus tard après avoir ajoutée de l'eau entre 55% et 75

IV.2.3.3. Conditionnement Et Stockage :

Le MEDAFLOW 30 est conserve en bidons, délai de conservation est 12 mois dans son emballage d'origine, dans une chaleur moyenne



Figure. IV.7 Adjuvant MIDALFLOW 30

IV.2.4. Eau de gâchage

Elle ne nécessite aucun essai ; on utilise l'eau normal.

IV.2.5. La diatomite

IV.2.5.1. Traitement thermique

La Diatomite brute est calcinée par un traitement thermique à 750,800, 850 °C et à 900 °C pendant 2h.



Figure. IV.8 Calcination de diatomite

IV.2.5.2. Analyse chimique quantitative

L'analyse de la composition chimique a été réalisée à la fois sur la diatomite brute et calcinées obtenue à l'aide de la fluorescence FRX et d'une microsonde électronique. Les résultats obtenus sont exposés dans le Tableau IV.7.

Tableau.IV.7tests chimiques FRX de la diatomite brute et calcinée

Compositions	(%) Massique de diatomites traitées				
	Diatomite brute	Calciner a 750°C	Calciner a 800°C	Calciner a 850°C	Calciner a 900°C
SiO ₂	76.18	80,34	81.56	84,23	84,12
CaO	12.90	6,34	2.2	1,8	0,54
Al ₂ O ₃	4.32	2,80	2.13	2,12	2,12
Fe ₂ O ₃	2.43	1,30	1.17	1,17	1,19
MgO	1.21	1,35	1.46	1,96	2,34
K ₂ O	0.97	0,60	0.54	0,49	0,43
Na ₂ O	0.54	0,45	0.43	0,41	0,41
TiO ₂	0.17	0,27	0.23	0,23	0,22
SO ₃	0.64	0,22	0.18	0,24	0,28
P ₂ O ₅	8,7	5,6	5,7	5,2	4,9

La concentration de CaO a diminué tandis que la quantité de silice a augmenté. Les procédés ont été efficaces pour éliminer les impuretés présentes dans la matière première, notamment les carbonates, ainsi que d'autres substances indésirables comme Fe_2O_3 , MgO , K_2O et Na_2O .

IV.2.5.3. Masse volumique

Les figures IV.9 et IV.10 illustrent respectivement les densités apparentes et absolues de la diatomite brute et de la diatomite calcinée.

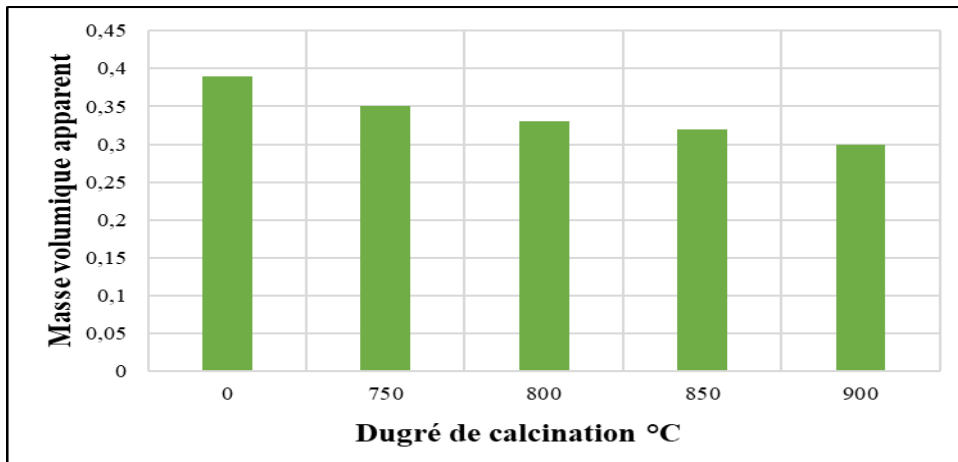


Figure IV.9 histogramme masse volumique apparente

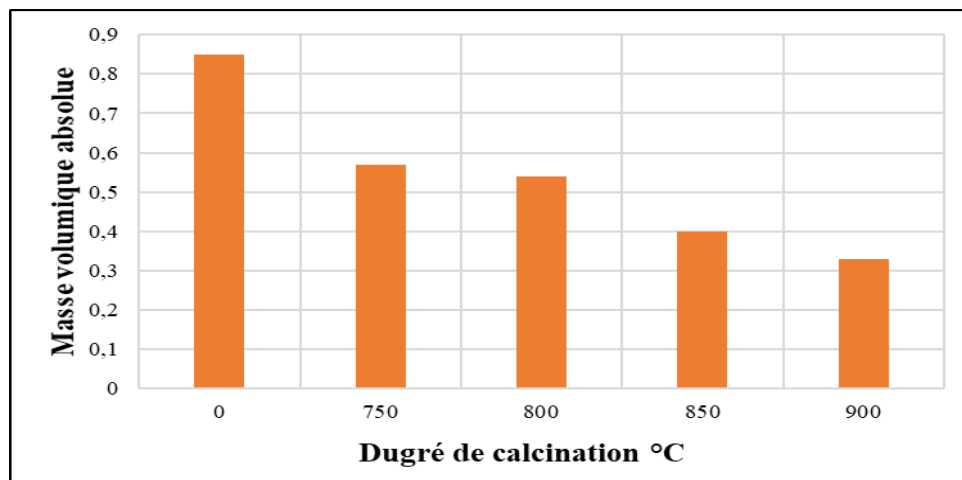


Figure IV.10 histogramme de masse volumique absolue

A partir des figures IV.9 ; IV.10 Il est observé que la densité décroît avec l'élévation de la température de calcination. Cette tendance est engendrée par la modification de la microstructure qui se manifeste par une augmentation corrélative du volume poreux lorsque la température s'accroît.

IV.2.5.4. Evolution du temps de prise

Tableau.IV.8 Les temps de début et de fin de prise de la pâte de ciment ont été mesurés en utilisant différents ratios E/C de diatomite calcinée à 900°C.

	DT 900°			
	Avec SP			
Diatomite en (%)	en 5%	en 10%	en 15%	en 20%
SP(%)	2%	2%	2%	2%
Eau/Liant	0.45	0.45	0.45	0.45
Début de prise (min)	225	270	280	285
La fin de prise (min)	352	360	405	415

La figure IV.11 présente L'influence du dosage de diatomite sur les temps de début et de fin de prise a été étudiée :

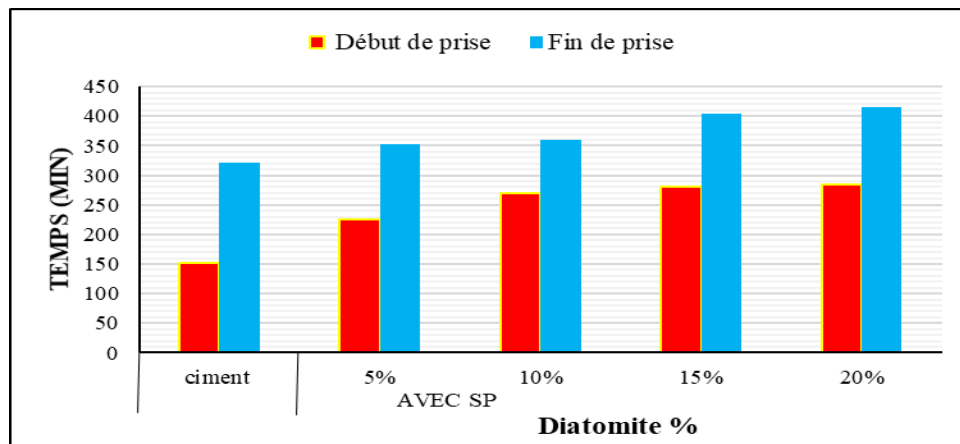


Figure.IV.11 L'influence du dosage de diatomite calcinée sur les temps de début et de fin de prise des ciments préparée

IV.3. Préparation des mortiers

Dans cette section, nous discutons de la fabrication de différents types de mortiers, y compris des mortiers témoin sans ajout et des mortiers avec un substituant de diatomite partiel du ciment à des quantités variés : 5 %, 10 %, 15 % et 20 %.

IV.3.1. Mortier normal (Témoin)

Les quantités massiques suivantes sont nécessaires pour réaliser notre mortier standard

- ✓ Sable 0/3 : 1350 ;
- ✓ Ciment : 450;
- ✓ Eau : 202g (E/C est égal 0,45).
- ✓ Adjuvant : 9g(2% de quantité de ciment).

IV.3.2. Préparation des éprouvettes

Pour la fabrication de blocs de mortier, on emploie des moules de forme prismatique ayant des dimensions de 4 centimètres de large, 4 centimètres de profondeur et 16 centimètres de hauteur.

Il est recommandé de nettoyer les éprouvettes avec une brosse constituée de brins métalliques. Avant de les étaler avec de l'huile pour les démouler plus facilement.

IV.3.3. Le malaxage

- La norme [NF P15-403] indique qu'un malaxeur (**figure IV.12 (a)**) est utilisé pour effectuer le malaxage. En position de fonctionnement du malaxeur :
- Ajouter 202 ml d'eau ; -Incorporer 450 grammes de ciment.
- Après avoir malaxé Durant une période de 30 secondes à un rythme ou une cadence réduite. Incorporer consciemment l'adjuvant et le sable à la préparation. Mélangez vigoureusement pendant une durée de 2 minutes.
- Avant d'éteindre le malaxeur, démontez les fouets et utilisez une spatule pour gratter les côtés et le fond du récipient, de manière à ce que le mortier soit entièrement mélangé, sans laisser aucune partie non malaxée.
- Après avoir remonté le batteur, il faut recommencer à malaxer durant une période de deux minutes rapidement.
- Une fois le mélange terminé, Transférez le mortier dans des moules en le versant. Standardisés de dimensions 4cm ; 4cm ; 16cm , préalablement graissés, Remplir la moitié du moule sur une table à chocs et appliquez exactement 60 coups par minute.
- Une fois la vibration terminée, retirez le moule, remplissez-le à nouveau jusqu'à ce que le mortier déborde légèrement, enlevez l'excès, puis replacez-le sur la table à chocs pour assurer une homogénéisation supplémentaire;
- Les moules prismatiques (4x4x16) cm³ doivent être remplis (**figure IV.12 (b)**)
- Après 24(h) heure on fait le démoulage.



(a)

(b)

Figure.IV.12 (a) : Malaxeur, (b) : Moules prismatiques

IV.4. Mortiers avec diatomite

Dans la phase expérimentale, nous avons créé plusieurs variantes (au total 5 variantes) avec un rapport E/C de 0,45. Le tableau IV.9 présente les différentes formulations des variantes, ainsi que leur composition en fonction des pourcentages d'ajout de diatomite (5 %, 10 %, 15 % et 20 %). Pour chaque variante élaborée, nous avons réalisé trois essais (soit un total de trois éprouvettes) afin d'obtenir une moyenne des résultats pour chaque caractéristique. (**Tableau IV.9**)

Tableau IV.9 la répartition des masses des composants utilisés Pour chaque variante étudiée :

Numéro	Les variantes	Compositions				
		Ciment en (g)	Eau en (g)	Sable en (g)	Adjuvant en (g)	Diatomite en (g)
01	D 0%	450	202	1350	9	0
02	D 5 %	427,5	202	1350	9	22,5
03	D 10 %	405	202	1350	9	45
04	D 15 %	382,5	202	1350	9	67,5
05	D 20 %	360	202	1350	9	90

IV.4.1. Les essais sur les mortiers avec diatomite :

La caractérisation physico-mécanique des différentes éprouvettes des variantes a été effectuée par des essais physiques comme la masse volumique et des essais mécaniques (la résistance mécanique), tels que ceux qui se plient à la flexion et lors de la phase de compression à différents stades de maturité. (14jet à 28 j).

IV.4.1.1. Les essais physiques :

Avant de réaliser chaque essai mécanique, les masses volumiques de toutes les éprouvettes de chaque variante étudiée ont été mesurées en utilisant des tests de pesée. Pour ce faire, chaque éprouvette est placée sur une balance et pesée. (**Figure IV.13**).



Figure IV.13 Effectuez une évaluation de la masse des éprouvettes.

IV.4.1.2. Les essais mécaniques

Les évaluations mécaniques sont réalisées dans le laboratoire en béton de la faculté des sciences et sciences appliquées. Les tests sont effectués à l'aide d'une machine d'essais de flexion et de compression contrôlée par ordinateur, sur un ensemble d'éprouvettes. Les différentes variantes sont soumises à des caractérisations mécaniques à des âges différents, notamment à 14 et 28 jours.



Figure.IV.14 Une machine de compression automatisée contrôlée par ordinateur pour les essais. (Laboratoire de la faculté).



Figure.IV.15 La faculté dispose d'une machine d'essais de flexion et de compression pilotée par ordinateur. Cette machine est utilisée pour effectuer des essais de flexion sur des éprouvettes, puis les mêmes échantillons sont utilisés pour les essais de compression.



Figure. IV.16 Essais de flexion et compression

IV.5. Résultats des essais

IV.5.1. Résultats des essais physiques

Les résultats des tests physiques, qui concernent les densités à l'état solide de chaque version développée à 14 et 28 jours, sont présentés de manière synthétique dans le tableau IV.10 ci-

dessous. Il est important de souligner que ces résultats sont basés sur la moyenne de trois mesures pour chaque cas.

TableauIV.10 Les masses volumiques des diverses variations de diatomite varient en fonction de leur âge :

Les variantes	Masses Volumiques en (g/cm ³)	
	14 J	28 J
Age brute	2,25	2,23
5 %	2,15	1,50
10 %	2,10	1,43
15 %	2,03	1,40
20 %	2,00	1,35

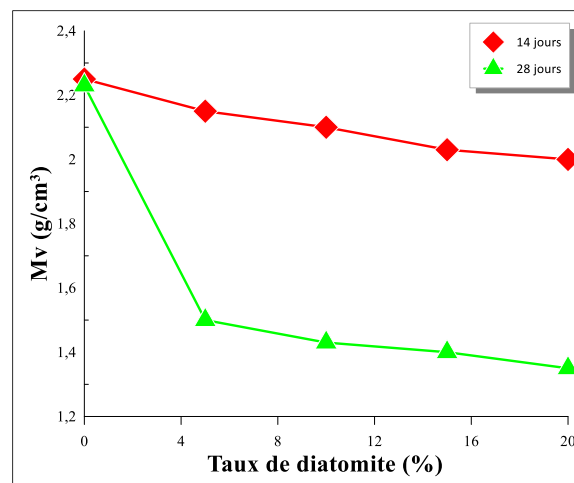


Figure.IV.17 Les densités relatives des différentes variations de diatomées en corrélation avec leur période de formation

IV.5.1.1 Remarques sur les résultats d'essais physiques

- La densité des variantes étudiées est influencée par deux facteurs : le pourcentage d'ajout de diatomite et l'âge.
- La densité diminue de manière proportionnelle en fonction de l'âge, à savoir 14 jours et 28 jours respectivement.
- De même, la densité diminue en fonction des différents pourcentages d'ajout de diatomite. Les valeurs enregistrées étaient de (2,23, 1,43, 1,40) (g/cm³) pour des pourcentages d'ajout de 0 %, 10 % et 15 % respectivement à 28 jours

IV.5.2. Résultats des essais mécaniques

IV.5.2.1. Essais de flexion trois points

Les données recueillies à partir des tests mécaniques de flexion à trois points, qui englobent les contraintes de rupture en flexion des échantillons de différentes variantes élaborées à des âges spécifiques (14 et 28 jours), sont condensées dans le tableau IV.11 présenté ci-dessous. Les résultats des trois essais représentent la moyenne des valeurs obtenues pour chaque variante examinée.

Tableau. IV.11 : L'évolution temporelle des résistances en flexion trois points des différentes variantes de diatomite a été étudiée.

Les variantes	Résistance en Flexion (MPa)							
Age	14 J				28 J			
Eprouvette	E1	E2	E3	moyenne	E1	E2	E3	moyenne
Témoins	8,70	8,00	7,70	8,13	8,30	8,00	8,20	8,16
5 %	8,30	8,40	8,50	8,40	8,60	8,90	8,90	8,80
10 %	7,80	8,70	7,50	8,00	8,20	7,80	8,00	8,00
15 %	7,10	7,30	7,50	7,30	6,90	7,70	7,70	7,43
20 %	7,40	7,20	7,00	7,20	7,50	7,50	7,00	7,33

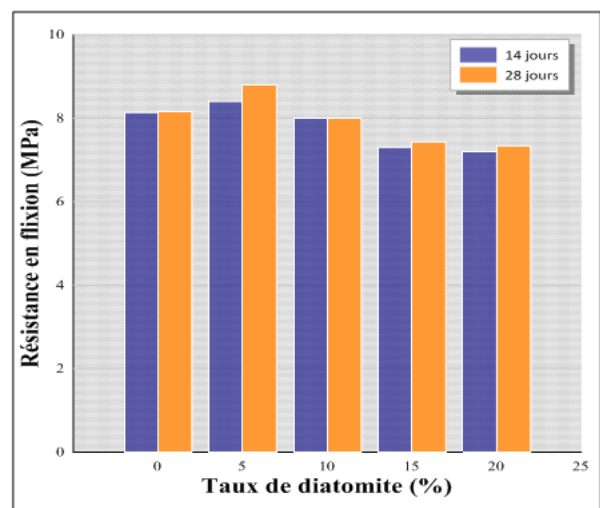
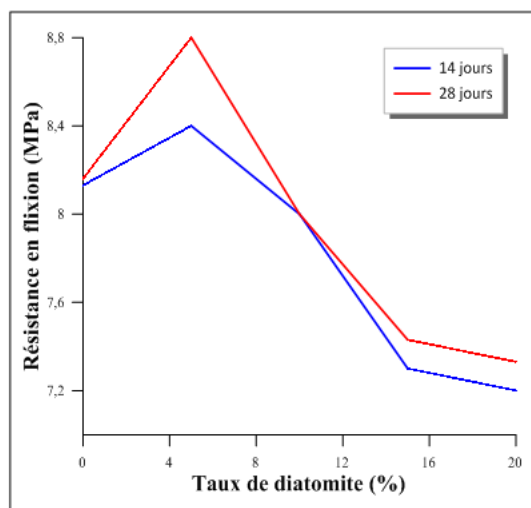


Figure.IV.18 Évolution temporelle des propriétés de résistance à la flexion pour les différentes variations de diatomite examinées.

IV.5.2.2. Essais de compression

Tableau.IV.12 résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps :

Réf	Résistance en compression (MPa)							
Age	14 Jours				28 Jours			
Eprouvette	EP1	EP2	EP3	moyenne	EP1	EP2	EP3	moyenne
Témoins	40,80	41,20	44,70	42,23	53,40	54,60	50,40	52,80
5 %	43,20	44,20	44,60	44,00	55,40	55,20	59,10	56,56
10 %	39,40	39,10	35,50	38,00	46,50	47,40	46,00	46,63
15 %	35,30	37,20	35,00	35,83	46,10	43,30	46,40	45,26
20 %	30,80	30,20	34,10	31,70	42,30	41,10	43,10	42,16

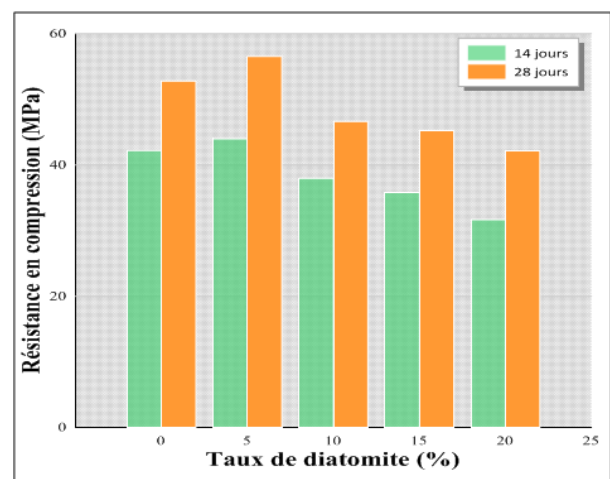
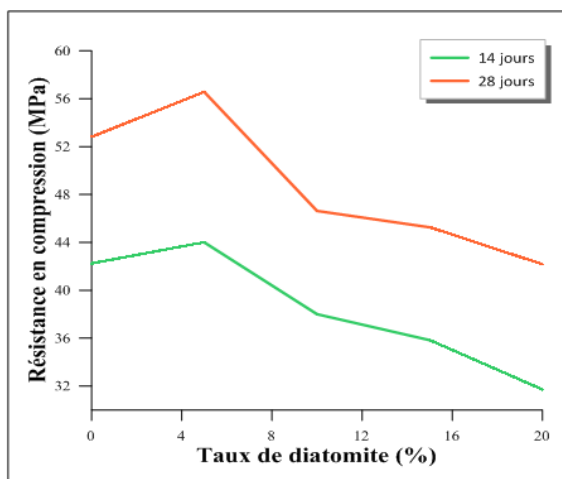


Figure.IV.19 Évolution temporelle des propriétés de résistance à la flexion pour les différentes variations de diatomite examinées.

Selon les résultats des essais mécaniques présentés dans les figures IV.15 et IV.16, il est observé ce qui suit concernant la résistance à la flexion et à la compression des différentes variantes de diatomite étudiées :

- Les variations de diatomite et leurs pourcentages, ainsi que l'âge (14 et 28 jours), ont un impact sur la résistance à la flexion et à la compression des variantes étudiées.
- Les valeurs de résistance à la flexion augmentent, avec des résultats allant de 7,20 à 8,40 MPa à l'âge de 14 jours , et de 7,33 à 8,80 MPa a l'âge de 28 jours
- Les valeurs de résistance à la compression augmentent également, avec des résultats allant de 31,70 à 44,00 MPa à l'âge de 14 jours, et de 42,16 à 56,56 MPa à l'âge de 28 jours.

IV.6. Analyses statistiques des résultats

La figure IV.20 présente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en flexion pour toutes les variantes étudiées, fournissant ainsi une illustration de la relation entre les différentes caractérisations physicomécaniques obtenues.

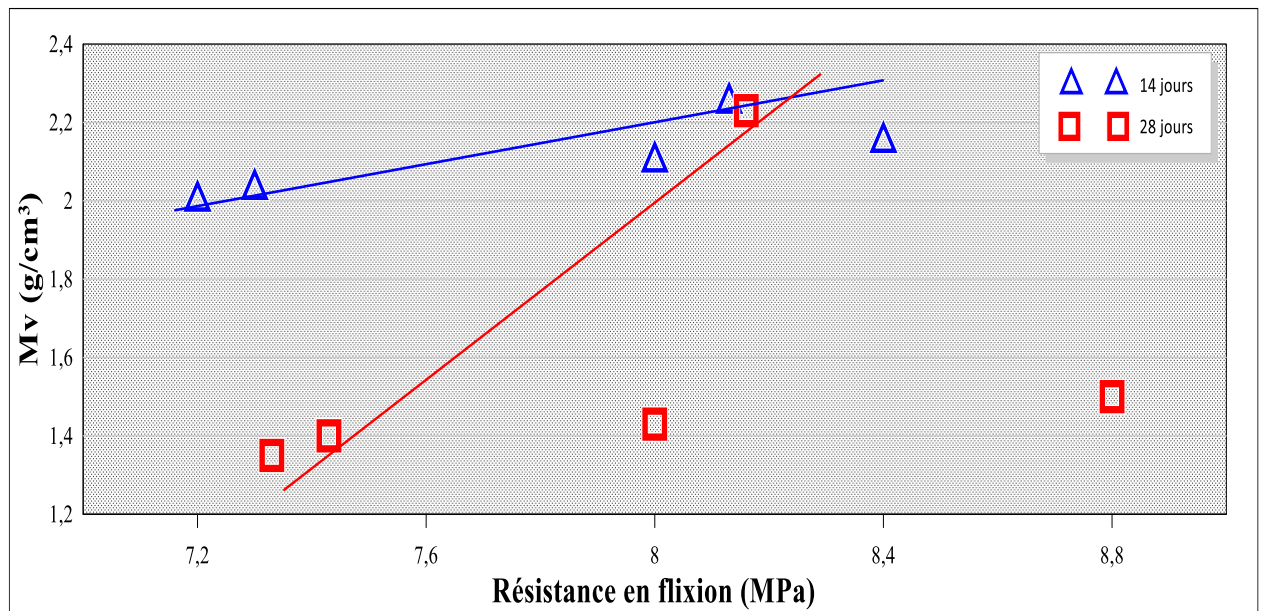


Figure.IV.20 Une relation entre la masse volumique et la résistance à la flexion a été observée.

Les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en compression sont présentés dans la **figure IV.21**.

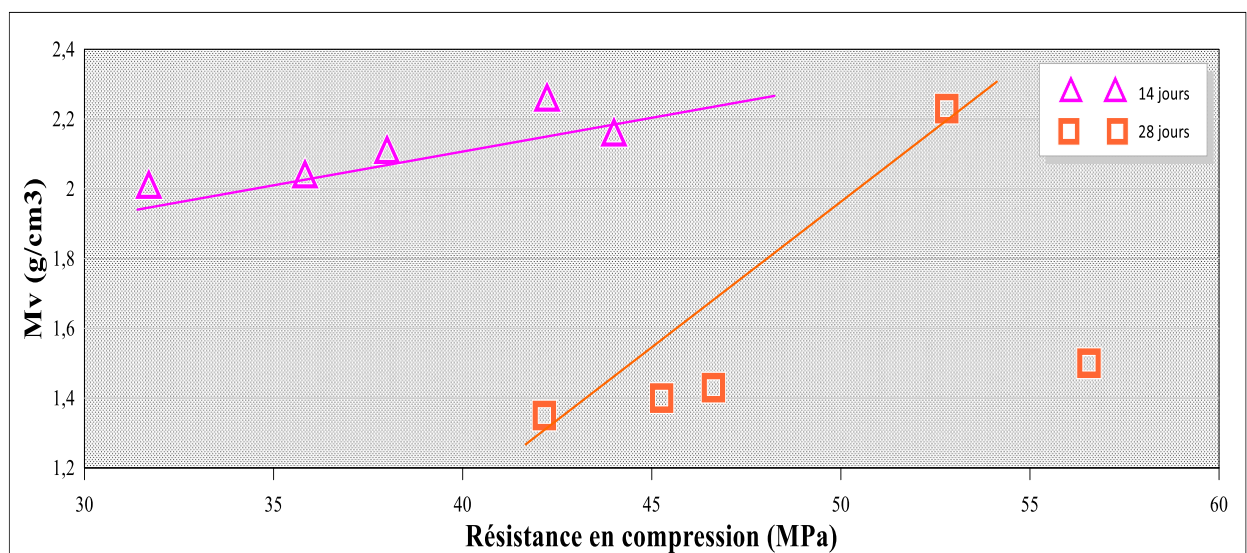


Figure.IV.21 Une relation entre la masse volumique et la résistance à la compression a été observée.

Les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistance en compression sont présentés dans la **figure IV.22**.

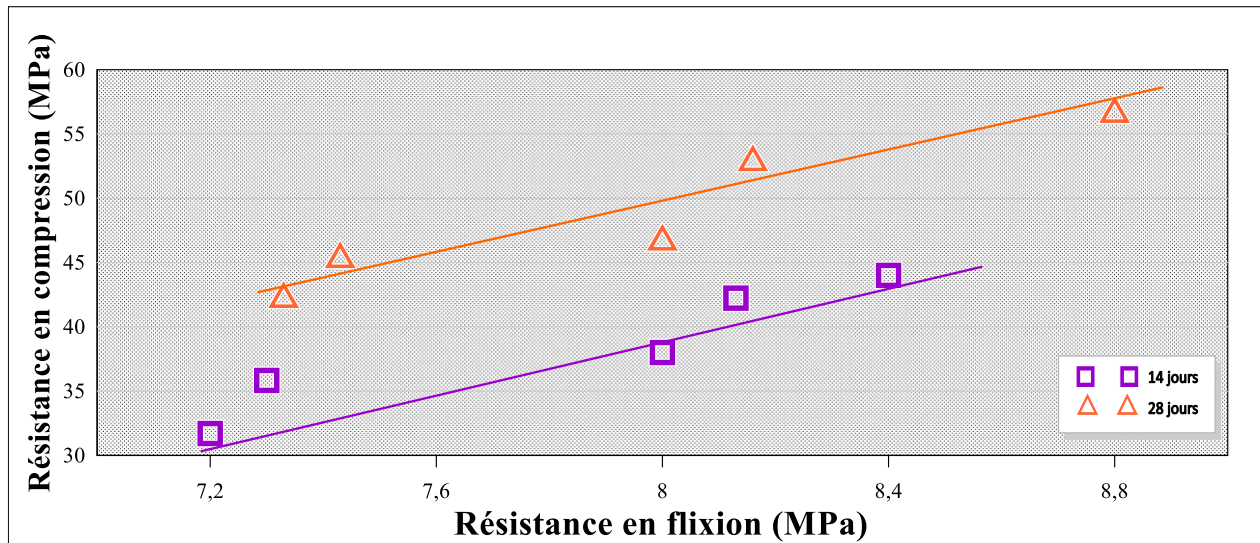


Figure.IV.22 relation entre les résistances en compression et celles en flexion.

➤ **Remarque :**

- on remarque une augmentation de la masse volumique avec une augmentation de la résistance en flexion en fonction des âges (14 et 28 jours) dans lequel

- on note une augmentation de la masse volumique avec une augmentation de la résistance en compression en fonction des âges (14 et 28 jours) dans lequel

- on remarque une augmentation continue de résistance en flexion avec une augmentation de la résistance en compression en fonction des âges (14 et 28 jours)

IV.7. Interprétation des résultats :

IV.7.1. Les Propriétés physique :

Les essais mécaniques effectués sur différentes variantes de diatomite ont révélé les observations suivantes concernant leur résistance à la flexion et à la compression :

- La figure IV.5 et le tableau. IV.10 indiquent les résultats des masses volumiques, changé entre 2.23 g/cm^3 et 1.35 g/cm^3 pour le mortier âgé de 28 jours. La masse volumique des mortiers contenant de la diatomite calcinée était plus faible que le mortier témoin en raison de la grande porosité par rapport au ciment.
- Les valeurs des masses volumiques des variantes témoins est remarquable en fonction de l'âge (14 et 28 jours), cette légèreté peut être expliquée par l'évolution de l'hydratation en fonction du temps et l'âge.
- La masse volumique de variantes élaborées par la substitution des pourcentages de la diatomite calcinée a diminué par rapport aux variantes témoins, cela est expliqué par la

faible masse volumique de la diatomite ($0,3 \text{ g/cm}^3$), cette diminution évolue en fonction de l'augmentation du pourcentage d'introduction de 5 % à 20 %.

IV.7.2. Les propriétés mécaniques :

L'utilisation de la diatomite algérienne comme matériaux de remplacement partielle à 0 % (TC), 5 %, 10 %, 15% et 20 % en poids de ciment tandis que les quantités de sable et d'eau et adjuvant ont été maintenus constants. Le mélange de ciment, de sable et d'eau les proportions étaient de 1/3/0,5, respectivement. La résistance mécanique du mortier a été déterminée à l'âge 14 et 28 jours, et les résultats des tests en fonction de l'âge sont présentés.

La résistance à la flexion des mortiers a été déterminée à l'âge de 14 et 28 jours, et les résultats sont présentés en fonction de l'âge dans le tableau IV.11 et la figure IV.18. En général, la résistance à flexion des mortiers diminuait avec l'augmentation de la teneur en diatomite même calcinée. Le mortier témoin a atteint une valeur de 8,13 MPa à l'âge de 14 jours, 8,16 MPa à l'âge de 28 jours. Les valeurs de la résistance à la flexion de mortiers substitués (5, 10,15 et 20 %) variée entre 8,40 MPa et 7,20 MPa à l'âge de 14 jours et 8,80 MPa et 7,33 MPa à l'âge de 28 jours.

Comme prévu, la résistance mécanique augmenté avec l'âge. Le taux d'augmentation est en fonction de niveau de remplacement de la diatomite et l'âge. Les résultats montrent que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la teneur en diatomite, on observe que la résistance à la compression du mortier témoin a atteint une résistance à la compression de 42.23 MPa à l'âge de quatorze jours et 52.80 MPa à l'âge de 28 jours. La résistance mécanique à la compression des mortiers substitué par la diatomite algérienne calcinée (5, 10,15 et 20 %) varie de 44.00 MPa à 31,70 MPa à l'âge de 14 jours et 56,56 MPa à 42,16 MPa à l'âge de 28 jours.

Par comparaison avec le mortier de contrôle, on peut voir que les mortiers contenant la diatomite par substitution ont une résistance à la compression faible par rapport à celle du mortier témoin, les éprouvettes de mortier contenant 5% de matériaux de remplacement (diatomite calcinée) ont une résistance à la compression plus élevée comparable aux mortiers à 10%, 15% et 20% de diatomite ont résistance à la compression inférieure aux valeurs minimales données dans les normes européenne (EN) et algérienne (NA) . Les mortiers contenant 5% de diatomite a montré la diminution de 9.3% de la résistance à la compression par rapport au contrôler à l'âge de 28 jours. L'amélioration de comportement physico-mécanique est expliquée par l'effet d'augmentation de la teneur en silice amorphe contenant dans la diatomite calcinée à 900°C . La capacité de la diatomite en tant que substituant minéral actif est basée sur sa capacité à lier la chaux en hydrosilicates de calcium basiques

IV.8. Conclusion

La présence de diatomite dans le mortier entraîne une diminution de sa masse volumique en raison de sa faible densité.

La diatomite améliore la résistance à la flexion et à la compression en raison de sa capacité à réagir avec la chaux pour former des hydrosilicates de calcium basiques.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est la possibilité de valorisation et l'utilisation des matériaux géoressources en Algérie comme matériaux de remplacement partiel de ciment. Il est possible d'utiliser les réserves de la diatomite pour la formulation des mortiers légers. Des mortiers ont été construits en substituant une partie du ciment par la diatomite calcinée afin de réduire l'effet de serre causé par les émissions de CO₂ des industries cimentaires et d'optimiser leurs coûts de production. Les conclusions et résultats des recherches ont été les suivants :

1- Caractérisation de diatomite calcinée

- La température de calcination augmente la teneur en silice amorphe.
- La surface spécifique diminue jusqu'à 750°C.
- Lorsque la température est inférieure ou égale à 800°C, la granulométrie devient grossière (visuel).

2- Mortier avec le substituant diatomite calcinée et le super plastifiant :

- Les délais de prise de la diatomite sont plus rapidement que la pâte cimentaire ordinaire dus au taux d'absorption.
- L'âge des éprouvettes entraîne une augmentation de la résistance à la compression des pâtes de ciment.
- Les essais de compression ont démontré que la diatomite peut être utilisée pour remplacer partiellement le ciment, ce qui donne aux ciments des performances mécaniques intrigantes.
- Quand le pourcentage de diatomite augmente la masse volumique est diminuée cela est due à la grande porosité par rapport au ciment, l'évolution de l'hydratation en fonction du temps et faible masse volumique de la diatomite.
- La meilleure résistance mécanique est obtenue par le pourcentage de 5 % de diatomite calcinée, les éprouvettes de mortier contenant 5% de matériaux de remplacement (diatomite calcinée) ont une résistance à la compression plus élevée comparable aux mortiers à 10%, 15% et 20% de diatomite ont une résistance à la compression inférieure aux valeurs minimales données dans les normes européenne (EN) et algérienne (NA).

Conclusion générale

Selon les résultats des tests, il est suggéré et recommandé que la diatomite calcinée puisse être utilisée avec un teneur jusqu'à 5% en remplacement du ciment portland dans la production de mortier de ciment.

Bibliographie

[01] Jean-Pierre OLLIVIER et Angélique VICHOT, « La durabilité de béton », Collectif Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées (ENPC) (2eme édition), 2008.

[02] Debihabdelmohcene, « Durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées), mémoire de Master de l'Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.

[03] Ben Boujemaa Kahina, Djerroud Mounia et Moussaoui Sabrina, « Influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR) sur le comportement mécanique et physico-chimique des mortiers ». Mémoire de Master de l'université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2013.

[04] GHARIBI Wahiba, « Influence des fibres végétales sur le comportement des BAP sous environnement agressif », mémoire de Magister de Université Frères Mentouri-Contantine, 2015.

[05] Festa Jean et Dreux Georges, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », Eyrolles (huitième édition), 1998, 416 pages.

[06] S. KHERBACHE, K. MEHIDI, N. CHELOUAH, H. CHIKH-AMER et A. TAHAKOURT, « Etude de l'influence de l'ajout de particules fines contenues dans les sables concassés sur le retrait et la résistance des béton », Séminaire national de Génie Civil, Annaba 20-21 Novembre 2007.

[07] Nassah Dalila, « Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers fibrés », mémoire de Master UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES, 2017.

[08] Xavier RÉGA, « Caractérisation du comportement en traction du béton sous fortes sollicitations », Thèse Doctorat de l'université d'Orléans, 2016.

[09] Johnston C.D. (1996), « Proportioning, mixing and placement of fiber-reinforced cements and concretes », Production Methods and Workability of Concrete Proceedings of the International RILEM Conference, edited by Bartos, Marrs and Cleland, London.

[10] Christophe Carde, Directeur technique du LERM, « Le retrait des béton », page 86 September /October 2006.

[11] KOUICI ABIR, « Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons auto plaçant (BAP) à l'état frais et durcis », mémoire de Master Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.

[12] Adam M. Neville «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000.

[13] M.Constant, « Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux ». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.

[14] Sundicat national du béton cellulaire (paris), « Mémento du béton cellulaire données de base pour la conception et la réalisation » Eyrolles juin 2005 Paris.

[15] MELANIE ' SHINK « Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers ». University Laval Québec Avril 2003.

[16] john L CLARK «Structural lightweight Aggregate Concrete» Edited by Chief Structural Engineer British Cement Association Crowthorne First Edition 1993

[17] B. Ben khalfa « contribution à l'étude des bétons légers d'argile expansée pour des éléments armés préfabriqués". Thèse de doctorat. Université d'Annaba. 1988.

[18] JEAN FESTA et Georges DREUX « Nouveau guide du béton et de ses constituants ». 8ème Edition. Eyrolles. Mai 1998.

[19] Zhang M.H., (1989). Microstructure and properties of high strength lightweight concrete, PhD thesis, The Norwegian University of Science and Technology

[20]. Neuville A. M., (2000). Propriétés des bétons, Editions Eyrolles.

[21]. G.J. Osborne, (1985). The durability of lightweight concrete made with pelletized slag as aggregate, Durability of Building Materials.

[22]. M.Virlogeux, (1986). Fabrication, contrôle et mise en œuvre du béton léger de structure. Dans M. Virgoleux, Granulats et bétons légers : Bilan de dix ans de recherche. Edition de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, ISBN/2-85978-086-6.

[23] G. Fagerlund, (1978). Frost resistance of concrete with porous aggregate, Report of cement and concrete institute in Sweden.

[24] Zhang M.H., Gjorv O.E., (1991). Mechanical properties of high-strength lightweight concrete, ACI Materials Journa

[25] Punkki J., O.E. GJ_RV, P.J.M Monteiro, (1996). Microstructure of high-strength lightweight aggregate concrete, 4th International Symposium on utilization of high- strength/high-performance concrete.

[26] A. Bentur, S.i Igarashi, K. Kovler, (2001). Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates, Cement and Concrete Research.

[27] Bentz D.P., Snyder K.A., (1999). Protected paste volume in concrete. Extension to internal curing using saturated lightweight fine aggregate, Cement and Concrete Research.

[28] K. Kohno, T. Okamoto, Y. Isikawa, T. Sibata, H. Mori, (1999). Effects of artificial lightweight aggregate on autogenous shrinkage of concrete, Cement and Concrete Research.

[29] Topçu I.B., (1995). The properties of rubberised concretes, Cement Concrete Research. Vol. 25, No. 2, PP. 304–310.

[30]. Whiting D., Burg R., (1991). Freezing and Thawing Durability of High-strength Lightweight Concrete. Journal of ACI, SP 126, PP. 83-100.

[31]. ACI 213R-03, (2003). Guide pour béton de granulats légers structurels, Reported by ACI committee 213, American Concrete Institute

[32] Wilson H.S., Malhotra V.M., (1988). Development of high strength lightweight concrete for structural applications, *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*

[33] Zhang M.H., Gjørsv O.E., (1990). Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste, *Cement and Concrete Research*.

[34] De Larrard F., Le Roy R., (1992). Relation entre formulation et quelques propriétés mécaniques des bétons à hautes performances. *Journal of Materials and Structures*

[35] Regan P.E., Arasteh A.R., (1990). Lightweight aggregate foamed concrete, *Structural Engineer*

[36] T.W. BREMNER, influence of aggregate structure on low density concrete, PhD thesis, Imperial college of science and technology, London, june 1981

[37]. Veronique C., (2005). Propriétés mécanique, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : Approche expérimentale et modélisation théorique. Thèse de doctorat.

[38]. Nilson L.O., Dans:Aguado A., Gettu R., S.P. Shah eds., (1995). The relation between composition, moisture content and durability of conventional and new concrete, *Concrete technology, new Trends, Industrial applications, RILEM Workshop, Barcelona, 7-9 Sept. 1994*, E and PN Spon, London 1995, P. 199

[39] Klieger P., Hanson J.A., (1961), Freezing and Thawing Tests of Lightweight Aggregate Concrete, *Journal of ACI*, Vol. 32, No. 7, PP. 779-796.

[40] S. Weber, H.W. Reinhardt., (1997). A new generation of high performance concrete: concrete with anogenous curing advanced cement based materials. Vol. 6, PP. 59-68.

[41] Mohellebi S., (2014). Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites, Thèse de doctorat.

[42]. Baron J., Sauterey R., (1982). *Le Béton Hydraulique : connaissance et pratique*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussés

[43]. Yang K., (2008). Caractérisation du comportement mécanique des bétons de granulats légers : expérience et modélisation

[44]. Neuville A.M., (2000). La résistance du béton. Dans : propriétés de bétons. Editions Eyrolles. P. 806, ISBN: 2-212-01320-5.

[45]. El Sharief A., Cohen M.D., Olek J., (2005). Influence of lightweight aggregates on the microstructure and durability of mortar, cement and concrete reaserch, Vol. 35, PP. 1368-1376. [en Anglais]

[46]. W.A. Tasong, C.J. Lynsdale, J.C. Cripps., (1999). Aggregate-cement paste interface. Part I. Influence of aggregate geochemistry. *Cement and concrete research*, Vol. 29, PP. 1019-1025.

[47] R. Wasserman, A. Benthur, (1996). nterfacial interactions in lightweight aggregate concrete and their influence on the concrete strength cement and concrete composites. Vol. 18, Iss. 1, PP. 67-76.

[48]. Lo T. Y., Cui H.Z., (2004). Effect of porous lightweight aggregates on strength of concrete. *Materials letters*, Vol. 58, PP. 3089-3090.

[49] J. Zheng, J. Shi, Q. Ma, X. Dai, Z. Chen, Experimental study on humidity control performance of diatomite-based building materials, *Applied Thermal Engineering* 114 (2017) 450–456

[50] S. Benayache, S. Alleg, A. Mebrek, J. J. Suñol, Thermal and microstructural properties of paraon/diatomite composite, Vacuum 157 (2018) 136–144

[51] B. Hamdi and S. Hamdi, Thermal Properties of Algerian Diatomite, Study of the Possibility to Its Use in the Thermal Insulation, International Congress on Ene Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013), Proceedings, Antalya, Turkey, 9- 12 October 2013.

[52] MERADI Hazem, Synthèse et Caractérisation d'une Poudre Thermo protectrice à 1600 °C, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA, (2009).

[53] Yılmaz, B., Ediz, N., 2008. The use of rawand calcined diatomite in cement. Cem. Concr. Compos. 30, 202–211

[54] Breese, R.O.Y., 1994. Diatomite. In: Carr, D.D. (Ed.), Industrial Minerals and Rocks. SMME, Colorado, USA, pp.397-412

[55] Vasconcelos et al; Permeability of diatomite layers processed by different colloidal techniques; J. of the Eur. Ceram. Soc. 20, pp201-207, (2000)

[56] Ph. Rocher, Mémento roches et minéraux industriels Diatomite 1995.

[57] NA 442, Norme Algérienne, ciment, composition spécification et critères de conformité des ciments courantes, 2005