REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : …Matériaux en génie civil…

Thème
Formulation d'un mortier léger à base de bentonite

Présenté par

…Sohaib…chebaiki…

…Ali …Brahimi…

Proposé et Dirigé par

…BOUKSANI…OMAR…..

CO-encadreur

……HADJA … Kawthar…

Promotion Juin 2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage et de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements à nos parents, pour leurs soutiens et leur encouragement pendant toute la vie, et qui vont continuer à nous aider dans tous les projets de l'avenir, ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement à notre promoteur, **Mr. BOUKSANI Omar**, pour l'encadrement de ce mémoire, son aide, sa patience et sa confiance qu'il nous a accordés.

Nous tenons à remercier aussi les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail. Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie Civil de l'université de Médéa, et les enseignants qui ont participé à notre formation.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux être les plus chères pour moi :

A ***ma mère*** *et* ***mon père*** *qui étaient toujours à mes côtés et qui m'a toujours soutenue tout au long de ces années d'études, que j'ai pu accomplir avec succès.*

A mes frères : ***Younes et Abdel Rahim****,*

A tous sœurs : ***Hajer****,* ***Fella et Retaj***

A toute la famille : ***Chebaiki****, et à toute la famille* ***SELMANI***

Et A tous mes amis(es) : ***Youssef****,* ***Oussama****,* ***Abdelhak****,* ***Rida, Islam, Yassine****,* ***Wafi****,* ***Gheribi, Yasser****,* ***Omar,***

A toute la promotion de Génie Civil 2024.

Sohaib Chebaiki

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux être les plus chères pour moi :

A ma **mère** et mon **père** qui étaient toujours à mes côtés et qui m'a toujours soutenue tout au long de ces années d'études, que j'ai pu accomplir avec succès

A mon frère : ***Mebarek***

A ma sœur :***Salma***

A toute la famille :***BRAHIMI*** , et à toute la famille ***SAHI***

A toute mes oncles et tantes

A tous mes amis(es) : ***Hanane, Brahim, Diffallah, Redouan,Omar, Redha ,Nourddine, Walide, Bachire, Mounire, Riade, Oussama,***

A toute la promotion de Génie Civil 2024

BRAHIMI ali

الملخص

البناء بشكل عام يُعد مستهل ًكا كبي ًرا للمواد الخام ألسمنتية، والتي تواجه ثالث مشاكل رئيسية تتمثل في آلتي: استنزاف الموارد الطبيعية، انبعاث ثاني أكسيد الكربون خالل عمليات إلنتاج، وتراكم النفايات البنائية. و لتخفيف هذه المشاكل، تسعى الدراسة إلى

استخدام البنتونيت المكلس من والية تلمسان كبديل بيئي واقتصادي لألسمنت كبوزوالن صناعي،و بعد تحليل تأثيره كإضافة للمالط.

تم تكليس البنتونيت لتفعيله ثم دمجه بنسب مختلفة قابلة لالستبدال مع أسمنت البنتونيت المكلس بنسب تتراوح بين)%0 إلى40 %(أما في المشروع الثاني تمت دراسة تأثير إضافة صوف ألغنام على خواص المالط، حيث تم تحليل خواصه في الحالة الصلبة بما في ذلك قوة الضغط وقوة الشد، و بإلضافة إلى الخواص الحرارية. وأظهرت النتائج أن الخواص الميكانيكية للمالط تنخفض مع زيادة نسبة صوف ألغنام في حين تتحسن الخواص الحرارية، و بالتالي يمكن استخدام صوف ألغنام لتحسين خواص العزل

الحراري للمالط.
الكلمات المفتاحية : بانتونيت . صوف الأغنام . الإسمنت . بوزولان

Résumé

La construction en général est une grande consommatrice de matières premières de ciment, confrontée à trois problèmes principaux : l'épuisement des ressources naturelles, les émissions de dioxyde de carbone lors des processus de production et l'accumulation de déchets de construction. Pour pallier ces problèmes, l'étude cherche à utiliser la bentonite calcinée de l'État de Tlemcen comme alternative environnementale et économique au ciment comme pouzzolane industrielle, après avoir analysé son effet comme additif au mortier. La bentonite a été calcinée pour l'activer puis combinée dans différentes proportions, qui peuvent être remplacées par du ciment bentonite calciné dans des proportions allant de (0 % à 40 %). Dans le deuxième projet, l'effet de l'ajout de laine de mouton sur les propriétés du mortier a été étudié. Ses propriétés ont été analysées à l'état solide, notamment la résistance à la compression et à la traction, en plus des propriétés thermiques. Les résultats ont montré que les propriétés mécaniques du mortier diminuent avec l'augmentation du pourcentage de laine de mouton, tandis que les propriétés thermiques s'améliorent. Par conséquent, la laine de mouton peut être utilisée pour améliorer les propriétés d'isolation thermique du mortier.

Mots-clés Ciment de drapeaux en laine. Pouzzolane . bentounite

Abstract

Construction in general is a large consumer of cement raw materials, facing three main problems: the depletion of natural resources, carbon dioxide emissions during production processes, and the accumulation of construction waste. To overcome these problems, the study seeks to use calcined bentonite from the state of Tlemcen as an environmental and economic alternative to cement as an industrial pozzolan, after analyzing its effect as an additive to mortar. The bentonite was calcined to activate it and then combined in different proportions, which can be replaced with calcined bentonite cement in proportions ranging from 0% to 40%. In the second project, the effect of adding sheep's wool on mortar properties was studied. Its properties were analyzed in the solid state, including compressive and tensile strength, in addition to thermal properties. The results showed that the mechanical properties of the mortar decreased with increasing sheep wool percentage, while the thermal properties improved. Therefore, sheep wool can be used to improve the thermal insulation properties of mortar.

Keywords: Woolflag. Cement. Pozzolan. Bentounite

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Notations

Introduction générale 1

1.1 Contexte 1

1.2 Objectifs 1

1.3 Portée des travaux 2

1.4 Organisation de la thèse 2

Chapitre I

Introduction générale 1

1.1 Contexte 1

1.2 Objectifs 1

1.3 Portée des travaux 2

1.4 Organisation de la thèse 2

I.1.1 Béton de ciment Portland 4

I.1.2. Fabrication de ciment Portland 5

I.1.2.1 Collecte et préparation des matières premières 7

I.1.2.2 Phase de prétraitement et de refroidissement 8

I.1.2.3 Dimensionnement du ciment Portland 9

I.1.2.4 Expédition de ciment Portland 10

I.1.2.5 Pollution de l'environnement par la fabrication de ciment Portland 10
I.1.3. Composition chimique du ciment Portland 12
I.2.1 Pouzzolanes 14
I.2.2 Histoire des pouzzolanes 15
I.2.3 Types de pouzzolanes 15
I.2.4 Chimie des pouzzolanes 16
I.2.5 Évaluation des pouzzolanes 17
I.3.1 Argile bentonite 19
I.3.2 Calcination de l'argile bentonite 20
I.3.3 Historique de l'argile bentonite dans les mélanges de liants 21
I.3.4 Composition du la bentonite 23
I.3.5 Types de bentonite ..... **Error! Bookmark not defined.**
- **Bentonite calcique** 24
- **Bentonite sodique** 24
- **Bentonite de potassium** 24

I.3.6 Utilisations de la bentonite 24
I.3.7 Propriété des bentonites 25
- **Propriétés physiques** 25
- **Poids spécifique** 25
- **Gonflement** 25
- **Viscosité** 26
- **Absorption d'eau (capillaire)** 26
- **Propriétés chimiques** 26
  - Composition 26
  - La calcination des argiles 26

I.3.8 Trouve la bentonite 26
I.4.1. Laines de mouton ..... **Error! Bookmark not defined.**
I.4.2. Histoire de la Laine de moutons 28
I.4.3. Définition de la laine mouton 29
I.4.4. Caractéristiques de la laine de mouton 29
I.4.5. Propriétés de la laine 29
I.4.5.1. Les propriétés physiques de la laine 30
- **Résistance** 30
- **Élasticité** 30
- **Hygroscopicité** 30

- **Flexibilité** 30

I.4.5.2. Les propriétés chimiques de la laine ..... **Error! Bookmark not defined.**

- **Effet des alcalis** 31
- **Effet des acides** 31
- **Effet des solvants organiques** 31

I.4.5.3. Les propriétés biologiques de la laine 31

- **Microorganismes** 31
- **Insectes** 31

I.4.6. Traitements reçoivent les laines animales 32

I.4.7. Avantages de la laine de mouton 32

I.4.8. Limites de la laine de mouton 33

Chapitre II

II.1. Introduction 35

- **État frais** 35
- **État durci** 35

II.2 Materiaux utilises 36

II.3. Caractérisation des matériaux utilisés 36

II.3.1 Ciment 36

A. Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker 37

B. Essais physiques 38

II.3.2 Granulats 40

II.3.2.1 Sable 40

II.3.2.2 Bentonite 42

II.3.3. L'eau de gâchage 43

II.3.4 Adjuvent 43

II.3.5. Déchets de la laine de mouton 44

II .4.Composition des mélanges 45

II.4.1. Bentonite 45

II.4.1.1. Formulation et Composition des mortiers 45

II.4.1.2. Préparation des mélanges 47

II.4.2. la laine de mouton 48

II.4.2.1. Composition de Mortier 48

II.5. Les essais sur le mortier 55

II.5.1. État frais 55

II.5.2. .État durci 55
II .5.2.1.Essai de la résistance à la traction par flexion 56
II .5.2.2.Résistance à la compression 57
II .5.2.3.Essai d'absorption d'eau par capillarité 58
II .5.2.4.Les propriétés thermiques 59
II .6.Conclusion 60

Chapitre III

III.1 Introduction 62
III.2 Influence de la laine du mouton et la bentonite sur le comportement de mortier 62
III.2.1 Caractéristiques du mortier à l'état frais 62
- **Tempé de prise** 62

III.2.2. Caractéristiques du mortier à l'état durci 63
III.2.2.1. Densité 63
III.2.2.2. Résistance mécanique 63
III.2.2.4.Conductivité thermique 73
Conclusion Générale 76
Références bibliographiques 78

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : ciment portland [2] 4

Figure I.2 : les étapes du fabrication de ciment [3] 6

Figure I.3 : Schéma de la production de ciment (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1] 6

Figure I.4 : préparation des matières premières. [4] 8

Figure I.5 : prétraitement et de refroidissement. [5] 9

Figure I.6 ; Types de carburant (Ressources naturelles Canada, 2009). [1] 10

Figure I.7 : Allocation de carburant (Ressources naturelles Canada, 2009). [1] 11

Figure I.8 : Pouzzolanes[6] 14

Figure I.9 : Types de pouzzolanes. [7] 16

Figure I.10 : Bentonite Calcinée. [8] 20

Figure I.11 : barrage de Fläming Gorge. [9] 22

Figure I.12 : Composition chimique de la bentonite. [10] 23

Figure I.13 : Les types de bentonite [11] 24

Figure I.14 : Bentonite en Italie. [14] 27

Figure I.15 : Bentonite en Montana. [15] 27

Figure I.16 : La laine de mouton [16] 28

Figure I.17 : La laine de mérions [18] 28

Figure I.18 : La laine de mouton [21] 29

Figure I.19 : Propriétés de la laine [24] 30

Chapitre II

Figure II. 1.Ciment MATINE 37

Figure II. 2 Appareil de Vicat 39

Figure II. 3.Sable utilisé 41

Figure II. 4: Courbe granulométrique de sable utilisée 41

Figure II. 5 : la bentonite 42

Figure II. 6 : Adjuvant utilisé TOMPO-10 44

Figure II. 7 : La laine du mouton est fendue 50

Figure II. 8 : Laine de mouton en forme de bille 50

Figure II. 9 : Ciment et sable utilisés 50

Figure II. 10 : Le malaxeur utilisé 51

Figure II. 11: Fabrication des éprouvettes 53

Figure II. 12 : Les éprouvette âpres le décoffrage 54

Figure II. 13 : Mesure de l'étalement du mortier 55

Figure II. 14 : Essai de traction par flexion sur éprouvette de mortier 56

Figure II. 15 : Essai de compression sur éprouvette de mortier 58

Figure II. 16 : Dispositif de rupture à la compression 58

Figure II. 17 : Absorption d'eau par capillarité 59

Figure II. 18 : Le CT-mètre utilisé 60

Chapitre III

Figure III. 1: Tempé de prise 62

Figure III. 2: DENSITE 63

Figure III. 3: La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours de Mortier à base de la laine de mouton 64

Figure III. 4: la résistance à la flexion du mortier bentonite pour un dosage de sable de1350 g 65

Figure III. 5: la résistance a la traction de mortier 1 avec avec remplacement de sable avec agrégat pour 0% de bentonite 66

Figure III. 6: la résistance a la traction de mortier 2 avec remplacement de sable avec agrégat pour 10% de bentonite.....66

Figure III. 7: la résistance a la traction de mortier 3 avec remplacement de sable avec agrégat pour 20% de bentonite.....67

Figure III. 8: la résistance a la traction de mortier 4 avec remplacement de sable avec agrègat pour 30%de bentonite.....68

Figure III. 9:La résistance à la compression à l'âge de 28 jours de mortier à base de la laine de Mouton 69

Figure III. 10:la résistance à la compression du mortier bentonite.....70

Figure III. 11 :la résistance a la compression de mortier 1 avec remplacement de sable avec agrégat pour 0% de bentonite 70

Figure III. 12: la résistance a la compression de mortier 2 avec remplacement de sable avec agrégat pour 10% de bentonite 71

Figure III. 13: la résistance a la compression de mortier 3 avec remplacement de sable avec agrégat pour20% de bentonite 72

Figure III. 14: la résistance a la compression de mortier 4 avec remplacement de sable avec agrégat pour 30% de bentonite 72

Figure III. 15:Absorption d'eau par capillarite.....73

Figure III. 16: Conductivité thermiques de mortier à base de la laine de mouton 74

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1 : Composés de ciment Portland (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1] 12

Tableau I. 2: Composition d'oxyde de ciment Portland (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1]..... 13

Tableau I. 3 : Désignations des types de ciment Portland (CSA A3000). [1]..... 13

Chapitre II

Tableau II. 1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 38

Tableau II. 2 : Caractéristique physiques du ciment 39

Tableau II. 3 : Caractéristiques physique de sable utilisés 41

Tableau II. 4: Propriétés physiques de bentonite 42

Tableau II. 5 : Caractéristiques physiques de la laine du mouton utilisé 43

Tableau II. 6 : Compositions des mortiers confectionnés(a) 45

Tableau II. 7 : Compositions des mortiers confectionnés(b) 46

Tableau II. 8 : Compositions des Mortierà base déchet laine du mouton pour (1m3) 48

Tableau II. 9 : Récapitulation des opérations de malaxage 51

Tableau II. 10 : Essais sur mortier durci..... 55

Notations

M : La masse

V : Volume

C : Compacité

P : Porosité

M f : Le module de finesse

CPA : Le ciment portland artificiel

NF : Norme française

EN : Norme européenne

SiO2 : dioxyde de silicium

CAO : La chaux

Al2O3 : L'alumine

Fe2O3 : L'oxyde de fer

MgO: Oxyde de magnésium

Na2O : oxyde de sodium

K2O : oxyde de potassium

TiO2 : Dioxyde de titane

P2O5 : Pentoxyde de phosphore

C4AF : Tétra-calcium aluminoferrite

NaOH : Hydroxyde de sodium

Rt : La résistance à la traction

LM : Laine de mouton

CPJ-CEM II/A 42.5 : Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5

RC : Résistance à la compression en (MPa)

FC : Charge de rupture en (N)

B : Côte de l'éprouvette

MLM : Mortier à base de laine de mouton.

Introduction Générale

Introduction générale

1.1 Contexte

La production de ciment Portland est l'une des principales sources de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, représentant environ 7 % des émissions mondiales annuelles de CO2 (MontEIRO, 2012). Cette pollution provient principalement de la combustion de combustibles à haute température (environ 1450°C) et des réactions chimiques nécessaires à la production de ciment Portland, telles que la décomposition de la chaux en oxyde de calcium et en dioxyde de carbone (Hewlett, 2004). Pour réduire ces émissions, des chercheurs se sont penchés sur l'utilisation de matériaux possédant des propriétés pouzzolaniques ou cimentaires. Les pouzzolanes réagissent chimiquement avec l'hydroxyde de calcium en présence d'eau pour former des composés cimentaires (Mechta & Monteiro, 2006). En les intégrant partiellement dans les liants, ils permettent de diminuer la quantité nécessaire de ciment Portland et donc les émissions de CO2 des fabricants de ciment.

La bentonite, une forme d'argile riche en smectite, est un exemple de pouzzolane potentielle. Elle est composée de plusieurs silicates hydratés tels que le sodium, le calcium, le magnésium, le fer, le lithium et l'aluminium (Murray, 2007). L'utilisation de la bentonite comme pouzzolane pourrait rendre les mélanges liants plus économiques et écologiquement durables que le ciment Portland traditionnel. D'autre part, bien que la laine de mouton soit étudiée pour son potentiel, elle reste un isolant dont la qualité varie selon la nature des matières premières. La laine de mouton peut être brute ou traitée, parfois avec l'ajout de jusqu'à 25 % de fibres synthétiques pour renforcer la cohésion des panneaux ou rouleaux. Elle est principalement utilisée pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments.

1.2 Objectifs

- L’objectif de ce mémoire est d’étudier l’avantage de l’utilisation d’une argile de bentonite calcinée en remplacement partiel du ciment Portland dans le mortier.

- Aussi, ce mémoire étudie l’avantage de l’utilisation de la laine de mouton comme addition dans le mortier.

- Les paramètres étudiés comprennent les propriétés physiques et mécaniques du mortier:

-1.Les propriétés mécaniques examinées incluent la résistance à la compression des éprouvettes de mortier

-2 .Les propriétés physiques comprennent l'étude la conductivité thermique des mortiers contenant de la laine de mouton.

1.3 Portée des travaux

Pour accomplir cette tâche, il est nécessaire de comparer la résistance à la compression du mortier Portland ciment avec de l'argile bentonite (0, 10, 20, 30, 40 %) et de la laine de mouton (0 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 %, 4 %, 4,5 % et 5 %) avec le mortier ordinaire.

1.4 Organisation du mémoire

Cette thèse est composée de 3 chapitres. Le chapitre 1 présente une introduction et énumère les objectifs d'étude des travaux entrepris et une revue de la littérature qui explore le ciment Portland, les pouzzolanes et l'argile bentonite et la laine de mouton. Le ciment Portland est présent en ses histoires, fabrication, compositions chimiques et réactions. L'histoire, les types, la chimie et l'évaluation des pouzzolanes sont discutées. La revue de la littérature sur l'argile bentonite étudie la minéralogie, l'histoire de son utilisation dans les mélanges de liants et la calcination de l'argile bentonite. En plus de définir la laine de mouton et son histoire, et de parler de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, Et aussi les traitements qu'il reçoit et comment il peut en bénéficier. Le chapitre 2 est la caractérisation des matériaux utilisant la méthodologie expérimentale de la résistance à la compression tests, tandis que le chapitre 3 couvre les résultats des tests de compression, traction, absorption, résistance d'eau, et conductivité thermique.

CHAPITRE I
Recherche bibliographique

I.1.1 Béton de ciment Portland

Le béton de ciment Portland est le matériau de construction le plus utilisé au monde (Mamlouk & Zaniewski, 1996)



Figure I.1 ciment portland [2]

Le béton est un mélange hétérogène de ciment, d'eau, d'air, de granulats grossiers, de granulats fins et de divers adjuvants avec des ratios en fonction des propriétés souhaitées, soit à l'état frais (plastique) et/ou le béton durci. La qualité et les propriétés du béton dépendent de la qualité de sa pâte et des agrégats, et de la liaison entre les deux (Kosmatka & Wilson, 2011).

Le béton n'est pas aussi solide ni résistant que l'acier ; cependant, c'est la construction la plus largement utilisée pour au moins quatre raisons principales.

La première raison étant que le béton possède d'excellentes :

* Résistance à l'eau. Sa capacité à résister à la détérioration causée par l'eau par rapport à la rouille

* L'acier et la pourriture du bois sont remarquables. Le béton brut est utilisé presque partout dans le monde.

* Lorsqu'il est utilisé pour les barrages, les revêtements de canaux, les trottoirs, etc. Le béton armé et précontraint peut être vu dans les éléments structuraux qui sont exposés à l'humidité et à d'autres composés chimiques.

* pieux, fondations, semelles, planchers, poutres, colonnes, toits, murs extérieurs et tuyaux (Mechta & Monteiro, 2006).

La deuxième raison pour laquelle le béton est le matériau de construction le plus largement utilisé est la facilité de construction, en ce que différents éléments peuvent être formés dans une variété de formes et de tailles. Fraîchement, le béton gâché, de consistance plastique, peut s'écouler facilement dans un coffrage, puis après plusieurs heures, les durcissent, formant une masse solide permettant de retirer le coffrage et éventuellement de le réutiliser (Mehta et Monteiro, 2006).

La troisième raison pour laquelle le béton est le matériau d'ingénierie le plus largement utilisé est qu'il est généralement le matériau le moins cher et le plus facilement disponible pour la plupart des travaux (Mehta & Monteiro, 2006).

Les principaux composants du béton – ciment Portland, eau, granulats – sont peu coûteux et facilement disponibles dans la plupart des régions du monde.

La quatrième considération est que le béton est durable, car il ne se corrode pas, n'a généralement pas besoin de traitement de surface et sa résistance devrait augmenter avec le temps ; par conséquent, un bon béton nécessite peu d'entretien. La résistance au feu est également l'une des caractéristiques les plus importantes du béton : avec une couverture de béton adéquate pour les armatures/câbles précontraints, la capacité calorifique d'un élément en béton peut être assez élevée avant sa rupture en raison de la chaleur affectant les éléments de renforcement (Callister, 2007). **[1]**

I.1.2. Fabrication de ciment Portland

Le processus de fabrication du ciment lui-même est une série de 4 processus différents illustrés. La première étape consiste à rassembler et à préparer les matières premières. La deuxième étape est la prétraitement/refroidissement, où les matières premières sont modifiées chimiquement et physiquement dans le four pour produire du ciment.

Portland, puis refroidi. La troisième étape consiste à modifier le matériau chimiquement modifié à la bonne taille de particules dans une usine de finition. Le processus final est l'expédition du ciment Portland au client. **[1]**

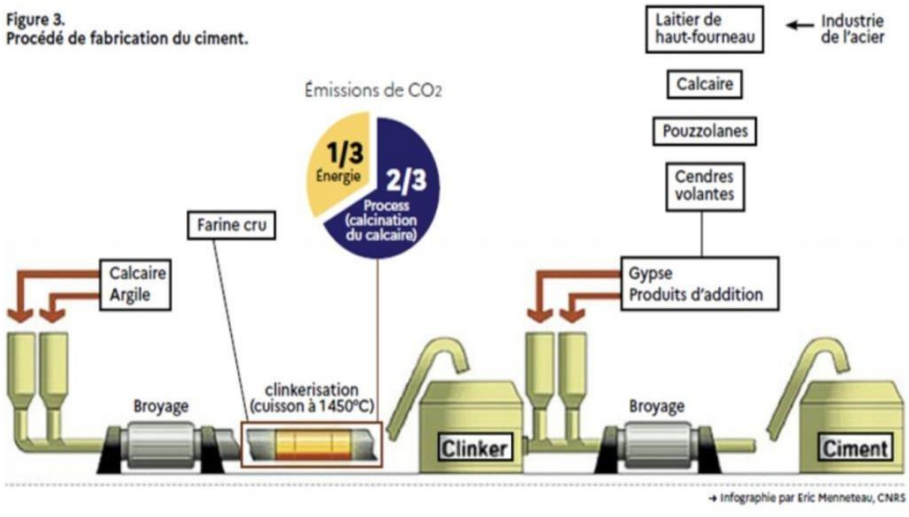


Figure I.2 les étapes du fabrication de ciment [3]

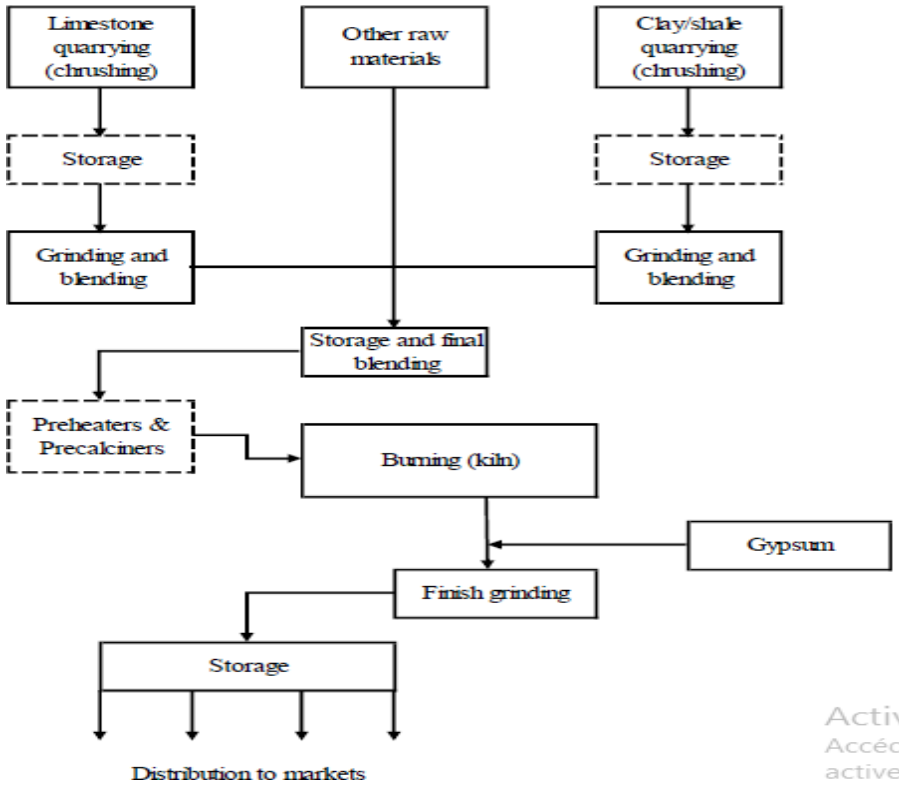


Figure 3:Schéma de la production de ciment (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1]

Il existe également différents styles de cimenterie ; cependant, le processus ci-dessus est similaire dans chacun. Les différents types de plantes peuvent déterminer comment les matériaux sont utilisés et la quantité d'énergie nécessaire dans une plante. Les différents types de plantes comprennent :

– Sec

– À moitié sec

– Mouiller

– Semi-humide

Dans les procédés de fabrication à sec, les matières premières sont déshydratées et broyées pour former une poudre qui peut être introduite dans un préchauffeur, un précalcinateur ou un système de séchoir long. Dans les plantes semi-sèches, plutôt qu'une poudre coulante, les matières premières sont séchées, broyées puis sont pelletisées avec de l'eau (12-14 %). Les palettes sont introduites dans un préchauffeur à grille avant le four ou dans un four long avec croix. Dans le procédé par voie humide, les matières premières sont broyées séparément pour faire les boues, elles sont ensuite mélangées et pompées directement vers le four ou le séchoir à boues. Le style humide du processus est devenu obsolète en raison d'une meilleure technologie de broyage et de l'utilisation de haute énergie pour sécher la bouillie. Le processus semi-humide prend la boue du processus filtré déshydraté et les matériaux sont soit transformés en granulés, introduits dans le préchauffeur de grille, soit finement broyés pour produire la poudre (Berdowski, et al. 2009). Quant au type de processus de production de ciment construit, cela a été déterminé par les matières premières locales et la technologie de l'époque. L'emplacement des usines est généralement à proximité d'une carrière de calcaire et d'autres matières premières pour réduire les frais d'expédition et la modification du matériel avant l'expédition. **[1]**

I.1.2.1 Collecte et préparation des matières premières

Les matières premières entrant dans le processus de fabrication du ciment sont l'oxyde de calcium, l'oxyde de silicium, l'oxyde d'aluminium et l'oxyde ferreux. Ces matériaux se présentent généralement sous la forme de calcaire, craie, marne, gypse et/ou argile. Il est important d'utiliser des matériaux d'une pureté adéquate et uniforme de composition dans le processus de fabrication pour maintenir une production de haute qualité. Il est important de noter que la fabrication du ciment Portland est généralement composée à deux tiers de matériaux calcaires (calcaire) et à un tiers de matières argileuses, ferrifères et siliceuses (alumine, fer, silice) (Monteiro, 2012). En moyenne 1,57 tonne de matière première est

utilisée dans la production d'1 tonne de clinker (Berdowski, et al. 2009). Toutes les matières premières proviennent d'un certain type de carrière ou de mine. Les opérations à ces endroits consisteront d'abord à forer, dynamiter et excaver les matériaux. Une fois les matériaux collectés, ils sont expédiés à l'usine de fabrication. Là, ils sont broyés et passés au crible avant de les stocker pour les utiliser dans le processus de fabrication (Oley, 1998). **[1]**

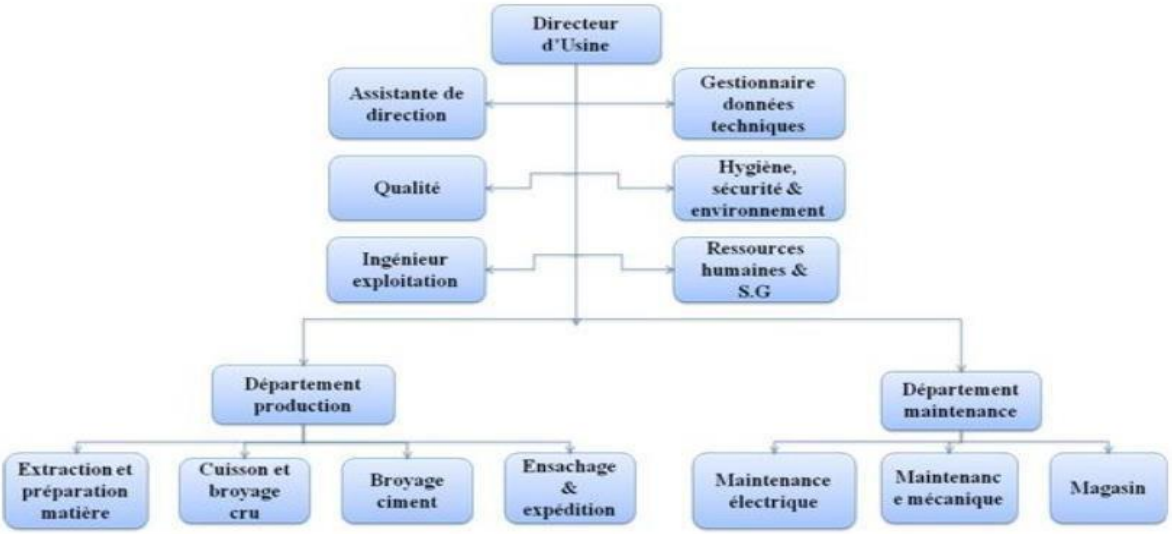


Figure I.4:préparation des matières premières. [4]

I.1.2.2 Phase de prétraitement et de refroidissement

La phase de prétraitement et de refroidissement correspond à la phase de traitement chimique et de changements physiques à haute température pour créer les propriétés du ciment Portland hydraulique. Les matières premières sont extraites du processus initial et alimentent une tour de préchauffage, chauffent échangeur, ou directement dans le four selon la cimenterie. Un préchauffage la tour est utilisé dans les nouvelles installations avec un système d'alimentation sèche. Un échangeur de chaleur peut également être utilisé pour réduire la longueur du four. Les usines de type procédé humide auront un long four qui peut mesurer 6 m de long diamètre et 180 m de longueur. Lorsque les matériaux sont traités, ils resteront dans le four pendant 2,5 heures. Avec le procédé à sec, le temps est réduit à environ 1 à 1,5 heure, et si une tour de préchauffage a été utilisée, le matériau peut être traité en aussi peu que 20 minutes dans un four de 80 m long. Tous les fours tourneront généralement à 60 à 200 tours par heure et produiront plus de 5000 tonnes/jour pour les fours humides (Mindess, Young, & Darwin, 2003).

Une fois que les matières premières ont terminé tout préchauffage, elles sont introduites dans le four. Dans le four, les matériaux sont secs ou seront séchés, préchauffés, frittés, puis clinkérisés. Une fois clinkérisé, le mélange est refroidi à certains taux pour maintenir les propriétés souhaitables. La première réaction chimique à avoir lieu est la calcination du calcaire en oxyde de calcium, à environ 900 °C. Dans cette réaction, un tiers du calcaire est converti en CO2 (Oley, 1998). Le prochain processus à avoir lieu est la réaction de l'oxyde de calcium avec la silice, l'alumine et les oxydes ferreux pour former les silicates, les aluminates et ferrites du clinker. Cela se produit entre 1400 et 1500 °C (Berdowski, et al., 2009).

Il faut environ 1700 MJ/tonne de clinker pour que les réactions aient lieu dans le four, non y compris les phases de séchage et de préchauffage ; cependant, il faut 3500 à 5000 MJ/tonne de clinker pour allumer le four lui-même (Berdowski, et al. 2009). Le clinker est ensuite refroidi pour conserver les propriétés souhaitées. Les refroidisseurs les plus courants sont à grille alternative, planétaire et rotative et nécessitent généralement 1 à 2 kg d'air/kg de clinker pour refroidir le clinker. Certaines usines peuvent réutiliser cet air dans la phase de séchage avec les matières premières (Oley, 1998). Le clinker sort dans le refroidisseur sous forme de nodules gris durs dont la taille varie de 0,3 à 5 cm. Taille. **[1]**

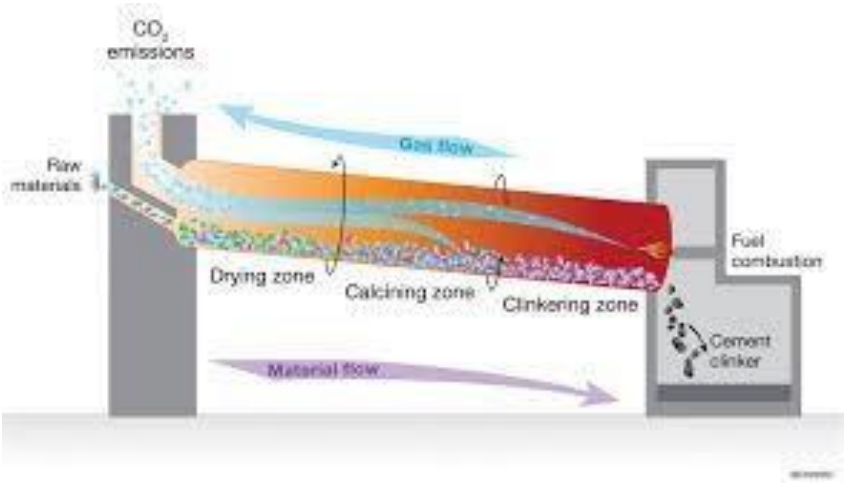


Figure I.5:prétraitement et de refroidissement. [5]

I.1.2.3 Dimensionnement du ciment Portland

Pour broyer le clinker, la plupart des usines utilisent un système fermé où le clinker est mélangé avec jusqu'à 5 % de gypse (sulfate de calcium)/anhydrite naturelle, pour maîtriser le temps de prise. Le mélange est placé dans un broyeur à rouleaux pour la réduction de taille primaire, puis envoyé dans un broyeur à boulets pour obtenir la granulométrie souhaitée. Un

séparateur d'air est utilisé pour diviser les particules par taille, et les particules trop grosses sont placées à nouveau dans le broyeur, jusqu'à ce que les exigences de taille soient satisfaites (Oley, 1998). **[1]**

I.1.2.4 Expédition de ciment Portland

Le ciment est ensuite extrait du broyeur de finition avec des élévateurs et des bandes transporteuses pour être stocké dans des silos. Ensuite, le ciment Portland est transporté dans des sacs à parois multiples, en vrac par route, par rail ou par bateau jusqu'à sa destination finale. **[1]**

I.1.2.5 Pollution de l'environnement par la fabrication de ciment Portland

La quantité de CO2 rejetée dans l'atmosphère par la fabrication du ciment Portland est environ 0,5320 kg pour la décomposition du CaCO3, 0,3276 kg pour le chauffage du four et 0,03293 kg pour les opérations du four autres que le chauffage, pour 1 kg de ciment Portland créé (Hewlett, 2004).

Dans la production de ciment, l'utilisation de combustibles fossiles à forte intensité de carbone est importante. Les combustibles les plus utilisés sont produits du charbon et du coke de pétrole. Cependant, il existe de nombreuses autres sources et elles sont présentées dans Illustration. **[1]**

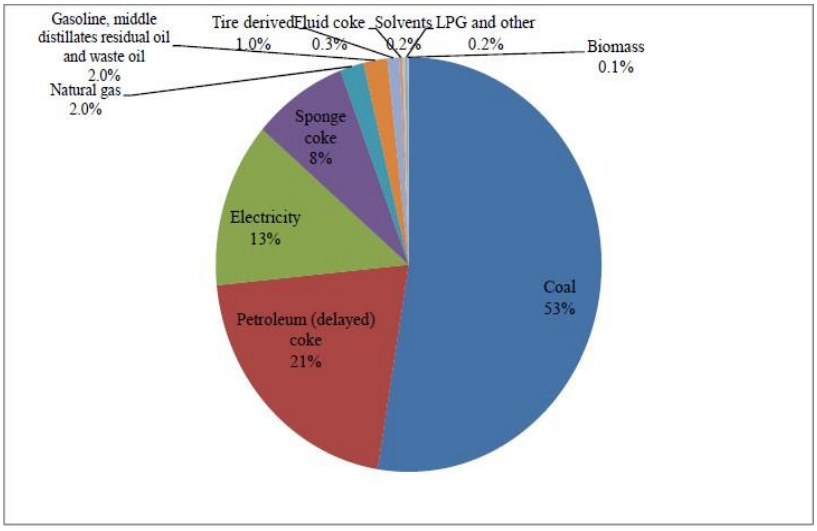


Figure I.6 ;Types de carburant (Ressources naturelles Canada, 2009). [1]

L'énergie est utilisée dans de nombreux domaines différents du processus de fabrication du ciment. Il est important de noter que la plus grande consommation d'énergie est dans le four avec environ 85 %. Dans la figure I.7, il peut être vu que la préparation et la finition des matériaux représentent 4 % et 5 % de la consommation d'énergie, respectivement. **[1]**

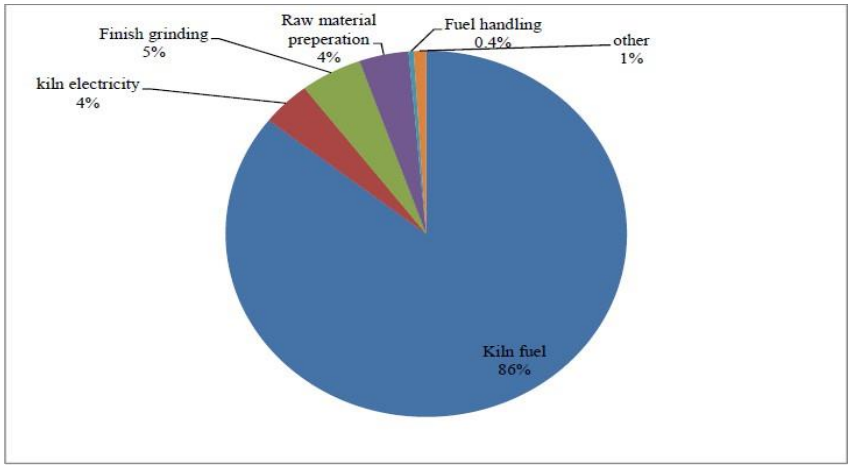


Figure I.7 :Allocation de carburant (Ressources naturelles Canada, 2009). [1]

La production de ciment représente environ 7 % des émissions mondiales de CO2 (MontEIRO, 2012). La majorité des émissions proviennent de l'exploitation de l'usine et du CO2 de la transformation du calcaire en chaux. D'autres émissions nocives dépendent des matières premières et des combustibles pour la plante et comprennent :

* Différents oxydes d'azote (NOx) ;

* Anhydride sulfureux (SO2) et autres composés soufrés ;

* Poussière

* Composés organiques volatils (COV)

* Dibenzo dioxines et dibenzo furanes polychlorés (PCDD et PCDF) ;

* Métaux et leurs composés ;

* Fluorure d'hydrogène (HF)

* Chlorure d'hydrogène (HCl) ;

* Monoxyde de carbone (CO) ;

* Ammoniac (NH3).

I.1.3. Composition chimique du ciment Portland

Le ciment le plus largement utilisé est le ciment Portland, un matériau gris très fin. Il est composé de silicate bicalcique, de silicate tricalcique, d'aluminate tricalcique et de tétra-calcium aluminoferrite, additionnés de sulfate de calcium (voir tableau I.1 et tableau I.2). Cependant, il existe différents types de ciment Portland avec des compositions et des finesses variées, adaptés à différentes applications et situations (voir tableau I.3). [1]

Tableau I. 1 : Composés de ciment Portland (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1]

composé	formule chimique	abréviation	pourcentage de poids
Silicate tricalcique	**3caO. SiO2**	**C3S**	**55**
Silicate bicalcique	**2CaO. SiO2**	**C2S**	**18**
Silicate tricalcique	**2Cao. Al2O3**	**C3A**	**10**
Alliminofirrite tricalcique	**4Cao. Al2O3.Fe2O3**	**C4AF**	**8**
Gypse	**CaO.SO3.2H2o**	**CSH2**	**6**

Tableau I. 2: Composition d'oxyde de ciment Portland (Mindess, Young et Darwin, 2003). [1]

composé	abréviation	Nom commun	Pourcentage de poids
Cao	C	chaux	64.67
SiO2	S	silice	21.03
Al2O3	A	alumine	6.16
Fe2O3	F	oxyde de fer	2.58
Mg O	M	magnésie	2.62
K2o	K	alcalis	0.61
Na2O	N		0.34
SO3	S	trioxyde de soufre	2.03

Tableau I. 3 : Désignations des types de ciment Portland (CSA A3000). [1]

Type	Description	Précédent TYPE	ASTM type
GU	Ciment hydraulique à usage général	10	I
MS	Ciment hydraulique moyennement résistant aux sulfates	20	II
MH	Ciment hydraulique à chaleur d'hydratation modérée	20	II(MH)
HE	Ciment hydraulique à haute résistance initiale	30	III
LH	Ciment hydraulique à faible chaleur d'hydratation	40	IV
HS	Ciment hydraulique à haute résistance aux sulfates	50	V

Le ciment de type GU est largement utilisé dans diverses constructions telles que les chaussées, les réservoirs et les tuyaux, grâce à son contenu élevé en C3 S qui favorise le développement précoce de la résistance. Le type MS, avec moins de 7,5 % de C3A, est choisi pour sa résistance modérée aux sulfates, adaptée à certaines conditions spécifiques telles que certaines eaux ou types de sols. Le type MH est spécialement conçu pour réduire la chaleur d'hydratation et est privilégié dans les structures de grande masse comme les grands piliers et les fondations importantes. Le type HE, similaire au GU, mais avec une finesse de particules accrue, offre une résistance initiale élevée, idéale pour les conditions de temps froid ou lorsque le décoffrage rapide est nécessaire. Le type LH, adapté aux projets nécessitant une faible chaleur d'hydratation, est utilisé dans des ouvrages tels que les grands barrages. Enfin, le type HS, hautement résistant aux sulfates, garantit une meilleure protection contre les sulfates que le type MS, en maintenant une teneur en C3A inférieure à 3,5 %. **[1]**

I.2.1 Pouzzolanes

Les pouzzolanes sont des matériaux à base de silice ou de silice et d'alumine, qui ne possèdent généralement pas de valeur cimentaire par eux-mêmes. Cependant, lorsqu'ils sont finement divisés et en présence d'humidité, ils réagissent chimiquement avec l'hydroxyde de calcium à température ambiante pour former des composés dotés de propriétés cimentaires, tels que les silicates de calcium hydratés et les silicates de calcium aluminate hydratés (Kosmatka et Wilson, 2011). Les spécifications reconnues pour les matériaux cimentaires comme les cendres volantes et les pouzzolanes naturelles sont définies dans les normes ASTM C 618 ou CSA A3000, en fonction de la juridiction et de la norme respective. Les méthodes d'essai sont spécifiées dans les normes ASTM C 311 ou CSA A3000 [1].



Figure I.8:Pouzzolanes[6]

I.2.2 Histoire des pouzzolanes

La première utilisation connue de la pouzzolane dans un liant hydraulique remonte à un mélange de chaux et de pouzzolane, de la terre de diatomées du golfe Persique, datant de 5000 à 4000 av. J.-C. Ensuite, la pouzzolane la plus ancienne utilisée était la cendre volcanique issue de deux éruptions volcaniques, toutes deux survenues dans la région méditerranéenne. La première éruption a eu lieu entre 1600 et 1500 av. J.-C. sur l'île égéenne de Thera, maintenant Santorin, en Grèce, tandis que l'autre s'est produite au mont Vésuve, près de la baie de Naples, en Italie, en 79 ap. J.-C. Ces deux types de cendres volcaniques étaient principalement composés de verre (pierre ponce et obsidienne). Les Grecs, entre 700 et 600 av. J.-C., ont découvert les mélanges de pouzzolane et de chaux, transmettant ainsi ce savoir aux Romains vers 150 av. J.-C. Pendant leurs 600 ans de domination, les Romains ont découvert et développé divers types de pouzzolanes à travers leur empire. De nombreuses structures construites pendant l'Empire romain utilisant des liants à base de pouzzolane et de chaux sont encore en usage aujourd'hui, témoignant de la performance remarquable des mortiers à base de chaux et de pouzzolane. **[1]**

I.2.3 Types de pouzzolanes

Les matériaux pouzzolaniques sont généralement classés en deux catégories différentes, la première étant des pouzzolanes naturelles et la seconde étant des pouzzolanes artificielles. Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux naturels qui ne nécessitent pas de traitement supplémentaire qui altère les propriétés chimiques. Les pouzzolanes naturelles, cependant, nécessitent généralement un broyage pour obtenir une granulométrie souhaitée. Types de pouzzolane naturelle incluant, mais sans s'y limiter, des roches incohérentes (pouzzolane italienne), des matériaux zéolitiques (trass, tuf jaune), des terres blanches italiennes et des terres diatomées.

Les pouzzolanes artificielles sont le résultat d'une altération chimique ou structurelle d'un matériau à l'origine ayant peu ou pas d'activité pouzzolanique. Des exemples de pouzzolanes artificielles comprennent les cendres volantes, les argiles, le schiste brûlé et la fumée de silice. La division des deux classes de naturel et d'artificiel de la pouzzolane n'est pas toujours bien définie, car certains matériaux, tels que le taupe danois, la gaze française et les tufs ryolitiques des USA, contiennent des pouzzolanes naturelles ainsi que des argiles qui prennent de fortes caractéristiques pouzzolaniques après cuisson (Hewlett, 2004). **[1]**



Figure I.9:Types de pouzzolanes. [7]

I.2.4 Chimie des pouzzolanes

Il est important de comparer la réaction d'hydratation du ciment et des pouzzolanes pour comprendre les différences dans leurs comportements.

Réaction d'hydratation du ciment Portland

- $C3\ S + H \rightarrow C - S - H + CH$

Silicate tricalcique + eau = silicate de calcium hydraté + hydroxyde de calcium

Pouzzolane Ciment Portland Réaction d'hydratation

- $Pouzzolane + CH + H \rightarrow C - S - H$

Pouzzolane + hydroxyde de calcium + eau = silicate de calcium hydraté L'utilisation de ciments pouzzolanes présente trois avantages techniques généraux, qui peuvent être déterminés lors de l'examen de la réaction d'une pouzzolane et d'hydroxyde de calcium. Le premier avantage étant la réaction lente. Une réaction plus lente par rapport à l'OPC est qu'il fournit un taux de développement de la résistance et de dégagement de chaleur.

Le deuxième avantage est que la réaction est la consommation de calcium d'hydroxyde par rapport à la réaction OPC produisant de l'hydroxyde de calcium, ce qui aide à la durabilité de la pâte hydratée en milieu acide. Cela se voit dans les réactions montrées ci-dessus. Le

troisième avantage est que le ciment pouzzolane a la capacité de remplir plus efficacement des espaces capillaires (Mechta & Monteiro, 2006).

En plus de contribuer à la silice réactive aux réactions chimiques, les pouzzolanes peuvent également contribuer à l'alumine réactive. Lorsque l'alumine réactive est en présence d'hydroxyde et de sulfate de calciumions, les produits cimentaires tels que C4 AH13, AFt et AFM peuvent être formés. Cependant, ces et les propriétés formées dépendent grandement des conditions physiques et chimiques, mélangeant proportions et conditions de séchage (Mehta & Monteiro, 2006). **[1]**

I.2.5 Évaluation des pouzzolanes

La norme ASTM C618 établit des spécifications pour les cendres volantes de charbon et les pouzzolanes naturelles brutes ou calcinées destinées à être utilisées dans le béton, avec trois classifications : classe N, classe F et classe C. La classe N concerne les pouzzolanes naturelles brutes ou calcinées, telles que certaines terres de diatomées, cherts et schistes opalins, tufs et cendres volcaniques ou pumicites, calcinées ou non, ainsi que divers matériaux nécessitant une calcination pour obtenir des propriétés satisfaisantes, comme certaines argiles et schistes. La classe F concerne les cendres volantes qui possèdent des propriétés pouzzolaniques, mais non cimentaires. La classe C est composée de cendres volantes contenant des particules pouzzolaniques.

Propriétés et certaines propriétés cimentaires. CSA A3000 a une nomenclature similaire à ASTM C618 avec N utilisé pour les pouzzolanes naturelles. L'ASTM C618 a quatre exigences chimiques qui doivent être respectées lors de l'évaluation d'un projet pouzzolane telle que l'argile bentonite calcinée. Pour répondre aux exigences de la classe N, les oxydes SiO2 + A12 O3 + Fe2 O3 doivent totaliser au moins 70 % des composants. La perte de masse à l'allumage peut aller jusqu'à 10,0 % maximum, c'est la même chose que CSA A3000. La perte de masse à l'allumage selon ASTM C311 est que le matériau est chauffé à 750 ± 50 °C dans un creuset en porcelaine et suit le processus de la norme ASTM C114.

La troisième exigence chimique de la norme ASTM C618 est que la teneur maximale en SO3 est de 4,0 %. Alors que la CSA A3000 fixe la teneur maximale en SO3 à 3,0 %. L'exigence chimique finale est de 3,0 % de taux d'humidité maximal.

Cependant, la capacité de performance des cendres volantes ou de la pouzzolane naturelle à réagir avec l'hydraulique et le ciment dans le béton n'est pas prévue par les exigences chimiques décrites dans la norme ASTM C618, car il aide seulement à décrire la composition et l'uniformité du matériau pouzzolanique.

L'ASTM C618 décrit les propriétés physiques qui doivent être respectées et d'autres exigences facultatives dans une pouzzolane naturelle, qui comprend les exigences physiques suivantes :

*Finesse

La finesse est la quantité de matière retenue sur un tamis de 45 μm (N° 325). La réactivité dans la plupart des cas est directement liée à la finesse du matériau, car les matériaux de base prennent plus de temps à réagir dans les mélanges de béton (Comité ACI 232, 2000). Pour répondre aux exigences de l'ASTM C618, le maximum admissible retenu sur le tamis de 45 μm est de 34 % et dans CSA A3000, le maximum admissible retenu est de 24 % sur le tamis de 45 μm.

* Indice d'activité de force L'indice d'activité de résistance n'est pas considéré comme une mesure de la résistance à la compression de la pouzzolane dans le béton, mais de la résistance de la pouzzolane par rapport à celle du ciment utilisé et à la pouzzolane elle-même. Elle ne fournit aucune information sur la proportion optimale de pouzzolane dans du béton. L'indice d'activité de résistance est la résistance d'un cube de 50 mm (2 po), en utilisant 80 % de Portland ciment et 20 % de pouzzolane à 7 et 28 jours. La force devrait être de 75 % du ciment Portland mélangé témoin à 7 et 28 jours pour les cendres volantes et les pouzzolanes naturelles. La CSA A3000 n'établit pas de pourcentage, mais exige plutôt que la résistance soit au minimum de 14,5, 20,0 et 26,5 MPa à 3,7 et 28 jours respectivement.

* Besoin en eau.

Afin de respecter la norme ASTM C618 pour les pouzzolanes naturelles, la quantité d'eau utilisée ne doit pas dépasser 115 % du mélange de référence. Cette limite est déterminée en se basant sur les exigences en eau pour l'indice d'activité de force avec du ciment Portland, où l'eau est ajustée pour obtenir un débit de ± 5 % par rapport au mélange de référence.

* Solidité

La solidité est mesurée par l'expansion ou la contraction en autoclave d'une pâte composée de 25 parties de pouzzolane et 100 parties de ciment Portland en poids, comme indiqué dans la norme ASTM C150. La méthode d'essai pour la solidité est définie dans la norme ASTM C151. Un changement de longueur maximum de 0,8 % est autorisé par ASTM C618 et il est précisé que si la pouzzolane contiendra plus de 20 % du matériau cimentaire dans le mélange de projet proposé, la pâte utilisée pour les essais en autoclave doit contenir le pourcentage prévu de pouzzolane. Ceci est similaire à CSA A3000.

Le test de solidité, réalisé par expansion en autoclave, protège contre l'expansion retardée Cela pourrait se produire si des quantités suffisantes de MgO sont présentes sous forme de périclase ou si CaO est présent sous forme dure. Chaux libre calcinée (Comité ACI 232, 2000).

* Limites d'uniformité

Les limites d'uniformité décrites dans la norme ASTM C618 sont spécifiées comme la variation maximale de densité et la finesse dans des limites pratiques pour les expéditions.

Sur une période de temps. La variation maximale de densité et le pourcentage retenu sur un tamis de 45 µm (N° 325) est de 5 %. **[1]**

I.3.1 Argile Bentonite

La bentonite est un minéral argileux abondant dont la composition n'est pas uniforme (Watts, Bilanski, & Menezes, 1986). Le terme de roche bentonite est couramment utilisé pour le nom du minéral smectite qui est composé de plusieurs hydrates de sodium, de calcium, de magnésium, de fer et de lithium aluminium silicates. Les noms des minéraux individuels du groupe comprennent la montmorillonite de sodium, la montmorillonite de calcium, la saponite (Mg), la natronite (Fe) et l'hectorite (Li). (Murray, 2007)

Le nom de Bentonite a été suggéré à l'origine par Knight en 1898 pour une formation d'argile particulière dans le Wyoming, États-Unis. Ross et Shannon (1926) ont fourni la définition suivante pour la bentonite : « La bentonite est une roche composée essentiellement d'un minéral cristallin ressemblant à de l'argile formé par la dévitrification et l'altération chimique qui l'accompagne d'un matériau igné vitreux, généralement un tuf ou des cendres volcaniques ». Comme il existe maintenant de nombreuses argiles qui ne proviennent pas de cendres

volcaniques ou de Tuffé, Grimm et Guen (1978) ont défini le terme bentonite comme une argile composée de minéraux à dominante smectite sans distinction d'origine.

La bentonite peut varier en couleur, allant du brun, vert olive au gris bleu et rarement, blanc. Les Bentonites blanches sont plus précieuses et souhaitables pour les applications nécessitant une couleur blanche (Murray, 2007). **[1]**



Figure I.10:Bentonite Calcinée. [8]

I.3.2 Calcination de l'argile Bentonite

La calcination est le processus au cours duquel un matériau réagit à des températures élevées, se dissociant en un solide différent et un gaz. Selon Callister (2007), les températures de calcination de l'argile Bentonite peuvent varier considérablement en raison de la diversité de sa minéralogie. Grim & Guven (1978) ont décrit les réactions typiques observées lors du chauffage de la smectite à des températures élevées. Initialement, l'eau interstitielle est éliminée à des températures comprises entre 100 et 150 °C pour toutes les argiles. Ensuite, les smectites perdent leur capacité d'expansion de réseau lorsqu'elles sont chauffées entre 100 et 300 °C, cette température variant en fonction de la composition chimique et du cation échangeable. Entre 450 et 700 °C, les smectites libèrent leur eau hydroxylée, une fois de plus dépendant de la composition chimique et du cation échangeable. Les smectites dioctaédriques, telles que la montmorillonite, subissent peu ou pas de rétrécissement ni de destruction de la structure de leur réseau lors de la perte d'eau hydroxyle. Cependant, pour les smectites trioctaédriques, comme la saponite, la suppression de l'eau hydroxyle entraîne la destruction

de la structure du réseau et un rétrécissement du matériau. La déformation du réseau des smectites dioctaédriques se produit à environ 900 °C selon Grim & Guven (1978).

À des températures supérieures à la structure du réseau en cours de destruction, les smectites formeront une variété de nouvelles phases cristallines en fonction de leur composition chimique et de leur structure. La haute température de phase s'accompagne de vitrification et de retrait jusqu'à 20 % du volume. Pour les riches en fer, les smectites, la phase de fusion se produit vers 1000 °C et pour les smectites à faible teneur en fer vers 1500 °C.

Les variétés riches en fer ont peu ou pas de formation de phase cristalline. De plus, « beaucoup, mais pas toutes, les smectites contiennent suffisamment de fer pour produire une couleur de cuisson rouge à brune » (Grim & Guven, 1978).

Dans une étude menée par Taher (2003), l'argile montmorillonite a été soumise à différents degrés de chauffage allant de 200 °C à 900 °C. Elle a ensuite été combinée avec de la chaux et de l'eau pour déterminer la température optimale d'activation de l'argile ainsi que le rapport idéal entre la chaux et l'argile. Initialement, l'argile a été mélangée avec de la chaux dans des proportions de 90 :10, 80 :20, 70 :30 et 60 :40. Par la suite, de l'éthanol a été ajouté pour assurer une homogénéité totale dans les mélanges. Après le séchage des échantillons pendant une nuit à 105 °C, de l'eau a été introduite dans les mélanges selon des ratios eau/solide de 0,5, 0,6 et 0,7 en poids, puis placés dans des moules cylindriques (ayant une section transversale de 3,14 cm2 et une hauteur de 2 cm). Les spécimens ainsi obtenus ont été durcis dans un autoclave sous une pression de dix atmosphères pendant des périodes de 2, 6, 12 et 24 heures. L'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour examiner la morphologie et la microstructure de la pâte. Les résultats de l'étude ont révélé que le traitement thermique optimal de l'argile était à 1000 °C, avec un mélange optimal de 80 % de montmorillonite et 20 % de chaux. [1]

I.3.3 Historique de l'argile bentonite dans les mélanges de liants

L'utilisation d'argile Bentonite dans les mélanges de liants est rare dans l'industrie du béton. Il y a deux manières qu'il peut être utilisé dans le mélange de liant. Le premier étant un ajout en petites quantités de 1 à 2 % de ciment Portland en poids pour améliorer la maniabilité, réduire la ségrégation des agrégats et améliorer l'imperméabilité (Grim & Guven, 1978).

La deuxième utilisation de l'argile bentonite dans les mélanges de liants est comme pouzzolane une fois qu'elle est calcinée pour améliorer la réactivité de la pouzzolane. Le Bureau of Reclamation des États-Unis a mené des études dans les années 1950 pour rechercher quelle pouzzolane utiliser dans le barrage Ashley (maintenant le barrage de Fläming Gorge).

Le Bureau a décidé d'utiliser un barrage-voûte en béton, figure I.11, avec de la montmorillonite calcinée comme une pouzzolane sur la Green River (Bureau of Réclamation, 1968).

Le barrage est une structure en béton à voûte mince d'une hauteur de 153 m et mesure 391,7 m de longueur à la crête de la chaussée. Le barrage de Fläming Gorge contient 754 310 m3 de béton de masse.

Le béton a été mis en place pour la première fois en 1960 et terminé en 1963 (Bureau of Reclamation, 1976). Une photo du barrage est montrée à la figure I.11. La montmorillonite calcinée a été sélectionnée pour le projet en remplacement partiel du ciment Portland en raison de la température d'hydratation plus basse, du coefficient de dilatation gérable, supérieur à la résistance requise pour le projet et inférieur que les besoins en eau habituels lors de la comparaison avec les alternatives étudiées par le Bureau of Remise en état (Bureau de remise en état, 1965). **[1]**



Figure I.11:barrage de Fläming Gorge. [9]

Le béton de masse du barrage de Fläming Gorge a été classé en trois sections, à savoir l'intérieur béton contenant de la pouzzolane, le béton extérieur contenant de la pouzzolane et l'extérieur béton sans pouzzolane. En raison des exigences de durabilité de l'extérieur en aval et de la face extérieure en amont au-dessus de 1478,3 m d'altitude, aucune pouzzolane n'a été utilisée ; cependant, des supplémentaires Le ciment Portland a été utilisé pour augmenter la durabilité (Bureau of Réclamation, 1976). La pouzzolane utilisée dans le barrage de Fläming Gorge était de l'argile montmorillonite calcinée de Laramie, Wyoming (Bureau de Réclamation, 1965).

Le ciment utilisé dans la partie intérieure a été remplacé à 30 % par de l'argile montmorillonite calcinée, et le ciment dans le ciment extérieur avait un remplacement de 25 %. Tout le béton de masse du barrage contenait du ciment Portland à faible teneur en alcali avec 1 % de calcium chlorure en poids du ciment. Lorsque la température moyenne de l'air tombe en dessous de 4,4 °C, un adjuvant entraîneur a été ajouté au mélange de béton.

Le Bureau of Reclamation des États-Unis a effectué des tests sur le béton à 6 mois et 1, 3,5 et 10 ans après l'achèvement du barrage. Le Bureau a carotté le barrage à chaque intervalle et a trouvé que l'état général du béton du barrage de Flaming Gorge après 10 ans de service était très bon… (Bureau of Réclamation, 1976). Le test de résistance à la compression Les résultats sont présentés pour le barrage. Uniquement le béton de masse intérieure avec pouzzolane et la masse extérieure en béton sans pouzzolane ont été testés. Le béton de masse intérieur était moins résistant que le béton de masse extérieur sans pouzzolane ; cependant, il a continué à se renforcer jusqu'à la cinquième année de service avec un gain de force important entre les années 3 et 5. **[1]**

I.3.4 Composition de la bentonite

Chemical composition	**Bentonite**
SiO_2 (%)	61.28
Al_2O_3 (%)	17.79
Fe_2O_3 (%)	3.01
CaO (%)	4.54
Na_2O (%)	2.70
MgO (%)	2.10
K_2O (%)	1.24

Figure I.12:Composition chimique de la bentonite. [10]

I.3.5 Types de bentonite

Il existe trois types de Bentonites :

- **Bentonite calcique**

Elles constituent la plus grande part des gisements exploités dans le monde. Elles contiennent essentiellement des ions (Ca2 +) en position interfoliaire. Ces argiles présentent un taux de gonflement de 3 à 7 fois le volume initial. **[13]**

- **Bentonite sodique**

Ce sont des argiles rares. Leur ion interfoliaire ou échangeable est Na+. Elles ont un pouvoir de gonflement très élevé (12 à 18 fois). **[13]**

- **Bentonite de potassium**

Aussi connue sous le nom de bentonite de potasse ou de K bentonite, la bentonite de potassium est une argile illitique riche en potassium formée à partir d'une altération des cendres volcaniques. **[13]**



Figure I.13:Les types de bentonite [11]

I.3.6 Utilisations de la bentonite

La bentonite est l'argile industrielle la plus importante en raison de son principal composant de montmorillonite qui lui confère une capacité d'absorption et de gonflement très élevées qui sont exploitées dans différents domaines dont : **[12]**

- Protection environnementale.
- Forage.
- Les céramiques.
- Les peintures.
- L'agroalimentaire.
- Décoloration des huiles.
- Raffinage du pétrole.
- Additif dans la fabrication du papier.
- Génie civil (additif dans le ciment).
- Traitement des eaux usées.
- La pharmacie et la cosmétique.

Les bentonites sont largement utilisées dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique en tant qu'excipient, ingrédients actifs et transporteur et libérateurs d'ingrédients actifs [28, 29], comme décrit plus en détail dans le titre suivant.

I.3.7 Propriété des bentonites

- **Propriétés physiques**

Forme naturelle et finesse des particules Sous sa forme brute naturelle, la Bentonite est une roche tendre. Ayant à peu près la consistance du kaolin, c'est-à-dire friable et onctueuse, happant fortement au lange, blanc ou Légèrement teintée de jaune, de beige, de jaune verdâtre, de rose. Son grain est extrêmement fin.

- **Poids spécifique**

Le poids spécifique à sec de la bentonite varie selon les quantités et les origines dans de faibles proportions et va de 2,7 à 2,8. Le poids spécifique apparent des produits broyés est sensiblement inférieur et de l'ordre de 1,6 à 1,8.

- **Gonflement**

L'une des propriétés les plus remarquables de la bentonite est sa faculté de gonfler considérablement dans l'eau pour former des masses gélatineuses.

- **Viscosité**

La viscosité est évidemment un caractère très important, scientifiquement et techniquement, des gels et des suspensions de bentonite.

- **Absorption d'eau (capillaire)**

En raison de la grande finesse des particules, autrement dit de sa très grande surface utile de contact, la bentonite est dotée d'un grand pouvoir absorbant.

Ross et Shannon, 1926, ont dit en parlant de la bentonite du Wyoming que cette heureuse combinaison de large surface et de texture perméable donne à la bentonite le plus grand pouvoir d'absorption que la nature semble avoir jamais conféré. Scientifiquement, l'adsorption dans les solutions colloïdales à grande surface de contact est un phénomène complexe rapporté à la fixation d'ions par les granules colloïdales. Elle joue un rôle important dans les phénomènes ultérieurs et particulièrement dans les variations de stabilité provoquées par l'adjonction de faibles quantités d'électrolytes dans la floculation. **[13]**

- **Propriétés chimiques**
- Composition

Pour un produit du genre de la bentonite, les essais physiques et l'analyse minéralogique présentent généralement un intérêt plus direct que l'analyse chimique : celle-ci permet de fixer les impuretés et les bases présentes. Ainsi, la teneur en fer permet dans certaines mesures d'exploiter la teinte des produits. Quant aux bases, elles jouent un rôle très important que nous aurons à étudier ultérieurement. Les bentonites ont chimiquement des teneurs qui permettent de les rapporter à la montmorillonite : SiO2. Al2 O3. Fe2 O3. Ca O. Go. K2 O. Na2 O. So3

- La calcination des argiles

La calcination est une technique de préparation d'échantillon effectuée en présence d'air sur une matière. Elle est utilisée en métallurgie pour la transformation des métaux en toutes sortes de dérivés, ou pour la transformation du calcaire en chaux. Cette technique provoque des réactions physiques et/ou chimiques et met ainsi l'échantillon dans un état de référence. **[13]**

I.3.8 Trouve la bentonite

La bentonite est une argile colloïdale qui est principalement extraite dans des carrières situées dans des régions riches en dépôts de cendres volcaniques ou en roches sédimentaires. Elle est souvent trouvée dans des zones géologiques telles que les lits de la mer, les volcans éteints ou les bassins sédimentaires.

La bentonite est disponible dans de nombreuses régions du monde, notamment aux États-Unis (dans des États tels que le Wyoming, le Montana et le Dakota du Sud), au Brésil, en Chine, en Inde, en Grèce, en Turquie, en Italie, en Russie, en Australie et en Afrique du Sud.



Figure I.14:Bentonite en Italie. [14]



Figure I.15:Bentonite en Montana. [15]

I.4.1. Laines de mouton

C'est la variété de laine la plus classique et la plus répandue. La laine de mouton est un produit très isolant qui provient de matières premières naturelles et de qualités variables. Grâce à sa légèreté, son épaisseur et sa qualité remarquable, elle est aussi utilisée pour l'isolation thermique d'un bâtiment. Pour ajouter plus de douceur et de souplesse, elle est souvent mélangée à d'autres filtres synthétiques ou naturels.



Figure I.16:La laine de mouton [16]

Avec sa finesse et ses écailles plus petites, la laine Mérinos n'est pas très volumineuse. Les fibres plus fines lui permettent d'avoir moins de boulochage et de rétrécissement. Le Mérinos C'est un meilleur régulateur de température. En effet, elle garde au chaud lorsqu'il fait froid. Et lorsqu'il fait chaud, il rafraîchit. [17]



Figure I.17:La laine de mérions [18]

I.4.2. Histoire de la Laine de moutons

Les différents types de laine. Il existe de nombreuses espèces de moutons qui vont donner des différences avec des caractéristiques variées. En fait, la laine est une fibre complexe composée de kératine qui peut être pluricellulaire et recouverte d'écailles. Selon la race du mouton, la fibre est peu changée et la forme des cellules peut être différente. Par exemple, la mérinos est constituée de deux types de cellules : certaines sont fines et petites et les autres sont de taille plus importante. Une fois que ces fibres se mélangent, elles donnent des ondulations, ce qui caractérise la Mérinos. Celles-ci seront la laine la plus fine que l'on peut. Trouver chez les moutons. D'autres espèces produisent une laine moyenne de 125 à 300 mm

de longueur, et d'autres auront une longue de 200 mm, tels que les moutons anglais Leicester et Lincoln. [19]

I.4.3. Définition de la laine mouton

La laine de mouton est un produit isolant issu de matières premières de nature et de qualité. Variable. La laine de mouton peut être brute ou manufacturée. Dans ce cas, on y ajoute : jusqu'à 25 % de fibres synthétiques pour assurer la cohésion des panneaux ou rouleaux. Elle est utilisée pour l'isolation thermique comme pour l'isolation acoustique du bâtiment. [20]



Figure I.18 : La laine de mouton [21]**.**

I.4.4. Caractéristiques de la laine de mouton

La laine animale possède une faible conductivité thermique, ce qui en fait un bon isolant thermique. Elle a un coefficient de conductivité thermique de l'ordre de 0,035 à 0,050 W m-1 K-1 et une masse volumique de 10 à 30 kg/m3. [22] De plus, elle emprisonne environ 80 % d'air. Elle est également résistante aux flammes et n'émet aucune fumée toxique. [22]

Elle peut absorber jusqu'à 30 % de son poids en eau sans perdre ses qualités d'isolant. Cette propriété rend la laine animale très intéressante pour réguler naturellement l'hygrométrie des maisons. Enfin, elle est relativement étirable, mais ne reprend que difficilement sa forme originelle. [22]

I.4.5. Propriétés de la laine

I.4.5.1. Les propriétés physiques de la laine :

Les différentes propriétés physiques de la laine sont :

- Résistance : c'est la propriété qui permet à la laine de s'étirer en grande partie, avant de casser. Ceci est très important, du point de vue textile, étant donné que les processus d'industrialisation tels que le cardage, le peignage et le filage exercent une pression considérable sur les fibres de laine qui doivent avoir une extensibilité suffisante pour être préservées intactes.
- Élasticité : cette propriété, intimement liée à la précédente, fait référence au fait que la laine retrouve sa longueur naturelle, après étirement, dans certaines limites. Car il arrive un moment où, lorsque les liaisons chimiques se rompent, la laine ne retourne pas à sa longueur d'origine. L'élasticité de la laine est due à la structure hélicoïdale de ses molécules. Merci à cette propriété de récupérer l'extension, la laine a la capacité de conserver la forme des vêtements et de maintenir l'élasticité des tapis. La laine est un matériau élastique, ignifuge et résilient.

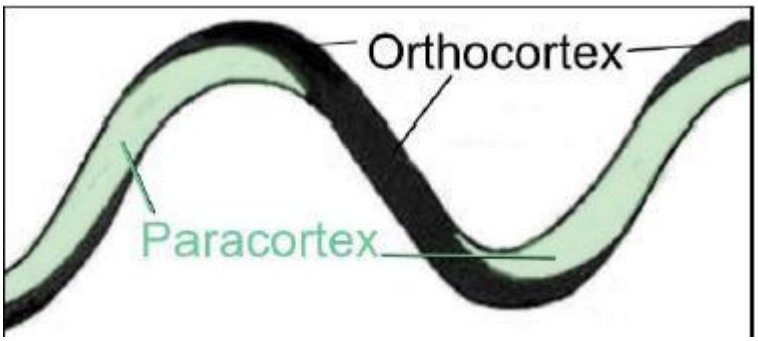


Figure I.19 : Propriétés de la laine [24]

- Hygroscopicité : toutes les fibres naturelles absorbent l'humidité de l'atmosphère et, parmi elles, la laine est celle qui en tire le meilleur parti ; la laine est hygroscopique, ce qui signifie qu'elle absorbe la vapeur d'eau dans une atmosphère humide et la perd dans une atmosphère sèche. La fibre de laine est capable d'absorber jusqu'à 5 % de son poids dans les eaux de ruissellement.
- Flexibilité : c'est la propriété des fibres de laine, donc elles peuvent être pliées facilement, sans casser ou casser. Cette propriété est d'une grande importance pour l'industrie, à la fois dans le filage et le tissage, pour obtenir des tissus résistants.

I.4.5.2. Les propriétés chimiques de la laine :

Les différentes propriétés chimiques de la laine sont :

- Effet des alcalis : la protéine de la laine, appelée kératine, est particulièrement sensible aux dommages causés par les alcalis. Par exemple, des solutions d'hydroxyde de sodium à 5 %, à température ambiante, dissolvent la fibre de laine.
- Effet des acides : la laine résiste à l'action des acides doux ou dilués, mais les acides minéraux concentrés, tels que les acides sulfurique et nitrique, provoquent la division et la décomposition des fibres. Cependant, des solutions diluées d'acide sulfurique sont utilisées lors du processus industriel de la laine pour carboniser la matière végétale adhérant aux fibres.
- Effet des solvants organiques : la plupart des solvants organiques couramment utilisés pour nettoyer et enlever les taches sur les tissus en laine sont sûrs, en ce sens qu'ils n'endommagent pas les fibres de laine.

I.4.5.3. Les propriétés biologiques de la laine :

Les différentes propriétés biologiques de la laine :

- Microorganismes : la laine a une certaine résistance aux bactéries et aux champignons ; cependant, ces micro-organismes peuvent attaquer les taches qui apparaissent sur la laine. Si la laine est stockée dans une atmosphère humide, des champignons apparaissent, ce qui peut même détruire la fibre. D'autre part, les bactéries qui produisent des pourritures peuvent détruire la fibre, si la laine reste longtemps dans l'humidité et la poussière.
- Insectes : à partir du moment où la laine est une protéine, et qui peut donc être considérée comme un produit alimentaire modifié, elle constitue une source de nourriture pour différents types d'insectes. Les larves de la mite des vêtements et le Scarabée des tapis sont les prédateurs les plus communs de la laine ; on estime que ces insectes endommagent plusieurs millions de kilos de laine chaque année. Plusieurs traitements ont été suggérés pour prévenir ces dommages ; tel est le cas de la fumigation des tissus de laine avec des insecticides, ou de l'application de produits chimiques qui réagissent avec les molécules de laine et qui rendent la fibre non

palpable pour les insectes. Un autre système consiste à mettre, au voisinage de la Laine, des substances dégageant des odeurs nuisibles aux insectes.

I.4.6. Traitements que reçoivent les laines animales

Les laines animales sont naturellement écologiques, car il s'agit de matériaux biosourcés. C'est-à-dire issus d'êtres vivants. Sachez néanmoins que, pour être utilisables en isolation Thermiques, ces matériaux reçoivent souvent un traitement en usine. [22] Celui-ci concerne l'application de fongicides, d'agents ignifugeants ou encore d'insecticides. Lors du processus de fabrication. Ces traitements permettent aux laines animales de résister. Aux champignons, aux insectes et aux flammes en cas d'incendie. D'autre part, ils peuvent être associés à d'autres matériaux, parfois synthétiques, comme le Polyester par exemple, pour améliorer ses performances ou pallier à certaines faiblesses. Pour avoir le cœur net, référez-vous à la fiche technique du produit de votre choix. Vérifiez. Aussi, la présence du label ACERMI, gage de qualité et de performance de l'isolant. [22]

I.4.7. Avantages de la laine de mouton

L'isolation à la laine de mouton permet d'améliorer l'isolation thermique et phonique d'une Habitation. En plus de limiter les pertes de chaleur, ce matériau isolant présente de nombreux avantages : [25]

- La laine de mouton est un matériau naturel feutré ou cardé pour être utilisé en

Isolation. Elle est également composable et peut être réutilisée.

- La laine de mouton est capable de réguler naturellement l'humidité et d'absorber.

Jusqu'à 35 % de son poids en eau. Son utilisation permet alors de prévenir la Formation de moisissure.

- La laine de mouton filtre l'air en absorbant les gaz nocifs comme le dioxyde d'azote.

Et le radon.

- La laine de mouton est difficilement inflammable en cas d'incendie. Ces couches

Permettent de retarder la propagation des flammes.

- La laine de mouton est facile à travailler. Elle n'irrite pas la peau.

I.4.8. Limites de la laine de mouton

La laine de mouton possède alors de nombreux avantages. Avant de choisir ce matériau Comme isolant, il est également nécessaire de s'informer sur ses inconvénients. La laine de Le mouton doit être traité antimites à l'aide de produits comme des pesticides ou du sel. Bore afin d'optimiser sa durée de vie. Sa qualité isolante varie grandement d'un fournisseur à un autre. Cet isolant présente une faible inertie et régule mal la chaleur pendant les Périodes estivales. Le prix élevé de la laine de mouton fait également partie des principaux. inconvénients de ce matériau. Elle coûte plus cher que les autres isolants naturels comme La laine de bois. [25]

CHAPITRE II
Matériaux et essais

II.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition du mortier et du béton. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions du mortier. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les mortiers et les composites obtenus à l'état durci et à l'état frais. Les différents essais faits au cours de ce travail sont :

- **État frais**

– L'étalement au mini-cône

- **État durci**

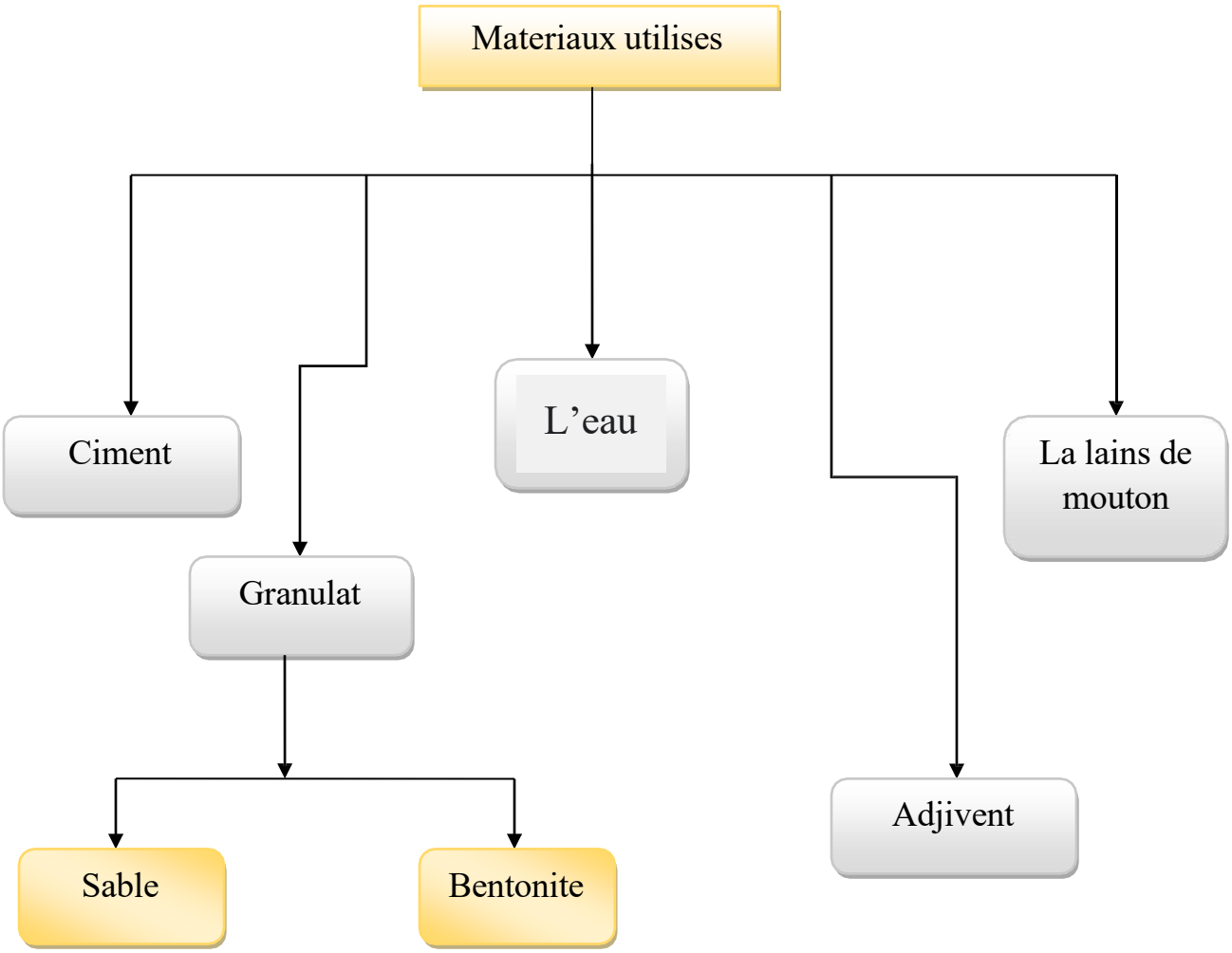
– La résistance à la comprendre.

– La résistance à la traction

– Absorption d'eau, capillarité

– Conductivité thermique

II.2 Materiaux utilises



II.3. Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la fabrication du béton, nous avons utilisé des matériaux locaux de la wilaya de Médéa, caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil en respectant les normes en vigueur.

II.3.1 Ciment

Dans cette étude, nous avons utilisé le composé de ciment Portland « MATINE » CPJ-CEM III/B 42.5 R (Figure 2.3), produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE de M'sila en Algérie. Ceciment est un ciment Portland synthétique présentant une résistance à la compression d'au

moins 42,5 MPa à 28 jours, auquel s'ajoute MATINE CALCAIRE est un ciment gris à haute résistance initiale et finale, se traduisant par Du broyage du clinker issu de la cuisson jusqu'à la dissolution partielle du mélange calcaire et argile en doses appropriées et homogènes. Ce ciment est fabriqué d'oxydes minéraux dont les plus importants sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO2) est de nature acide. On retrouve également de l'aluminium (Al 2 O3) et du fer (Fe 2 O3). Ils sont rendus capables de réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à basse température.

Entre 1300°C et 1500°C. En présence d'eau, une réaction de l'eau se produit. Il consiste en la formation d'un réseau résistif constitué principalement de microcristaux de silicate de calcium hydraté. MATINE offre des prestations mécaniques et… Propriétés physiques et chimiques [26]



Figure II. 1.Ciment MATINE

Analyse et caractérisation

1. **Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker**

Selon la fiche technique du ciment (Annexes 1). Le tableau III 1 résume l'analyse chimique.

Du ciment et composition hypothétique du clinker [26]

Tableau II. 1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042) 7.00-9.50	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00

1. **Essais physiques**

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine. [26]

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat [26].

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique [26]. **(Le tableau II.2)** résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

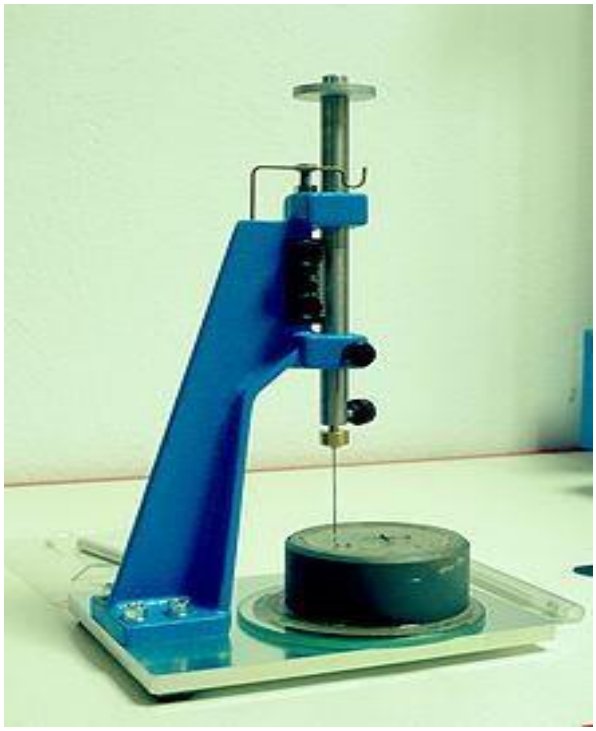


Figure II. 2 Appareil de Vicat

Tableau II. 2 : Caractéristique physiques du ciment [26]

Caractéristique	**Valeur**
Masse volumique absolue (g /cm3)	0.99
Masse volumique apparent (g/cm3)	3.04
Consistance normale de la pâte de ciment (%	25.5-28.00
Pr isométrie (Min) - Début de prise - Fin de prise	120-180 210-280
Classe de résistance (MPa)	≥ 42.5& 62.5
Retrait à 28 jours (µm⁄m)	< 1000
Finesse (BLAINE) (cm2⁄g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

II.3.2 Granulats

II.3.2.1 Sable

Au cours de ce procédé d'étude, on a utilisé un seul type de sable provenant de la carrière d'OUED SOUF, sa classe granulaire est 0/2. La figure **II**.2 suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur la figure **II**.3 et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le Tableau **II**.3 ci-dessous. [26]



Figure II. 3.Sable utilisé

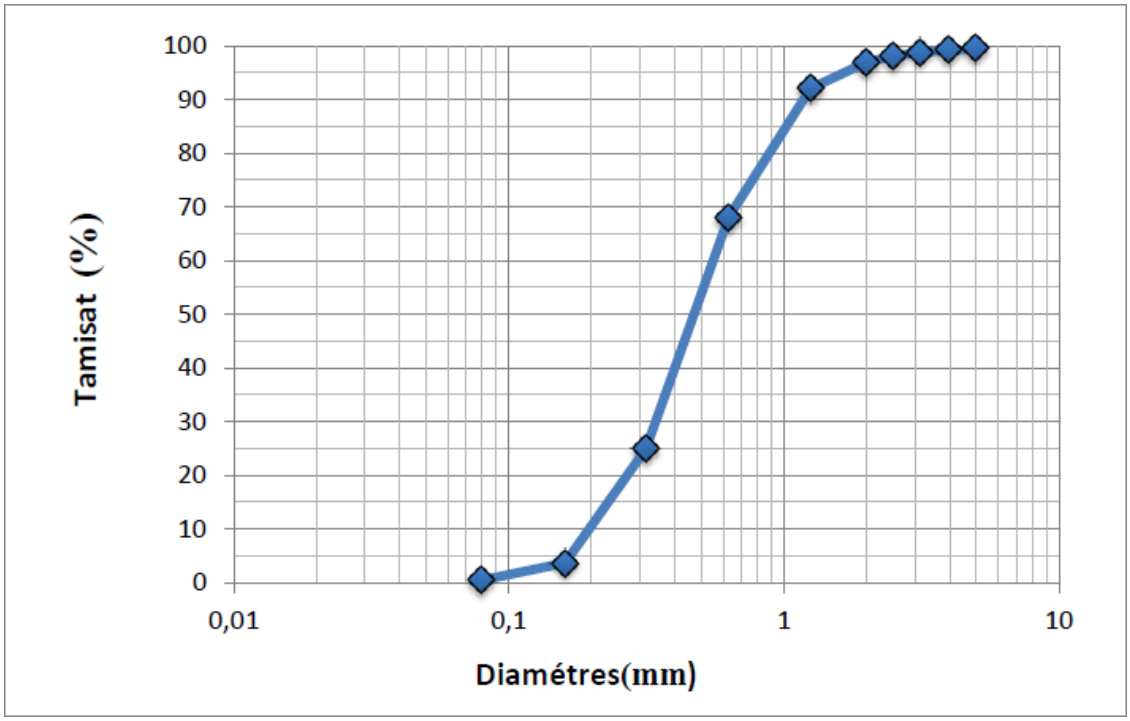


Figure II. 4: Courbe granulométrique de sable utilisée

Tableau II. 3 : Caractéristiques physique de sable utilisés

Caractéristiques	Sable	Normes
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1 **[58]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1 **[58]**
Masse volumique absolue (Kg/ m3)	2.63	NF EN 1097-6 **[59]**
Masse volumique apparente (Kg/ m3)	1.57	NF EN 1097-6 **[59]**
La compacité (%)	59	NF EN 1097-3 **[60]**
La porosité (%)	41	NF EN 1097-3 **[60]**
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 1097-3 **[60]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[59]**

II.3.2.2 Bentonite

La bentonite utilisée est une bentonite issue de l'Ouest algérien. C'est une bentonite beige, qui provient de la région de Maghnia qui se trouve dans la wilaya de Tlemcen. Ces bentonites présentent une masse volumique absolue de 2,52 g/cm3 et une surface spécifique : la blaine de ciment est 4371 cm2/g. Et le refus de 45 Um est 44,56.



Figure II. 5 : la bentonite

II.3.2.2.a Caractérisation de la bentonite

La bentonite est soumise à une caractérisation conformément aux normes en vigueur, ainsi qu'aux procédures des essais effectués sur cette poudre. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II.4.

Tableau II. 4: Propriétés physiques de bentonite

Caractéristiques	Bentonite
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm^2/g)	4371
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.52

II.3.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des bétons est celle du robinet, considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme [NF EN 1008]. Sa température est comprise entre 18 et 20 °C.

II.3.4 Adjuvent

. Un seul type d'adjuvants a été utilisé dans notre étude, appelé TEMPO-10, est un super plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymères. Le TEMPO-10 combine plusieurs mécanismes d'action. Rédaction d'eau extrêmement importante, en plus rapide des résistances à court terme, d'étanchéité fortement améliorée.



Figure II. 6 : Adjuvant utilisé TOMPO-10

II.3.5. Déchets de la laine de mouton

La laine du mouton utilisée au cours de ce travail a été obtenue par la récupération des déchets.

De laine rejeté dans la nature. Après avoir été récupéré, il est lavé, séché et coupé en fibres et incorporé dans la masse de mortier et de mortier de ciment avec des pourcentages de (0 %), (0.5 %), (1 %), (1.5 %), (2 %), (2.5 %), (3 %), (3.5 %) , (4 %), (4.5 %) et (5 %) respectivement.

Tableau II. 5 : Caractéristiques physiques de la laine du mouton utilisé [26]

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m3)	16
La masse volumique absolue (Kg/ m3)	1.16
La longueur (Cm)	0.7
Diamètre (mm)	0.08
Conductivité thermique W/m.K	0.04

II.4. Composition des mélanges

II.4.1. Bentonite

II.4.1.1. Formulation et composition des mortiers

Les mortiers sont élaborés à partir de granulats de sable, de ciment et d'argile Bentonite, avec un rapport E/C constant afin d'obtenir une consistance plastique. Les compositions des mortiers obtenus peuvent varier en fonction de l'ajout ou de la substitution de bentonite, comme indiqué dans les tableaux II.6 et II.7 respectivement.

Tableau II. 6 : Compositions des mortiers confectionnés(a)

mix	Ciment (g)	Bentonite (g)	Sable (g)	Agrègat Argile calciné (g)	Eau (g)	Superplastifiant	W/B
BT0S0	450	0	1350	0	225	0	0.5
BT0S10			1215	135	225	1.5	0.5
BT0S20			1080	270	225	2.2	0.5
BT0S30			945	405	225	2.3	0.5
BT0S40			810	540	225	2.5	0.5
BT10S0	405	45	1350	0	225	0	0.5
BT10S10			1215	135	225	1.5	0.5
BT10S20			1080	270	225	2.2	0.5
BT10S30			945	405	225	2.3	0.5
BT10S40			810	540	225	2.5	0.5
BT20S0	360	90	1350	0	225	0	0.5
BT20S10			1215	135	225	1.5	0.5
BT20S20			1080	270	225	2.2	0.5
BT20S30			945	405	225	2.3	0.5
BT20S40			810	540	225	2.5	0.5
BT30S0	315	135	1350	0	225	0	0.5
BT30S10			1215	135	225	1.5	0.5
BT30S20			1080	270	225	2.2	0.5
BT30S30			945	405	225	2.3	0.5
BT30S40			810	540	225	2.5	0.5

Tableau II. 7 : Compositions des mortiers confectionnés(b)

Mix	Remplacement ciment par bentonite %	Ciment (g)	Bentonite (g)	Sable (g)	Eau (g)	Superplastifian	W/B
BT-0	0	450	0	1350	225	0	0.5
BT-10	10	405	45	1350	225	1.5	0.5
BT-20	20	360	90	1350	225	2.2	0.5
BT-30	30	315	135	1350	225	2.3	0.5
BT-40	40	271	179	1350	225	2.5	0.5

II.4.1.2. Préparation des mélanges

La préparation de tous les mélanges se fait dans les mêmes conditions, dans une salle maintenue à une température de 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %. Le mélange doit être effectué par malaxage pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme [EN 196-1], en utilisant le malaxeur spécifié par la norme [NF P 15-411], selon la procédure suivante :

1. **Préparation**

– La pale du malaxeur doit être réglée à une distance de 4,5 mm du bol, comme indiqué dans la figure II. 10.

– Pour les premiers mélanges, il est recommandé de mouiller le récipient du malaxeur puis de l'essuyer afin qu'il ait la même humidité que les mélanges courants.

1. **Malaxage**

– Commencer par verser l'eau dans la cuve du malaxeur, puis ajouter le ciment. Ensuite, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

– Après 30 secondes de malaxage, ajouter régulièrement le sable déjà préparé pendant les 30 secondes suivantes. Ensuite, réduire la vitesse du malaxeur et continuer le malaxage pendant 30 secondes supplémentaires.

– Arrêter le malaxeur pendant 1 minute et 30 secondes. Pendant les 15 premières secondes, racler les bords du récipient.

– Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes. Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

II.4.2. La laine de mouton

II.4.2.1. Composition de Mortier

La composition du mortier de La laine du mouton est incorporée dans la masse du mortier par ajout volumétrique (par rapport au volume de béton) avec des pourcentages (0 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 %, 4 %, 4,5 % et 5 %). Les familles du mortier obtenu sont répertoriées comme suit.

Mortier T : mortier témoin.

Mortier 1 : mortier à base de 0,5 % de laine de mouton.

Mortier 2 : mortier à base de 1 % de laine de mouton.

Mortier 3 : mortier à base de 1,5 % de laine de mouton.

Mortier 4 : mortier à base de 2 % de laine de mouton.

Mortier 5 : mortier à base de 2,5 % de laine de mouton.

Mortier 6 : mortier à base de 3 % de laine de mouton.

Mortier 7 : mortier à base de 3,5 % de laine de mouton.

Mortier 8 : mortier à base de 4 % de laine de mouton.

Mortier 9 : mortier à base de 4,5 % de laine de mouton.

Mortier 10 : mortier à base de 5 % de laine de mouton.

Tableau II. 8 : Compositions des Mortierà base déchet laine du mouton pour (1m3)

Type de Mortier	Laine par poids de ciment (%)	Ciment (g)	Laine mouton (g)	Sable (g)	Eau (g)	SP (%)
MT	0	450	0	1350	250	/
Mlm0.5	0.5	450	2.25	1350	250	/
Mlm1.0	1	450	4.5	1350	250	/
Mlm1.5	1.5	450	6.75	1350	250	/
Mlm2.0	2	450	9.0	1350	250	/
Mlm2.5	2.5	450	11.25	1350	250	/
Mlm3.0	3	450	13.5	1350	320	/
Mlm3.5	3.5	450	15.75	1350	320	/
Mlm4.0	4	450	18.0	1350	320	/
Mlm4.5	4.5	450	20.25	1350	360	/
Mlm5.0	5	450	22.5	1350	360	/

Pour réaliser le processus de mélange de la laine de mouton avec du ciment, nous avons suivi les étapes suivantes :

- 1 Récupérez la laine de mouton et nettoyez-la bien des impuretés et de la saleté.
- 2 Diviser la laine en différentes valeurs allant de (0g à 22,5g) comme indiqué dans le tableau II 09.



Figure II. 7 : La laine du mouton est fendue

3 Dans chacune des expériences, on roule la laine en petites boules dont le diamètre ne dépasse pas 1 cm



Figure II. 8 : Laine de mouton en forme de bille

- 4 Nous divisons le sable et le ciment selon les valeurs requises



Ciment sable

Figure II. 9 : Ciment et sable utilisés

- 5 On met du ciment, du sable et de la laine dans le malaxeur utilisé



Figure II. 10 : Le malaxeur utilisé

1. **Préparation des mélanges**

Tous les mélanges sont préparés dans des conditions uniformes, dans une salle maintenue à une température de 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %. Le processus de mélange doit être réalisé par malaxage pendant une durée de 4 minutes, conformément aux directives énoncées dans la norme [EN 196-1], en utilisant le malaxeur spécifié par la norme [NF P 15-411], suivant la procédure ci-dessous :

1. **Préparation**

– La pale du malaxeur doit être réglée à 4,5 mm du bol figure II.10.

– Pour les premiers mélanges, il est conseillé de mouiller le récipient du malaxeur puis de l'essuyer afin qu'il présente la même humidité que les gâchées courantes.

1. **Malaxage**

– Introduire d'abord l'eau dans la cuve du mélangeur ; versez-y ensuite du ciment, du sable et de la laine. Immédiatement après cela, allumez le mixeur à vitesse lente. – Après 30 secondes de mixage, on insère la moitié de la quantité d'eau nécessaire dans le mixeur pendant qu'il fonctionne, puis on laisse le mixeur sur sa vitesse lente pour continuer à mixer pendant 1 minute supplémentaire. - Arrêtez le mixeur pendant 30 secondes. Pendant les 15 premières secondes, racLEZ les parois du récipient. – Ensuite, nous faisons fonctionner le mixeur pendant 1 minute et ajoutons la moitié de la quantité d'eau restante. – Ensuite, on laisse reposer le mélange 3 minutes. – Puis on reprend le mixage à grande vitesse pendant 60 secondes. Ces procédés de mélange sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau II. 9 : Récapitulation des opérations de malaxage

Operations	Introduction de ciment	Introduction du sable	Introduction de la laine		La première quantité d'eau		La deuxième quantité d'eau		
Durée des opérations				30s	1 min	30s	1 min	3 min	60 s
Etat du malaxeur	Arrêt			Vitesse lente		reposer	Vitesse lente	reposer	Vitesse rapide

- 6 Vider le ciment dans les moules

a) Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de mortier sont tous fabriqués dans l'environnement de Laboratoire. Le mortier a été coulé dans des moules métalliques de forme Prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation Dimensionnelles, ainsi que des éprouvettes 4×10×10 cm destinées pour les essais thermiques Conformément à la norme NF EN 12390-2 [27].



Figure II. 11: Fabrication des éprouvettes

b) .Préparation des mortiers :

Une fois décantés, les moules contenant les échantillons sont laissés dans une pièce humidifiée à une température de 20° ± 1°C et une humidité relative.

Environ 55 ± 5 %. Le moule est retiré après un délai de 24 heures et les échantillons sont vidés

Les éprouvettes sont conservées en salle humide jusqu'à la date prévue

De l'essai.







Figure II. 12 : Les éprouvette âpres le décoffrage :

II.5. Les essais sur le mortier

II.5.1. État frais

- L'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse. Une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré. Suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue. **Figure.12.** montre les étapes.

De l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation EFNARC 2002**.**



Figure II. 13 : Mesure de l'étalement du mortier

II.5.2..État durci

Les différents essais réalisés sur le mortier obtenus sont résumés dans le tableau Ci-dessous :

Tableau II. 10 : Essais sur mortier durci.

Essais	Appareil
Résistance à la compression	Presse de compression
Résistance à la flexion	Presse de traction
Conductivité thermique	CT METRE
Absorption d'eau capillarité	/

II.5.2.1. Essai de la résistance à la traction par flexion

À l'âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] [28]. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points), une éprouvette de (4 x 4 x 16) cm de côté A et de longueur L. Fig. (2.12) montre les étapes de l'essai.

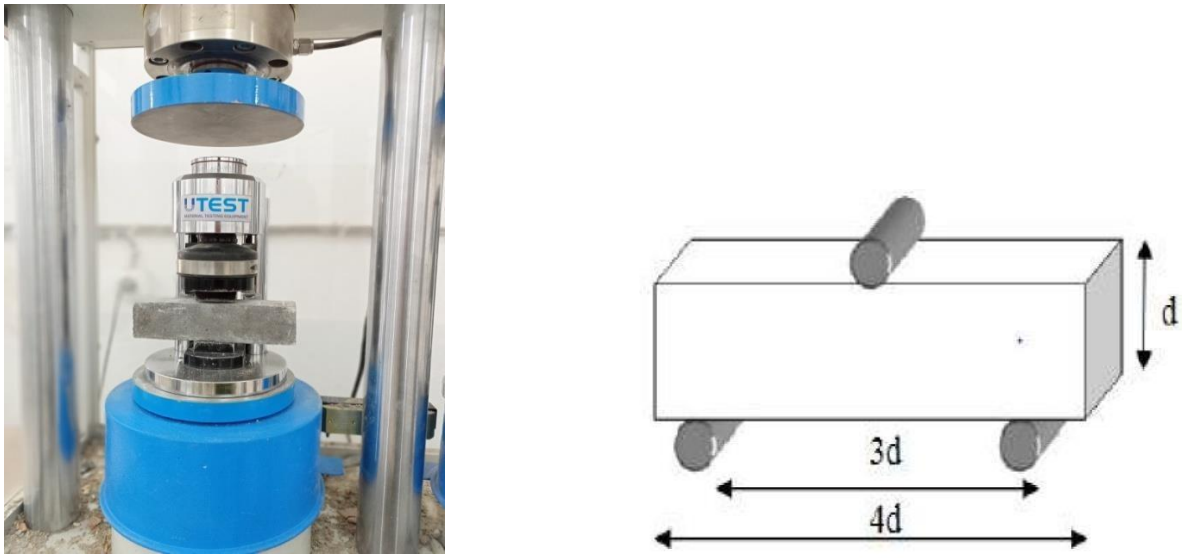


Figure II. 14 : Essai de traction par flexion sur éprouvette de mortier

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $\mathbf{M}=\frac{\mathrm{Ff\ L}}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I}=\frac{d4}{12}$

ν : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $\mathbf{v}=\frac{d}{2}$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma t=\frac{M15Ff\,L}{d3}$$

II .5.2.2.Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1][39]par Compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à l'âge 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme [NF P 18-412][29] **(fig.2.10)** pendant l'essai, la vitesse de Chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (7j.28j).

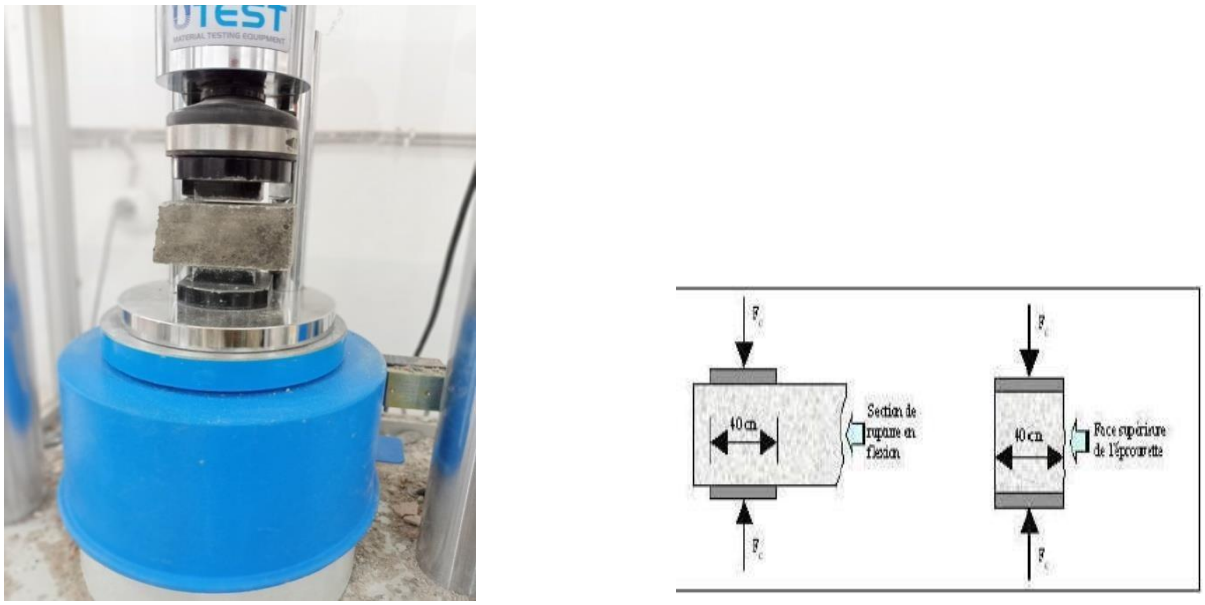


Figure II. 15 : Essai de compression sur éprouvette de mortier

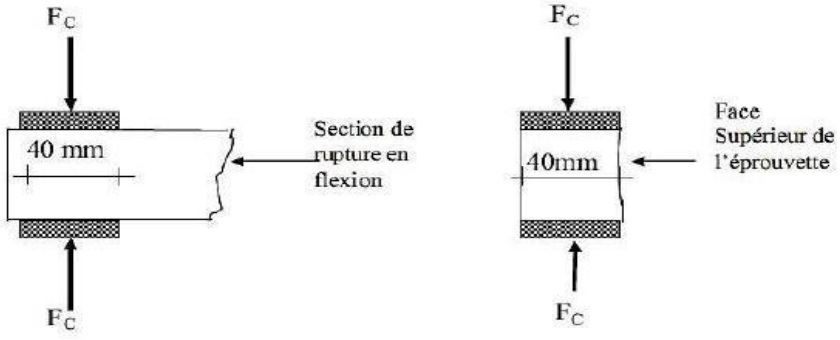


Figure II. 16 : Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$\mathbf{RC} = \frac{\boldsymbol{Fc}}{\boldsymbol{b^2}} \text{ (Equation 2.1)}$$

RC : Résistance à la compression en (MPa) ;

FC: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

II .5.2.3.Essai d'absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai, nous prélevons des morceaux d'éprouvettes de béton déjà utilisées puis séchons les éprouvettes prismatiques au four à une température de 105 ± 50°C pendant 24

heures. Nous les pesons (m0) dans un premier temps, puis les insérons dans un. Réservoir rempli d'une couche d'eau (5 mm d'eau), et pendant chaque période de temps (0 minute, 12 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 4 heures), on remesure les pièces (m1), le la différence de poids entre m1 et m0 est le poids de l'eau absorbée (m1 - M0) [NBN NE 13057].

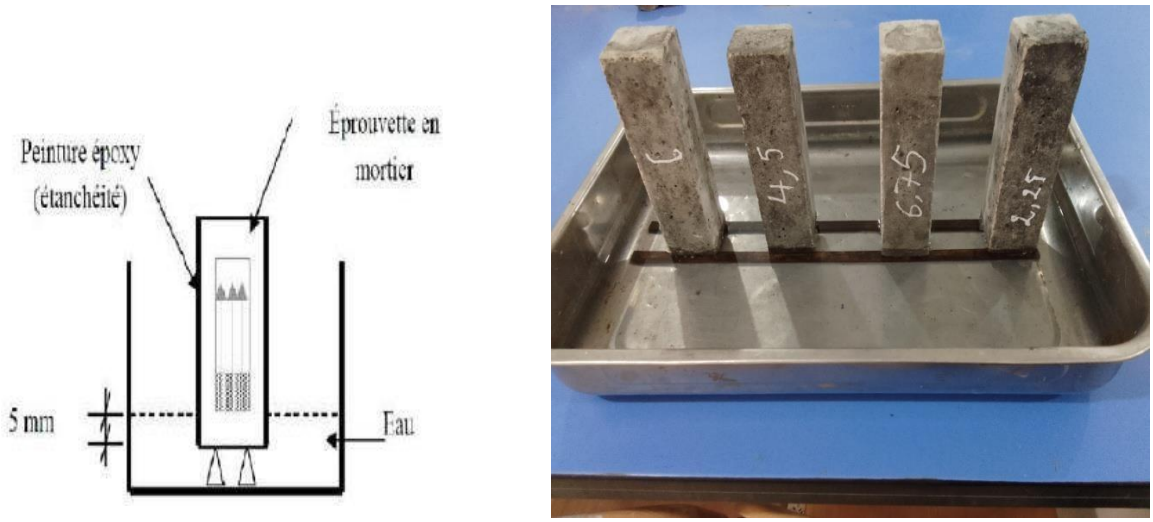


Figure II. 17 : Absorption d'eau par capillarité

II.5.2.4. Les propriétés thermiques

Dans notre travail, nous avons étudié et testé les propriétés thermiques des mortiers à base de la laine de mouton par l'utilisation de l'appareil CT METRE. Suivant la norme Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15

C'est un appareil aisément transportable qui a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton. Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite. [30].

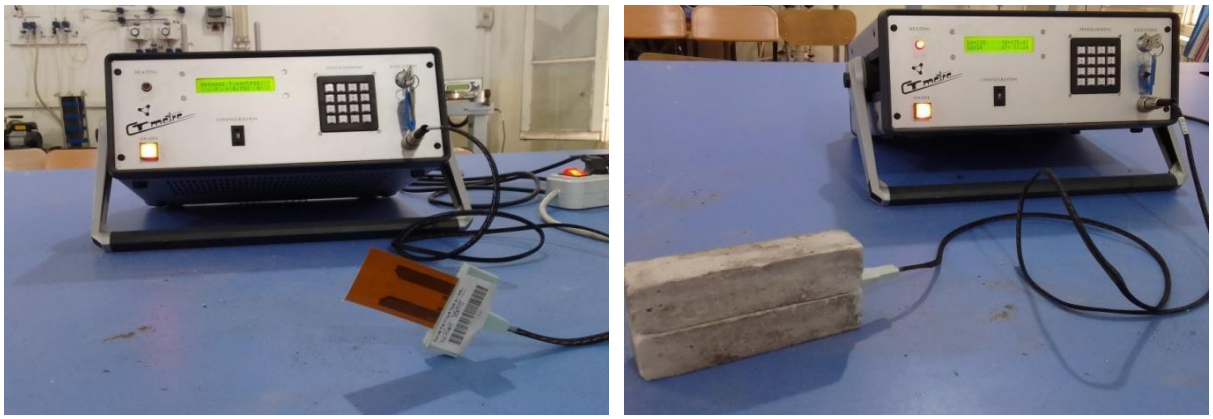


Figure II. 18 : Le CT-mètre utilisé

II.6. Conclusion :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles en Algérie (la laine de mouton et le ciment, le granulat de sable et l'ajout de bentonite).

Les différents essais menés sur le mortier au cours de cette étude sont décrits dans le chapitre II. Les résultats de la caractérisation seront présentés au chapitre III.

CHAPITRE III
Résultats et interprétation

III.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats et discussions de la valorisation de la bentonite calcinée pour formulation. Il s'agit d'étudier l'influence de cette bentonite calcinée sur les caractéristiques physico-mécaniques et sur la durabilité de ce mortier, en tenant compte également de l'incorporation de la laine de mouton comme matériau d'appoint. D'abord, nous allons inspecter et suivre le développement de la réactivité des bentonites utilisées avant et après le traitement, en vue de fouiller le meilleur cycle thermique qui qualifie ces argiles. Ensuite, nous nous intéressons à comprendre les raisons menant à l'évolution des différentes propriétés fraîches et durcies des mortiers contenant ces additifs, en quantifiant le dosage optimal de substitution par rapport au ciment pour obtenir un bon mélange de tous les aspects, y compris la contribution de la laine de mouton à ces caractéristiques.

III.2 Influence de la laine du mouton et la bentonite sur le comportement de mortier

III.2.1 Caractéristiques du mortier à l'état frais

- **Tempé de prise**

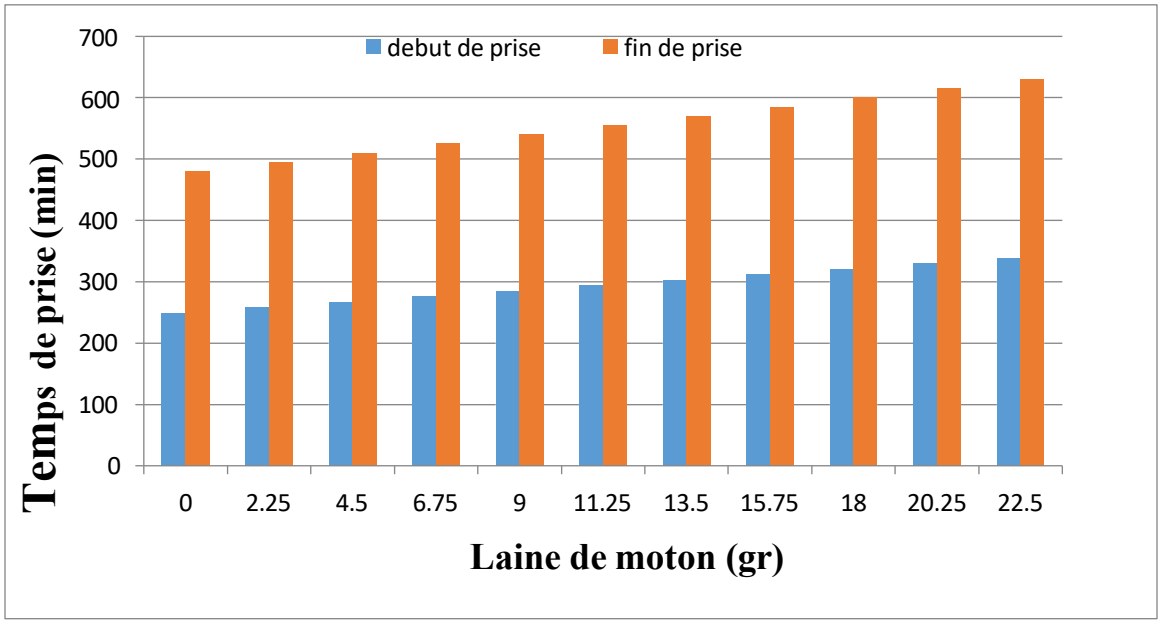


Figure III. 1: Temps de prise

Les résultats obtenus ont montré que plus le pourcentage de laine de mouton utilisé dans le mortier est élevé, plus le début de prise sera retardé. La même constatation se produira pour le temps de fin de prise.

III.2.2. Caractéristiques du mortier à l'état durci

III.2.2.1.Densité

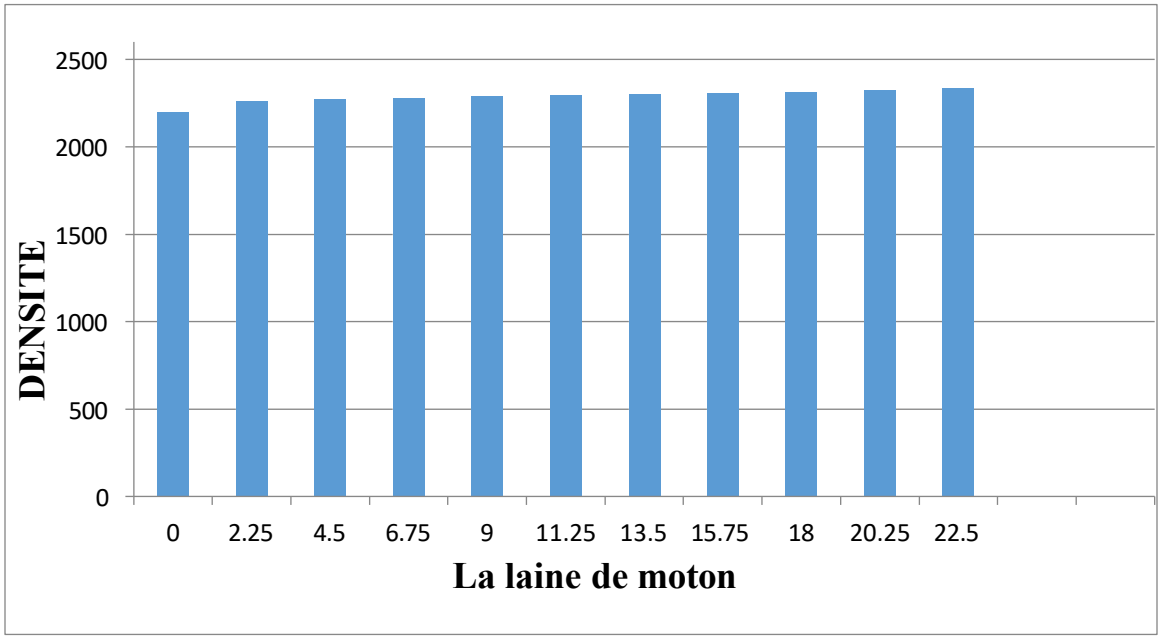


Figure III. 2: DENSITE

Où les résultats sont présentés dans la Figure III.2 Plus le pourcentage de laine de mouton utilisé est élevé, plus la densité n'est élevée par rapport à la densité du mortier sans laine.

III.2.2.2. Résistance mécanique

- **La Résistance à la traction**

a) Effet de la laine

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des Éprouvettes de 4x4x16cm3 à l'âge de 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

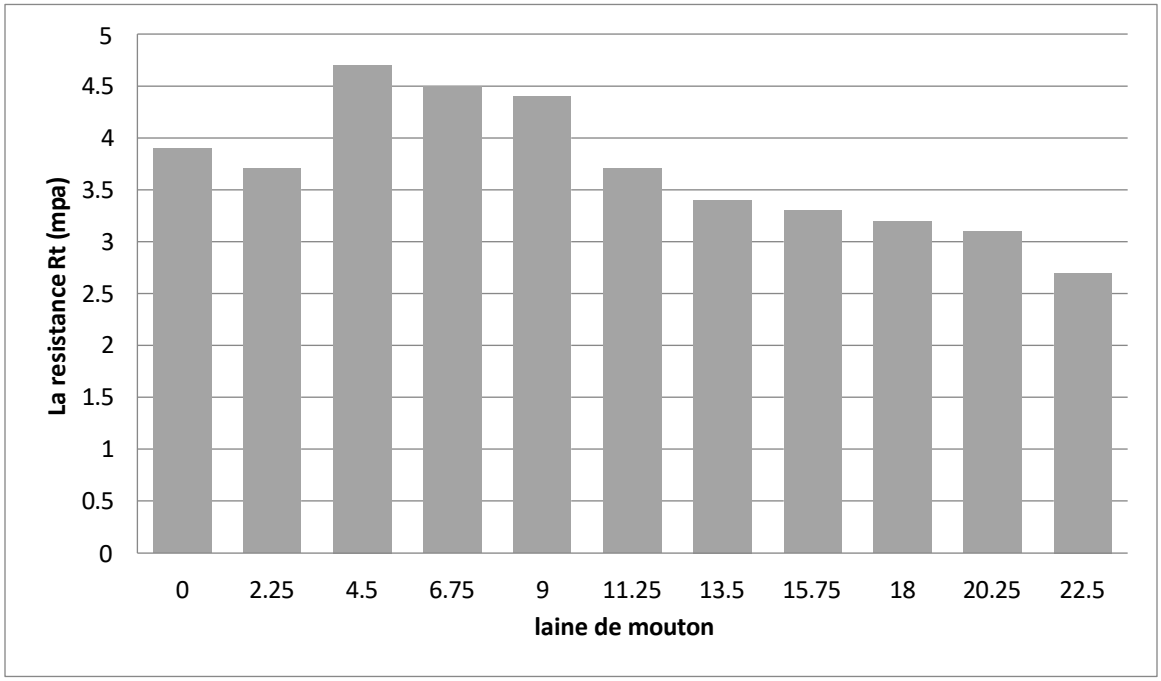


Figure III. 3: La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours de Mortier à base de la laine de mouton.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la traction par flexion de mortier est améliorée en fonction d'ajout de déchets de la laine du mouton jusqu'à une quantité de 9 g de laine. Le gain est estimé à 17 % pour le mortier (2,3 et 4) (4,5, 6.75 et 9) qui représente l'optimum de la résistance des mortiers. Cette augmentation de la valeur de résistance à la traction est liée essentiellement aux déchets de la laine du mouton qui jouent un rôle de couture des fissures. Ces résultats sont en contradiction avec les résultats trouvés par les différents chercheurs dans le domaine [30,31].

b) Effet de la remplacement du ciment avec la Bentonite

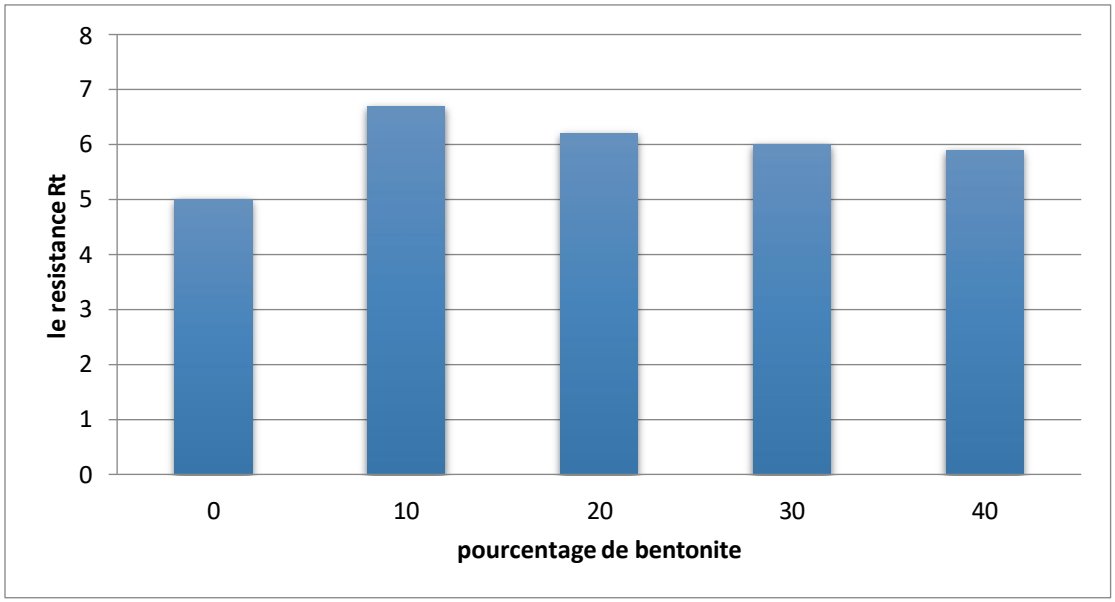


Figure III. 4: la résistance à la flexion du mortier bentonite pour un dosage de sable de1350 g

L'analyse des résultats de la Figure permet d'apporter les commentaires suivants. Nous pouvons constater que lorsque de la bentonite est ajoutée, la résistance augmente et que lorsque 10 % de bentonite sont ajoutés, nous obtenons la résistance la plus élevée, puis la résistance diminue à mesure que nous augmentons la quantité de bentonite, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau.

a) Effet de la remplacement du sable avec agregat d'argile calciné

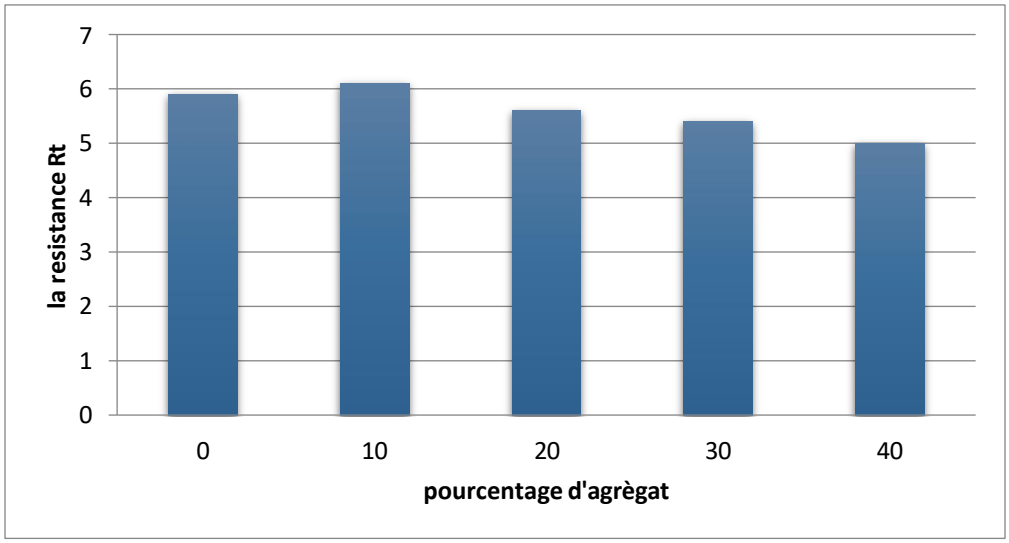


Figure III. 5: la résistance a la traction de mortier 1 avec avec remplacement de sable avec agrégat pour 0 % de bentonite

L'analyse des résultats de la Figure permet d'apporter les commentaires suivants : En ajoutant 10 % de bentonite et en faisant varier le ratio d'agrégat, on observe une augmentation de la résistance et la résistance la plus élevée est obtenue lorsque 10 % d'agrégat sont ajoutés, puis au fur et à mesure que le ratio d'agrégat augmente, la résistance diminue.

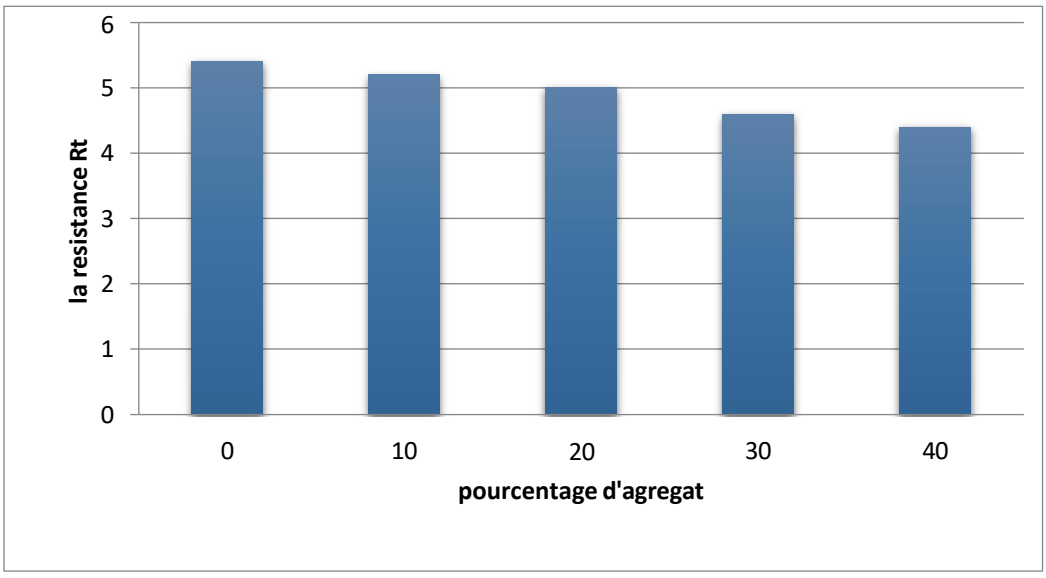


Figure III. 6: la résistance a la traction de mortier 2 avec remplacement de sable avec agrégat pour 10% de bentonite

L'analyse des résultats de la Figure permet d'apporter les commentaires suivants : Lorsque l'on ajoute 10 % de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10%d'agrégat, puis la résistance commence diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau

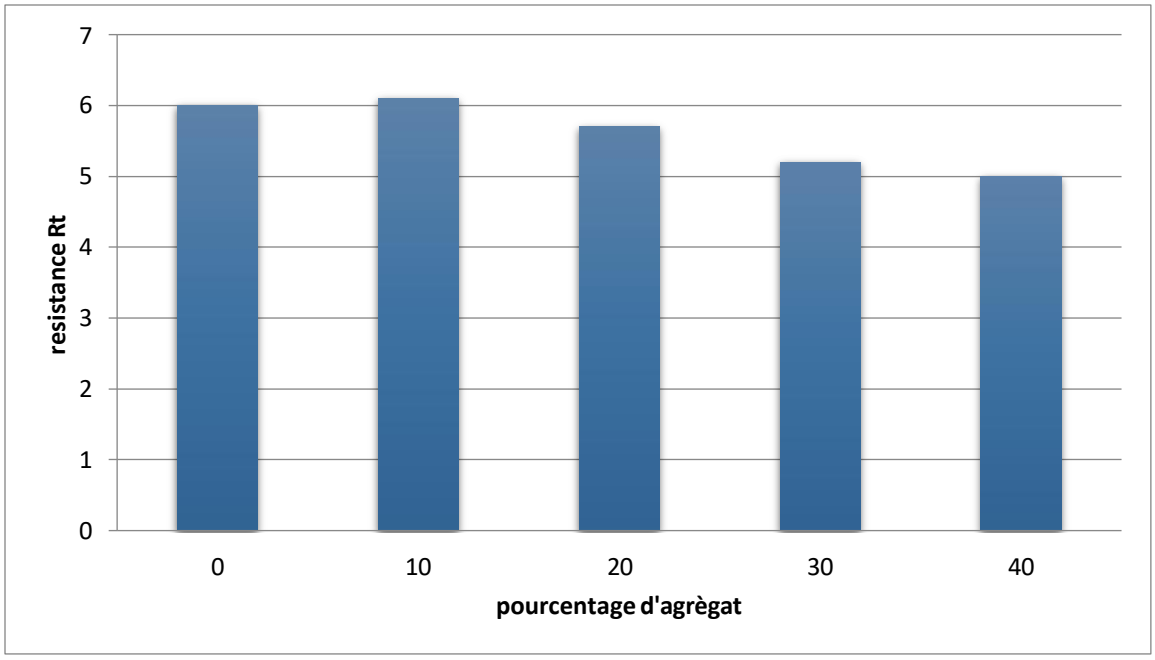


Figure III. 7: la résistance a la traction de mortier 3 avec remplacement de sable avec agrégat pour 20% de bentonite

L'analyse des résultats de la Figure permet d'apporter les commentaires suivants : Lorsque l'on ajoute 20 % de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10% d'agrégat, puis la résistance commence diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau

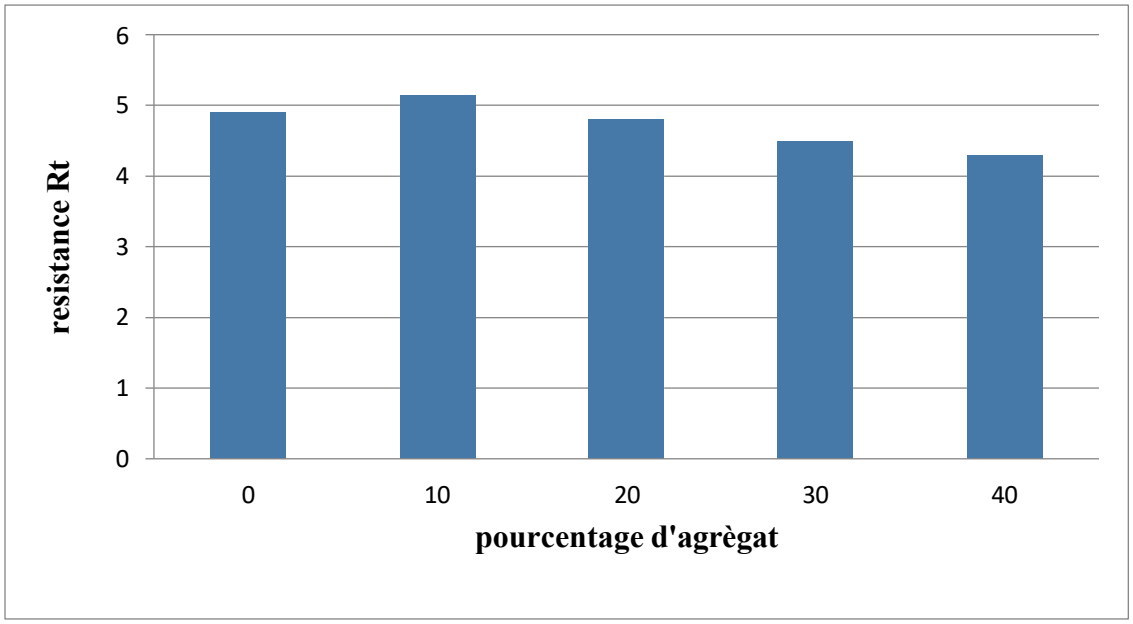


Figure III. 8: la résistance a la traction de mortier 4 avec remplacement de sable avec agrègat pour 30% de bentonite

L'analyse des résultats de la Figure permet d'apporter les commentaires suivants : Lorsque l'on ajoute 30 % de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10% d'agrégat, puis la résistance commence diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau

- **Résistance à la compression**

  a) La laine de mouton

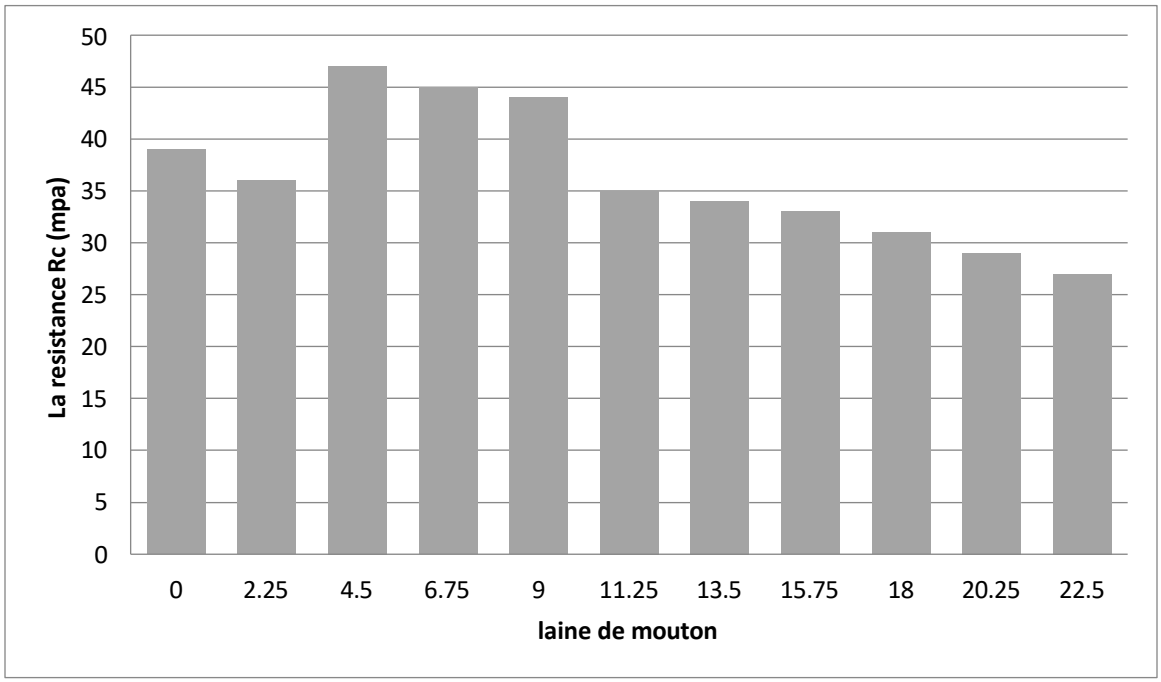


Figure III. 9:La résistance à la compression à l'âge de 28 jours de mortier à base de la laine de Mouton

Les résultats présentés montrent que la résistance à la compression de mortier est améliorée en fonction d'ajout de déchets de la laine du mouton. Le gain est estimé à 17 % pour le mortier (2,3, et 4) (4,5 g, 6.75 g et 9 g) qui représente l'optimum de la résistance des mortiers. Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement à la laine du mouton qui engendre une bonne combinaison entre les fibres qui la composent et la matrice cimentaire. Ces résultats confirment les résultats d'Alessandro et al [32]. Au contraire, Valenza et al. [31] ont trouvé que la résistance à la compression des ciments est diminuée en fonction de l'augmentation de pourcentage des fibres de la laine du mouton. Alyousef [30] ont étudié l'influence de la laine du mouton sur la résistance à la compression du béton ordinaire. Ils ont constaté que plus le pourcentage de déchets de la laine du mouton augmente, plus la résistance à la compression n'est diminuée. Finalement, l'utilisation de ces types de bétons est recommandée dans la construction de béton structurel (poteaux, poutre, dalle).

b) Effet de remplacement du ciment par la bentonite

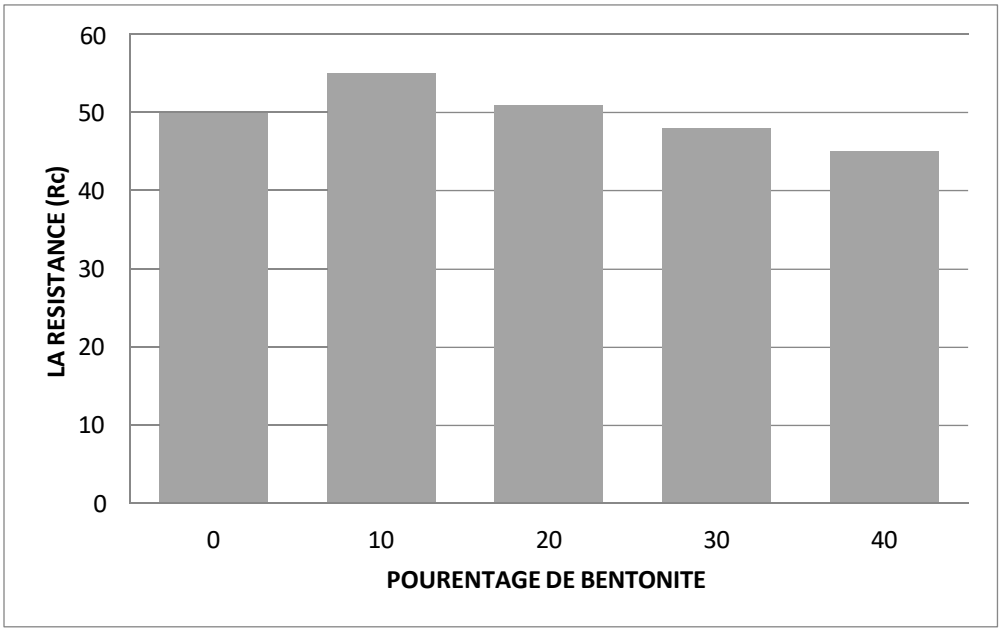


Figure III. 10:la résistance à la compression du mortier bentonite

Après une analyse approfondie des résultats, il est observé que la résistance augmente dans les échantillons de faible substitution tandis qu'elle diminue dans les pourcentage élevés de substitution Parce que les bentonite absorbe beaucoup d'eau

c) Effet de la remplacement du sable avec agregat d'argile calciné

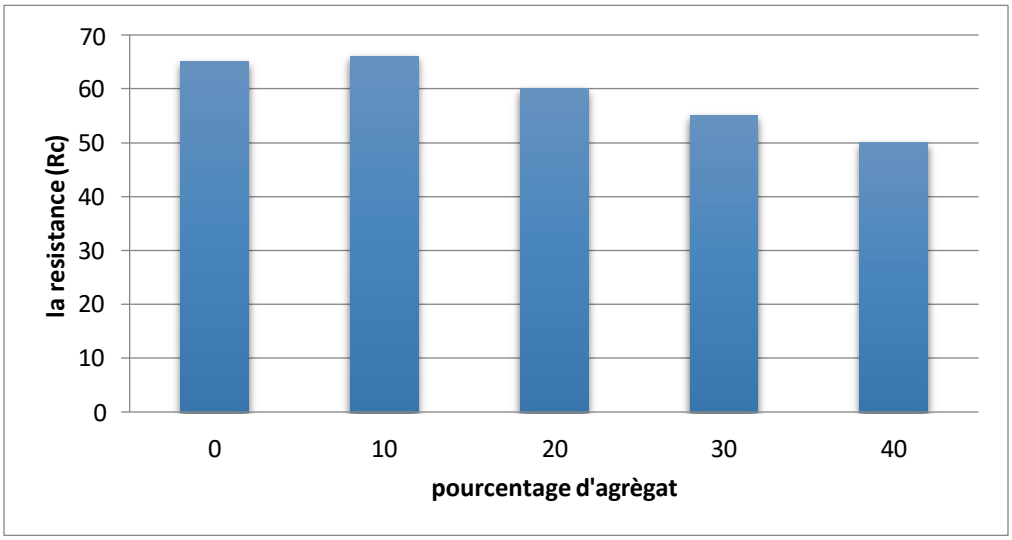


Figure III. 11 :la résistance a la compression de mortier 1 avec remplacement de sable avec agrégat pour 0 % de bentonite

Après une analyse approfondie des résultats En ajoutant 0% de bentonite et en faisant varier le ratio d'agrégat, on observe une augmentation de la résistance et la résistance la plus élevée est obtenue lorsque 10% d'agrégat sont ajoutés, puis au fur et à mesure que le ratio d'agrégat augmente, la résistance diminue

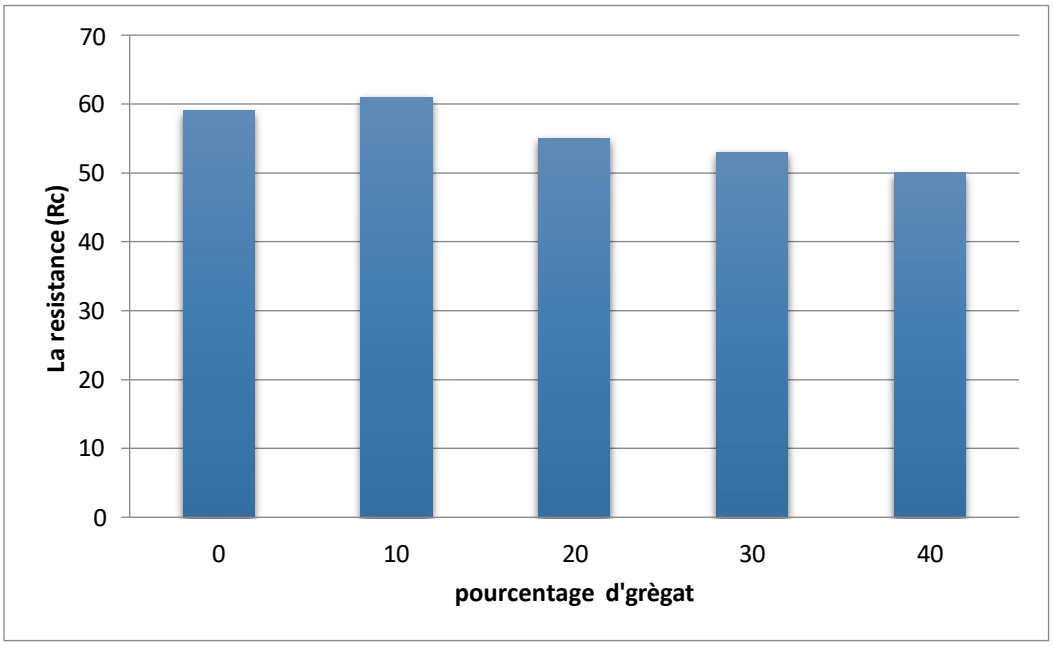


Figure III. 12: la résistance a la compression de mortier 2 avec remplacement de sable avec agrégat pour 10% de bentonite

Après une analyse approfondie des résultats, Lorsque l'on ajoute 10%de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10% d'agrégat, puis la résistance commence diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau

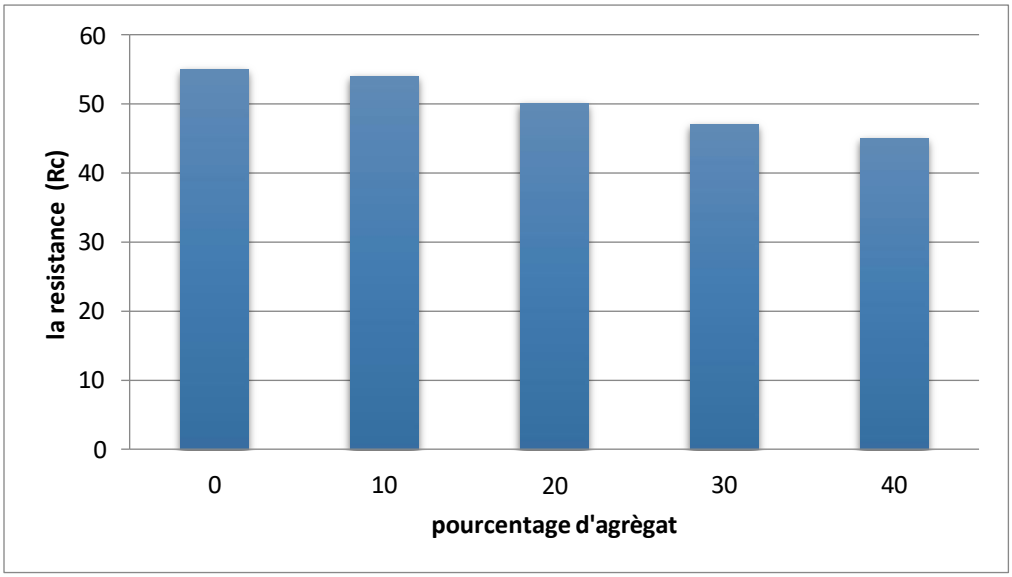


Figure III. 13: la résistance a la compression de mortier 3 avec remplacement de sable avec agrégat pour 20% de bentonite

Après une analyse approfondie des résultats, Lorsque l'on ajoute 20% de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10% d'agrégat, puis la résistance commence diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau

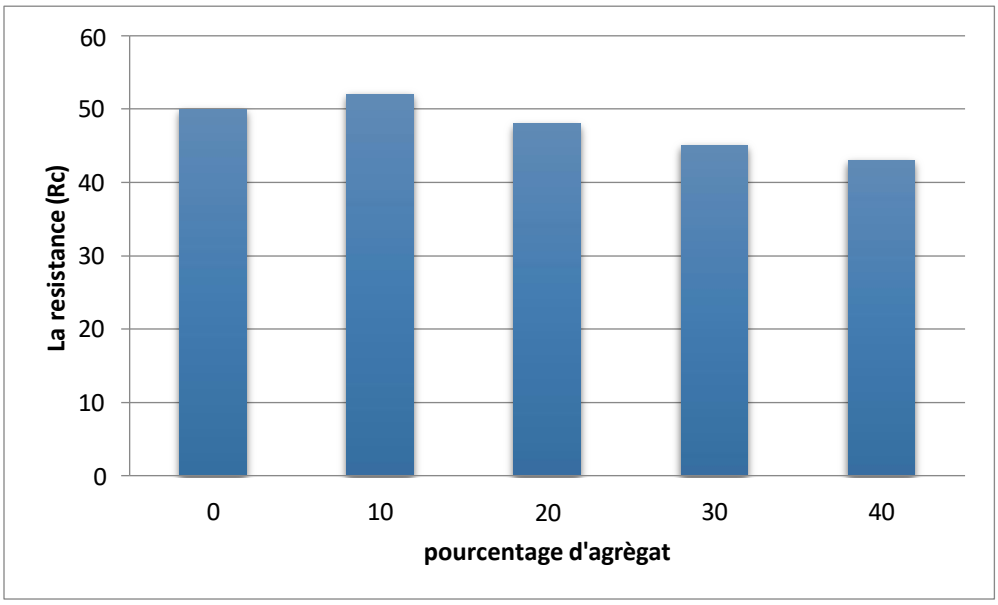


Figure III. 14: la résistance a la compression de mortier 4 avec remplacement de sable avec agrégat pour 30% de bentonite

Après une analyse approfondie des résultats, il est observé que : Lorsque l'on ajoute 30 % de bentonite, la résistance augmente et la résistance la plus élevée est enregistrée lorsque l'on ajoute 10 % d'agrégat, puis la résistance commence à diminuer, ce qui s'explique par le fait que la bentonite absorbe beaucoup d'eau. Pourcentage d'agrégat

III.2.2.3. **Absorption d'eau par capillarite**

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers réalisés sont résumés dans La figure III.13 :

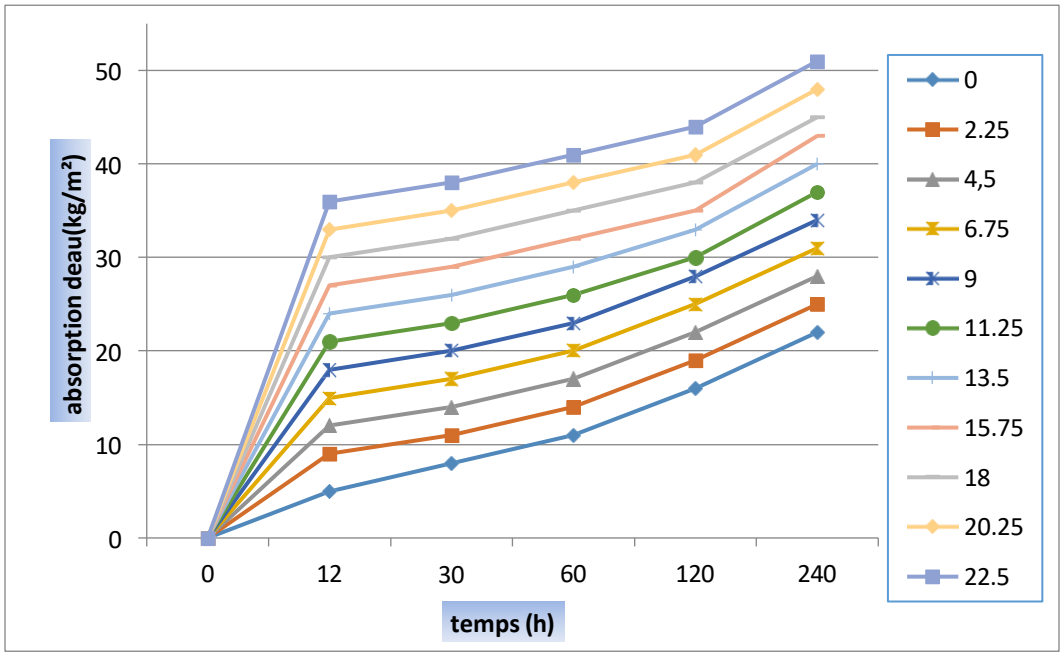


Figure III. 15:Absorption d'eau par capillarite

D'après la figure III. on remarque que le mortier à base de la laine de mouton absorbe plus d'eau légèrement par rapport au mortier témoin(mortierT) .Ce comportement est attendu à cause de la laine fines de l'ajout.

III.2.2.4. Conductivité thermique

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des Éprouvettes de 4x4x16cm3 à l'âge de 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans le Figure suivant :

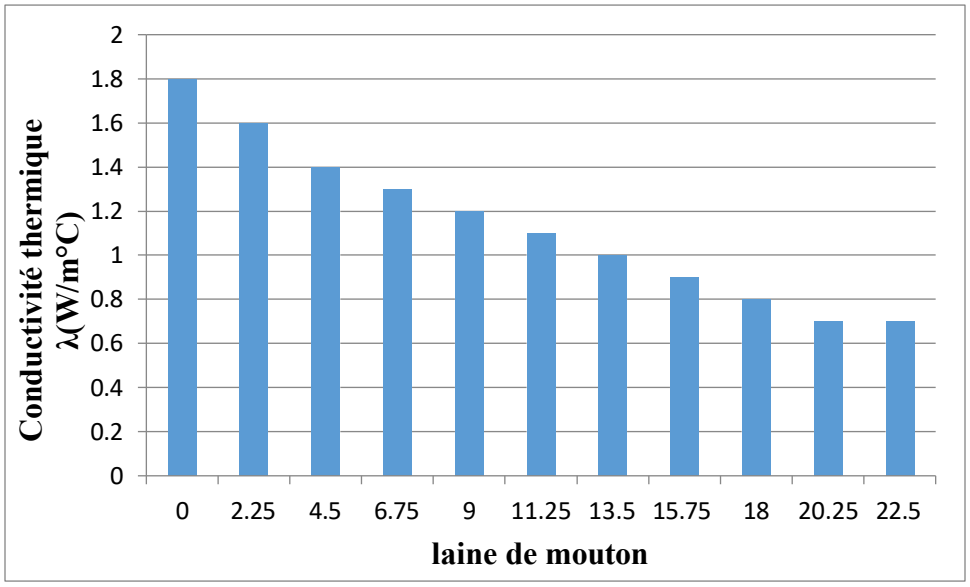


Figure III. 16: Conductivité thermiques de mortier à base de la laine de mouton.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de mortier obtenus est diminuée avec l'augmentation du pourcentage de la laine du mouton. La dégression est estimée à 100% par rapport au mortier témoin. Cette diminution est due à la conductivité thermique du déchet de la laine du mouton qui est plus faible que celle du sable naturel (2 W/m°C). Ce résultat confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheurs[30,31].

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude expérimentale s'est concentrée sur l'effet de la bentonite sur les propriétés du lisier à l'état frais et durci, tandis que l'objectif principal était d'étudier l'effet de la laine de mouton sur les propriétés du lisier à l'état frais et durci. Les résultats obtenus révèlent des conclusions importantes pour les deux matériaux. En revanche, 1. L'utilisation de bentonite calcinée a montré des améliorations significatives :

- Augmentation de la résistance à la compression du mortier avec un remplacement de 10 à 40 % de ciment par de la bentonite.
- Diminution de la densité du mortier à mesure que la quantité de Bentonite augmentait.
- Augmentation des besoins en eau avec l'augmentation du dosage en bentonite.

2. L'incorporation de la laine de mouton a également produit des résultats prometteurs :
   - Impact négatif sur l'étalement du mortier.
   - Amélioration significative de la résistance à la compression et à la traction par flexion.
   - Réduction de la conductivité thermique à mesure que le pourcentage de laine de mouton augmentait, renforçant les propriétés isolantes du mortier.

En conclusion, ces matériaux peuvent être recommandés pour les éléments de béton non structuraux. L'utilisation de la laine de mouton comme matériau alternatif dans la construction peut offrir des avantages significatifs en termes de durabilité et d'efficacité énergétique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] http://hdl.handle.net/2429/68681

[2] https://c8.alamy.com/compfr/gejw2p/sacs-de-25-kg-de-ciment-portland-gejw2p.jpg

[3] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffaisons-le-mur.com%2Fdanger-ciment%2F&psig=AOvVaw0UOZSXzxgykmPaToeGjM_L&ust=1685694426517000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCODIhp7Tof8CFQAAAAAdAAAAABBy

[4] https://docplayer.fr/docs-images/64/50608761/images/10-3.jpg

[5] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.berthold.com%2Ffr-fr%2Fprocess-control%2Findustries%2Fsolutions-mesure-materiaux-de-construction%2Frefroidisseurs-clinker-de-ciment%2F&psig=AOvVaw1mxlAs4d2yEUVWTSzieS93&ust=1685696504198000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCMDGwf3aof8CFQAAAAAdAAAAABAE

[6] https://media.ooreka.fr/public/image/roche-volcanique-pouzzolane-main-13488275.jpg

[7] https://www.medisel.fr/wp-content/uploads/2021/12/GRANUL.gif

[8] https://www.mgs.co.uk/wp-content/uploads/2018/12/Bentonite-Powder-500x500-500x500.jpg

[9] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Flaminggorge.jpeg

[10] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FChemical-Composition-of-

Bentonite_tbl1_233898015&psig=AOvVaw2UPly8kJJY2WRDeTGD4xt-

&ust=1682936998474000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCPDT6YG

z0f4CFQAAAAAdAAAAABA

[11]

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.paramvisions.com%2F2

021%2F10%2Fwhy-bentonite-powder-is-used-in

[12] http://193.194.93.154:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2194/Influence%20d

e%20la%20bentonite%20calcin%C3%A9e%20sur%20%20les%20propri%C3%A9t%C3

%A9s%20des%20mortiers%20cimentaire.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[13] https://www.google.com/maps/place/Imerys+Bentonite+Italy/@44.371116,8.253652,

15z/data=!3m1!4b1!4m10!1m2!2m1!1sbentonite!3m6!1s0x12d2e851a32dbd47:0xb23ef9

648244a560!8m2!3d44.3711021!4d8.272106!15sCgliZW50b25pdGWSARBjb3Jwb3Jhd

GVfb2ZmaWNl4AEA!16s%2Fg%2F11f542nwy8?hl=fr

[14] https://www.google.com/maps/search/bentonite/@46.0523265,-

112.8369708,12z?hl=fr

[15] https://www.histoiresdelaine.fr/quels-sont-les-differents-types-de-

laine/?fbclid=IwAR0KpqTc45OArrq2WIuwTj7USyPjfDLwH7NFGCF14pWvomrtsWrZ

s2vCYk

[16] https://www.pashminacachemire.com/blog/wp-content/uploads/2014/03/histoire-originelaine-

mouton.jpg

[17] https://www.plaidissimo.fr/blog/laine-meirnos-pour-plaids/

[18] https://www.pashminacachemire.com/blog/matiere/laines/histoire-laine-mouton/

[19] https://www.toutsurlisolation.com/laine-de

mouton?fbclid=IwAR21gk5UhqHazJ8f3cia7yylyNxGfp3N7tgmVIXlcQmj8nzGCsWSgg Y4l
gA

[20] https://www.toutsurlisolation.com/sites/toutsurlisolation.com/files/2019-09/Isolants-enlaines-

animales-Laine-de-mouton_reference.jpg

[21] https://www.samse.fr/isolation-combles-amenageables/laine-animale

[22] https://www.aquaportail.com/definition-11225-laine.html

[23] https://2.bp.blogspot.com/

CABD5ju6ACY/TXOK94J5kPI/AAAAAAAABVk/mYLCMdZjmTs/s1600/ortho%2Bpara%
2Bcortex%2Bcropped%2B.jpg

[24] https://www.renovationettravaux.fr/laine-de-mouton-enisolation?

fbclid=IwAR2WXtwIMwBFefJeKRxqwj_6u0vZgmoKQhFR6ZFC6De1UcTtIPgIt RCXU6k

[25] Medina C, Rojas MIS, Frias M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in
eco-efficient concretes. Cem Concr Compos 2012 ; 34(1) :48–54.

[26] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique »,

AFNOR

[27] https://www.google.com/search?
q=le+carrelage+de+murs&tbm=isch&ved=2ah UKEwi8KPjy8rpAhXB0YUKHZmIAZsQ2cCegQIABAA&oq=le+carrelage+de+murs&

amp;gs_lcp=CgNpbWcQAzIECCMQJ1DwF1jEH2DOJmgAcAB4AIABhwGIAY0DkgEDM
C4zmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWc&sclient=img&ei=WGjJXrxswaOXBJm
RhtgJ&bih=654&biw=1366&client=firefox-b-

d#imgrc=Ajd5wq7BYDi0DM

[28] Norme Française, NF P 18-412 « Béton : Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Norme enregistrée, Déc. 1981.

[29]Boukerma Tarek et Mechentel Abdellah, UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA,
]

[30] Rayed Alyousef, Khaled Aldossari, Omar Ibrahim, Haretha Al Jabr, Hisham Alabduljabbar
, Abdeliazim Mustafa Mohamed1 and Ayesha Siddika, Effect of sheep wool fiber on fresh and
hardened properties of fiber reinforced concrete. International Journal of Civil Engineering and
Technology (IJCIET), Volume 10, Issue 05, May 2019, pp. 190-199

[31] A. Valenza, V. Fiore, A. Nicolosi, G. Rizzo, G. Scaccianoce, G. Di Bella, effect of sheep
wool fibres on thermal-insulation and mechanical properties of cement matrix, First International Conférence on Bio-based Building Materials, June 22nd - 24th 2015 Clermont-
Ferrand, France

[32] Alessandro P. Fantilli, Silvio Sicard, Francesca Dotti, The use of wool as fiber renforcement
in cement-based Mortara, Construction and Building Materials xxx (2016) xxx–xxx

Annexes



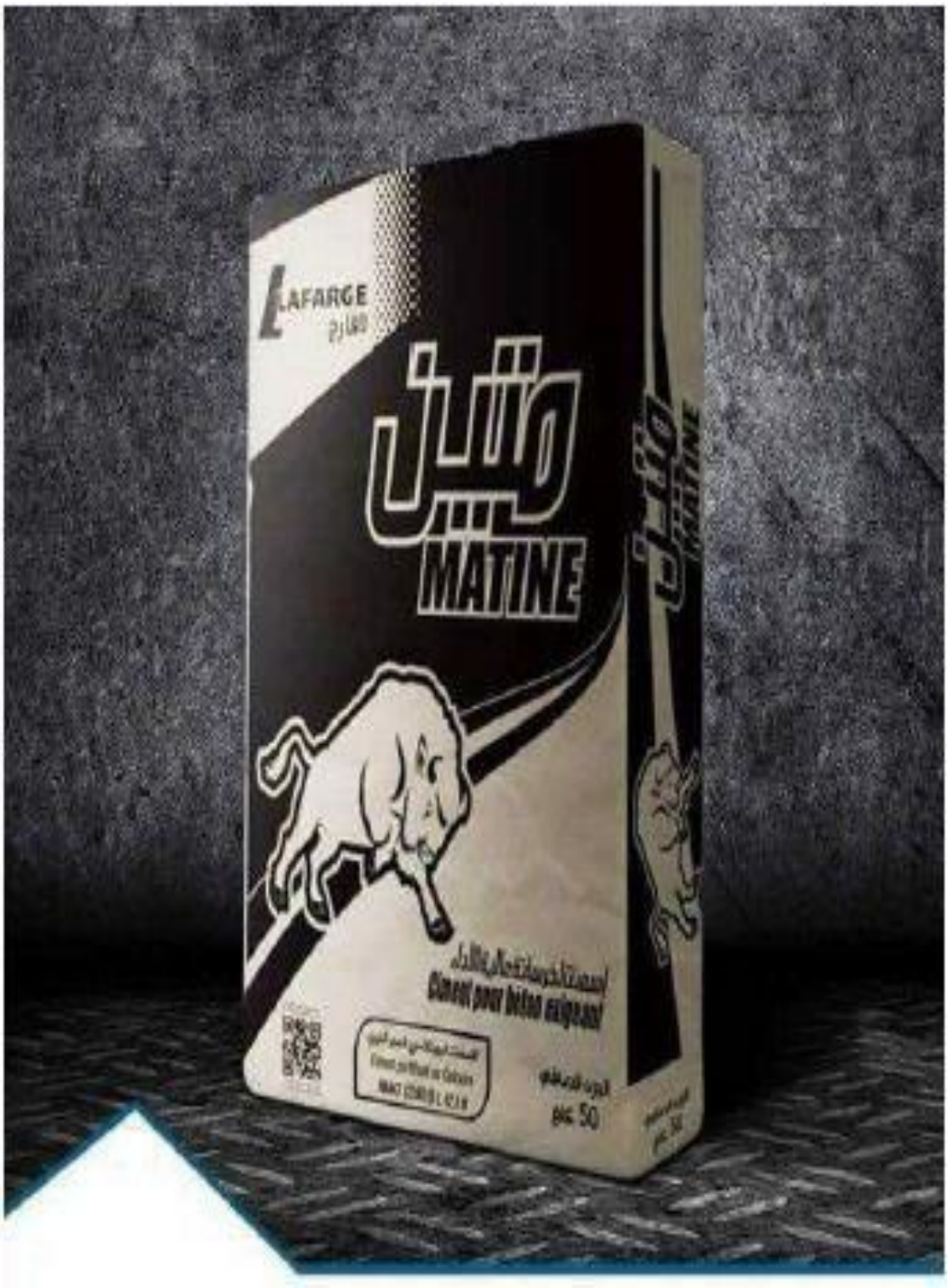


Figure. A.1. Ciment MATINE utilisé

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 R - NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

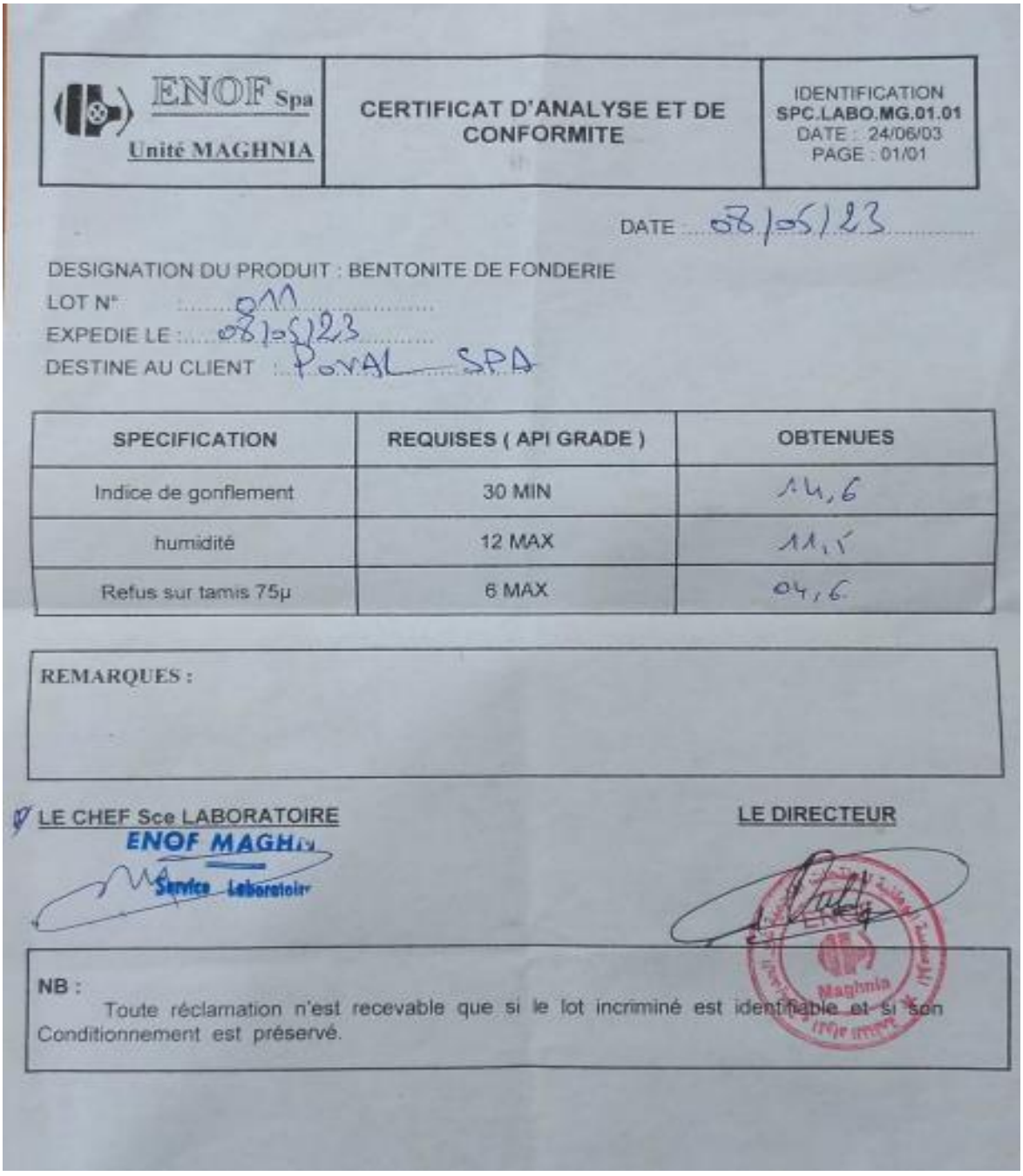
Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Figure. A.2 La fiche technique ciment



ENOF Spa
Unité MAGHNIA

CERTIFICAT D'ANALYSE ET DE CONFORMITE

IDENTIFICATION
SPC.LABO.MG.01.01
DATE : 24/06/03
PAGE : 01/01

DATE : 08/05/23

DESIGNATION DU PRODUIT : BENTONITE DE FONDERIE
LOT N° : 811
EXPEDIE LE : 08/05/23
DESTINE AU CLIENT : POVAL SPA

SPECIFICATION	REQUISES (API GRADE)	OBTENUES
Indice de gonflement	30 MIN	14,6
humidité	12 MAX	11,5
Refus sur tamis 75µ	6 MAX	04,6

REMARQUES :

LE CHEF Sce LABORATOIRE
ENOF MAGHNIA
Service Laboratoire

LE DIRECTEUR

NB :
Toute réclamation n'est recevable que si le lot incriminé est identifiable et si son Conditionnement est préservé.

Figure. A.3: Fiche technique de bentonite