

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة المدنية

Department of Civil Engineering

N° d'ordre: M 2...../GC/2022



Mémoire de Master académique

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

Valorisation de la perlite naturelle de Maghnia dans les mortiers (15-25 %)

Présenté par :

- NOUMIA ASMA

- NIATI SARA

Présidente : Pr. MEBROUKI Abdelkader Université de Mostaganem

Examinatrice : Pre. BELAS Nadia Université de Mostaganem

Encadrant : Dr. BELARIBI Omar Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2021 / 2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant **BELARIBI Omar**, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions beaucoup Professeure **BELAS Nadia** et Professeur **MEBROUKI Abdelkader** qui ont accepté de faire partie de notre jury, leurs critiques et conseils seront très utiles.

Nos remerciements vont également aux Docteurs **CHHAOUI Ramdane** et **HAMADACHE Miloud** ainsi qu'au Doctorant de l'Université d'El Bayadh **ACHOUR Mokhtar** et aux Doctorants de l'Ecole Nationale Polytechnique Maurice Audin d'Oran **NEFOUSSI Hamid**, **BELMOKRETAR Mohamed** et **ABDELHADI Houari** sans oublier les techniciens des laboratoires du génie civil (Université Abdelhamid Ibn Badis) à Mostaganem, et du Laboratoire Matériaux (LABMAT) de l'ENPO. Enfin, nous sommes reconnaissants à Mr. **MARREF Mohamed** Responsable du groupe Gica, Mr. **AOUAR Abdelhamid** de la société Adwan (Chemicalscompagany) et Mme. **CHAOUCHI Fatiha** de **SIKA ALGERIE** de nous avoir fournis le ciment, le sable et le plastifiant respectivement.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont contribué à notre formation au sein du Département de Génie Civil et qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédicace ce mémoire a ma chère maman qui est été toujours a mes cotés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'étude .en signe de reconnaissance qui elles trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qui elles ont consenti d'effort et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

a ma sœur Meriem

a tout ma famille

Et tout mes amies surtout **ASMA, CHAHRAZED, ZAHIRA, RANIA,
FATIMA, NAWAL ET HAFSA**

A tout les gens qui me connaissent et que je connais

À tous les enseignants qui m'ont aidée de prée ou loin dans ma formation

Sara

DEDICACE

Je dédie ce travail à tous ceux qui sont chers à mon cœur

A mon père, que peut être fier et trouve ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer

A ma mère, que été le secret de ma patience et la poursuite des mes études et qui a ouverte pour ma réussite

A mon oncle, A mon frères Mohamed et ma sœur Samia

A tout mes chère amies surtout, **CHAHRAZED, ZAHIRA, RANIA, FATIMA, NAWAL ET HAFSA**

Je remercier mon binôme **NIATI SARA** qui contribué a la réalisation de ce modeste travail

À tous les enseignants qui m'ont aidée de préee ou loin dans ma formation

ASMA

Sommaire

RESUME 14

ABSTRACT 15

ملخص 16

INTRODUCTION GENERALE 1

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PERLITE..... 5

I.1. INTRODUCTION.....5

I.2. HISTORIQUE5

I.3.DEFINITION DE LA PERLITE5

I.4. LES VARIATIONS DES TEXTURES DE LA PERLITE.....5

I.6. LES TECHNIQUES D'EXTRACTION ET DE TRAITEMENT6

I.6.1. Technique d'extraction.....6

I.6.2.Technique de broyage et de criblage6

I.6.3. Technique de traitement.....6

I.7. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES DE LA PERLIT6

I. 8. RESERVES DE PERLITE EN ALGERIE9

I.9.LOCALISATION DU GISEMENT DE LA PERLITE DE HAMMAM BOUGHRARA10

I.10. LES ETAPES DE PREPARATION DE PERLITE EN POUDRE11

I.11. CONCLUSION.....13

CHAPITRE II : PARAMETRES THERMO-PHYSIQUES 15

II.1. INTRODUCTION.....15

II.2. NOTION DE CHALEUR15

II.4.LES MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR.....15

II.4.1 Conduction.....15

II.4.1.1. Flux thermique	16
II.4.1.2. Densité de flux thermique	16
II.4.1.3. Convection.....	16
II.4.3 Rayonnement	16
II.5. PROPRIETES THERMO-PHYSIQUES DES MATERIAUX	16
II.5.1. Conductivité thermique (λ)	17
II.5.2. Diffusivité thermique (a)	17
II.5.3. Chaleur spécifique.....	17
II.5.4. Résistance thermique(R)	17
II.7. Conclusion.....	18
CHAPITRE III : BILAN DES RECHERCHE MENEES SUR LES MORTIERS A	
BASE DE PERLITE	21
II.1. INTRODUCTION.....	21
III.2. LES RECHERCHES SUR MORTIERS A BASE DE PERLITE	21
I.2.1. A l'état frais	21
III.2.1.1. Résultats des essais de consistance.....	21
III.2.1.2. Résultats des essais de prise	24
III.2.3. Maniabilité des mortiers frais.....	26
III.2.2. À l'état durci.....	29
III.2.2.1. Détermination de l'indice d'activité pouzzolanique.....	29
III.2.2.2. Résistance à la compression	29
III.2.2.3. Résistance à la traction	34
III.2.3. Essai d'Adsorption capillaire	35
III.2.3. Mesure de la conductivité thermique des mortiers à l'air libre	38
III.3. CONCLUSION.....	41
PARTIE II: MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES	
CHAPITRE I: MATERIAUX UTILISES	44
I.1. INTRODUCTION.....	44
I.2. MATERIAUX UTILISE	44
I.2.1. Le ciment résistant aux sulfates	44
I.2.1.1. Fabrication de ciment résistant aux sulfates(CRS)	44

I.2.1.2. la Formules de Bogue.....	46
II.2.2.Le sable :	48
I.2.3.L'eau de gâchage.....	50
I.2.4.Perlite	50
I.2.5.L'adjuvant	51
I.3.CONCLUSION	52
CHAPITRE II: LES METHODES EXPERIMENTALES	54
II.1.INTRODUCTION.....	54
II.2.ESSAIS SUR MORTIERS A L'ETAT FRAIS	54
II.2.1.formulation des mortiers	54
II.2.2.Préparation des mortiers.....	55
II.2.2.1.Le mode opératoire de préparation de mortier témoin	56
II.2.3.Maniabilité des mortiers	56
II.2.3.1.Le maniabilimètre du LCPC	56
II.2.3.2.Confection des mortiers	58
II.4. ESSAIS SUR PATES	59
II.4.1.consistance normal et le temps de prise.....	59
II.4.1.1Essai de consistance normalisée	60
II.4.1.2Objectif de l'essai	60
II.4.1.3 Principe d'essai.....	60
II.4.1.4.Équipement nécessaire	60
II.4.1.5.Conduite de l'essai	60
II.4.2. Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte	61
II.4.2.1. Objectif de l'essai	61
II.4.2.2.Principe d'essai	61
II.4.2.3.Equipement nécessaire	61
II.4.2.4.Conduite de l'essai	61
II.3.ESSAIS SUR MORTIERS A L'ETAT DURCI	63
II.3.1.Essais de résistances mécaniques.....	63
II.3.1.1. Objectif de l'essai.....	63
II.3.1.2 .Principe de l'essai	63

II.3.1.3 .Équipement nécessaire (norme EN 196-1)	63
II.3.1.4.Conduite de l'essai.....	64
II.4.Essais d'absorption capillaire.....	67
II.4.1.Principe	67
II.4.2Appareillage	67
II.4.3.Mode opératoire	68
II.5Essai thermique	69
II.5.1 Essai de conductivité thermique	69
II.6. Conclusion.....	71
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
CHAPITRE I: RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT FRAIS	74
I.1.INTRODUCTION.....	74
I.2. RESULTATSDE L'ESSAI DE CONSISTANCE.....	74
I.3.LES RESULTATS DE L'ESSAI DE PRISE	75
I.4.MANIABILITE.....	76
I.5. CONCLUSION.....	78
CHAPITRE II : RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT DURCI.....	80
II.1. INTRODUCTION.....	80
II.2.RESULTATS DE L'ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE.....	80
II.3.LES RESULTATS DE L'ESSAI DE CONDUCTIVITE THERMIQUE.....	81
II.4.RESISTANCES MECANIQUES DES MORTIERS	85
II.4.1 la Résistances à la traction à base de perlite	85
II.4.2. La résistance à la compression des mortiers à base de perlite	86
II.5.CONCLUSION.....	88
CONCLUSION GENERALE	89

Liste des figures

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Figure I.1 : Exemple typique d'une roche de perlite

Figure I.2 : Différents degrés de politisation

Figure I.3. : le diffractogramme aux rayons X de la perlite naturelle %

Figure I.4 : Scories de la perlite de Hammam Boghrara avant broyage.

Figure I.5: Localisation du gisement de Hammam Boughrara (TLEMCEM)

Figure I.6: Coupe verticale géologique du gisement de Hammam Boughrara

Figure I.7 Séchage L'échantillon dans l'étuve

Figure I.8: Concassage et broyage

Figure I.9: la poudre de perlite après le broyage et tamisage

Figure III.1 : la variation de temps de prise des pâtes en fonction de dosage de perlite

Figure III.2: la variation la consistance des pâtes en fonction de dosage de perlite

Figure III.3 : Variation d'E/l pour avoir des pâtes à consistance normale

Figure III.4 : Evolution des temps de prise des différentes pâtes .

Figure III.5 : Temps de prise des pâtes à base de perlite

Figure III.6 : Variation de l'étalement en fonction des différents dosages de la perlite

Figure III.7: Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers

Figure III.8: Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers

Figure III.9 : Résistance à la compression des mortiers de ciments composés en % de PC ; (a : finesse de 3200 cm²/g).

Figure III.10 : Résistance à la compression des mortiers de ciments composés en % de PC b : finesse de 3700 cm²/g).

Figure III.11: Résistance à la compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux

Figure III.12: Résistance à la compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux .

Figure III.13: Résistance à la compression des différents mortiers

Figure III.14 : Evolution de la résistance à la compression des différents mortiers

Figure III.15 : Evolution des résistances à la compression (MPa).

Figure III.16 : Evolution des résistances à la traction (MPa).

Figure III.17: Evolution des résistances à la traction (MPa).

Figure III.18: Evolution des coefficients d'absorption capillaire des différents mortiers.

Figure III.18: Evolution des coefficients d'absorption capillaire des différents mortiers.

Figure III.19: Variation de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre.

Figure III.20: l'évolution de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre.

Figure III.21: Variation de la résistance thermique en fonction du temps à l'air libre.

Figure III.22: Variation de la conductivité et la résistance thermique en fonction du dosage de la perlite à l'air libre.

PARTIE II : MATERIAU ET METHODE EXPERIMENTAL

Figure I. 1 : ciment résistante aux c sulfate (CRS)

Figure I.2 : Masse volumique apparent de ciment.

Figure I.3 : Masse volumique absolue de ciment.

Figure I.4: Zone industrielle Fornaka Mostaganem(la société adwane)

Figure I.5: Masse volumique apparente de sable .

Figure I.6 : équivalents de sable

Figure I.7: Gisement à Hammam Boughrara (Tlemcen)

Figure I.8 : perlite de maghnia

Figure II. 1: 450g de ciment

Figure II.2 : 225 g de l'eau

Figure II.3: 1350 g sable normalisé

Figure II.4: malaxeur

Figure II.5 : Maniabilimètre(LCPC) pour mortier

Figure II.6 : procédure de l'essai de maniabilité

Figure II.7 : Maniabilimètre avec mortier

Figure II.8 : le moule vide

Figure II.9: Moule d'éprouvettes prismatique (40x40x160) mm

Figure II.10 : Appareil de Vicat.

Figure II.11: Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance

Figure II.12: appareil de Vicat

Figure II.13 : appareil de Vicat (début de prise)

Figure II.14: la machine de résistance mécanique.

Figure II.15 : le dispositif de flexion

Figure II.16: le dispositif de compression

Figure II.17: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Figure II.18: l'éprouvette de 15% en flexion simple

Figure II.19: l'éprouvette de 25% en flexion simple

Figure II.20: le résultat de rupture de l'éprouvette

Figure II.21: Le diagramme en flexion simple

Figure II.22: Dispositif de rupture en compression

Figure II.23 : l'état des éprouvettes après la compression

Figure II.24 : diagramme de compression

Figure II.25: la forme d'éprouvette après essai de la compression

Figure II.26 : démoulage de l'échéance de l'absorption capillaire

Figure II.27 : la peser de l'éprouvette

Figure II.28: l'éprouvette dans le back D'eau avec le niveau 3mm

Figure II.29: Conductivimètre au laboratoire avec le mortier d'ENPO

PARTI III : RESULTAT ET DISCUSSION

Figure I.1: Variation des rapports E/I en fonction du dosage en perlite

Figure I.2 : Temps de prise des pâtes à base de perlite

Figure I.3 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers.

Figure II.1 : la variation des coefficient d'absorption capillair du différent mortier

Figure II.2 : la variation de la conductivité en fonction de dosage de la perlite à 28 j

Figure II.3 : la variation de la capacité thermique en fonction de dosage de la perlite à 28j

Figure II.4 : la variation de la diffusivité thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j

Figure II.5: la variation de la résistance thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j

Figure II.6: Evolution des résistances à la traction (MPa).

Figure II.7: Evolution des résistances à la compression (MPa).

Liste des tableaux

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE

Tableau I.1. Les variations des textures de la perlite

Tableau I.2. Les domaines utilisations de la perlite

Tableau I.3 : Les caractéristiques physiques de la perlite

Tableau I. 4 : Les caractéristiques thermo physique

Tableau I. 5 : La composition chimique typique de la perlite brute

Tableau I.6 : compositions chimiques d'une sélection de perlites typique commercialisée

Tableau I. 7 : Composition chimique élémentaire de la perlite de Hammam Boughrara

Tableau I.8 : les principaux gisements de la perlite de Maghnia

Tableau III.1 : Les essais, de consistance début et fin de prise des pâtes

Tableau III.2 : Formulation et préparation des différentes pâtes et le rapport E/C

Tableau III.3 : Les temps de début, fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes.

Tableau II.4 : Proportions des mélanges de différents mortiers.

Tableau III.5. Influence de la perlite naturelle sur la maniabilité des mortiers à E/C=0,50.

Tableau III.6 : Proportions des mélanges des différents mortiers.

Tableau III.7: Coefficients d'absorption capillaire.

Tableau III.8 : Coefficients d'absorption capillaire

Tableau III.9 Conductivité thermique des mortiers A l'air libre.

PARTIE III : MATERIAU ET METHODE EXPERIMENTAL

Tableau I.1 : Composition chimique du ciment CRS GICA

Tableau I.2: Caractéristique mécaniques et physique de ciment

Tableau I.3 : compositions élémentaire chimique de ciment crs en%

Tableau I.4 : compositions chimique de clinker ciment crs.

Tableau I.5: caractéristique physique de ciment.

Tableau I.6: série de tamis avec le refus d'un sable normalisé.

Tableau I.7: caractéristique physique de sable

Tableau I.8 : caractéristique physique

Tableau I.9: Composition chimique élémentaire de la perlite naturelle.

Tableau I.10: Caractéristiques physiques et chimique de l'adjuvant.

Tableau II.1 : Formulations des mortiers.

Tableau II.2 : Etapes pour la confection d'un mortier normal

Tableau II. 3 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement

Tableau II.4: Les opérations du malaxage

Tableau II.5: Les opérations du malaxage

PARTI III : RESULTAT ET DISCUSSION

Tableau I.1: Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.

Tableau I.2 : Les temps de début de prise, de fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes.

Tableau I.3: la maniabilité des mortiers (temps de vibration en secondes

Tableau I.4 : Dosages du plastifiant des mortiers à base de Perlite

Tableau II.1: masse de différentes éprouvettes de mortier en gramme

Tableau II.2:Coefficients d'absorption capillaire

Tableau II.3 : les masses des mortiers à 28jour avant et après le séchage

Tableau II.4 : les résultats des caractéristique thermo physique

Tableau II.5 : Résistances à la traction par flexion (MPa)

Tableau II.6: Résistances à la compression (MPa)

RESUME

Dans l'industrie cimentaire, la recherche d'un liant moins coûteux en utilisant des déchets et des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure pour palier le déficit dans la fabrication du ciment Portland.

La perlite est une roche volcanique, finement broyée, pour être utilisée comme un ajout minéral actif dans la production du ciment. L'Algérie possède un potentiel de ce matériau.

Ce travail expérimental étudie les avantages et la possibilité de valoriser la perlite de Maghnia en tant que substitut minéral partiel au ciment CPA CEMI 42.5 dans la composition des mortiers et ce à divers taux de remplacement en volume (0, 15 et 25%). Les pâtes cimentaires et les mortiers ainsi confectionnés sont testés vis-à-vis du comportement physico-mécanique et thermique (consistance, prise, maniabilité, résistance mécaniques, absorption capillaire, résistance thermique).

Les résultats d'essais sur les pâtes montrent que la présence de la perlite engendre une augmentation du besoin en eau, elle contribue également à accélérer le temps de prise. Les mortiers à base de perlite, développent des résistances mécaniques meilleures par rapport à celles du mortier témoin à long terme ainsi qu'une absorption capillaire plus faible. Par ailleurs les mortiers composés de perlite présentent des caractéristiques thermo-physiques intéressantes ce qui permet de mettre en évidence l'effet bénéfique de la perlite comme isolant thermique et l'intérêt de valoriser cet ajout.

Les mots clés :

Mortier, perlite, état frais, absorption capillaire, résistance mécanique, comportement thermique

ABSTRACT

In the cement industry , the search for a less expensive binder using waste and natural resources has become a major concern to overcome the deficit in the manufacture of Portland cement.

Perlite is a volcanic rock, finely ground, to be used as an active mineral addition in the production of cement. Algeria has potential for this material.

This experimental work studies the advantages and the possibility of using Maghnia perlite as a partial mineral substitute for CPA CEMI 42.5 cement in this composition of mortars at various replacement rates by volume (0, 15 and 25%). The mortars made in this way are tested with regard to physico-mechanical and thermal behavior (consistency, setting, workability, mechanical resistance, capillary absorption, thermal resistance).

The results of tests on the pastes show that the presence of perlite causes an increase in the need for water, it also contributes to accelerate the setting time. Mortars with perlite develop better mechanical strength compared to those of the long-term control mortar as well as lower capillary absorption. In addition, mortars composed of perlite have interesting thermo-physical characteristics, which makes it possible to highlight the beneficial effect of perlite as a thermal insulator and the interest of enhancing this addition.

Keywords :

Mortar, perlite, fresh state, capillary absorption, mechanical strength , thermal behavior

ملخص

في صناعة الأسمنت ، أصبح البحث عن مادة رابطة أقل تكلفة باستخدام المخلفات والموارد الطبيعية مصدر اهتمام كبير للتغلب على العجز في تصنيع الأسمنت البورتلاندي.

البيرلايت هو صخرة بركانية مطحونة ناعماً تستخدم كمادة معدنية نشطة في إنتاج الأسمنت. الجزائر لديها إمكانية لهذه المادة.

يدرس هذا العمل التجريبي مزايا وإمكانية استخدام بيرلايت كبديل معدني جزئي لأسمنت في تركيب الملاط بمعدلات استبدال بالحجم (0 ، 15 ، و 25%). تم اختباره فيما يتعلق بالسلوك الفيزيائي والميكانيكي والحراري (القوام، الإعداد، قابلية التشغيل، المقاومة الميكانيكية، الامتصاص الشعري، المقاومة الحرارية)

تظهر نتائج الاختبارات على المعاجين أن وجود البيرلايت يولد زيادة في الحاجة إلى الماء ، كما أنه يساهم في تسريع وقت الإعداد. يعمل الملاط القائم على البيرلايت على تطوير مقاومة ميكانيكية أفضل مقارنة بملاط التحكم طويل المدى بالإضافة إلى امتصاص الشعري . بالإضافة إلى ذلك ، تتميز الملاط المكون من البيرلايت بخصائص حرارية فيزيائية مثيرة للاهتمام ، مما يجعل من الممكن إبراز التأثير المفيد للبيرلايت كعازل حراري والاهتمام بتعزيز هذه الإضافة

الكلمات الدالة

ملاط ، بيرلايت ، حالة طازجة ، امتصاص شعري ، مقاومة ميكانيكية ، سلوك حراري

INTRODUCTION GENERALE

Les ajouts minéraux sont actuellement utilisés de plus en plus dans les matériaux cimentaires comme substituts partiels au ciment et ce pour plusieurs raisons : performance mécanique, durabilité, écologie et économie.

L'Algérie possède une importante source minière d'origine volcanique et riche en matériaux pouzzolaniques naturels telle que la perlite naturelle de Hammam BOUGHRARA situé à MAGHNIA. Plusieurs recherches ont été menées sur la possibilité d'exploiter cette ressource naturelle et l'utiliser, comme ajout substituable partiellement au ciment, dans les mortiers présentant par conséquent des caractéristiques satisfaisantes.

L'objectif de notre travail est donc de déterminer l'influence du dosage de la perlite (0% ,15% et 25 %) dans le comportement des mortiers en termes de caractéristiques physiques mécaniques et thermiques

Ce travail est composé de trois parties : partie étude bibliographique, partie matériaux et méthodes expérimentales et enfin partie résultats et discussion.

La partie bibliographique comporte trois chapitres :

-Le premier chapitre traitera des généralités sur la perlite naturelle, sa localisation, ses propriétés et son utilisation.

- Dans le deuxième chapitre, nous aborderons les paramètres thermo-physiques, et la notion de transfert thermique qui se réalise par les superpositions des trois modes fondamentaux : conduction, convection et rayonnement.

- Le troisième chapitre résume les recherches menées sur les mortiers à base de perlite.

La deuxième partie comprend deux chapitres:

- Les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des matériaux utilisés tels que le ciment, la perlite, le sable et l'adjuvant sont décrites dans le premier chapitre.

-Quant au second, il explique les différentes méthodes et techniques suivies afin d'effectuer les différents essais expérimentaux.

La dernière partie consacrée aux résultats et discussions est subdivisée en deux chapitres : à l'exposé et à l'exploitation des résultats expérimentaux, on a

-Le premier chapitre expose les résultats et les discussions relatifs aux essais à l'état frais (la consistance et le temps de prise et la maniabilité).

-Le second chapitre illustre les résultats à l'état durci : l'absorption capillaire, la conductivité thermique et la résistance mécanique à la traction et à la compression.

Enfin, nous clôturons ce travail par une conclusion générale qui rappelle les principaux résultats obtenus.

partie I:
étude bibliographie

CHAPITRE I : **GENERALITES SUR LA PERLITE**

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PERLITE

I.1. INTRODUCTION

Dans l'industrie cimentaire, la recherche d'un liant moins coûteux, en utilisant des déchets industriels et des ressources naturelles, est devenue une préoccupation majeure pour palier au déficit dans la fabrication du ciment Portland. L'Algérie est riche en gisements volcaniques, comme le gisement de pouzzolane naturelle de Béni Saf qui est employé comme ajout minéral actif dans les usines locales de fabrication du ciment. D'autres gisements des roches volcaniques vitreuses se trouvent au Nord-Ouest de l'Algérie, tel que la perlite de Hammam Boughrara .

I.2. HISTORIQUE

La première identification de la perlite en tant que verre volcanique particulier semble remonter à l'antiquité, peut-être dès le troisième siècle avant identification de la perlite en tant que verre volcanique [LANGFORD, 1979]. D'autres auteurs situent les premières descriptions de la roche et de ses propriétés au XVIIIe et au XIXe siècle, mais ce n'est que depuis 1940-1950 environ qu'est née une véritable industrie de la perlite obtenue par expansion thermique rapide de cette roche.

La perlite est un aluminosilicate roche volcanique, en raison de sa nature vitreuse et de sa composition chimique (70-75% SiO₂ et 12-18% Al₂O₃) [Meral Ç., 2004][Rashad A. M.,2016]. Elle peut être utilisée comme ajout pouzzolanique [Yu L. H. et al, 2003][ERDOGAN S. T. et SAGLIKA. Ü., 2013][CHIHAOUI R., 2018]. Il est très intéressant d'étudier cette roche comme apport en matière première pour l'utiliser comme ajout minéral actif.

I.3.DEFINITION DE LA PERLITE

La perlite est une roche volcanique siliceuse concassée et calibrée, elle comme un sable ou de granules de couleur blanche, c'est un matériau naturel contenant de l'eau et qui est très stable dans le temps en raison d'un refroidissement rapide, la perlite se dilate de quatre à vingt fois son volume d'origine sous l'effet de l'évaporation de l'eau. La pierre volcanique éclate, ce qui entraîne la formation d'innombrable petite bulle d'air, cette porosité confère à la perlite des propriétés physique remarquables telles qu'une faible conductivité thermique ainsi qu'une incroyable légèreté pour la perlite expansée.

De la famille des rhyolites perlitiques, qui a une teneur en eau relativement élevée (2 à 6% d'eau combinée chimiquement), habituellement formée par l'hydratation d'obsidienne. Elle a la propriété inhabituelle de s'expansé lorsqu'elle est chauffée entre 850°C et 1100°C. Cette expansion se traduit par une augmentation de volume 7 à 20 fois le volume initial



Figure I.1 : Exemple typique d'une roche de perlite [Samar et al. 2016]

I.4. LES VARIATIONS DES TEXTURES DE LA PERLITE

Dans certains gisements, peuvent être observées des variations de texture de la perlite selon le tableau I.1.

Tableau I.1. Les variations des textures de la perlite

la texture cendreuse	une très faible densité, elle est de couleur gris à beige
la texture granulaire	saccharoïde et rubané, et avec une fracturation à débit en blocs, ses meilleures caractéristiques physiques permettent son broyage, son criblage et son transport.
la texture classique	les nodules d'obsidienne résiduelle peuvent se présenter en grains isolés ou en rognons de dimension variée

I.5. LES DIFFERENTES UTILISATIONS DE LA PERLITE

Les utilisations principales de la perlite mettent en valeur sa faible densité et sa faible conductibilité thermique, cette différence en exprimer dans le tableau I.2.

Tableau I.2. Les domaines utilisations de la perlite

Domaine de bâtiment	utiliser dans les bétons léger, et dans les panneaux isolants, pour les terrasses, et pour les sous –couches de plancher, et les revêtements anti incendie, et en l'isolation phonique et thermique.
Domaine de l'horticulture	mélangée avec de la tourbe ou avec du sable siliceux, elle empêche le dessèchement des tourbes dont le ré humectation est, difficile
Domaine de la sidérurgie	diminue la vitesse de refroidissement des cubilots, lingots et coulées.
Domaine des minéraux de charge	les peintures, un agent anti – agglomérant.....

I.6. LES TECHNIQUES D'EXTRACTION ET DE TRAITEMENT

I.6.1. Technique d'extraction

La seule méthode d'extraction de la perlite c'est la méthode de l'exploitation à ciel ouvert qui est plus économique car elle a une texture cendreuse, elle peut être ripée, mais si elle est insuffisamment friable, des explosifs sont nécessaires. La présence de l'argile ou d'obsidienne nécessite une extraction sélective qui cette opération d'extraction dépense une énergie de l'ordre de 0.4 thermie /t.

I.6.2. Technique de broyage et de criblage

La première étape est la réduction du matériau par broyeur à mâchoires à moins de 8 mm, la réduction à 1.6mm se fait par un broyeur giratoire et celle à moins de 2.36 mm par un broyeur à percussion. Le fractionnement granulométrique est assuré par des cribles vibrants et un classificateur pneumatique pour les plus fines particules. Pour les opérations de séchage, broyage et criblage, l'énergie dépensée varie de 6.3 à 12.6 thermies /m³

I.6.3. Technique de traitement

La perlite broyée et criblée est expansée dans des fours verticaux ou horizontaux, la température optimale est atteinte lorsque simultanément le verre devient visqueux et l'eau de composition se volatilise.

Une volatilisation excessive de l'eau produit trop de fines particules expansées, alors qu'une insuffisance d'eau donne des qualités de perlite trop denses, les perlites ayant une mauvaise expansibilité sont préchauffées à 450°C.

I.7. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES DE LA PERLITE

Les tableaux I.3, I.4 et I.5 donnent respectivement les caractéristiques physiques,thermo-physiques et chimiques de la perlite. Les différents degrés de perlitisation sont montrés dans la figure I.2.

Tableau I.3 : Les caractéristiques physiques de la perlite

pH	Densité	Densité apparente	Point de ramollissement	Point de fusion	Chaleur spécifique
6.5à8.0	2.2à2.4	32-400 kg/m3.	871-1093°C.	1260-1343°C	387 J/kg K

Tableau I. 4 : Les caractéristiques thermo physique

Conductivité thermique a 24°C	0,04 à 0,06 W/m·K
Dureté	5.5. – 7 (échelle de Mohs).
capacité d'absorption d'eau	50% en poids 50% en volume.

Tableau I. 5 : La composition chimique typique de la perlite brute [MERAL Ç. 2004]

Désignation	Teneur (%)
SiO ₂	71à 75
AL ₂ O ₃	12.5à16
Na ₂ o	2.9 à 4
k ₂ o	4 à 5
CaO	0.2 à 0.5
Fe ₂ O ₃	0.5à 1.45
MgO	0.03à 0.5
H ₂ O	3.05à 5.16

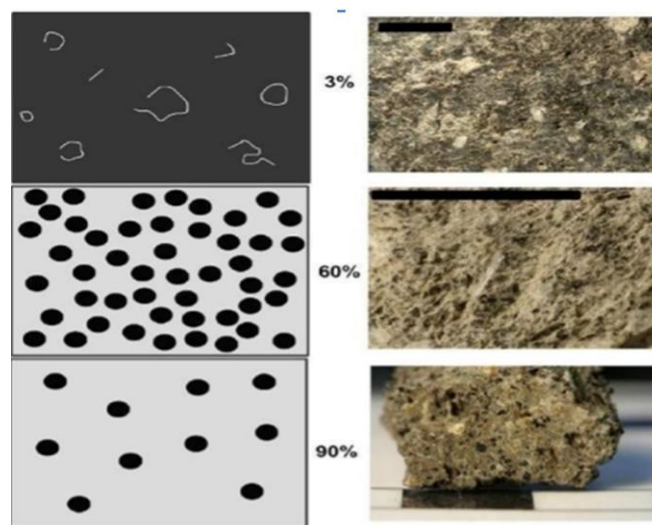


Figure I.2 : Différents degrés de perlitisation. [FERK, 2012].

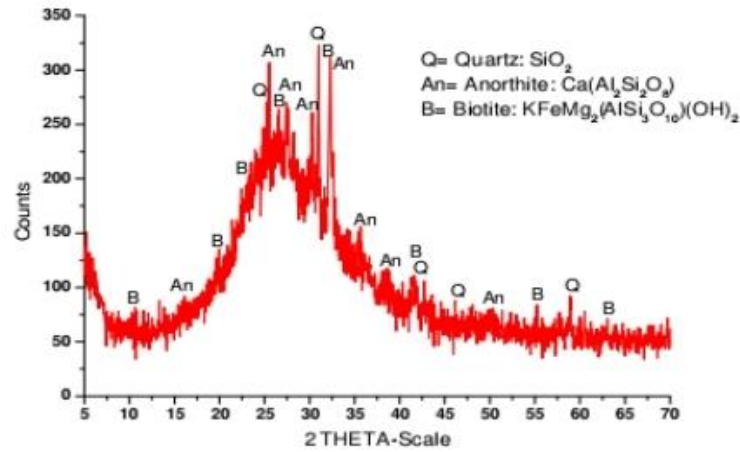


Figure I.3. : le diffractogramme aux rayons X de la perlite naturelle % [CHIHAOUI .R.2017]

Ce diagramme nous montre que la perlite naturelle est composée de minéraux courants pour une substance volcanique avec principalement du quartz, anorthite et biotite. Aucun minéral hydraulique n'a été reconnu dans ce matériau, néanmoins le décollement de la ligne de base du diffractogramme sous forme d'une bosse nous indique la présence d'une phase amorphe potentiellement réactive [CHIHAOUI, 2017].

Une série d'analyses chimiques de la perlite de différentes origines donnée par le tableau I.

Tableau I.6 : compositions chimiques d'une sélection de perlites typiques commercialisées [Kady, Jr (1983), Lu, 1998, et divers producteurs]

Pays	Région	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺
Grèce	(Milos)	74.20	12.30	0.95	0.08	0.85	0.13	4	4.40	2.80
Turquie	(Biga)	73	13.80	0.70	0.20	0.70	0.25	3.25	4.50	3.70
Italie	(Monte,sparau ,sardaigne)	72.80	13.80	2.10	0.30	0.90	0.40	3.30	5.60	Nd
Bulgarie	(schupenata	73.80	12.8	0.56	0.07	0.50	0.03	3	4.90	4
Hongrie	(Palhaza)	73.50	13	1.80	-	1.50	0.40	3.50	3.80	3
USA	No Agua (nouveau Mexique	72.10	13.50	0.80	0.06	0.89	0.50	4.60	4.40	372.
	Pioche (nevada)	73.10	12.80	0.70	0.08	0.90	0.20	3	4.70	3.90
	Fish Springs (californée	75	13.20	0.70	n.d	0.50	trac	4.30	4.60	3.20
Argentine	Rio Negro	72.30	13.40	1	0.08	0.59	0.30	3.40	4.70	3.70
Russie	Sibérie	72.80	14.15	0.17	n.d	0.82	-	2.50	4.35	?
Japon	Akita	74.20	12.90	0.68	0.06	0.45	0.05	4.10	4	3.30
chine	Xinyang (Henan)	72	12.31	1.34	n.d	1	0.14	3.29	4.67	?
Arménie	Aragats	73	12.40	0.70	0.05	0.40	0.10	4.50	4.90	3.50

I. 8. RESERVES DE PERLITE EN ALGERIE

La perlite existe dans les roches volcaniques et sédimentaires au Nord-Ouest de Tlemcen près de Hammam BOUGHRARA pré (MAGHNIA). Les gisements sont localisés près des routes et peuvent apparemment être exploités à ciel ouvert [LSUNMA, 1999].

La roche est d'abord concassée et calibrée par granulométrie. L'expansion industrielle de la perlite est réalisée par EFISOL dans des fours spéciaux, fixes ou rotatifs. Sous l'effet de la chaleur, les grains de perlite s'expansés : une multitude de cellules fermées se constituent à l'intérieur des grains. La perlite est utilisée sous forme d'une poudre tamisée à 80 µm dans tous les essais. La composition chimique de la perlite broyée et le spectre DRX sont montrés dans le tableau, respectivement.



Figure I.4 : Scories de la perlite de Hammam BOGHRARA avant broyage. [HAMDACHE . 2017]

Tableau I. 7 : Composition chimique élémentaire de la perlite de Hammam Boughrara

[HAMDACHE. 2017]

CaO	SiO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cl	CaCO ₃
3.16	76.40	13.43	2.92	0.01	4.33	0.82	0.37	0.008	8.75

La perlite de Maghnia sont des roches intrusives, légères, massives, dures, formées dans les zones de fin de contact des massifs intrusifs acides de Rhyolite (Liparite) suite au refroidissement rapide et la cristallisation en subsurface [LSUNMA 1999 ; GUENANOU 2014]. Deux sites situés au Nord-est de Maghnia sont reconnus comme gisement de la perlite. Ils forment des petits corps lenticulaires d'épaisseur 6 à 29 m et une longueur de 150 à 300 m.

Tableau I.8 : les principaux gisements de la perlite de Maghnia [LSUNMA 1999]

N° de gisement	Réserves ou paramètres estimatifs en tonnes	Conditions techniques et minières	Composition chimique (%) ou propriété physico-mécaniques
93	Secteur principale : 142500 Secteur Bab : 196000 Secteur Roussel : 15000	Favorable (Inexistence de roche de recouvrement)	SiO ₂ = 71.68 AL ₂ O ₃ =12.69 Fe ₂ O ₃ = 1.34 CaO =1.08 Mg O =0.55 K ₂ O= 3.91 Na ₂ O = 3.62 Fe O = 0.49 SO ₃ =0.08 P ₂ O ₅ = 0.05 PF = 3.53 (perte aux feux %)
94	Considérables	Favorable	SiO ₂ = 71.38 AL ₂ O ₃ =14.25 Fe ₂ O ₃ = 2.19 CaO =0.7 Mg O =0.35 K ₂ O= 3.30 Na ₂ O = 4.00 Fe O = 1.15

I.9.LOCALISATION DU GISEMENT DE LA PERLITE DE HAMMAM BOUGHRARA

La perlite est extraite du gisement de Hammam BOUGHRARA situé à Tlemcen, Algérie. On trouve cette forme des roches volcanique siliceuse, la figure II.6 représente localisation du gisement.

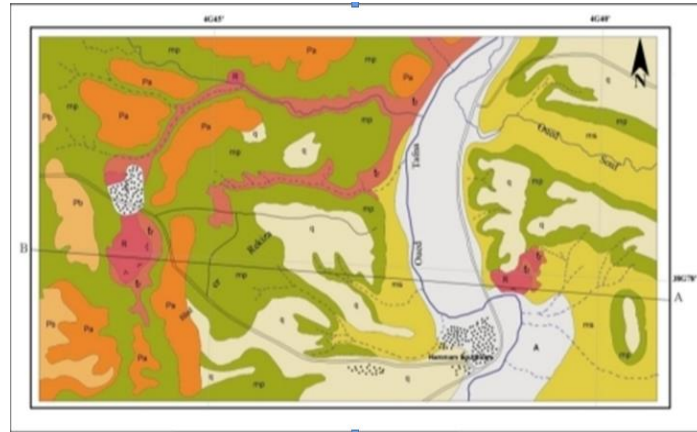


Figure I.5: Localisation du gisement de Hammam BOUGHRARA (TLEMCEM) [HAMADACHE, 2018]

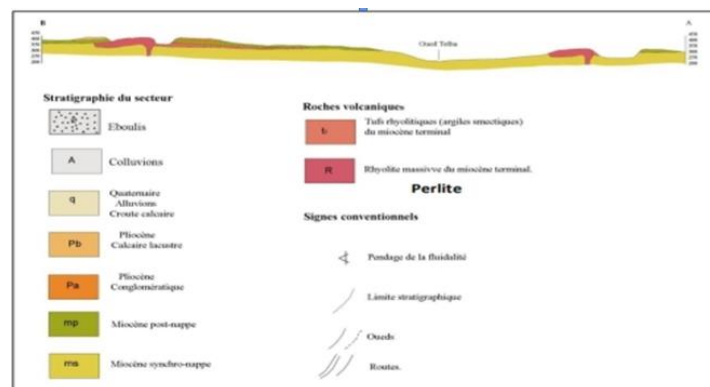


Figure I.6: Coupe verticale géologique du gisement de Hammam BOUGHRARA [HAMADACHE, 2018].

I.10. LES ETAPES DE PREPARATION DE PERLITE EN POWDRE

Après l'extraction de la perlite du gisement sous forme de roche de couleur gris (Figure I .7), elle est séchée dans l'étuve pendant 24 h à une température de 80°C pour éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage puis elle est broyée et tamisée à travers un tamis de 80 µm (Figure I .8etI.9).



Figure I.7 Aspect de la perlite sous forme de roche [OULD MOUSSA. M. T]



Figure I.8: Concassage et broyage [OULD MOUSSA.M.T]



Figure I.9: la poudre de perlite après le broyage et tamisage

I.11. CONCLUSION

Au terme de ce chapitre nous avons étudié la nature de perlite de HAMMAM BOUGHRARA, ses caractéristiques physiques, chimiques et la localisation de cette roche volcanique. En raison de ces caractéristiques, la perlite est largement utilisée comme un isolant et aussi pour améliorer la résistance au feu en plus elle peut réduire la transmission du bruit.

CHAPITRE II :

PARAMETRES THERMO-PHYSIQUES

CHAPITRE II : PARAMETRES THERMO-PHYSIQUES

II.1. INTRODUCTION

Le transfert de chaleur est un phénomène naturel microscopique qui se fait entre points d'un milieu matériel tels que les matériaux de construction où règnent des températures différentes. La chaleur se propage spontanément de la température la plus élevée vers celle la plus basse. Dans ce chapitre sont évoquées les différents modes de transfert thermiques ainsi que les propriétés thermo-physiques des matériaux.

II.2. NOTION DE CHALEUR

C'est une forme d'énergie au même titre que le travail d'un système de forces au cours d'un déplacement. On ne peut donc pas parler de la chaleur d'un corps, ni même de la chaleur contenue dans un corps, car la prise en compte d'une quantité de chaleur Q implique une situation évolutive. Il s'agit forcément d'un échange d'énergie entre plusieurs corps (ou entre plusieurs domaines d'un même corps) au cours d'un laps de temps déterminé. L'unité est le Joule [J][Dominique M et Paul .R2011].

II.3.LE TRANSFERT THERMIQUE

Un transfert thermique, est un transfert d'énergie microscopique désordonné. Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique. L'exemple le plus courant de situation mettant en jeu un transfert thermique est le système constitué de deux corps en contact et ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie sous forme de chaleur au corps le plus froid. Il y a transfert thermique entre les deux corps.[MEKHERMEHE, 2012].

II.4.LES MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR

II.4.1 Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres. La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux ϕ est proportionnelle au gradient de température (Formule II.1).

$$\phi = -\lambda \text{ grad } T \quad (\text{II.1})$$

T : température (K) ;

λ : conductivité thermique ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) ;

φ : vecteur densité de flux thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

II.4.1.1. Flux thermique

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique (dQ) qui traverse une surface isotherme par unité de temps (dt) (Formule II.2). Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal/s) [MEKHERMEHE, .2012].

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \text{ (II.2)}$$

II.4.1.2. Densité de flux thermique

La densité du flux thermique (ou flux thermique surfacique), c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W/m^2) (Formule II/3).

$$\varphi = \frac{\Phi}{S} \text{ (II.3)}$$

II.4.1.3. Convection

Ce mode de transfert est spécifique aux fluides. En plus du transfert de chaleur par conduction toujours présent dans la matière, il y a dans les fluides un transfert de chaleur provoqué par l'écoulement du fluide, c'est à dire par le mouvement d'ensemble des particules qui le composent. On classe généralement la convection en trois catégories : la convection naturelle, la convection forcée, et la convection mixte.

II.4.3 Rayonnement

Le rayonnement thermique est émis par tout corps dans tout milieu transparent au rayonnement émis. Ce type de transfert ne nécessite pas de matière comme support de propagation, il s'agit en effet d'un rayonnement électromagnétique.

Il dépend de la température du corps émetteur et des caractéristiques physiques de la surface émettrice du corps. La propriété thermique du matériau qui conditionne l'émission est l'émissivité du matériau [FREDERIC, 2009].

II.5. PROPRIETES THERMO-PHYSIQUES DES MATERIAUX

Les propriétés thermo-physiques des matériaux sont des grandeurs qui caractérisent leur comportement lorsqu'ils sont soumis à une variation de température en présence d'un ou plusieurs types d'échange thermique.

Elles expriment le comportement du matériau soumis aux transferts stationnaires : conductivité thermique, résistance thermique, émissivité, ou des transferts dynamiques : diffusivité thermique et effusivité thermique.

Les propriétés régissant les transferts par conduction et convection sont des propriétés.

II.5.1. Conductivité thermique (λ)

La conductivité thermique (λ) est une grandeur thermo-physique représentant l'aptitude d'un produit à transmettre de la chaleur par conduction. Cette propriété varie selon la composition chimique et la structure du produit, l'état de la substance et la température [SAKIYAMA ET AL., 1993; CREMERS, 1981]. De nombreux travaux traitant de méthodes expérimentales de détermination de la conductivité thermique sont cités dans la littérature, en régime stationnaire ou transitoire. [WANG ET AL., 2018; MOHSENIN, 1980; NESVADBA, 1982].

La conductivité thermique est le flux de chaleur transvasant un matériau d'épaisseur un mètre, pour une différence de température de un Kelvin entre les deux faces entrant et sortant. Elle exprime en $W.m^{-1}.K^{-1}$, cette valeur permet de quantifier le pouvoir du matériau à conduire la chaleur.

II.5.2. Diffusivité thermique (a)

La diffusivité thermique est une propriété dynamique du matériau car elle intervient dans Les transferts en régime transitoire de température, elle caractérise l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur(en terme de vitesse), elle s'exprime en m^2/s .

Ce paramètre est directement contenu dans l'équation de la chaleur simplifiée (Formule II.4) :

$$a = \frac{\lambda}{\rho * c_p} \quad (II.4)$$

II.5.3. Chaleur spécifique

La chaleur massique ou chaleur spécifique qui est aussi appelée capacité thermique massique (C_p), est définie comme la quantité d'énergie qu'il faut fournir à une masse d'un kilogramme d'un corps pour élever d'un degré sa température. Elle s'exprime en $J.g^{-1}.^{\circ}C^{-1}$. On parle de chaleur spécifique apparente lorsqu'il se produit des changements de phase dans le produit, dans l'intervalle de température impliqué. La chaleur spécifique apparente est mesurée habituellement par calorimétrie différentielle à balayage (DSC), dont le principe repose sur la mesure d'une différence de flux de chaleur reçu par l'échantillon et la référence, au cours d'une rampe de montée en température

II.5.4. Résistance thermique(R)

La résistance thermique est utilisée pour quantifier le pouvoir isolant des matériaux pour une épaisseur donné elle exprimer en $m^2.K.W^{-1}$ (Formule II.5).

$$R = e/\lambda \quad (II.5)$$

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre ont été présentés les notions de transferts thermiques (tels que la conduction, la convection et le rayonnement) ainsi que les propriétés thermo-physiques telles que la conductivité thermique, la chaleur massique, la diffusivité thermique et la résistance thermique.

CHAPITRE III :

BILAN DES RECHERCHE MENEES SUR LES MORTIERS A BASE DE PERLITE

CHAPITRE III : BILAN DES RECHERCHE MENEES SUR LES MORTIERS A BASE DE PERLITE

II.1.INTRODUCTION

Ce chapitre consiste en une synthèse de recherche sur les travaux effectués sur les mortiers à base de la perlite. Les résultats présentés dans ce chapitre concernent les résultats à l'état frais tel que la maniabilité et la consistance le comportement mécanique et l'absorption capillaire des mortiers à base de différents pourcentages de perlite naturelle et la conductivité thermique.

III.2. LES RECHERCHES SUR MORTIERS A BASE DE PERLITE

I.2.1. A l'état frais

III.2.1.1. Résultats des essais de consistance

La recherche de [HAMDACHE.2017] basée sur les résistances mécaniques, conductivité thermique et résistance à la corrosion des mortiers pouzzolaniques à base de perlite ,a abouti aux résultats à l'état frais concernant la consistance qui est normale pour la pâte du ciment CEMI et la pâte de ciment avec 10% de perlite (P10)(tableau III.1, figure III.1), [CHAIB et al .2015] a également trouvé que la consistance des pâtes du ciment augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout de la perlite.

Tableau III.1 : Les essais, de consistance début et fin de prise des pâtes [HAMADACHE.M, 2017]

	P10	P20	P30
Débute de prise	166	158	135
fine de prise	335	320	318
temps de prise	169	162	183
Consistance E/1 (%)	28	30	32

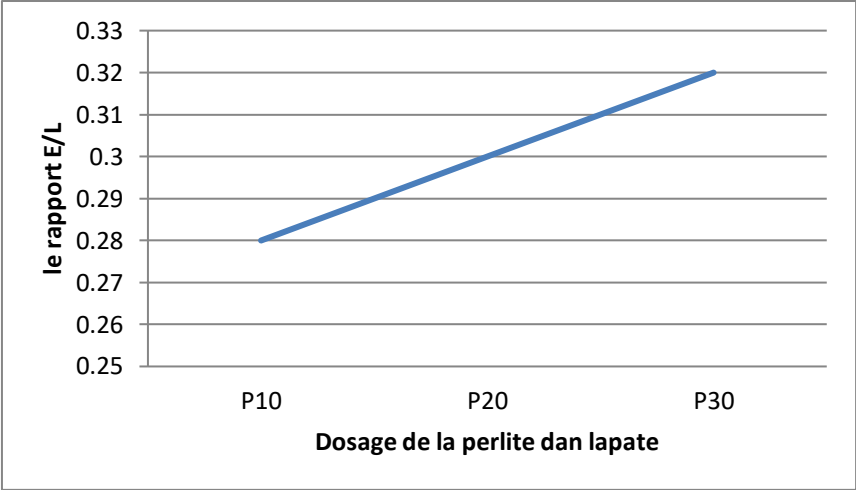


Figure III.1: la variation la consistance des pâtes en fonction de dosage de perlite [HAMADACHE, 2017]

La figure III.2 présente le temps de prise qui est inversement proportionnel à la teneur de l'ajout dans les différentes pâtes de ciment. Plus le taux de l'ajout pouzzolanique augmente plus le temps de prise diminue.

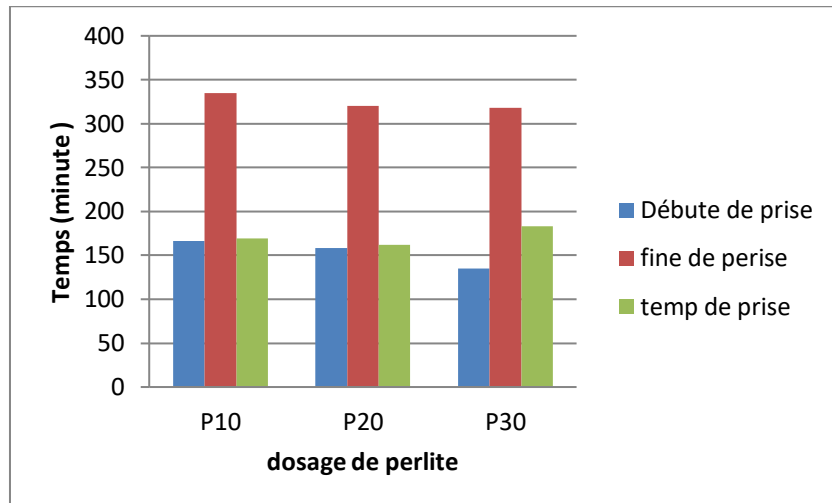


Figure III.2 : la variation de temps de prise des pâtes en fonction de dosage de perlite [HAMADACHE.2017]

Deux perlites naturelles provenant de deux régions de la Turquie (Izmir et Erzincan) ont été testées et plusieurs ciments composés ont été obtenus en substituant le ciment par différentes quantités de perlite (20% et 30%, en poids de ciment)[ERDEM et al.2007]. Ils ont conclu qu'en raison de la dilution du ciment, les temps de prise des pâtes contenant de la perlite étaient plus longs que celui du témoin et que les ciments produits par Co-broyage de la perlite avec le clinker, présentent une plus grande finesse et des temps de prise plus longs comparés aux ciments broyés séparément.

A l'issue de son étude basée sur la durabilité des matériaux cimentaires (tableau III.2) exposés aux attaques chimiques,[CHIHAOUI.2017] a constaté que les besoins en eau des pâtes contenant la poudre de perlite naturelle sont supérieurs à celui du ciment sans ajout. Par conséquent, à mesure que la quantité de la perlite augmente, les besoins en eau, pour avoir une consistance normale, augmente également (figure III.4). Cela est probablement dû au fait que la poudre de perlite a une surface spécifique plus grande, et a donc besoin de plus d'eau lors de la préparation de la pâte. Plusieurs auteurs ont rapporté les mêmes constatations en utilisant la perlite naturelle ou la pouzzolane naturelle comme addition pouzzolanique pour produire des ciments composés [ERDEM et al, 2007 ; Ali AICHOUBA et al, 2005 ; GHRICI, 2006 ; BELARIBI, 2015].

Tableau III.2 : Formulation des différentes pate et le rapport E/C [CHIHAOUI, 2017]

	Ciment	Perlite naturelle	Liant	E/C
P0	500	0	100% PC	0.251
P5	475	25	95% PC+5% NPP	0.253
P10	450	50	90% PC+10% NPP	0.255
P15	425	75	85% PC+15% NPP	0.258
P20	400	100	80% PC+20% NPP	0.261

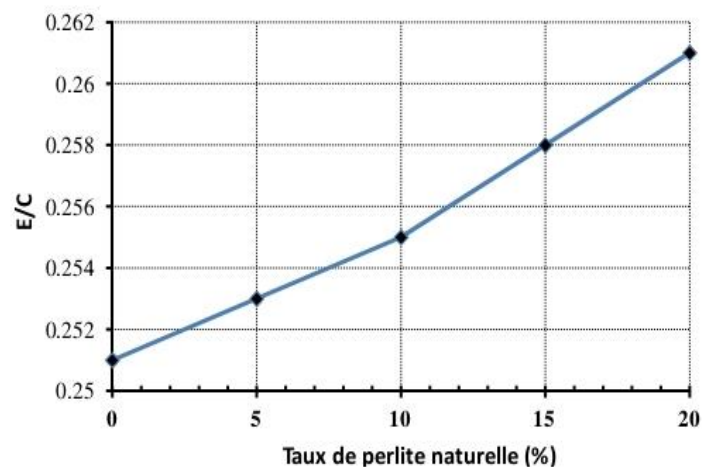


Figure III.3 : Variation d'E/l pour avoir des pâtes à consistance normale [CHIHAOUI, 2017]

III.2.1.2. Résultats des essais de prise

Les résultats montrent dans la figure III.4 que les temps de prise (Début et fin) sont accélérés avec l'ajout de la perlite naturelle. La perlite naturelle utilisée dans cette étude, renferme une teneur élevée en Al_2O_3 (13,68 %), son incorporation dans le ciment, augmente la quantité des composés d'aluminate du mélange. Selon [Bresson, 2006] l'augmentation de la teneur d'un ciment en C_3A de 3 à 11%, diminue le temps de prise de moitié. En outre, l'accélération de la prise dans les pâtes incorporant la perlite naturelle peut être associée à la croissance de la formation d'hydrates de sulfate de calcium (tri et de monosulfoaluminate (TSA et MSA)).

[ERDEM ET AL. 2007] ont trouvés que l'ajout de la perlite naturelle dans le ciment, prolonge les temps de prise. Cela a été attribué à l'effet de dilution de l'ingrédient le plus actif qui est le ciment. De plus, ils ont rapporté que les temps de prise se prolongent avec l'augmentation de la finesse de cet ajout.

En comparant la teneur en Al_2O_3 de la perlite naturelle de Maghnia aux perlites naturelles de deux régions différentes de Turquie (Izmir et Erzincan) étudiées par ERDEM et al. [2007], on la trouve bien supérieure. La faible teneur en Al_2O_3 de ces perlites engendre la formation d'une faible quantité d'hydrates de sulfate de calcium ce qui explique leur effet de prolonger les temps de prise, alors que la perlite de Maghnia les accélère. [CHIHAOUI, 2017].

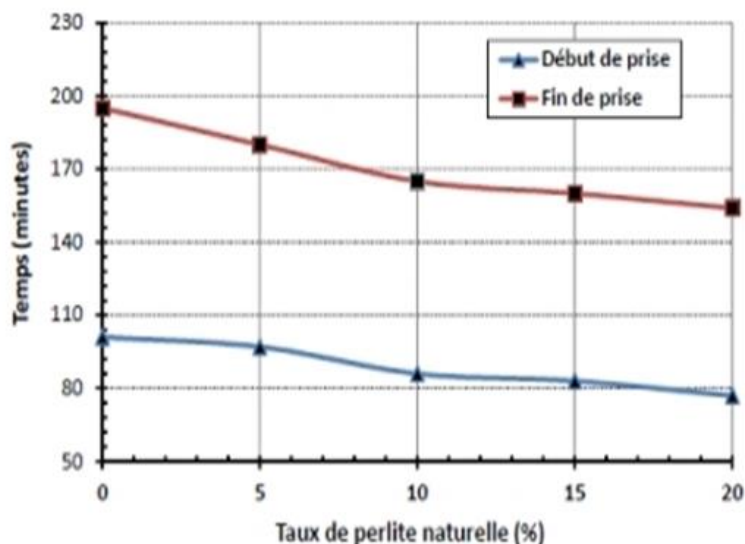


Figure III.4 : Evolution des temps de prise des différentes pâtes [CHIHAOUI, 2017].

Tableau III.3 : Les temps de début, fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes [BOURROUBEY .2019].

	Pourcentage d'ajout	Début de prise (minutes)	Fin de prise (minutes)	Temps de prise (minutes)
Témoin	0 p	181	280	99
Avec perlite	10p	170	255	85
	20p	162	247	85

Selon la recherche de [BOURROUBEY.2019] le remplacement de 10 et 20% du ciment par la perlite augmente la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention de la consistance normale du liant. Ceci est dû probablement à la grande surface spécifique présentée par le mélange et donc un fort appel aux molécules d'eau afin de mouiller toute la surface est constaté ainsi, la perlite affecte légèrement les temps de prise puisqu'un écart de 14 minutes est enregistré entre la pâte témoin et celle dont 20% de ciment ont été remplacés par la perlite. On note par ailleurs des temps de prise équivalents pour les pâtes à base de 10 et 20%.

Par contre en comparant les temps de début de prise et de fin de prise, nous remarquons que ces derniers diminuent légèrement avec l'augmentation des dosages en ajouts ce qui présente un intérêt en cas de bétonnage par temps froid.

Ces résultats prouvent que la présence de la perlite dans les mortiers même à un dosage de 20% n'affecte pas beaucoup le temps de prise [BOURROUBEY. 2019].

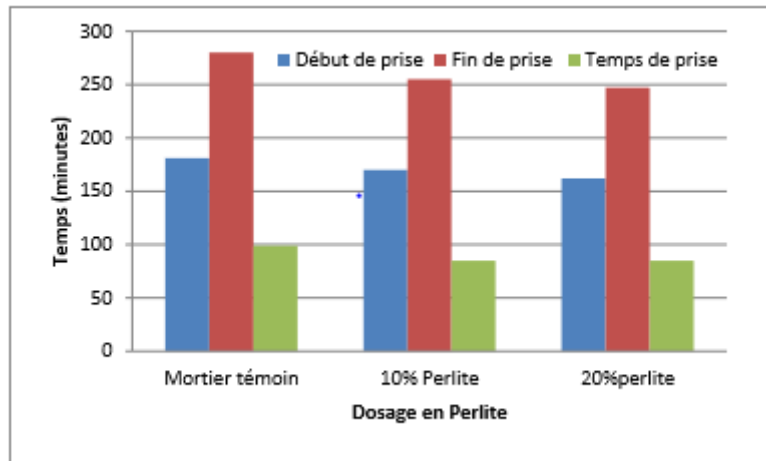


Figure III.5 : Temps de prise des pâtes à base de perlite [BOURROUBEY, 2019]

III.2.3.Maniabilité des mortiers frais

L'essai de CHIHAOUI consiste à l'étude de différents mélanges de mortiers, qui sont récapitulés dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Proportions des mélanges de différents mortiers [CHIHAOUI, 2017].

	Liant	Sable/Liant	Eau/Liant	Étalement (%)
M0	100% PC	2.75	0.485	110
M5	95% PC+5% NPP	2.75	0.485	106
M10	90% PC+10% NPP	2.75	0.490	108
M15	85% PC+15% NPP	2.75	0.495	105
M20	80% PC+20% NPP	2.75	0.495	105

Selon la recherche de [CHIHAOUI, 2017]. Les résultats d'essais d'étalement montrent dans le tableau III.4 que la quantité d'eau doit être augmentée pour que les mortiers incorporant la perlite naturelle puissent développer un étalement de $\pm 5\%$ de celui du mortier de ciment sans ajout. La demande en eau des mortiers augmente avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la perlite naturelle, ce résultat de ces essais de consistance sur différents pâtes, dont on a expliqué que la croissance de la demande d'eau est principalement attribuée à l'augmentation progressive de la surface spécifique des liants incorporant la perlite naturelle.

Par ailleurs, [HAMADACHE, 2017] a aussi travaillé sur la perlite avec des pourcentages différents de ceux de CHIHAOUI [CHIHAOUI, 2017], les mélanges sont donnés dans le tableau III.5

Tableau III.5. Influence de la perlite naturelle sur la maniabilité des mortiers à E/C=0,50[HAMADACHE.2017].

Désignation de mortier	Perlite(%)	E/C	ETALEMENT (mm)	ETALEMENT(%)
M0	0	0.5	120	20
M10	10	0.5	116	16
M20	20	0.5	112	12
M30	30	0.5	106	06

Le mortier avec du ciment Portland sans ajout présente une maniabilité supérieure. Ainsi, que la maniabilité des mortiers avec perlite diminue avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la perlite suivant la figure III.6. Cela prouve que la perlite accroît sensiblement la demande en eau. La croissance de la demande d'eau est principalement attribuée à l'augmentation progressive de la surface spécifique des liants pouzzolaniques et donc un fort appel aux molécules d'eau afin de mouiller toute la surface.

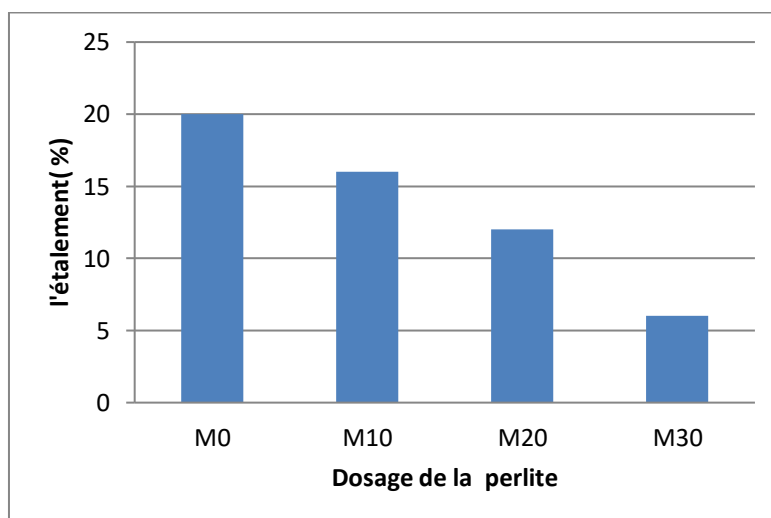


Figure III.6 : Variation de l'étalement en fonction des différents dosages de la perlite [HAMADACHE, 2017]

BOURROUBEY et MAAMAR BENHADJAR ET AL ont également étudié les mortiers à base de perlite avec différents dosages (10%, 15%, 20% et 25%). Les résultats sont présentés dans la figure III.7 et la figure III.8.

La maniabilité des mortiers diminue avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par l'augmentation de pourcentage de Perlite. Pour garder une maniabilité plus ou moins constante, il a fallut augmenter la quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'un mélange maniable et ouvrable.

D'après les résultats obtenus par HAMADACHE, CHIHAOUI, BOURROUBEY et MAAMAR BENHADJAR et al la maniabilité diminue.

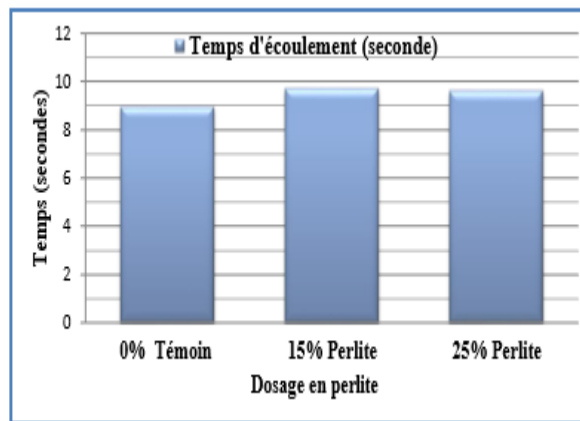


Figure III.7: Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers [MAAMAR BENHADJAR ET AL.2020]

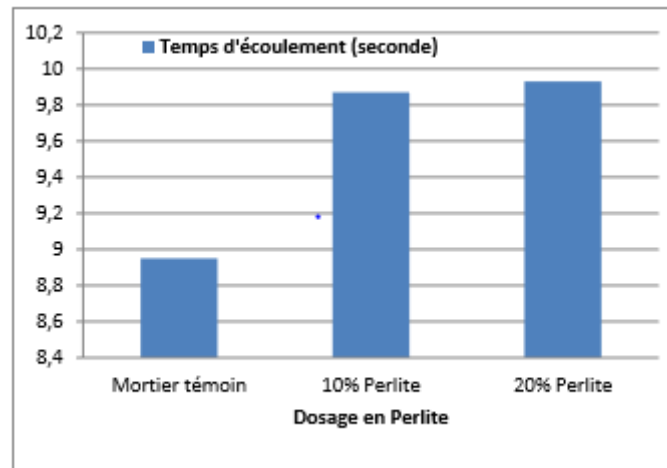


Figure III.8: Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers .[BOURROUBEY .2019]

III.2.2. À l'état durci

III.2.2.1. Détermination de l'indice d'activité pouzzolanique

Selon les résultats de [BOURROUBEY .2019] l'indice d'activité pouzzolanique de la perlite a été vérifié selon la norme ASTM C125-07 $I_p = 0.82 > 0.67$ donc la perlite est dite pouzzolanique,

III.2.2.2. Résistance à la compression

Selon les recherches précédentes [ERDEM ET AL. 2007] ont étudié deux perlites naturelles provenant de deux régions de Turquie (Izmir et Erzincan). Plusieurs ciments ayant des valeurs de finesse Blaine différentes ($3200 \text{ cm}^2/\text{g}$ et $3700 \text{ cm}^2/\text{g}$) et différentes quantités de perlite substituées au ciment ordinaire (20% et 30%, en poids de ciment) ont été produits. Les résultats de ciments sont présentés sur

Les Figure III.9 et figure III.10 sont exprimées en pourcentages de la résistance des mortiers au même âge. [ERDEM ET AL. 2007] ont constaté que les valeurs des résistances des ciments composés sont inférieures à celles des PC. Cependant, les différences sont devenues plus faibles pour les âges ultérieurs en raison des réactions pouzzolaniques continues de la perlite dans les ciments composés. Lorsqu'ils comparent les résistances des mortiers confectionnés à base des ciments de la même finesse, ils ont constaté que son remplacement par 20% de perlite, donne des résistances plus élevées que son remplacement par 30%. Les plus faibles résistances des mortiers avec les ciments contenant 30% de perlites 'expliquent par leur faible teneur en PC (surtout aux jeunes âges où les réactions pouzzolaniques sont insignifiantes) en raison de la quantité élevée de l'eau de gâchage.

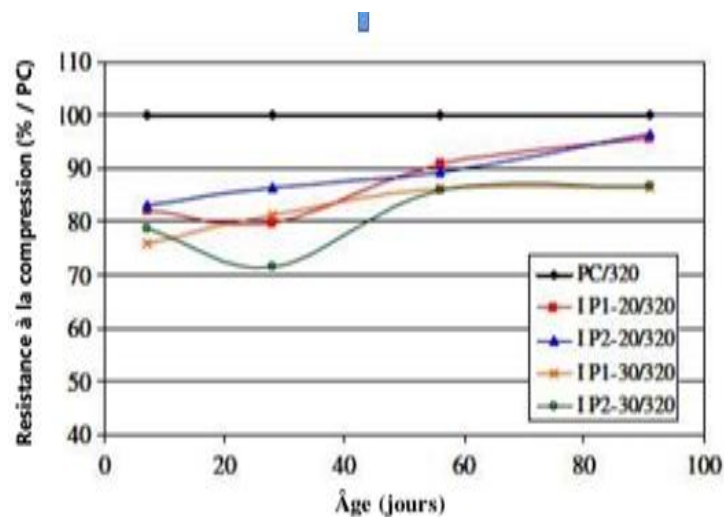


Figure III.9 : Résistance à la compression des mortiers de ciments composés en % de PC ; (a : finesse de $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$ [ERDEM ET AL. 2007]).

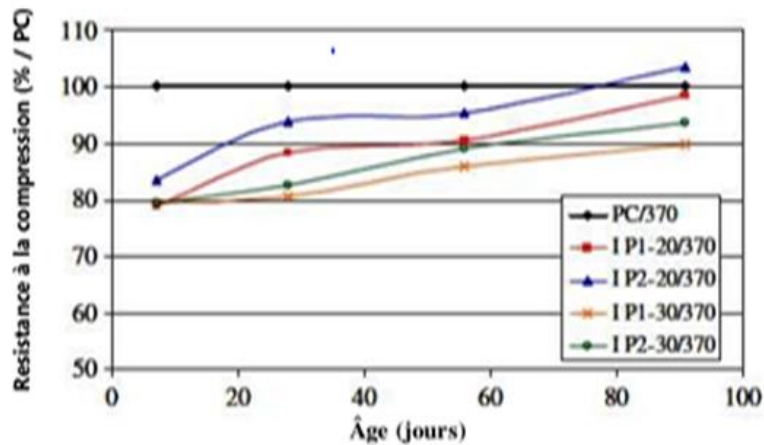


Figure III.10 : Résistance à la compression des mortiers de ciments composés en % de PC b : finesse de 3700 cm²/g [ERDEM ET AL. 2007].

Selon les recherches menées par [HAMDACHE, M.2017], a montré que les résistances augmentent rapidement au jeune âge jusqu'à l'âge de 28 jours, après quoi ces résistances augmentent légèrement à long terme et ceux pour tous les mortiers.

Les résistances à la compression diminuent en générale avec l'augmentation du pourcentage des ajouts pouzzolaniques.

On remarque que la résistance à la compression de tous les mortiers augmente régulièrement avec l'âge et ne présente aucune chute.

Les résultats des mesures des résistances à la compression sont donnés par la figure III.11

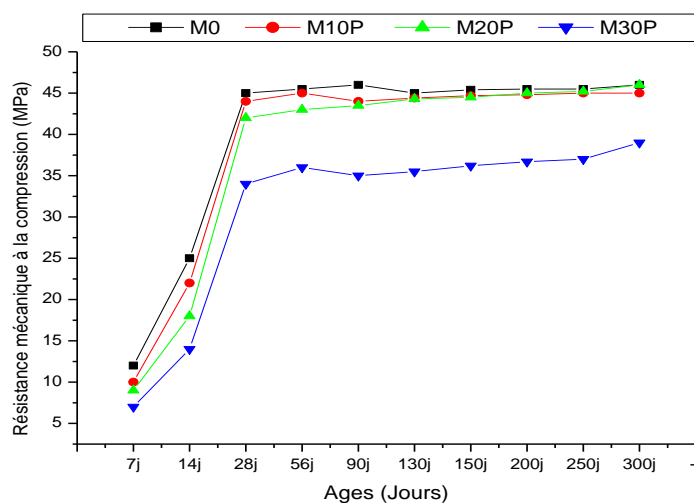


Figure III.11: Résistance à la compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux [HAMADACHE .2017]

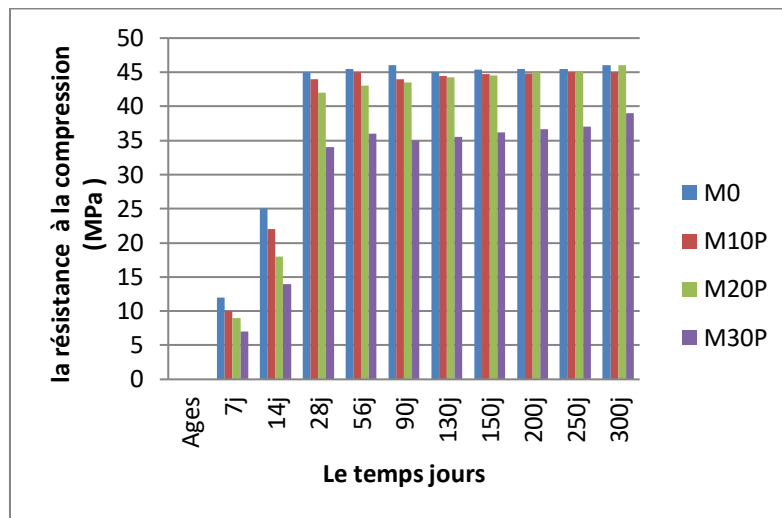


Figure III.12: Résistance à la compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux [HAMADACHE .2017]

Selon la recherche de [GUENAUNAU .2014] qui a étudié l'évolution de la résistance à la compression des mortiers contenant des taux de substitution de 10, 15 et 20% de la perlite de Maghnia en fonction de l'âge, a trouvé les résultats montrés sur la figure III.13 Elle a constaté qu'à des âges inférieurs à 90 jours, les résistances des mortiers diminuent avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la perlite. Au delà de cette échéance, ces résistances augmentent avec l'augmentation du taux de substitution, pour le taux de substitution de 20% à 180 et 280 jours, elles dépassent celle du mortier témoin. Cela a été attribué à l'activité pouzzolanique de la perlite qui consiste à fixer la pentlandite.

Libérée par l'hydratation du ciment pour donner naissance à des silicates de calcium hydratés C-S-H supplémentaires contribuant ainsi au développement de la résistance.

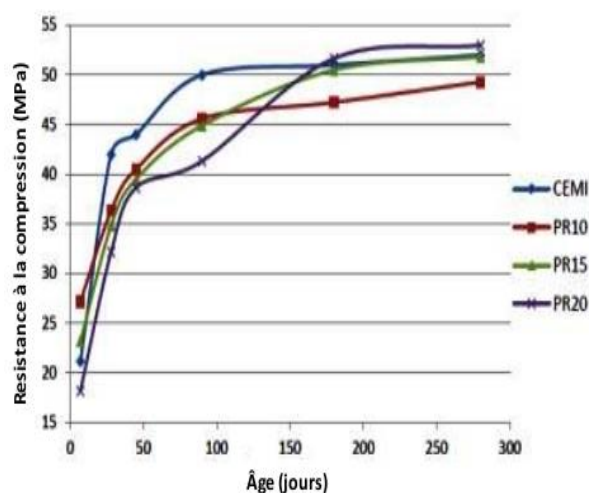


Figure III.13: Résistance à la compression des différents mortier [GUENANOU. 2014] .

A partir des essais de [CHIHAOUI, 2017] à l'âge précoce (1 jour), les mortiers incorporant la perlite naturelle avaient pratiquement des résistances comparables (ou légèrement inférieures) à celle du mortier témoin.

A 7 jours, les valeurs de résistance à la compression des mortiers M5, M10, M15 et M20 sont inférieures à celles du mortier témoin, respectivement de 4,66, 5,33, 9, et 11,33 MPa.

Après 28 jours d'âge, les valeurs de résistance des mortiers incorporant la perlite naturelle ont commencé à augmenter plus rapidement et ont approché les résistances du mortier témoin.

À 90 jours, les résistances à la compression de M5, M10, M15 et M20 sont inférieures à celle du témoin, respectivement de 0,37, 1,87, 3,37 et 3,87 MPa.

Ces résultats indiquent clairement que la différence entre la résistance du mortier témoin et celles des mortiers incorporant différents taux de perlite diminue continuellement avec le temps.

Il utilise pour cette étude les mélanges qui est expérimenté dans le tableau III.5 :

Tableau III.6 : Proportions des mélanges des différents mortiers [CHIHAOUI, 2017].

code	Ciment (g)	Perlite naturelle (g)	Sable (g)
M0	491	0	1350
M5	466.45	24.55	1350
M10	441.90	49.10	1350
M15	417.35	73.65	1350
M20	392.80	98.20	1350

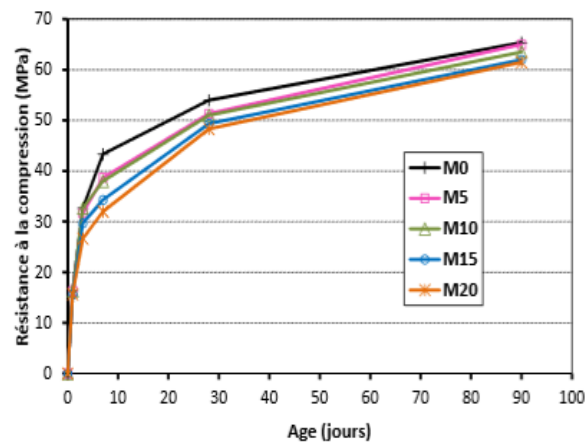


Figure III.14 : Evolution de la résistance à la compression des différents mortiers [CHIHAOUI, 2017]

D'après la figure III.15 [BOURROUBEY .2019], les résistances à la compression des mortiers élaborés avec les différents taux de substitution de la perlite sont inférieures à celle du mortier témoin et cela au très jeune âge (3 jours), deviennent comparable à 7 jours et surpassent celle du témoin à long terme (14, 28 et 60 jours).

CHIHAOUI, GUENANOU et al ont également trouvé que la résistance à la compression est inférieures à celles du mortier témoin à l'âge de 3 et 7 j, et après l'âge de 7 j deviens comparables surpassent celles du témoin à long terme (14, 28 et 60 jours).

Cependant, CHIHAOUI montre qu'à l'âge de 90j que les résistances à la compression sont inférieures à celle du témoin.

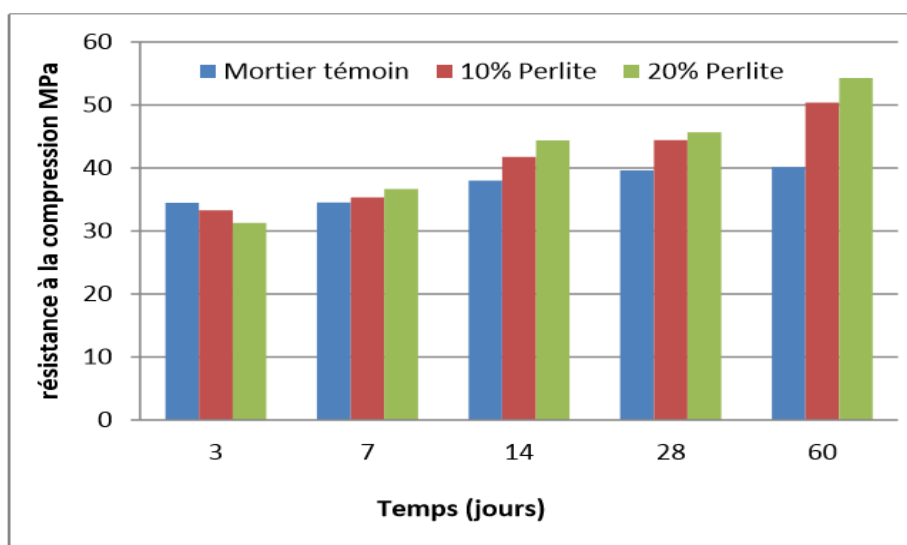


Figure III.15 : Evolution des résistances à la compression (MPa). [BOURROUBEY .2019]

III.2.2.3. Résistance à la traction

L'analyse de la figure III.16 permis d'apporter les commentaires suivants

Hamdache à trouvé que la résistance à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage en perlite à l'âge 3, 7 jours.

Mais à 28 jours il y a une augmentation lente sauf qu'une chute résistance pour les mortiers avec 30% d'ajout de la perlite.

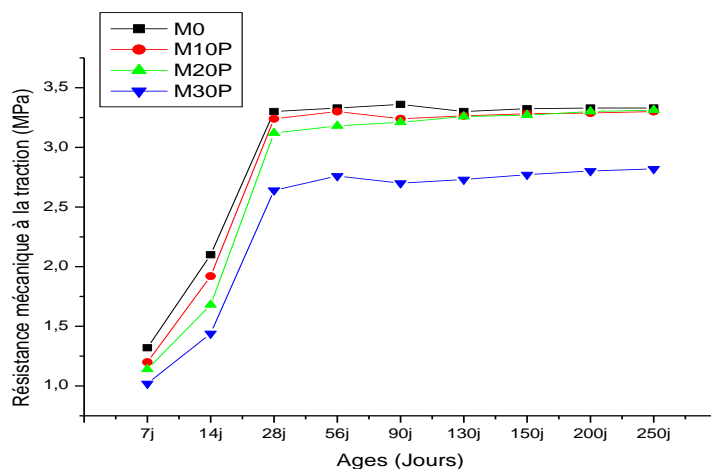


Figure III.16: Evolution des résistances à la traction (MPa) [HAMADACHE.2017] .

Selon la recherche de [BOURROUBEY.2019] qui est basé sur influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers.

- La résistance à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage en perlite à l'âge 3, 7, 14 et 60 jours.
- A 28 jours le mortier à 10% de perlite affiche des résistances supérieures à celles des autres mortiers.
- À long terme la résistance des mortiers à 20% perlite est supérieur à celle des mortiers à 10% de Perlite et au mortier de référence

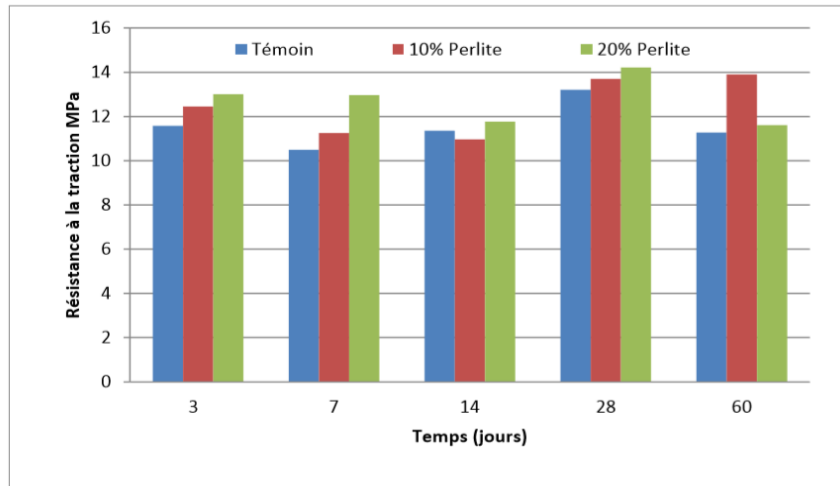


Figure III.17: Evolution des résistances à la traction (MPa) [BOURROUBEY .2019].

III.2.3.Essai d’Adsorption capillaire

[BOURROUBEY .2019] et [MAAMAR BENHADJAR et al.2020], on montré que le mortier témoin absorbe un peu plus d’eau que les autres mortiers après un jour d’essai.

À 7 jours d’essai, tous les mortiers continuent leur ascension dans l’absorption d’eau, seulement les mortiers à 20%et 25% sont très avantageux, cela est dû au fait que les pores dans la pâte durcie et les interfaces entre cette dernière et les grains de sable sont remplis par la perlite et les pores capillaires sont ainsi réduits.

D’autre part, les résultats montrent l’influence de la perlite naturelle sur l’absorption d’eau des mortiers à l’âge de 1 et 7 jours avec déférent dosage 10 et15et 20 et25%, l’incorporation de la perlite à respectivement au ciment CPJ est très avantageuse puis qu’elle permet une réduction importante d’absorption capillaire. Les pores dans la pâte durcie et les interfaces entre cette dernière et les agrégats sont remplis par ces ajouts et les pores capillaires sont réduits

Tableau III.7: Coefficients d’absorption capillaire [BOURROUBEY .2019]

Les différents mortiers	Adsorption capillaire (g/ cm ²)	
	1 jour	7 jours
Mortier témoin	0.78	1.34
10% la perlite	0.73	1.29
20% la perlite	0.55	1.05

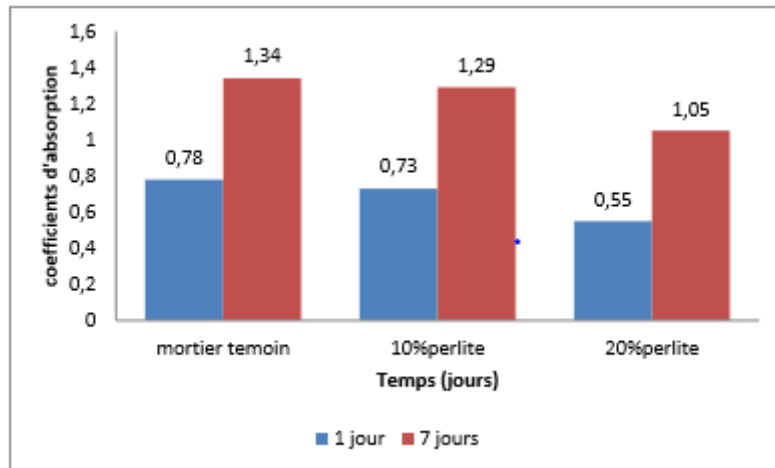


Figure III.18: Evolution des coefficients d’absorption capillaire des différents mortiers . [BOURROUBEY .2019]

Tableau III.8 : Coefficients d’absorption capillaire [MAAMAR BENHADJAR ET AL.2020].

Les différents mortiers	Adsorption capillaire (g/ cm ²)	
	1 jour	7 jours
Mortier témoin	0.78	1.34
15% la perlite	0.50	1.04
25% la perlite	0.3	0.69

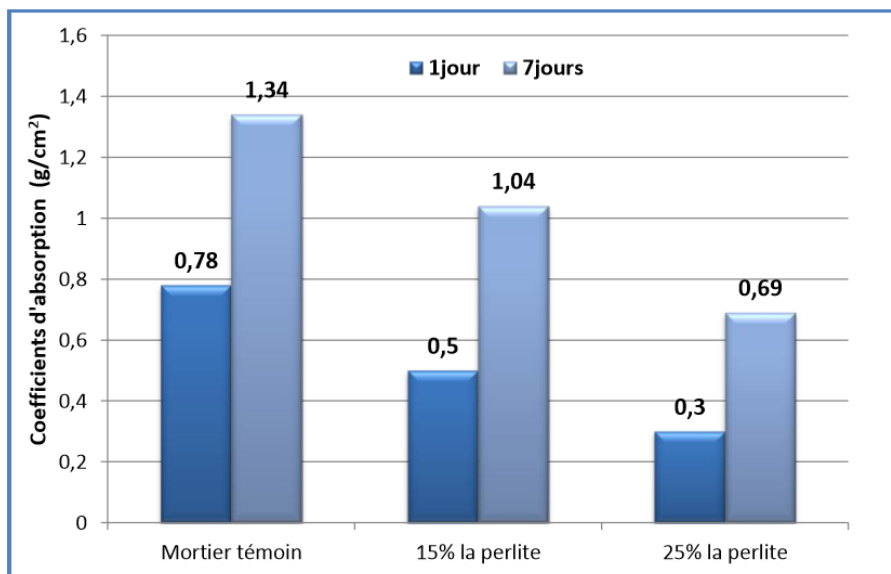


Figure III.18: Evolution des coefficients d’absorption capillaire des différents mortiers [MAAMAR BENHADJAR ET AL.2020]

III.2.3. Mesure de la conductivité thermique des mortiers à l'air libre

Le tableau III.9 présente la variation de la conductivité thermique de mortier témoin et différentes dosages de perlite 10, 20,30% respectivement conservé à l'aire libre en fonction de temps.

D'après les résultats de Mr HAMADACHE montre que la conductivité thermique en fonction du taux d'ajouts évolue avec le temps entre 3jours et 14 jours, au-delà de 14 jours la conductivité thermique diminue pour le même taux d'ajouts ce qui explique la bonne isolation thermique à long terme.

Tableau III.9 : Conductivité thermique des mortiers A l'air libre [HAMADACHE.2017]

Ages	M0	M10P	M20P	M30P
3j	1,7	1,7	1,38	1,55
7j	1,9	1,86	1,6	1,76
14j	1,95	1,9	1,64	1,82
28j	1,9	1,86	1,54	1,7
56j	1,62	1,55	1,4	1,44
90j	1,6	1,52	1,35	1,42
120j	1,57	1,5	1,3	1,41
150j	1,55	1,47	1,25	1,4
200j	1,52	1,45	1,23	1,4
250j	1,5	1,44	1,22	1,38
300j	1,5	1,43	1,2	1,37

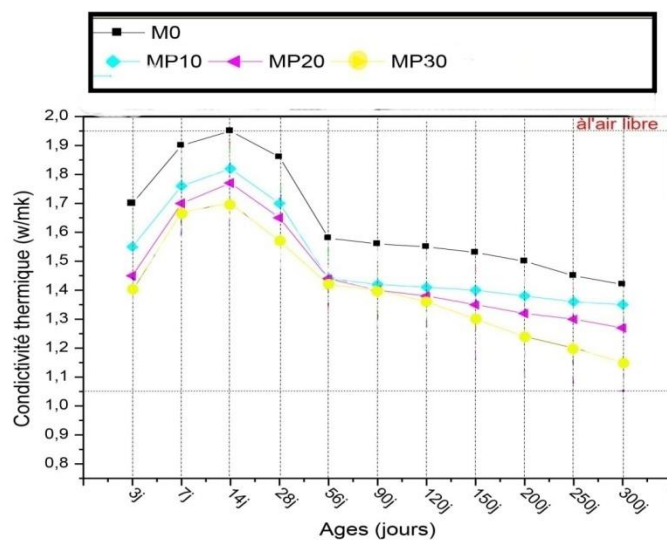


Figure III.19: Variation de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre. [HAMADACHE.2017]

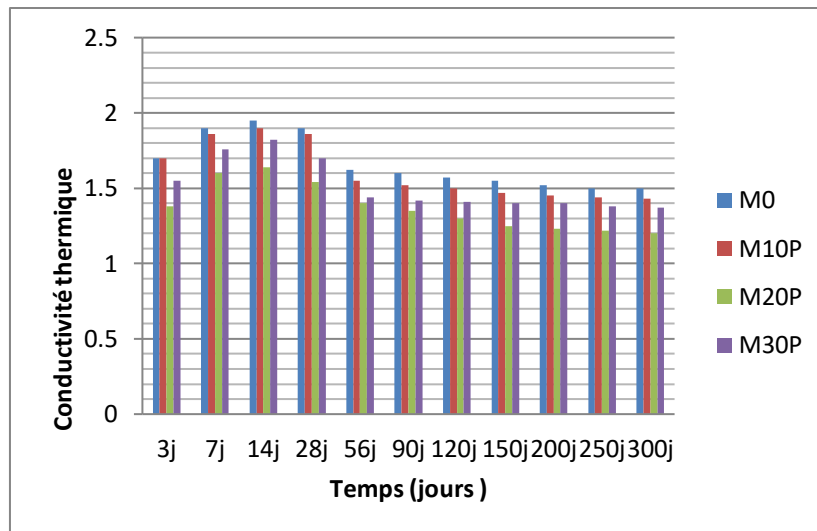


Figure III.20: l'évolution de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre. [HAMADACHE.2017]

HAMADACHE a observé que plus la valeur de la résistance thermique R_{th} d'une paroi est grande, plus le matériau est isolant. Il a constaté que la bonne amélioration de l'isolation thermique s'explique principalement par la résistance thermique élevée des échantillons exposés à l'air.

La figure III.21 exhibe la même variation des courbes que la figure III.22. Sauf que le classement des mortiers avec la perlite à l'air libre et le classement est comme suit : M0, M10P, M30P, M20P.

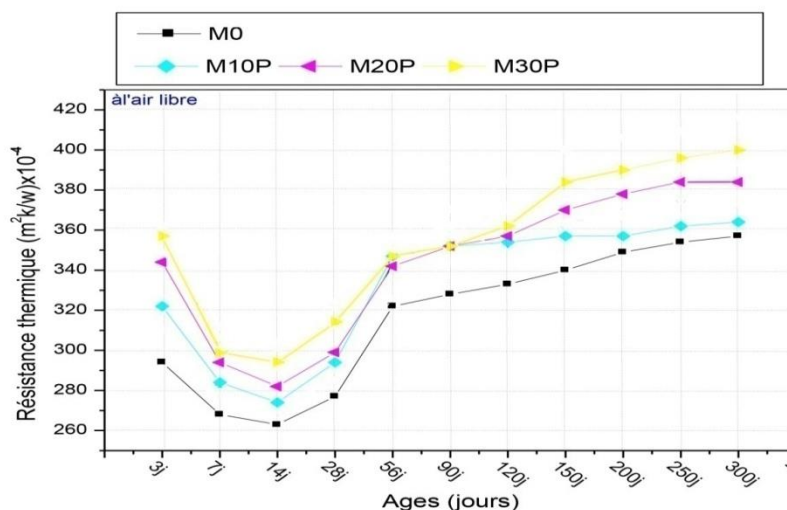


Figure III.21: Variation de la résistance thermique en fonction du temps à l'air libre [HAMADACHE.2017]

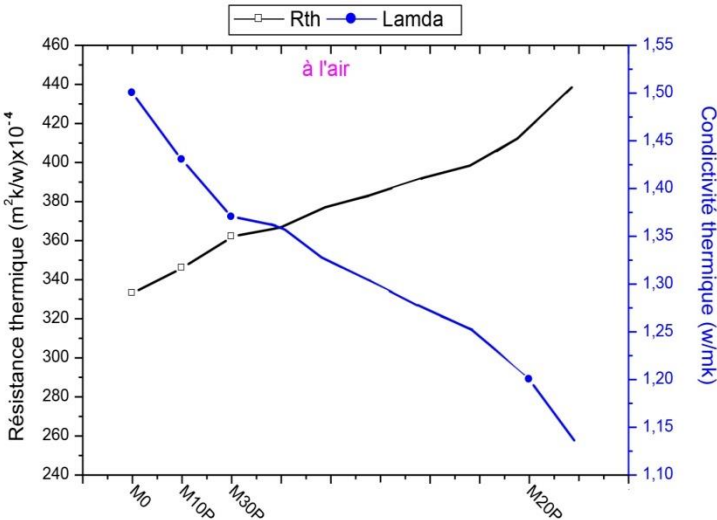


Figure III.22: Variation de la conductivité et la résistance thermique en fonction du dosage de la perlite à l'air libre [HAMADACHE.M.2017]

III.3.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes recherches effectuées sur les mortiers à base de la perlite de Maghnia à l'état frais et à l'état durci.

À l'état frais, les essais élaborés pour objective de déterminer $\frac{E}{l}$ par l'essai de consistance. L'ajout de la perlite augmente le besoin d'eau. Les résultats des mesures de temps de prise des différentes pâtes ont montré que l'incorporation des ajouts en particulier la perlite à accélérée le temps de prise.

À l'état durci, les études ont prouvé que le remplacement de 20% du ciment par la perlite est le taux optimale c'est un critère pour l'amélioration de la résistance et l'absorption capillaire.

Les résultats des recherches montrent que la perlite est un ajout actif et qui possède une bonne isolation thermique.

L'ajout de perlite naturelle dans le ciment améliore à long terme la résistance mécanique du mortier grâce au déclenchement de l'effet pouzzolanique de la perlite, entre 7 et 28 jours de durcissement.[HAMADACHE M.2018] ,[FERK A. 2012]

PARTIE II:

MATERIAUX ET METHODES EXPERIEMENTALES

CHAPITRE I: MATERIAUX UTILISES

CHAPITRE I: MATERIAUX UTILISES

I.1.INTRODUCTION

L'importance de chaque constituant de mortier (sable normalisé, ciment, eau et perlite), il faut connaître les caractéristiques de chaque composant puisque chacune pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude.

Dans ce chapitre nous avons identifié et caractérisé les matériaux utilisés ; perlite, ciment, sable normalisé et adjuvant. Le travail que nous présentons met en évidence la perlite provenant de Maghnia dans le but de son exploitation en substitution partielle au ciment (substitution en volume), il s'agit de comparer influence de cet ajout minéral sur les différents mortiers incorporant ce matériau.

Les essais ont été réalisés sur des mortiers selon trois compositions différentes :

1. Un mortier témoin constitué de 100% de ciment.
2. Un mortier avec 15 % de perlite en substitution au ciment.
3. Un mortier avec 25 % de perlite en substitution au ciment

I.2. MATERIAUX UTILISES

I.2.1. Le ciment résistant aux sulfates

Le CRS selon la norme NA 443/2002 le ciment CEM I 42.5 est un ciment pour travaux dans les milieux fortement agressifs du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse.

Le ciment utilisé pour ce travail est un ciment résistante aux sulfates CEM I 42.5 du groupe industriel de ciment Algérie GICA

I.2.1.1.Fabrication de ciment résistant aux sulfates(CRS)

La fabrication de ciment CRS passe par les principales phases suivantes

- Extraction et préparation des matières première :

Le calcaire et la marne sont extraits par manutention mécanique une fois la roche abattue à l'explosif et par ripage au niveau de deux carrières.

Les tout venants transportés par des dumpers de 35 à50 tonnes sont concassés séparément dans des ateliers de concassage pour une réduction de 025mm. Les matières traitées sont transportées vers l'usine par deux convoyeurs à bandes vers un hall de stockage et de pré homogénéisation

- Broyage du clinker

Le clinker additionné à du gypse et de l'ajout est broyé dans deux broyeurs à boulets de 90T/h chacun; donne du ciment. Transporté à l'aide de pompes pneumatiques, il est stocké dans 05 silos.

*Le clinker broyé uniquement avec de l'ajout donne du ciment CPA

*Le clinker broyé avec un mélange de gypse et ajout dans des proportions bien définies donne du ciment CPJ

*Le clinker ayant fait l'objet d'une opération spéciale à partir des matières premières et mélangées uniquement à du gypse donne du ciment CRS.

- Composition :

-clinker : 95% à 100%

-Les ajouts : 0% à 5% (constituant secondaire)

Tableau I.1 : Composition chimique du ciment CRS GICA

Teneur en C ₃ A dans le clinker	≤5%
Teneur en sulfate SO ₃	≤3%
MgO	≤4%
Teneur en chlorure	≤0.10%
Pert au feu	≤5%
Résidus insoluble	≤5%

Tableau I.2: Caractéristique mécaniques et physique de ciment

Temps de prise	≥ 60min
Stabilité	≤10min
Chaleur d'hydratation	≤270 j/ g
Résistance à la compression à 2 jours	≥10 N/mm ²
Résistance à la compression à 28 jours	42.5 ≤ R _{28j} ≤ 62.5 N/mm ²



Figure I.1 : ciment résistante aux c sulfate (CRS)

I.2.1.2. les Formules de Bogue

Les formules de Bogue sont utilisées mondialement pour calculer la composition minéralogique d'un clinker ou d'un ciment. Ce calcul fait l'hypothèse de la formation de réseaux cristallins bien définie, sans aucune inclusion étrangère, et ne tient pas compte des oxydes secondaires apportés par les matières premières. Pour un clinker Portland ordinaire, la composition minéralogique est définie par les formules suivantes et calculée à partir de la composition chimique selon [MEKHERMEHE.2012]

$$C_3S = 4,07 (CaO) - 7,60 (SiO_2) - 6,72 (Al_2O_3) - 1,43 (Fe_2O_3) - 2,85 (SO_3)$$

$$C_2S = 2,87 (SiO_2) - 0,75 (C_3S)$$

$$C_3A = 2,65 (Al_2O_3) - 1,69 (Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3,04 (Fe_2O_3)$$

Tableau I.3 : compositions élémentaire chimique de ciment crs en%

Élément chimique	Teneur %
Na ₂ O	0.20
MgO	2
Al ₂ O ₃	4.50
SiO ₂	20.00
SO ₃	2.50
Cl	0.02
K ₂ O	0.60
CaO	63.10
Fe ₂ O ₃	5.50

Tableau I.4 : compositions chimique de clinker ciment crs

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
59.59%	12.71%	2.63%	16.72%

-La masse volumique apparente est obtenue par la pesée d'un récipient d'un litre rempli de ciment sans aucun tassement comme le montre la figure I.2 et le tableau I.5.



Figure I.2 : Masse volumique apparent de ciment.

- La masse volumique absolue du ciment a été déterminée selon la NF P 18-555 par le pycnomètre et le benzène figure I.3 et le tableau I.5.



Figure I.3 : Masse volumique absolue de ciment.

Tableau I.5: caractéristique physique de ciment

Caractéristique	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.10
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.05
surface spécifique de Blaine cm ² /g	3000à 3800

II.2.2.Le sable :

Le sable utilisé est un sable normalisé, d’origine naturel, siliceux. Il est propre, Dans notre étude expérimentale, nous avons utilisé un sable siliceux de la société d’ADWAN Zone industrielle Fornaka Mostaganem.



Figure II.4: Zone industrielle Fornaka Mostaganem (la société Adwane)

Le sable normalisé est un sable naturel , siliceux , il est propre les grains sont de forme isométrique et arrondie , elle préparé dans labo de différent fraction

Le sable est conditionné en sachets contenant chacune de 1350±5 g

La composition granulométrique déterminé par tamisage est conforme aux exigences des normes EN 196-1

Tableau I.6: série de tamis avec le refus d’un sable normalisé

Tamis (mm)	Refus cumulé en (g)
2	0
1.6	94.5
1	351
0.5	459
0.16	270
0.08	162
Fond	13.5



Figure I.5: Masse volumique apparente de sable.

Tableau I.7: caractéristique physique de sable

Caractéristique	Valeur
La masse volumique apparent g/cm^3	1.62
La masse volumique absolu g/cm^3	2.79
Equivalent de sable%	93.5

D'après l'équivalent de sable on conclut que le sable utilisé est très propre : absence presque totale de fine argileuse mesurée suivant la norme NF EN18 301

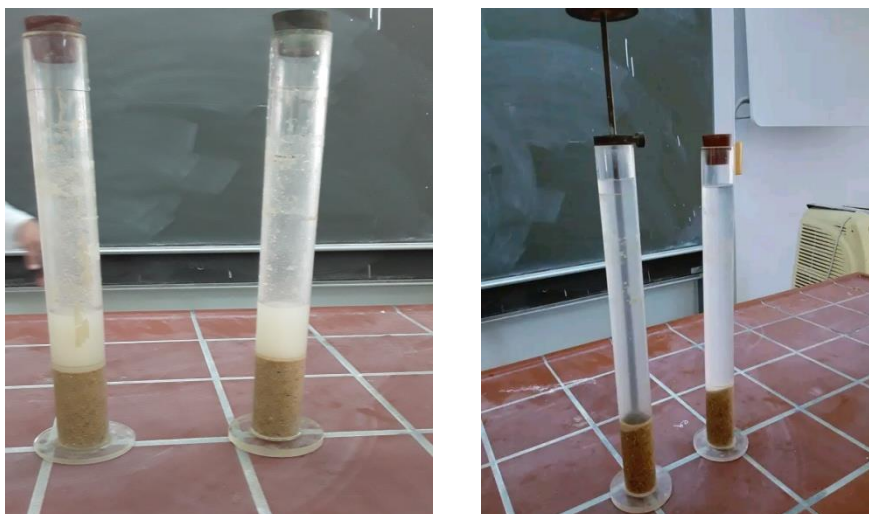


Figure I.6 : équivalents de sable

I.2.3.L'eau de gâchage

L'eau de gâchage que nous utilisons pour la préparation des mortiers est l'eau potable du robinet.

I.2.4.Perlite

La perlite utilisée est d'origine volcanique extraite du gisement de Hammam Boughrara situé à Maghniya [GHANOUNAF.2018], Ce matériau sous forme de roches, après concassage a été séché à 105 °c dans une étuve pendant 24 heures pour éliminer l'eau libre, puis broyé (Figure II.9)

Tableau I.8: Caractéristiques physiques

Désignation	Propriété
Couleur	Gris
Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	4230
La masse volumique absolue (g/cm ³)	2.41



Figure I.7: Gisement à Hammam Boughrara (Tlemcen) [GHANOUNA F.2018].

Cette PR est extraite sous forme de roches de diamètres variant de 20 à 50 cm, de couleur grise, à l'aspect d'un verre avec des reflets argentés, elle réfléchit la lumière suivant certains plans internes et elle se fragmente en petites sphères ou perles d'où vient son nom « perlite ».

La composition chimique de la perlite, est obtenue par la méthode de fluorescence X en utilisant le spectromètre de fluorescence X du laboratoire de la cimenterie de Lafarge-Holcim

Tableau I.9 : Composition chimique élémentaire de la perlite naturelle

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cl	PAF
2,24	72,29	14,24	2,44	0,02	2,74	2,78	0,53	0.26	2,36



Figure II.8: perlite de Maghnia

I.2.5.L'adjuvant

L'adjuvant utilisé dans cette étude est un plastifiant réducteur d'eau énergétique BV40 sika® Plastiment®st qui augmente la compacité du béton, entraînant ainsi une amélioration des résistances mécaniques et de l'imperméabilité.

Tableau I.10: Caractéristiques physiques et chimique de l'adjuvant

Forme	LIQUIDE
Couleur	Brun foncé
Densité	1,180 ± 0,025
Durée de Conservation	3 ans
pH	4,5 ± 1.
Teneur Totale en Ions Chlorure	< 0,1 %.
Extrait Sec	36,6 à 40,4 %
Plage d'utilisation recommandée	0,3 à 1% du poids du ciment
Conditionnement	Fût de 250 kg Cubi de 1100 kg
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 2,0 %.

I.3.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé les différents matériaux utilisés ciment, perlite, adjuvant. C'est une étape nécessaire avant d'entamer l'étude expérimentale de ces matériaux cimentaires. Ces matériaux servent à la formulation des mortiers. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

CHAPITRE II: LES METHODES EXPERIMENTALES

CHAPITRE II: LES METHODES EXPERIMENTALES

II.1.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, les différents essais expérimentaux réalisés pour étude des propriétés des mortiers à base de 15 % et 25% de la perlite avec la formulation de mortier témoin.

Nous allons préciser dans ce chapitre les différentes méthodes d'essai utiliser et leur mode opératoires.

II.2.ESSAIS SUR MORTIERS A L'ETAT FRAIS

II.2.1.formulation des mortiers

La composition du mortier témoins à tester est le suivant :

- sable normalisé = $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$.
- ciment = $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$.
- eau de gâchage = $225 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ (le rapport de E/C est donc 0,50).

On mélange la composition d'un mortier pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; puis verser le ciment dans la cuve ; mettre ensuite le malaxeur en marche à vitesse lente. - Après 30 secondes de malaxage, on introduit régulièrement le sable pendant les 30 secondes suivants avec même vitesse. On met alors le malaxeur à sa vitesse rapide et on continue le malaxage pendant 30 secondes supplémentaires.

- On arrêter le malaxeur pendant 1 min 30s. Pendant les 15 premières secondes on enlève au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

- ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes.

Tableau I.1 : Formulations des mortiers.

	Mortier témoins	Mortier avec 15% de perlite	Mortier avec 25 % de perlite
Ciment (g)	450	417.19	398.7
E/c	0.5	0.5	0.5
Sable (g)	1350	1350	1350
Eau (g)	225	208.59	199.35
Perlite (g)	0	62.58	99.67
Adjuvant	0	0.5	1.8
Volume de la pate	369	369	369

Avec :

M0p : mortier témoin sans perlite.

M 15% p: mortier avec 15% de perlite.

M 25 %p : mortier avec 25% de perlite.

II.2.2. Préparation des mortiers

La préparation du mortier a été effectuée selon les étapes suivantes normes :

Le sable et le ciment à tester sont gâchés avec de l'eau dont les proportions : $450 \pm 2g$ du ciment, $1350 \pm 5g$ du sable et un pourcentage d'eau. Les rapports E/C d'un tel mortier sont compris entre 0 et 50 Avant d'être utilisé pour les différents essais mécaniques, ce mortier est malaxé pendant 3 minutes. Introduire le sable en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le ciment, après ça, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente. • Après 30 s de malaxage introduire régulièrement l'eau pendant les 30 s suivantes.

- Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 60 s supplémentaires.

Arrêter le malaxeur pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s. Les opérations de malaxage selon la norme EN196-1

Tableau II.2 : Etapes pour la confection d'un mortier normal [EN 196-1]

Opération	Introduction de l'eau + le ciment	Introduction de sable			Raclage de la cuve	Malaxage
Durée des opérations		30s	30s	60s	15s	60s
Etat de malaxeur	Arrêté	Vitesse lente		Vitesse rapide		Vitesse rapide

II.2.2.1. Le mode opératoire de préparation de mortier témoin



Figure II. 1: 450g de ciment

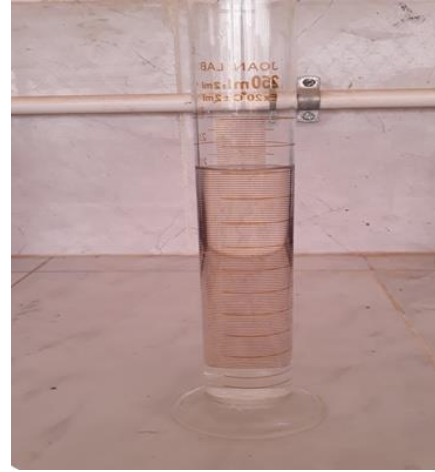


Figure II.2 : 225 g de l'eau

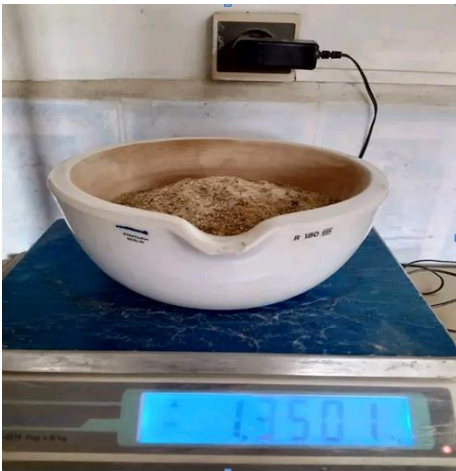


Figure II.3: 1350 g sable normalisé



Figure II.4: malaxeur

II.2.3. Maniabilité des mortiers

Cet essai de maniabilité est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide du maniabilimètre

II.2.3.1. Le maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.



Figure II.5 : Maniabilimètre(LCPC) pour mortier

L'appareille consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (9cm×10cm×20cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible.

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 3 couches. 4 minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule (figure). Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance.

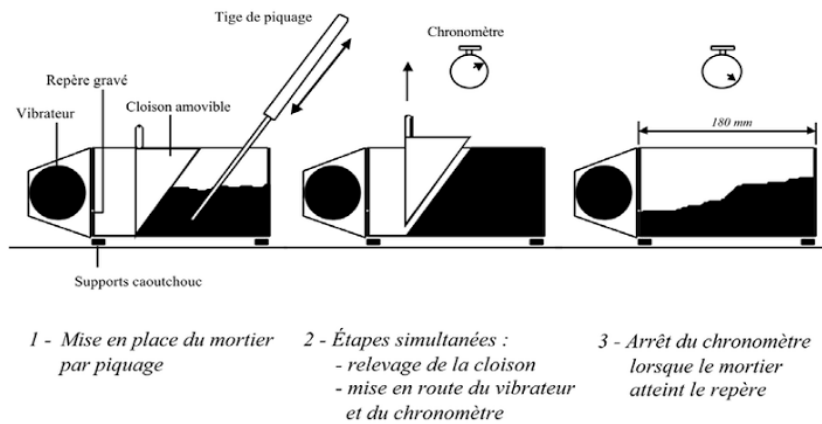


Figure II.6 : procédure de l'essai de maniabilité



Figure II.7 : Maniabilimètre avec mortier

Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil comme illustré au tableau suivante :

Tableau II. 3 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement [LA NORME EN 206-1]

Classe de consistance	Durée
Ferme	$T \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluid	$t \leq 10$

II.2.3.2. Confection des mortiers

Mélanger le sable normalisé avec le ciment (sans ajout) et l'eau dans les proportions données par le tableau. Avant d'être utilisé pour l'identification de caractéristiques physique et/ou mécanique ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme.

Introduire l'eau en premier (avec plastifiant pour mortier avec ajout) dans la cuve du malaxeur (Figure), y verser ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

Les éprouvettes sont conservées dans une chambre humide régulée à 20°C et 90% d'humidité relative.



Figure II.8 : le moule vide



figure II.9: Moule d'éprouvettes prismatique
(40x40x160) mm

II.4. ESSAIS SUR PATES

II.4.1. consistance normal et le temps de prise

Les essais de consistance normale et de temps de prise ont été effectués sur les pâtes de différents liants en utilisant l'appareil de Vicat. La quantité d'eau nécessaire pour que chaque pâte ait une consistance normale était déterminée grâce à la sonde de Vicat.



Figure II.10 : Appareil de Vicat.

II.4.1.1 Essai de consistance normalisée

La consistance de la pâte de ciment (pourcentage d'eau/pâte pure) caractérise sa fluidité. Pour apprécier la consistance du ciment résistante aux sulfates on a effectué l'essai avec l'appareil de Vicat conformément à la norme [EN-196-3].

II.4.1.2 Objectif de l'essai

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. L'objectif est de définir une telle consistance dite « CONSISTANCE NORMALISEE ».

II.4.1.3 Principe d'essai

La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide. La consistance évaluée de cette manière sera appelée

« CONSISTANCE VICAT ».

II.4.1.4 Équipement nécessaire

- Un malaxeur.
- Un appareil de VICAT.
- Une balance permettant de peser à 1 g près.
- Une Chronomètre précis à 1 s près.

II.4.1.5 Conduite de l'essai

Préparer 500 g de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,25 (rapport de départ).

Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment.

Tableau II.4: Les opérations du malaxage [LA NORME EN 196-3].

Opération	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Malaxage	Raclage de la cuve	Malaxage
durée	5 < t < 10 sec		90 sec	15 sec	90 sec
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

Quatre minutes après le début du malaxage

La sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), on mesure la distance d séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base.

Cette distance (d) caractérise la consistance de la pâte étudiée

- Si $d \leq 5$ mm, la pâte est trop mouillée et il faut recommencer l'essai avec moins d'eau.
- Si $d \geq 7$ mm, la pâte est trop ferme et il faut recommencer l'essai avec plus d'eau.

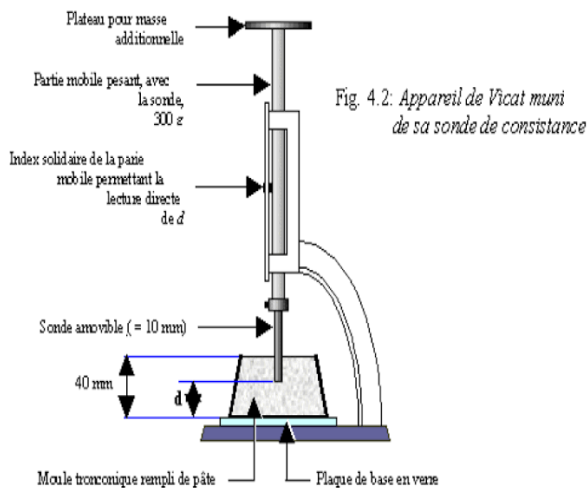


Fig. 4.2: Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance



Figure II.11: Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance

II.4.2. Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte

II.4.2.1. Objectif de l'essai

Il est nécessaire de connaître le début et la fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques en général) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

II.4.2.2. Principe d'essai

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée à l'aide de l'appareil de Vicat qui permet la mesure de l'enfoncement d'une aiguille dans la pâte et le temps correspondant.

II.4.2.3. Equipement nécessaire

- Salle climatisée : L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Malaxeur normalisé
- Appareil de Vicat.
- Balance précise à 0,1 g près.
- Chronomètre précise à 0,1 s près

II.4.2.4. Conduite de l'essai

Il s'agit de confectionner une pâte de consistance normalisée

Tableau II.5: Les opérations du malaxage [LA NORME EN 196-3].

Opération	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Malaxage	Raclage de la cuve	Malaxage
Durée	5 < t < 10 sec		90 secs	15 secs	90 secs
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

Avant de commencer l'essai, il faut mouiller et égoutter le godet et le batteur du malaxeur

1- préparer une pâte à consistance normalisée. Le temps t_0 est celui de du moment de gâchage du liant.

2- remplir immédiatement de pâte le moule tronconique et araser la surface en prenant appui sur le bord du moule.

3- régler le niveau zéro de l'aiguille.

4- centrer le moule dans l'axe de la sonde, abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte, et desserrer la vis pour que la sonde pénètre sous son poids propre dans la pâte.

5- après 30 secondes, noter la valeur de l'enfoncement " d " lue sur l'index de l'appareil.

6- placer le moule dans une armoire humide (20 ± 1) ° C et 90% d'humidité relative (un bain d'eau dans lequel il est possible de maintenir les moule remplies à (20 ± 1) °C peut être utilisé , pourvu qu'il puisse être prouvé que les mêmes résultats d'essai sont obtenus.

7- procéder de la même façon à des intervalles de temps de 5 mn près, jusqu'à l'observation du début de prise et la fin de prise.

- si $d = 4\text{mm} \pm 1\text{ mm}$ on dit que le début de prise est atteint, ce moment, mesurer à partir du début du malaxage, est appelé << temps de début de prise >>.

Le temps de fin de prise est celui au bout du quel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0.5 mm.

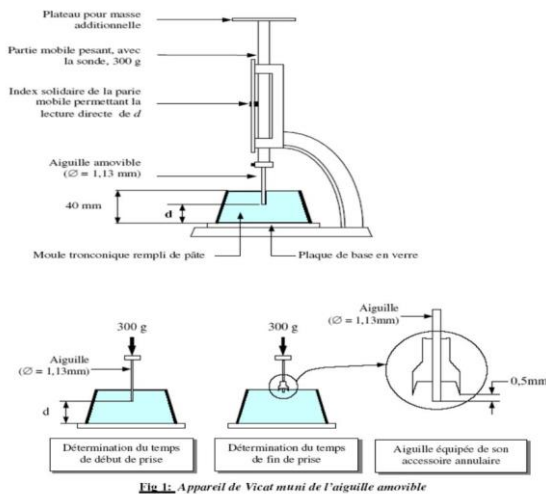


Fig. 1: Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible



Figure II.13 : appareil de Vicat (début de prise)

Figure II.12: appareil de Vicat

Quatre minutes après le début du malaxage, l'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base. Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ($\sim 10-15$ mn)

II.3.ESSAIS SUR MORTIERS A L'ETAT DURCI

II.3.1.Essais de résistances mécaniques

II.3.1.1. Objectif de l'essai

Cette essai est vérifier la classe de résistance du ciment et suivre le comportement mécanique des différents mortiers.

II.3.1.2 .Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seul variable est le tauxdu substituant partiel au ciment.

II.3.1.3 .Équipement nécessaire (norme EN 196-1)

- Un malaxeur normalisé.
- Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm x 4cm et de longueur 16cm
- Une machine d'essai de résistance à la flexion et à la compression (permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150KN avec une vitesse de mise en charge de $50\text{N/s} \pm 10\text{N/s}$ à $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion.

II.3.1.4. Conduite de l'essai

La norme EN196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Avec le mortier normal préparé, on remplit un moule 4x4x16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé ; recouvert d'un film plastique et entreposé dans la salle humide.

24h après le début de malaxage ; ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture.



Figure II.14: la machine de résistance mécanique.



Figure II.15 : le dispositif de flexion



figure II.16: le dispositif de compression

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur La figure suivant :

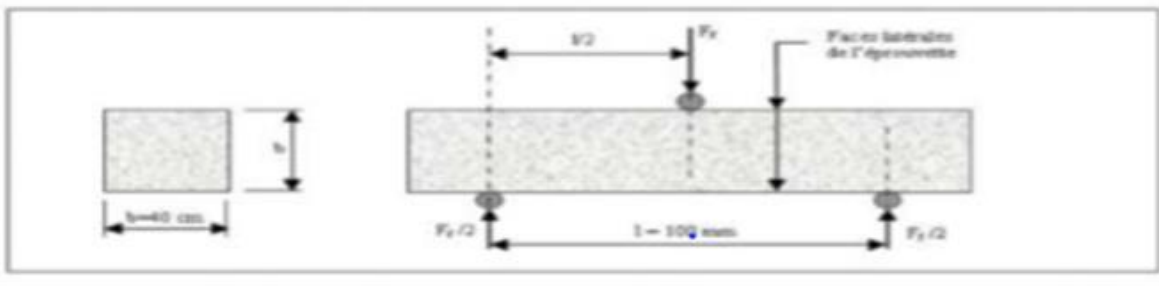


Figure II.17: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.



Figure II.18: l'éprouvette de 15% en flexion simple



Figure II.19: l'éprouvette de 25% en flexion simple



Figure II.20: le résultat de rupture de l'éprouvette



Figure II.21: Le diagramme en flexion simple

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f \cdot l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$Rf = \frac{1.5 Ff}{b^3} \quad (1)$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l , si Ff est exprimée en newtons (N). Cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$Rf = 2.34 \times 10^{-3} Ff$$

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$Rc = \frac{F_C}{B^2} \quad (2)$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_C est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$Rc = \frac{F_C(N)}{1600} \quad (3)$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0.1 MPa près et on en fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir de 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de $\pm 10\%$ de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est écartée.

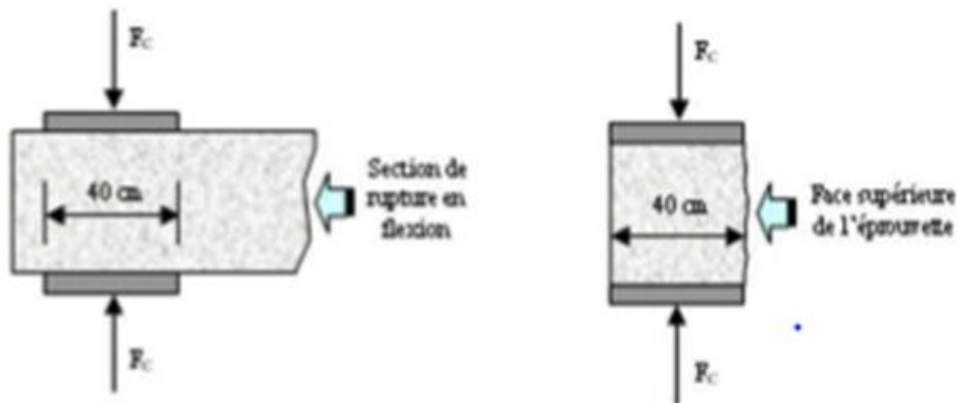


Figure II.22: Dispositif de rupture en compression



Figure II.23 : l'état des éprouvettes après la compression **Figure II.24** : diagramme de compression

Lorsque le résultat est satisfaisant, la moyenne ainsi obtenue est la résistance du ciment à l'âge considéré.



Figure II.25: la forme d'éprouvette après essai de la compression

II.4.Essais d'absorption capillaire

II.4.1.Principe

L'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier, dans des conditions spécifiées.

II.4.2Appareillage

- Une balance d'une précision de 0,1 g ;
- Un récipient de 200 mm de haut, assez grand pour contenir 9 éprouvettes, avec un socle plat et un couvercle.
- Un dispositif permettant de maintenir un niveau d'eau constant dans le récipient.

- Le matériel nécessaire à la préparation de prismes de mortier de (40×40×160) mm conformes à l'EN 196-1.

II.4.3.Mode opératoire

La norme EN196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Avec le mortier normal préparé, on remplit un moule 4x4x16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé ; recouvert d'un film plastique et entreposé dans la salle humide.

24h après le début de malaxage ; ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau 20°C ± 1°C jusqu'au moment de l'essai.

-Peser les éprouvettes après 7 jours, puis les placer verticalement dans un récipient rempli d'eau à niveau constant.

- Laisser les éprouvettes reposer sur un fil de plastique pour permettre à l'eau d'accéder librement à leur base. Maintenir le niveau d'eau à (3±1) mm au-dessus de leur base.

- Eviter tout contact entre les éprouvettes.

- Immédiatement après la mise en place des éprouvettes, poser le couvercle sur le récipient.

-Après 1 jours, sortir les éprouvettes du récipient, les essuyer légèrement avec un papier ou un chiffon sec afin d'éliminer l'eau excédentaire, puis les peser (M1) et les replacer dans le récipient en position verticale. Traiter toutes les éprouvettes individuellement de la même manière.

- On refait la pesée après 7 jours pour avoir M7

L'absorption capillaire (C) pour une échéance donnée est exprimée en grammes par centimètre carré, par la formule :

$$C = \frac{M_0 - M_j}{16} \quad (4)$$

M0 est la masse de l'éprouvette après conservation dans l'air pendant 7 jours en grammes.

MJ est la masse de l'éprouvette après le temps requis d'absorption, en gramme.



Figure II.27 : la peser de l'éprouvette

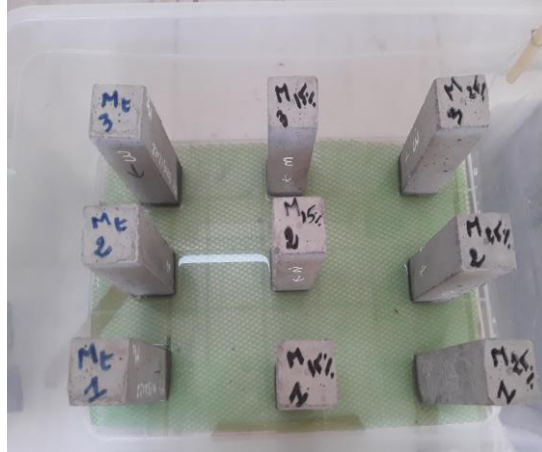


figure II.28: l'éprouvette dans le back

D'eau avec le niveau 3mm

II.5 Essai thermique

II.5.1 Essai de conductivité thermique

Pour mesurer la conductivité thermique des mortiers utilisés un appareil type « Isomet 2104 » (voire la Figure II.29). C'est un instrument de mesure portable pour la mesure directe du coefficient de conductivité thermique, capacité volumétrique spécifique et la température en utilisant l'échange de seringues et sondes de surface, selon la norme ISO8302 [Hamdache .2017].



Figure II.29: Conductivimètre au laboratoire avec le mortier d'ENPO

La mesure est basée sur l'analyse de la réponse de la température du matériau analysé pour chauffer impulsions de flux. Le flux de chaleur est excité par chauffage électrique de chauffe résistance inséré dans la sonde qui est en contact thermique direct avec l'échantillon testé.

L'évaluation de la conductivité thermique et la capacité calorifique volumique est basé sur les enregistrements de température périodiquement échantillonnés en fonction du temps, à condition que la propagation de la chaleur se produise dans un milieu illimité.

Facteurs influant sur la précision La mesure des propriétés thermo physiques par ISOMET peut être, comme toutes les autres mesures, influencée par les conditions de mesure. Les facteurs qui influencent la mesure sont :

- La qualité du contact thermique entre la sonde et l'échantillon.
- Les dimensions de l'échantillon.
- Non-homogénéité de l'échantillon.
- Anisotropie de l'échantillon.
- L'humidité de l'échantillon.

. Mesure de la résistance thermique R_{th} La résistance thermique R d'une paroi traduit la résistance aux transferts thermiques. Elle est liée au flux thermique Φ en W à travers la paroi et à la différence de température $\Delta\theta$ entre les 2 faces par :

$$\Phi = \frac{\Delta\theta}{R} \quad (5)$$

On définit également la résistance thermique surfacique R_s , telle que :

$$R = \frac{R_s}{s} \quad (6)$$

C'est la résistance thermique de la paroi pour une surface de 1 m².

Dans le cas d'une paroi constituée de plusieurs couches de matériaux différents, les résistances thermiques s'additionnent, la formule de R_{th} en fonction de la conductivité thermique est :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda} \quad (7)$$

Où e : épaisseur de la couche de matériau.

Remarque : Plus la valeur de la résistance thermique R_{th} d'une paroi est grande, plus le matériau est isolant

Méthodes d'essais

La préparation du mortier a été effectuée selon les étapes suivantes la formulation de mortier le susmentionné Norme ASTM C 305-99 :

Les mortiers sont destinés pour la confection des éprouvettes de dimensions de 40x40x160 mm³. Afin d'évaluer les propriétés thermiques des mortiers et mettre en relief l'influence de la substitution du ciment par la perlite de Hammam Boughrara. On a mesuré la conductivité thermique des mortiers à l'aide d'un appareil type "Isomet 2104". C'est un instrument de mesure portable pour la mesure directe du coefficient de conductivité thermique, capacité volumétrique spécifique et la température en utilisant l'échange de seringues et sondes de surface, selon la norme ISO8302 [M. HAMADACHE1 ET AL .2015].

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait plusieurs études expérimentales sur les mortier , par différentes méthodes des essais physiques, effectués le plus par au sein de notre laboratoire qui nous ont donné une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers étudiés. nous avons montrée Les procédure expérimentale concernant l'essai de maniabilité et l'essai de consistance et l'essai d'absorption capillaire et l'essai de conductivité , celle de résistance mécanique des mortiers confectionnés à base de perlite de la région de Maghnia .

Nous avons adopté pour toutes les formulations le même rapport Eau/Ciment et un même volume de pâte.

PARTIE III:
RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I :
RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT FRAIS

CHAPITRE I: RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT FRAIS

I.1.INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des différents essais de caractérisation à l'état frais effectués sur des pâtes et des mortiers confectionnés selon les différentes combinaisons d'ajouts de perlite (0% : témoin, 15% et 25%). Il s'agit des essais de maniabilité sur les mortiers, et des essais de consistance et de prise sur les pâtes.

I.2. RESULTATS DE L'ESSAI DE CONSISTANCE

Les résultats de consistance obtenus pour chaque composition de pâte de ciment sont donnés par le tableau I.1 et la figure I.1

Tableau I.1: Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.

Les pates	P0	P1	P2
Eau	135.5	135.7	135.8
Ciment (g)	500	425	375
Perlite (g)	0	75	125
Le rapport E/C	0.271	0.319	0.362
Le rapport E/L	0.271	0.2714	0.2716

Avec

P 0 : pâte témoin à 0% de perlite et 100% de ciment.

P1 : pâte à 15 % de perlite et 85 % de ciment

P2 : pâte à 25 % de perlite et 75 % de ciment

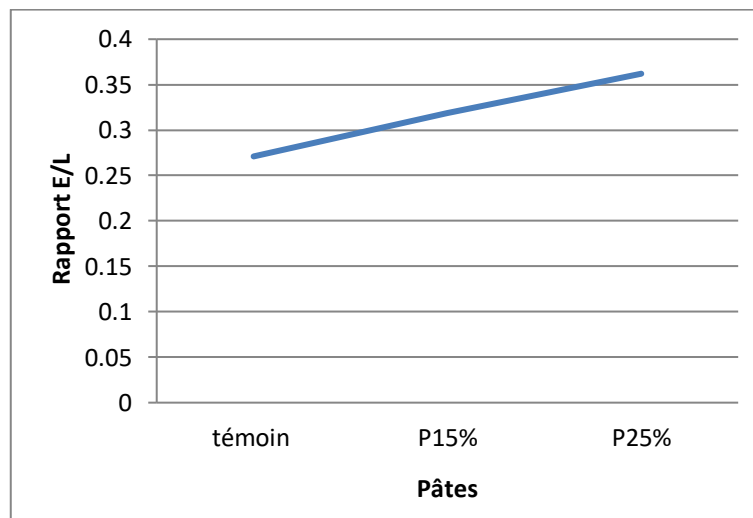


Figure I.1: Variation des rapports E/L en fonction du dosage en perlite.

A partir des résultats nous remarquons que le rapport E/L augmente avec l'augmentation du pourcentage de perlite cela est dû à la finesse de la perlite qui absorbe et réduit une partie importante d'eau destinée à l'hydratation du ciment.

I.3.LES RESULTATS DE L'ESSAI DE PRISE

L'objectif de cet essai est de déterminer le temps de prise

Le tableau I.2 et la figure I.2 donnent les valeurs des temps de début de prise, de fin de prise et les temps de prise, mesurés sur des pâtes témoin et celles contenant 15% et 25% de perlite par rapport au dosage du ciment.

Tableau I.2: Les temps de début de prise, de fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes.

	P0	P15%	P25%
Début de prise (minutes)	192	169	133
Fin de prise (minutes)	344	300	305
Le temps de prise (minutes)	152	131	172

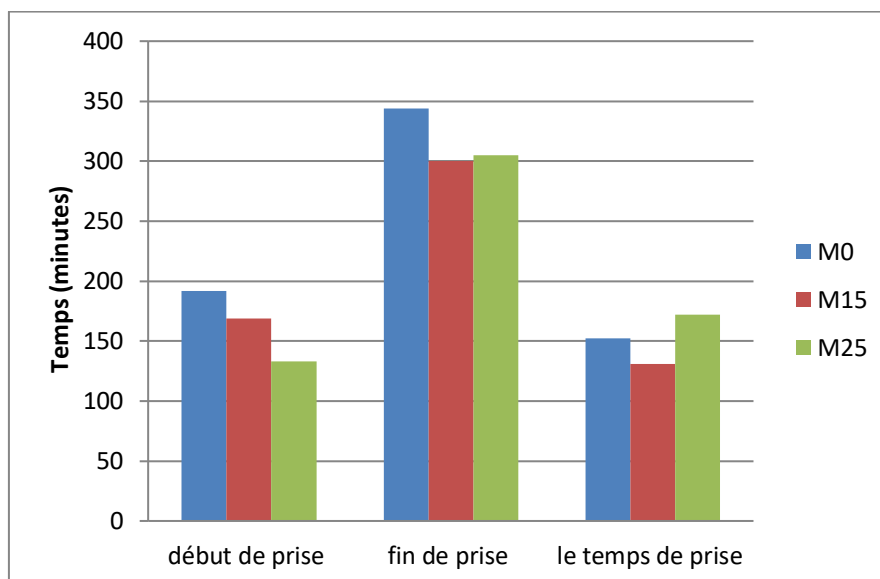


Figure I.2 : Temps de prise des pâtes témoin et à base de perlite

D'après les résultats de la figure I.2 montre que l'ajoute de la perlite a un effet sur le temps de prise car il existe une différence de 21 et 20 minutes respectivement de la pate 15% et 25 % de substitution en perlite par rapport au témoin , par ailleurs on note 41minute de temps de prise pour les pates à 15% et25% de la perlite .

Par contre en comparant les temps de début de prise, nous remarquons que ces derniers diminuent légèrement avec l'augmentation des dosages en ajouts ce qui présente un intérêt. La perlite a joué le rôle d'accélérateur de prise.

I.4.MANIABILITE

Les tests de caractérisation de la maniabilité sont menés dès la sortie du malaxeur, avant le moulage des corps d'épreuve.

Le tableau ci dessous présente les différents mortiers étudiés, le rapport E/l utilisé lors de la confection de ces mélanges ainsi que les maniabilités obtenues. En guise de référence, la maniabilité obtenue, mesurée à l'aide d'un maniabilimètre (LCL) sur un mortier témoin confectionné est d'environ 12 s.

Afin d'obtenir une maniabilité voisine de celle d'un mortier témoin pour comparer entre les autres mortiers, nous avons maintenu le rapport E/l constant, égal à 0,5.

Tableau I.3: la maniabilité des mortiers (temps de vibration en secondes)

Nomination	E/l	Temps de maniabilité (sec)
Mortier témoin	0.5	12
Mortier à 15% de perlite	0.5	12
Mortier à 25 % de perlite	0.5	11.55

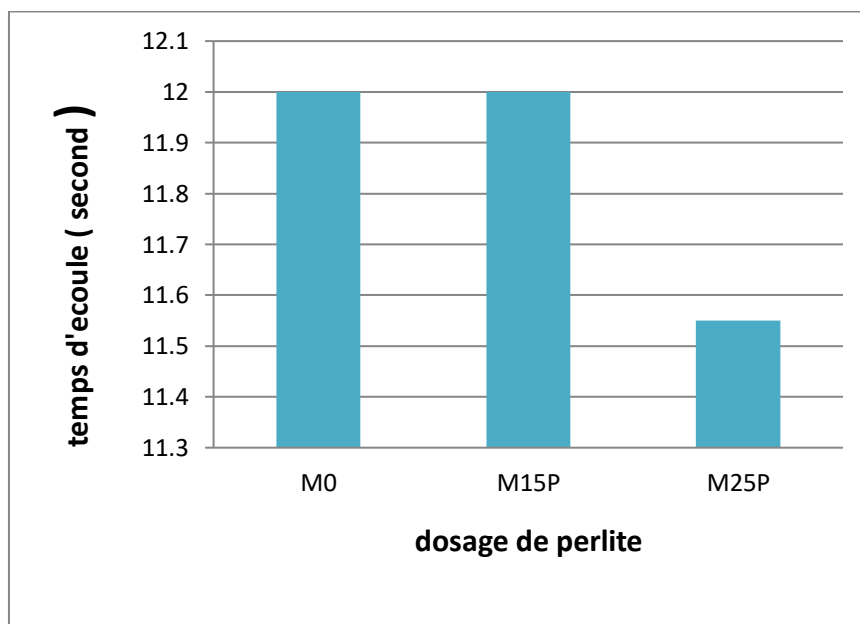


Figure I.3: Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers.

Tableau I.4 : Dosages du plastifiant des mortiers à base de Perlite

% de l'ajout en perlite	M0p	M15p	M25p
Ciment (g)	450	417.19	398.70
Plastifiant (g)	0	0.5	1.8

D'après ces résultats on remarque que l'augmentation du pourcentage de perlite a diminué la maniabilité des mortiers.

Pour garder une maniabilité comparable à celle du mortier témoin on utilise de l'adjuvant BV40 puisque l'augmentation du taux de la Perlite accroît sensiblement la demande en

I.5. CONCLUSION

La caractérisation des pâtes et mortiers à l'état frais a été effectuée dans ce chapitre. Les essais de consistance ont montré que la présence de la perlite engendre une augmentation du besoin en eau, d'autre part, elle contribue également à accélérer le temps de prise.

Enfin, l'ajout d'adjuvant a été nécessaire pour avoir une maniabilité équivalente pour toutes les formulations témoin et à base de perlite.

CHAPITRE II : RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT DURCI

CHAPITRE II : RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT DURCI

II.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats des mortiers à différents pourcentages de perlite naturelle 15% et 25 % et un mortier témoin afin de caractériser leur capacité en absorption d'eau par un essai dit absorption capillaire, mesurée à des échéances de 1 jour et 7 jours. Aussi les essais relatifs à l'étude du comportement mécanique des différents mortiers (résistances à la compression et à la traction par flexion) ont été menés à des échéances de (3, 7, 14, 28 et 60 jours), pour ce qui est de l'essai de conductivité thermique, il a été effectué à 28 jours au laboratoire de l'ENPO d'ORAN.

II.2. RESULTATS DE L'ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE

Les résultats obtenus à chaque échéance sur trois éprouvettes de chaque mortier sont exprimés sous forme de la moyenne des trois valeurs mesurées.

La formule utilisée $C = \frac{Mj - M0}{16}$

Avec

MJ : la masse d'éprouvette après certain jours.

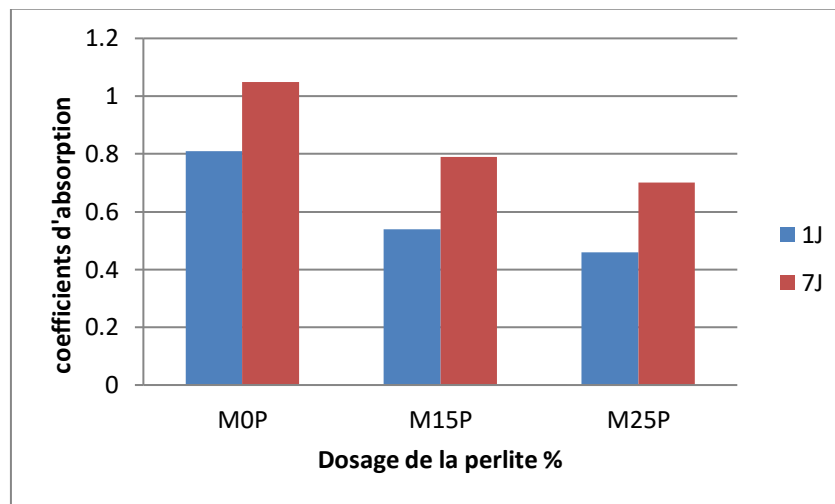
M0 : les masses unitaires d'éprouvette.

Tableau II.1: masse de différentes éprouvettes de mortier en grammes

Mortier		M0 (g)	M1(g)	M7 (g)
Témoin	1	564.4	577.6	581
	2	566	579.4	583.2
	3	561.8	574.5	578.6
15%	1	558.7	567.6	571.6
	2	549.1	557.3	561.1
	3	553	562.1	566
25%	1	526.1	533.5	536.7
	2	542.6	550.3	554.3
	3	538.4	545.8	549.5

Tableau II.2:Coefficients d'absorption capillaire

Les différents mortiers	Absorption capillaire (g/cm ²)	
	1jour	7Jours
Mortier témoin	0.81	1.05
15%P	0.54	0.79
25%P	0.46	0.70

**Figure II.1** : la variation des coefficients d'absorption capillaire des différents mortiers.

La figure II-1 montre l'influence des différents pourcentages de perlite sur l'absorptivité des mortiers à 1 et 7 jours. Nous remarquons que l'incorporation des ajouts engendre un effet avantageux sur l'absorptivité et donc obtenir une diminution de la taille des pores capillaires. En comparant entre les résultats des différents pourcentages de conservation, nous pouvons constater la diminution de la valeur des coefficients de l'absorptivité.

Le mortier à base de 25% de perlite enregistre une faible absorptivité à 1 et 7 jours par rapport aux autres types de mortiers. Et cela est dû à la grande surface spécifique de cet ajout et sa meilleure activité pouzzolannique.

L'absorptivité peut être réduite, à long terme, à cause du développement de la réaction pouzzolannique avec le temps, qui réduit les pores capillaires par le remplissage de ces pores par le gel CSH de seconde génération formé à partir de la silice des ajouts pouzzolanniques et la portlandite, l'hydrate résultant de l'hydratation du ciment. Ce qui est en accord aussi avec l'augmentation de la résistance à la compression.

II.3.LES RESULTATS DE L'ESSAI DE CONDUCTIVITE THERMIQUE

Les résultats obtenus après 28 jours des éprouvettes de mortiers conservées à l'air libre sont montré dans les tableaux II.3 et II.4

Tableau II.3 : les masses des mortiers à 28jour avant et après le séchage

Les mortiers	La masse avant le séchage (g)	La masse après le séchage(g)	La déférence	Les pourcentages
Mortier témoin M0	571.2	550.1	21.1	3.6%
Mortier à 15%P M15	569.7	550.5	19.2	3%
Mortier à 25%P M25	552.5	534.6	17.9	3%

Tableau II.4 : les résultats des caractéristiques thermo physique

Echantillon	λ (w /m.k)	C_p (j /m) * 10^6	a (m ² /s) * 10^{-6}	R (m ² .k /w)
M0	1.90	1.74	1.09	0.21
M15	1.64	1.69	0.971	0.24
M25	1.68	1.69	1.01	0.24

R : la résistance thermique est calculée par la formule suivant

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

L'influence de perlite est observée par la variation de la conductivité en fonction du dosage de la perlite à 28j (figure II.2).

A partir des résultats on remarque une conductivité élevée sur le mortier témoin (M0) par rapport aux autres mortiers, par contre le mortier à base de 25% de perlite enregistre une légère augmentation de conductivité par rapport au mortier de 15% de perlite, nous enregistrons une bonne amélioration de l'isolation thermique qui est due essentiellement à la faible conductivité thermique des échantillons et celles du mortier témoin.

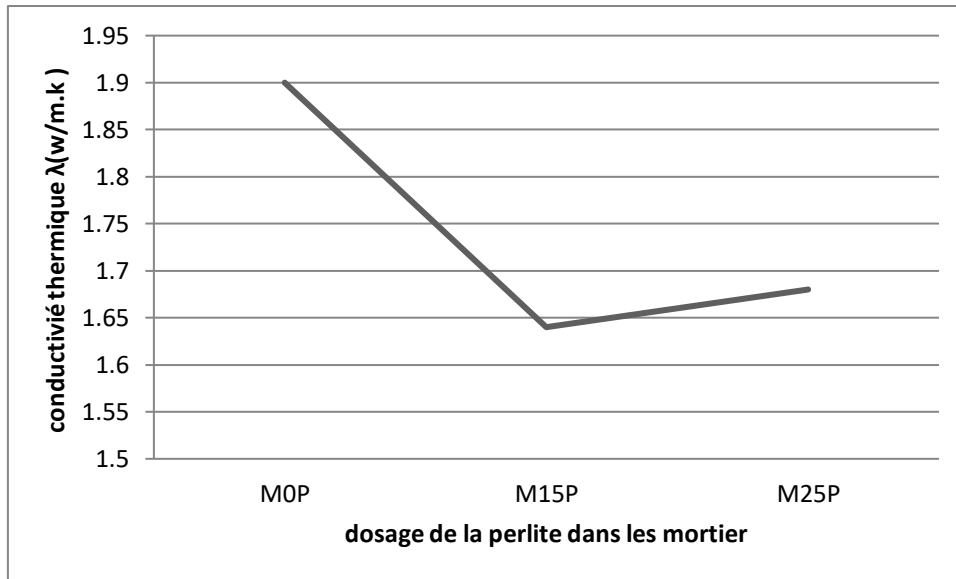


Figure II.2: la variation de la conductivité en fonction de dosage de la perlite à 28j

D'un autre côté, la capacité thermique est mesurée en fonction du dosage de la perlite à 28j (**Figure II.3**), on remarque que la capacité thermique du mortier témoin (M0) est élevée par rapport aux autres mortiers à base de perlite, les valeurs de la capacité thermique des mortiers de 15 et 25% de substitution en perlite est constante, en déduire que l'effet de la perlite diminué l'absorption de la chaleur

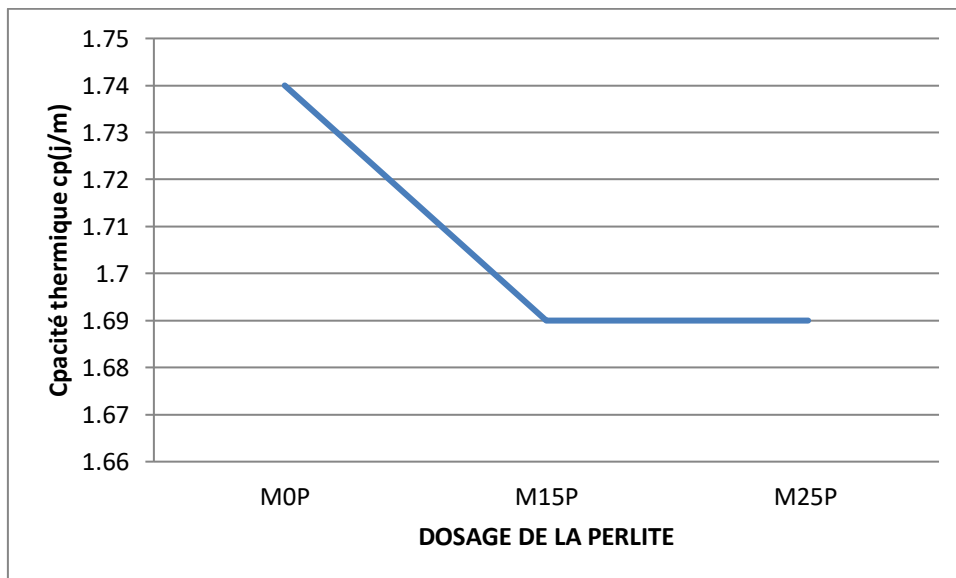


Figure II.3 : la variation de la capacité thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j

La figure II.4 présente la diffusivité thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j, nous remarquons que le mortier normal (M0) affiche la valeur plus élevée par rapport aux autres mortiers, pour le mortier (M15) on observe une diminution de la diffusivité suivie par une légère augmentation pour (M25), ce qui explique que la perlite a contribué à réduire la transmission de la variation de température.

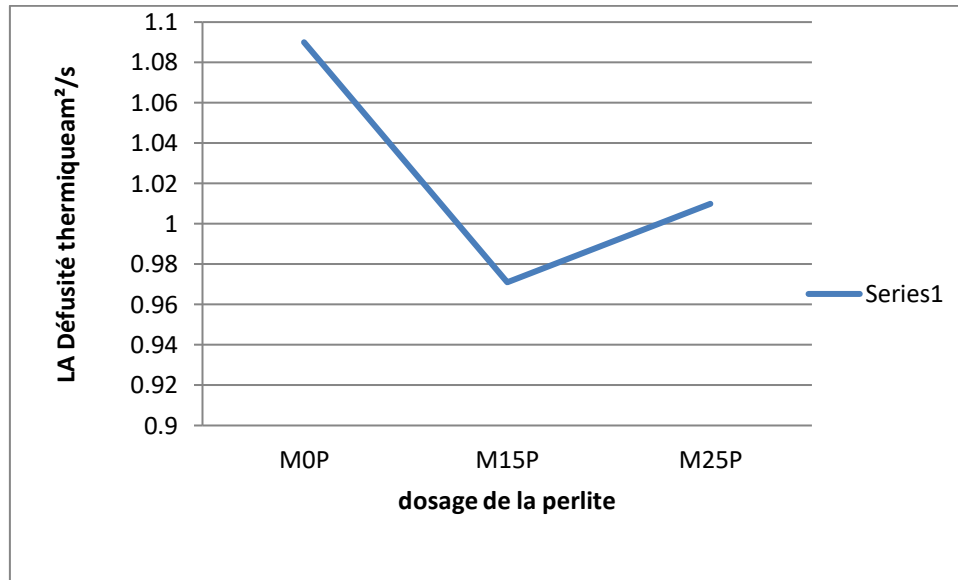


Figure II.4: la variation de la diffusivité thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j

La figure II.5 présente la résistance thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j. On remarque que le mortier M0 affiche une résistance faible par rapport autres mortiers à base de (15 et 25%) de perlite, suivie d'une augmentation de ces derniers et fixé à cette résistance (valeurs constante de la résistance thermique pour les deux mortiers), nous enregistrons une bonne amélioration de l'isolation thermique qui est due essentiellement à la grande résistance thermique des échantillons des mortiers a base de perlite .

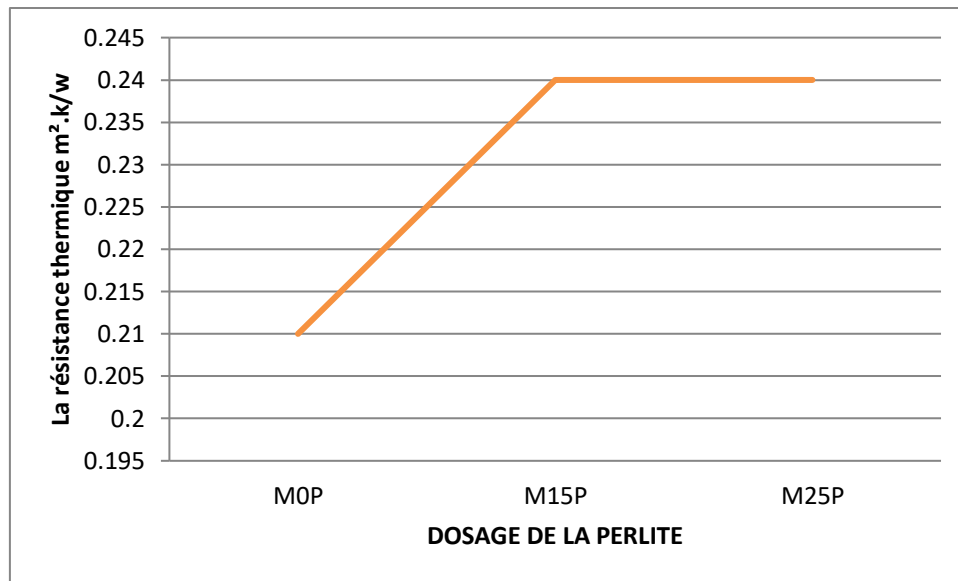


Figure II.5: la variation de la résistance thermique en fonction de dosage de la perlite à 28 j

II.4.RESISTANCES MECANQUES DES MORTIERS

II.4.1 la Résistances à la traction à base de perlite

Les résultats des mesures des résistances à la traction ont été obtenus par rupture à la flexion de trois points des éprouvettes (4*4*16cm3) à base de 15 % et 25% de perlite et celles du mortier témoin.

Les résultats de la résistance à la flexion sont regroupés dans le tableau II-5.La figure II.6 montre le développement de la résistance à la flexion en fonction de l'âge des mortiers contenant différents pourcentages de la perlite. Nous remarquons que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge.

Tableau II.5 : Résistances à la traction par flexion (MPa)

Jours	M0p	M15p	M25P
3	9,81	9,55	9,149
7	10,81	9,85	10
14	11,23	10,59	10,28
28	11,75	10,45	11,08
60	11,09	11,01	9,91
90	11,41	11,22	10.16

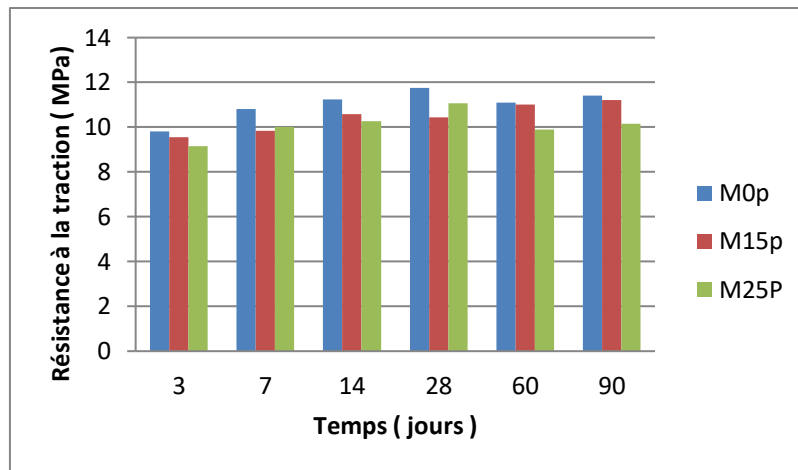


Figure II.6: Evolution des résistances à la traction (MPa).

Nous avons présenté l'influence de la perlite sur la résistance à la traction des mortiers à l'âge de 3, 7, 14, 28 et 60 jours (figure II.6).

- La résistance de la flexion du mortier témoin est supérieure à celle du mortier à base de perlite à court et à long terme (3, 7, 14 et 28, 60 et 90 jours).

- A 28 jours le mortier à 15% de perlite affiche des résistances inférieures à celles des autres mortiers.

- A 60 jours la résistance du mortier de 25% de perlite est inférieure par rapport au mortier témoin et au mortier de 15% de perlite.

II.4.2. La résistance à la compression des mortiers à base de perlite

Les résultats de la résistance à la compression sont regroupés dans le tableau II-6. La figure II.7 montre le développement de la résistance à la compression en fonction de l'âge des mortiers contenant différents pourcentages d'ajouts. Nous remarquons que les résistances de tous les mortiers augmentent avec le temps.

Tableau II.6: Résistances à la compression (MPa)

Jours	M0p	M15p	M25p
3	30,5	28,41	28,07
7	37,59	32,86	33,32
14	38,83	36,34	34,4
28	40,53	37,22	43,98
60	41,16	44,43	44,79
90	42,02	45,13	50,11

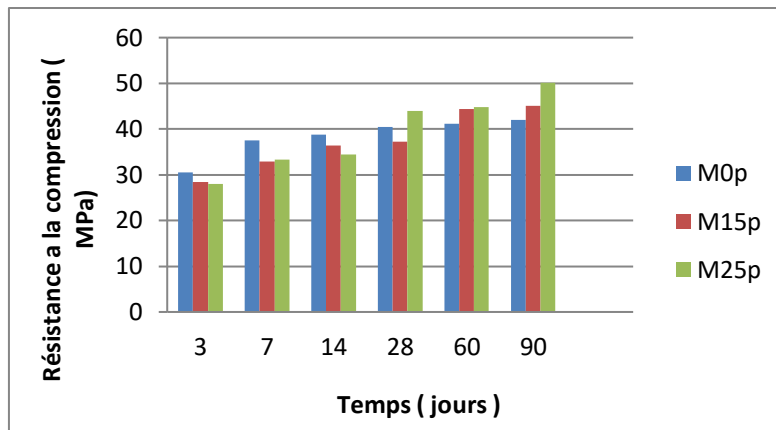


Figure II.7 : Evolution des résistances à la compression (MPa).

D'après c'est résultat nous remarquons que les résistances à la compression des mortiers avec différents pourcentages 15% et 25% de perlite sont inférieures celle du mortier témoin à l'âge de 3j, 7j et 14 j.

Le mortier de 15 et 25% dépasse le mortier témoin à l'âge de 28j, 60j, 90j la résistance augmente à long terme.

Les mortiers élaborés avec de la perlite développent des résistances comparables et même supérieures à celles du mortier témoin à long terme (28, 60, 90 jours). Ceci est attribué probablement à l'activité pouzzolanique de l'ajout de PR qui est lente au jeune âge et s'accélère à long terme. Cette activité consiste à fixer la portlandite Ca(OH)_2 libérée par l'hydratation du CEMI pour donner naissance à des silicates de calcium hydratés CSH supplémentaires de deuxième génération contribuant ainsi au développement de la résistance

Ce résultat a été également observé par de nombreux chercheurs: [Yu L. H. et al., 2003][MERAL Ç., 2004][ERDEM T. K. ET AL., 2007][GUENANOU F., 2014][CHIHAOUI R., 2018].

II.5.CONCLUSION

L'objectif de ce travail est la comparaison des résultats de résistances mécaniques relatifs aux mortiers à base de la perlite naturelle de Maghnia, et le mortier témoin, mettre en évidence l'effet des différents pourcentages de la perlite 15et25% et celles du mortier témoin.

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'on peut utiliser jusqu'à 25% de perlite car c'est le pourcentage idéal, il donne des bonnes résistances à la compression et une faible absorption d'eau parce que les pores capillaires de la matrice cimentaire sont remplis par la perlite et ils sont ainsi réduits. Le mortier à base de 25% d'ajout présente une bonne isolation thermique. Finalement ce pourcentage est le plus économique et le plus écologique

CONCLUSION GENERALE

Notre étude a permis de confirmer la possibilité de la valorisation de la perlite de Maghnia dans les mortiers avec différents pourcentages de la perlite (0%, 15%, 25%). Ce travail avait pour objectif l'étude de la formulation et la caractérisation physicomécanique et thermique d'un mortier, Les principales conclusions auxquelles nous sommes parvenues sont :

-Les résultats de l'étude du comportement du mortier à l'état frais en fonction du dosage de la perlite montre que la présence de la perlite engendre une augmentation du besoin en eau, ainsi que la perlite joué un rôle de accélérateur de prise dans l'essai de temps de prise.

-On en déduit qu'une substitution de 25% du ciment par la perlite est le taux le plus intéressant qui s'avère optimal, puisque c'est le taux qui a satisfait les critères d'amélioration de résistance et d'absorption capillaire, et offre une possibilité pour améliorer la durabilité des mortiers.

-L'étude de la consistance normalisée des différents pourcentages montre qu'elle varie proportionnellement avec le taux d'addition. Plus le pourcentage d'addition est élevé, plus la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte à consistance normalisée augmente.

-L'ajout de perlite naturelle dans le ciment améliore à long terme la résistance mécanique à la compression.

-Le taux de substitution en perlite entre 15% et 25% donne les meilleures résistances à la compression, mais à la flexion le mortier témoin elle a des résistances très élevées que les autres mortiers, Le rapport de la résistance à la compression par celle mesurée entre 28, et 90 jours, augmente avec le temps notamment pour les mortiers avec l'ajout de la perlite.

L'absorptivité et la porosité accessible à l'eau sont réduites, à cause du développement de la réaction pouzzolanique avec le temps, qui réduit les pores capillaires par le remplissage de ces pores par le gel CSH de seconde génération formé à partir de la silice des ajouts pouzzolaniques (Perlite). Ce remplissage va engendrer une augmentation de résistance. L'absorptivité et la porosité accessible à l'eau diminuent avec l'augmentation de la résistance mécanique.

-Une bonne amélioration de l'isolation thermique qui est due essentiellement à la faible conductivité thermique des échantillons exposés à l'air.

Enfin, ce travail de nous a permis de formuler des mortiers à base de substitution du ciment par de la perlite naturelle de Maghnia avec un taux allant de 15 et 25%, qui ont tout de même l'avantage d'atteindre des performances acceptables du point de vue de la résistance à la compression.

Référence bibliographiques

Pkla .A, Mesbah .A , Rigassi .V et J. C. Morel : «Comparaison de méthodes d'essais de mesures des caractéristiques mécaniques des mortiers de terre (Empirical comparison of testing methods on measurements of the mechanical characteristics of soil mortars)» BP 2636 F 38036 Grenoble cedex 2, France, 21 mars 2001.

Arianit A. ET AL «Chemical, mineralogical and structural features of native and expanded perlite from Macedonia» 2019 .18

BOURROUBEY .ch, 2019«influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers » mémoire de fin d'étude en master, Université de Mostaganem.

BENYAHIA .N, BENKHENNOUCHE .N, 2016 :« Etude de l'influence des fillers calcaires, rapport (Eau/Ciment) et taux d'adjuvant sur la résistance mécanique d'un mortier à base d'un sable de concassage» mémoire de fin d'étude en master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia.

BENALI .Y, 2018 :« Etude du comportement mécanique et de durabilité des mortiers de polymères modifiés au latex » thèse de doctorat, université Tlemcen

CHIHAOUI, R.2017/2018 : « étude de la durabilité des matériaux cimentaires exposés aux attaques chimiques » thèse de doctorat, université usto Oran.

Chaib .O et al, « Etude de l'influence de la pouzzolane naturelle sur la résistance mécanique des mortiers à base de ciments composés » 33èmes Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, 27 au 29 mai 2015

ERDEM., 1997 : « Effect of various additives on the hydrations of perlite gypsum plaster and perlite portland cement pastes», Turk J Chem1997;21(3):209–14.

Erdogan S. T., Saglık A. Ü., 2013, «Early-age activation of cement pastes and mortars containing ground perlite as a pozzolan», Cement and Concrete Composites.

Frederic dounenc, élément de thermodynamique et thermique, 2009.

Ferk A., Leonhardt R., Denton J., Tuffen H., Hess K.U., Dingwell D.B. (2012). «Paleointensity on volcanic glass of varying hydration states». Physics of the Earth and Planetary Interiors.

FERCHOULI .R, Madi.k , 2014 : «Etude des caractéristiques mécaniques et la durabilité des bétons et mortiers a base de fibres métalliques» mémoire de fin d'étude en master, Université A. MIRA – Bejaïa

GUENANOU.F,2018/2019 :«Durabilité des mortiers contenant la perlite vis-à-vis de la corrosion des armatures» thèse de doctorat, université usto Oran

GUENANOU F., 2014, "Caractéristiques physico-mécaniques des mortiers contenant différents ajouts minéraux, exemple de la perlite", Mémoire de Magister en Génie Civil, USTO MB.

HAMADACHE .M, 2017/2018 :« Résistances mécaniques, conductivité et résistance à la corrosion des mortiers pouzzolaniques» thèse de doctorat, ENP M-A Oran.

HOUICHE .A, SOUICI. S, 2016/2017 : «Etude expérimentale d'un mortier et d'un béton à base de ciment CRS (Performance, Caractérisation) » mémoire de fin d'étude en master, université M'sila

HERSKOVITCH.D, I.J. LIN«upgrading of raw perlite by a dry magnetic technique» 1995.

HAMADACHE.M , M. MOULI, N. Bouhamou, A.S. BENOSMAN, O. CHAIB, F. Dif «Caractérisation des ajouts pouzzolaniques dans le mortier pour l'efficacité énergétique des bâtiments (Characterization of pozzolanic additions in the mortar for building energy efficiency)» , 20 Octobre2015.

Rocci. j.-p , «Mémento roches et minéraux industriels la perlite» BRGM janvier 1987 .

Lakshmaiah. K. N. , Harish. B , N. V. Narayana , G.Devika :« An experimental study on partial replacement of perlite powder and GGBS with cement in ternary blended concrete»

laboration notionnels de métrologie et d'essais, les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologique, article LNE ,2010 .

LOGBI .A, 2019 : «effet des ajouts minéraux actifs et inertes sur les propriétés physiques, mécaniques et chimiques du mortier» » thèse de doctorat, université Ouargla

LSUNMA (1999). Livret des substances utiles non métalliques de la Wilaya de Tlemcen. Edition du service géologique d'Algérie

MEKHERMEHE .A, 2012. :«contrubition à l'étude des propriétés mécaniques et thermique des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des ksour sahariennes», mémoire magister, université Ouargla

MAAMAR BENHADJAR .L, CHENINE. S ,2020 : «influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers» mémoire de fin d'étude de master, Université de Mostaganem.

Menari .M, Sahi .Kh, 2020 : «Etude de l'influence de la taille du grignon d'olive broyé sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers à base de ciment» mémoire de fin d'étude en master, Université A. MIRA – Bejaïa

Meral Ç. (2004). Use of perlite as a pozzolanic addition in blended cement production. Master thesis, Middle East Technical University, Turkey

Mueena .S, Shweta. S«study of chemical and physical properties of perlite and its application in india » 2016.

OUAHIANI .S,BENBOUZIANE. S,2020 :«Influence des ajouts sur le comportement mécanique des mortiers soumis aux attaques acides» mémoire de fin d'étude en master Université Tlemcen

OULD MOUSSA. M, 2019.2020 : «Influence des ajouts pouzzolanique sur le comportement thermo-physiques des mortiers» mémoire de fin d'étude en master, Université de Mostaganem.

Dupain. R , Granulas, SOLS, CIMENTS ET BETONS Édition castilla, en France février 2009

THIBAUT P.M., COUMOUL .A, 2000 :« Mémento roches et minéraux industriels la perlite». BRGM/RP-50469-FR, France. Universitaires. décembre, 2000.

KHONSARI .V, EEslami , Ah. Anvari2010 : «effects of expanded perlite aggregate (EPA) on the mechanical behaviorof lightweight concret » university tehran, Iran, may 23-28 2010.

Yu L. H., Ou H., Lee L. L., 2003, «Investigation on Pozzolanic Effect of Perlite Powder in Concrete», Cement and Concrete Research

Cousante .Y, propriétés et caractéristique des matériaux de constructions, Barcelone en 2007

ANEX

NOTICE PRODUIT

Sika® Plastiment® BV-40

Plastifiant/Réducteur d'eau pour hautes résistances mécaniques

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® Plastiment® BV-40 est un plastifiant réducteur d'eau énergétique qui :

- augmente la compacité du béton, entraînant ainsi une amélioration des résistances mécaniques et de l'imperméabilité
- facilite la mise en place du béton
- permet éventuellement de réduire le dosage en ciment
- permet d'obtenir un retard de début de prise plus ou moins important en augmentant le dosage normal d'utilisation de béton à performances élevées, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci

DOMAINES D'APPLICATION

Augmentation des résistances mécaniques

Sika® Plastiment® BV-40 permet de réduire l'eau de gâchage d'environ 10 % sans diminuer la maniabilité du témoin. Des essais sont indispensables pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. La compacité et l'imperméabilité sont améliorées. Les résistances mécaniques à long terme sont augmentées en moyenne de 15 à 40 %.

Sika® Plastiment® BV-40 est donc particulièrement indiqué pour :

- les bétons armés à hautes performances
- les bétons précontraints
- les bétons préfabriqués étuvés

Réduction du dosage en ciment

Sika® Plastiment® BV-40 permet de réduire le dosage en ciment de l'ordre de 10% en conservant les résistances mécaniques. Il est utilisé dans ce cas en B.P.E. pour la confection de béton à la résistance.

Amélioration de la maniabilité

Sika® Plastiment® BV-40 permet d'améliorer la maniabilité à teneur en eau constante, tout en apportant une augmentation des résistances à long terme de 10% environ. Il est donc utilisé pour la confection de pièces élancées, fortement ferraiillées et dans le cas de

bétons pompés.

Augmentation du délai de mise en oeuvre

A dosage élevé, le Sika® Plastiment® BV-40 augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais. A titre indicatif :

- à 20°C, on obtient un retard de prise de 3 à 4 heures environ avec 0,6 %
- à 5°C, le même dosage provoque un retard de prise de l'ordre de 8 h

Sika® Plastiment® BV-40 est compatible avec nos entraîneurs d'air Sika® Aer et Sika® Aer-5. Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier)
- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® Plastiment® BV-40, grâce à ses propriétés physico-chimiques permet :

Sur béton frais :

- d'augmenter considérablement la maniabilité même en réduisant l'eau de gâchage
- de disperser le ciment dans la masse
- d'améliorer l'adhérence béton-armatures
- de s'opposer à la ségrégation
- d'améliorer la thixotropie
- d'étaler éventuellement la prise

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques,
- d'accroître la compacité
- d'augmenter l'imperméabilité
- de diminuer le retrait et le fluage

Sika® Plastiment® BV-40 est compatible avec tous les ciments et en particulier le ciment fondu.

AGRÈMENTS / NORMES

- Caractéristiques sur béton frais, résistances méca-

- niques à 7 et 28 jours, perméabilité, capillarité : CE-MEREX - PV n° 363, 1.014 du 11.02.72.
- Résistances mécaniques à 7, 28, 90 et 365 jours : EM-PA ZÜRICH - PV n° 59239/32 du 10.02.69
 - Conformité à la norme ASTM C 494 type A : TESWELL Laboratoires (USA) - PV n° IZ-15 du 23.08.79

DESCRIPTION DU PRODUIT

Base chimique	Solution aqueuse de lignosulfonates modifiés
Conditionnement	Fût de 250 kg Cubi de 1100 kg
Aspect / Couleur	Brun foncé
Durée de Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans
Conditions de Stockage	Sika® Plastiment® BV-40 gèle à - 5°C environ. En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1,180 ± 0,025
Valeur pH	4,5 ± 1
Extrait Sec	36,6 à 40,4 %
Teneur Totale en Ions Chlorure	< 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 2,0 %

INFORMATIONS TECHNIQUES

Instructions pour le Bétonnage	Introduire le Sika® Plastiment® BV-40 dans l'eau de gâchage.
--------------------------------	--

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	<p>Le dosage précis du Sika® Plastiment® BV-40 est fonction des conditions de chantier et de l'effet recherché.</p> <p>Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1% du poids du ciment (soit 0,25 à 0,85 litre pour 100 kg de ciment).</p> <p>Comme retardateur: À partir de 0,5% du poids du ciment (soit 0,42 litre pour 100 kg de ciment).</p> <p>Son dosage exact se détermine sur chantier en procédant à quelques essais puisqu'il est fonction de la nature des composants du béton, des qualités recherchées (compacité, plasticité) et des conditions climatiques.</p> <p>Ne pas dépasser 1% (0,85 litre pour 100 kg de ciment) sans essai préalable : possibilité de retard de prise important.</p>
Distribution	Introduire le Sika® Plastiment® BV-40 dans l'eau de gâchage.
Restrictions	Sika® Plastiment® BV-40 ne doit pas être ajouté au ciment sec.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire.
Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait

Notice produit
Sika® Plastiment® BV-40
Février 2021, Version 01.02
02130201100000717

BUILDING TRUST



de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
06 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél : 0 21 50 16 92 à 95
Fax : 0 21 50 22 06
sika.sika.com

Notice produit
Sika® Plastiment® BV-40
Février 2021, Version 01.02
02130201100000717

3 / 3

SikaPlastiment® BV-40-Fr-02-(02-2021)-1-2.pdf



