

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2024

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

YAGOUB Ayoub
KAHLAL Sofiane

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

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème :

ETUDE DE LA PERFORMANCE DES MORTIERS A BASE DE PERLITE

Devant le jury composé de :

Mr. GLAOUI Bachir	Pr	UAMOB	Président
Mr. KENNOUCHE Salim	MCA	UAMOB	Examineur
Mme. MOHAMADI Saddika	MAA	UAMOB	Encadré par
Mr. ARBAOUI Ahcène	MCA	UAMOB	Co-encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

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

En second lieu, nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadrante Mme **MOHAMADI Saddika** enseignante au département du Génie Civil de l'Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, pour avoir accepté de nous diriger et guider dans cette étude, pour son soutien inconditionnel, et avec qui on a une relation de confiance. Nous tenons également à la remercier pour sa grande disponibilité.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury **Mr Glaoui** et **Mr Kennouche** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tout le personnel du groupe **GICA Sour el Ghozlane** en particulier Mme MAAMERI Fouzia pour leur sympathie, leur disponibilité et leur soutien.

Nous tenons à remercier les ingénieurs du **Laboratoire Central De Travaux Publics (LCTP)** de Bouira qui n'ont jamais hésité de nous faire part de leur grande expérience du travail.

Nous remercions tous les enseignants du département de génie civil.

Nous adressons nos remerciements à tous nos amis(es) et à nos familles, particulièrement nos parents pour leur soutien et leurs encouragements.

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

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

Aux deux êtres les plus chers : nos pères et nos mères, qui ont tout fait pour que je réussisse dans ma vie.

 *A nos frères et nos sœurs.*

 *A nos collègues de la promotion.*

 *A tous nos amis et proches.*

Sofiane & Ayoub

Table des Matières

Sommaire

Remerciements	II
Dédicace	III
Table des Matières.....	IV
Liste des symboles.....	X
INTRODUCTION GENERALE.....	3
CHAPITRE I : Généralités sur la perlite.....	3
I.1.Introduction.....	4
I.2 Évolution historique :.....	4
I.3 Définition du matériau perlite:.....	4
I.4 Les variations des textures de la perlite	5
I.5. Les diverses applications de la perlite.....	5
I.6.Les méthodes d'extraction et de traitement de la perlite	6
I.6.1. Méthode d'extraction.....	6
I.6.2. Processus de broyage et de criblage.....	6
I.6.3. Processus de traitement.....	7
I.7 Propriétés physiques, chimiques et minéralogiques de la perlite.....	7
I. 8 Les quantités de perlite disponibles en Algérie.....	9
I.9. Emplacement du gisement de perlite à Hammam Boughrara.....	12
I.10 Les étapes de préparation de perlite en poudre	12
I.11.Conclusion	14
Chapitre II : Bilan des recherches menées sur les mortiers à base de perlite	15
II.1 Introduction.....	16
II.2.1. A l'état frais :	16
II.2.1.1. Résultats des essais de consistance :.....	16
II.2.1.2. Résultats des essais de prise :	19
II.2.1.3. Maniabilité des mortiers frais	21
II.2.2 À l'état durci.....	23
II.2.2.1 Détermination de l'indice d'activité pouzzolanique	23
II.2.2.2 Résistance à la compression	24
II.2.2.3 Résistance à la traction	28
II.2.2.4 Essai d'Absorption capillaire.....	29
II.2.2.5 Évaluation de la conductivité thermique des mortiers en conditions atmosphériques.....	31

II.3.Conclusion	34
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisés.....	35
III.1. Introduction	36
III.2.Caractéristiques des matériaux utilisés.....	36
III.2.1 Le ciment.....	36
III.2.1.2.Analyse de la composition chimique et minéralogique.....	37
III.2.2.Perlite.....	38
III.2.2.1 Les caractéristiques chimiques	39
III.2.2.2Les Caractéristiques physiques.....	39
III.2.2.2.1 Masse volumique absolue.....	39
III.2.2.2.2 Finesse	40
III.2.3. Sable	40
III.2.3.1 Analyse granulométrique.....	40
III.2.3.2 Analyse chimique du sable.....	43
III.2.4. Eau de gâchage	43
III.3. Conclusion.....	43
Chapitre VI : Etude des propriétés des mortiers à base de perlite	44
VI.1. PARTIE I : METHODES EXPERIMENTALES	45
VI.1.1. Introduction	45
VI.1.2. Essais sur pâtes normalisées.....	45
VI .1.2.1. Essai de consistance	45
VI .1.2.2. Objectif de l'essai.....	45
VI .1.2.3. Principe d'essai	45
VI .1.2.4. Équipement nécessaire	45
VI .1.2.1.5. Conduite de l'essai.....	46
VI .1.2.2. Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte	47
VI .1.2.2.1. Objectif de l'essai.....	47
VI.1.2.2.2. Principe d'essai	48
VI.1.2.2.3. Equipement nécessaire	48
VI.1.2.2.4. Conduite de l'essai.....	48
VI.1.3. Essais sur mortiers à l'état frais.....	49
VI .1.3.1. Formulations des mortiers.....	49
VI .1.3.2. Maniabilité des mortiers.....	50
VI .1.3.2.1. Conduite de l'essai :	51
VI.1.3.2.2. Confection des mortiers :	52

VI.1.3.4. Confection des éprouvettes	53
VI.1.4. Essais sur mortiers à l'état durci	54
VI.1.4.1. Essais d'absorption capillaire.....	54
VI.1.4.1.1. Principe	54
VI.1.4.1.2. Appareillage	54
VI.1.4.1.3. Mode opératoire	54
VI.1.4.2. Essais de résistances mécaniques.....	55
VI.1.4.2.1. Objectif de l'essai.....	55
VI.1.4.2.2. Équipement nécessaire (norme EN 196-1).....	56
VI.1.4.2.3. Conduite de l'essai	56
VI.1.4.3. Essai thermique	58
VI.1.4.3.1. Essai de conductivité thermique.....	58
VI.1.4.3.2. Méthodes d'essais	60
VI.1.5. Conclusion.....	60
VI.2. PARTIE II : Résultats et discussions	60
VI.2.1. Résultats des essais à l'état frais	60
VI.2.1.1 Introduction.....	60
VI.2.1.2 résultats des essais de consistances	61
VI.2.1.3 Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte	61
VI.2.1.4. Maniabilité	63
VI.2.1.5. Conclusion.....	64
VI.2.2. Résultats des essais à l'état durci	64
VI.2.2.1 Introduction.....	64
VI.2.2.2 Résultats de l'essai d'absorption capillaire	65
VI.2.2.3 Résultats de l'essai de conductivité thermique.....	66
VI.2.2.3 RESULTATS DE L'ESSAI D'ABSORPTION.....	67
VI.2.2.3. La Résistances à la traction par flexion à base de perlite.....	69
VI.2.2.4. La résistance à la compression des mortiers à base de perlite.....	70
VI.3. Conclusion.....	71
CONCLUSION GENERALE	73
Liste des symboles.....	74
Résumé.....	75
Abstract	76
ملخص.....	77
Références bibliographiques	78

Liste Des Figures

Figure I. 1 : Un exemple classique d'une roche de perlite.....	5
Figure I. 2 : Différents degrés de pelletisation.....	8
Figure I. 3 : Le diffractogramme aux rayons X de la perlite naturelle	8
Figure I. 4 : Scories de perlite provenant de Hammam BOGHRARA avant le processus de broyage.10	
Figure I. 5 : Emplacement du gisement de Hammam BOUGHRARA	12
Figure I. 6 : Coupe verticale géologique du gisement de Hammam BOUGHRARA	12
Figure I. 7 : Aspect de la perlite sous forme de roche.....	13
Figure I. 8 : Concassage et broyage.....	13
Figure I. 9 : La poudre de perlite après le broyage et tamisage.....	13
Figure II. 1 : La variation la consistance des pâtes en fonction de dosage de perlite.....	17
Figure II. 2 : Durée de prise de la pâte standard et des pâtes contenant de la perlite.	17
Figure II. 3 : La modification du temps de prise des pâtes en fonction avec la quantité de perlite ajouté	18
Figure II. 4 : Variation d'E/l pour avoir des pâtes à consistance normale.....	19
Figure II. 5 : Evolution des temps de prise des différentes pâtes.	20
Figure II. 6 : Durée de prise des mélanges incorporant de la perlite.....	21
Figure II. 7 : Changements dans l'étalement en relation avec les divers dosages de perlite	22
Figure II. 8 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers	23
Figure II. 9 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers	23
Figure II. 10 : La résistance en compression des mortiers de ciments composés en % de PC ; (a: finesse de 3200 cm ² /g).....	24
Figure II. 11 : La résistance en compression des mortiers de ciments composés, exprimée en pourcentage de PC b : finesse de 3700 cm ² /g.....	24
Figure II. 12 : La résistance en compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux	25
Figure II. 13 : La résistance en compression des différents mortiers dans l'eau saturée en chaux	25
Figure II. 14 : La résistance en compression des différents mortiers	26
Figure II. 15 : Evolution de la résistance à la compression des différents mortiers	27
Figure II. 16 : Evolution les résistances à la compression (MPa).. ..	28
Figure II. 17 : Evolution les résistances à la traction (MPa).	28
Figure II. 18 : Evolution les résistances à la traction (MPa).	29
Figure II. 19 : Changements observés dans les coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers.	30
Figure II. 20 : Changements des coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers	30
Figure II. 21 : Changements des coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers	31
Figure II. 22 : Variation de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre	32
Figure II. 23 : L'évolution de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre	33
Figure II. 24 : Changement de la résistance thermique au cours du temps lorsqu'exposé à l'air libre ..	33
Figure II. 25 : Changement de la conductivité et la résistance thermique en fonction du dosage de la perlite à l'air libre.....	34

Figure III. 1 : Masse volumique absolue du ciment.....	37
Figure III. 2 : Analyse de DRX	38
Figure III. 3 : (a) La perlite naturelle sous forme de roche avant le processus de broyage, (b) La perlite naturelle réduite en poudre après broyage.....	39
Figure III. 4 : Sable de Biskra.....	40
Figure III. 5 : Courbes des résultats de l'analyse granulométrique.....	42
Figure VI . 1 : Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance.....	47
Figure VI . 2 : Mesure la consistance de la pâte de ciment.....	47
Figure VI . 3 : Essai de prise avec appareil de Vicat.	49
Figure VI . 4 : Essai de prise.....	49
Figure VI . 5 : Essai de la Maniabilité.	50
Figure VI . 6 : Procédure de l'essai de maniabilité.	51
Figure VI . 7 : Malaxeur automatique à mortier.	52
Figure VI . 8 : Moule d'éprouvettes prismatiques (40x40x160) mm.....	53
Figure VI . 9 : Eprouvettes dans le récipient en position verticale avec un niveau d'eau constant 3 mm.....	55
Figure VI . 10 : L'essai de résistance à la compression.	56
Figure VI . 11 : L'essai de résistance à la flexion.	57
Figure VI . 12 : Disposition de rupture en compression	58
Figure VI . 13 : Conductivimètre au laboratoire avec le mortier	58
Figure VI . 14 : Variation des rapports E/L en fonction du dosage en perlite.	61
Figure VI . 15 : Temps de prise des pâtes à base de perlite	62
Figure VI . 16 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers	63
Figure VI . 17 : Evolution des coefficients d'absorption capillaire des différents mortiers.	66
Figure VI . 18 : La variation de la conductivité en fonction du dosage de la perlite à 28 jours.....	67
Figure VI . 19 : Evolution d'absorption des différents mortiers.	68
Figure VI . 20 : Evolution des résistances à la traction (MPa).....	69
Figure VI . 21 : Evolution des résistances à la compression (MPa).....	70

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Les variations des textures de la perlite	5
Tableau I. 2 : Les diverses applications de la perlite	6
Tableau I. 3 : Les Propriétés s physiques de la perlite	7
Tableau I. 4 : Les Propriétés thermos physiques.	7
Tableau I. 5 : Composition chimique standard de la perlite brute	7
Tableau I. 6 : Compositions chimiques de perlites typiques trouvées dans le commerce	9
Tableau I. 7 : La composition chimique de base de la perlite de Hammam Boughrara	10
Tableau I. 8 : Les principales sources de perlite à Maghnia	11

Tableau II. 1 : Les essais de consistance, début et fin de prise des pâtes.	16
Tableau II. 2 : Les essais de consistance, début et fin de prise des pâtes.	16
Tableau II. 3 : Formulation de la différente pate et le rapport E/C.	19
Tableau II. 4 : Les temps de début, de fin et de durée de prise des diverses pâtes.	20
Tableau II. 5 : Composition des divers mélanges de mortiers.	21
Tableau II. 6 : Effet de la perlite naturelle sur la plasticité des mortiers avec un rapport E/C de 0,50	22
Tableau II. 7 : Caractéristique des mélanges des différents mortiers.	27
Tableau II. 8 : Coefficients d'absorption capillaire.	30
Tableau II. 9 : Coefficients d'absorption capillaire.	30
Tableau II. 10 : Coefficients d'absorption capillaire.	31
Tableau II. 11 : Conductivité thermique des mortiers A l'air libre.	32
Tableau III. 1 : Propriétés physiques du ciment utilisé dans notre étude.	37
Tableau III. 2 : La composition constituée des éléments chimiques présents dans le ciment(GICA Sour El Ghozlane- Bouira).	37
Tableau III. 3 : La composition constituée des éléments chimiques présents dans clinker (GICA Sour El Ghozlane- Bouira).	38
Tableau III. 4 : Composition chimique élémentaire de la perlite naturelle	39
Tableau III. 5 : La Résultats de l'analyse granulométrique.	41
Tableau III. 6 : Composition chimique du sable de Biskra	43
Tableau VI. 1 : Les opérations du malaxage .	46
Tableau VI. 2 : Formulations des mortiers.	50
Tableau VI. 3 : Classes de consistance selon la durée d'écoulement	51
Tableau VI. 4 : Les opérations du malaxage de mortier	53
Tableau VI. 5 : Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.	61
Tableau VI. 6 : Les temps de début de prise, de fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes	62
Tableau VI. 7 : La maniabilité des mortiers (temps de vibration en seconds)	63
Tableau VI. 8 : Résultats de l'essai d'absorption capillaire	65
Tableau VI. 8 : Coefficients d'absorption capillaire.	65
Tableau VI. 10 : Résultats de l'essai de conductivité thermique.	66
Tableau VI. 11 : Les résultats des caractéristiques thermo physiques.	67
Tableau VI. 12 : Résultats de l'essai d'absorption	68
Tableau VI. 13 : Résistances à la traction par flexion (MPa)	69
Tableau VI. 14 : Résistances à la compression (MPa)	70

Liste des symboles

P0 : Echantillon du mortier témoin

P5 : **Pourcentage** de perlite 5% dans le mortier

P10 : pourcentage de perlite 10% dans le mortier

P15 : pourcentage de perlite 15% dans le mortier

P20 : pourcentage de perlite 20% dans le mortier

P25 : pourcentage de perlite 25% dans le mortier

P30 : pourcentage de perlite 30% dans le mortier

E/C : le rapport l'eau sur le ciment

E/L : le rapport l'eau sur le liant

M0 : Echantillon du mortier témoin

M5 : **Pourcentage** de perlite 5% dans le mortier

M10 : pourcentage de perlite 10% dans le mortier

M15 : pourcentage de perlite 15% dans le mortier

M20 : pourcentage de perlite 20% dans le mortier

M25 : pourcentage de perlite 25% dans le mortier

M30 : pourcentage de perlite 30% dans le mortier

SiO₂ : Dioxyde de Silicium

Al₂O₃ : Aluminium Oxide

FeO₃ : Oxide de Fer

CaO : oxyde de Calcium

MgO : oxyde de Magnésium

K₂O : oxyde de Potassium

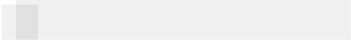
Na₂O : oxyde de Sodium

SO₃ : trioxyde de Soufre

Cl : clore

TiO₂ : dioxyde de titane

PAF : Perte à feu



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les ajouts cimentaires tels que les cendres volantes, le laitier de haut fourneau et les fumées de silice sont de plus en plus utilisés pour améliorer les performances du ciment tout en réduisant son empreinte écologique. Les matériaux écologiques, souvent issus de ressources renouvelables ou recyclés, jouent un rôle crucial dans le développement de solutions de construction durables. Leur utilisation permet non seulement d'améliorer les propriétés mécaniques et thermiques des matériaux de construction, mais aussi de réduire les émissions de CO₂ associées à la production de ciment.

Ce travail se concentre sur l'évaluation de l'efficacité de l'utilisation de la perlite comme additif dans les mélanges de ciment, en mettant l'accent sur ses effets sur la maniabilité, la cohésion, la durabilité mécanique et la conductivité thermique des mortiers cimentaires. L'étude est divisée en quatre chapitres distincts, ayant pour objectif de fournir une analyse approfondie des effets de l'ajout de perlite dans les formulations de mortier, notamment dans le contexte des ressources naturelles disponibles en Algérie. De plus, une attention particulière est accordée à l'intégration des ajouts cimentaires et des matériaux écologiques dans les formulations de mortiers.

Le premier chapitre aborde la perlite en explorant ses propriétés uniques et ses diverses applications industrielles, mettant en lumière les processus d'extraction, de traitement et les réserves en Algérie, y compris le gisement de Hammam Bouhrara à Tlemcen.

Le deuxième chapitre synthétise les études récentes concernant les mortiers à base de perlite, en mettant l'accent sur leur comportement à l'état frais et durci. Les études ont examiné l'impact de différentes proportions de perlite sur la fluidité, le temps de prise, la résistance mécanique, l'absorption capillaire et la conductivité thermique, mettant en évidence les avantages potentiels de cette substance dans les applications de construction.

Le troisième chapitre explore les caractéristiques des matériaux utilisés dans les mélanges cimentaires expérimentaux, y compris le ciment CEM I 42.5 N de l'usine GICA, la perlite de Maghnia, le sable de la carrière de Biskra et l'eau de gâchage. Ces analyses détaillées fournissent une base essentielle pour interpréter les résultats des futures expériences.

Le quatrième chapitre expose les méthodes expérimentales utilisées pour étudier les ciments légers à base de perlite, y compris les tests sur la consistance, les temps de prise, la maniabilité, l'absorption capillaire et les propriétés mécaniques. Ces analyses détaillées

Introduction générale

fournissent une base solide pour évaluer l'impact de la perlite sur les performances des ciments légers.

Enfin, cette étude se termine par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus à partir des expériences.

CHAPITRE I : Généralités sur la perlite

I.1.Introduction

L'industrie du ciment explore activement l'utilisation de déchets industriels et de ressources naturelles comme alternatives économiques pour les liants, face à la pénurie de ciment Portland. En Algérie, les gisements abondants de roches volcaniques, comme la roche volcanique naturelle de Béni Saf utilisée comme substance minérale additionnelle dans les installations locales, revêtent une importance capitale. Dans le Nord-Ouest de l'Algérie, d'autres gisements de roches volcaniques vitreuses, comme la perlite de Hammam Boughrara, sont également exploités.

I.2 Évolution historique :

La perlite a été identifiée pour la première fois comme un type spécifique de verre volcanique dès l'Antiquité, possiblement dès le troisième siècle avant J.-C. [Langford, 1979].

Bien que des descriptions préliminaires du matériau et de ses caractéristiques remontent aux XVIIIe et XIXe siècles selon certains chercheurs, ce n'est qu'entre les années 1940 et 1950 que des études approfondies ont véritablement débuté.

C'est à ce moment-là que l'industrie de la perlite a vraiment décollé, stimulée par sa capacité unique à se dilater rapidement sous l'effet de la chaleur. La perlite est un matériau volcanique aluminosilicate caractérisée par sa structure chimique (70-75% dioxyde de silicium et 12-18% trioxyde de d'aluminium) et sa structure vitreuse. [Meral Ç.2004]. L'analyse de cette roche est essentielle en tant que ressource clé pour son potentiel en tant qu'additif minéral dynamique.

I.3 Définition du matériau perlite :

La perlite est un matériau volcanique à base de silice qui est fragmentée et classée en fonction de sa taille, ressemblant à du sable ou à des granules blancs. C'est un matériau naturel qui demeure stable au fil du temps en raison de son refroidissement rapide, et il renferme de l'eau.

Lorsque l'eau s'évapore, la perlite peut augmenter de volume de quatre à vingt fois. Quand la roche volcanique s'étend, elle produit plusieurs petites poches d'air. Cette particularité poreuse attribue à la perlite des qualités physiques remarquables, notamment une conductivité thermique diminuée et une légèreté notable lorsque la perlite est expansée.

La perlite, appartenant à la catégorie des rhyolites périlleuses, présente généralement une teneur en eau relativement élevée, habituellement de 2 à 6% d'eau combinée chimiquement. Elle se forme principalement par l'hydratation de l'obsidienne. Ce qui la rend particulièrement

distinctive, c'est sa capacité exceptionnelle à subir une expansion significative lorsqu'elle est chauffée entre 850°C et 1100°C, augmentant son volume initial de 7 à 20 fois.



Figure I. 1 : Un exemple classique d'une roche de perlite [Meral Ç. (2004).]

I.4 Les variations des textures de la perlite

Dans quelques dépôts, on peut observer des variations de texture de la perlite conformément aux détails du tableau I.1.

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

La texture cendreuse	Elle se caractérise par une densité extrêmement faible et une couleur variant du gris au beige.
La texture granulaire	Avec une texture saccharoïde et rubanée, ainsi qu'une fracturation en blocs, ses excellentes propriétés physiques facilitent son broyage, son criblage et son transport.
La texture classique	Les nodules d'obsidienne résiduelle peuvent être trouvés sous forme de grains individuels ou de masses de différentes dimensions.

I.5. Les diverses applications de la perlite

Les usages principaux de perlite se distinguent par sa légèreté et son coefficient de conductivité thermique faible, comme spécifié sur le tableau I.2.

Tableau I. 2 : Les diverses applications de la perlite

Domaine de bâtiment	Utilisée pour la fabrication de bétons légers, de panneaux isolants pour les terrasses, les sous-couches de plancher, les revêtements ignifuges, ainsi que dans l'isolation thermique et acoustique.
Domaine de L'horticulture	Lorsqu'elle est mélangée avec de la tourbe ou du sable siliceux, la perlite empêche le dessèchement des tourbes, ce qui facilite leur réhumidification, souvent difficile.
Domaine de la sidérurgie	Ralentit le processus de refroidissement des cubilots, des lingots et des coulées.
Domaine des minéraux de charge	Les peintures utilisent la perlite comme agent anti-agglomérant...

I.6. Les méthodes d'extraction et de traitement de la perlite

I.6.1. Méthode d'extraction

La perlite est principalement extraite par méthode à ciel ouvert, qui est privilégiée pour son efficacité économique. Cette méthode est adaptée à sa texture cendreuse et permet le décapage, bien que l'utilisation d'explosifs puisse être nécessaire si la perlite n'est pas suffisamment friable.

Lorsque de l'argile ou de l'obsidienne sont présentes, leur extraction nécessite une méthode sélective qui demande environ 0.4 thermie par tonne en termes d'énergie dépensée.

I.6.2. Processus de broyage et de criblage

Initialement, le matériau est broyé à moins de 8 mm à l'aide d'un broyeur à mâchoires, ensuite d'une diminution à 1,6 mm avec un broyeur à rotation, ensuite à une taille inférieure à 2,36 mm avec un broyeur à choc.

Le tri des différentes tailles de particules est réalisé à l'aide de cribles vibrants, tandis que les particules les plus fines sont séparées à l'aide d'un classificateur pneumatique. La force nécessaire pour les opérations de déshydratation, réduction et tamisage varie entre 6,3 et 12,6 thermies en m³.

I.6.3. Processus de traitement

Après avoir été réduite en poudre et passée au tamis, la perlite est dilatée dans des étuves, qu'ils soient alignés verticalement ou horizontalement. Le degré optimal est atteint lorsque le verre devient collant et que l'humidité présente dans le matériau s'évapore simultanément.

Un excès d'évaporation de l'eau peut entraîner une surproduction de fines particules expansées, tandis qu'un manque d'eau peut conduire à l'obtention de perlite à densité excessive. Les perlites qui ne s'expansent pas suffisamment sont préchauffées à 450°C pour améliorer leurs caractéristiques.

I.7 Propriétés physiques, chimiques et minéralogiques de la perlite

Les tableaux I.3 et I.4, I.5 exposent respectivement les caractéristiques physiques, thermo physiques et chimiques de la perlite. La figure I.2 illustre les différents stades de perlisation.

Tableau I. 3 : Les Propriétés s physiques de la perlite

Ph	Densité	Densité apparente	Point de ramollissement	Point de fusion	Chaleur spécifique
6.58.0	2.2 /2.4	32 /400 kg/m ³ .	871 /1093°C.	1260 /1343°C	387 J/kg K

Tableau I. 4 : Les Propriétés thermos physiques.

Conductivité thermique à 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 et 50 % en volume.

Tableau I. 5 : Composition chimique standard de la perlite brute [Meral Ç. (2004).]

Désignation	Teneur (%)
SiO ₂	71 à 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

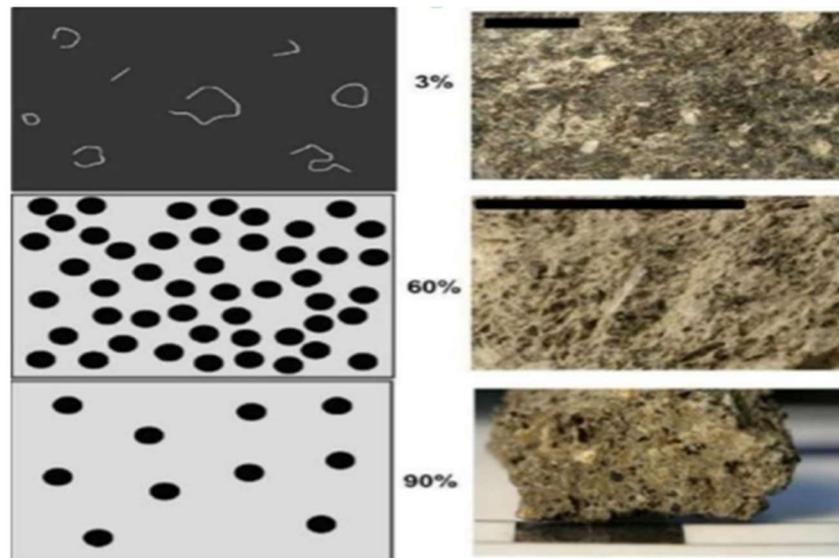


Figure I. 2 : Différents degrés de perlitisation. [FERK, 2012].

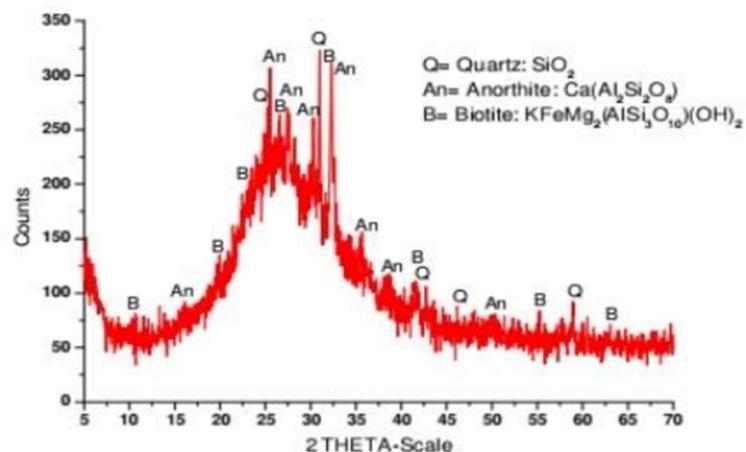


Figure I. 3 : Le diffractogramme aux rayons X de la perlite naturelle. [CHIHAOUI.R.2017]

Ce schéma illustre la composition minéralogique typique de la perlite naturelle, incluant des minéraux typiques des roches volcaniques. Il contient principalement du quartz, de l'anorthite et de la biotite, sans présence de minéraux hydrauliques identifiés. Toutefois, l'augmentation de la ligne de base du diffractogramme indique la possible existence d'une phase amorphe réactive. [CHIHAOUI.R.2017]

Un ensemble d'analyses chimiques effectuées sur des perlites provenant de diverses origines, comme présenté dans le tableau I.6.

Tableau I. 6 : Compositions chimiques de perlites typiques trouvées dans le commerce

[CHIHAOUI.R, 2017]

s	y Pa	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	12.80	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
	Russie	Sibérie	72.80	14.15	0.17	n.d	0.82	-	2.50	4.35	4
	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	4
	Arménie	Aragats	73	12.40	0.70	0.05	0.40	0.10	4.50	4.90	3.50

I. 8 Les quantités de perlite en Algérie

La perlite se trouve dans les formations géologiques volcaniques et sédimentaires au nord-ouest de Tlemcen, près de Hammam Bougherara, dans la région de Maghnia. Les réserves sont situées près des voies de communication et paraissent adéquates pour une exploitation à ciel ouvert. [LSUNMA, 1999].

La première étape consiste à broyer et à classer la roche en fonction de sa granulométrie. Ensuite, EFISOL procède à l'expansion industrielle de la perlite à l'aide de fours spéciaux, qu'ils soient stationnaires ou tournants. À la chaleur, les particules de perlite s'expandent, créant de nombreuses cellules fermées à l'intérieur des grains. La perlite est employée sous forme de poudre filtrée à 80 micromètres dans toutes les expériences. Les informations sur la composition chimique de la perlite réduite en poudre et le spectre DRX sont indiquées dans le tableau, respectivement.



Figure I. 4 : Scories de perlite provenant de Hammam BOGHRARA avant le processus de broyage. [HAMDACHE, 2017]

Tableau I. 7 : La composition chimique de base 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%

Les perlites de Maghnia sont des roches intrusives qui se caractérisent par leur légèreté et leur compacité, composées de matériaux durs. Elles se forment dans les régions de transit des blocs intrusifs acides de rhyolite (liparite), par un processus de refroidissement rapide et de cristallisation en profondeur. [LSUNMA, 1999].

Deux sites situés au nord-est de Maghnia ont été identifiés comme des gisements de perlite. Ils se présentent sous forme de petits corps en forme de lentilles, avec une épaisseur variant de 6 à 29 mètres et une longueur de 150 -300 mètres.

Tableau I. 8 : Les principales sources de perlite à Maghnia [LSUNMA, 1999].

N° de gisement	Réserves ou paramètres estimatifs en tonnes	Conditions techniques et minière	Composition chimique (%) ou propriété physico mécaniques
93	<p>Secteur principale : 142500</p> <p>Secteur Bab : 196000</p> <p>Secteur Roussel : 15000</p>	Favorable (Inexistence de roche de recouvrement)	<p>$SiO_2 = 71.68$</p> <p>$Al_2O_3 = 12.69$</p> <p>$Fe_2O_3 = 1.34$</p> <p>$CaO = 1.08$</p> <p>$MgO = 0.55$</p> <p>$K_2O = 3.91$</p> <p>$Na_2O = 3.62$</p> <p>$Fe_2O_3 = 0.49$</p> <p>$SO_3 = 0.08$</p> <p>$P_2O_5 = 0.05$</p> <p>PF = 3.53 (perte aux feux %)</p>
94	Considérables	Favorable	<p>$SiO_2 = 71.38$</p> <p>$Al_2O_3 = 14.25$</p> <p>$Fe_2O_3 = 2.19$</p> <p>$CaO = 0.7$</p> <p>$MgO = 0.35$ $K_2O = 3.30$</p> <p>$Na_2O = 4.00$</p> <p>$Fe_2O_3 = 1.15$</p>

I.9. Emplacement du gisement de perlite à Hammam Boughrara

La perlite est prélevée du gisement de Hammam Boughrara localisé à Tlemcen, en Algérie. Ce site abrite cette roche volcanique riche en silice. La figure II.6 indique la position géographique de ce gisement.

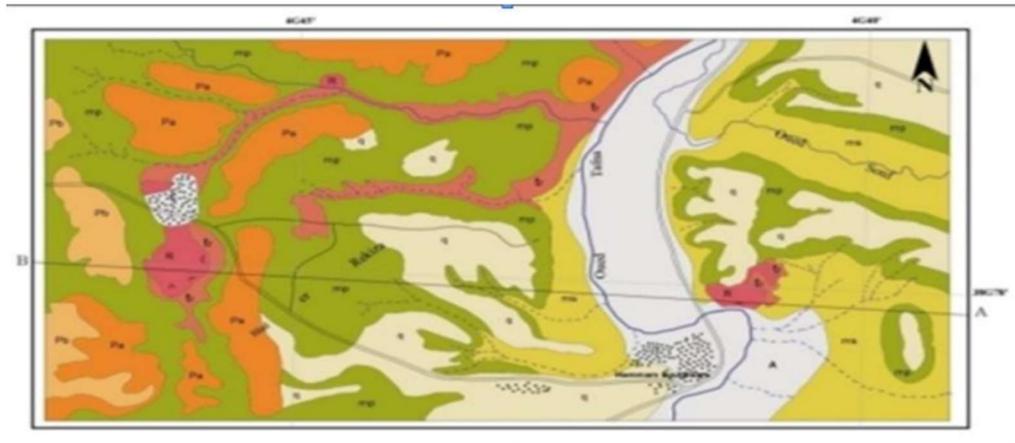


Figure I. 5 : Emplacement du gisement de Hammam BOUGHRARA
[HAMDACHE, 2017]

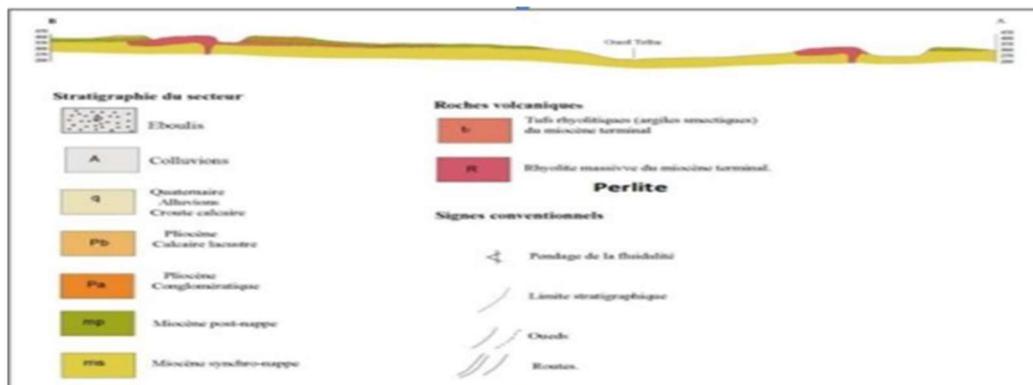


Figure I. 6 : Coupe verticale géologique du gisement de Hammam BOUGHRARA
[HAMDACHE, 2017]

I.10 Les étapes de préparation de perlite en poudre

Après son prélèvement du dépôt sous forme de pierre grise (voir Figure I.7), la perlite est déshydratée dans un four à 80°C pendant 24 heures afin de supprimer toute humidité résiduelle et rendre son broyage plus facile. Ensuite, elle est broyée en fine particules e filtrée à travers un tamis de 80 micromètres. (Voir Figures I.8 et I.9).



Figure I. 7 : Aspect de la perlite sous forme de roche. [OULD MOUSSA. M ,2020]



Figure I. 8 : Concassage et broyage. [OULD MOUSSA. M ,2020]



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

I.11. Conclusion

À la fin de cette section, nous avons examiné la composition et les caractéristiques physiques de la perlite de Hammam Bougherara, ainsi que sa position géographique. En raison de ses caractéristiques, la perlite est fréquemment employée comme matériau isolant thermique et pour augmenter la résistance au feu. De plus, elle peut aider à diminuer la diffusion du son.

Chapitre II : Bilan des recherches menées sur les mortiers à base de perlite

II.1 Introduction

Dans Ce chapitre offre un résumé des études effectuées sur les mélanges de mortier intégrant de la perlite. Les conclusions discutées portent sur les propriétés des mortiers à l'état frais, telles que leur maniabilité et leur consistance. Il examine également comment ces mélanges se comportent en termes de propriétés mécaniques, d'absorption capillaire et de conductivité thermique, en fonction des divers taux d'incorporation de perlite naturelle.

II.2. Les études sur les mortiers à base de perlite

II.2.1. A l'état frais :

II.2.1.1. Résultats des essais de consistance :

Sur la base des recherches menées par [HAMDACHE,2017] et [NOUMIA-NIATI,2022], qui portent sur la résistance aux contraintes mécaniques, la conductivité thermique et la résistance à la corrosion des mortiers à base de pouzzolane intégrant de la perlite, L'étude a présenté des conclusions sur la fluidité lors de l'état frais. Il a été constaté que la fluidité est typique pour la pâte de ciment CEM I (tableau II.1, tableau II.2, figure II.1, figure II.2). De plus, l'ajout de perlite augmente la consistance des pâtes de ciment.

Tableau II. 1 : Les essais de consistance, début et fin de prise des pâtes [HAMDACHE, 2017]

	P10	P20	P30
Temps début de prise	166	158	135
Temps fin de prise	335	320	318
Temps de prise	169	162	183
Consistance E/I (%)	28	30	32

Tableau II. 2 : Les essais de consistance, début et fin de prise des pâtes. [NOUMIA.NIATI, 2022]

	P 0	P 15	P 25
Temps début de prise	192	169	133
Temps fin de prise	344	300	305
Temps de prise	152	131	172

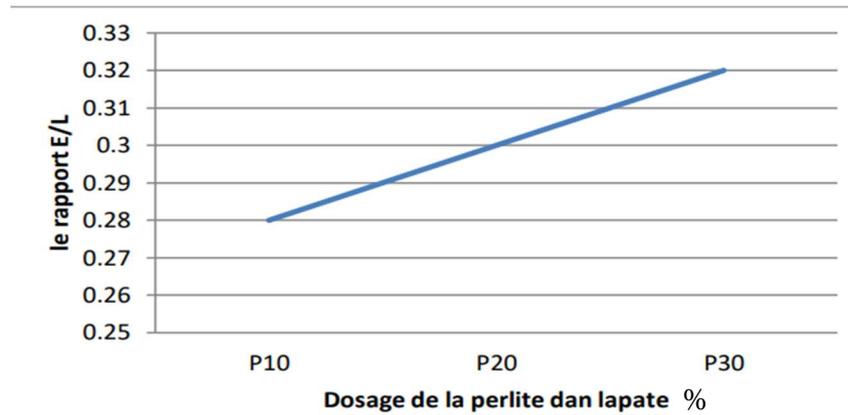


Figure II. 1 : La variation de la consistance des pâtes en fonction de dosage de perlite. [HAMDACHE, 2017]

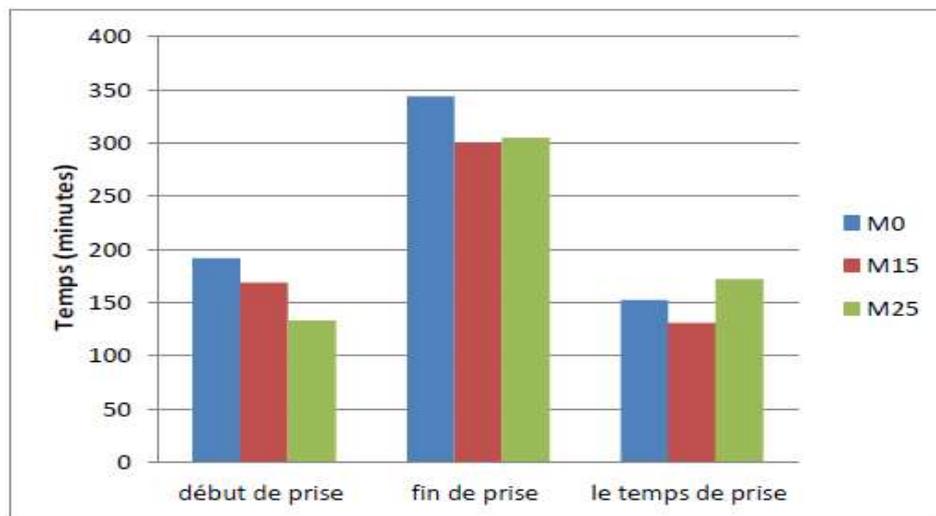


Figure II. 2 : Durée de prise de la pâte standard et des pâtes contenant de la perlite. [NOUMIA-NIATI, 2022]

La figure II.2 montre une relation inverse entre le temps de prise et la concentration d'additif dans les diverses formulations de pâtes de ciment. À mesure que le pourcentage d'additif pouzzolanique augmente, le temps de prise diminue.

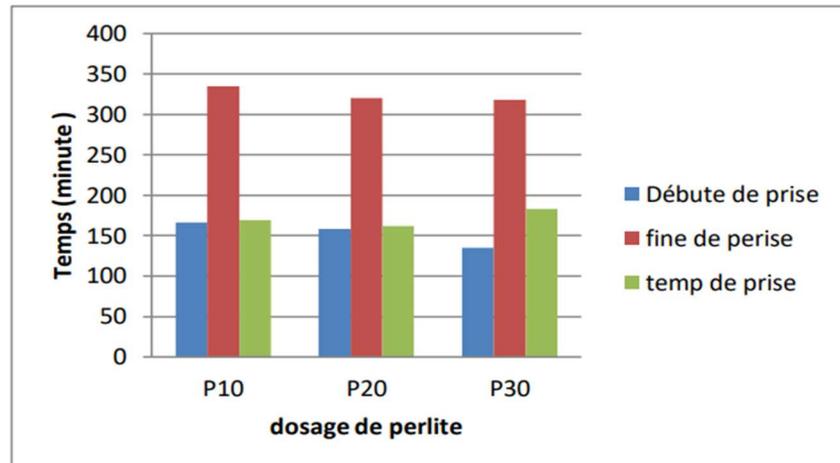


Figure II. 3 : La modification du temps de prise des pâtes en fonction avec la quantité de perlite ajoutée. [HAMDACHE.2017]

Deux variétés de perlite naturelle issues de différentes régions de la Turquie, Izmir et Erzincan, ont été étudiées au cours des tests. Diverses formulations de ciment ont été développées en substituant le ciment par des proportions variables de perlite (20 % et 30 % en poids de ciment). [ERDEM et al, 2007].

L'intégration de perlite dans les mélanges de ciment allonge les temps de prise, vraisemblablement en raison de la réduction de la concentration de ciment. Les ciments obtenus par broyage simultané avec le clinker présentent une meilleure finesse et des temps de prise prolongés par rapport à ceux obtenus par broyage séparé. L'analyse de la durabilité des matériaux cimentaires exposés à des agressions chimiques conclut cette étude (voir Tableau II.2). [CHIHAOUI.R, 2017] a observé que les pâtes contenant de la poudre de perlite naturelle nécessitaient davantage d'eau que celles constituées uniquement de ciment.

À mesure que la quantité de perlite augmente, les exigences en eau pour obtenir une consistance normale augmentent également comme indiqué dans la figure II.4. Cette observation pourrait être attribuée à l'augmentation de la surface spécifique de la poudre de perlite, ce qui entraîne une augmentation de la quantité d'eau requise lors de la préparation de la pâte. D'autres études ont observé des conclusions analogues en utilisant la perlite naturelle ou la pouzzolane naturelle comme ajout pouzzolanique dans la fabrication de ciments composites. [ERDEM et al.2007].

Tableau II. 3 : Formulation de la différente pate et le rapport E/C [CHIHAOUI.R,2017]

	Ciment (g)	Perlite naturelle (g)	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

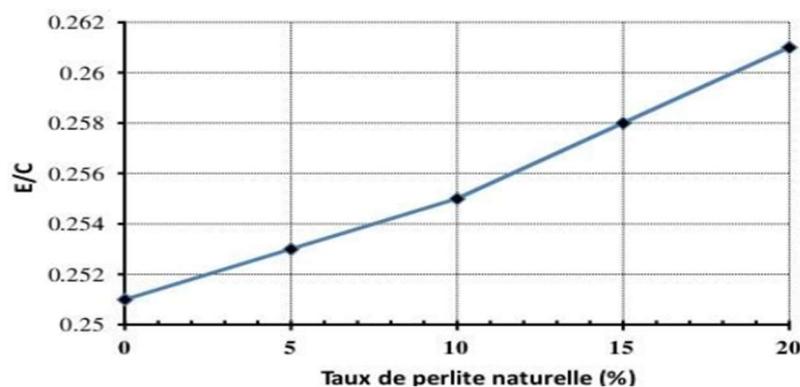


Figure II. 4 : Variation d'E/l pour avoir des pâtes à consistance normale [CHIHAOUI.R, 2017]

II.2.1.2. Résultats des essais de prise :

Les données de la figure II.4 indiquent que l'introduction de perlite naturelle accélère les temps de prise (début et fin). La perlite naturelle examinée dans cette étude affiche une concentration élevée en Al_2O_3 (13,68 %), son ajout au ciment augmente la proportion des composés alumineux dans le mélange. Selon [CHIHAOUI. R, 2017], Lorsque la quantité de C_3A dans le ciment passe de 3 % à 11 %, le temps nécessaire pour la prise est réduit de moitié. De plus, L'amélioration de la prise dans les mélanges incluant de la perlite naturelle peut être expliquée par une augmentation de la formation des hydrates de sulfate de calcium (tricalcique et monosulfate aluminé).

Selon [Erdem et al.2007], l'incorporation de perlite naturelle dans le ciment prolonge les temps de prise en raison de la réduction de la concentration de ciment. Les études montrent également que l'augmentation de la finesse de la perlite accentue cette tendance en prolongeant davantage les temps de prise du matériau cimentaire.

En comparant les niveaux de Al_2O_3 dans la perlite naturelle de Maghnia avec ceux observés dans les perlites provenant de deux régions distinctes de Turquie (Izmir et Erzincan) comme examiné par [Erdem et al.2007], une différence significative est notée. Les perlites turques, moins riches en Al_2O_3 , génèrent moins d'hydrates de sulfate de calcium, ce qui prolonge les temps de prise. En revanche, la perlite de Maghnia, avec une concentration élevée en Al_2O_3 , accélère les temps de prise, comme constaté par [CHIHAOUI.R, 2017].

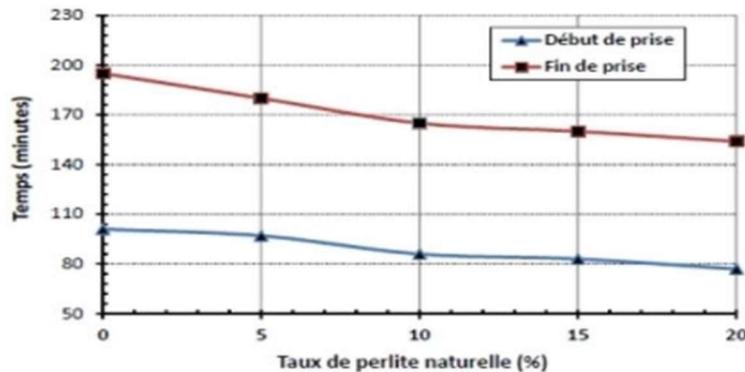


Figure II. 5 : Evolution des temps de prise des différentes pâtes. [CHIHAOUI. R,2017]

Tableau II. 4 : Les temps de début, de fin et de durée de prise des diverses pâtes [BOURROUBEY, 2019].

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

Selon l'étude de [BOURROUBEY, 2019], Substituer 10 % et 20 % du ciment par de la perlite implique d'ajouter davantage d'eau pour atteindre la consistance normale du mélange liant, attribuable à sa grande surface spécifique. En ce qui concerne les temps de prise, l'impact de la perlite est mineur, avec une différence de seulement 14 minutes entre la pâte de référence et celle contenant 20 % de perlite. Les temps de prise sont comparables pour les mélanges à 10 % et 20 % de perlite.

Cependant, les temps de début et de fin de prise diminuent légèrement avec l'augmentation des proportions d'ajouts, bénéfique pour le coulage par temps froid. Ainsi, même avec une perlite jusqu'à 20 %, les temps de prise des mortiers restent peu affectés, comme indiqué par [BOURROUBEY, 2019].

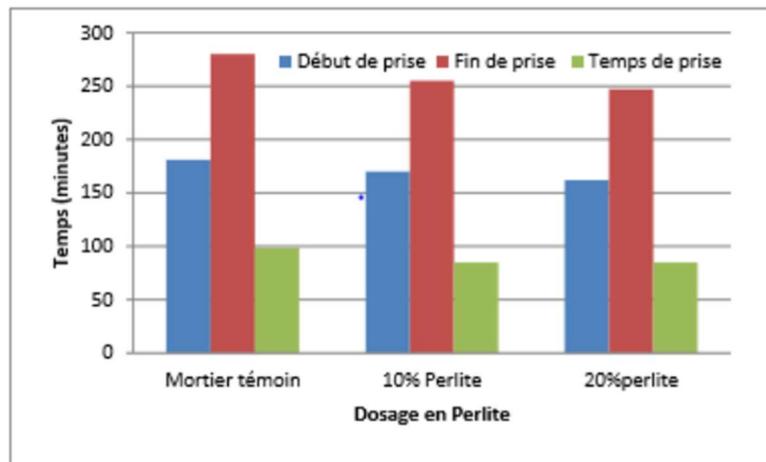


Figure II. 6 : Durée de prise des mélanges incorporant de la perlite. [BOURROUBEY, 2019].

II.2.1.3. Maniabilité des mortiers frais

L'étude menée par [BOURROUBEY, 2019] porte sur l'analyse de diverses compositions de mortiers, comme présenté dans le tableau II.4.

Tableau II. 5 : Composition des divers mélanges de mortiers. [BOURROUBEY .2019].

	Liant (g)	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 [CHIHAOUI.R, 2017], les essais d'étalement (voir tableau II.4) indiquent que pour atteindre un étalement de $\pm 5\%$ par rapport aux mortiers de ciment sans perlite, la nécessité d'ajuster la quantité d'eau augmente proportionnellement à la substitution du ciment par de la perlite naturelle, Cela est dû à l'augmentation de la surface spécifique des liants contenant de la perlite.

En outre, [HAMDACHE.2017] a examiné la perlite en utilisant des proportions différentes de celles étudiées par [CHIHAOUI.R.2017]. Les compositions des mélanges sont détaillées dans le tableau II.5.

Tableau II. 6 : Effet de la perlite naturelle sur la plasticité des mortiers avec un rapport E/C de 0,50 [HAMDACHE,2017].

Désignation de mortier	Perlite (%)	E/C	Étalement (mm)	Étalement (%)
M0	0	0,5	120	20
M10	10	0,5	116	16
M20	20	0,5	112	12
M30	30	0,5	106	06

Les mortiers avec uniquement du ciment Portland sont plus maniables comparés à ceux contenant de la perlite, dont la maniabilité diminue avec un taux croissant de substitution de ciment. La figure II.6 montre cette tendance. L'incorporation de perlite entraîne une augmentation significative de la demande en eau, due à l'augmentation de la surface spécifique des liants pouzzolanique nécessitant une hydratation plus intensive.

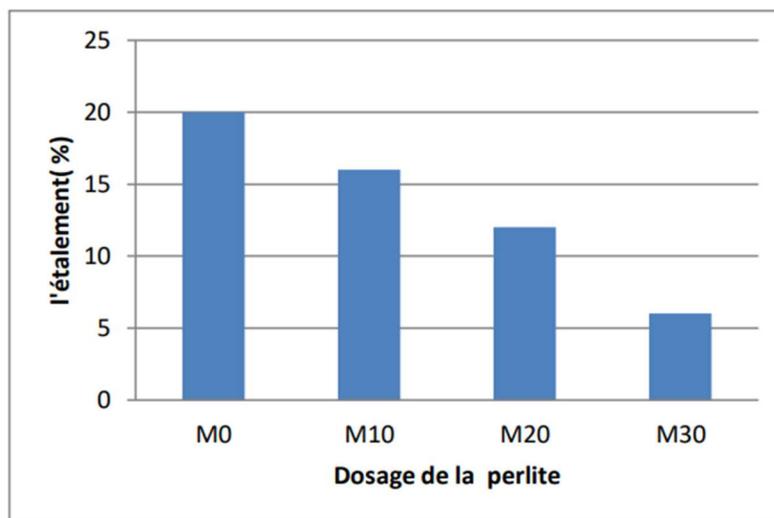


Figure II. 7 : Changements dans l'étalement en relation avec les divers dosages de perlite [HAMDACHE, 2017]

[BOURROUBEY, 2019] et [MAAMAR BENHADJAR et al] ont étudié les mortiers à base de perlite avec divers dosages (10%, 15%, 20% et 25%). Les résultats de leurs recherches sont illustrés dans la figure II.7 et la figure II.8. La plasticité des mortiers diminue à mesure que le pourcentage de substitution du ciment par la perlite augmente. Pour maintenir une plasticité constante, il a été nécessaire d'augmenter la quantité d'adjuvant utilisée pour faciliter le mélange et la manipulation.

D'après les résultats obtenus par [HAMDACHE. 2017], [BOURROUBEY, 2019]et [MAAMAR BENHADJAR et al] la maniabilité diminue.

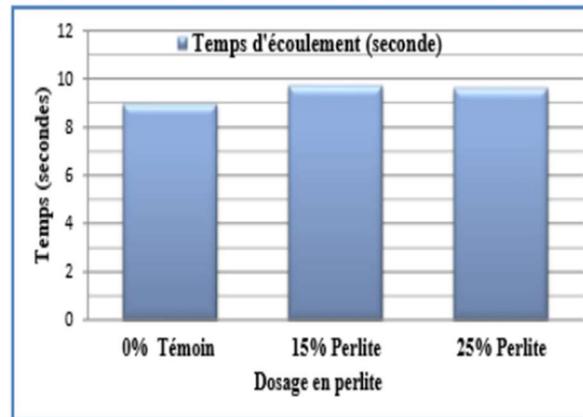


Figure II. 8 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers [MAAMAR BENHADJAR et al]

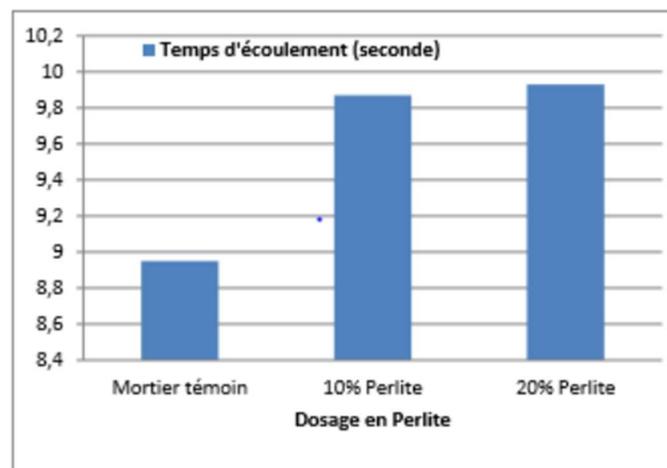


Figure II. 9 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers [BOURROUBEY, 2019].

II.2.2 À l'état durci

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

Selon les conclusions de [BOURROUBEY, 2019], la perlite a été évaluée pour son indice d'activité pouzzolanique conformément à la norme ASTM C125-07. L'indice d'activité (IP) mesuré était de 0,82, dépassant le seuil requis de 0,67. Ainsi, la perlite est reconnue comme étant pouzzolanique.

II.2.2.2 Resistance à la compression

Des recherches par [ERDEM et al. 2007] ont analysé deux types de perlites naturelles de Turquie (Izmir et Erzincan). Ils ont produit des ciments avec des finesses Blaine de 3200 cm^2/g et 3700 cm^2/g , en remplaçant 20% et 30% du ciment par de la perlite. Les résultats montrent que les ciments composés ont des résistances initiales plus faibles que les ciments Portland, mais les écarts diminuent avec le temps grâce aux réactions pouzzolaniques de la perlite. Comparant des mortiers de même finesse, ils ont trouvé que 20% de perlite mène à des résistances plus élevées que 30%. Les résistances plus faibles avec 30% de perlite s'expliquent par une teneur réduite en ciment Portland et une plus grande quantité d'eau nécessaire pour le mélange, surtout aux premiers stades où les réactions pouzzolaniques sont limitées.

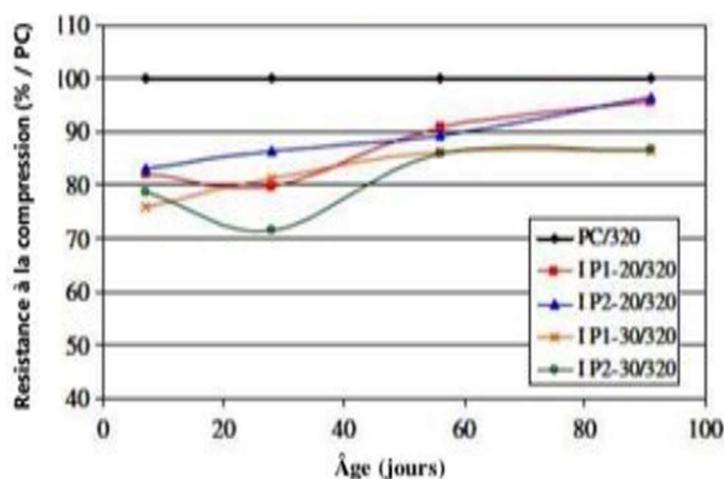


Figure II. 10 : La résistance en compression des mortiers de ciments composés en % de PC ;
(a: finesse de 3200 cm^2/g)[ERDEM et al.2007].

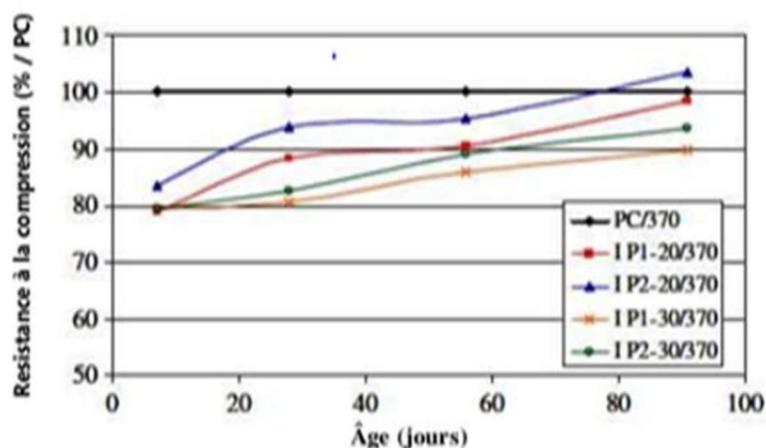


Figure II. 11 : La résistance en compression des mortiers de ciments composés, exprimée en pourcentage de PC b : finesse de 3700 cm^2/g . [ERDEM et al.2007].

Les recherches menées par [HAMDACHE, 2017] ont révélé une augmentation rapide des résistances initiales jusqu'à 28 jours, suivie d'une progression légère à plus long terme pour tous les mortiers.

Généralement, les résistances à la compression tendent à baisser à mesure que le pourcentage d'ajouts pouzzolanique augmente. Cependant, il est remarqué que la résistance à la compression de tous les mortiers augmente progressivement avec le temps, sans présenter de déclin. Les résultats des tests de résistance à la compression sont représentés dans la figure II.11.

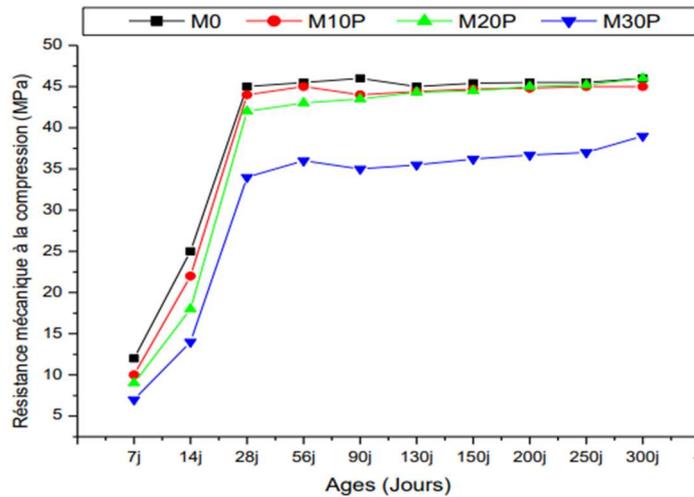


Figure II. 12 : La résistance en compression des différents mortiers dans l’eau saturée en chaux [HAMDACHE, 2017]

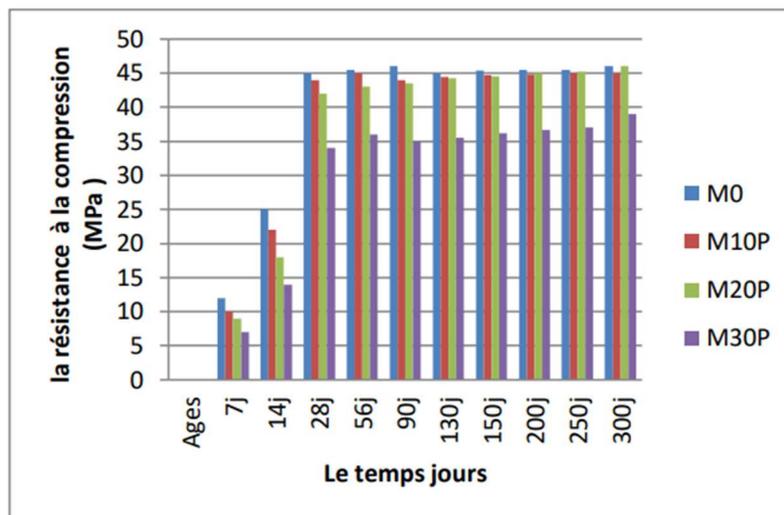


Figure II. 13 : La résistance en compression des différents mortiers dans l’eau saturée en chaux [HAMDACHE, 2017]

L'étude de [GUENAUNAU ,2014] examine l'effet de substituer la perlite de Maghnia à des taux de 10%, 15%, et 20% sur la résistance à la compression des mortiers à différents âges.

Les résultats indiquent que pour des périodes inférieures à 90 jours, les résistances diminuent lorsque le taux de substitution augmente. Cependant, au-delà de cette période, les résistances augmentent, notamment pour un taux de 20%, dépassant celles du mortier standard à 180 et 280 jours. Cette amélioration est due à l'activité pouzzolanique de la perlite, favorisée par la fixation de la pentlandite. Ainsi, la perlite de Maghnia semble bénéficier des performances à long terme des mortiers.

Lorsque le ciment commence à hydrater, la perlite libère des composés qui stimulent la formation accrue de silicates de calcium hydratés (C-S-H). Ceci contribue à renforcer la résistance du matériau.

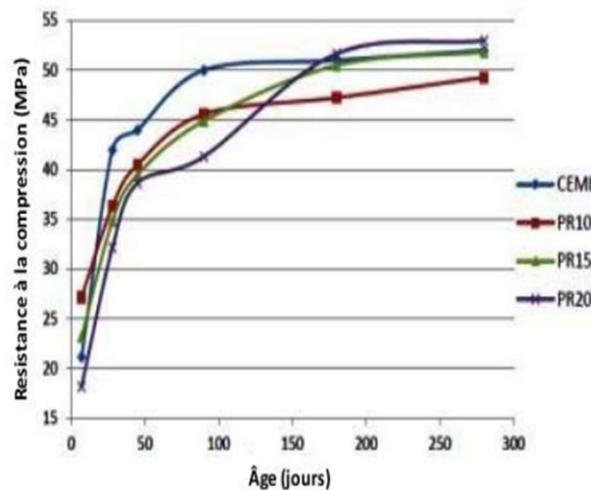


Figure II. 14 : La résistance en compression des différents mortiers. [GUENAUNAU .2014]

L'étude menée par [CHIHAOUI, 2017] examine comment l'ajout de perlite naturelle influence la résistance à la compression des mortiers à divers intervalles de temps : (1 jour, 7 jours, 28 jours et 90 jours).

Initialement, les mortiers avec perlite montraient des résistances équivalentes ou légèrement inférieures au mortier standard après un jour.

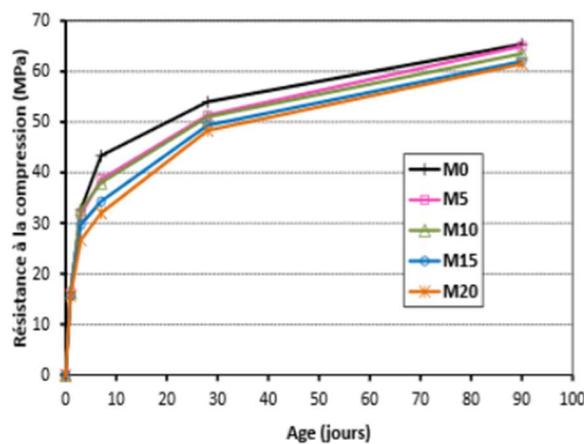
À sept jours, les résistances des mortiers M5, M10, M15 et M20 étaient respectivement inférieures de 4,66 MPa, 5,33 MPa, 9 MPa et 11,33 MPa à celle du mortier de référence.

Après 28 jours, les résistances des mortiers contenant de la perlite ont montré une augmentation plus rapide, se rapprochant progressivement de celles du mortier standard.

À 90 jours, les différences de résistance étaient de 0,37 MPa, 1,87 MPa, 3,37 MPa et 3,87 MPa respectivement pour M5, M10, M15 et M20 par rapport au mortier de référence. Cette étude utilise les mélanges expérimentaux détaillés dans le tableau II.7.

Tableau II. 7 : Caractéristique des mélanges des différents mortiers [CHIHAOUI, 2017]

Code	Ciment (g)	Perlite naturelle (g)	Sable (g)
M0	491,1	0,00	1350,00
M5	466,45	24,55	1350,00
M10	441,90	49,10	1350,00
M15	417,35	73,65	1350,00
M20	392,80	98,20	1350,00

**Figure II. 15** : Evolution de la résistance à la compression des différents mortiers [CHIHAOUI, 2017]

Selon les données de la figure II.15 [10], les résistances à la compression des mortiers avec différents niveaux de substitution de perlite sont initialement plus faibles que celles du mortier de référence à un stade très précoce (3 jours), deviennent comparables à 7 jours, puis dépassent celles du mortier de référence à des périodes plus avancées (14, 28 et 60 jours). [CHIHAOUI.R.2017] et [GUENAUNAU .2014]et D'autres études ont également observé que la résistance à la compression est inférieure à celle du mortier de référence à 3 et 7 jours. Cependant, après cette période, ces résistances deviennent similaires et surpassent celles du mortier de référence sur le long terme (14, 28 et 60 jours).

Cependant, [CHIHAOUI, 2017] mentionne que après 90 jours, les résistances à la compression sont plus faibles que celles du mortier de référence.

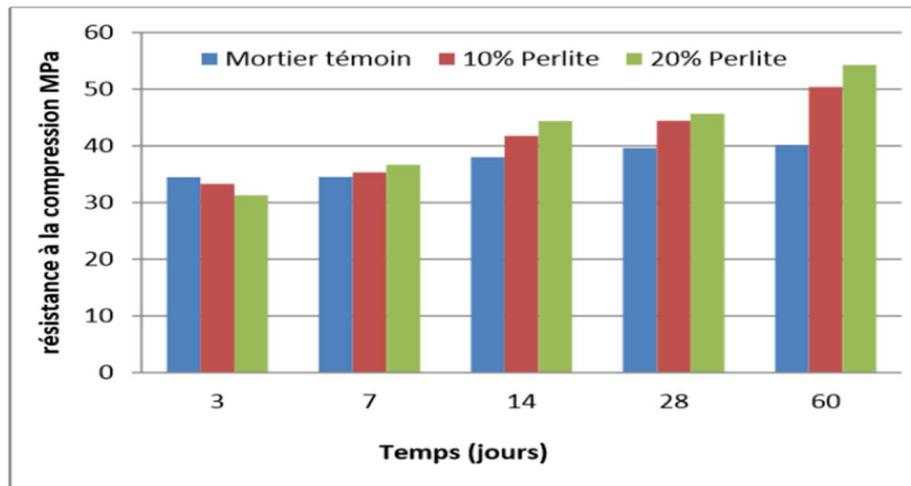


Figure II. 16 : Evolution les résistances à la compression (MPa). [BOURROUBEY, 2019].

II.2.2.3 Resistance à la traction

L'analyse de la figure II.17 a révélé les observations suivantes : [HAMDACHE, 2017] a observé une augmentation de la résistance à la flexion à 3 et 7 jours avec l'accroissement du pourcentage de perlite. Toutefois, à 28 jours, cette augmentation ralentit, à l'exception d'une baisse de résistance pour les mortiers contenant 30% de perlite.

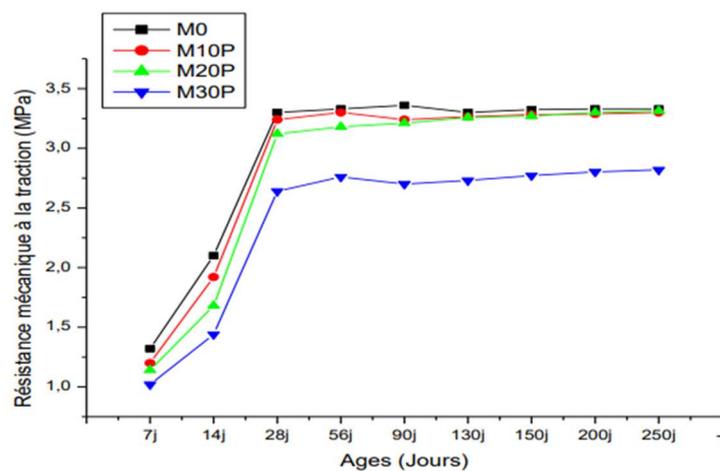


Figure II. 17 : Evolution les résistances à la traction (MPa) [BOURROUBEY .2019].

Selon les études menées par [[BOURROUBEY, 2019], qui se concentrent sur l'impact de la perlite naturelle sur les propriétés mécaniques des mortiers :

- On observe une augmentation de la résistance à la flexion avec l'élévation du taux de perlite, constatée aux jours 3j, 7j, 14j et 60j.

- À 28 jours, les mortiers incorporant dix pour cent de perlite présentent des résistances plus élevées que les autres mélanges de mortier.
- À long terme, les mortiers contenant **Vingt pour cent** de perlite montrent une résistance supérieure à celle des mortiers avec **Dix pour cent** de perlite ainsi qu'au mortier de référence.

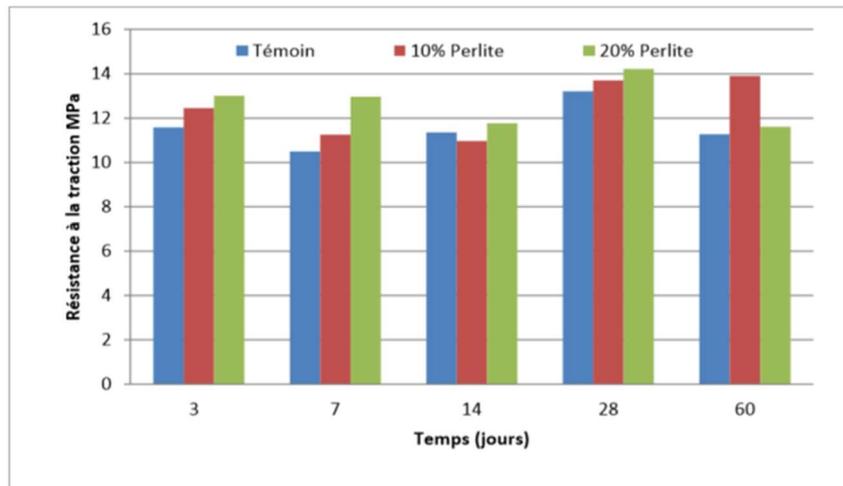


Figure II. 18 : Evolution les résistances à la traction (MPa). [BOURROUBEY, 2019].

II.2.2.4 Essai d’Absorption capillaire

Les études menées par [BOURROUBEY, 2019] et [MAAMAR BENHADJAR et Al]et [NOUMIA-NIATI, 2022] ont constaté que le mortier de référence absorbe légèrement plus d'eau que les autres mélanges après une journée d'essai.

Après 7 j d'essai, tous les mélanges de mortier continuent de présenter une capacité d'absorption d'eau, mais ceux contenant **Vingt pour cent** et **Vingt-cinq pour cent** de perlite se distinguent particulièrement. Cette constatation peut être attribuée au fait que la perlite remplit les vides dans la pâte durcie ainsi que les interfaces entre celle-ci et les grains de sable., réduisant ainsi les pores capillaires.

Les résultats montrent que l'ajout de perlite naturelle, surtout avec le ciment CPJ, diminue notablement l'absorption d'eau des mortiers à des taux de substitution de 10% à 25% aux jours 1 et 7. La perlite remplit les pores de la pâte durcie et les interfaces avec les agrégats, réduisant ainsi les pores capillaires.

Tableau II. 8 : 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

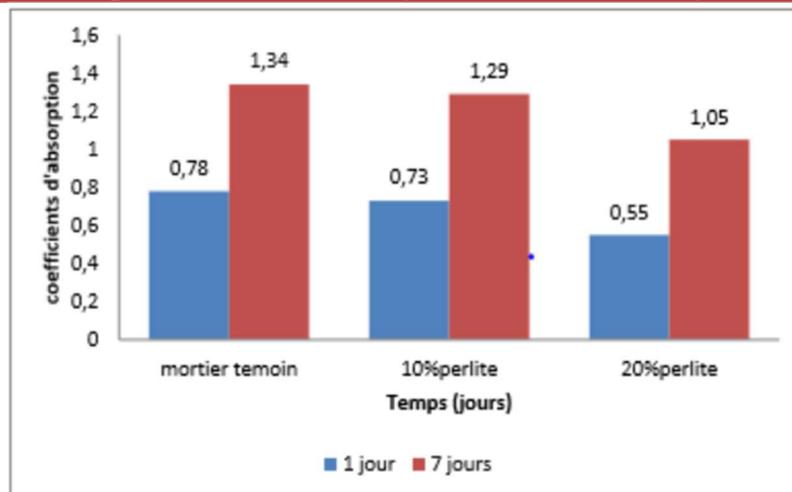


Figure II. 19 : Changements observés dans les coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers. [BOURROUBEY, 2019]

Tableau II. 9 : Coefficients d'absorption capillaire. [MAAMAR BENHADJAR et AL]

Les différents mortiers	Adsorption capillaire (g/ cm ²)	
	1 jour	7 jour
Mortier témoin	0.78	1.34
15% la perlite	0.50	1.04
25% la perlite	0.30	0.69

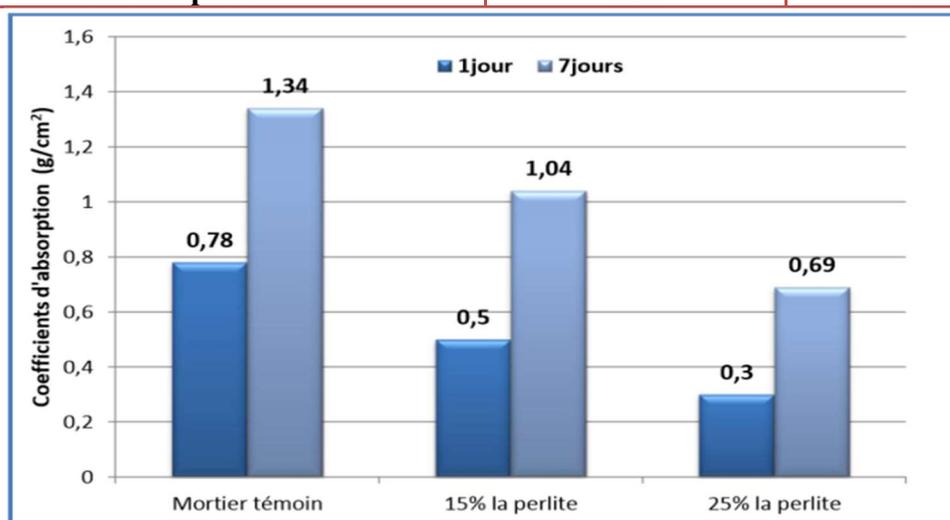


Figure II. 20 : Changements des coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers [MAAMAR BENHADJAR et al]

Tableau II. 10 : Coefficients d'absorption capillaire [NOUMIA-NIATI, 2022]

Les différents mortiers	Adsorption capillaire (g/ cm ²)	
	1 jour	7 jours
Mortier témoin	0,81	1,05
15% la perlite	0,54	0,79
25% la perlite	0,46	0,70

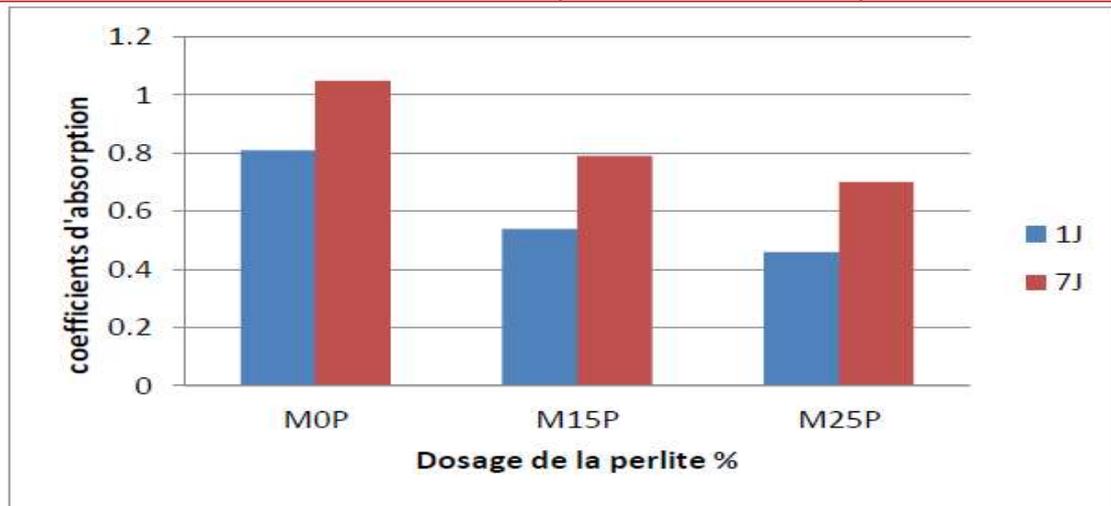


Figure II. 21 : Changements des coefficients d'absorption capillaire des divers mortiers [NOUMIA-NIATI.2022]

II.2.2.5 Évaluation de la conductivité thermique des mortiers en conditions atmosphériques

Le tableau II.9 présente les variations de la conductivité thermique du mortier de référence et de divers mélanges contenant (10 et 20 et 30) % de perlite, stockés à l'air libre au fil du temps.

D'après les conclusions de [HAMDACHE, 2017], la conductivité thermique varie en fonction du pourcentage d'additif pendant la période allant de 3 à 14 jours. Après 14 jours, la conductivité thermique diminue pour un même taux d'ajouts, indiquant ainsi une isolation thermique efficace à long terme.

Tableau II. 11 : Conductivité thermique des mortiers à l'air libre. [HAMDACHE, 2017]

Ages (j)	M0 (%)	M10(%)	M20 (%)	M30 (%)
3	1,7	1,7	1,38	1,55
7	1,9	1,86	1,6	1,76
14	1,95	1,9	1,64	1,82
28	1,9	1,86	1,54	1,7
56	1,62	1,55	1,4	1,44
90	1,6	1,52	1,35	1,42
120	1,57	1,5	1,3	1,41
150	1,55	1,47	1,25	1,4
200	1,52	1,45	1,23	1,4
250	1,5	1,44	1,22	1,38
300	1,5	1,43	1,2	1,37

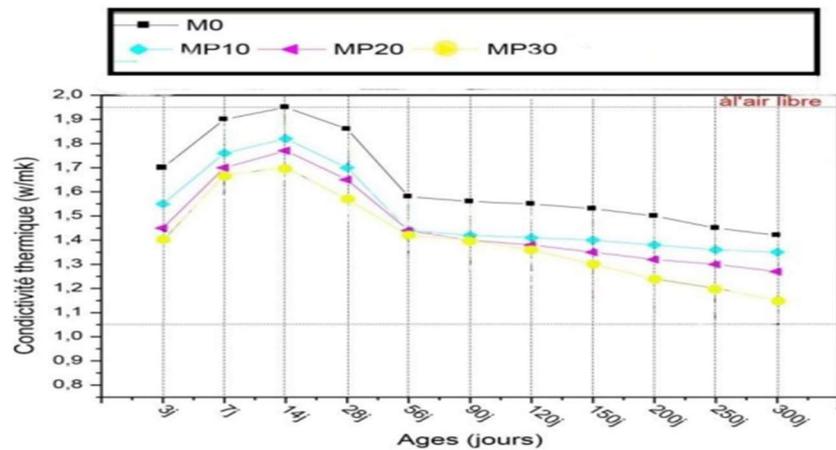


Figure II. 22 : Variation de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre [HAMDACHE, 2017]

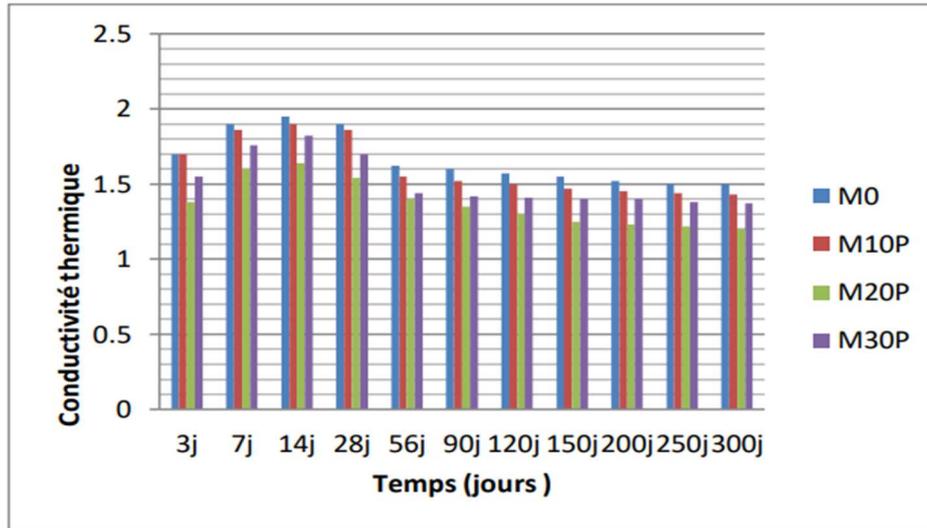


Figure II. 23 : l'évolution de la conductivité thermique en fonction du temps des mortiers à l'air libre. [HAMDACHE, 2017]

[HAMDACHE, 2017] a constaté qu'une augmentation de la résistance thermique R_{th} d'une paroi améliore les propriétés isolantes du matériau. Il a souligné que cette amélioration notable de l'isolation thermique est principalement attribuée à la forte résistance thermique des éprouvettes exposés à l'air.

La figure II.21 présente les courbes avec la variation semblable à celle de la figure II.22. Cependant, le classement des différents mortiers contenant de la perlite exposée à l'air est le suivant : M0, M10P, M30P, M20P.

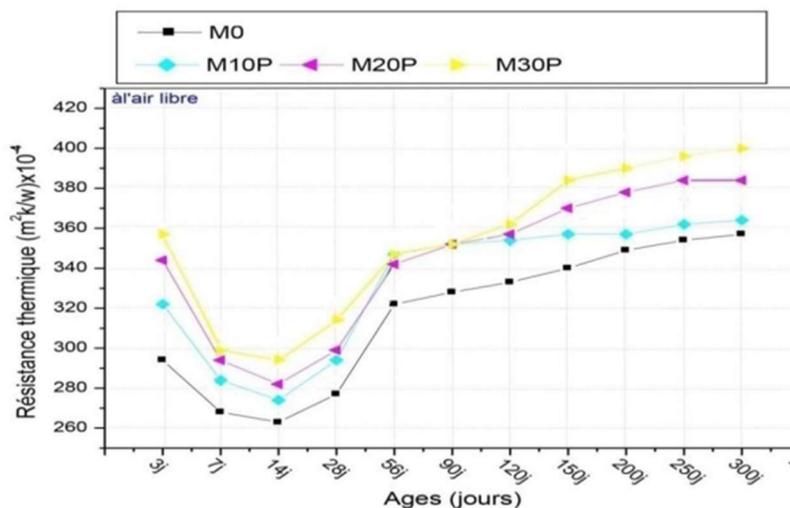


Figure II. 24 : Changement de la résistance thermique au cours du temps lorsqu'exposé à l'air libre. [HAMDACHE, 2017].

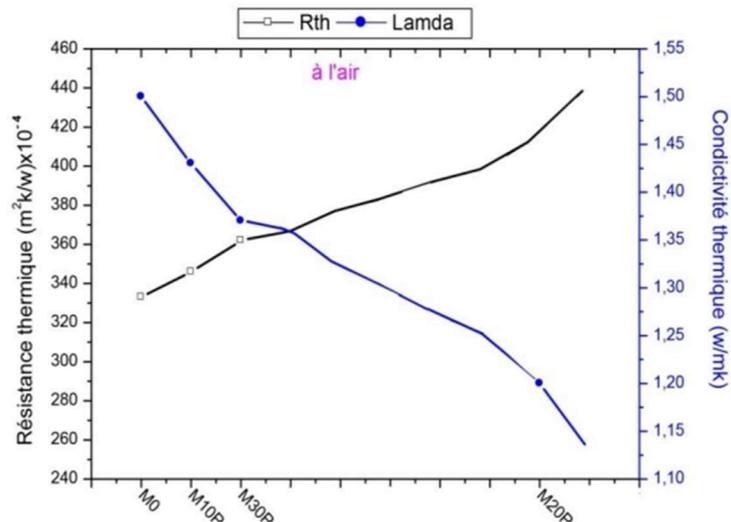


Figure II. 25 : Changement de la conductivité et la résistance thermique en fonction du dosage de la perlite à l'air libre. [HAMDACHE, 2017]

II.3. Conclusion

Cette section examine les diverses recherches effectuées sur les mortiers contenant de la perlite de Maghnia, tant dans leur état frais que durci.

Pendant la phase de frais, les essais ont été mis en place pour évaluer la consistance à l'aide de l'expérience d'élanement. L'incorporation de perlite a conduit à une augmentation des besoins en eau. Les essais de prise des différents mélanges ont démontré que l'ajout d'additifs, notamment la perlite, a accéléré le processus de durcissement.

Pendant la phase de durcissement, les recherches ont déterminé que substituer 20% du ciment par de la perlite est le dosage le plus efficace. Cette adaptation est essentielle pour renforcer à la fois la résistance et la capacité d'absorption capillaire du matériau.

Les études ont montré que la perlite est un additif efficace doté de propriétés d'isolation thermique exceptionnelles.

L'ajout de perlite naturelle au ciment entraîne une amélioration durable de la résistance mécanique du mortier. Cette amélioration est due à l'activation de l'effet pouzzolanique de la perlite, observé entre (7j et 28j) de durcissement. [HAMDACHE . 2017], [FERK, 2012].

CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux utilisés

III.3. Introduction

L'intégration de minéraux comme la perlite améliore la résistance et la durabilité des matériaux cimentaires. Ces additifs modifient la rhéologie des matériaux frais, impactant directement le retrait et la durabilité après durcissement. Cette technique est cruciale pour optimiser les performances des matériaux cimentaires sur divers aspects.

Notre recherche explore l'usage potentiel de la perlite de Maghnia comme alternative partielle au ciment, en comparant son impact sur divers mortiers. L'objectif est d'analyser l'impact de l'incorporation de cet additif minéral sur les propriétés des matériaux.

Des méthodes opérationnelles et les techniques de caractérisation des composants mentionnées dans ce chapitre suivent les normes établies. Ce chapitre détaille aussi les matériaux employés dans l'étude, ainsi que les procédures utilisées pour caractériser les poudres (ciments, sable normalisé, perlite).

1. Les essais ont été effectués sur des mélanges comprenant six formulations différentes.
2. Un mortier de contrôle composé intégralement de ciment
3. Un mortier contenant 5 % de perlite en remplacement partiel du ciment.
4. Un mortier contenant 10 % de perlite en remplacement partiel du ciment.
5. Un mortier contenant 15 % de perlite en remplacement partiel du ciment
6. Un mortier contenant 20 % de perlite en remplacement partiel du ciment
7. Un mortier contenant 25% de perlite en remplacement partiel du ciment

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

L'étude des propriétés des matériaux de construction dépend de la compréhension de la composition des éléments qui le constituent. De plus, pour déterminer les proportions idéales et interpréter correctement les résultats, il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des différents composants.

III.2.1 Le ciment

Le type de ciment utilisé dans la fabrication de nos mortiers est le CEM I 42.5 N, fourni par l'usine GICA localisée à Sour El Ghozlane, Bouira.

III.2.1.1. Propriétés physiques :

- La masse volumique absolue

La masse volumique absolue du ciment a été déterminée selon la norme NF P 18-555 à l'aide d'un pycnomètre, avec le benzène comme illustré dans la figure III.1.



Figure III. 1 : Masse volumique absolue du ciment.

Tableau III. 1 : Propriétés physiques du ciment utilisé dans notre étude.

Caractéristique	Valeurs
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3.13
Finesse (cm ² /g)	3675

III.2.1.2. Analyse de la composition chimique et minéralogique

➤ Analyses chimiques :

La composition chimique du ciment utilisé est donnée dans le Tableau III.2

Tableau III. 2 : La composition constituée des éléments chimiques présents dans le ciment (GICA Sour El Ghozlane- Bouira).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	TiO ₂	Perte au feu	Résidus insolubles
20.96 %	5.14 %	3.68 %	63.82 %	2.69 %	0.79 %	0.176 %	1.96 %	0 %	0.235 %	0.163 %	99.62 %

➤ Analyse de la composition chimique et minéralogique du clinker (Bogue) :
La composition minéralogique du clinker utilisé pour la fabrication du ciment est donnée dans le Tableau III.3

Tableau III. 3 : la Composition constituée des éléments chimiques présents dans clinker (GICA Sour El Ghozlane- Bouira).

C3S %	61.04
C3A %	7.23
C2S %	11.69
C4AF %	11.16

➤ Analyse de DRX ciment (GICA Sour El Ghozlane- Bouira):

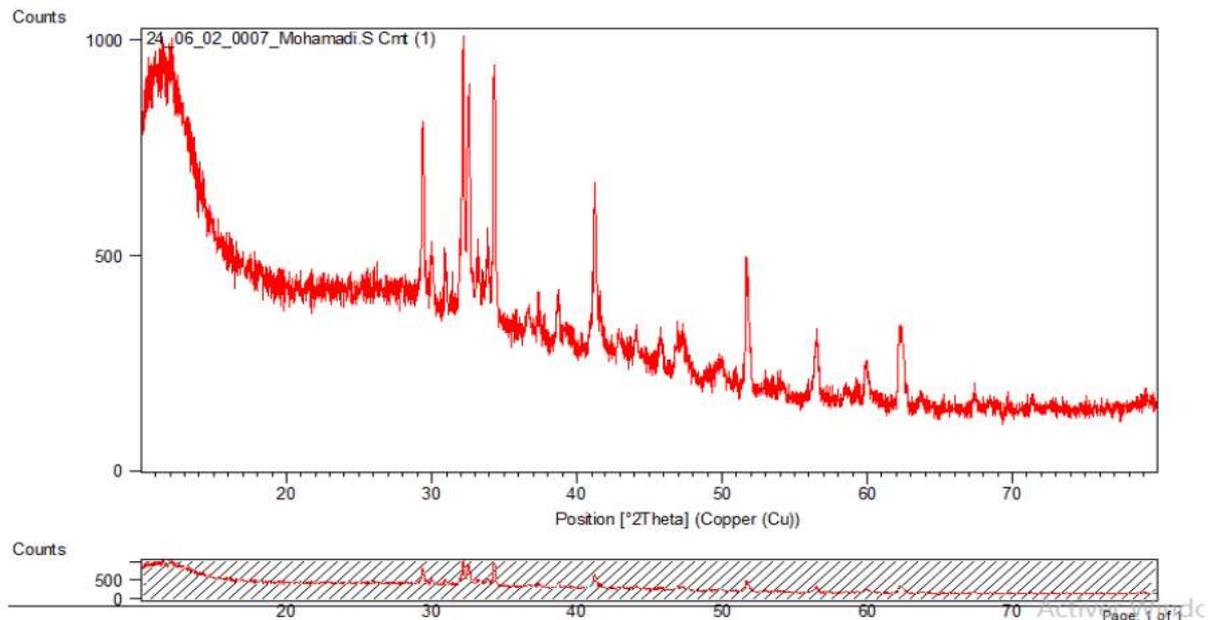


Figure III. 2 : Analyse de DRX

III.2.2. Perlite

La perlite naturelle que nous utilisons provient du dépôt situé à Hammam Boughrara à Maghnia, dans le Nord-Ouest de l'Algérie, et a été fournie par l'entreprise nationale FERPHOS.

Ces roches ont été concassées, ensuite exposées à une étuve à 80 °C pendant 24 heures afin de retirer l'humidité résiduelle. Ensuite, elles ont été broyées conformément aux instructions présentées dans la Figure III.3.



Figure III. 3 : (a) La perlite naturelle sous forme de roche avant le processus de broyage, (b) La perlite naturelle réduite en poudre après broyage

III.2.2.1 Les caractéristiques chimiques

La composition chimique de la perlite naturelle est présentée dans le Tableau III.4 :

Tableau III. 4 : 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	TiO ₂	PAF	Résidus insoluble
0.42%	74.37%	14.38%	1.15%	0.02%	4.12%	3.89%	0.24%	0.01%	2%	98.637%

III.2.2.2 Les Caractéristiques physiques

III.2.2.2.1 Masse volumique absolue

La densité absolue de la perlite naturelle a été mesurée à l'aide d'un pycnomètre selon la norme NF P 18-555, et elle est de :

$$P = 2.40 \text{ g/cm}^3.$$

III.2.2.2.2 Finesse

On a évalué la finesse de la poudre de perlite naturelle en utilisant la surface spécifique de Blaine, conformément à la norme NF EN 196-6 [1990], et elle s'élève à :

$$SSB = 3675 \text{ cm}^2/\text{g}.$$

III.2.3. Sable

Le sable est l'élément du squelette granulaire ayant le plus d'influence sur les caractéristiques du béton et du mortier.

Son importance réside dans sa capacité à minimiser les variations de volume, à réduire les chaleurs libérées et à abaisser les coûts de production des bétons. Sa propreté et son absence d'éléments nocifs sont essentielles.

Pour nos expériences, nous avons utilisé une variété particulière de sable provenant de Biskra.



Figure III. 4 : Sable de Biskra

III.2.3.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage est une technique essentielle et largement utilisée pour la caractérisation des matériaux granulaires, fournissant des informations cruciales sur la distribution des tailles des particules et leur aptitude à diverses applications, y compris la formulation des mortiers.

Nous présentons les résultats obtenus dans le Tableau III.5 et par la Figure III.6.

Tableau III. 5 : La Résultats de l'analyse granulométrique.

Tamis (mm)	Refus cum (grs)	Refus cum (%)	Tamisé
6.3	0	0	100
5	0	0	100
4	0	0	100
2	1.1	0.44	100
1	1.90	0.75	99
0.5	3.8	1.51	98
0.25	29.00	11.51	88
0.125	196.6	78.02	22
0.063	238.3	94.56	5.4

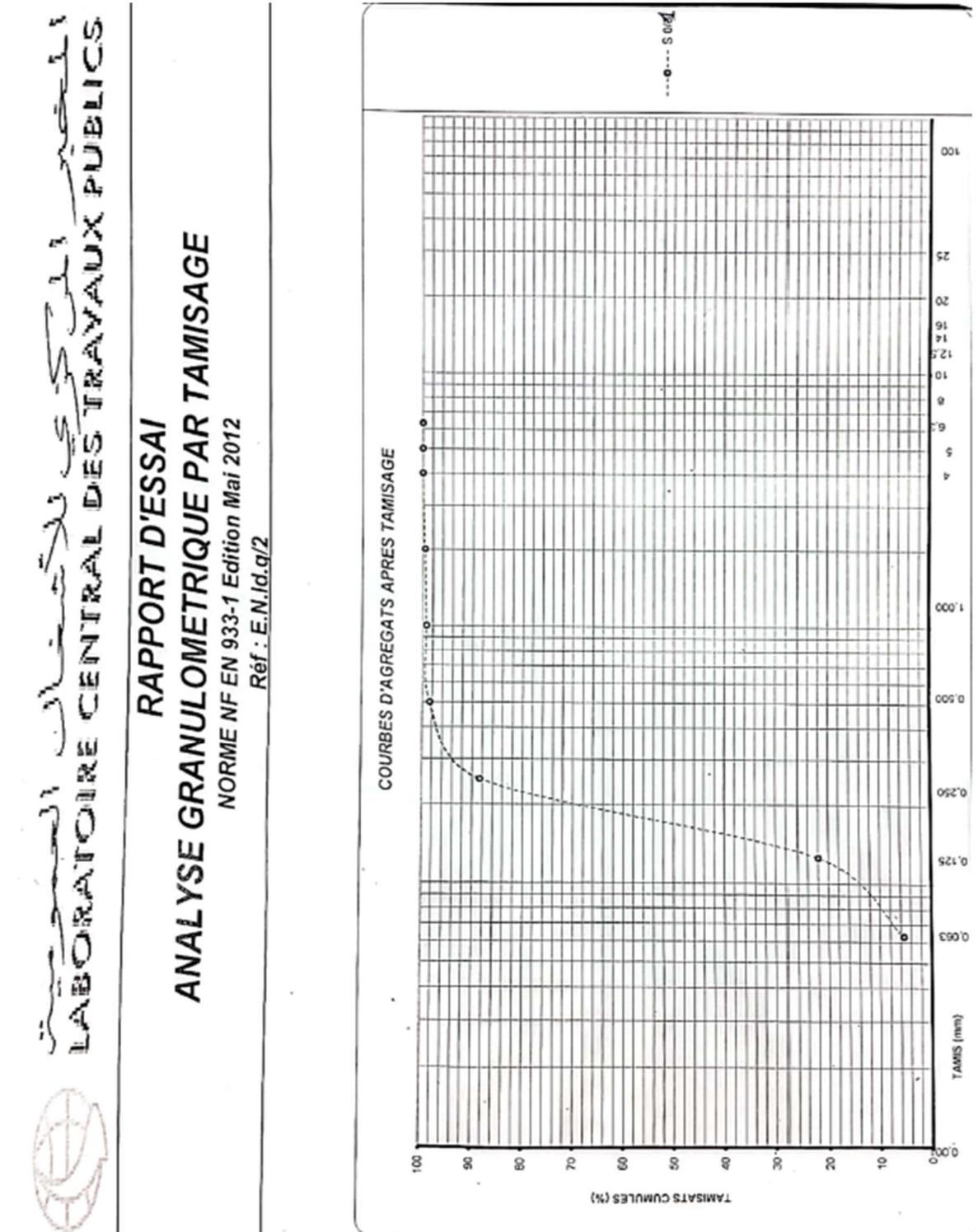


Figure III. 5 : Courbes des résultats de l'analyse granulométrique

Equivalent de sable : $E_s = 0.1 = 10\%$

Teneur en eau : $W = 1.8\%$

Masse volumique réelle : 1.1 g/cm^3

III.2.3.2 Analyse chimique du sable

Tableau III. 6 : Composition chimique du sable de Biskra

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	K ₂ O	SO ₃
96.68%	0.17%	0.80%	0.00%	0.22%	0.06%	0.05%	0.02%

III.2.4. Eau de gâchage

Pour la préparation des pâtes et des mortiers dans notre étude, nous avons utilisé de l'eau distillée. Cependant, pour nos expériences, nous avons préféré employer de l'eau potable provenant du robinet, fournie par le laboratoire M.D.C.

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons énuméré tous les éléments constitutifs (ciment, perlite, sable). Cette étape est essentielle avant de démarrer l'étude expérimentale de ces matériaux de construction, qui sont employés dans la composition des mortiers. Une compréhension approfondie de leurs propriétés nous permet d'interpréter de manière pertinente les résultats des tests expérimentaux.

Chapitre VI : Etude des propriétés des mortiers à base de perlite

VI.1. PARTIE I : METHODES EXPERIMENTALES

VI.1.1. Introduction

Dans cette partie, nous présentons les divers tests réalisés au cours de notre étude, incluant les analyses physiques des matériaux et les mesures d'absorption capillaire sur les mortiers. Nous décrivons les différentes formulations étudiées, avec des pourcentages de perlite de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 25 %. Nous détaillons également les méthodes expérimentales utilisées, leurs protocoles, ainsi que les normes de référence correspondantes.

VI.1.2. Essais sur pâtes normalisées

VI.1.2.1. Essai de consistance

Pour évaluer la fluidité du ciment composé, nous avons mesuré sa consistance à l'aide de l'appareil de Vicat, conformément à la norme [EN-196-3]. La consistance de la pâte de ciment est déterminée par le rapport eau/pâte pure.

VI.1.2.2. Objectif de l'essai

La consistance de la pâte détermine son degré de fluidité. L'objectif est de définir ce que l'on appelle une « consistance normalisée ».

VI.1.2.3. Principe d'essai

La consistance est ici déterminée en mesurant la pénétration d'une tige cylindrique dans la pâte sous une charge constante. Plus la pénétration est profonde, plus la consistance est fluide. Cette méthode d'évaluation sera désignée sous le terme de « consistance Vicat ».

VI.1.2.4. Équipement nécessaire

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

VI.1.2.1.5. Conduite de l'essai

Afin d'obtenir 500 g de ciment, il est recommandé d'utiliser une pâte pure avec un rapport E/C de 0,30 (niveau initial). Après cela, ajoutez de l'eau au malaxeur contenant le ciment. Le tableau IV.1 résume ces opérations de mélange.

Tableau VI. 1 : Les opérations du malaxage [LA NORME EN 196-3].

Opérations	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	<i>Arrêt</i>		<i>Vitesse lente</i>	<i>Arrêt</i>	<i>Vitesse lente</i>

- • Une fois le mélange démarré, quatre minutes plus tard, la sonde est placée avec précaution sur la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée en douceur sans aucun mouvement brusque. Alors elle s'enfonce dans la pâte. La distance d entre l'extrémité de la sonde et la plaque de base est mesurée après l'arrêt de son déplacement ou après 30 secondes.
- • En utilisant cette distance (d), on peut évaluer la consistance de la pâte étudiée.
- - Lorsque $d=6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, l'essai est satisfaisant et la consistance est satisfaisante.
- En cas de $d \leq 5 \text{ mm}$, la pâte est trop humide et il est nécessaire de recommencer l'essai en diminuant la quantité d'eau.
- Si $d \geq 7 \text{ mm}$, la pâte est trop ferme et il faut refaire l'essai en augmentant la quantité d'eau.

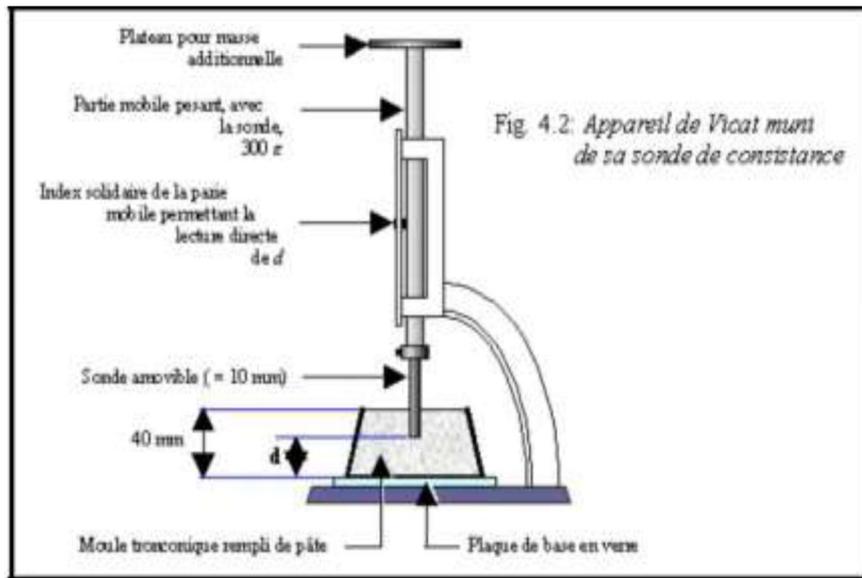


Figure VI . 1 : Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance.

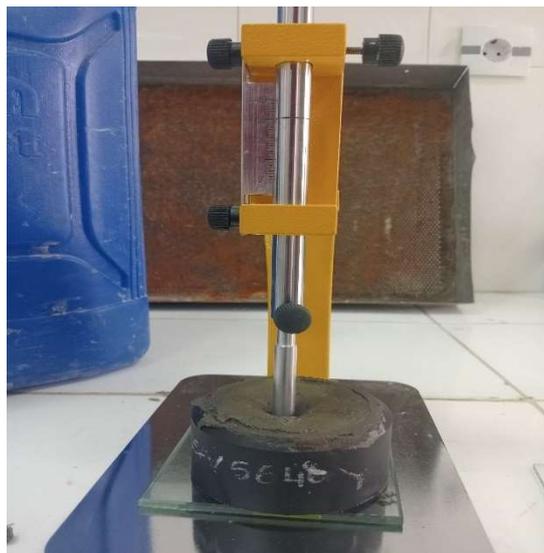


Figure VI . 2 : Mesure la consistance de la pâte de ciment.

VI .1.2.2. Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte

VI .1.2.2.1. Objectif de l'essai

Le début et la fin du processus de prise des pâtes de ciment (ou des liants hydrauliques en général) sont indispensables pour pouvoir organiser de manière adéquate le temps nécessaire à la mise en place des mortiers et des bétons qui seront préparés par la suite.

VI.1.2.2.2. Principe d'essai

L'objectif de l'expérience est de voir comment la consistance d'une pâte standardisée change avec l'appareil de Vicat, qui permet de mesurer la profondeur d'une aiguille dans la pâte et d'enregistrer le temps requis.

VI.1.2.2.3. Equipement nécessaire

- **Conditions de salle :** L'essai doit être réalisé dans une pièce où la température est contrôlée à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et où l'humidité relative est maintenue à plus de 90%. Si ces conditions d'humidité ne sont pas atteintes, l'échantillon testé peut être immergé dans de l'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ entre les prises de mesure.
- Malaxeur normalisé
- Appareil de Vicat
- Maîtrise de la balance à 0,1 g près.
- Chronomètre avec une précision de 0,1 s.

VI.1.2.2.4. Conduite de l'essai

L'objectif est de préparer une pâte avec une consistance standard.

Quatre minutes après le début du malaxage, l'aiguille est déposée à la surface de l'échantillon et libérée sans impulsion. Elle s'enfonce alors dans la pâte.

Une fois immobile (ou après une attente de 30 secondes), la distance d entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base est mesurée.

Cette opération est répétée à des intervalles de temps appropriés, généralement toutes les 10 à 15 minutes.

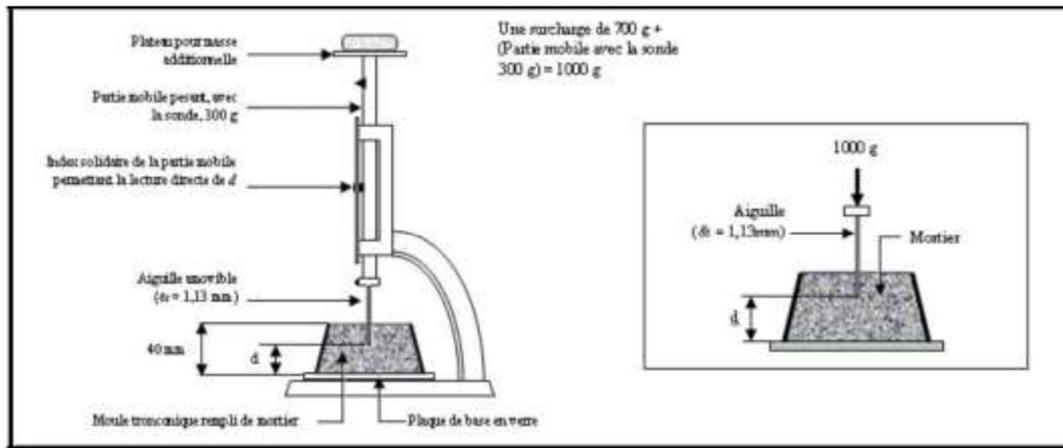


Figure VI . 3 : Essai de prise avec appareil de Vicat.

Si la distance d est de $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, cela indique que le début de la prise est atteint. Ce moment, mesuré depuis le début du malaxage, est appelé le "temps de début de prise".

Le "temps de fin de prise" est défini comme le moment où l'aiguille ne s'enfonce plus que de $0,5 \text{ mm}$.



Figure VI . 4 : Essai de prise.

VI.1.3. Essais sur mortiers à l'état frais

VI .1.3.1. Formulations des mortiers

Le tableau VI.2 présente les éléments constitutifs ainsi que leurs quantités respectives utilisées dans la préparation des mortiers, qu'ils incluent des additifs ou non.

Tableau VI. 2 : Formulations des mortiers.

Code	M0	M1	M2	M3	M4	M5
E/C	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Perlite /C (%)	0	5	10	15	20	25
Sable (g)	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Ciment (g)	450	427.5	405	382.5	360	337.5
Perlite (g)	0	22.5	45	67.5	90	112.5
Eau (g)	250	250	250	250	250	250
Vol. de la pâte (cm ³)	768	768	768	768	768	768

Avec : M0 : mortier témoin sans perlite

M1 : mortier substitution avec 5% de perlite

M2 : mortier substitution avec 10% de perlite

M3 : mortier substitution avec 15% de perlite

M4 : mortier substitution avec 20% de perlite

M5 : mortier substitution avec 25% de perlite

VI.1.3.2. Maniabilité des mortiers

L'essai de maniabilité la mesure du temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet de la vibration, comme présenté dans la Figure IV.5



Figure VI. 5 : Essai de la Maniabilité.

Figure VI 5 présente une illustration de l'appareil utilisé. Celui-ci est constitué d'un boîtier métallique parallélépipédique de dimensions 60 cm × 30 cm × 30 cm reposant sur des bases en caoutchouc. Il est équipé d'un vibreur et comporte une cloison amovible.

VI.1.3.2.1. Conduite de l'essai :

Quatre minutes après la fin du malaxage, Le mortier est versé dans la section principale de l'appareil, délimitée par une séparation, et est disposé en quatre couches par piquage. Une fois la cloison retirée, le vibreur est activé et un chronomètre est démarré par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration, le mortier s'écoule jusqu'à ce qu'il atteigne un repère sur la paroi opposée du boîtier, moment où le chronomètre est arrêté, permettant de caractériser la consistance du mortier par le temps t nécessaire à son écoulement.

Ce laps de temps sera d'autant plus réduit si le mortier est plus liquide

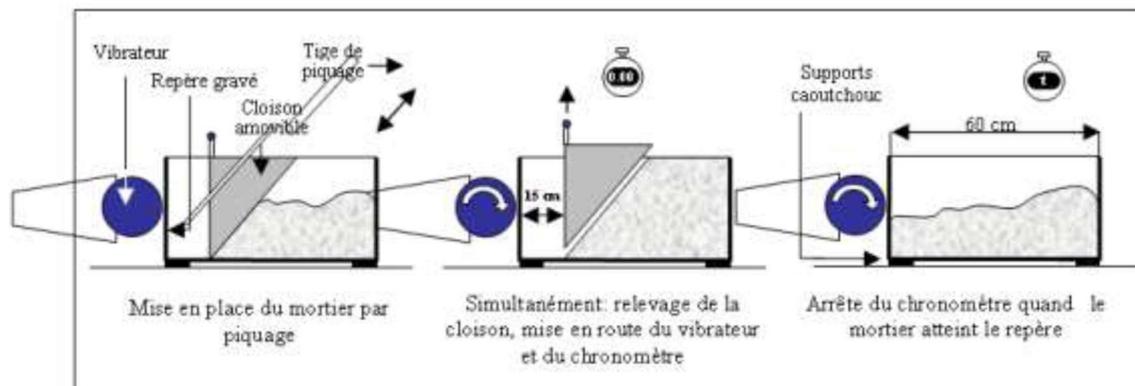


Figure VI . 6 : Procédure de l'essai de maniabilité.

La durée de l'écoulement du mortier est un indicateur de sa solidité. Si le mortier est plus fluide ou plus maniable, ce qui correspond au nom de l'appareil, ce temps sera réduit, comme le montre le tableau IV.3.

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

Classe de consistance	Durée en (S)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

VI.1.3.2.2. Confection des mortiers :

Combiner le sable normalisé avec le ciment (avec ou sans ajout) et l'eau selon les ratios spécifiés dans le tableau VI.3.

Ce mortier est malaxé pendant une durée de quatre minutes conformément aux exigences de la norme avant d'être utilisé pour déterminer ses caractéristiques physiques et/ou mécaniques :

Commencez par introduire l'eau dans la cuve du malaxeur en premier (et ajoutez éventuellement le plastifiant pour les mortiers), puis ajoutez le ciment. Ensuite, mettez immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente.



Figure VI . 7 : Malaxeur automatique à mortier.

Après 30 secondes de malaxage initial, incorporez le sable progressivement au cours des 30 secondes suivantes. Passez ensuite le malaxeur à sa vitesse maximale et continuez à malaxer pendant 30 secondes supplémentaires. Ensuite, arrêtez le malaxeur pendant 1 minute et 30 secondes.

Au cours des 15 premières secondes de cette pause, utilisez une spatule pour enlever tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient., en le repoussant vers le centre. Ensuite, reprenez le malaxage à haute vitesse pendant 60 secondes.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau VI 4.

Tableau VI. 4 : Les opérations du malaxage de mortier

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction de ciment		Introduction du sable		Raclage de la cuve		
Durée des opérations			30 s	30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat du malaxeur	Arrête		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrête		Vitesse rapide

VI.1.3.4. Confection des éprouvettes

Après avoir préparé le mortier, il faut le déposer immédiatement dans des moules prismatiques de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³. Il est possible que ces moules soient dépourvus de plots pour les tests d'absorption capillaire ou disposent de plots pour les mesures de retrait. L'installation se fait à l'aide de vibrations.

Préparez une première couche de mortier dans chaque compartiment des moules en utilisant une spatule, en veillant à la bien compacter. Faites une vingtaine de vibrations manuelles (à main nue) sur ces moules. Par la suite, ajoutez une seconde couche de mortier et répétez environ 60 vibrations. Enfin, appliquez une règle métallique pour niveler la surface du mortier.

Finalement, enveloppez les moules avec du film plastique afin d'éviter l'évaporation de l'eau et ajoutez une étiquette sur les éprouvettes, mentionnant la date et le nom du mortier. Par la suite, les échantillons sont conservés dans une chambre humide contrôlée, où la température reste à 20°C et l'humidité relative est de 90%.



Figure VI. 8 : Moule d'éprouvettes prismatiques (40x40x160) mm

Après 24 heures, retirez les éprouvettes des moules et laissez-les à température ambiante en vue de leur préparation pour les tests d'absorption capillaire

VI.1.4. Essais sur mortiers à l'état durci

VI.1.4.1. Essais d'absorption capillaire

VI.1.4.1.1. Principe

L'essai implique la mesure de la quantité d'eau absorbée par une éprouvette de mortier, selon des paramètres spécifiques.

VI.1.4.1.2. Appareillage

Les équipements nécessaires comprennent une balance précise à 0,1 g, un récipient de 200 mm de hauteur pour 12 éprouvettes, avec base plane et couvercle, et un dispositif assurant un niveau d'eau constant.

VI.1.4.1.3. Mode opératoire

Selon la norme EN196-1, avec le mortier standard préparé, un moule de 4x4x16 cm est utilisé. En appliquant 60 chocs à chaque couche, le mortier est compacté en deux couches. Par la suite, on nivele le moule, on le recouvre d'un film plastique et on le place dans une salle miteuse.

Les éprouvettes sont retirées des moules après 24 heures de malaxage et conservées dans de l'eau à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai.

- Peser les éprouvettes après 7 jours, puis les positionner verticalement dans un récipient contenant de l'eau, maintenu à un niveau constant.
- Il est nécessaire de les placer sur un support en plastique afin de garantir un accès libre de l'eau à leur base, en maintenant le niveau d'eau à (3 ± 1) mm au-dessus.
- Éviter toute interaction entre les échantillons.
- Après avoir placé les éprouvettes, refermer le récipient en utilisant son couvercle.



Figure VI. 9 : Eprouvettes dans le récipient en position verticale avec un niveau d'eau constant 3 mm.

- Au bout d'un jour, retirez les éprouvettes du récipient, essuyez-les légèrement avec un papier ou un chiffon sec pour éliminer l'eau excessive, puis pesez-les (M1) avant de les replacer verticalement dans le récipient, en veillant à traiter toutes les éprouvettes de manière homogène et individuelle.
- Au bout de 7 jours, effectuez une nouvelle pesée pour obtenir la masse M7.

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

$$C = \frac{M_0 - M_j}{16}$$

Où : **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.

VI.1.4.2. Essais de résistances mécaniques

VI.1.4.2.1. Objectif de l'essai

L'objectif est de vérifier la résistance du ciment et d'observer l'évolution mécanique des différents types de mortiers.

VI .1.4.2.2. Équipement nécessaire (norme EN 196-1)

- Un malaxeur conforme aux normes établies.
- Des moules normalisés pour produire 3 éprouvettes prismatiques de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$.
- Une machine d'essai de résistance à la flexion et à la compression capable d'appliquer des charges jusqu'à 150 kN, avec une vitesse de chargement variant de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$ à $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$. Cette machine doit être équipée d'un dispositif de flexion.

VI .1.4.2.3. Conduite de l'essai

Selon la norme EN196-1, après la préparation du mortier normal, on le verse dans un moule de dimensions $4 \times 4 \times 16$. Le mortier est compacté en deux couches en appliquant 60 chocs au moule à chaque couche. Ensuite, le moule est nivelé, recouvert d'un film plastique et placé dans une salle humide.

Après 24 heures de malaxage, les éprouvettes sont démoulées et stockées dans de l'eau maintenue à une température de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture.



Figure VI. 10 : L'essai de résistance à la compression.



Figure VI. 11 : L'essai de résistance à la flexion.

Si F_f représente la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, alors le moment de rupture est $F_f \cdot l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette peut être calculée comme suit :

$$R_f = \frac{1.5 F_f}{b^3}$$

La résistance à la flexion est la contrainte supportée par l'éprouvette lors de la rupture. En tenant compte des dimensions b et l si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance, exprimée en méga pascals (MPa), est donnée par :

$$R_c = \frac{F_c}{b^3}$$

Cette contrainte est dénommée résistance à la compression. Si F_c est exprimée en Newtons, cette résistance, exprimée en mégapascals (MPa), est égale à :

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Les résultats pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0.1 MPa près, puis une moyenne est calculée. Si l'un des 6 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette moyenne, il est éliminé, et une nouvelle moyenne est calculée sur les 5 résultats restants. Si encore une fois l'un des 5 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est rejetée.

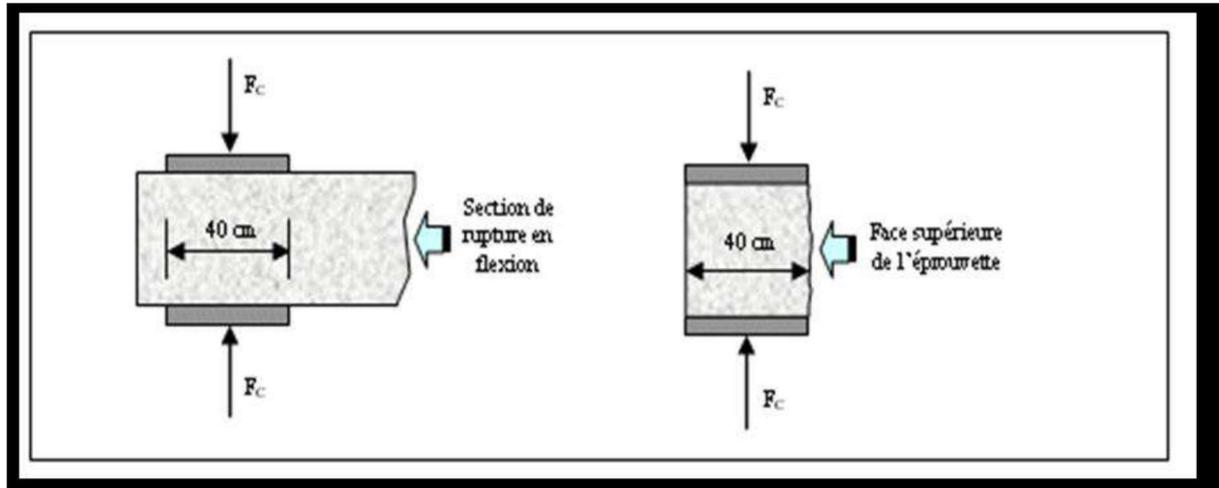


Figure VI. 12 : Disposition de rupture en compression

Une fois que le résultat est jugé conforme, la moyenne obtenue représente la résistance du ciment à cet âge spécifique.

VI.1.4.3. Essai thermique

VI.1.4.3.1. Essai de conductivité thermique

Un appareil de type « Isomet 2104 » est utilisé pour évaluer la conductivité thermique des mortiers. En utilisant des sondes de surface et des seringues d'échange, cet instrument de mesure portable permet de calculer directement le coefficient de conductivité thermique, la capacité volumétrique spécifique et la température, conformément à la norme ISO 8302.



Figure VI. 13 : Conductivitémètre au laboratoire avec le mortier

L'approche repose sur l'étude de la réaction thermique du matériau face à des flux de chaleur impulsifs. La résistance chauffante électrique intégrée à la sonde génère ce flux en contact direct avec l'échantillon testé.

La conductivité thermique et la capacité calorifique volumique sont évaluées en prenant des mesures de température à intervalles réguliers au cours du temps, en prenant en compte la propagation de la chaleur dans un milieu infini.

Différentes conditions expérimentales peuvent influencer la précision de la mesure des propriétés thermo physiques avec l'ISOMET.

- Le contact thermique entre la sonde et l'échantillon est de qualité.
- La taille de l'échantillon.
- La non-uniformité de l'échantillon.
- La variabilité de l'échantillon.
- La teneur en humidité de l'échantillon.

Pour mesurer la résistance thermique R_{th} , on évalue la capacité d'une paroi à s'opposer aux transferts de chaleur. Elle est déterminée par le flux thermique Φ (en watts) traversant la paroi et par la différence de température $\Delta\theta$ entre les deux faces de la paroi, selon la relation suivante :

$$\Phi = \frac{\Delta\theta}{R}$$

On définit également la résistance thermique surfacique R_s de la manière suivante :

$$R = \frac{R_s}{S}$$

C'est la résistance thermique de la paroi par unité de surface de 1 m².

Pour une paroi constituée de plusieurs couches de matériaux différents, la résistance thermique totale (R_{th}) est la somme des résistances thermiques individuelles de chaque couche. Cette somme peut être exprimée en fonction des conductivités thermiques des matériaux.

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda}$$

Où e : épaisseur de la couche de matériau.

Remarque : Plus la valeur de la résistance thermique R_{th} d'une paroi est élevée, meilleur est l'isolant du matériau.

VI.1.4.3.2. Méthodes d'essais

Le mortier a été préparé en respectant les étapes établies dans la norme ASTM C 305-99 :

Les mortiers sont utilisés pour la production d'échantillons de taille précise (30x50x100) mm³. Pour analyser les caractéristiques thermiques de ces mortiers et évaluer l'effet de la substitution du ciment par la perlite de Hammam Boughrara, nous avons effectué une mesure de leur conductivité thermique à l'aide de l'appareil portable "Isomet 2104". En utilisant des sondes de surface et des échanges de seringues, cet instrument permet de mesurer directement le coefficient de conductivité thermique, la capacité volumétrique spécifique et la température, conformément à la norme ISO 8302 [Hamadache et al., 2015].

VI .1.5. Conclusion

Nous avons effectué plusieurs séries d'essais physiques et mécaniques pour caractériser les différentes formulations de mortiers utilisées dans le cadre de notre étude. Cela nous a donné une vue d'ensemble des principales caractéristiques des matériaux qui composent les mortiers et les pâtes étudiés. Après un et sept jours d'immersion dans l'eau, les éprouvettes de mortier sont pesées pour l'essai d'absorption capillaire. Concernant l'évaluation de la résistance des mortiers fabriqués à partir de perlite de la région de Maghnia, nous avons maintenu un rapport eau/ciment et un volume de pâte homogènes pour toutes les recettes.

VI .2. PARTIE II : Résultats et discussions

VI .2.1. Résultats des essais à l'état frais

VI .2.1.1 Introduction

Les résultats des tests de caractérisation réalisés sur les mortiers frais, fabriqués avec diverses quantités de perlite ajoutée (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, et 25%), incluent la détermination de la consistance et du temps de prise de la pâte de ciment, ainsi que l'évaluation de la maniabilité des mortiers.

VI.2.1.2 résultats des essais de consistances

Les données de consistance pour chaque composition de pâte de ciment sont présentées dans le tableau VI.5: et illustrées par la figure VI.14

Tableau VI. 5 : Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.

Code	M0	M1	M2	M3	M4	M5
E/C	0.3	0.32	0.35	0.37	0.41	0.46
Perlite /C (%)	0	5	10	15	20	25
Ciment (g)	500	475	450	425	400	375
Perlite (g)	0	25	50	75	100	125
Eau (g)	150	155	157.5	160	165	175
E/L	0.3	0.31	0.315	0.32	0.33	0.35

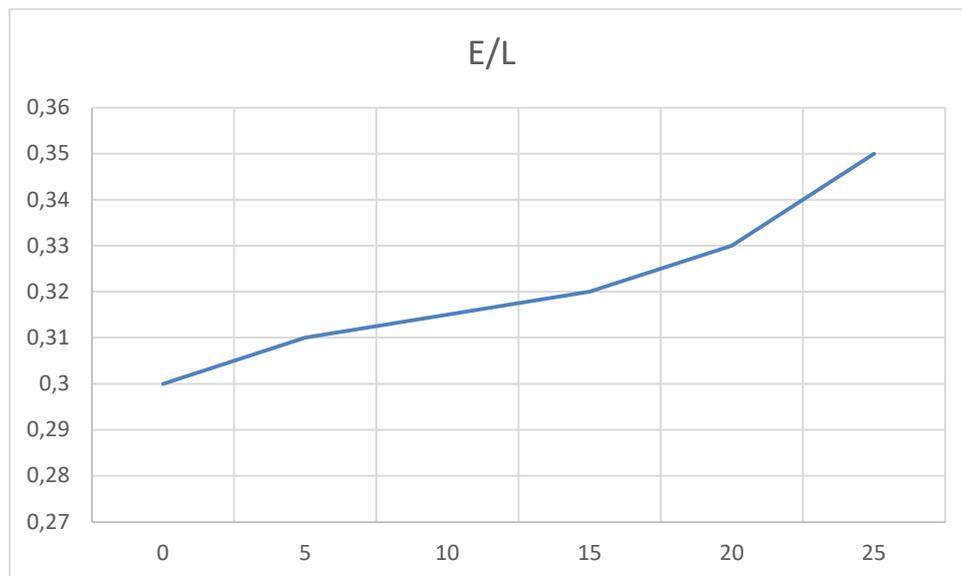


Figure VI. 14 : Variation des rapports E/L en fonction du dosage en perlite.

L'ajout de perlite, comme le montre la figure III.1, entraîne une augmentation du rapport E/L. Cette observation découle de la capacité de la perlite à absorber une partie non négligeable de l'eau de gâchage, réduisant ainsi la quantité disponible pour l'hydratation du ciment.

VI.2.1.3 Mesure des temps de début et fin de prise de la pâte

L'essai de prise vise à évaluer le temps de prise, qui correspond à l'intervalle temporel entre le mélange du liant avec l'eau de gâchage et la fin du processus de prise.

Les temps de début de prise, de fin de prise et la durée de prise pour les pâtes témoin et les pâtes contenant 5%, 10%, 15%, 20% et 25% de perlite par rapport au dosage du ciment sont présentés dans le Tableau VI 5 et la Figure VI 15.

Tableau VI. 6 : Les temps de début de prise, de fin de prise et les temps de prise des différentes pâtes

	Pourcentage d'ajouts (%)	Début de prise (minutes)	Fin de prise d'ajouts (minutes)	Temps de prise (minutes)
Témoin	0	190	340	150
Perlite	5	181	323	142
	10	173	315	142
	15	165	309	144
	20	144	305	161
	25	134	302	168

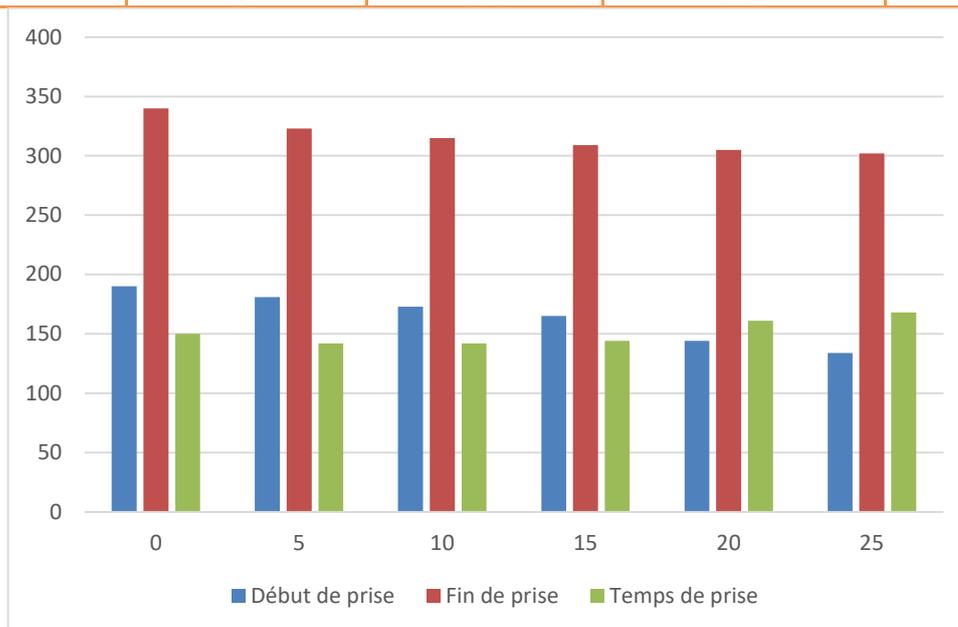


Figure VI. 15 : Temps de prise des pâtes à base de perlite

L'analyse des temps de début de prise, de fin de prise, et de la durée de prise pour les pâtes avec différentes proportions de perlite par rapport au ciment montre des tendances significatives. L'ajout de perlite accélère le début et la fin de la prise : pour 0% de perlite, le début est à 190 minutes et la fin à 340 minutes, tandis que pour 25% de perlite, ces temps passent à 143 et 302 minutes respectivement. Cette accélération est due à la capacité de la perlite à absorber l'eau de gâchage, réduisant l'eau disponible pour l'hydratation du ciment. La durée

de prise varie, diminuant légèrement jusqu'à 15% de perlite puis augmentant pour 20% et 25%, suggérant des interactions complexes entre la perlite et le ciment. Globalement, l'ajout de perlite modifie le comportement de prise du ciment.

VI.2.1.4. Maniabilité

Les tests de maniabilité sont réalisés juste après le malaxage et avant le moulage des échantillons. Le tableau IV.6 détaille les types de mortiers étudiés, les rapports E/C utilisés, et les résultats de maniabilité. Un mortier standard affiche environ 8,95 secondes de maniabilité mesurée par maniabilimètre (LCL).

Pour comparer la maniabilité des différents mortiers avec celle d'un mortier témoin, nous avons maintenu un rapport E/C constant de 0,55.

Tableau VI. 7 : La maniabilité des mortiers (temps de vibration en seconds)

Nomination	E/C	Temps de maniabilité (sec)
Mortier Témoin (0%)	0.55	10.84
Mortier avec (5%)	0.55	10.79
Mortier avec (10%)	0.55	10.73
Mortier avec (15%)	0.55	10.68
Mortier avec (20%)	0.55	10.65
Mortier avec (25%)	0.55	10.61

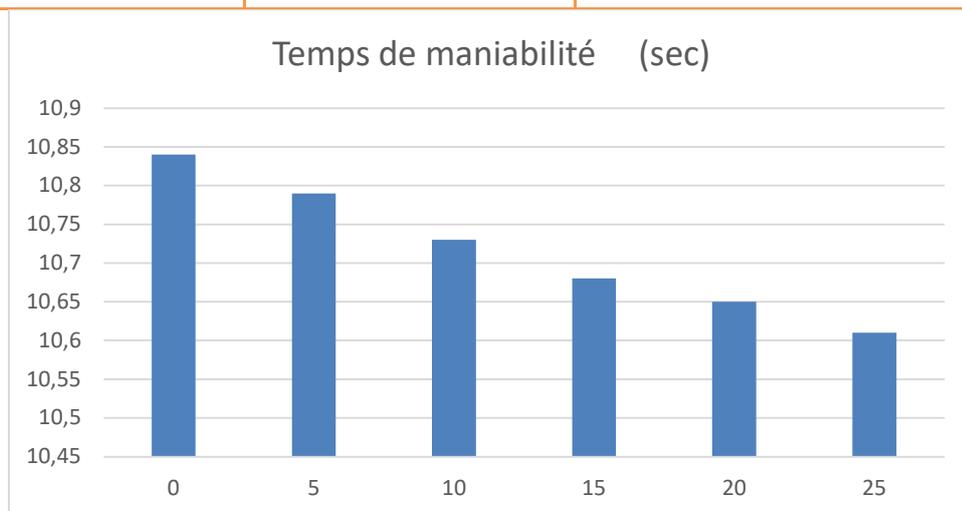


Figure VI. 16 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en Perlite des mortiers

Lors de la comparaison de la maniabilité des différents mortiers avec celle du mortier témoin, en maintenant un rapport E/C constant de 0,55, nous observons des variations dans le temps de prise en fonction des différentes proportions d'ajout de perlite. Les résultats montrent une tendance à la réduction du temps de prise avec l'augmentation de la proportion de perlite. Par exemple, le mortier témoin, sans ajout de perlite, présente un temps de prise de 10,84 secondes, tandis que le mortier avec 25% de perlite affiche un temps de prise de 10,61 secondes. Cette diminution du temps de prise peut être attribuée à l'effet absorbant de la perlite sur l'eau de gâchage, réduisant ainsi le temps nécessaire à la prise du mortier. Ces résultats indiquent que l'ajout de perlite peut améliorer la maniabilité du mortier.

VI .2.1.5. Conclusion

Les résultats des essais de caractérisation des mortiers, incluant la consistance, le temps de prise, et la maniabilité, avec différentes proportions de perlite ajoutée, révèlent des tendances significatives dans le comportement de ces matériaux de construction.

L'ajout de perlite, en augmentant le rapport E/L, accélère le processus de prise du ciment, réduisant les temps de début et de fin de prise, et modifiant la durée de prise. Cette accélération est attribuée à la capacité de la perlite à absorber l'eau de gâchage, limitant ainsi l'eau disponible pour l'hydratation du ciment.

En ce qui concerne la maniabilité, les résultats montrent également une amélioration générale avec l'ajout de perlite, ce qui suggère que cette modification peut faciliter la manipulation et le coulage des mortiers.

Ces conclusions soulignent l'impact significatif de l'ajout de perlite sur les propriétés et la performance des mortiers, offrant des perspectives intéressantes pour l'optimisation des mélanges dans diverses applications de construction.

VI.2.2. Résultats des essais à l'état durci

VI.2.2.1 Introduction

Les mortiers contenant divers pourcentages de perlite naturelle, y compris un mortier témoin, ont été évalués pour leur capacité d'absorption d'eau par capillarité après un jour de stockage sur une fine couche d'eau.

Pour analyser l'influence des conditions de conservation sur le comportement mécanique des différents mortiers, des essais de résistance à la compression et à la traction par flexion ont été effectués après 7 jours et 28 jours.

VI.2.2.2 Résultats de l'essai d'absorption capillaire

Les résultats à chaque intervalle de temps proviennent de la moyenne des mesures effectuées sur trois éprouvettes pour chaque type de mortier.

Les résultats de l'essai d'absorption capillaire pour les mortiers contenant 15%, 20% et 25% de perlite, ainsi que pour le mortier témoin, sont présentés dans le tableau IV.7 et le tableau IV.8.

La formule suivante est employée pour calculer l'absorption capillaire :

$$C = \frac{M_0 - M_j}{16}$$

Tableau VI. 8 : Résultats de l'essai d'absorption capillaire

Mortier	M0 (g)	M1(g)
Témoin %	563.9	578.8
15%	555.96	565.16
20%	551.6	560.7
25%	548.73	555.43

Tableau VI. 9 : Coefficients d'absorption capillaire.

Les différents mortiers	Absorption capillaire (g/cm ²)
	1jour
Mortier témoin %	0.93
15 %	0.84
20 %	0.56
25 %	0.41

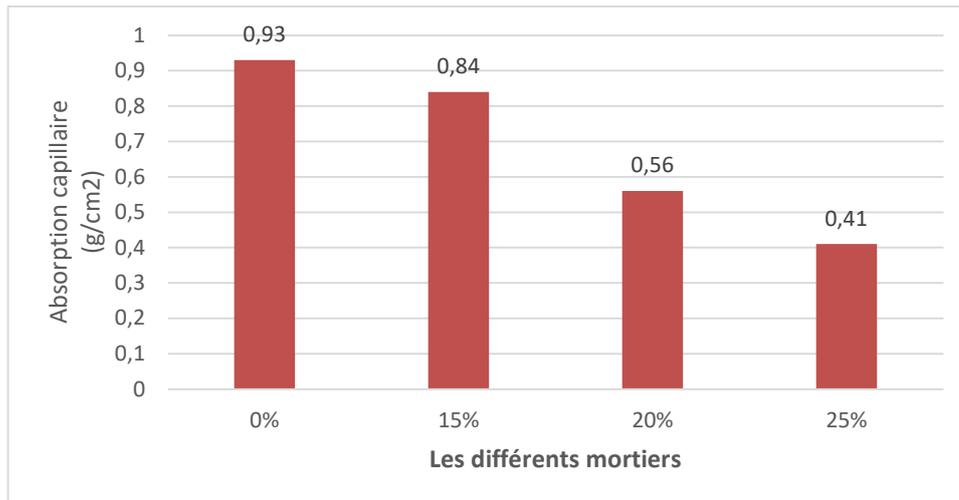


Figure VI. 17 : Evolution des coefficients d'absorption capillaire des différents mortiers.

Les résultats du test d'absorption mettent clairement en lumière une tendance : plus la proportion de perlite dans le mortier est élevée, plus le coefficient d'absorption diminue.

Ceci suggère que l'ajout de perlite diminue la capacité du mortier à absorber l'eau, probablement en raison de la structure poreuse de la perlite qui restreint l'absorption d'eau. De plus, ces résultats soulignent que le mortier sans perlite présente le coefficient d'absorption le plus élevé, mettant en évidence l'impact significatif de l'ajout de perlite sur les propriétés d'absorption du mortier. En conclusion, l'incorporation de perlite semble effectivement réduire l'absorption d'eau du mortier.

VI.2.2.3 Résultats de l'essai de conductivité thermique

Les résultats des tests réalisés après 28 jours sur les éprouvettes de mortier conservées à l'air libre sont répertoriés dans le tableau VI 9 et 10

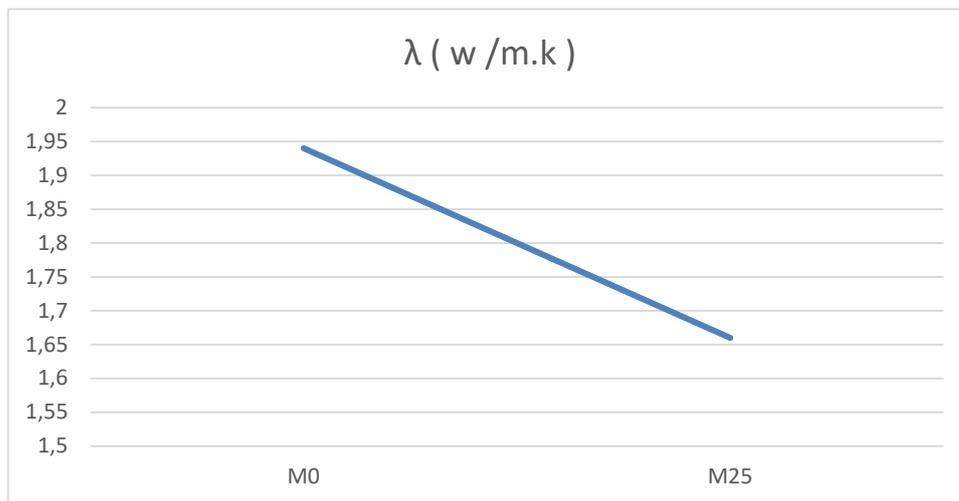
Tableau VI. 10 : Résultats de l'essai de conductivité thermique.

	M0	M25
Tension d'alimentation U (v)	230	230
Intensité de courant I(A)	0.124	0.124
Température Extérieure Te (c°)	33.5	33.5
Temps de chauffe t (s)	20.2	78.9
Temps de cycle T (s)	29.3	88.1
Température de surface Ts(c°)	60	60

Tableau VI. 11 : les résultats des caractéristiques thermo- physiques.

Les mortiers	λ (w /m.k)	C_p (j /m) $\times 10^6$	a (m ² /s) $\times 10^{-6}$	R (m ² . k /w)
M0	1.94	1.76	1.11	0.20
M25	1.66	1.63	1.03	0.24

À partir des résultats nous observons une conductivité thermique plus élevée dans le mortier témoin (M0) comparativement aux autres formulations de mortier. En ce qui concerne le mortier contenant 25% de perlite, une augmentation de la conductivité thermique a été enregistrée par rapport au mortier témoin. Nous avons constaté une amélioration significative de l'isolation thermique, Cela est principalement attribuable à la conductivité thermique plus faible des échantillons par rapport au mortier témoin.

**Figure VI. 18** : La variation de la conductivité en fonction du dosage de la perlite à 28 jours.

En revanche, La capacité thermique est évaluée en fonction de la quantité de perlite ajoutée après 28 jours Figure VI.18, Il est observé que la capacité thermique du mortier témoin (M0) est supérieure à celle des autres mortiers contenant de la perlite, ce qui suggère que l'ajout de perlite diminue l'absorption de chaleur.

VI.2.2.3 Résultats de l'essai d'absorption

Les résultats de l'essai d'absorption sont représentés dans le Tableau VI.11 et la Figure VI 20, Chaque intervalle de temps montre la moyenne des valeurs mesurées sur trois éprouvettes de chaque type de mortier.

Tableau VI. 12 : Résultats de l'essai d'absorption

Mortier	M0 (g)	M7 (g)	M14 (g)	M21 (g)	M28 (g)
Témoin %	539.03	546.67	551.07	552	552,03
5 %	535.4	536.67	544	544.33	545
10 %	550,9	556,67	562,13	562,67	563,27
15 %	537,57	546,67	549,23	549,33	550,23
20 %	527,57	536,67	540,7	541	541,67
25 %	539,02	540	542,03	542,33	542,93

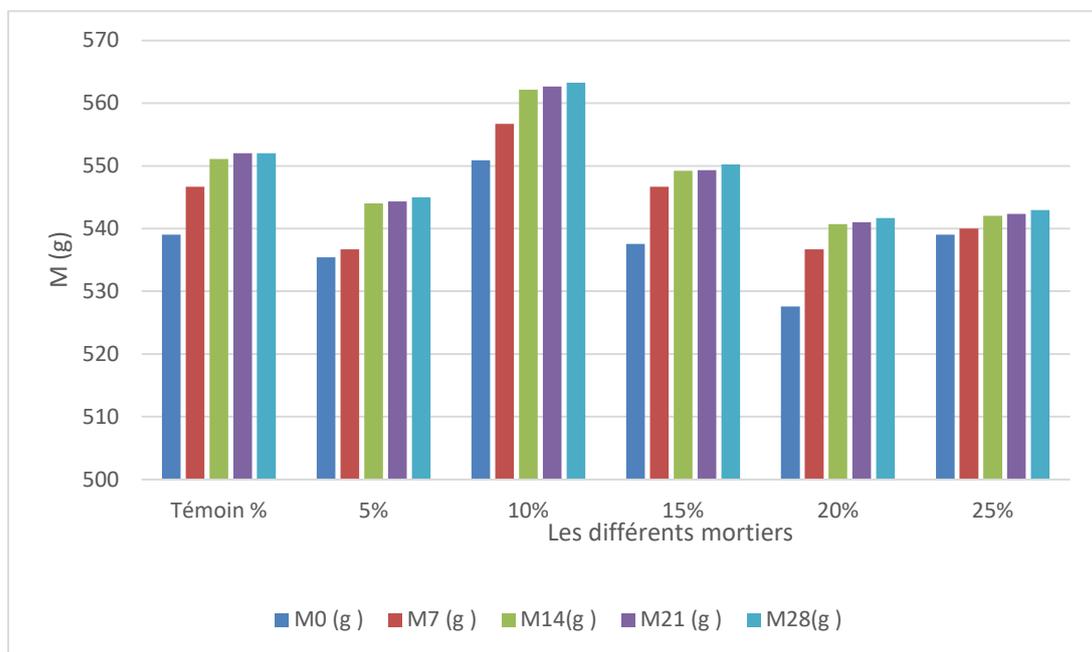


Figure VI. 19 : Evolution d'absorption des différents mortiers.

L'analyse des résultats de l'essai d'absorption met en évidence l'effet bénéfique de la perlite sur la réduction de l'absorption d'eau du mortier.

Plus la proportion de perlite est élevée, plus la capacité du mortier à absorber l'eau est diminuée.

Ce comportement est observé dès les faibles teneurs en perlite (5%) et s'accroît graduellement jusqu'à 25%.

Ces résultats suggèrent que l'incorporation de perlite peut être une stratégie efficace pour améliorer la durabilité des structures en béton en réduisant leur porosité et leur perméabilité à l'eau.

VI .2.2.3. La Résistances à la traction par flexion à base de perlite

Les mesures de la résistance à la traction ont été réalisées en soumettant à la flexion à trois points des échantillons (de dimensions $4 \times 4 \times 16$ cm³) fabriqués avec des mélanges contenant respectivement 5%, 10%, 15%, 20% et 25% de perlite, ainsi que des échantillons de référence.

Les données de résistance à la flexion sont compilées dans le tableau VI.12. La figure VI.21 illustre l'évolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge des mélanges contenant différents pourcentages de perlite. Il est à noter que toutes les résistances des mélanges augmentent de manière constante avec le temps.

Tableau VI. 13 : Résistances à la traction par flexion (MPa)

Jours	7 J (MPa)	28 J (MPa)
Mortier témoin %	9.756	10.819
5%	10.087	11.218
10%	10.417	11.354
15%	10.801	11.754
20%	11.230	12.125
25%	11.938	12.857

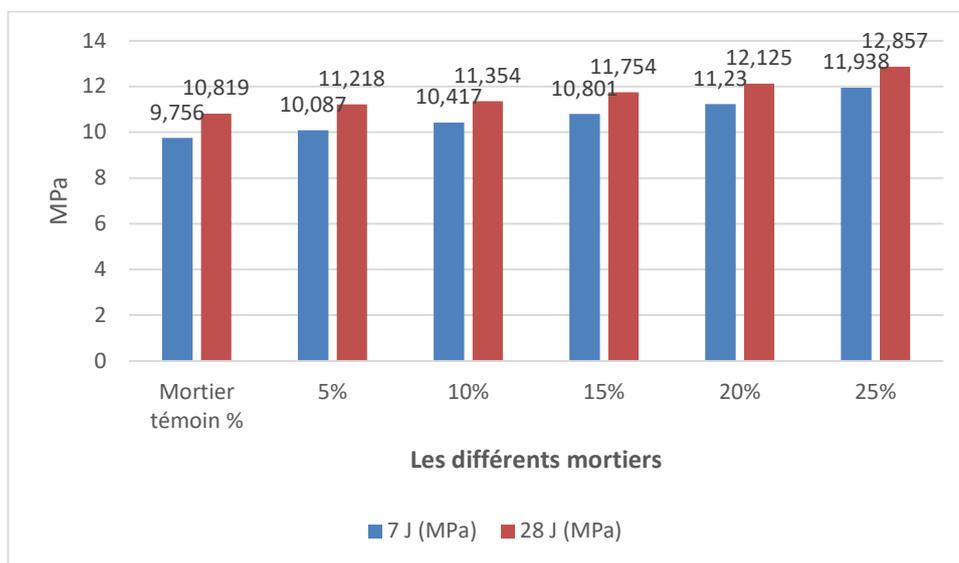


Figure VI. 20 : Evolution des résistances à la traction (MPa).

Les résultats des mesures de résistance à la traction démontrent l'impact significatif de l'incorporation de perlite sur les propriétés mécaniques du mortier. Globalement, on observe une augmentation de la résistance à la traction avec l'augmentation du pourcentage de perlite dans le mélange, tant à 7 jours qu'à 28 jours. Cette augmentation de la résistance à la

traction est cohérente avec la nature renforçant de la perlite, qui agit comme un agrégat léger offrant une meilleure adhérence entre les particules. Les échantillons de référence, sans perlite, présentent des valeurs de résistance inférieures par rapport aux mélanges avec perlite. De plus, la différence de résistance entre les échantillons à 7 jours et à 28 jours indique une amélioration progressive des propriétés mécaniques avec le temps de durcissement du mortier. Ces résultats suggèrent que l'incorporation de perlite peut améliorer la résistance à la traction du mortier

VI .2.2.4. La résistance à la compression des mortiers à base de perlite

Les données concernant la résistance à la compression sont présentées dans le Tableau VI 13 et Figure VI 22 dépeint l'évolution de cette résistance en fonction de l'âge des différents mélanges, qui contiennent divers pourcentages d'additifs. Il est remarquable que la résistance de tous les mélanges augmente progressivement avec le temps.

Tableau VI. 14 : Résistances à la compression (MPa)

Jours	7 J (MPa)	28 J (MPa)
Mortier témoin %	34.18	43.83
5%	34.81	45.06
10%	35.23	45.87
15 %	35.61	46.12
20 %	36.11	46.57
25 %	36.84	47.24

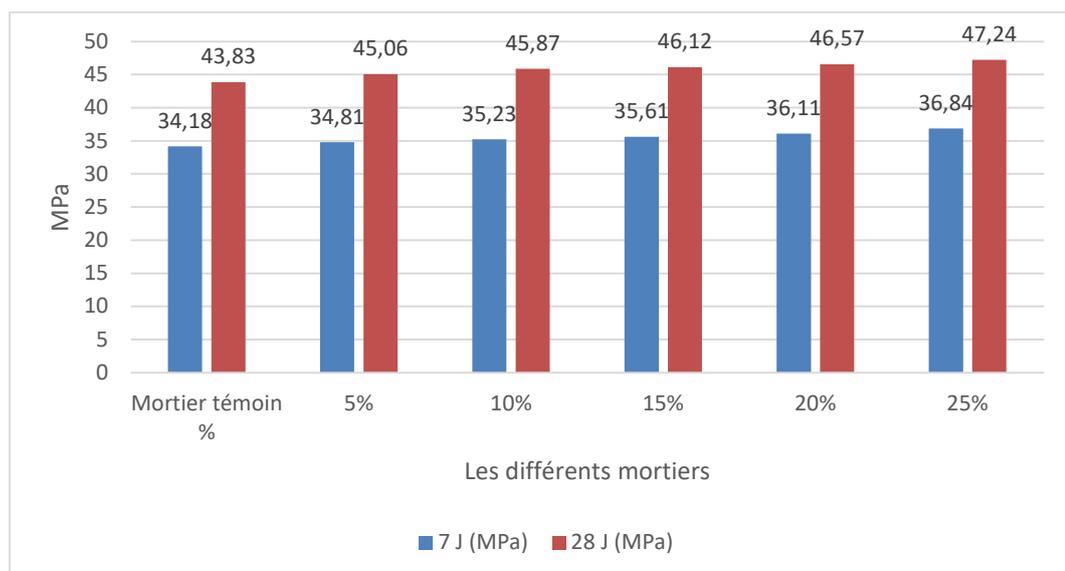


Figure VI. 21 : Evolution des résistances à la compression (MPa).

Les résultats de la résistance à la compression indiquent une augmentation progressive de la résistance avec le temps pour tous les mélanges, reflétant ainsi une amélioration continue des propriétés mécaniques. Cette tendance est cohérente avec la nature de renforcement de la perlite, qui semble renforcer la structure du mortier au fil du temps. Plus précisément, les échantillons contenant des pourcentages plus élevés de perlite présentent généralement des valeurs de résistance plus élevées, ce qui suggère un effet bénéfique de l'ajout de perlite sur la résistance à la compression du mortier. Ces résultats mettent en évidence le potentiel de la perlite comme un additif efficace pour améliorer les propriétés mécaniques du mortier

VI .3. Conclusion

L'ajout de perlite dans le mortier s'avère bénéfique pour ses propriétés d'absorption d'eau et ses caractéristiques mécaniques. La perlite permet de réduire l'absorption d'eau, d'augmenter la résistance à la flexion et à la compression, et d'améliorer la maniabilité du mortier ainsi de réduire la quantité de chaleur absorbée. Ces résultats font de la perlite un additif prometteur pour le développement de mortiers performants et durables, avec des applications potentielles dans divers domaines du bâtiment.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Notre étude a démontré que la perlite de Maghnia peut être intégrée efficacement dans les mortiers, avec des concentrations variant de 0% à 25%. L'objectif de ce travail était d'étudier la composition, la caractérisation physico-chimique, mécanique et thermique des mortiers. Les conclusions principales que nous avons tirées sont les suivantes :

Les résultats de l'étude sur le comportement des mortiers frais en fonction du dosage de perlite indiquent que l'incorporation de perlite augmente les exigences en eau, et joue également un rôle dans l'accélération du temps de prise.

Il a été conclu qu'une substitution de 25% du ciment par de la perlite est le taux le plus bénéfique et le plus optimal. Cette proportion satisfait aux exigences d'amélioration de la résistance et de l'absorption capillaire, tout en offrant des opportunités pour renforcer la durabilité des mortiers.

Pour différents pourcentages, l'étude de la consistance normalisée met en évidence une variation proportionnelle en fonction du taux d'ajout de perlite. Les besoins en eau pour atteindre une consistance normalisée augmentent également avec le pourcentage d'ajout.

Le fait d'incorporer de la perlite naturelle dans le ciment entraîne une amélioration durable de la résistance mécanique à la compression.

La résistance à la compression des mortiers contenant de la perlite est améliorée lorsque les pourcentages de substitution de perlite sont compris entre 5% et 25%.

L'isolation thermique est considérablement améliorée en raison de la faible conductivité thermique des échantillons exposés à l'air.

En résumé, cette étude nous a donné l'opportunité de concevoir des mortiers fabriqués à partir de perlite naturelle de Maghnia en remplacement partiel du ciment, avec des taux allant de 5% à 25%, qui offrent des performances satisfaisantes en matière de résistance à la compression.

Liste des symboles

P0 : Echantillon du mortier témoin

P5 : Pourcentage de perlite 5% dans le mortier

P10 : Pourcentage de perlite 10% dans le mortier

P15 : Pourcentage de perlite 15% dans le mortier

P20 : Pourcentage de perlite 20% dans le mortier

P25 : Pourcentage de perlite 25% dans le mortier

P30 : Pourcentage de perlite 30% dans le mortier

E/C : Le rapport l'eau sur le ciment

E/L : Le rapport l'eau sur le liant

M0 : Echantillon du mortier témoin

M5 : Pourcentage de perlite 5% dans le mortier

M10 : Pourcentage de perlite 10% dans le mortier

M15 : Pourcentage de perlite 15% dans le mortier

M20 : Pourcentage de perlite 20% dans le mortier

M25 : Pourcentage de perlite 25% dans le mortier

M30 : Pourcentage de perlite 30% dans le mortier

SiO₂ : Dioxyde de Silicium

Al₂O₃ : Aluminium Oxide

FeO₃ : Oxide de Fer

CaO: Oxyde de calcium

MgO : Oxyde de magnésium

K₂O : Oxyde de potassium

Na₂O : Oxyde de sodium

SO₃ : Trioxyde de soufre

Cl : Clore

TiO₂ : Dioxyde de titane

PAF : Perte à feu

Résumé

Dans l'industrie du ciment, la recherche de liants plus économiques utilisant des déchets et des ressources naturelles est devenue cruciale pour surmonter la pénurie de ciment Portland. La perlite, une roche volcanique finement broyée, est employée comme additif minéral actif dans la production de ciment.

L'Algérie dispose d'un potentiel important pour cette ressource. Cette étude expérimentale examine les avantages et la faisabilité de l'utilisation de la perlite comme substitut partiel du ciment dans la fabrication du mortier, avec des taux de substitution en volume allant de 0 % à 25 %. Les tests ont été effectués pour évaluer le comportement physique, mécanique et thermique, y compris la consistance, le temps de prise, la maniabilité, la résistance mécanique, l'absorption capillaire et la résistance thermique.

Les résultats indiquent que la présence de perlite augmente le besoin en eau et accélère le temps de prise.

Le mortier contenant de la perlite développe une résistance mécanique supérieure à celle du mortier de référence à long terme, et améliore l'absorption capillaire.

De plus, le mortier à base de perlite présente des propriétés thermiques et physiques intéressantes, soulignant les avantages de la perlite en tant qu'isolant thermique et l'intérêt de renforcer cet ajout.

Mots-clés

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

Abstract

In the cement industry, the search for more economical binders using waste and natural resources has become crucial to overcome the shortage of Portland cement. Perlite, a finely ground volcanic rock, is used as an active mineral additive in cement production.

Algeria has significant potential for this resource. This experimental study examines the advantages and feasibility of using perlite as a partial substitute for cement in mortar production, with substitution rates ranging from 0% to 25% by volume.

Tests were conducted to evaluate the physical, mechanical, and thermal behavior, including consistency, setting time, workability, mechanical strength, capillary absorption, and thermal resistance.

The results indicate that the presence of perlite increases the water demand and accelerates the setting time.

Mortar containing perlite develops higher mechanical strength compared to the reference mortar in the long term and improves capillary absorption.

Additionally, perlite-based mortar exhibits interesting thermal and physical properties, highlighting the benefits of perlite as a thermal insulator and the importance of reinforcing this addition.

Keywords

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

ملخص

في صناعة الأسمنت، يتم التركيز بشكل متزايد على استخدام المواد البديلة والموارد الطبيعية لتقليل تكاليف الإنتاج وتعزيز استدامة العمليات. تمثل البيرلايت، وهي صخرة بركانية مطحونة، خياراً محتملاً كمادة رابطة جزئية في إنتاج الأسمنت البورتلاندي. يهدف هذا البحث التجريبي إلى دراسة تأثير إضافة البيرلايت بنسب تتراوح من 0% إلى 25% من حجم الملاط على خصائصه الفيزيائية والميكانيكية والحرارية. أظهرت النتائج أن البيرلايت يؤدي إلى زيادة في استهلاك الماء ويسرع وقت الإعداد، كما يعزز من المقاومة الميكانيكية والامتصاص الشعري للملاط على المدى الطويل. بالإضافة إلى ذلك، يتمتع الملاط الناتج بخصائص حرارية مثيرة للاهتمام، مما يعزز استخدام البيرلايت كمادة عازلة حرارياً.

الكلمات المفتاحية :

ملاط، بيرلايت، حالة الطاقة الأولية، امتصاص الرطوبة، مقاومة ميكانيكية، الخصائص الحرارية

Références Bibliographiques

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

[CHHAOUI.R, 2017]. Etude de la durabilité des matériaux cimentaires exposés aux attaques chimiques » thèse de doctorat, université UST Oran.

[LSUNMA, 1999]. Livret des substances utiles non métalliques de la Wilaya de Tlemcen. Edition du service géologique d'Alger

[HAMDACHE, 2017] « Résistances mécaniques, conductivité et résistance à la corrosion des mortiers pouzzolaniques » thèse de doctorat, ENP M-A Oran

[OULD MOUSSA. M ,2020] « Influence des ajouts pouzzolanique sur le comportement thermo-physiques des mortiers » mémoire de fin d'étude en master, Université de Mostaganem

[ERDEM et al.2007]. « Effect of various additives on the hydrations of perlite gypsum plaster and perlite portland cement pastes», Turk J Chem1997;21(3):209–14.

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

[MAAMAR BENHADJAR et al] « Influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers » mémoire de fin d'étude de master, Université de Mostaganem

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

[NOUMIA-NIATI.2022] "Valorisation de la perlite naturelle de Maghnia dans les mortiers (15-25 %)"mémoire de fin d'étude en master, Université de Mostaganem.