

Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

Faculté des Sciences et Technologies
Département de *Génie de civil*
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Génie civil*

Spécialité : *structure*

Par :

- Bouras Mohamed

- Bakelli Soufiane

Thème

**Etude comparative de la résistance entre deux matériaux de
construction ; la brique et la pierre**

Soutenu publiquement le :/06/2023

Devant le jury :

Dr. Cady .M

M.C.A.

Univ. Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire 2022/2023

Remerciements :

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force de continuer notre travail et de surmonter les difficultés que nous avons rencontrées.

Deuxièmement, nos chers parents pour nous avoir aidés à réaliser ce travail qui est le fruit de plusieurs années d'études.

Nos sincères remerciements vont à notre encadreur **Cady.M** Maître de Conférences A à l'Université de Ghardaïa, pour ses conseils avisés, pour ses qualités scientifiques et humaines, pour sa disponibilité.

Nos sincères remerciements vont à **Salhi.A** Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa qui nous a fait l'honneur d'avoir accepté de présider un jury de soutenance.

Nous remercions également **Laroui .A** Maître Assistant à l'Université de Ghardaïa pour son accord pour statuer sur ce travail.

Un merci tout particulier au Laboratoire Travaux Publics de Sud (**LTPS**) de la Province de Ghardaïa, et Monsieur *Amieur Abdnacer* qui nous a soutenus et nous a fourni tous les moyens disponibles pendant les mois passés au laboratoire.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude spéciale à **Ahmed.N** propriétaire du projet Ksar Tafilalet, pour son accueil chaleureux et les informations précieuses qu'il nous a fournies sur le sujet.

.

DÉDICACE

Nous dédions également ce travail à notre parents bien-aimé, ainsi qu'à toute la famille BOURAS et BAKELLI, plus particulièrement à nos cousins et cousines.

Nous voulons adresser nos remerciements à tous nos amis sans exception, qui ont été présents à nos côtés durant ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à tous qui ont travaillé dur avec nous pour accomplir ce mémoire.

Enfin, nous dédions ce travail à toute la promotion génie civil

- Structures - 2022-2023."

Résumé

Résumé :

L'objectif de cette étude est de comparer les matériaux de construction, abondamment utilisés dans la région de Ghardaïa, tels que les pierres locales et les briques, nous avons réalisé des expériences sur ces matériaux pour évaluer leurs avantages et leurs inconvénients, en mettant l'accent sur leur durabilité et leurs propriétés mécaniques, l'objectif ultime de notre étude est de fournir aux entrepreneurs, architectes décideurs des informations précieuses pour prendre des décisions éclairées dans le choix des matériaux de construction adaptés à la région de Ghardaïa.

Nous prenons en compte les exigences de durabilité et les propriétés mécaniques des matériaux étudiés, tout en tenant compte du facteur coût qui joue un rôle important dans notre temps présent.

Nous sommes conscients de l'importance croissante de la durabilité dans de nombreux pays à travers le monde et nous cherchons à recommander des matériaux durables qui répondent à ces exigences et nous avons fourni des solutions à ce sujet.

Mots de clé :

La pierre – la brique – la résistance mécanique – Ghardaïa - matériaux de construction – durable

- Abstract:

The objective of this study is to compare building materials widely used in the Ghardaïa region, in particular local stone and bricks, and we have conducted experiments on these materials to assess their advantages and disadvantages, focusing on their durability and mechanical properties. The ultimate aim of our study is to provide contractors, architects and decision-makers with valuable information to make informed decisions in choosing appropriate building materials for the Ghardaïa region.

We take into account the durability requirements and mechanical properties of the materials studied, bearing in mind the cost factor, which plays an important role in today's.

We are aware of the growing importance of sustainability in many countries around the world, and we seek to recommend sustainable materials that meet these requirements, and have provided solutions for this.

Keys words:

The Stone –The brick – resistance mechanical – Ghardaïa - building materials – sustainable

ملخص:

هدف هذه الدراسة يتمثل في مقارنة مواد البناء المستخدمة على نطاق واسع في منطقة غرداية، وتحديدًا الحجر المحلي والأجر. قمنا بإجراء تجارب على هذه المواد لتقييم مزاياها وعيوبها، مع التركيز على متانتها وخصائصها الميكانيكية. الهدف النهائي من الدراسة هو تزويد المقاولين والمهندسين المعماريين وصناع القرار بمعلومات قيمة لاتخاذ قرارات مستنيرة في اختيار مواد البناء المناسبة لمنطقة غرداية.

نحن نأخذ في الاعتبار متطلبات المتانة والخصائص الميكانيكية للمواد المدروسة، ونولي اهتمامًا لعامل التكلفة الذي يلعب دورًا مهمًا في العصر الحالي.

نحن ندرك أهمية الاستدامة المتزايدة في العديد من البلدان حول العالم، ونسعى لتوصية بالمواد المستدامة التي تلبى هذه المتطلبات، وقد قدمنا بالفعل حلولًا في هذا الصدد.

الكلمات المفتاحية:

الحجر – الأجر – المقاومة الميكانيكية – غرداية – مواد البناء – استدامة.

SOMMAIRE

SOMMAIRE I
LISTE DES TABLEAUX IV
LISTE DES FIGURES V
LISTE DES NOTATIONS IV
INTRODUCTION GENERALE..... 1

PARTIE I : ETUDE THEORIQUE

INTRODUCTION :5

CHAPITRE I ETATS DE L'ART

INTRODUCTION : **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
I.1. THESES DE DOCTORAT : 5
I.2. MEMOIRES DE MAGISTER : 5
I.3. MEMOIRES DE MASTER : 6
CONCLUSION..... 7

CHAPITRE II : LA RESISTANCE MECANIQUE DE LA BRIQUE

INTRODUCTION : 8
II.1. COMPOSANTES DE BRIQUES : 9
II.2. TYPE DE BRIQUES : 9
II.2.1. Brique en terre cuite : 9
II.2.2. Brique silico-calcaire : 18
II.2.3. Brique en terre crue : 21
CONCLUSION : 27

CHAPITRE III : LA RESISTANCE MECANIQUE DE LA PIERRE

III.1. HISTOIRE DE CONSTRUCTION EN PIERRE : 28
III.2. L'ORIGINE DES PIERRES : 28
III.3. DEFINITIONS : 29
III.4. LES TYPES DE PIERRE DE CONSTRUCTION : 30
III.4.1. La pierre de granit : 30
III.4.2. La pierre de marbre : 31

SOMMAIRE

III.4.3. La pierre de calcaire	33
III.4.4. La pierre de grès :	34
III.5. EXPLOITATION ET UTILISATION DES PIERRES NATURELLES DANS LE SECTEUR DU GENIE CIVIL :.....	36
III.6. LES 'ESSAIS SUR LA PIERRE :.....	36
CONCLUSION :.....	38
CONCLUSION :.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

PARTIE II : DEMARCHE EXPERIMENTALE ET MATERIAUX D'ETUDE

INTRODUCTION.....	40
-------------------	----

CHAPITRE IV : METHODE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAUX

INTRODUCTION.....	40
IV.1. PRESENTATION DE SITE D'ETUDE	40
IV.1.1. Situation géographique :	40
IV.1.2. Secrets climatiques :.....	41
IV.1.3. Matériaux et techniques de construction :.....	42
IV.2. PRESENTATION DE CAS D'ETUDE.....	43
IV.3. L'ECHANTILLONNAGE.....	44
IV.3.1. Concernant la pierre :	44
IV.3.2. Concernant la brique :	46
IV.4. METHODES DE CARACTERISATION EXPERIMENTALE :	46
Introduction :.....	46
IV.4.1. Analyse chimique (EN P 15 -461) :.....	46
IV.4.2. Résistance à l'altération :	47
IV.4.3. Résistance physique :	47
IV.4.4. Résistance mécaniques :	48
CONCLUSION :.....	48

V. CHAPITRE V : LES ESSAIS DE RESISTANCE MECANIQUE49

INTRODUCTION.....	49
V.1. LES ESSAIS MECANQUES DE LA PIERRE	49
V.1.1. Analyse chimique (EN P 15 -461) :.....	49
V.1.2. Résistance mécanique :	50

SOMMAIRE

V.1.3. Résistance à l'altération :	58
V.1.4. Résistance physique :	61
V.2. LES ESSAIS MECANQUES DE LA BRIQUE.....	63
4.1.1 Analyse chimique (EN P 15 -461) :	63
4.1.2 Résistance mécanique	64
4.1.3 Résistance à l'altération	69
4.1.4 Résistance physique	72
V.3. LA COMPARAISON DE RESISTANCE MECANIQUE DE LA BRIQUE ET LA PIERRE :	73
CONCLUSION :.....	74
CONCLUSION : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	74
CONCLUSION GENERALE	81
LES PERSPECTIVES DE RECHERCHE :.....	82
BIBLIOGRAPHIE :	83

Liste des tableaux

Liste des tableaux

TABLEAU 1: COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ARGILE	9
TABLEAU 2: PROPRIETES DES BRIQUES CREUSES :	16
TABLEAU 3: RESISTANCE THERMIQUE DES BRIQUES CREUSES :	16
TABLEAU 4: PROPRIETES DES BRIQUES PLEINES ET PERFORES :	16
TABLEAU 5: RESISTANCE THERMIQUE DES BRIQUES PLEINES ET PERFORES :	17
TABLEAU 6: CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES BRIQUES BP/BRIQUE PERFOREES	17
TABLEAU 7: CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES BRIQUES CREUSES	18
TABLEAU 8: CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES BRIQUES.....	18
TABLEAU 9 : DIFFERENTS FORMATS DE BSC.	20
TABLEAU 11: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU PISE.....	24
TABLEAU 12: PERFORMANCES TECHNIQUES DES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE.....	26
TABLEAU 13: CARACTERISTIQUES DES BRIQUES DE TERRE CRUE (ADOBE, PISE, BTC)	27
TABLEAU 14: AVANTAGE ET INCONVENIENTS LE GRANIT	31
TABLEAU 15: AVANTAGE ET INCONVENIENTS LE MARBRE	32
TABLEAU 16: AVANTAGE ET INCONVENIENTS LE CALCAIRE.....	34
TABLEAU 17: AVANTAGE ET INCONVENIENTS LE GRE.....	35
TABLEAU 18: LES ESSAIS D'IDENTITE	36
TABLEAU 19: LES ESSAIS D'APTITUDE A L'EMPLOI	37
TABLEAU 20: DONNEES CLIMATIQUES DE LA WILAYA DE GHARDAÏA.....	41
TABLEAU 21: LES COMPOSANTS DE LA PIERRE	50
TABLEAU 22: NORME EUROPEENNE NBN EN 1926	51
TABLEAU 23: NORME ESSAI LOS ANGELES.....	55
TABLEAU 24: NORME ESSAI LOS MICRO D' EVAL	57
TABLEAU 25: MASSE ET RESISTANCE COMPRESSION.....	61
TABLEAU 26: EXEMPLE DE MASSES VOLUMIQUES APPARENTES DE PIERRES NATURELLES.....	62
TABLEAU 27: COMPOSANTS LA BRIQUE	64
TABLEAU 28: MASSE ET COMPRESSION GEL ET DEGEL	72
TABLEAU 29: AVANTAGE ET INCONVENIENTS DE LA BRIQUE ET LA PIERRE.....	73

Liste des figures

Liste des figures

FIGURE 1: BRIQUE PLEINES ET PERFOREES B10 ET B12	12
FIGURE 2: BRIQUES CREUSES DE TERRE CUITE A PERFORATION HORIZONTALE.	13
FIGURE 3: BRIQUES CREUSES TYPE : C ET RJ.....	14
FIGURE 4.: FABRICATION DE L'ADOBE.....	21
FIGURE 5: L'ADOBE.....	21
FIGURE 7: DIFFERENTS PRODUITS DE BLOCS DE TERRE COMPRIMEE	24
FIGURE 8: LA PLUS ANCIENNE MAISON EN PIERRE	28
FIGURE 9: ROCHES SEDIMENTAIRES	29
FIGURE 10: LE GRANIT.....	30
FIGURE 11: MARBRE	32
FIGURE 12: LE CALCAIRE.....	33
FIGURE 13: LES GRES.....	34
FIGURE 14: GHARDAIA	40
FIGURE 15: CAROTTEUSE	44
FIGURE 16: PREPARER LA ROCHE.....	45
FIGURE 17: EXTRACTION DE L'ECHANTILLON	45
FIGURE 18: BRIQUES CREUSES B8.....	46
FIGURE 19: MACHINE D'ESSAI DE COMPRESSION (LTPS)	50
FIGURE 20: ECHANTILLONS DE PIERRE CYLINDRIQUE (5 *10 CM)	50
FIGURE 21: ESSAI DE COMPRESSION (LTPS).....	51
FIGURE 22:DISPOSITIF D'ESSAI DE TRACTION PAR FENDAGE	52
FIGURE 23: ECHANTILLONS DE PIERRE CYLINDRIQUE (5 *10 CM).	52
FIGURE 24: MACHINE LOS ANGELES	53
FIGURE 25: BROYEUR.....	53
FIGURE 26: TAMIA 10 CM ET 14 CM.....	54
FIGURE 27: ETAPES D'ESSAI LOS ANGELES	54
FIGURE 28: EPROUVETTE GRADUEE	56
FIGURE 29: MACHINE MICRO D' EVAL.....	56
FIGURE 30:L'APPAREIL ULTRASONIQUE	58
FIGURE 31: MESURER LE POURCENTAGE D'EAU ABSORBEE.....	59
FIGURE 32: ÉCHANTILLONS DE PIERRE	60
FIGURE 33: BALANCE.....	60

Liste des figures

FIGURE 34: CHAMBRE GEL DEGEL	60
FIGURE 35: MESURE MASSE VOLUMIQUE.....	62
FIGURE 36: ESSAI DE COMPRESSION (LTPS).....	65
FIGURE 37: ECHANTILLONNE DE BRIQUE CREUSE (4 CM ; 4 CM ; 16 CM)	67
FIGURE 38: APPARIALE DE TRACTION	67
FIGURE 39: ESSAI ULTRASONIQUE	68
FIGURE 40: ÉTAPES DE MESURE DU POURCENTAGE D'EAU ABSORBÉE PAR LES BRIQUES.....	69
FIGURE 41: ÉTAPES DE MESURE DE PRESSION POUR LES RESULTATS DE GEL ET DEGEL.....	71
FIGURE 42: PREPARATION L'ESSAI MASSE VOLUMIQUE	72
FIGURE 43: LA MAISON	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 44: LE SOL.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 45: LES FAÇADES ET MUR EN PIERRE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 46: PARC ECOLOGIQUE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE 47: ESSAI D'ECRASEMENT (RESISTANCE A LA COMPRESSION) SUR LA PIERRE	84
FIGURE 48: ESSAI D'ECRASEMENT (RESISTANCE A LA COMPRESSION) SUR LA BRIQUE.....	84
FIGURE 49:ESSAI D'ECRASEMENT (RESISTANCE A LA TRACTION) SUR LA BRIQUE	84
FIGURE 50:ESSAI D'ECRASEMENT (RESISTANCE A LA TRACTION) SUR LA PIERRE.....	84
FIGURE 51: ESSAI ULTRASON SUR LA BRIQUE.....	84
FIGURE 51: ESSAI ULTRASON SUR LA PIERRE.....	84

Liste des Notations

Liste des Notations

R_c : Résistance de compression (Mpa)

F_T : Force de rupture (Kn)

D : Diamètre (mm)

L : Longueur (mm)

F_{max} : Force maximal (KN)

S : Surface (m^2)

L_A : Rendement los Angeles (%)

M : Masse (kg)

Med : Rendement micro d'eval (%)

v : Vitesse de propagation des ondes longitudinales (m/s)

ρ_a : Masse volumique apparent (kg/m^3)

P : Poids

V : Volume (m^3)

dB : Unité Isolation aquatique

$m^2 \cdot ^\circ C/W$: Unité résistance thermique

Mohs : Unité dureté

$W/m.K$: Unité conductivité thermique

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La brique et la pierre sont des matériaux de construction largement utilisés en raison de leur durabilité, de leur résistance et de leur esthétique. La brique est fabriquée à partir d'argiles cuites et est appréciée pour sa résistance à la compression et sa capacité à supporter des charges lourdes. Elle est utilisée depuis l'Antiquité et est couramment utilisée pour construire des murs porteurs, des façades et d'autres éléments architecturaux.

D'un autre côté, la pierre est un matériau naturel extrait de carrière. Il existe différents types de pierres telles que le granite, le calcaire, le grès et le marbre, chacun offrant une variété de couleurs et de textures. La pierre est appréciée pour sa beauté naturelle, sa durabilité et sa résistance aux intempéries. Elle peut être taillée et façonnée pour créer des éléments architecturaux complexes tels que des colonnes, des arcs et des sculptures. Elle est souvent utilisée dans la construction de bâtiments historiques, de monuments et de structures durables.

Bien que la brique et la pierre présentent de nombreux avantages similaires en tant que matériaux de construction, il existe des différences importantes entre les deux. Les briques peuvent être fabriquées en grandes quantités de manière industrielle, ce qui les rend plus abordables et faciles à obtenir. En revanche, l'extraction, la taille et la préparation de la pierre peuvent être plus coûteuses et nécessitent souvent un travail artisanal. Par conséquent, la pierre est souvent considérée comme un matériau plus prestigieux et est souvent utilisée dans des projets architecturaux haut de gamme.

Problématique :

Notre problématique se pose en fonction de la résistance mécanique de ces deux substances, donc :

- Quelles sont les propriétés mécaniques de la brique et la pierre ?
- Actuellement l'utilisation de la brique est très remarquable par rapport à la pierre, alors que présente la brique comme avantages ?

Objectifs d'étude :

Cette étude vise les distinctifs et les avantages de la résistance mécanique de la brique et de la pierre à travers une comparaison qui nous dévoile le bon choix de matériaux dans la réalisation des constructions.

INTRODUCTION GENERALE

Hypothèse : la pierre est solide, nous supposons dans cette étude que la pierre offre une durabilité supérieure aux briques quoi que son utilisation réduise avec le temps.

La méthodologie (méthode expérimentale) :

Dans notre étude, nous effectuerons plusieurs essais sur la pierre et la brique, avec une attention particulière portée sur la résistance mécanique dans nos résultats, ainsi que sur certaines propriétés pertinentes compte tenu des ressources à notre disposition.

Pour détailler notre méthodologie, nous suivrons cette structure : objectif ou le but de l'expérience, matériels utilisés, méthodes et résultats obtenus.

Structure de travail :

Notre travail est constitué de deux parties et cinq chapitres

- Introduction générale
- PARTIE I : Etude théorique
- Chapitre I : Etat l'art

Dans cet aspect, nous avons présenté quelques recherches antérieures liées à la résistance des matériaux (briques et pierres).

- Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Nous avons fourni un aperçu des briques, en décrivant leur méthode de fabrication, les différents types disponibles, ainsi que les caractéristiques qui les rendent uniques.

- PARTIE II : Démarche expérimentale et matériaux d'étude
- Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Nous allons fournir un aperçu de la pierre en présentant ses différents types et caractéristiques.

- Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Nous allons vous présenter les principales étapes cruciales sur lesquelles nous appuyons lors de nos expériences.

- Chapitre V: Les essais de résistance mécanique

Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence les expériences les plus significatives que nous avons menées en laboratoire, ainsi que les résultats obtenus.

- Conclusion : Résultats et discussion

INTRODUCTION GENERALE

Nous allons exposer les résultats et les analyser en les confrontant

- Conclusion générale :

Nous proposerons un aperçu global des résultats les plus significatifs, tout en fournissant des solutions et des recommandations concernant les conclusions que nous avons tirées.

**PARTIE I : Etude
théorique**

Chapitre I : Etats de l'art

Introduction :

Les briques et la pierre sont des matériaux de construction connus pour leur résistance mécanique ; dans cette partie nous descriptions quelques types de briques qui offrent une excellente résistance à la compression, tandis que les briques de terre cuite résistent aux températures élevées et différents types de pierres, tels que le granit, le calcaire, le grès et le marbre, sont utilisés dans la construction ; le granit est très résistant à la compression, le calcaire et le grès offrent une résistance adéquate, et le marbre est à la fois beau et résistant. En utilisant ces matériaux, il est possible de construire des structures solides et durables, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, qui résistent aux charges et aux intempéries tout en ajoutant une esthétique attrayante

Dans ce chapitre, nous mettons en avant les études préalables les plus significatives portant sur la pierre et les briques. Il s'agit d'une compilation comprenant une thèse de doctorat ou mémoire master ou magister.

I.1. Thèses de doctorat :

((ÉTUDE DES OUVRAGES MAÇONNÉS EN PIERRE PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS DISCRETS - CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DU COMPORTEMENT COHÉSIF DES JOINTS)) Marie BISOFFI-SAUVE 2016:

L'objectif de cette thèse était de développer un outil de calcul permettant la modélisation des structures maçonnées en pierre. Notre préférence s'est tournée vers la méthode aux éléments discrets, encline à représenter le caractère cristallin de la maçonnerie, alors considérée comme une structure plutôt que comme un matériau à part entière. Plus particulièrement.

I.2. Mémoires de Magister :

Le mémoire de **Mohamed DJOUHRI**, réalisé en 2007, avait pour objectif d'utiliser le sable des dunes d'Ain El Beida, situé à Ouargla, pour la fabrication de briques (BRSD). Le but de cette recherche était d'explorer les propriétés et les caractéristiques de ces briques fabriquées à partir de ce matériau naturel.

CHAPITRE I : ETATS DE L'ART

Dans cette étude, l'auteur a utilisé du sable de dunes d'Ain El Beida comme matériau principal, ainsi que du ciment CPJ32.5 et de la chaux hydraulique XHA60 comme liants. Différents essais, tels que les essais ultrasoniques, l'essai d'écrasement, le séchage à 105°C, l'essai d'absorption d'eau par capillarité, la détermination de la masse volumique et de la porosité des briques, ont été réalisés pour évaluer les propriétés des briques.

Les résultats de la recherche ont montré que l'augmentation de la quantité de liant utilisé conduisait à une résistance à la compression accrue des briques. De plus, une plus grande vitesse de propagation des ondes sonores à travers les échantillons a été observée, indiquant une compacité et une densité plus élevées. Les briques fabriquées à partir de ce mélange présentaient également une conductivité thermique supérieure, une diminution de la porosité et une absorption d'eau réduite par les capillaires.

L'étude menée par **M. Abdeslam MEKHERMECHE** en 2014 avait pour objectif de créer des briques en terre présentant des qualités mécaniques et thermiques satisfaisantes pour une utilisation dans la restauration des Ksour sahariens. Dans cette recherche, l'auteur a utilisé du sable des dunes et des fibres de palmier dattier comme principaux matériaux de composition des briques.

Différents pourcentages massiques de sable et de fibres ont été testés, allant de 0 % à 40 % pour le sable et de 0 % à 3 % pour les fibres. Les résultats obtenus ont révélé que l'ajout de plus de sable aux fibres était bénéfique pour améliorer les caractéristiques thermiques des briques, tout en maintenant une résistance mécanique adéquate.

Cette recherche a donc démontré l'importance de la composition des matériaux dans la fabrication de briques en terre pour garantir à la fois des propriétés mécaniques solides et des performances thermiques optimales. Ces connaissances sont essentielles pour la restauration des Ksour sahariens, où les conditions climatiques locales et l'utilisation de matériaux traditionnels sont des aspects cruciaux à prendre en compte.

I.3. Mémoires de master :

((Modélisation lithologique de la Wilaya de Ghardaïa (Sud Algérien))) M. SALLOUH KHALED 2018 :

L'étude s'est déroulée dans la région de Ghardaïa (Numirat) au niveau de l'état, en utilisant diverses méthodes et données provenant du terrain et des laboratoires. En analysant les roches

CHAPITRE I : ETATS DE L'ART

présentes dans la zone d'étude, les chercheurs ont réussi à identifier les différentes couches géologiques formées.

(CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA MAÇONNERIE DE PIERRE TRADITIONNELLE À MURS MASSIFS) Éric BOLDIREFF 2018 :

Ce projet vise la caractérisation expérimentale de la MNA de pierre traditionnelle à murs massifs faits de deux parois séparées par un blocage de pierres et de débris de carrière enrobés de mortier.

((ÉTUDE DES OUVRAGES MAÇONNÉS EN PIERRE PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS DISCRETS - CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DU COMPORTEMENT COHÉSIF DES JOINTS)) :

L'objectif de cette thèse était de développer un outil de calcul permettant la modélisation des structures maçonnées en pierre. Notre préférence s'est tournée vers la méthode aux éléments discrets, encline à représenter le caractère cristallin de la maçonnerie, alors considérée comme une structure plutôt que comme un matériau à part entière. Plus particulièrement.

Conclusion

. Selon la comparaison des résultats de ces études généralement que la pierre a une durabilité beaucoup plus élevée que la brique ; la pierre est connue pour sa résistance aux intempéries, sa stabilité structurelle, sa résistance au feu, sa longévité exceptionnelle et son aspect esthétique attrayant. Cependant, il est important de prendre en compte d'autres facteurs tels que la qualité des matériaux, la méthode de construction et l'entretien régulier lors de la sélection d'un matériau de construction pour un projet particulier.

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Introduction :

L'histoire de la brique remonte à 7000 avant J.C, lorsqu'elle est apparue pour la première fois dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Étant donné la simplicité de sa production à partir d'argile ou de terre, son utilisation comme matériau de construction s'est développée au cours du IIIe siècle. Les premières maisons en brique ont été trouvées en Mésopotamie et en Irak et leur utilisation s'est rapidement étendue à tout le Moyen-Orient. (13)

Les briques jouent un rôle essentiel dans le développement de la conception structurelle. Sont utilisées comme une option pour les pierres dans la cause du développement. Certains des objectifs de base d'un kit de développement sont donnés ci-dessous :

- ✓ Développer des murs de toute taille.
- ✓ Développement de revêtements de sol.
- ✓ Développer des courbes et des gabarits

Composition de brique : Ces unités de matériaux de construction rectangulaires sont appelées briques. Pour construire la maçonnerie, comme les murs et les trottoirs, des briques sont utilisées. Dans les endroits où la pierre est difficile à trouver, elle est utilisée comme substitut de la pierre. Dans le mélange de béton, les chapes de briques sont fréquemment utilisées comme granulés grossiers.

Extraction : L'argile est le matériau de départ naturel des briques d'argile. Nous devons utiliser le terme "argile" au sens large et inclure les sols limoneux et schisteux, des matériaux ayant une composition minérale similaire, en considération.

Dans les carrières d'argile situées dans la région d'extraction, l'argile est extraite, Le sous-sol est rempli d'argile dont les qualités varient selon son origine géologique.

Une carrière d'argile se trouve généralement à côté d'une briqueterie. Certaines briqueteries mélangent de l'argile provenant de fosses d'argile supplémentaires pour augmenter la variété de leurs offres. Cependant, les transports sont encore rares. Vous devez savoir que chaque produit en terre cuite à besoin des matières premières appropriées pour être créé : les blocs de treillis sont fabriqués principalement à partir d'argiles et d'huiles récoltées. Les parements

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

d'argile et de limon utilisés pour fabriquer les briques ont été étirés et formés manuellement. (16)

Dans cette section, nous aborderons une introduction sur les briques, en mettant en évidence les types les plus importants, les méthodes de fabrication, ainsi que les caractéristiques qui les distinguent. De plus, nous examinerons les avantages et les inconvénients de chaque type

I.4. Composantes de briques :

La brique se constitue d'argile, un matériau très léger constitué de plusieurs types de roches.

L'argile n'est utilisable que si ses composantes varient entre mes limites admissibles suivantes :

Types de composants	Formulation	Tolérances %
Alumine	Al_2O_3	9 / 25
Silice	SiO_2	35 / 85
Chaux	CaO	0 / 25
Magnésie	MgO	0 / 5
Oxydes alcalins	$Na_2O + K_2O$	1 / 5
Sesquioxyde de fer	Fe_2O_3	3 / 9
Oxyde de titane	TiO_2	0.3 / 2
Anhydride sulfurique	SO_3	0 / 3
Gaz carbonique	CO_2	0 / 13
Eau de combinaison	H_2O	5 / 11

Tableau 1:Composition chimique de l'argile (13)

I.5. Type de briques :

I.5.1. Brique en terre cuite :

Est l'un des matériaux les plus utilisés par l'éco- construction. Il est assez conventionnel, utilisé depuis longtemps et de nombreux maçons l'utilisent encore partout. (30)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

I.5.1.1. Méthode de fabrication :

Est principalement fabriquée avec du sable et de l'argile. La couleur de la brique est déterminée par la coloration de celle-ci. Il est souvent rouge ou jaune. Cette brique faite à la main est chauffée à 1200 degrés dans un four. En conséquence, c'est un matériau de construction beaucoup plus précis historiquement que le parpaing. (30)

1. Matières premières :

Les argiles et les dégraissants sont les deux types de matières premières les plus fréquemment utilisées dans la production de produits en terre cuite. La matière première extraite est acheminée à l'usine, soit par camions, soit par voie ferrée, soit, plus rarement, par transporteurs à câbles ou transporteurs à bandes. La matière première excavée est amenée à l'usine par camions, rails ou, moins fréquemment, par câbles ou bandes transporteuses. (30). (31)

2. Préparation de la pâte Façonnage :

Les argiles utilisées pour fabriquer les briques sont tout d'abord dosées et malaxées de façon régulière. En terre cuite, on utilise principalement deux procédés : l'étirage et le pressage(31)

. La pâte obtenue est ensuite façonnée, mise en forme, dans un moule (46)

3. Séchage :

Le séchage des briques est effectué avec soin et conformément aux normes de l'industrie. Selon les argiles et les méthodes, les temps de séchage peuvent aller de quelques heures à plusieurs semaines(46)

4. Cuisson :

Il est nécessaire de les cuire à haute température (900 à environ 1050 oC) pour leur donner la chance de développer leur résistance mécanique, leur stabilité, leur résistance aux intempéries, etc. (31)

De la carrière au four

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Par four Hoffman :

Autour de 1000° est la température nécessaire à la cuisson des briques, et le déplacement du noyau assure un préchauffage progressif. (46)

Par four tunnel :

La deuxième partie du XXe siècle a vu le développement de cette technologie. Sur des chariots qui traversent un tunnel de feu, des briques sont empilées et chargées. Le processus de cuisson peut prendre de quelques heures à quelques jours, selon les argiles et la méthode. Le gaz naturel est le combustible le plus utilisé. (46)

I.5.1.2. Produits de cette brique :

a) Brique ordinaire :

I. La fabrication :

Il est important de suivre les bonnes pratiques en matière de fabrication pour garantir la qualité et la durabilité des briques, La fabrication de briques ordinaires est une procédure simple qui implique les étapes cruciales suivantes :

L'argile est préparée en étant extraite de la terre puis hydratée pour la rendre flexible.

II. Modelage :

Un moule en bois ou en métal est utilisé pour façonner la pâte d'argile en briques. Après cela, les briques sont sorties du moule et laissées durcir au soleil.

III. Cuisson :

Dans un four d'argile ou de briques, les briques sont chauffées à haute température afin de les durcir.

IV. Stockage :

Avant d'être utilisées dans la construction, les briques sont conservées pour s'assurer qu'elles sont entièrement sèches.

V. Peinture ou enduit des briques :

Pour des raisons de résistance aux intempéries et d'esthétique, certaines briques peuvent être peintes ou enduites.

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

VI. Produits :

Les briques peuvent être soit pleines ou perforées, Les briques pleines ou perforées se présentent sous forme d'un parallélépipède rectangle facilement préhensible d'une main, et dont la masse varie généralement de 1,8 à 2.5 kg. Les dimensions courantes sont 220 x 105 x 60 mm (26).

➤ Briques pleines :

Les briques utilisées pour éléments porteurs apparents sont des blocs solides qui ne comportent pas de trous ou d'espaces vides. Ont des dimensions standards qui varient selon les fabricants, elles sont généralement de forme rectangulaire avec des dimensions d'environ 22 cm x 10 cm x 6.5 cm.

➤ Briques perforées :

Peuvent être de forme rectangulaire ou carrée, avec des dimensions similaires à celles des

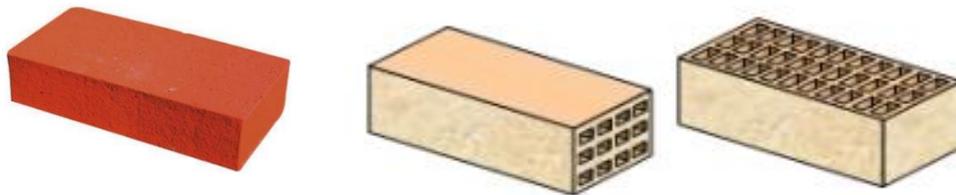


Figure 1: Brique pleines et perforées B10 et B12

briques pleines, les trous ou les espaces vides peuvent être de différentes tailles et formes.

La source : (MAÇONNERIES ET REVETEMENTS DE MURS ET SOLS EN TERRE CUITE APPARENTE. Janvier 2010)

➤ Briques creuses :

Ces produits sont régis par la norme NF P 13-301.

Il existe deux catégories de briques creuses : les briques de type C, conçues pour être posées avec des joints de mortier horizontaux continus, et les briques de type RJ, conçues pour être montées avec des joints de mortier discontinus.

Les trous des briques creuses, à l'exception de quelques accessoires, sont parallèles au plan de pose et couvrent plus de 40% de la section du produit. (31)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale :

Les produits avec des alvéoles parallèles à la posture et plus de 40% de leurs sections totales sont considérés comme des briques perforées horizontalement. De la section totale on peut distinguer essentiellement les sous-familles suivantes : (14)

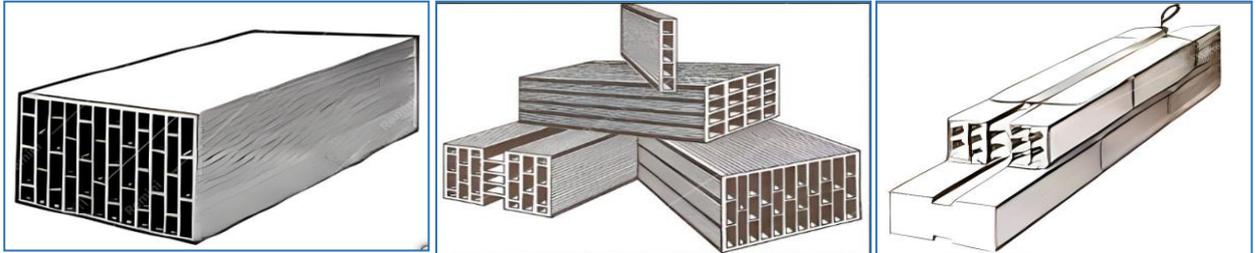


Figure 2: Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale.

La source : (S. BENMESSAOUD et all exposé sur la brique 02 2008)

✓ Les briques d'épaisseur de 3.5 à 7.5 cm, elles sont utilisées pour les cloisons ou « galandag »

✓ Les briques de moyen et grand formats:

Selon leur épaisseur, ils peuvent être appliqués au mur ou à la façade.

✓ Les briques de rupture de joint:

Ils disposent d'un caniveau central non mur au mortier lors de la pose sur l'une ou les deux faces de pose, ce qui améliore le comportement thermique et hygrothermique.

✓ Les briques G:

Des briques creuses à haut pouvoir isolant, souvent appelées « brique G », ont été réalisées pour répondre plus facilement aux critères des normes thermiques.

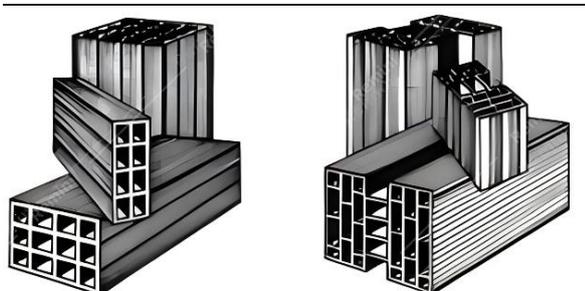
Brique de terre cuite à perforation verticales :

Un mur peut être construit sur toute son épaisseur à l'aide de blocs perforés, qui comportent des trous parallèles à la face de pose. Ils mesurent au moins 14 cm de large et le nombre total de trous ne représente pas plus de 60% de la surface totale. Ces blocs peuvent être soit des blocs conventionnels, soit des blocs de type G, selon leurs propriétés thermiques. (15)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Caractéristiques géométriques de briques creuses :

En général, la largeur (mesure perpendiculaire à l'épaisseur du mur) varie de 3,5 à 32,5 cm, les plus petites épaisseurs étant propres aux briques utilisées comme revêtements ou cloisons.



La taille varie de 40 à 60 cm de longueur et de 11 à 40 cm de hauteur. (31)

Figure 3: Briques creuses Type : C et RJ

(ALVISET I." Matériaux de Terre Cuite " ; Techniques de l'Ingénieur ; 1994.)

I.5.1.3. Caractéristique et propriété de brique en terre cuite :

a) Caractéristiques mécaniques :

*10 à 40 MPa de résistance à la compression théorique.

*La faible résistance à la traction et au cisaillement est le principal défaut de la brique en terre cuite ; par conséquent, les aspects techniques tels que le chaînage, les bords et les têtes de mur doivent être soigneusement pris en compte.

Puissance de compression :

-5 à 40 MPa pour la vieille brique pleine

-8 à 40 MPa pour brique pleine ou perforée

La brique de terre cuite présente une bonne résistance aux intempéries contrairement aux briques de terres crues. (29)

	Tolérances applicables aux dimensions			Ecart admissible entre		
Type	Longueur	Largeur	Hauteur	Longueur	Largeur	Hauteur

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Briques calibrées	$\pm 3\%$ (≤ 10 mm)	$\pm 3\%$ (≤ 10 mm)	± 3 mm	$\leq 3\%$ et ≤ 10 mm	≤ 3 mm
Briques Spéciales	Pas d'exigence		± 4 mm	Pas d'exigence	≤ 5 mm

Tableau 2: Les caractéristiques géométriques des briques pleins-perforées

b) Caractéristiques thermiques :

Les briques de terre cuite présentent des caractéristiques très variables suivant les techniques de cuisson et la nature des terres utilisées.

Brique pleine ancienne : 5 à 40 MPa.

Brique pleine ou perforée : 8 à 40 MPa. (29)

c) Caractéristiques physique :

I. L'absorption d'eau :

Les coefficients d'absorption d'eau ne doit pas dépasser les valeurs suivants :

*briques perforées : 30

*briques pleins filées au malaxeur vertical : 80

*briques pleines pressées : 60

*briques pleins filées a la mouleuse horizontale : 40 (14)

II. Dilatation à l'humidité :

La Dilatation a l'humidité par essai accéléré ne doit pas dépasser 1.6 mm/m à l'auto-clave, et 0.6 mm/m en moyenne et 0.8 mm /m au maximum à L'eau bouillante. (14)

III. Résistance au gel :

Le test de congélation/décongélation de 25 cycles pour les produits est requis. Après essai, les modifications ne peuvent faire perdre à chaque brique plus de 1 % de sa masse d'origine. (14)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

IV. Recyclage et comptage carbone :

Le matériau peut être récupéré (ou réutilisé comme remblais dans une ancienne brique), La cuisson de la terre, qui nécessite une atmosphère de 700 kW/m³, dépend du bilan carbone. (14)

V. Éclatements :

La norme limite en nombre et en dimensions les cratères éventuellement apparus à la suite d'un essai destiné à accélérer l'expansion des grains de chaux ou de pyrite. (31)

I.5.1.4. Propriétés mécaniques de brique de terre cuite :

Les tableaux suivants répertorient les caractéristiques et les qualités des briques en terre cuite :

Tableau 2: Propriétés des Briques creuses (21-23) :

Masse volumique (Kg/m ³)	1750-2050
Absorption d'eau	< 15%
Isolation aquatique	41 -58 dB
Résistance à la compression	4 - 8 MPa

Tableau 3: Résistance thermique des Briques creuses (23) :

E : épaisseur en (cm)	5	10	20	25
R (m ² . °C/W)	0.10	0.20	0.39	0.55

Masse volumique (kg/m ³)	1650-2000
Absorption d'eau	30 - 80 %
Isolation acoustique	41 - 54 dB
Résistance à la compression	12.5 - 40 MPa

Tableau 4: Propriétés des briques pleines et perforés (23) :

Pleines	Perforés
---------	----------

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Epaisseur (cm)	R (m ² . °C/W)	Epaisseur (cm)	R (m ² . °C/W)
5.5	0.05	20	0.52
10.5	0.09	30	1.00
22	0.20	35	1.21

Tableau 5: Résistance thermique des briques pleines et perforés (23) :

Résistance à l'écrasement rapporté à la section brute				
Catégorie	Moyenne		Minimum	
	MPa	Bar	MPa	Bar
BP 40	4	40	3.2	32
BP 60	6	60	4.8	48
BP 80	8	80	6.4	64
BP 100	10	100	8	80
BP 120	12	120	9.6	96
BP 150	15	150	12	120
BP 200	20	200	16	160
BP 400	40	400	32	320

Tableau 6: Caractéristiques mécaniques des briques BP/Brique perforées (12)

Catégorie	Désignation	Résistance à l'écrasement rapporté à la section brute			
		Moyenne		Minimum	
		MPa	Bar	MPa	Bar
1	C ou RJ 40	4	40	3.2	32
2	C ou RJ 60	6	60	4.8	48
3	C ou RJ 80	8	80	6.4	64

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Tableau 7: Caractéristiques mécaniques des briques creuses (12)

Désignation	Résistance à l'écrasement rapporté à la section brute(Bar)	
	Moyenne	Minimum
Brique ordinaire	125	100
BP 200	200	160
BP 300	300	240
BP 400	400	320

Tableau 8: Caractéristiques Mécaniques des briques (12)

I.5.1.5. Avantages de brique de terre cuite :

*Inertie thermique exceptionnelle. En conséquence, il permet une excellente isolation thermique et la possibilité de contrôler la température ambiante en été comme en hiver.

* De par leur endurance dans le temps et la durée de vie de 100 ans des briques en terre cuite, les briques en terre cuite permettent une bonne prévention des ponts thermiques tout en réduisant le recours aux matériaux isolants.

*Ils sont également résistants au feu.

*La qualité de l'air intérieur est excellente et ce type de brique n'est ni inflammable ni combustible.

*Les COV ne sont pas libérés par la brique en terre cuite et elle régule l'humidité.

* Les propriétés hygrométriques de ce matériau, notamment la simplicité d'installation, l'esthétique et la prévention de la croissance des moisissures, sont particulièrement avantageuses. (24)

I.5.2. Brique silico-calcaire :

Brique silico-calcaire, C'est un produit qui a du succès dans de nombreux pays à travers le monde mais qui n'est toujours pas suffisant en Algérie.

Les principaux composants des briques silico-calcaires sont des matériaux siliceux finement pulvérisés, des matériaux siliceux finement broyés et de la chaux hydratée Ca (OH) 2, souvent

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

appelée chaux (ou ciment portland), qui est généralement traitée dans un autoclave. Deux types de produits sont fabriqués et utilisés dans la construction. (9)

I.5.2.1. Fabrication :

Le sable agit en tant qu'agrégat actif et le calcaire agit comme un liant lors de la fabrication de briques de silicium-calcaire. Le sable (de 89 à 91 % en poids) et le calcaire (89 à 91 % en masse) sont en première position du point de vue quantitatif, créant une sorte de squelette. (Matière de base de ces matériaux de construction). De plus, il est possible d'utiliser d'autres composants pour améliorer des qualités spécifiques telles que la couleur. L'eau, qui représente 7% du mélange de calcaire et de sable en poids, est cruciale. Il fournit au briquet brut la stabilité nécessaire et agit comme un milieu de réaction dans ses pores, formant les phases hydratantes qui donnent au produit final sa résistance d'une part. (36)

I.5.2.2. Silico-calcaire léger :

Ces matériaux sont produits en autoclavant une combinaison de sable, de silicium (60 à 65%), de calcaire et de ciment (35 à 40% au total). Un grand nombre de petites cellules sont produites dans le mélange par décharge de gaz à la suite de l'ajout de poudre d'aluminium au moment des déchets. Cette substance se présente sous forme de brique avec des surfaces lisses, une couleur pâle et des arêtes bien définies. (9) (36)

I.5.2.3. Silico-calcaire denses :

La majeure partie de la matière sèche est composée d'un mélange de calcaire brut (CaO) de l'ordre de 5 à 12 %, de sable propre de 0 à 5 mm et de 4 à 8 % d'eau.

Les mélangeurs continus alimentent généralement le matériau de manière régulière

Selon les modèles de presse, la sous pression varie de 15 à 45 MPa, 60 MPa étant particulièrement élevée. Comprimé ou comprimé – vibré. Ils sont traités pendant 6 à 14 heures à 0,8 à 0,8 pouce de pression dans des autoclaves. 1,2 MPa, soit entre 170 et 190 °C (9) (39) (28) (11)

a) Différentes formats de BSC :

Cinq formats actuellement disponible en Algérie :

*la DF, dont le module en mm est de $240 \times 115 \times 52 (L \times l \times h)$

*la NF, dont le module en mm est de $240 \times 115 \times 71$

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

*la 2 DF, dont le module en mm est de $240 \times 175 \times 113$

*la 3 DFA, dont le module en mm est de $240 \times 175 \times 150$

Si le matériau a trouvé du succès dans la structure, des proportions supplémentaires peuvent être suggérées et créées. Des aspects spéciaux seraient également extrêmement utiles pour l'architecte dans la conception de l'équipement et rendraient le processus de construction beaucoup plus facile. Le tableau suivant résume les mesures pour la longueur, la largeur et la hauteur de différentes briques selon la norme DIN 4172, qui est utilisée dans les pays de fabrication BSC, en particulier en Allemagne. (9)

Format	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Hauteur (cm)
1DF	240	115	52
NF	240	115	71
2DF	240	115	113
3DF	240	175	113
4DF	240	240	113
5DF	300	240	113
6DF	365	240	113
8DF	240	240	238
10DF	300	240	238
12DF	365	240	238
15DF	365	300	238
16DF	490	240	238
20DF	490	300	238

Tableau 9 : Différents formats de BSC (36)

b) Propriétés de brique Silico-calcaire :

Type de brique SC	Brique Silico-calcaire dense	Brique Silico-calcaire léger
Masse volumique (kg/m^3)	600 - 2200	300 - 800
Résistance à la compression (MPa)	6 - 60	1.5 - 7

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Conductivité thermique (w/m. °c)	1.16 -1.63 pour un masse volumique enter 1700-2100 (Kg /m ³)	0.08 pour un masse volumique enter 300 (Kg /m ³)
Absorption d'eau	4 à 8 %	
Isolation acoustique	48 dB	

Tableau 11 : Propriétés de brique Silico-calcaire (15)

I.5.2.4. Avantages et inconvénients :

a) Avantage :

*La majorité des briques silico-calcaires se comportent assez bien en gel, et elles peuvent supporter des températures allant jusqu'à 550°C du fait de leur manque de gélivité. (15)

*Les briques cuites et les briques silico-calcaires sont des matériaux de construction ininflammables.

b) Inconvénients

*Il est interdit d'utiliser des briques silico-calcaires pour la construction des fondations et des toits, car elles sont moins résistantes à l'eau que les briques en terre crue. Toutefois, les briques silico-calcaires peuvent être utilisées à d'autres fins.

(Briquettes de terre dure)

I.5.3. Brique en terre crue :

I.5.3.1. L'adobe :

Ce sont des briques de terre qui ont été séchées à l'air sans être cuites au four. Nous utilisons un sol argileux que nous pouvons compléter avec des fibres végétales. Les briques sont traditionnellement moulées à la main dans un moule en bois avant d'être séchées à une certaine température. (7)

a) Fabrication :

Terre mouillée (état plastique), moulée sous forme de briques, puis séchée au soleil.

b) Produits :

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée sont variés et varient quant à type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs, et aux destinations d'emploi. (9)



Figure 5: L'ADOBE



Figure 4.: Fabrication de l'adobe

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

(Source : <https://terre-crue-pierre.com/wp-content/uploads/2016/07/adobe1-205x200.jpg>)

c) Avantages et inconvénients de l'adobe :

Avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none">*Il a la capacité de contrôler l'humidité de l'air* humilient la chaleur.* Réduction de la consommation d'énergie* dépourvu de toute production de pollution virtuelle.* construction à moindre coût	<ul style="list-style-type: none">*Cassable* Besoin d'entretien à faire.

Nous avons montré les avantages et les inconvénients dans ce tableau suivant :



(Source: **Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H., & Almeida, J.** (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions.)

Le pisé :

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Le sol est typiquement conservé dans son état naturel d'humidité (la teneur en eau est modifiée s'il est trop sec ou trop humide), est de nature très sablonneuse, riche en graviers et cailloux, et peu argileux (10 à 20 %), avant d'être coulé dans un coffrage et mis en place.

Il est pilé (manuellement) jusqu'à ce que la saleté se transforme en un béton maigre qui durcit en séchant. Le bois est utilisé pour les formes traditionnelles. La région du Maghreb ainsi que l'Espagne, le Portugal, le Mexique, le Pérou et le Brésil abritent certains des exemples les plus étonnants de construction en pisé. De nos jours, la construction en pisé est encore soit très traditionnelle (comme au Maroc, en Amérique du Sud et en Chine) soit résolument contemporaine (comme aux États-Unis, en Australie et en France), avec un coffrage et un compactage pneumatique nettement améliorés. (9)

a) Fabrication :

Le mode de production du pisé est d'un principe simple : la terre est déversée dans un coffrage puis compactée. Cette simplicité peut néanmoins être contrariée si l'on ne dispose pas d'une bonne terre à pisé, si l'on compacte à une mauvaise teneur en eau, si les coffrages sont mal conçus ou l'organisation générale de la production inadaptée. Le retrait linéaire peut être accusé par des conditions climatiques extrêmes telles que les fortes chaleurs estivales.

Le degré de mécanisation, le type de coffrage utilisé et l'organisation du chantier ne sont que quelques-uns des nombreux facteurs qui affectent les rendements de production du pisé. Pour les petits projets de construction résidentielle, une équipe de 5 à 6 ouvriers, manuels ou mécaniques, peut produire des résultats satisfaisants pour des taux de 8 à 10 heures par mètre cube à 35 heures par mètre cube lorsqu'il est fait manuellement, et 5 à 6 heures par mètre cube à 30 heures lorsqu'il est effectué mécaniquement. (9)

b) Produits :

L'aspect général des matériaux empilés après compactage et décoffrage est celui d'un "béton maigre de terre", qui varie selon le type de sol (aspect des graviers et cailloux ou texture plus fine), du type de coffrage utilisé, et de les principes constructifs utilisés pour améliorer l'édification des terrassements empilés en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec les coffrages traditionnels). (9)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique



Figure 6: Différents produits de blocs de terre comprimée

c) Avantages et inconvénients du pisé :

Nous avons montré les Brique de terre crue comprimée (BTC) :

Composé de sable, de gravier et d'autres matériaux fins, le briquet de terre comprimé est un béton de terre (limons et argiles). La briquette est ensuite comprimée à l'aide de presses, soit opérées manuellement, soit alimentées par une transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique. avantages et les inconvénients dans ce tableau suivant :

Tableau 10: Avantages et inconvénients du pisé (6-25)

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

<p><u>Régulateur d'humidité :</u> Lorsqu'il y a un excès de vapeur d'eau dans l'air intérieur, la terre peut l'absorber, et lorsqu'il n'y en a pas assez, elle peut la libérer.</p> <p><u>Changement de phases de l'eau contenue dans les pores de la terre :</u> L'évaporation et la condensation de l'eau dans le mur produisent de la chaleur, faisant varier les propriétés de conductivité, de chaleur spécifique et de résistance à la vapeur.</p> <p><u>Isolation phonique et qualité acoustique :</u></p> <p><u>Durée de vie :</u> Les bâtiments centenaires sont fréquents dans la région.</p> <p><u>Faible impact environnemental :</u> Matériau facilement disponible à proximité, nécessitant peu d'énergie pour sa production et ayant un effet stabilisateur infini.</p>	<p>Tâches de maintenance annuelles</p>
--	--

Le mortier de calcaire, de sable et de sol est souvent ce qui est utilisé pour construire les briques (argile). Compte tenu du fait que la réglementation prévoit une capacité de charge de 300 psi, la capacité à charge de ce type de mur est d'environ 700 psi (48 bar) lorsqu'il est fraîchement achevé, peut atteindre 1000 psi (68 bar) C'est suffisant, et varie entre 2500 et 3900 psi (172 à 268 bar), même s'il est combiné avec du ciment (20,6 bar). (3)

d) Performances techniques :

Les blocs de terre comprimés ont une très large gamme de techniques de performance dans les réglages de fabrication réels. Cependant, un examen de leurs performances révèle quatre catégories différentes de blocs. Ces quatre types de blocs

Peut ne pas toujours correspondre à certaines méthodes de fabrication.

Néanmoins, les circonstances suivantes peuvent être liées :

Type A : le bloc de terrain n'est pas stable et compact

Type B : Tissu stable compact de terre débloqué dans les conditions appropriées.

Type C : bloc de terre compressée stabilisée qui a été en tissu avec soin en utilisant un équipement efficace et une méthodologie optimisée sur la qualité.

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

Type D : bloc de terre en tissu compact et stable dans un idéal industriel respectueux de l'environnement(22)

Tableau 11: Performances techniques des blocs de terre comprimée (22)

Performances techniques des blocs de terre comprimée						
Caractéristiques Mécaniques	Symbole	Unité	Type de bloc de terre comprimée			
			Type A	Type B	Type C	Type D
Résistance à la compression sec à 28 jours (+40% après 1 an, +50% après 2 ans)	RC sec 28	MPa	=2	2 4	> 4	>12
Résistance à la compression humide à 28 jours	RC hum 28	MPa	0,1 0,5	> 1	> 2	> 6
Résistance à la traction sec à 28 jours	RT sec 28	MPa	0,5 1	0,2 0,4		>2
Résistance à la flexion sec à 28 jours	RF sec 28	MPa	0,5 1			
Résistance au cisaillement sec à 28 jours	RCI sec 28	MPa	=0,5			
Coefficient de poisson	μ				0.15 0.35	
Module de Young	E	MPa			700 7000	
Masse volumique apparente	P	Kg/m ³	1700 2200	1700 2200	1700 2200	>2200
Uniformité des			Bon	Bon	Excellen	Excellen

Chapitre II : La résistance mécanique de la brique

dimensions					t	t
------------	--	--	--	--	---	---

e) Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, Brique de terre comprimée)

:

Caractéristiques	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique kg/m ³	1200-1700	1700-2200	1700-2200
Résistance à la compression MPa	2-5	<2.4	<2.4
Conductibilité thermique λ (W/m. °C)	0.46-0.81	0.81-0.93	0.81-1.04
Retrait au séchage mm/cm	1	1-2	0.2-1

Tableau 12: Caractéristiques des briques de terre crue (adobe, pisé, BTC) (22)

Conclusion :

La brique est un matériau de construction polyvalent, durable et esthétique. Elle offre de nombreux avantages, tels que la durabilité, l'isolation thermique, la résistance structurelle, le respect de l'environnement, la facilité d'entretien et une esthétique attrayante. Ces caractéristiques en font un choix populaire pour de nombreux projets de construction à travers le monde.

la brique en terre cuite est plus résistante, durable et offre de meilleures propriétés d'isolation que la brique en terre crue. Cependant, la brique en terre crue a un moindre impact environnemental et peut être utilisée de manière durable avec les bonnes précautions.

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Introduction :

Dans cette partie, nous étudierons la théorie de la pierre, en accordant une attention particulière à leur origine, aux principaux types de pierres, aux avantages et aux inconvénients de chaque variété de ces matériaux, ainsi qu'à leur utilisation dans le domaine du génie civil. En outre, nous aborderons les expériences les plus significatives réalisées sur les pierres pour déterminer leurs propriétés.

I.6. Histoire de construction en pierre :

Depuis l'époque préhistorique, l'homme n'a eu de cesse d'extraire la pierre pour son usage quotidien dans construite. Il l'a toujours considérée comme noble car durable, la pierre apparue dans la construction à partir de la fin du néolithique soit 10 000 ans avant ère et si symbole pour chaque civilisation et la preuve de la présence humaine dans cette régions via l'histoire (Egyptienne, Numidien, Mésopotamie.....), grâce à l'évolution technologique.

Au XXème siècle, la pierre est peu à peu renforcée par les parpaings de béton et va



Figure 7: La plus ancienne maison en pierre entièrement disparaître tel que matériau massif. (5)

Source : <http://www.aps.dz/ar/regions/131154-5>

mailto:http://elearning.univbiskra.dz/moodle2019/pluginfile.php/71526/mod_resource/content/1/cour%20n%2005.pdf

I.7. L'Origine des pierres :

La pierre est l'élément de construction le plus ancien, parmi le seul matériau naturel utilisé dans la construction.

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

L'origine de la pierre on distingue trois grandes familles de roches :

- **Roches sédimentaires** : Elles se composent à partir de la déposition et de la consolidation de sédiments tels que le sable, le gravier, les minéraux et les restes organiques. Exemples : calcaires, grès.
- **Roches magmatiques** : Elles se composent à partir de la solidification du magma et du lave. Exemples : basalte, granit, diorite.
- **Roches métamorphiques** : Elles se composent lorsque des roches sont soumises à des conditions de pression et de température élevées, telles que celles qui se produisent dans



Figure 8: Roches sédimentaires

Source : <https://www.gostten.com/2021/02/rock-mineral-types.html>

les zones de subduction. Exemples : schiste, gneiss, marbre. (38)

I.8. Définitions :

La pierre est un matériau naturel utilisé dans la construction, il se distingue par ses couleurs différentes et variées, en plus ses caractéristiques physico-chimiques, peut être classée en différents types, tels que le granit, le marbre, la pierre de lave, le calcaire et le grès, en fonction de leur composition chimique et de leur structure cristalline. Chacun de ces types de pierre peut avoir des propriétés distinctes, telles que la dureté, la résistance à la corrosion, la texture et la couleur, qui affectent leur utilisation et leur durabilité. Les facteurs tels que la composition chimique, la structure cristalline, la texture, la porosité, les conditions climatiques et les traitements de surface peuvent affecter la résistance de la pierre naturelle. (35-51)

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

I.9. Les types de pierre de construction :

I.9.1. La pierre de granit :

Le granit est une roche magmatique ; résultant du refroidissement de la lave volcanique (le magma), dans les tréfonds de la terre.

Le granit peut être extrait dans de nombreux pays comme l'Inde, en Afrique du Sud. Pourtant, il n'est pas besoin de le commander si loin quand on veut l'utiliser pour son habitation, car la Bretagne en est également largement pourvue.

Le granulat est une matière première très demandée par les consommateurs, il est à l'amont de toute activité de construction, de réalisation d'ouvrages, d'infrastructures et dans des



Figure 9: Le granit

applications
comme La
d'autoroutes
(49)

Source : <https://www.archiexpo.fr/prod/dvtstone/product->

nouvelles
construction
et de béton.

I.9.1.1. Caractéristiques physiques et mécanique

- Masse volumique : $2,66 \text{ g/cm}^3$
- Dureté : Entre 5 et 6 sur l'échelle de Mohs
- Densité : 2,7
- Résistance mécanique :
- Résistance à la compression : 172 N/mm^2
- Résistance à la flexion : Près de 16 N/mm^2
- Résistance à la traction : 2720 N/mm^2
- Conductivité thermique : $3,50 \text{ W/m.K}$ (32)

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

I.9.1.2. Usages :

Le granit est une pierre architecturale utilisée pour créer des éléments dimensionnels avec des formes spécifiques, souvent polies ou texturées, il peut être utilisé pour la sculpture, la fabrication de tablettes, de carreaux ou de pierres tombales, Le granit brut peut être transformé en gravats, cailloux ; d'autres roches telles que le calcaire et le marbre peuvent également être utilisées pour créer des pierres architecturales.

En raison de sa robustesse, le granit est utilisé comme sous-plan de lavabo dans les environnements humides et comme plan de travail dans les cuisines, où il peut même servir de planche à découper en raison de sa résistance, le granit peut également être transformé en objets décoratifs ou culinaires, comme des bols et des pilons pour écraser les aliments, à l'extérieur, le granit est utilisé pour le dallage des terrasses et des escaliers de jardin en raison de sa surface antidérapante naturelle. (2).

I.9.1.3. Les avantages et les inconvénients :

Tableau 13: Avantage et Inconvénients le granit (50)

avantages	inconvénients
Exceptionnellement dur. gouts esthétiques.	fragile, face à l'acidité. le granit peut ne pas remporter l'adhésion.

I.9.2. La pierre de marbre :

Le marbre est une roche de chaux carbonatée d'une grande dureté, de colorations très diverses, susceptible de recevoir après la taille un poli qui résiste aux injures du temps, Le marbre est un matériau de construction populaire pour les comptoirs de cuisine, les sols, les murs et d'autres applications décoratives en raison de sa beauté de sa durabilité. Cependant, il présente également certains avantages et inconvénients qui doivent être pris en compte lors de la décision de son utilisation. (18)

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre



Figure 10: marbre

Source : <https://atinegoce.fr/?product=roche-marbre-blanche>

I.9.2.1. Caractéristiques physiques et mécanique :(37)

- résistance à la compression entre 70 et 260 MPa
- résistance à la traction environ 7 et 20 MPa
- Densité de marbre entre 2.5 et 2.7 kg/cm²

I.9.2.2. Usage

En Algérie, le marbre est fréquemment utilisé à la fois dans la construction et à des fins ornementales. On le trouve dans de nombreuses structures publiques, hôtels, églises et résidences privées, et il est souvent choisi pour sa beauté et sa robustesse.

En plus d'être utilisé pour faire des sculptures, le marbre est également utilisé pour fabriquer des plans de travail pour les cuisines et les salles de bain, les sols et les piscines, est principalement utilisé dans la construction. Mais en plus de cela, il est utilisé dans une variété de professions et d'entreprises en raison de ses qualités chimiques. (49)(45)

I.9.2.3. Les avantages et les inconvénients :

Avantages	inconvénients
Beauté Durabilité Résistance à la chaleur	Coût élevé Sensible aux taches Nécessite un entretien La pierre pèse trop

Tableau 14:
Avantages et Inconvénients

le marbre (49)

I.9.3. La pierre de calcaire

Les roches calcaires sont principalement composées de carbonate de chaux (CaCO_3), tel que la calcite ou l'aragonite, avec une teneur d'au moins 50%. Elles sont souvent associées à la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) et à des minéraux argileux. Les roches calcaires représentent environ 20% de toutes les roches sédimentaires. Les plus anciennes connues remontent à environ 3



milliards d'années et présentent une structure algairé appelée stromatolithes. (33)

I.9.3.1. Caractéristiques physiques et mécanique :

Figure 11: Le calcaire

(Source : <https://aquiter.com/rocailles-rochers-bordeaux/rochers-calcaire/>)

La masse volumique totale variaient de $(95,923-3010,6) \text{ kg/m}^3$

La masse volumique sèche variait de $(2395,9-3010,1) \text{ kg/m}^3$

Résistance à la compression entre 50 à 60 Mpa

Résistance à la traction est : 2.5 Mpa

Le module de Young du calcaire : 34 Gpa

Conductivité thermique : 1,3 W/mK

La
mass
e
volu

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Densité : elle se situe entre 2,7 et 2,9 g/cm³.....(34 et 44)

I.9.3.2. Usages :

- Les blocs de pierre utilisés pour la construction de bâtiments.
- Revêtement en pierre sur les murs.
- Murs de soutènement.
- Pavages et dalles de sol.

I.9.3.3. Les avantages et les inconvénients :

Tableau 15: Avantage et Inconvénients le calcaire (51)

Avantages	inconvénients
- tailles personnalisables	- durabilité limitée
- Polyvalence	- poids des tuiles
	- entretien régulier

I.9.4. La pierre de grès :

Les grès sont des roches sédimentaires détritiques qui se forment lorsque des particules de sable, principalement du quartz, sont consolidées par un ciment naturel. Les grès se composent de grains de taille comprise entre 2 mm et 0,05 mm, appelés arénites, tandis que les particules plus petites sont appelées lutites ou pélites.

Les grès peuvent être différenciés en fonction de la nature des grains détritiques, tels que les



Figure 12: Les grès

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

grès quartzeux, micacés, glauconieux ou coquilliers. (40 -34)

(Source : https://unsplash.com/fr/photos/Z9_pOnIbgjg)

I.9.4.1. Caractéristiques physiques et mécanique :(10 -48)

- Densité : généralement entre 2,2 et 2,8 g/cm³.
- Absorption d'eau : L'absorption d'eau du grès peut également varier, mais en général, elle se situe entre 1 et 6% en poids.
- Résistance à la compression : généralement comprise entre 30 et 250 MPa, ce qui en fait un matériau assez résistant.
- Résistance à la flexion : généralement entre 5 et 15 MPa.
- Dureté : Le grès est considéré comme une roche dure, avec une dureté de 6 à 7 sur l'échelle de Mohs.
- Usure : Le grès a une bonne résistance à l'usure et à l'abrasion

I.9.4.2. Usages :

Le grès est une roche particulièrement prisée dans le domaine de la construction. Ses caractéristiques en font un matériau facile à travailler et résistant au gel. De plus, sa composition peut varier, ce qui lui confère une grande diversité de couleurs. En raison de ces propriétés, le grès est largement utilisé pour la fabrication d'encadrements, d'appuis de fenêtre, de seuils de porte, ainsi que d'éviers et de plaques de dallage très décoratives. (40)

I.9.4.3. Les avantages et les inconvénients :

Avantages	inconvénients
- Beauté	- L'absorption d'eau
- Durable	
- Respectueux de l'environnement.	

Tableau
16:
Avantag
e et
Inconvé
nients le

gré (10)

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

I.10. Exploitation et utilisation des pierres naturelles dans le secteur du génie civil :

Les pierres naturelles sont largement utilisées dans le secteur du génie civil, elles servent à la construction de murs porteurs en pierre massive, de cloisons et de revêtements ;elles sont également utilisées pour les dallages intérieurs et extérieurs, les éléments décoratifs tels que les appuis de fenêtres et les encadrements de portes, ainsi que pour la création de mobilier et d'aménagements d'espaces verts les pierres naturelles sont utilisées dans divers types de bâtiments tels que les logements sociaux, les hôpitaux , les bâtiments administratifs, les centres sportifs, les écoles et les crèches, elles sont également utilisées dans les revêtements de sol, les talus et les travaux de protection en pierre, les murs de soutènement font également partie des utilisations courantes des pierres naturelles . (20)

I.11. Les 'essais sur la pierre :

1.1.1.1 Les essais d'identité :

INTITULE	DESCRIPTION
- Masse volumique apparent	Indique le degré de compacité du matériau et évalue la masse pour un volume donné
- Porosité ouverte (%)	Mesure le volume des pores ouverts par rapport au volume total de la pierre. Les valeurs peuvent être presque nulles (certains granits) à 50 % pour des pierres tendres.
- Résistance à la flexion (Mpa)	Détermine le niveau de sollicitation admissible en flexion pour une pierre dans un ouvrage, en tenant compte des coefficients de sécurité adaptés

Tableau 17: les essais d'identité (41)

1.1.1.2 Les essais d'aptitude à l'emploi :

INTITULE	DESCRIPTION
Résistance à l'usure (mm)	l'essai détermine le comportement d'une pierre dans des conditions d'abrasion mécanique

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Absorption par capillarité	Détermine la quantité d'eau que la pierre peut absorber, par unité de temps et de surface.
Résistance à la compression (MPa)	Détermine le niveau de sollicitation admissible en compression pour une pierre.
Résistance au gel (cycles)	Détermine une caractéristique de durabilité essentielle pour les ouvrages extérieurs.
Résistance à la glissance (humide)	Détermine une caractéristique essentielle de sécurité pour l'utilisation de la pierre en revêtement de sol.

Tableau 18: les essais d'aptitude à l'emploi (41)

Chapitre III : La résistance mécanique de la pierre

Conclusion :

La pierre a été utilisée dans la construction depuis l'époque préhistorique et est considérée comme noble et durable. Elle a une grande variété d'origine, y compris les roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques. Chaque type de pierre a ses propres propriétés physiques et chimiques, ce qui influence son utilisation et sa durabilité.

Parmi les types de pierre de construction se trouve le granit, qui est largement utilisé pour des éléments architecturaux et des applications décoratives en raison de sa robustesse. Le marbre est aussi populaire pour sa beauté et sa durabilité, même s'il exige un entretien régulier. Le calcaire est utilisé pour les bâtiments, les revêtements muraux et les dalles de sol, mais sa durabilité est limitée. Le grès est prisé dans la construction en raison de sa facilité de travail et de sa résistance au gel.

Les pierres naturelles sont utilisées dans divers projets de génie civil, tels que la construction de murs, de cloisons, de revêtements, de dallages et d'éléments décoratifs. Elles sont couramment utilisées dans les bâtiments résidentiels, les hôpitaux, les bâtiments administratifs et les espaces verts.

La résistance mécanique des briques et de la pierre est un aspect essentiel à considérer dans le domaine de la construction et du génie civil. La brique, largement utilisée dans les éléments de construction, a une résistance mécanique variable selon sa composition, son type et son mode de fabrication; les briques sont généralement faites d'argile cuite et leur résistance dépend de facteurs tels que la qualité de l'argile, le processus de cuisson et la présence de renforts ou de cavités.

Quant aux pierres, elles ont été utilisées dans la construction depuis des milliers d'années et offrent une résistance mécanique élevée, la résistance des pierres dépend de leur type, qui peut varier en fonction de leur origine géologique et de leur composition minérale, des pierres telles que le granite, le marbre et le calcaire sont couramment utilisées dans le génie civil en raison de leur durabilité et de leur résistance.

**PARTIE II : Démarche expérimentale
et matériaux d'étude**

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Introduction

Nous avons fourni une description complète de la zone. De plus, nous avons réalisé des expériences et des recherches sur l'utilisation de la pierre et des briques en tant qu'échantillons. Ces échantillons sont essentiels pour compléter nos études sur les propriétés physiques et mécaniques, afin d'atteindre la résistance et la dureté des matériaux. Notre objectif est d'approfondir notre connaissance de ces matériaux et de leurs propriétés

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Introduction

Dans cette section, nous examinerons les différentes étapes nécessaires pour mener des expériences ; cela inclut la sélection dès l'échantillon (la pierre local et la brique creuse), l'étude de cas et la présentation des expériences les plus significatives que nous réaliserons sur ces échantillons.

II.1. Présentation de site d'étude

II.1.1. Situation géographique :

Ghardaïa est située à 600 km au sud de l'Algérie. Elle est située entre 32° 20' de latitude au nord et 0° 40' et 2° 30' de longitude à l'est. La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 37 105 km² depuis le plus haut sommet, Daya Ben Dhahoua, jusqu'au barrage d'El Atteuf dans la vallée. Elle est limitée aux zones suivantes : Au nord par la Wilaya de Laghouat ; Nord Est par la Wilaya de Djelfa ; à l'Est par la Wilaya de Ouargla ; au Sud par la Wilaya d'el menia ;

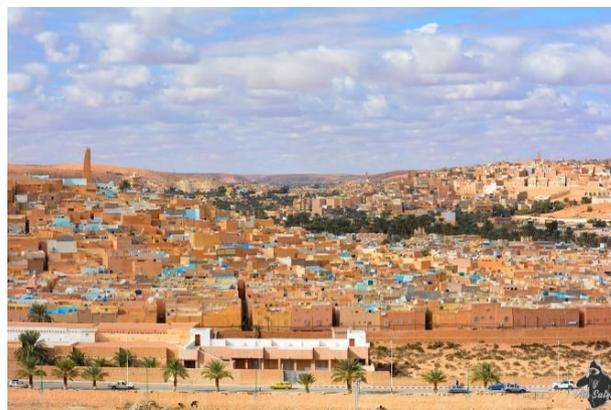


Figure 13: Ghardaia

https://www.santitravels.lt/wp-content/uploads/2019/02/32711356652_fa762c5e0a_b.jpg

Chapitre IV : Méthode et protocoles expérimentaux

et à l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad. (8)

II.1.2. Situation climatiques :

La région de Ghardaïa est située dans le sud de l'Algérie et est caractérisée par un climat aride.

Les facteurs climatiques qui influencent cette région comprennent la température, les précipitations, l'humidité et les vents.

* Cumul annuel.

Mois	T Moyenne °C	Précipitations (mm)	Humidité (%)	Evaporation (mm)	Insolation (H)	Vitesse Vent (m/s)
Janvier	12,39	4,95	50,44	100,21	248,95	23,46
Février	12,98	8,83	43,41	121,48	243,21	26,04
Mars	16,59	7,30	38,89	170,69	277,5	32,31
Avril	21,18	7,59	35,03	224,42	292,32	34,67
Mai	25,81	2,17	29,43	289,8	337,06	38,46
Juin	30,33	2,61	27,04	331,72	343,71	35,30
Juillet	34,52	1,53	22,95	374,62	353,71	31,95
Aout	34,05	4,74	27,00	333,3	322,52	33,88
Septembre	30,17	14,16	37,73	243,9	271,13	30,49
Octobre	24,41	10,56	43,36	174,59	270,59	27,34
Novembre	17,12	3,62	48,95	115,46	266,86	24,02
Décembre	12,70	5,35	54,99	85,14	239,81	23,36

Tableau 19: Données climatiques de la Wilaya de Ghardaïa (8)

Pluies :

Il y a des pluies sporadiques et très peu. Sauf en de rares circonstances, elles sont généralement brèves et torrentielles. Les précipitations maximales totales de 14,16 mm en septembre et de 1,53 mm en juillet constituent un total annuel de 60 mm. (8)

Température :

Les mois d'été de juin, juillet et août sont ceux où les températures maximales sont enregistrées.

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Bien que les températures mensuelles moyennes soient plus élevées, le maximum absolu dépasse souvent la normale tout au long de l'hiver. Les écarts thermiques sont très importants. Les chiffres indiquent que la température moyenne enregistrée au niveau de l'Etat de Ghardaïa pendant dix ans était de 30,23 degrés Celsius. La température minimale en janvier est de 3 °C, tandis que la plus élevée est de 45 °C en juillet (tableau 3). (8)

Humidité :

La moyenne maximale pour l'été est de 22,95 % en juillet, tandis que la moyenne maximale pour l'hiver est de 54,99 % en décembre. (8)

Evaporation :

Le maximum mensuel est de 374,62 mm en juillet et le minimum est de 85,14 mm en janvier en raison de la hausse des températures et des vents forts augmentant l'évapotranspiration. (8)

II.1.3. Matériaux et techniques de construction :

Touiza (volontariat) règne dans tous les bâtiments publics et privés de Ghardaïa depuis des générations.

Mais au cours des six ou sept dernières décennies, des maçons spécialisés ont émergé, et on leur a confié des projets de construction avec des compétences différentes.

Bien que le propriétaire ne l'ait pas construit lui-même, il a tout de même contribué à la conception générale de la maison.

Pour les grandes constructions publiques (barrages, mosquées, cimetières, etc.), chaque homme de la communauté pourrait aider ces bâtisseurs ou peut-être prendre entièrement position.

Il existe plusieurs façons. Les seules limitations opérationnelles sont mécaniques (résistance à la flexion, à la torsion, à la torsion, à la compression, à la traction et autres forces).

Afin de construire les installations de la manière la plus rationnelle possible, seuls des matériaux locaux ont été utilisés, et ce sont ces matériaux que nous aborderons. (27)

a) la pierre :

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Des blocs de pierre de différents diamètres sont extraits de couches régulières de calcaire blanc. Les pierres plates sont réservées aux compositions horizontales. (27)

b) la brique crue :

Il est créé à partir de la couche arable, qui est la plus argileuse et a à peu près la taille d'un parpaing. Après avoir été façonné, pétri et séché au soleil. (27)

Grâce à la technologie et au développement des techniques de construction, plusieurs types et formes de briques ont été produites pour une meilleure résistance mécanique et des matériaux respectueux de l'environnement, notamment (briques ordinaires pleines et perforées - briques creuses).

II.2. Présentation de cas d'étude

Dans cette étude, nous nous focalisons sur l'évaluation de la durabilité et de la résistance de deux matériaux de construction largement répandus : la pierre et la brique. Ces deux matériaux sont parmi les plus appréciés utilisés dans la région.

La pierre a une longue histoire dans la construction et la création de maisons, remontant à l'Antiquité, où elle était utilisée pour ériger des structures solides et durables. Sa force naturelle et son attrait esthétique en font un choix populaire. Cependant, avec les avancées dans le domaine de la construction, la brique est apparue comme une alternative concurrente à la pierre, en raison de son utilisation répandue et de son coût moins élevé par rapport à la pierre.

Parmi les différents types de briques, on trouve les briques creuses, qui se caractérisent par leur facilité d'utilisation et de manipulation, ainsi que par leur poids et leur coût comparativement inférieurs à ceux de la pierre.

Dans cette étude, nous examinerons de près les caractéristiques de durabilité et de résistance de la pierre et de la brique. Nous évaluerons leur capacité de résister aux contraintes structurelles, à l'usure et aux intempéries, ainsi que leur aptitude à maintenir leur intégrité à long terme. En analysant ces aspects, nous fournirons des informations précieuses aux professionnels de la construction et aux propriétaires de maisons pour les aider à prendre des décisions éclairées lors du choix entre la pierre et la brique pour leurs projets de construction.

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

II.3. L'échantillonnage

Dans cette étude, nous avons examiné deux matériaux, la pierre et les briques, en prélevant des échantillons des deux.

II.3.1. Concernant la pierre :

Plusieurs échantillons ont été extraits d'une des maisons de la commune d'Al-Atteuf, située dans la wilaya de Ghardaïa. Cette pierre spécifique est d'origine locale et provient de la couche géologique de la région de Ghardaïa.

Nous expliquons la méthode utilisée pour extraire les échantillons :

1. Équipement :

Pour réaliser le prélèvement, nous avons utilisé une perceuse spéciale appelée carotteuse.

Cette carotteuse est équipée d'un foret en fer et offre différentes tailles, notamment 5/10, 8/16 et 20/10, conçues pour percer et extraire des cylindres de roche. Les cylindres prélevés avaient des tailles variées, telles que 10/5.



Figure 14: carotteuse

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

2. Préparation :

Avant de commencer, il est crucial de préparer la roche et de sélectionner l'emplacement approprié pour le forage en fonction de l'objectif de l'échantillonnage. La surface de la pierre est polie et minutieusement nettoyée afin d'éliminer tout matériau indésirable.



Figure 15: préparer la roche

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

3. Perçage et Extraction de l'échantillon :

lors du processus de carottage, le foret en diamant de la carotteuse est inséré dans la pierre et mis en rotation à une vitesse élevée. Le foret pénètre progressivement dans la pierre, coupant et enlevant les matériaux sur son passage. La profondeur du carottage est déterminée en fonction des besoins spécifiques de l'échantillonnage. Une fois que le carottage est terminé, le foret est retiré de la pierre, laissant un cylindre de roche appelé carotte à l'intérieur du foret. Pour extraire la carotte, des outils appropriés tels que des extracteurs de carottes ou des pinces spéciales sont utilisés. Ces outils permettent de saisir la carotte à l'intérieur du foret et de la



Figure 16: Extraction de l'échantillon

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

retirer avec précaution.

II.3.2. Concernant la brique :

Nous avons collecté plusieurs échantillons de briques couramment utilisées dans la construction des maisons à Ghardaïa.

Ces briques sont de type creux.

Nous avons utilisé deux tailles de briques creuses pour notre étude : B 8 et B 12



Figure 17: briques creuses B8

II.4. Méthodes de caractérisation expérimentale :

Introduction :

Dans ce chapitre nous des descriptions les essais et les méthodes adoptes pour mesurer la brique et la pierre.

II.4.1. Analyse chimique (EN P 15 -461) :

L'analyse chimique est effectuée en chauffant de la poudre de brique et des éclats de pierre dans un four et de la chaleur appropriés, puis en analysant la solution résultante pour déterminer les concentrations de divers composés chimiques. Cette méthode permet d'évaluer la présence de différents éléments et composés chimiques des deux matériaux (poudre de brique ordinaire et miette de pierre).

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

II.4.2. Résistance à l'altération :

II.4.2.1. Absorption d'eau :

Dans cette méthode, des échantillons du matériau sont immergés dans l'eau pendant une période déterminée. Après l'immersion, les échantillons sont retirés de l'eau, essuyés pour éliminer l'eau en surface, puis pesés. La différence de poids avant et après l'immersion donne la quantité d'eau absorbée. Les résultats sont souvent exprimés en pourcentage d'absorption d'eau par rapport au poids initial de l'échantillon.

L'absorption d'eau de matériaux étudiés est le volume d'eau qu'elle absorbe lorsqu'elle est immergée dans l'eau ou y est exposée pendant une durée.

Elle peut être donnée par la relation suivante :

$$\text{Absorption d'eau (\%)} = [(MF - Mi) / Mi] \times 100$$

Où :

MF : est le poids final de l'échantillon après l'absorption d'eau

Mi : est le poids initial de l'échantillon avant l'absorption d'eau

II.4.2.2. Essai gel dégel :

Le test de gel-dégel, également connu sous le nom de test de cycle de gel-dégel, est une méthode utilisée pour évaluer la résistance d'un matériau aux changements de température répétés entre le gel et le dégel. Ce test est souvent utilisé pour évaluer la durabilité des matériaux dans des environnements où le gel et le dégel se produisent fréquemment.

II.4.3. Résistance physique :

II.4.3.1. Masse volumique :

Pour effectuer un test de densité, la masse exacte d'un échantillon de matière doit être mesurée à l'aide d'une balance appropriée. Ensuite, nous mesurons le volume de l'échantillon à l'aide de méthodes spécifiques adaptées au matériau, telles que l'immersion dans un fluide de référence et la mesure du déplacement de volume. Une fois que vous avez la masse et le volume, vous pouvez utiliser la formule ci-dessous pour calculer la densité d'une substance.

$$\text{Masse volumique} = \text{Masse} / \text{Volume}$$

Masse : poids des agrégats sec

Chapitre IV : Méthode et protocole expérimentaux

Volume : volume des agrégats

1.3.1 PROTOCOLE :

II.4.4. Résistance mécaniques : (17)

II.4.4.1. Essai de compression :

Cet essai évalue la résistance à la compression d'un matériau en appliquant une force de compression uni axiale jusqu'à ce que l'échantillon se déforme ou se fracture. Il fournit des informations sur la résistance à la compression, la limite élastique et la déformation du matériau sous compression.

II.4.4.2. Essai de Traction :

L'essai de traction consiste généralement à appliquer une force graduelle sur un échantillon de matériau jusqu'à ce qu'il se rupture.

II.4.4.3. Résistance à l'usure :

a) Essai los-Angeles :

On peut utiliser cet essai pour évaluer la durabilité des granulats utilisés dans la construction de routes en simulant les conditions de circulation réelles. Les résultats obtenus peuvent aider à identifier les matériaux les plus résistants et à optimiser leur utilisation pour une meilleure durabilité des routes

b) Essai micro-Deval :

Essai Micro Deval : (NF EN 1097-1) Cet essai permet de mesurer la résistance des granulats à l'usure par frottement Il est utilisé pour évaluer la qualité des granulats utilisés dans la construction de routes, de chemins de fer et d'autres infrastructures.

L'essai consiste à soumettre les granulats à un processus de frottement répété dans une machine de Micro Deval, et à mesurer la perte de masse résultante. Les résultats de l'essai peuvent aider à déterminer la durabilité.

Conclusion :

En conclusion, nous reconnaissons l'importance des étapes de la méthode et du protocole expérimentaux dans la conduite de nos prochaines expériences. Nous nous engageons à accorder une attention particulière à ces aspects clés pour assurer la rigueur scientifique de nos travaux.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillerons les méthodes expérimentales et les protocoles que nous avons suivis pour chaque expérience. Nous présenterons également les résultats obtenus qui en découlent, afin de contribuer à la compréhension de la résistance de la pierre et de la brique dans le contexte de la construction.

III.1. Les essais mécaniques de la pierre

Les expériences les plus importantes sur lesquelles nous nous sommes basés en laboratoire pour évaluer la résistance de pierre sont les suivantes :

III.1.1. Analyse chimique (EN P 15 -461) :

III.1.1.1. But :

Dans le cadre de notre étude, l'objectif de l'analyse chimique selon la norme EN P 15-461 est de déterminer la composition chimique des échantillons de pierre que nous avons prélevés. Cela nous permettra d'obtenir des informations détaillées sur les éléments et les composés présents dans la pierre, ce qui est essentiel pour comprendre sa nature chimique et évaluer sa qualité.

III.1.1.2. Méthode :

Dans cette expérience, nous avons prélevé des échantillons de miettes de pierre, et nous avons effectué les étapes suivantes : Mettre les échantillons à une température optimale pour identifier les composants de la pierre. Après ces expériences, nous avons obtenu ces résultats.

III.1.1.3. Résultat :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

Les résultats du tableau 21 indiquent clairement que les échantillons de pierre sont du **calcaire**, cette composition minérale est cohérente avec la présence de calcaire dans la zone étudiée, en adéquation avec la topographie caractéristique de la région.

Échantillon		Pierre
Insolubles NFP 15-461 Chapitre V : Les essais de résistance mécanique	Creuset +précipité	30.01
	Creuset vide	29.965
	Poids du résidu	0.052
	% Insolubles	5.2
Sulfates Bs 1377	Creuset +précipité	
	Creuset vide	25.039
	Poids du résidu	
	% SO_3^{-2}	
Carbonates NFP 15-461	V NaOH	
	% $CaCO_3$	89

Tabl
eau
20:
les
com
pos
ants

de la pierre

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

III.1.2. Résistance mécanique :

III.1.2.1. Essai de compression :

Nous avons réalisé l'essai de compression suivant en laboratoire pour déterminer la résistance des pierres

a) But :

Notre objectif était de mesurer la résistance à la compression de la pierre, c'est-à-dire la charge maximale qu'elle peut supporter avant de se fracturer.

b) Matérielles :



Figure 19: échantillons de pierre Cylindrique (5 *10 cm)



Figure 18: machine d'essai de compression

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

c) Méthode :

Nous avons placé chaque échantillon de pierre dans la machine d'essai de compression et appliqué une force axiale croissante jusqu'à ce que l'échantillon se fracture pendant le test,

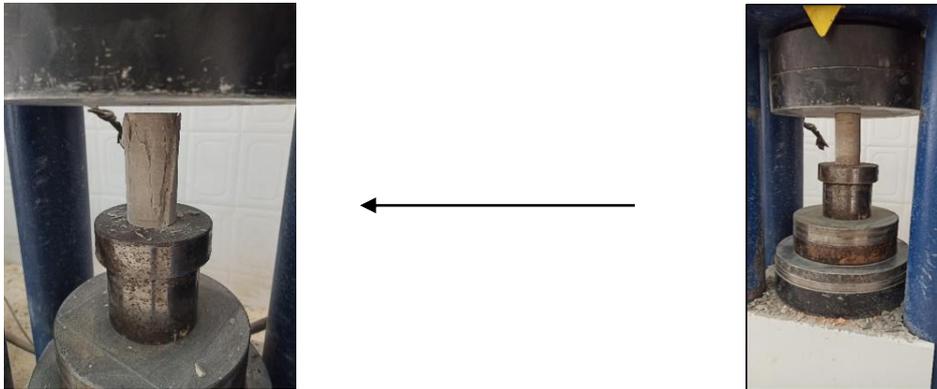


Figure 20: Essai de compression (LTPS)

nous avons enregistré la charge maximale supportée par l'échantillon.

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

d) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

Des valeurs indicatives de résistance à la compression (en N/mm^2) de différents types de pierres naturelles figurent dans le tableau ci-après :

Pierre calcaire	2 à 240 N/mm^2
Marbre	40 à 230 N/mm^2
Granite	80 à 400 N/mm^2
Ardoise	40 à 260 N/mm^2

Tableau 21: Norme européenne NBN EN 1926

Nous avons obtenu des résultats qui comprennent les valeurs de résistance à la compression pour chaque échantillon de pierre testé, exprimées en unités de force par unité de surface :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

$$\sigma_{c \max} = \frac{F_{\max}}{S}$$

$$F_{\max} = 96.94 \text{ KN}$$

$$S = 19.63 \text{ mm}^2$$

$\sigma_{c \max}$: Contrainte maximale

Arrêt de fin essai et obtenons :

$$\sigma_{c \max} = 49.38 \text{ Mpa}$$

III.1.2.2. Essai de traction par fendage :

Nous avons suivi ces étapes expérimentales pour évaluer la résistance à la traction de la pierre lors de notre étude.

a) But :

Notre objectif dans cet essai est de déterminer la capacité de la pierre à résister à la force de traction qui lui est appliquée.

b) Matérielles :



Figure 22: échantillons de pierre
Cylindrique (5 *10 cm).



Figure 21:dispositif d'essai de
Traction par fendage

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Méthode :

- 1) . Nous avons prélevé un échantillon de pierres sous la forme d'un cylindre de dimensions 10 x 5 cm.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

- 2) Ensuite, nous avons placé l'échantillon dans la machine CBR, ce qui correspond à la méthode de traction par fendage ; Parce que nous n'avons pas trouvé d'équipement, nous avons fait cette opération.
- 3) Nous avons mis la machine en marche et avons relevé les valeurs de la force maximale et de la contrainte maximale à l'aide d'une tablette électronique.

d) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici la formule Traction par fendage :

$$R_T = \frac{2P}{\pi DL}$$

- R_T : résistance de traction (Mpa ou N/mm²)
- P : force applique (N)
- D : diamètre d'éprouvette (mm)
- L : longueur d'éprouvette (mm)
-

Les résultats obtenus :

$$R_T = \frac{2 \times 34787}{\pi \times 100 \times 50} = 4.429 \text{ Mpa}$$

III.1.2.3. Résistance à l'usure :

- Essai los-Angeles :

1. But :

L'objectif de cet essai était de mesurer la résistance à l'abrasion et à l'usure des granulats, tels que la pierre concassée, utilisés dans les matériaux de construction

2. Matérielles :

Figure 23: machine los Angeles



Figure 24: Broyeur





Figure 25: Tamia 10 cm et 14 cm

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

3. Méthodes :

1. Nous débutons en taillant les pierres à l'aide d'un marteau et d'une meuleuse pour obtenir des échantillons de la taille appropriée.
2. Ensuite, nous utilisons un tamis de 10 à 14 cm pour tamiser les échantillons de pierre et obtenir une fraction granulaire spécifique selon les exigences de l'essai Los Angeles.
3. Nous plaçons un échantillon de pierre pesant 5 kg dans la machine Los Angeles, en ajoutant 11 pastilles d'acier de taille spécifiée.



Figure 26: étapes d'essai Los Angeles

4. Nous lançons ensuite la machine pour effectuer 500 cycles.

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

5. Après les 500 cycles, nous tamisons le matériau résultant à travers un tamis de 1,5 cm. Nous pesons ensuite le matériau tamisé pour déterminer le rendement de la machine, c'est-à-dire la quantité de matériau fin qui a été généré par l'abrasion et qui a passé à travers le tamis.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

4. Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud(LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus dans tableaux suivant :

Tableau 22: Norme Essai los Angeles

Classe grunlaire	Fractions		Proportion (%)	Quantité (g)	Nombre des boules	Masse de boules(g)	nombre de rotation
10/14	Fraction 01	10/12.5	60	3000	11	4690 à 4860	500
	Fraction 02	12.5/14	40	2000			
10/14	Fraction 01	10/11.2	40	2000	11	4690 à 4860	
	Fraction 02	11.2/14	60	3000			

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

$$L_A = \frac{M - M'}{M} \times 100$$

M : Masse initiale de l'échantillon

M' : Masse du matériau tamisé

L_A : Rendement (%)

$$L_A = \frac{5000 - 3864.4}{5000} \times 100 = 22.71\%$$

- Essai micro-Deval :

1. But :

Dans le cadre de notre étude, l'objectif de l'essai micro-Deval est d'évaluer la résistance à l'abrasion et à l'usure des granulats que nous avons prélevés. Cela nous permettra de

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

déterminer la durabilité et la qualité des granulats utilisés dans les matériaux de construction

2. Matérielles :

- Tamia 10 cm et 14 cm
- Broyeur



Figure 28: machine Micro D'eval



Figure 27: éprouvette graduée

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

3. Méthodes :

1. Nous débutons en taillant les pierres à l'aide d'un marteau et d'une meuleuse pour obtenir des échantillons de la taille appropriée.
2. Ensuite, nous utilisons un tamis de 10 à 14 cm pour tamiser les échantillons de pierre
3. Nous plaçons les échantillons pesant 500 g dans un cylindre à micro D'eval.
4. Nous ajoutons 5 000 grammes de billes d'acier dans le cylindre, accompagnées de 2,5 litres d'eau.
5. Ensuite, nous plaçons le cylindre dans la machine et le faisons tourner pendant une durée de deux heures.
6. Après l'arrêt de la machine, nous retirons le poids résultant du cylindre et le plaçons dans une étuve.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

7. Nous soustrayons le poids des fournitures utilisées, puis nous calculons le pourcentage de perte de poids par rapport à la masse initiale de l'échantillon. Cette mesure nous permet d'évaluer l'usure subie par les échantillons pendant l'essai.

4. Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

Tableau 23: Norme Essai los micro d'eval

Classe granulaire	Fractions		Proportion (%)	Quantité (g)	Masse de boules(g)	nombre de rotation
10/14	Fraction 01	10/12.5	60	300	5000±5	12000±10
	Fraction 02	12.5/14	40	200		
10/14	Fraction 01	10/11.2	40	200	5000±5	
	Fraction 02	11.2/14	60	300		

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

$$Med = \frac{M - M'}{M} \times 100$$

M : Masse initiale de l'échantillon (g)

M' : Masse du matériau tamisé (g)

Med : Rendement (%)

$$Med = \frac{500-401}{500} \times 100 = 19.8\%$$

III.1.2.4. Essai Ultrasonique :

a) But :

Le but de l'essai ultrasonique était d'évaluer la qualité et l'intégrité des échantillons de pierre en utilisant des ondes ultrasoniques

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

b) Méthodes :

Nous plaçons l'échantillon dans un appareil sonore, puis en mesurant le temps de



Figure 29:l'appareil ultrasonique

propagation des ondes.

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus

D'après nos résultats, l'informateur est le suivant :

$$v = 4460 \text{ m/s}$$

v : vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.

III.1.3. Résistance à l'altération :

III.1.3.1. Absorption d'eau :

a) But :

L'objectif de l'essai d'absorption d'eau est de déterminer la capacité d'absorption d'eau des échantillons de pierre. Cela permet d'évaluer la porosité et la perméabilité de la pierre, ce qui est important pour comprendre son comportement en présence d'eau, notamment dans des applications de construction.

b) Méthodes :

1. Nous pesons chaque échantillon de pierre à sec avec une balance et enregistrons la masse initiale.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

2. Nous plaçons les échantillons dans un récipient d'eau et les laissons immergés pendant une période spécifiée, généralement 24 heures.
3. Après la période d'immersion, nous retirons les échantillons de l'eau et les laissons s'égoutter légèrement pour éliminer l'excès d'eau de surface.
4. Nous pesons à nouveau échantillon après égouttage et enregistrons la masse finale.
5. nous calculons le pourcentage d'absorption d'eau



Figure 30: Mesurer le pourcentage d'eau absorbée

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

$$\text{Absorption d'eau (\%)} = \frac{M_F - M_i}{M_i} \times 100$$

Où :

MF : est le poids final de l'échantillon après l'absorption d'eau

Mi : est le poids initial de l'échantillon avant l'absorption d'eau

Le résultat que nous avons obtenu est le suivant :

$$\text{Absorption d'eau (\%)} = \frac{1012.9 - 1001}{1001} \times 100 = 1.18\%$$

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

III.1.3.2. Gel et dégel :

a) But :

Nous avons réalisé des essais de gel et dégel sur les échantillons de pierre afin d'évaluer leur résistance et leur durabilité dans des conditions climatiques changeantes.

b) Matérielles :



Figure 31:
Échantillons de
pierre



Figure 32: Balance



Figure 33: Chambre
gel dégel

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Méthodes :

voici comment fonctionne généralement la méthode de gel dégel dans laboratoire (LTPS):

1. Nous avons préparé les échantillons de pierre et de brique en le taillant à la taille appropriée et en les nettoyants de tout matériau indésirable.
2. Nous avons placé les échantillons au congélateur à une température de -10°C pendant 48 heures. Cette étape visait à les soumettre à des conditions de congélation afin de simuler les effets du gel sur les matériaux.
3. Avant de procéder aux essais, nous avons prélevé des échantillons représentatifs de pierre et mesuré leur masse, cette étape nous permettait de connaître la masse initiale des échantillons avant de les soumettre aux forces de compression.
4. Pendant les cycles de congélation et de décongélation, nous avons soumis les échantillons à des forces de compression, cela impliquait d'exposer les échantillons à des températures de congélation pour les geler, puis de les décongeler en les exposant à des températures plus élevées. Pendant ces cycles, nous avons appliqué des forces de compression sur les

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

échantillons pour simuler les contraintes mécaniques auxquelles ils peuvent être soumis dans des conditions réelles.

d) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus

	Normal		Au gel (-10)	Au dégel (29)
Masse (g)		400 g	418 g	
	404 g			425 g
Fores max	96		80 KN	99.71 KN
Contrainte max	48.32		40.74	50.8
Surface	1963		1963	1963

Tableau 24: masse et résistance compression

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

III.1.4. Résistance physique :

III.1.4.1. Masse volumique :

a) But :

Le but de notre mesure est de déterminer la masse volumique d'une substance ou d'un matériau.

La masse volumique représente la quantité de masse contenue dans un volume donné.

b) Méthode :

- ✓ Vérifié que la balance analytique est affiche une précision appropriée pour voter mesure.
- ✓ Remplissez l'éprouvette avec quantité d'eau connue
- ✓ Place l'échantillon sur la balance
- ✓ Remplissez l'éprouvette avec de l'eau jusqu'à un niveau suffisamment élevé pour immerger complète ment l'échantillon
- ✓ Retirez l'échantillon de l'eau et assurez-vous qu'il est complet ment sec avant de procéder à la mesure.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

- ✓ Calculez la différence de volume d'eau et la différence de masse.



Figure 34: mesure
Masse volumique

- ✓ Calculez la masse volumique (ρ) Delon la formule $\rho = \Delta m / \Delta v$.

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud(LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

Tableau 25: Exemple de masses volumiques apparentes de pierres naturelles, d'après le fascicule FD CEN/TR 17024

Nature de pierre	Masse volumique apparente (kg/m ³)
Calcaire compact	< 2 500
Autre calcaire	> 2 500
Grès	1 900 à 2 700
Ardoise – Schiste argileux – Schiste	2 600 à 3 000
Marbre	2 600 à 2 900
Gneiss	2 400 à 2 700
Granite	2 400 à 3 000
Basalte	2 550 à 3 000

La formule de masse volumique absolue est la suivante :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

$$\rho = \frac{P_1}{V}$$

- ρ : masse volumique absolue (g/cm^3)
- Poids des agrégats secs $P_1 = 500 \text{ g}$
- Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 2184.6 \text{ g}$
- $P_3 = P_1 + P_2 = 2684.6 \text{ g}$
- Poids récipient + agrégats+ eau $P_4 = 2494.3 \text{ g}$
- Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 190.3 \text{ g}$

Le résultat que nous avons obtenu pour la pierre est :

$$\rho = \frac{500}{190.3} = 2.62 \text{ g/cm}^3$$

III.2. Les essais mécaniques de la brique

Les expériences les plus importantes sur lesquelles nous nous sommes basés en laboratoire pour évaluer la résistance de pierre sont les suivantes :

4.1.1 Analyse chimique (EN P 15 -461) :

a) But :

Dans le cadre de notre étude, l'objectif de l'analyse chimique selon la norme EN P 15-461 est de déterminer la composition chimique des échantillons de brique que nous avons prélevés. Cela nous permettra d'obtenir des informations détaillées sur les éléments et les composés présents dans la brique, ce qui est essentiel pour comprendre sa nature chimique et évaluer sa qualité.

b) Méthodes :

Dans cette expérience, nous avons prélevé des échantillons de poudre de brique, et nous avons effectué les étapes suivantes :

Mettre les échantillons à une température optimale pour identifier les composants des briques
Après ces expériences, nous avons obtenu ces résultats.

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

Tableau 26: composants la brique

Échantillon		Brique
Insolubles NFP 15-461	Creuset +précipité	28.957
	Creuset vide	28.184
	Poids du résidu	0.773
	% Insolubles	77.3
Sulfates Bs 1377	Creuset +précipité	
	Creuset vide	22.702
	Poids du résidu	
	% SO_3^{-2}	
Carbonates NFP 15-461	V NaOH	
	% $CaCO_3$	0.8

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Les résultats obtenus indiquent clairement que les échantillons de brique sont composés de matériau argileux, ce qui est cohérent avec la composition typique des briques fabriquées à partir d'argile.

Cette composition minérale est en accord avec les matériaux de construction couramment utilisés dans la région étudié

4.1.2 Résistance mécanique

4.1.2.1 Essai de compression :

Nous avons réalisé l'essai de compression suivant en laboratoire pour déterminer la résistance de brique

a)But :

En ce qui concerne la brique, notre objectif était également de mesurer sa résistance à la compression, en déterminant la charge maximale qu'elle peut supporter avant de se rompre.

b)Matérielles :

- La brique.
- Appareil de compression.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

c) Méthodes :

- Placez le support solide et plat sur une surface plane et stable.
- Positionnez une plaque d'acier ou de bois résistant sur le support.
- Placez la brique au centre de la plaque inférieure.
- Placez la deuxième plaque d'acier ou de bois résistant sur le dessus de la brique.



Figure 35: Essai de compression (LTPS)

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

- Assurez-vous que les plaques sont bien alignées et parallèles entre elles.
- Si vous utilisez des cales ou des entretoises, insérez-les entre les plaques pour ajuster la hauteur, de manière à ce que la brique soit correctement compressée.
- Mettez en place le vérin hydraulique ou le système de compression mécanique au-dessus de la plaque supérieure.
- Commencez à appliquer la compression de manière progressive et continue.
- Mesurez la force de compression exercée sur la brique à intervalles réguliers à l'aide d'un dynamomètre ou d'un capteur de force approprié.
- Continuez à appliquer la compression jusqu'à ce que la brique se fissure ou atteigne sa

limite de résistance.

- Enregistrez la force maximale de compression supportée par la brique.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

d) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus

Nous avons trouvé les résultats selon les normes.

De même, pour la brique, nous avons également obtenu des résultats comprenant les valeurs de résistance à la compression pour chaque échantillon, exprimées dans les mêmes unités de force par unité de surface :

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{S}$$

F_{max} (Force maximale) = 88361 N

S (surface) = 20000 mm²

σ_{max} Contrainte maximale

Arrêt de fin essai et obtenons :

$$\sigma_{max} = 4.418 \text{ Mpa}$$

4.1.2.2 Essai de flexion par traction : (NFP 18-406)

Nous avons suivi ces étapes expérimentales pour évaluer la résistance à la flexion par traction de la brique lors de notre étude.

a) But :

Notre objectif était de mesurer la résistance à la flexion par traction de la brique, c'est-à-dire sa capacité à résister aux forces de flexion dans une configuration de traction.



Figure 37: Appareil de
Traction



Figure 36: échantillon de brique
creuse (4 cm ; 4 cm ; 16 cm)

b) Matérielles :

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Méthode :

1- Nous avons cassé les briques creuses pour en extraire un échantillon de dimensions (4 cm ,4 cm ,16 cm).

2- Nous avons mis dans la machine de traction par flexion.

d) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

$$F_T = 1.20 \text{ KN}$$

F_T : la charge rupture (KN)

4.1.2.3 Essai Ultrasonique :

a) But :

Le but de l'essai ultrasonique était d'évaluer la qualité et l'intégrité des échantillons de pierre en utilisant des ondes ultrasoniques

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

b) Méthodes :

- ✓ Nous avons apporté des briques ou des briques et nous les avons cassées en petits morceaux, puis nous les avons broyées en poudre à l'aide d'un micro-deval.
- ✓ Nous avons apporté une quantité et nous l'avons mélangée avec de l'eau jusqu'à ce qu'elle devienne une pâte.
- ✓ Nous avons mis les échantillons dans des taupes de fer et nous les avons placés dans un appareil vibrant pour remplir les vides.
- ✓ Nous avons placé les échantillons dans une étuve à 65°C pendant 48 heures.
- ✓ Nous avons sorti les échantillons des centres commerciaux.
- ✓ Nous plaçons l'échantillon dans un appareil sonore, puis en mesurant le temps de



Figure 38: Essai Ultrasonique

propagation des ondes.

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus

D'après nos résultats, l'informateur est le suivant :

$$v = 700 \text{ m/s}$$

v : vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

4.1.3 Résistance à l'altération

4.1.3.1 Absorption d'eau :

a) But :

Pour la brique, l'essai d'absorption d'eau permet de déterminer sa capacité à absorber l'eau, ce qui est essentiel pour évaluer sa résistance à l'humidité et sa durabilité dans des environnements où l'exposition à l'eau est fréquente.



Figure 39: Etapes de mesure du pourcentage d'eau absorbée par les briques

b) Méthodes :

- 1) Nous plaçons chaque échantillon de brique à sec à l'aide d'une balance et enregistrons la masse initiale.
- 2) Nous plaçons les échantillons dans un récipient d'eau et les laissons immergés pendant une période spécifiée, généralement 24 heures.
- 3) Après la période d'immersion, nous retirons les échantillons de l'eau et les laissons s'égoutter légèrement pour éliminer l'excès d'eau de surface.
- 4) Nous pesons à nouveau les échantillons après l'égouttage et enregistrons la masse finale.

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

$$\text{Absorption d'eau (\%)} = \frac{M_F - M_i}{M_F} \times 100$$

Où :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

MF : est le poids final de l'échantillon après l'absorption d'eau

Mi : est le poids initial de l'échantillon avant l'absorption d'eau

Le résultat que nous avons obtenu est le suivant :

$$\text{Absorption d'eau (\%)} = \frac{325.1 - 294.1}{294.1} \times 100 = 9.535 \%$$

4.1.3.2 Gel et dégel :

a) But :

Pour la brique, nous avons réalisé des essais de gel et dégel afin de déterminer sa résistance et sa durabilité lorsqu'elle est soumise à des cycles répétés de gel et de dégel. Ces essais sont importants pour évaluer la capacité des échantillons à résister aux dommages causés par l'expansion de l'eau lorsqu'elle se transforme en glace et à identifier les éventuels problèmes de fissuration ou d'altération qui pourraient survenir dans des conditions climatiques froides

b) Méthode :

En utilisant les mêmes méthodes et outils de mesure que ceux employés pour évaluer les propriétés du matériau de la pierre, nous avons également procédé à des mesures similaires sur des échantillons de brique.



c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud (LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus

Figure 40: Étapes de mesure de pression pour les résultats de gel et dégel

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

Tableau 27: masse et compression gel et dégel

		Normal	Au gel (-10°)	Au dégel (29°)
Masse (g)	Echantillon 01	4645 g	4800 g	4645 g
	Echantillon 02	4645 g		
Fores max		88.361	76.366 KN	97.23 KN
Contrainte max		1.5360	1.3275	1.70
Surface		57525 mm ²		

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

4.1.4 Résistance physique

4.1.4.1 Masse volumique :

a) But :

Le but de notre mesure est de déterminer la masse volumique d'une substance ou d'un matériau la masse volumique représente la quantité de masse contenue dans un volume donné.

b) Méthodes :

- ✓ Vérifiez que la balance analytique affiche une précision appropriée pour chaque mesure.
- ✓ Prélevez une quantité connue de poudre de brique et enregistrez la masse initiale en la plaçant sur la balance.
- ✓ Remplissez l'éprouvette avec une quantité d'eau connue.
- ✓ Ajoutez la poudre de brique dans l'éprouvette contenant l'eau jusqu'à ce qu'elle soit complètement immergée.
- ✓ Retirez délicatement l'éprouvette de l'eau et assurez-vous qu'elle est complètement égouttée pour éliminer l'excès d'eau de surface.
- ✓ Placez l'éprouvette contenant la poudre de brique égouttée sur la balance et enregistrez la masse finale.
- ✓ Calculez la différence de masse en soustrayant la masse initiale de la poudre de brique à la masse finale après égouttage.
- ✓ Utilisez la formule $\rho = \Delta m / \Delta v$ pour calculer la masse volumique (ρ) de la poudre de brique, en tenant compte du volume.



Figure 41: préparation l'essai
masse volumique

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

c) Résultats :

Nous avons mené ces expériences dans le laboratoire des travaux publics du Sud(LTPS), dans wilaya de Ghardaïa, et voici les résultats obtenus :

La formule de masse volumique absolue est la suivante :

$$\rho = \frac{P_1}{V}$$

- ρ : masse volumique absolue (g/cm³)
- Poids des agrégats secs $P_1 = 500$ g
- Poids du récipient plein d'eau $P_2 = 2184.6$ g
- $P_3 = P_1 + P_2 = 2684.6$ g
- Poids récipient + agrégats+ eau $P_4 = 2456.79$ g
- Volume des agrégats $V = P_3 - P_4 = 227.9$ g

Le résultat que nous avons obtenu pour la brique est :

$$\rho = \frac{500}{227.9} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

III.3. La comparaison de résistance mécanique de la brique et la pierre :

Pour évaluer la résistance mécanique comparative de la brique et de la pierre, nous avons pris en compte divers facteurs et mené plusieurs expériences.

Voici un résumé de certains des résultats que nous avons obtenus, présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 28: Avantage et Inconvénients de la brique et la pierre

Essais	La Brique	La Pierre
Résistance à la compression	Mauvais Résistante	Très résistante
Résistance à la traction	faible	Fabaile par rapport la structure

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

Résistance à l'abrasion	Relativement faible	Très élevée
Résistance gel dégel	Moyenne Résistante	Résistante aux intempéries,

(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Conclusion :

Nous avons mené des expériences appliquées cruciales, en suivant une méthodologie rigoureuse, afin d'évaluer et de comparer les performances de la brique et de la pierre. Ces expériences ont abouti à des résultats extrêmement significatifs qui mettent en évidence les aspects les plus importants de cette comparaison

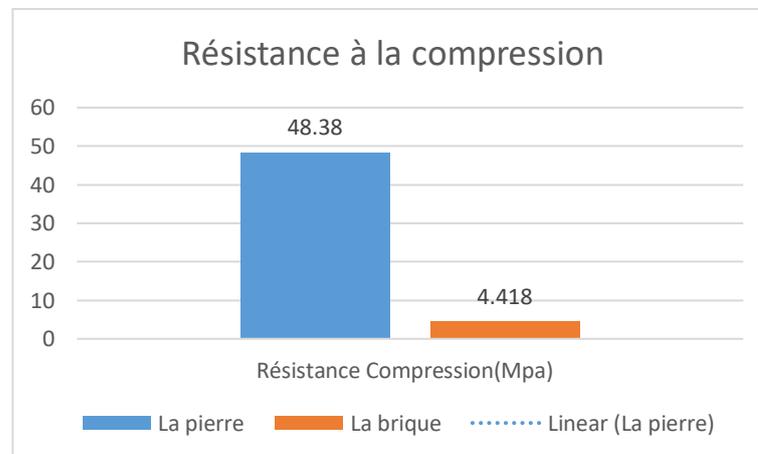
Résultats et discussions

Les résultats des essais indiquent différentes propriétés des briques et des pierres testées. Voici une discussion basée sur les données fournies :

✓ Compression :

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : 48.38 Mpa - La brique : 4.4118 Mpa



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

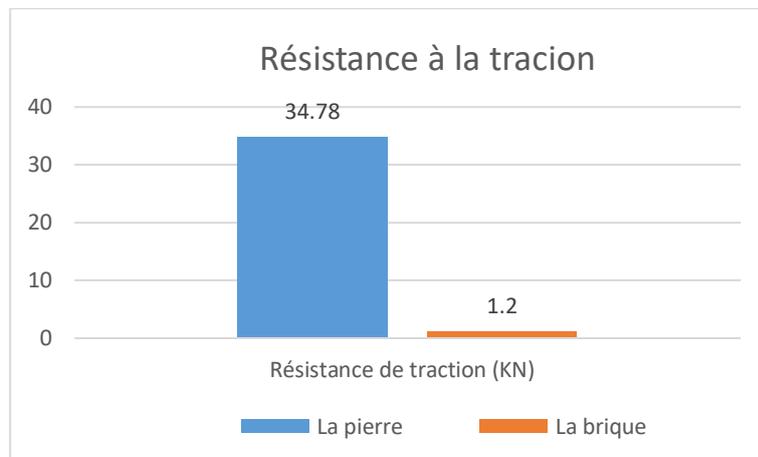
La pierre montre une résistance à la compression beaucoup plus élevée que la brique. Cela suggère que la pierre est plus solide et capable de supporter des charges plus importantes que la brique lorsqu'elle est soumise à une compression.

✓ Traction :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : 34.78 KN - La brique : 1.2 KN



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

La différence de résistance observée entre la pierre naturelle et la brique peut être expliquée par les caractéristiques intrinsèques de ces matériaux.

La structure plus dense et les liaisons plus solides entre les particules de la pierre naturelle lui confèrent une résistance supérieure à la traction.

En revanche, la brique, fabriquée à partir d'argile ou de matériaux similaires, peut présenter une structure plus poreuse et des liaisons moins solides, ce qui explique la résistance inférieure à la traction observée lors des essais.

✓ **Résistance l'usure :**

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : LA = 22% et Med = 19.3%

La brique : Étant donné que les résultats sont presque égaux à zéro, en tenant compte de l'état initial des briques avant fabrication, il n'est pas nécessaire de mener des expériences.

Donc les résultats montrent que la pierre montre une plus grande résistance à l'érosion et au frottement que les briques, et cela est dû à la source de chaque matériau, car les briques, selon leur état d'origine, sont très faibles face à ces essais.

Ces résultats indiquent que la pierre est plus résistante aux forces de fragmentation par rapport à la brique.

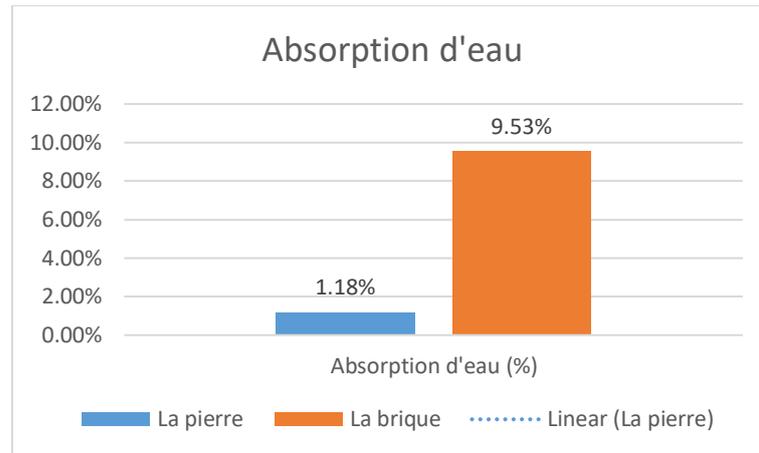
✓ **Absorption d'eau :**

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : 1.18 %

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

La brique : 9.53 %



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

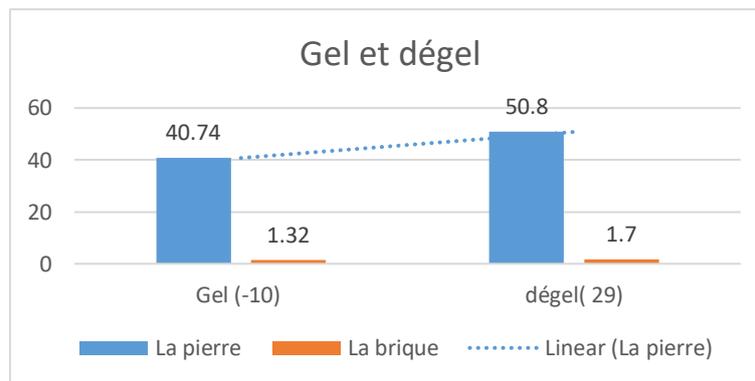
Ces mesures indiquent la capacité des matériaux à absorber l'eau. La brique a un taux d'absorption d'eau beaucoup plus élevé que la pierre, ce qui suggère que la brique est plus poreuse et peut être plus susceptible d'endommagement ou d'altération due à l'eau.

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

✓ Gel et dégel :

Les résultats nous avons obtenu :

- Gel (-10) :
 - La pierre : 40.74 Mpa
 - La brique : 1.32 Mpa
- Dégel (29) :
 - La pierre : 50.8 Mpa
 - La brique : 1.7 Mpa



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

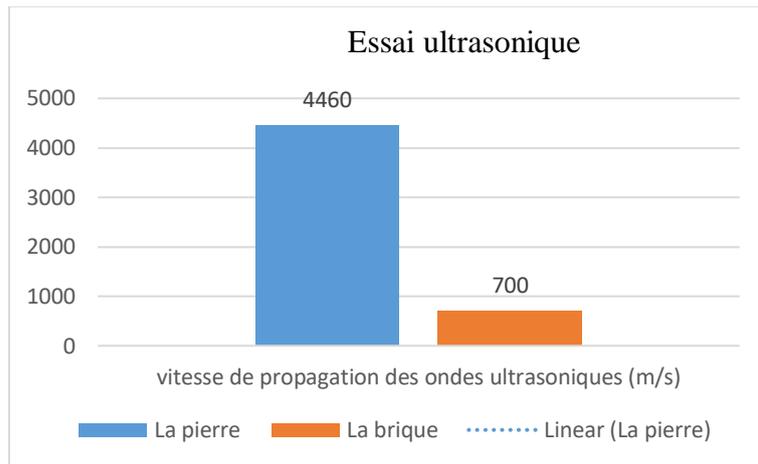
Ces valeurs indiquent la résistance des matériaux au gel et au dégel répétés. La brique a un indice beaucoup plus faible que la pierre, ce qui suggère qu'elle est moins résistante aux effets du gel et du dégel. La pierre, en revanche, semble mieux résister aux cycles de gel et de dégel.

✓ Essai ultrasonique :

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : $v = 4460$ m/s La brique : $v = 700$ m/s

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Les mesures de la vitesse de propagation ultrasonique indiquent la capacité des matériaux à transmettre les ondes sonores. La pierre a une vitesse de propagation beaucoup plus élevée que la brique, ce qui suggère une meilleure conductivité acoustique.

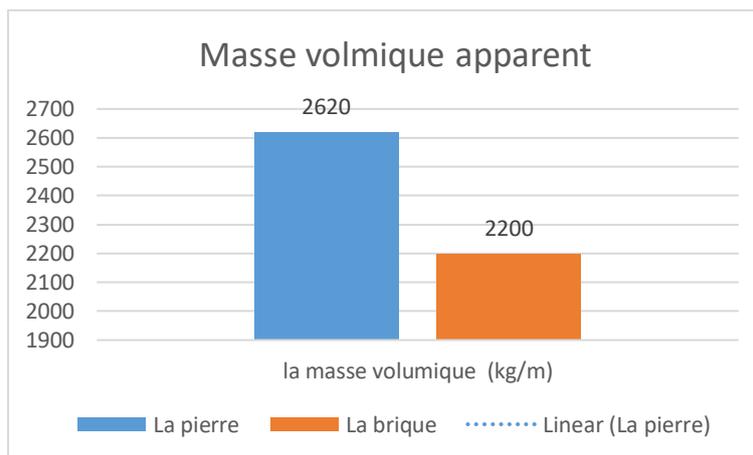
Cela peut être lié à une densité plus élevée ou à une structure plus homogène de la pierre par rapport à la brique.

✓ Masse volumique apparent :

Les résultats nous avons obtenu :

La pierre : $\rho_a = 2620 \text{ kg/m}^3$

La brique : $\rho_a = 2200 \text{ kg/m}^3$



(Auteurs : B. Soufiane – B. Mohamed)

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

	Avantages	Inconvénients
La pierre	<ul style="list-style-type: none">- Résistance élevée et durabilité.- Aspect esthétique attrayant.- Faible maintenance requise- Bonne isolation thermique et acoustique.	<ul style="list-style-type: none">- Poids élevé, et une manipulation plus complexe.- Coût potentiellement élevé.- Temps de construction plus long en raison.

La pierre présente une masse volumique apparente supérieure à celle de la brique, principalement en raison de leur composition et structure respective. La pierre est généralement plus dense et solide, ce qui explique sa masse volumique apparente plus élevée. En revanche, la brique peut contenir des cavités internes ou des trous visant à réduire son poids, ce qui se traduit par une masse volumique apparente inférieure.

À partir de ces résultats et analyse, nous avons identifié les avantages et les inconvénients que nous avons répertoriés dans le tableau suivant :

Chapitre V : Les essais de résistance mécanique

La brique	<ul style="list-style-type: none">- Légèreté, facilitant le transport et la manipulation.- Permet une conception et une modification flexibles.- moins cher	<ul style="list-style-type: none">- Moins solide que les pierres.- La capacité à la corrosion et aux dommages dus à l'exposition aux intempéries et à l'humidité.- Peut nécessiter un renforcement ou un support supplémentaire dans certaines applications
-----------	---	---

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans la partie pratique et les essais appliquent-nous obtenus

Essai de compression : La brique présente une résistance de 4,2 MPA, tandis que la pierre affiche une résistance beaucoup plus élevée de 48,38 MPA.

Essai de traction : Nous avons constaté que la brique résiste à une force de 1,2 KN, tandis que la pierre peut supporter une force beaucoup plus importante de 34,78 KN.

Essai de gel-dégel : Lorsque nous avons soumis les matériaux à un gel à -10 degrés Celsius, nous avons observé que la pierre conservait une résistance de 40,74 MPA, tandis que la brique montrait une résistance plus faible de 1,32 MPA. Lors du dégel à 29 degrés Celsius, la pierre a présenté une résistance accrue de 50,8 MPA, tandis que la brique n'a atteint que 1,7 MPA.

En ce qui concerne la masse volumique, nous avons mesuré la brique à 2200 kg/m³ et la pierre à 2620 kg/m³.

Dans notre analyse chimique basée sur la norme européenne EN P 15-461, nous avons conclu que la brique était moins écologique que la pierre en raison de la présence de composants naturels plus nombreux dans cette dernière.

En utilisant l'essai d'ultrason, nous avons déterminé que la brique avait une vitesse de propagation des ondes sonores de 700 m/s, tandis que la pierre affichait une vitesse bien plus élevée de 4460 m/s.

D'après nos expériences ainsi que des recherches précédentes, nous concluons que la pierre présente une résistance mécanique supérieure à celle des briques.

Malheureusement, malgré cette constatation, nous observons que de nombreuses personnes dans notre région continuent d'utiliser des briques dans leurs constructions ; cette situation est regrettable car les avantages de la pierre, notamment sa disponibilité abondante dans notre région selon les cartes géologiques, devraient être pris en compte. De plus, nous regrettons l'annulation de nombreuses carrières dans l'état de Ghardaïa, causée par la tendance croissante à utiliser davantage de briques dans la construction, malgré les nombreux avantages offerts par la pierre.

Les perspectives de recherche

Les perspectives de recherche :

À partir de cette étude, nous sommes impatients de trouver des solutions efficaces pour restaurer le statut de la pierre dans nos maisons en recherchant davantage sur les facteurs et les circonstances qui ont conduit les gens à utiliser des briques et à se passer de pierre.

Ces connaissances pourraient aider à développer des solutions efficaces pour restaurer l'utilisation de la pierre dans les maisons, en mettant en avant ses avantages en termes de durabilité, d'esthétique et de patrimoine architectural.

Les résultats de ces recherches pourraient contribuer à l'évolution des pratiques de construction et à la promotion d'une construction plus durable et efficace sur le plan énergétique.

Bibliographie :

➤ Thèses :

- [1] **Aoudj, Yacine.** Etude du comportement mécanique d'un mélange de marne et des débris de brique pour une valorisation en construction routière. Diss. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2022.
 - [2] **Boutemedjet-Assia - Thèse** (Caractérisation des matériaux de construction et impact de la préparation mécanique sur l'environnement : Cas du gisement de granite de Kef Bouacida-Annaba, Algérie).
 - [3] **Chaib, H.** (2017). Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-Mécaniques des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale Locale.(Cas de la ville de Ouargla) (Doctoral dissertation).
 - [4] **Hanane, M.** (2019). Caractérisation Mécanique de la Brique de Terre Comprimée et Stabilisée (BTCS) sous l'effet des efforts de Compression et de Flexion (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
 - [5] **LAMOURI Hafsa** ; Etude des maçonneries entre tradition et modernité. Pratiques au sud Algérien (Adrar) ; Thèse Doctorat ; Université Ahmed Draia – Adrar ; 2022
 - [6] **SAADA, R., & OTHMANI, A,** Etude des Caractéristiques Thermomécaniques du Pisé. (Cas de la région d'Ouargla) (Doctoral dissertation).
-

➤ Mémoires :

- [7] **Ammar, HAMLAOUI.** Influence des granulats de déchet de caoutchouc sur les propriétés physico-mécaniques et durabilité de brique de terre crue ; 2020
- [8] **BEN AHMED, MERIEM.** Étude comparative de la céréaliculture sous pivots Entre la wilaya d'Ouargla et Ghardaïa.
- [9] **DJOUHRI M.,** « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007
- [10] **Melle MAOUI Nawal** ; MEMOIRE DE MASTER RECHERCHE :(Caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques des grès du miocène (langhien-serravalien) du bassin de Tizi-Ouzou), Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

BIBLIOGRAPHIE :

- [11] **N. ARABI**, Mémoire de Magister "Etude des Brique Silico-calcaire à Base de Laitier Granule, Université De Annaba 1988
- [12] **RAKOTONANAHARY Joé Moustapha**, UNITE DE BRIQUETERIE. Janvier 2008
- [13] **S. HAKKOUM** Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya d’Ouargla.mai 2015

➤ **Ouvrage :**

- [14] « Fabrication de la brique »-PDF- Fédération belge de la brique
- [15] **CH. DUNOD ; COMMISSION DES MÉTHODES D'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ; RAPPORTS PARTICULIERS ; MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS ; 1900**
- [16] **Corneilletomas**, Le dictionnaire des arts et des sciences. Tome 1 / par M. D. C
- [17] **E OLIVER**, Technologie des Matériaux de Construction, Edition ISBN 1976
- [18] **Frédéric Touchet**. Le Moutard. Publication créée à l'initiative du Moutard. Chargée de projet (éd. 2009)
- [19] **H. RENAUD**, Murs Poutres Planchers, Edition Eyrolles 2002.
- [20] **Houben H, Rigassi V, Garnier P**. Blocs de terre comprimée : équipements de production. Craterre, Bruxelles, Belgique, p14, 1996.
- [21] **KOMAR A** ," Matériaux et Elément de Construction", Edition MIR Mosco ; 1978.
- [22] LA BRIQUE EN TERRE CUITE : MATÉRIAU IDÉAL POUR RELEVER LE DÉFI DE LA RE 2020. Batiadvisor.fr
- [23] Le Pisé/Ageden-PDF
- [24] MAÇONNERIES ET REVETEMENTS DE MURS ET SOLS EN TERRE CUITE APPARENTE. Janvier2010
- [25] **M^{me} Khirddine et all. –EPAU- Ghardaïa** « Une histoire, une culture et une leçon d’architecture »2007-2008.
- [26] Réunion d’ingénieurs, Matériaux de Construction, Edition **Eyrolles** 1979
- [27] **Yves Ardourel, Estelle Bretagne, Jean-Michel Decuq, Smail Khainnar, Patrizia Laudati, Manuel Mesquita, Martine Rey, Michel Reznikoff / Coordinatrice**

BIBLIOGRAPHIE :

pédagogique : Estelle Bretagne / Production : UVED - Université de Lorraine,
production audiovisuelle et multimédia, Direction du Numérique.

➤ **Articles scientifiques :**

- [28] **Aaron BRIQUE EN TERRE CUITE, UNE DÉMARCHE ÉCOLOGIQUE**, Avril 2021
- [29] ALVISET I." Matériaux de Terre Cuite " ; Techniques de l'Ingénieur ; 1994.
- [30] **Amandine F, Emilie P, Louis B** ; Article 28 : Granite ; janvier 2018 |
- [31] **Charles POMEROL**, « CALCAIRES », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté ;2023
- [32] **Charles POMEROL**, Geneviève TERMIER, Henri TERMIER, article « GRÈS », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 2023.
- [33] Guide pratique de la pierre naturelle ; CTMNC_UNTEC- janv- 2016 .pdf 1.
- [34] **H.KHELAFI, A.MOKHTARI, L.KARA MOHAMED** « Vers Une Meilleure Connaissance De La Brique Silico-Calcaire »
- [35] **Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI & Hamid EL AZHARI** , 'Evaluation des propriétés physico-mécaniques des pierres de construction du Maroc à partir des vitesses des ondes P et de la résistance au choc'' Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2009
- [36] Les différentes roches de la Terre - article428 - <https://sigessn.brgm.fr/>
- [37] **M VENUAT**, Produits Silico-calcaire "Techniques de l'Ingénieur"1994.
- [38] **Michel izard** ; article : maison – grés-10712 , www.futura-sciences.com
- [39] **Muller, V.** "Quelle pierre... Pour quel usage?" (2016). Disponible sur : [http://www.ctmnc.fr/images/galerie/Quelle_pierre..._pour_quel_usage.pdf
- [40] **Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H., & Almeida, J.** (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. Construction and Building Materials, 28(1), 36–44.
- [41] SNROC. "**Construire, aménager, décorer avec les pierres naturelles de France.**" Disponible sur : www.snroc.fr

➤ **Sites :**

BIBLIOGRAPHIE :

- [42] Calcaire-tableau-des-matériaux-applications-prix - <https://material-properties.org/>
- [43] History of limestone uses - <https://rmsmarble.com/>
- [44] <http://www.briques-nord.org/>
- [45] <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/37-brick-use-construction>
- [46] <https://rocks.comparenature.com/fr/proprietes-du-gres/model-8-6>
- [47] <https://www.vedantu.com/>
- [48] Pierre naturelle en granit : avantages-et-inconvénients/<https://carrieresdesmarest.com/>
- [49] Pros-and-cons-of-limestone-tiles -<https://www.limestone.com/>



Figure 43: essai d'écrasement
(résistance à la compression)
sur la brique



Figure 42: essai d'écrasement
(résistance à la compression)
sur la pierre



Figure 45: essai d'écrasement
(résistance à la traction)
sur la pierre



Figure 44: essai d'écrasement
(résistance à la traction)
sur la brique

ANNEXE

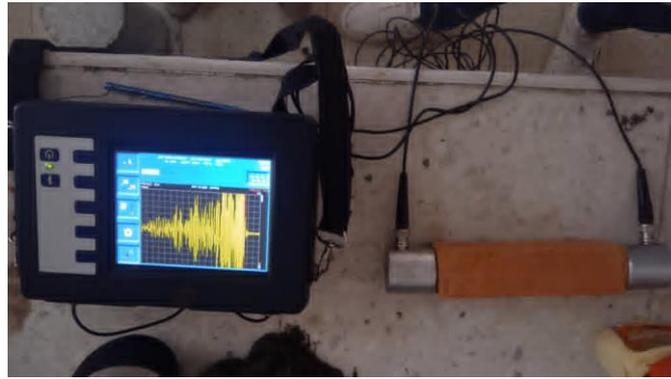


Figure 46: essai ultrason sur la brique



Figure 47: essai ultrason sur la pierre

