

الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
République Algérienne
Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الري والهندسة المدنية
Département Hydraulique et Génie Civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structure

**L'efficacité thermique de la pierre dans la construction cas
de Ksar Tafilalet.**

Soutenue publiquement le : 04 / 06 / 2024

Par

ARIF Hadj Mohammed et BOUGRINE Youcef

Devant le jury composé de:

NESSIL.H

M.A.A

Président

Université de Ghardaïa

AZZOUZ. F. Z

M.A.A

Examinatrice

Université de Ghardaïa

MATALLAH.Z

M.A.A

Encadreur

Université de Ghardaïa

Année universitaire 2023/2024



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

,A ma chère mère

,A mon cher père

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir
.et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs

, A mes frères

,A ma chère sœur

.Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études
.Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies

,A mes chères ami(e)s

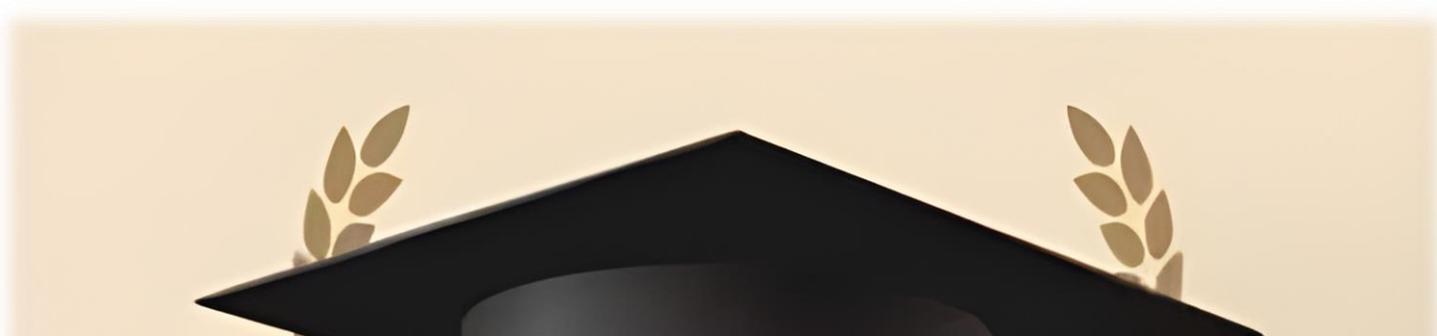
.Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

,A toute ma famille

A tous mes autres ami(e)s

,A tout mes enseignants

À tous ceux qui m'ont aidé et qui sont crédités de ce travail



Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu tout-puissant de m'avoir donné la santé et la volonté et de terminer ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, Mme MATALLAH. Je le remercie de m'avoir encadré, aidé et guide tout au long de ce mémoire, et je le remercie pour sa confiance ses remarque et ses cons eils.

Je voudrais également remercier les membres du jury pour avoir accepté évaluer ce travail.

Je tiens aussi à remercier tous mes enseignants du département d'hydraulique et génie civile à l'université GHARDAIA.

Enfin, ces remerciements ne sauraient être complets si n'y incluais ma famille pour leur soutien

moral et la motivation tout au long de mes études et mes amis pour leur soutien, leur confiance et leur encouragement tout au long de ces années.

Merci à tous ceux qui nous ont donné un mot ou une aide.

Résumé :

Cette recherche examine l'efficacité thermique des constructions en pierre dans la région de Ghardaïa, en Algérie, en se concentrant sur le ksar de Tafilalet. En utilisant des simulations thermiques avec le logiciel Energy Plus, l'étude montre que les murs en pierre, grâce à leur forte inertie thermique, offrent un confort thermique significatif en emmagasinant la chaleur pendant la journée et en la restituant la nuit. L'isolation des planchers et la ventilation transversale sont identifiées comme des éléments clés pour optimiser la performance thermique des bâtiments. Les résultats soulignent l'importance de réintégrer les matériaux de construction locaux pour une construction durable et le maintien du cachet architectural de la région.

Mots-clés : inertie thermique, pierre, isolation, développement durable

Abstract :

This research examines the thermal efficiency of stone constructions in the Ghardaïa region of Algeria, focusing on the ksar of Tafilalet. Using thermal simulations with Energy Plus software, the study shows that stone walls, due to their high thermal inertia, offer significant thermal comfort by storing heat during the day and releasing it at night. Floor insulation and cross ventilation are identified as key elements to optimize the thermal performance of buildings. The results highlight the importance of reintegrating local construction materials for sustainable building practices and preserving the architectural character of the region.

Keywords: thermal inertia, stone, insulation, sustainable building.

ملخص:

تبحث هذه الدراسة في الكفاءة الحرارية للمباني الحجرية في منطقة غرداية، الجزائر، مع التركيز على قصر تافيلالت. باستخدام محاكاة حرارية بواسطة برنامج Energy Plus، تظهر الدراسة أن الجدران الحجرية، بفضل قدرتها العالية على التخزين الحراري، توفر راحة حرارية كبيرة من خلال تخزين الحرارة خلال النهار وإطلاقها خلال الليل. تم تحديد عزل الأرضيات والتهوية العرضية كعناصر رئيسية لتحسين الأداء الحراري للمباني. تؤكد النتائج على أهمية إعادة دمج مواد البناء المحلية لتحقيق بناء مستدام والحفاظ على الطابع المعماري للمنطقة.

الكلمات المفتاحية: الكفاءة الحرارية، الحجر، العزل، البناء المستدام

Liste des Tableaux :

Chapitre II

Tableau. II. 1: Corrélations entre les propriétés hygrothermiques. (Pestre, 2021)	38
Tableau. II. 2: Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures	42
Tableau. II. 3 : Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures.	43
Tableau. II. 4 : Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures pour les usines urbaines plus compactes.	45
Tableau. II. 5: Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures pour un tissu urbain plus compact	47

Chapitre IV

Tableau. IV. 1: Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction. (Ministre de L'habitat, 1997) (Abdelkader, Mémoire Master "L'amélioration des performances thermique des habitations en parpaing. Cas de la ville de Metlili", 2023).....	65
--	----

Liste des figures

Chapitre I

Figure.I. 1: Roches plutoniques. Source : www .alamyimage.com jour de consulter 01/05 /2024	6
Figure.I. 2: Roche volcanique Source : www .shutterstock.com jour de consulter 03/05 /2024.....	6
Figure.I. 3: <i>Roches chimiques</i> Source : www .cap-terre.org jour de consulter 03/05 /2024	7
Figure.I. 4: Roches chimiques Source : www.alamyimage.com jour de consulter 03/05 /2024	7
Figure.I. 5: Roches organiques. Source : www.wikipédia.org jour de consulter 03/05 /2024	8
Figure.I. 6: le marbre. Source : www .energiemines.ma jour de consulter 03/05 /2024.....	8
Figure.I. 7: le schiste. Source : www.futura-sciences.com jour de consulter 03/05 /2024.....	9
Figure.I. 8: Fondations et murs porteurs en pierre Source : www .freresrenovation.fr jour de consulter 03 /05 /2024.....	10
Figure.I. 9: Ponts et aqueducs en pierre. Source : www .depositphotos.com jour de consulter 03/05 /2024.....	10
Figure.I. 10: Revêtements extérieurs en pierre. Source : www .romanature.fr jour de consulter 03/05 /2024.....	11
Figure.I. 11: Carrelage en pierre. Source : www .espace-travertin.fr jour de consulter 03/05 /2024 ...	11
Figure.I. 12: <i>Escaliers et cheminées en pierre</i> . Source : www .graindepierre.fr jour de consulter 03/05 /2024	12
Figure.I. 13: Pilier De Pierre Ornement Bâtiment. Source : www .pixabay.com jour de consulter 03/05 /2024	12
Figure.I. 14: trottoirs en pierre Source : www .archiexpo.fr jour de consulter 03/05 /2024.....	13
Figure.I. 15: <i>Jardins et aménagements paysagers en pierre</i> . Source : www .paysagelembert.com jour de consulter 03/05 /2024	13
Figure.I. 16: Murs de soutènement en pierre. Source : www .jardine-et-decoration.be jour de consulter03/05 /2024.....	13
Figure.I. 17: Le moellon brut. (Adjali.s ,2019).....	14
Figure.I. 18: Le moellon ébauché. (Adjali.s ,2019)	15
Figure.I. 19: <i>la Grande Muraille de Chine à Mutianyu en 2015</i> . Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024	16
Figure.I. 20: <i>Le Colisée</i> . Source : www.merveilles-du-monde.com jour de consulté 04/05/2024	17
Figure.I. 21: Le Machu Picchu. . Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024.....	17
Figure.I. 22: Les Pyramides de Gizeh. . Source : www.sciencesetavenir.fr jour de consulté 04/05/2024	18
Figure.I. 23: Le Taj Mahal. . Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024	18
Figure.I. 24: <i>La Kasbah d'Alger</i> . Source : www.wingie.ae jour de consulté 04/05/2024	19
Figure.I. 25: La Grande Poste d'Alger. Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024.....	19

Figure.I. 26: Le Mausolée de Numidie. . Source : www.babzmen.com jour de consulté 04/05/2024..	20
Figure.I. 27: Le Timgad. . Source : www.aujourdhuilentreprise.dz jour de consulté 04/05/2024.....	20

Chapitre II

Figure. II. 1: Une maison construite en pierre naturelle. https://www.kreacctp.fr/ consulté le 20 juillet 2023	26
Figure. II. 2: La consommation d'énergie en Algérie par secteur d'activité	27
Figure. II. 3: <i>Modes d'échanges thermiques</i> . Source : (http://www.epfl.ch/enerbat ., 2023)	28
Figure. II. 4: Température de confort. (Abdelkader, 2023).....	29
Figure. II. 5: Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de chaleur . (Abdelkader, 2023)	30
Figure. II. 6: Température optimal en fonction de l'activité et de l'habillement . (Abdelkader, 2023)	31
Figure. II. 7: <i>Indices d'évaluation du confort thermique (PMV et PPD)</i> . (Mohammed C. , 2009)	32
Figure. II. 8: <i>Les trois modes de Transfer de chaleur</i> (Baroud, 2022/2023).....	33
Figure. II. 9: Transfert chaleur par Rayonnement (Baroud, 2022/2023).....	33
Figure. II. 10: Principe de la conduction (Baroud, 2022/2023).....	34
Figure. II. 11: Principe de la convection] (Baroud, 2022/2023).....	35
Figure. II. 12: L'inertie thermique de la pierre naturelle (https://www.cupastone.fr/wp-content/uploads/sites/7/2024/01/image-1.png).....	40
Figure. III. 13 : Charge de pointe de chauffage et de refroidissement pour tous les types d'habitations..	49
Figure. II. 14: Charge de chauffage et de refroidissement pour tous les types d'habitations	50

Chapitre II

Figure. III. 1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (wikipedia, n.d.).....	54
Figure. III. 2: Situation géographique de Le ksar Tafilelt (auteur, n.d.)	55
Figure. III. 3: <i>Vue aérienne sur Bni Isguen</i> , source : (: Association Amidoul, 2015).....	55
Figure. III. 4: Localisation géographique du nouveau Ksar, source : (google earth).....	56
Figure. III. 5: Les 5 ksour de la vallée avant la période coloniale (Benyoucef, 1986)	57
Figure. III. 6: Situation de la maison étudiée. Source : (Mohammed C. , 2009).....	59
Figure. III. 7: plan niveau RDC . Source : Auteur	60
Figure. III. 8: plan niveau R+1. Source : Auteur	60
Figure. III. 9: plan niveau terrasse . Source : Auteur.	61
Figure. III. 10: plan de façade . Source : Auteur.....	61

Chapitre IV

Figure. IV. 1 : Modélisation en 3D de cas d'étude par Google Sketch Up. Source : Auteur	64
Figure. IV. 2: la simulation par EP-launch. Source Auteur.....	66
Figure. IV. 3: Résultats de la simulation durant la période hivernale. Source Auteur.	66
Figure. IV. 4: Résultats de la simulation durant la période estivale. Source Auteur.	67

Sommaire :

Table des matières

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumé :	III
Liste des Tableaux :	IV
Liste des figures.....	V
Sommaire :.....	VIII
Introduction Générale	2
CHAPITRE I :	4
UTILISATION DE LA PIERRE DANS LE DOMAIN DE CONSTRUCTION	4
I.1. Introduction :.....	5
I.3. Origine et classification des roches :.....	6
I.3.1. Roches ignées (ou roches magmatiques) :.....	6
I.3.2. Roches sédimentaires.....	7
I.3.3. Roches métamorphiques	8
I.4. Applications de la Pierre dans la Construction :.....	9
I.4.1. Utilisation structurelle :	9
I.4.2. Utilisation décorative :.....	11
I.4.3. Utilisation fonctionnelle :	12
I.5. Avantages de la pierre dans la construction :	14
I.5.1. Durabilité :	14
I.5.2. Esthétique :	14
I.5.3. Résistance :	14
I.5.4. Écologique :	14
I.6. Les techniques de construction utilisant la pierre :	14
I.6.1. Construction en moellons :.....	14
I.6.2. Construction en pierre de taille :	15
I.6.3. Construction en pierre sèche :	15
I.7. Considérations de Conception et d'Installation (Giroud & Surcouf, 2016):	15
I.7.1. Choix du Type de Pierre :	15
I.7.2. Conception et Dimensionnement :	16
I.7.3. Préparation du Support:	16
I.7.4. Pose et Fixation :	16
I.8. Les exemples de bâtiments emblématiques construits en pierre :	16
I.8.1. La Grande Muraille de Chine :.....	16

I.8.2. Le Colisée :	17
I.8.3. Le Machu Picchu:	17
I.8.4. Les Pyramides de Gizeh:	17
I.8.5. Le Taj Mahal:	18
I.9. Les exemples de bâtiments emblématiques construits en pierre dans Algeria:	18
I.9.1. La Kasbah d'Alger:	18
I.9.2. La Grande Poste d'Alger :	19
I.9.3. Le Mausolée de Numidie :	19
I.9.4. Le Timgad :	20
I.10. Les tendances actuelles dans l'utilisation de la pierre dans la construction (Guilaine et al., 2002) :	20
I.10.1 Utilisation de la pierre naturelle :	20
I.10.2. Promotion de l'utilisation de la pierre locale	21
I.10.3. Innovation dans les techniques de taille de pierre	21
I.10.4. Promotion de la durabilité	21
I.11. Les innovations et nouvelles technologies dans l'utilisation de la pierre dans la construction (Bienne, 2004; Caroly, 2007) :	21
I.11.1. Impression 3D	21
I.11.2. Outils et équipements modernes	21
I.11.3. Exploitation durable des carriers	21
I.12. Les avantages utilisation de la pierre :	21
I.13. Conclusion	22
CHAPITRE II :	24
ETUDE SUR L'EFFICACITE THERMIQUE DE LA PIERRE	24
II.1. Introduction :	25
II.2. L'efficacité thermique de la pierre :	25
II.3. L'efficacité énergétique :	26
II.3.2. Avantages de l'efficacité énergétique :	27
II.4. Confort thermique :	27
II.4.1. Les échanges thermiques :	28
II.4.2. Les paramètres de confort thermique :	28
II.5. Transfert de chaleur :	32
II.5.1. Différents modes de transfert de chaleur :	33
II.6. Caractéristique thermique de la pierre :	35
II.6.1. Conductivité thermique :	36
II.6.2. Capacité thermique :	36
II.6.3. Perméabilité et diffusivité thermique du calcaire :	37
II.6.4. La corrélation entre les propriétés hygrothermiques :	37

II.6.5. Propriétés thermiques utiles des murs :	39
II.7. Etat de l'art :	40
II.7.1. Etudes intérieures sur l'efficacité thermique des constructions en pierre :	40
II.7.2. Mémoires consultés :	50
Conclusion :	51
CHAPITRE III :	52
PRESENTATION CAS DE L'ETUDE	52
III.1. Introduction :	53
III.2. Représentation de la région d'étude :	53
III.2.1. Situation géographique et la géomorphologie :	53
III.3.1. Situation géographique :	59
III.3.2. Présentation de la maison d'étude :	59
III.3.3. Description de la maison étudiée.....	62
CHAPITRE IV :	63
REPRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	63
IV.1. Introduction.....	64
IV.2. Etapes de la simulation par EnergyPlus	64
IV.2.1. Modélisation de cas d'étude par Google Sketch Up	64
IV.2.2. L'identification de cas d'étude en utilisant IDF Editor d'EnergyPlus.....	64
IV.3. Représentation et discussion des résultats :	66
IV.3.1. Résultat de la simulation durant la période hivernale :	66
IV.3.2. Résultat de la simulation durant la période estivale :	67
IV.4. Interprétation des résultats :	67
IV.4.1. Durant la période hivernale :	67
IV.4.2. Durant la période estivale :	68
IV.5. Conclusion	68
Conclusion générale :	70
Références bibliographiques :	72

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le réchauffement climatique est un phénomène global qui se manifeste par une élévation de la température moyenne à la surface de la Terre. Il résulte principalement de l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, notamment le dioxyde de carbone (CO₂), issu des activités humaines. Ces gaz piègent le rayonnement infrarouge, empêchant ainsi une dissipation efficace de la chaleur vers l'espace, ce qui aggrave les déséquilibres climatiques et appelle à une réponse urgente et concertée.

Face à ces enjeux environnementaux, le concept de développement durable apparaît comme une approche incontournable. Il vise à concilier les besoins des générations présentes et futures en intégrant les limites écologiques et en favorisant une gestion raisonnée des ressources naturelles. Parmi ces ressources, les matériaux de construction jouent un rôle clé, en particulier la pierre, qui a été exploitée depuis l'Antiquité pour ses propriétés thermiques et sa durabilité.

L'interaction entre l'homme et la roche remonte à des millénaires. Utilisée pour l'art, l'architecture et la construction, la pierre constitue un matériau de choix grâce à sa solidité, sa disponibilité et ses performances thermiques. Dans des régions aux conditions climatiques extrêmes, comme le désert algérien, l'efficacité thermique des matériaux devient un enjeu fondamental pour garantir un confort optimal dans l'habitat. En effet, la pierre a été largement employée dans l'architecture traditionnelle pour ses capacités à réguler naturellement la température intérieure des bâtiments.

Un exemple particulièrement pertinent est celui du **Ksar Tafilale**t, situé à Ghardaïa en Algérie. Ce village fortifié, caractéristique des oasis sahariennes, illustre parfaitement l'adaptation des constructions locales aux contraintes climatiques. Construit principalement en pierre, le ksar exploite les propriétés thermiques de ce matériau pour offrir des conditions de vie agréables malgré les fortes variations de température.

Cette recherche s'intéresse à l'efficacité thermique de la pierre utilisée dans la construction du **Ksar Tafilale**t. L'objectif est d'analyser comment ce matériau contribue à la régulation thermique des habitations et d'examiner les possibilités d'intégration de ces techniques traditionnelles dans la construction moderne, dans une optique de durabilité.

Ainsi, cette étude soulève plusieurs questions essentielles :

INTRODUCTION GENERALE

- Comment valoriser l'usage de la pierre dans la construction des habitations de la région de Ghardaïa ?
- L'enveloppe bâtie en pierre permet-elle d'assurer un confort thermique optimal dans cette région aride ?

Pour répondre à ces interrogations, nous avançons les hypothèses suivantes :

- Les murs en pierre, bien que massifs, ne garantissent pas toujours un confort thermique optimal en raison de leur forte inertie thermique.
- L'isolation thermique des planchers permettrait de limiter les pertes de chaleur et d'améliorer le confort intérieur.

L'objectif principal de cette étude est de valoriser l'utilisation de la pierre comme matériau de construction local en évaluant son efficacité thermique. À travers une simulation réalisée avec le logiciel **Energy Plus**, nous chercherons à déterminer dans quelle mesure la pierre permet d'assurer un confort thermique adéquat dans les habitations du **Ksar Tafilalet**.

Ce travail est structuré en quatre chapitres :

1. **Exploration des usages de la pierre** dans la construction à travers l'histoire et son application dans l'architecture traditionnelle.
2. **Analyse des propriétés thermiques de la pierre**, en s'appuyant sur des études antérieures similaires.
3. **Présentation des conditions climatiques de la région de Ghardaïa**, ainsi que la description du **Ksar Tafilalet** et de l'habitation étudiée.
4. **Simulation thermique avec Energy Plus**, suivie de l'interprétation des résultats obtenus.

Cette étude vise ainsi à démontrer la pertinence de la pierre comme matériau de construction durable, capable de répondre aux défis climatiques contemporains tout en s'inspirant du savoir-faire ancestral.

CHAPITRE I :

**UTILISATION DE LA PIERRE
DANS LE DOMAIN DE
CONSTRUCTION**

I.1. Introduction :

La pierre est un matériau de construction naturel, durable et esthétique qui a été utilisé depuis des siècles dans l'architecture. De nos jours, elle continue à être un choix populaire pour de nombreuses applications de construction, en raison de ses avantages uniques en termes de solidité, de durabilité et d'apparence (Beldjoudi et al., 2021). Dans cette présentation, nous examinerons en détail les différentes façons dont la pierre peut être utilisée dans le secteur de la construction.

L'utilisation de la pierre dans la construction remonte à des temps immémoriaux, bien avant que l'écriture ne nous permette de la documenter (Mamillan). La pierre est un matériau de construction noble, utilisé depuis l'Antiquité. Les premiers temples et les premières fortifications étaient en pierre. Aujourd'hui, ce matériau revient en force dans le secteur de la construction, notamment du fait de ses avantages écologiques.

Des civilisations anciennes, des égyptiens aux incas, ont taillé la pierre pour ériger des monuments imposants et des structures durables (Samama, 2022). Au fil du temps, les techniques de taille et de manipulation de la pierre ont évolué, permettant aux cultures du monde entier d'exploiter ce matériau de manière créative et ingénieuse. Les Grecs ont perfectionné l'art de la construction en pierre avec leurs temples majestueux, tandis que les Romains ont poussé les limites de l'ingénierie en utilisant la pierre pour des arcs et des aqueducs impressionnants. L'usage de la pierre en Gaule pendant l'Antiquité s'est généralisé sous l'influence romaine jusqu'à devenir omniprésente dans la société gallo-romaine. L'adoption des pratiques de construction d'influence italique, la densification de l'urbanisme et les évolutions de la société aspirant à améliorer ses conditions d'existence a abouti à l'installation et à l'épanouissement d'une « culture de la pierre ». En même temps qu'elles permettaient la mise à disposition du matériau, ces pratiques nouvelles dans le bâtiment introduisaient leurs usages dans une grande diversité de formes constructives (Bessac & Sablayrolles, 2002).

Au Moyen Âge, les cathédrales gothiques ont été élevées en utilisant des techniques sophistiquées de maçonnerie en pierre, démontrant la polyvalence et la durabilité de ce matériau. De nos jours, bien que d'autres matériaux aient gagné en popularité, la pierre continue d'être utilisée dans la construction pour sa beauté naturelle et sa résistance éprouvée (Aubert, 1960).

I.3. Origine et classification des roches :

L'écorce terrestre est composée de masses minérales de composition plus ou moins uniforme dite : Roche (Cordier, 1868). Cette dernière est constituée soit d'un seul minéral (monominérale, tel que : Quartz, le gypse), soit de plusieurs minéraux (polyminérale, tel que : le granit, le basalte, les porphyres).

Les roches sont des matériaux solides constituant la croûte terrestre et se forment à partir de divers processus géologiques (Bouchard & Govare, 1999). Elles peuvent être classées en trois grandes catégories principales : les roches ignées, les roches sédimentaires et les roches métamorphiques (Bounamis et al., 2006).

I.3.1. Roches ignées (ou roches magmatiques) :

Les roches ignées se forment à partir de la solidification du magma, qui est une matière fondue trouvée sous la surface de la Terre. Elles peuvent être subdivisées en deux types (Iacono-Marziano, 2021):

I.3.1.1. Roches plutoniques (ou intrusives) :

Elles se forment lorsque le magma se refroidit lentement sous la surface de la Terre, ce qui permet la formation de gros cristaux. Un exemple typique est le granite (Sanogo, 2022).



Figure.I. 1: Roches plutoniques. Source : [www .alamyimage.com](http://www.alamyimage.com) jour de consulter 01/05 /2024

I.3.1.2. Roches volcaniques (ou extrusives) :

Elles se forment lorsque le magma atteint la surface de la Terre sous forme de lave et se refroidit rapidement, entraînant la formation de petits cristaux. Un exemple courant est le basalte (Lanari, 2012).



Figure.I. 2: Roche volcanique Source : [www .shutterstock.com](http://www.shutterstock.com) jour de consulter 03/05 /2024

I.3.2. Roches sédimentaires

Les roches sédimentaires se forment à partir de l'accumulation et de la compaction de sédiments, qui peuvent être des fragments d'autres roches, des restes d'organismes vivants ou des précipités chimiques. Elles sont souvent stratifiées et peuvent contenir des fossiles (Paul & Kouamé, 2019). On distingue trois types principaux:

I.3.2.1. Roches détritiques :

Formées à partir de fragments de roches préexistantes. Un exemple est le grès.



Figure.I. 3: Roches chimiques Source : www.cap-terre.org jour de consulter 03/05 /2024

I.3.2.2. Roches chimiques :

Formées par précipitation de substances dissoutes dans l'eau. Un exemple est le calcaire.



Figure.I. 4: Roches chimiques Source : www.alamyimage.com jour de consulter 03/05 /2024

I.3.2.3. Roches organiques :

Formées à partir de matières organiques accumulées. Un exemple est le charbon.



Figure.I. 5: Roches organiques. Source : www.wikipédia.org jour de consulter 03/05 /2024

I.3.3. Roches métamorphiques

Les roches métamorphiques sont le résultat de la transformation de roches préexistantes (ignées, sédimentaires ou même métamorphiques) sous l'effet de hautes pressions, hautes températures ou de l'activité chimique (HAKIM; Lanari, 2012). Ce processus, appelé métamorphisme, modifie la texture et la composition minéralogique des roches sans les faire fondre. On peut citer:

I.3.3.1. Métamorphisme de contact :

Se produit lorsque les roches sont chauffées par le magma sans être fondues. Exemple : le marbre.



Figure.I. 6: le marbre. Source : www.energiemines.ma jour de consulter 03/05 /2024

I.3.3.2. Métamorphisme régional :

Résulte de la pression et de la température élevées sur de grandes régions, souvent liées aux mouvements tectoniques. Exemple : le schiste.



Figure.I. 7: le schiste. Source : www.futura-sciences.com jour de consulter 03/05 /2024

I.4. Applications de la Pierre dans la Construction :

La pierre, en tant que matériau de construction, possède une longue histoire d'utilisation remontant à des millénaires (Prigent, 2020). Depuis les civilisations anciennes jusqu'à nos jours, elle a été un élément fondamental dans la construction de structures durables et esthétiquement attrayantes. La popularité de la pierre repose sur plusieurs caractéristiques distinctives qui en font un choix privilégié pour les architectes, les ingénieurs et les constructeurs (Pereira, 2014).

La pierre est reconnue pour sa durabilité exceptionnelle. Elle résiste à l'épreuve du temps, des éléments naturels et des forces mécaniques, ce qui en fait un matériau de construction idéal pour des applications à long terme. Sa résistance à la compression en fait un choix naturel pour les fondations, les murs porteurs et d'autres éléments structurels qui doivent supporter des charges importantes. De plus, sa capacité à résister au feu et aux intempéries en fait un matériau de construction sûr et fiable dans divers environnements (BOUTEMEDJET et al., 2019).

Outre sa solidité, la pierre offre une esthétique naturelle et intemporelle qui ajoute une touche de prestige et d'élégance à n'importe quelle structure. Avec une variété infinie de couleurs, de textures et de motifs, chaque type de pierre apporte sa propre personnalité et son caractère unique à un projet de construction (Bitsindou). De la douceur du marbre au caractère rustique du grès, la pierre permet une expression artistique et architecturale sans limites, s'adaptant à une multitude de styles et de designs.

I.4.1. Utilisation structurelle :

I.4.1.1. Fondations et murs porteurs :

La pierre, en particulier le granit et le calcaire, est utilisée pour les fondations et les murs porteurs en raison de sa robustesse et de sa capacité à supporter de lourdes charges.



Figure.I. 8: Fondations et murs porteurs en pierre Source : www.freresrenovation.fr jour de consulter 03 /05 /2024

I.4.1.2. Ponts et aqueducs :

Historiquement, les ponts et aqueducs en pierre ont été construits pour leur longévité et leur capacité à résister aux intempéries et à l'érosion.



Figure.I. 9: Ponts et aqueducs en pierre. Source : www.depositphotos.com jour de consulter 03/05 /2024

I.4.1.3. Revêtements extérieurs :

Les pierres comme le marbre, le granit et le grès sont souvent utilisées pour les façades des bâtiments, offrant à la fois une protection contre les éléments et une apparence esthétique durable.



Figure.I. 10: Revêtements extérieurs en pierre. Source : www.romanature.fr jour de consulter 03/05 /2024

I.4.2. Utilisation décorative :

I.4.2.1. Revêtements de sol et carrelages :

Les pierres naturelles, telles que le marbre, le travertin et le schiste, sont populaires pour les revêtements de sol et les carrelages en raison de leur beauté naturelle et de leur durabilité.



Figure.I. 11: Carrelage en pierre. Source : www.espace-travertin.fr jour de consulter 03/05 /2024

I.4.2.2. Escaliers et cheminées :

La pierre est fréquemment utilisée pour construire des escaliers et des cheminées, apportant une touche d'élégance et de rusticité à l'intérieur des bâtiments.



Figure.I. 12: Escaliers et cheminées en pierre. Source : [www .graindepierre.fr](http://www.graindepierre.fr) jour de consulter 03/05 /2024

I.4.2.3. Ornements architecturaux :

Des sculptures, des colonnes, des corniches et d'autres éléments décoratifs en pierre ajoutent une dimension artistique et historique aux constructions.

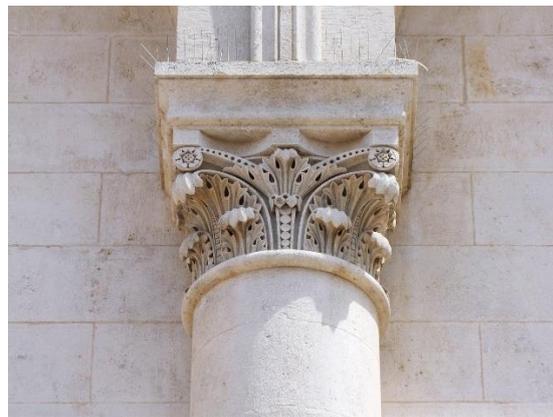


Figure.I. 13: Pilier De Pierre Ornement Bâtiment. Source : [www .pixabay.com](http://www.pixabay.com) jour de consulter 03/05 /2024

I.4.3. Utilisation fonctionnelle :

I.4.3.1. Pavés et trottoirs :

La pierre est un choix populaire pour les pavés et les trottoirs, particulièrement dans les zones urbaines et historiques, où elle contribue à l'esthétique tout en offrant une surface résistante.



Figure.I. 14: trottoirs en pierre Source : [www .archiexpo.fr](http://www.archiexpo.fr) jour de consulter 03/05 /2024.

I.4.3.2. Jardins et aménagements paysagers :

Les pierres sont utilisées dans les jardins pour créer des allées, des murets, des fontaines et d'autres éléments de décoration paysagère.



Figure.I. 15: Jardins et aménagements paysagers en pierre. Source : [www .paysagelembert.com](http://www.paysagelembert.com) jour de consulter 03/05 /2024

I.4.3.3. Murs de soutènement :

En génie civil, les murs de soutènement en pierre sont couramment utilisés pour prévenir l'érosion et maintenir les sols en place, particulièrement dans les zones vallonnées ou montagneuses.

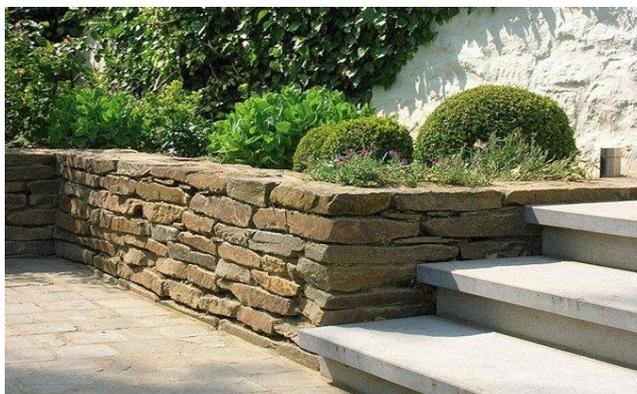


Figure.I. 16: Murs de soutènement en pierre. Source : [www .jardine-et-decoration.be](http://www.jardine-et-decoration.be) jour de consulter 03/05 /2024

I.5. Avantages de la pierre dans la construction :

I.5.1. Durabilité :

Les structures en pierre peuvent durer des siècles, voire des millénaires, comme en témoignent de nombreux monuments historiques (Bisoffi-Sauve, 2016).

I.5.2. Esthétique :

La pierre offre une beauté naturelle et une variété de textures et de couleurs, ce qui permet une grande flexibilité dans le design architectural (Si Amer, 2019).

I.5.3. Résistance :

La pierre est résistante au feu, aux intempéries et aux parasites, ce qui en fait un matériau de construction fiable et sûr.

I.5.4. Écologique :

Utilisée localement, la pierre peut réduire l'empreinte carbone liée au transport des matériaux de construction, et elle est recyclable (Pestre, 2021).

I.6. Les techniques de construction utilisant la pierre :

I.6.1. Construction en moellons :

La construction en moellons est une technique traditionnelle utilisant des pierres brutes non taillées. Les moellons sont assemblés en couches horizontales avec de la terre ou du mortier. Cette méthode de construction est connue pour sa durabilité et son isolation thermique, mais elle nécessite souvent une compétence spécifique dans l'agencement des pierres afin de stabiliser la structure. Il y a trois types de moellons: moellon brut; moellon ébauché; moellon équarri (Bessac, 2013; Pestre, 2021).

A) Le moellon brut est une roche de forme irrégulière, telle qu'elle a été extraite de la carrière.

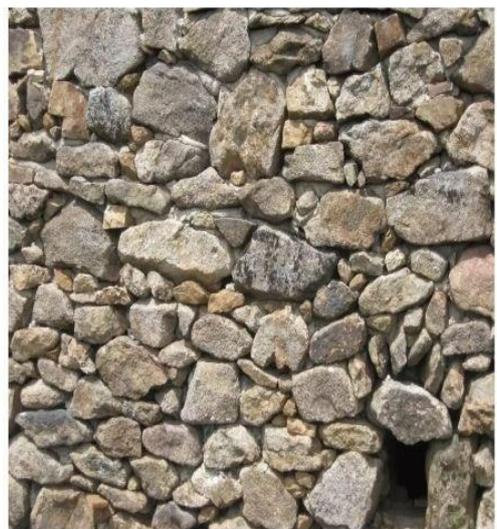
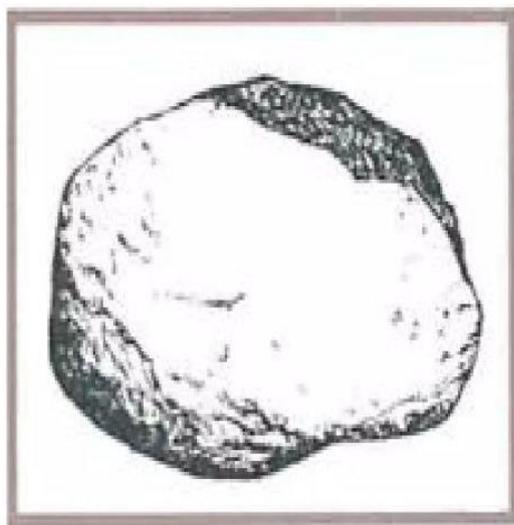


Figure.I. 17: Le moellon brut. (Adjali.s ,2019)

B) Le moellon ébauché est une pierre de forme plus ou moins régulière, ébauchée au maillet



Figure.I. 18: Le moellon ébauché. (Adjali.s ,2019)

I.6.2. Construction en pierre de taille :

La construction en pierre de taille implique de tailler les pierres selon des dimensions spécifiques pour les assembler de manière précise. Cela permet de créer des structures complexes, telles que des arcs, des voûtes, et des motifs décoratifs. Cette méthode demande un haut niveau de compétence artisanale et est souvent utilisée pour des bâtiments historiques et des monuments (Bessac, 2013).

I.6.3. Construction en pierre sèche :

La construction en pierre sèche est réalisée sans mortier, en empilant les pierres de manière à ce qu'elles se verrouillent entre elles. Cette méthode, également connue sous le nom de "construction à sec", est souvent utilisée pour les murs de soutènement, les clôtures, et les cheminées. Elle nécessite une bonne connaissance des propriétés des pierres pour assurer la stabilité de la structure (Alomar-Garau, 2020).

I.7. Considérations de Conception et d'Installation (Giroud & Surcouf, 2016):

I.7.1. Choix du Type de Pierre :

La première étape consiste à choisir le type de pierre le plus adapté en fonction des besoins du projet, de l'emplacement et du style souhaité.

I.7.2. Conception et Dimensionnement :

Les éléments en pierre doivent être soigneusement dimensionnés et conçus pour garantir leur solidité et leur stabilité structurelle.

I.7.3. Préparation du Support:

Le support sur lequel la pierre sera installée doit être correctement préparé pour assurer une adhérence et une stabilité optimales.

I.7.4. Pose et Fixation :

La pose et la fixation de la pierre nécessitent une technique spécifique pour garantir une installation durable et sans défaut.

I.8. Les exemples de bâtiments emblématiques construits en pierre :

De nombreux bâtiments emblématiques à travers le monde ont été construits en pierre. Voici quelques exemples (Coste & Lajarge, 2014) :

I.8.1. La Grande Muraille de Chine :

Est la plus longue structure artificielle au monde. Elle a été construite sur des siècles pour protéger l'Empire chinois des envahisseurs. La Grande Muraille est faite de briques, de pierres et de terre tassée (Boiron, 2011).



Figure.I. 19: *la Grande Muraille de Chine à Mutianyu en 2015. Source : www.wikipedia.org
jour de consulté 04/05/2024*

I.8.2. Le Colisée :

Est un amphithéâtre ovale à Rome, en Italie. Construit en béton et en pierre, c'est le plus grand amphithéâtre du monde et pouvait accueillir jusqu'à 80 000 spectateurs. Le Colisée était utilisé pour les combats de gladiateurs, les spectacles d'animaux et les exécutions publiques (Fleury et al., 2015).



Figure.I. 20: *Le Colisée.* Source : www.merveilles-du-monde.com jour de consulté 04/05/2024

I.8.3. Le Machu Picchu:

Est une ancienne citadelle inca située au Pérou. Il est construit en pierre taillée et n'a jamais été découvert par les Espagnols. Machu Picchu est l'une des destinations touristiques les plus populaires d'Amérique du Sud (Arellano, 2011).



Figure.I. 21: *Le Machu Picchu.* . Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024

I.8.4. Les Pyramides de Gizeh:

Sont trois pyramides situées à Gizeh, en Égypte. Elles sont les plus grandes pyramides du monde et ont été construites pour abriter les tombes des pharaons Khéops, Khéphren et Mykérinos. Les pyramides sont construites en pierre calcaire et il a fallu des millions de journées de travail pour les construire (Brier et al., 2008).



Figure.I. 22: Les Pyramides de Gizeh. Source : www.sciencesetavenir.fr jour de consulté 04/05/2024

I.8.5. Le Taj Mahal:

Est un mausolée en marbre blanc situé à Agra, en Inde. Il a été construit par l'empereur moghol Shah Jahan à la mémoire de sa troisième femme, Mumtaz Mahal. Le Taj Mahal est considéré comme l'un des plus beaux bâtiments du monde (Koch, 2005).



Figure.I. 23: Le Taj Mahal. Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024

I.9. Les exemples de bâtiments emblématiques construits en pierre dans Algeria:

I.9.1. La Kasbah d'Alger:

Est une citadelle fortifiée située sur une colline surplombant la ville d'Alger. Elle a été fondée au Xe siècle par les Zirides et classée au patrimoine mondial de l'UNESCO en 1992. La Kasbah est construite en pierre calcaire et est composée de ruelles étroites, de maisons blanchies à la chaux et de mosquées. Elle est considérée comme un exemple exceptionnel d'architecture urbaine islamique médiévale (DE LA RESSOURCE, 2003).



Figure.I. 24: La Kasbah d'Alger. Source : www.wingie.ae jour de consulté 04/05/2024

I.9.2. La Grande Poste d'Alger :

Construite en 1910, cet édifice de style néo-mauresque est un exemple de l'architecture mixte occidentale et méditerranéenne qui a influencé l'urbanisme d'Alger. Elle abrite les services de la poste algérienne au cœur de la ville et est considérée comme un repère touristique important.



Figure.I. 25: La Grande Poste d'Alger. Source : www.wikipedia.org jour de consulté 04/05/2024

I.9.3. Le Mausolée de Numidie :

Est un tombeau royal situé dans la ville de Constantine. Il a été construit au II^e siècle avant J.-C. par les rois numides et est considéré comme l'un des monuments les plus importants de l'époque numide. Le mausolée est construit en pierre calcaire et présente une façade élaborée avec des colonnes et des frises. Il est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1988 (Khanoussi, 2003).



Figure.I. 26: Le Mausolée de Numidie. . Source : www.babzmen.com jour de consulté 04/05/2024

I.9.4. Le Timgad :

Est une ancienne ville romaine située dans la province de Batna. Il a été fondé en 100 après J.-C. par l'empereur Trajan et était une importante colonie militaire. Timgad est construit en pierre calcaire et présente un plan de grille régulier avec des rues, des temples et des forums. Il est considéré comme l'un des exemples les mieux conservés de planification urbaine romaine en Afrique du nord (Rezkallah, 2017).



Figure.I. 27: Le Timgad . Source : www.aujourdhuintreprise.dz jour de consulté 04/05/2024

I.10. Les tendances actuelles dans l'utilisation de la pierre dans la construction (Guilaine et al., 2002) :

I.10.1 Utilisation de la pierre naturelle :

La tendance actuelle met l'accent sur l'utilisation de la pierre naturelle non seulement pour sa durabilité, mais aussi pour sa beauté intemporelle. Les architectes et les designers recherchent des moyens innovants d'intégrer la pierre naturelle dans la construction pour créer des espaces esthétiquement attrayants.

I.10.2. Promotion de l'utilisation de la pierre locale

Les tendances actuelles encouragent l'utilisation de la pierre locale pour minimiser l'empreinte carbone associée au transport de matériaux de construction. Cela met en valeur les caractéristiques uniques de la pierre indigène et contribue à la préservation des ressources naturelles.

I.10.3. Innovation dans les techniques de taille de pierre

La technologie moderne a permis le développement de techniques de taille de pierre avancées, offrant ainsi une variété de coupes et de finitions qui répondent aux demandes esthétiques et fonctionnelles des concepteurs de bâtiments.

I.10.4. Promotion de la durabilité

Les tendances actuelles encouragent l'utilisation de la pierre dans des projets de construction durables, mettant en avant ses propriétés de résistance aux intempéries, sa longévité et son faible entretien, ce qui en fait un matériau de construction respectueux de l'environnement.

La pierre.

I.11. Les innovations et nouvelles technologies dans l'utilisation de la pierre dans la construction (Bienne, 2004; Caroly, 2007) :

I.11.1. Impression 3D

L'impression 3D a révolutionné la façon dont la pierre est utilisée dans la construction. Cette technologie permet de créer des éléments architecturaux complexes et sur mesure en pierre, offrant des possibilités de design et de construction jusque-là inimaginables.

I.11.2. Outils et équipements modernes

Les progrès dans les outils et équipements utilisés pour travailler la pierre ont considérablement amélioré l'efficacité et la précision de la construction. Des machines de découpe au laser aux systèmes de levage avancés, ces technologies modernes facilitent la manipulation de la pierre.

I.11.3. Exploitation durable des carrières

Les nouvelles techniques d'extraction de la pierre mettent l'accent sur la durabilité et la préservation de l'environnement. Des méthodes de carrières écologiques et des technologies de récupération de déchets améliorent l'empreinte environnementale de l'utilisation de la pierre dans la construction.

I.12. Les avantages utilisation de la pierre :

La pierre est un matériau naturel qui plait pour son aspect très esthétique mais qui offre également de nombreux autres avantages, notamment :

- Elle est parfaite pour de l'ancien comme pour du moderne.

- On peut utiliser la pierre sur un seul pan de mur ou la combiner avec d'autres matériaux.
- La pierre est un bon isolant ce qui permet d'avoir une maison toujours fraîche même l'été et lors des canicules.
- La pierre est aussi parfaite pour lutter contre de basses températures au cœur de l'hiver. Cet effet, que l'on appelle inversion thermique est typique des maisons en pierres.
- Outre l'isolation thermique, la pierre représente aussi un bon isolant acoustique ce qui n'est pas négligeable si votre maison se trouve dans un environnement bruyant (exemple : circulation routière, sortie d'écoles, etc.) (He et al., 2016).
- La pierre naturelle est aussi un matériau connu pour sa résistance au feu et aux insectes.
- Etant donné la faible demande pour ce matériau, son prix n'est pas très élevé par rapport à d'autres matériaux : il offre donc un bon rapport qualité/prix et construire une maison en pierre permet de faire de belles économies (Handel & Pierre, 1975).
- La pierre ne demande pas d'entretien particulier car c'est un matériau durable qui résiste parfaitement au passage du temps et conserve sa couleur d'origine (Bisoffi-Sauve, 2016).
- La pierre naturelle, comme le bois et d'autres matériaux (exemple : le marbre) est considérée comme matériau noble.
- Construire une maison en pierres, c'est aussi opter pour un matériau écologique puisque pour ce matériau, aucune transformation chimique n'est utilisée. Ce matériau naturel a également un rôle important pour assainir l'air de la maison de façon très naturelle (Bisoffi-Sauve, 2016).

I.13. Conclusion

Dans l'ensemble, l'utilisation de la pierre dans la construction offre une durabilité exceptionnelle, une esthétique intemporelle et une résistance inégalée. Les multiples types de pierre disponibles offrent une variété d'options pour les architectes et les constructeurs, permettant la création de structures uniques et durables.

Alors que la construction moderne continue d'explorer de nouveaux matériaux et techniques, la pierre demeure un pilier fondamental dans l'industrie de la construction, offrant une belle symbiose entre tradition et innovation. Sa polyvalence et sa longévité en font un choix attrayant pour les projets de construction à long terme.

CHAPITRE II :

**ETUDE SUR L'EFFICACITE
THERMIQUE DE LA PIERRE**

II.1. Introduction :

L'efficacité thermique des bâtiments en pierre constitue un élément essentiel de leur conception et de leur fonction dans l'architecture et l'ingénierie. Notre compréhension des avantages thermiques des pierres dans la construction ne se limite pas aux époques anciennes, mais s'étend à l'époque moderne, incluant les conceptions contemporaines et les technologies d'ingénierie. L'efficacité thermique vise à fournir un environnement intérieur confortable et sain aux occupants des bâtiments en maintenant des conditions thermiques optimales, en assurant une isolation thermique efficace et en permettant le stockage efficace de la chaleur. Des facteurs tels que la température, l'humidité, la circulation de l'air, la qualité de l'air et l'éclairage, tous influent sur le confort thermique ressenti par les personnes dans le bâtiment en pierre. Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) sont les principaux moyens utilisés pour réguler les conditions thermiques à l'intérieur des bâtiments. Pour garantir une efficacité thermique optimale, il est essentiel de se conformer aux normes et réglementations de confort thermique, qui varient d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre dans le monde. Cette introduction offre un aperçu général de l'importance de l'efficacité thermique dans les bâtiments et des facteurs qui influent sur celle-ci le bien-être thermique des occupants (Mohammed C. , 2009).

II.2. L'efficacité thermique de la pierre :

La pierre est un matériau de construction que l'on trouve dans la nature et qui possède de nombreuses propriétés, dont l'isolation thermique. Elle possède une grande inertie thermique, c'est-à-dire qu'elle peut accumuler de la chaleur pendant la journée et la restituer pendant la nuit. Cela nous permet de contrôler la température à l'intérieur de la pièce, d'améliorer l'adéquation de l'environnement de vie et de réduire les coûts de chauffage et d'air conditionné. (Cupa Stone, 2015) L'inertie thermique d'une pierre est proportionnelle à son épaisseur et inversement proportionnelle à sa conductivité thermique. Plus la pierre est épaisse, moins elle est conductrice, plus l'inertie thermique est forte. Cela ralentit le transfert de chaleur à travers les parois et permet de réduire le changement de température entre l'intérieur et l'extérieur. (Imane, 2017) inertie thermique, la pierre naturelle présente d'autres avantages pour l'efficacité énergétique des bâtiments : (Cupa Stone, 2015). (Rémy, 2013)

* Contribue aux économies d'énergie en réduisant le besoin de chauffage et de climatisation

- * Augmente le confort thermique du passager en été et en hiver
- * Il est durable et nécessite peu d'entretien
- * S'adapte bien au projet de rénovation sans perte d'espace de vie

Cependant, afin d'optimiser les performances thermiques des bâtiments en pierre, il est important d'associer ce matériau à une isolation performante des murs opaques et des ouvertures (Rémy, 2013). Ces dernières années, la technologie d'isolation thermique a fait de grands progrès, il est devenu possible de combiner l'inertie thermique de la pierre avec l'isolation thermique pour atteindre une efficacité énergétique élevée (Rémy, 2013).



Figure. II. 1: Une maison construite en pierre naturelle. <https://www.kreacctp.fr/> consulté le 20 juillet 2023

II.3. L'efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique est une composante importante de l'économie verte, elle vise à réduire la consommation d'énergie sans perturber le service fourni, ce qui entraîne Réduire les coûts écologiques, économiques et sociaux associés à la production et à la distribution et la consommation d'énergie. L'efficacité énergétique est l'un des concepts de base de l'éco-conception et constitue la prochaine approche. Mise en œuvre par alliance de type Haute Qualité Environnementale (HQE) ou bâtiments durables Mise en œuvre progressive de la "certification énergétique" au moins dans certains pays. (BOUTERAA Ghada, 2016/2017).

L'efficacité énergétique se réfère au rapport entre l'énergie de 9 déceints produite par le système l'énergie totale consommée pour le fonctionnement de 19, ce concept est généralement interprété comme suit. Spécifier les technologies et les applications pour réduire la consommation d'énergie. En maintenant un niveau ultime de performance équivalent à "faire mieux avec moins. L'efficacité énergétique des bâtiments est la tendance à gérer leur propre énergie afin d'optimiser

Le flux est créé pour l'optimiser, le distribuer, le mesurer, le mettre à jour. (BOUTERAA Ghada, 2016/2017)

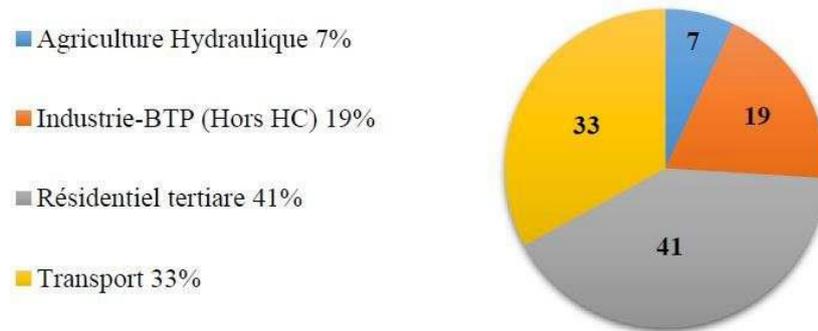


Figure. II. 2: La consommation d'énergie en Algérie par secteur d'activité

II.3.2. Avantages de l'efficacité énergétique :

Améliorer l'efficacité énergétique est une stratégie constructive et économique pour répondre aux défis tels que les prix élevés de l'énergie, la sécurité énergétique, et la protection de l'environnement contre la pollution atmosphérique et le changement climatique. Les bénéfices de l'efficacité énergétique sont nombreux :

- Environnementaux : En réduisant les émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants, ainsi que la consommation d'eau.
- Économiques : L'optimisation de l'efficacité énergétique est souvent plus rentable que la construction de nouveaux bâtiments. De plus, elle peut stimuler l'économie locale.
- Avantages pour les services publics : Intégrée aux plans énergétiques, elle permet de réduire la charge de base et la demande de pointe, limitant ainsi la nécessité d'investir dans de nouvelles infrastructures.
- Gestion des risques : Diversifiant les sources énergétiques, elle offre une protection contre les fluctuations des prix des combustibles et d'autres facteurs de risque. (RAHMOUNI, 2020)

II.4. Confort thermique :

Le confort thermique est typiquement décrit comme la sensation « de ne pas avoir trop chaud ni trop froid, et de ne pas ressentir de courants d'air désagréables », il est en réalité plus complexe à décrire, puisque la température de l'individu varie d'une occasion à l'autre. à l'autre, ce qui amène chaque individu à percevoir différemment l'environnement, en fonction de son métabolisme, de ses habitudes et de ses expériences visuelles, tactiles, auditives et psychologiques. Différentes définitions sont alors proposées pour le confort thermique, certaines d'entre elles considèrent l'homme comme une machine thermique, tandis que d'autres le considèrent comme un individu actif affecté par sa température, par exemple : État

d'esprit qui exprime une satisfaction face à l'environnement thermique. (Mohammed C. , 2009)

II.4.1. Les échanges thermiques :

Afin d'assurer le bien-être individuel, il est nécessaire d'établir un équilibre thermique entre la température ambiante et la température corporelle (environ 37°C). Pour parvenir à cet équilibre, l'être humain (endotherme*) dispose de mécanismes de régulation qui lui permettent de s'ajuster aux conditions thermiques de son environnement. Pour se sentir à l'aise, l'échange de chaleur doit être ni trop rapide ni trop lent.

(Abdelkader, 2023)

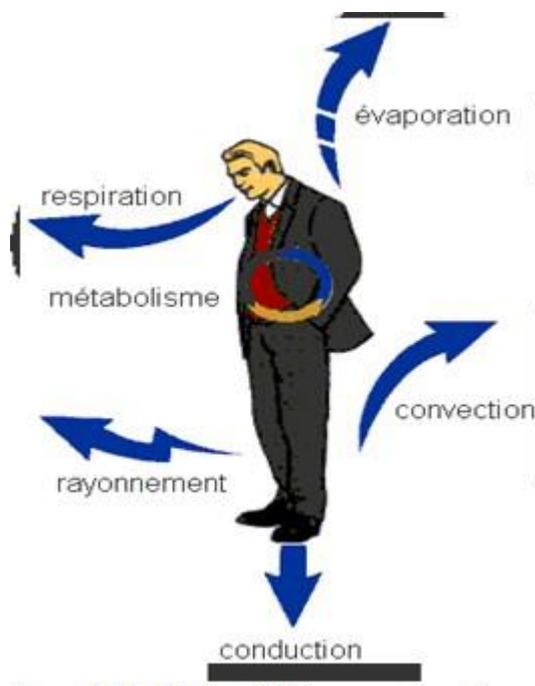


Figure. II. 3: Modes d'échanges thermiques. Source : (<http://www.epfl.ch/enerbat> ., 2023)

II.4.2. Les paramètres de confort thermique :

II.4.2.1. Les paramètres du confort thermique liés au cadre bâti :

- La température :(N ex a ou b)

L'enveloppe d'un habitat joue un rôle crucial en maintenant une température intérieure confortable malgré les fluctuations de la température extérieure, que ce soit en été ou en hiver, de jour comme de nuit. En outre, elle garantit l'uniformité de la température à l'intérieur du bâtiment. Ainsi, la température perçue comme confortable, également connue sous le nom de température de fonctionnement ou température finale de séchage, est définie comme étant la moyenne entre la température de l'air ambiant et celle des murs : $TRS = (TA + TP) / 2$.

TA/ représente la température de l'air mesurée à l'ombre avec un thermomètre ordinaire.
 TP ou TMR/ correspond à La température des surfaces qui nous entourent (murs, fenêtres, Radiateurs, etc.) avec lesquelles nous échangeons de la chaleur par rayonnement infrarouge.
 (Abdelkader, 2023)

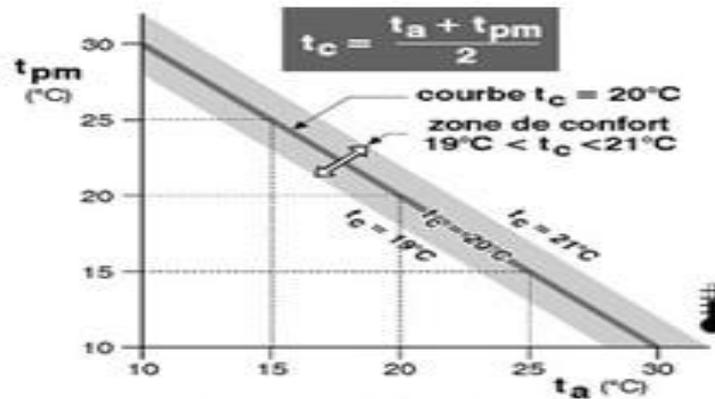


Figure. II. 4: Température de confort. (Abdelkader, 2023)

- L'humidité de l'air :

L'aisance ressentie est influencée par le taux d'humidité de l'air, car des niveaux trop bas ou trop élevés peuvent causer de l'inconfort. Une humidité insuffisante peut dessécher les muqueuses respiratoires, réduisant ainsi leur capacité de filtration des particules et des bactéries nuisibles. À l'inverse, un excès d'humidité perturbe la capacité de régulation thermique du corps en empêchant l'évaporation de la transpiration à la surface de la peau.

Le taux d'humidité influe sur la capacité d'évaporation de l'air, ce qui à son tour impacte l'efficacité du processus de refroidissement par la transpiration. Dans une plage de température comprise entre 20 et 25°C, les variations de l'humidité relative de 30% à 85% sont peu perceptibles pour l'être humain. Cependant, au-delà de 25°C, l'humidité commence à influencer la sensation de température de la peau, tandis que dans des conditions de température élevée favorisant la transpiration, un taux d'humidité compris entre 30% et 70% a un impact limité sur le confort thermique (Abdelkader, 2023) .

- Le mouvement de l'air :

Le mouvement de l'air est un paramètre crucial pour le confort, car il influe sur le corps humain de deux manières distinctes. Tout d'abord, il régit l'échange de chaleur convective du corps, puis il influence la capacité d'évaporation de l'air. (Abdelkader, 2023).



Figure. II. 5: Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de chaleur .
(Abdelkader, 2023)

II.4.2.2. Les paramètres de confort liés aux occupants des locaux

Il ya deux paramètre de confort principal lies aux occupants des locaux sont le métabolisme de l'homme et le niveau d'habillement.

- Le métabolisme de l'homme :

Pour maintenir ses fonctions vitales, l'organisme humain décompose continuellement les substrats énergétiques en consommant de l'oxygène, produisant du dioxyde de carbone, métabolisant l'eau et libérant de l'énergie. Même au repos, des centaines de watts d'énergie sont générés en permanence, laquelle est disséminée de l'intérieur vers l'extérieur du corps sous forme de chaleur, principalement par la circulation sanguine et en partie par la conduction tissulaire.

Pour réguler la température de la surface cutanée, le corps utilise la vasoconstriction, réduisant le diamètre des vaisseaux sanguins pour minimiser la perte de chaleur lorsque la température ambiante est inférieure au seuil de confort. En revanche, en cas de température supérieure au confort, la vasodilatation est employée pour accroître le diamètre des vaisseaux, favorisant ainsi la dissipation de la chaleur corporelle vers l'environnement.

Lorsque la température extérieure est élevée et que l'activité physique est intense, la vasodilatation seule ne suffit pas, et la transpiration se manifeste à la surface de la peau. La chaleur nécessaire à l'évaporation de la sueur est alors extraite du corps, entraînant un véritable processus de refroidissement. (Abdelkader, 2023)

- Le niveau d'habillement :

Les vêtements jouent un rôle primordial en tant que première barrière thermique entre la surface cutanée et l'environnement, similaire à l'isolant d'une maison. Leur fonction principale est de maintenir le corps dans des conditions thermiques confortables, que ce soit pendant les mois chauds d'été ou les hivers rigoureux.

Les vêtements traditionnels, issus de divers contextes culturels, présentent souvent des caractéristiques complexes en matière de rétention de chaleur. Par exemple, les robes amples et légères portées par les Arabes ont la capacité de repousser les rayons solaires tout en favorisant la circulation d'air autour du corps, ce qui maintient une sensation de fraîcheur en favorisant l'évaporation de la transpiration.

À l'autre extrême, les manteaux de fourrure des Eskimos sont conçus pour absorber la chaleur corporelle ainsi que la vapeur d'eau produite par la transpiration, permettant ainsi aux Eskimos de résider confortablement dans des climats extrêmement froids. (Abdelkader, 2023)

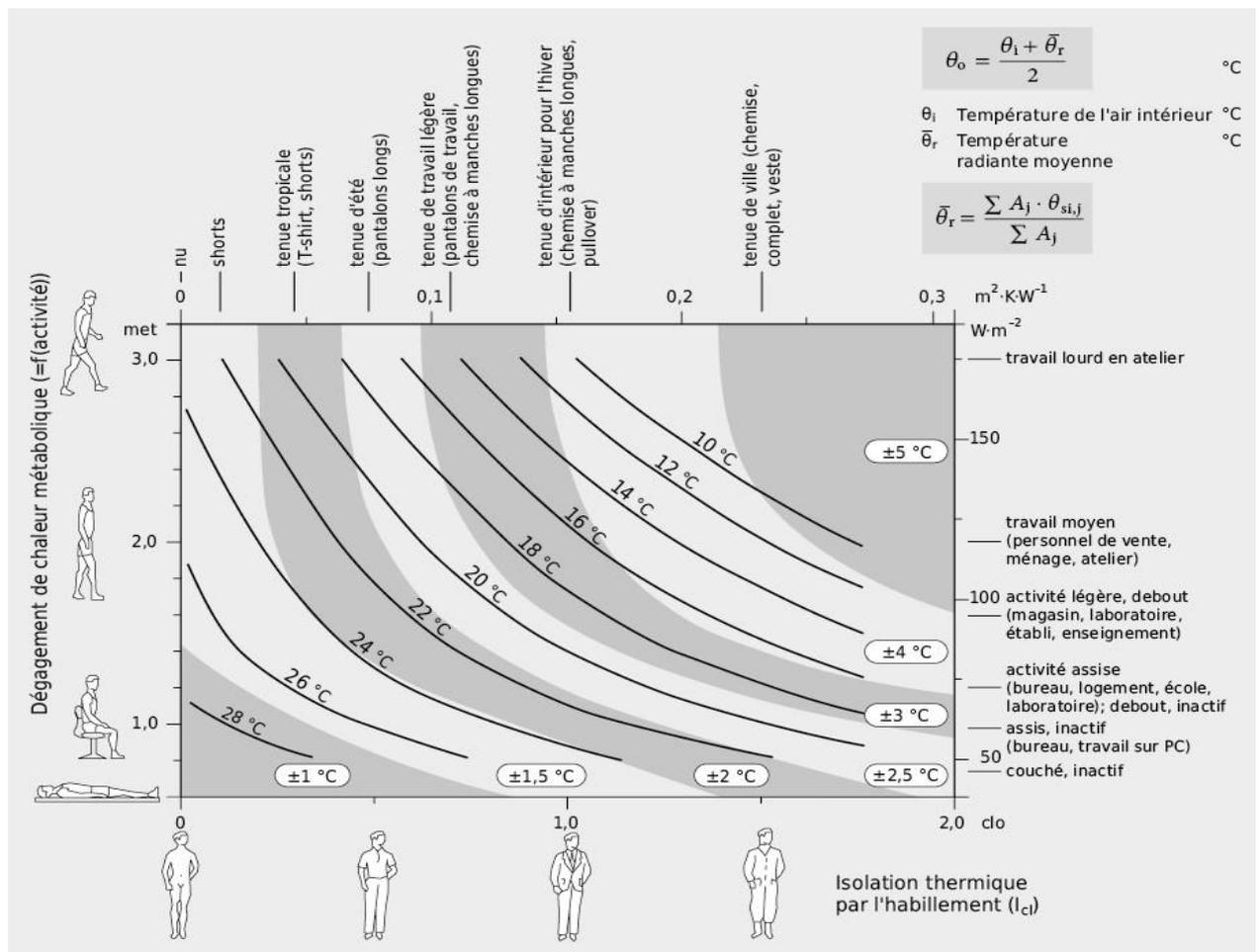


Figure. II. 6: Température optimale en fonction de l'activité et de l'habillement . (Abdelkader, 2023)

- Evaluation du confort thermique :

Pour évaluer et quantifier la sensation de confort thermique de manière objective, divers indicateurs sont disponibles. Pour une évaluation simplifiée, il est possible de se concentrer sur le calcul de la température résultante ou opérative. Cette dernière prend en compte l'effet combiné de la convection et du rayonnement (représentés par t_a et t_r) dans des conditions où la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s. (Bruant, 1997) La formule simplifiée pour cette température peut être exprimée comme suit :

$$T_{op} = (T^{\circ}\text{air} + T^{\circ}\text{parois}) / 2$$

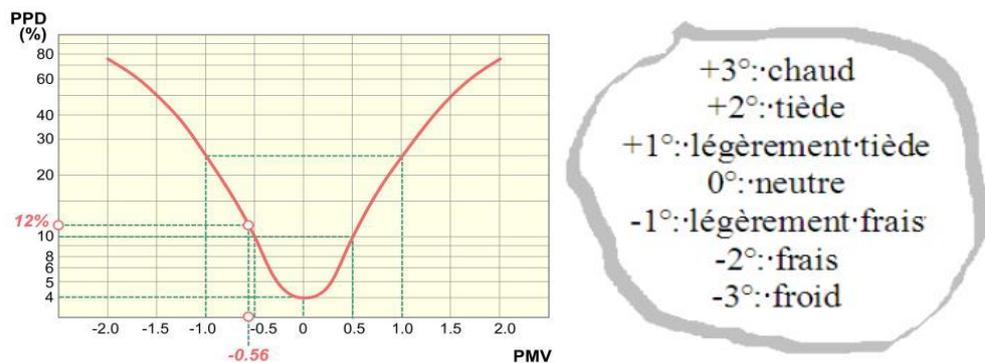


Figure. II. 7: Indices d'évaluation du confort thermique (PMV et PPD) . (Mohammed C. , 2009) .

Le P.M.V (Predicted Mean Vote) est déterminé par un calcul statistique qui prédit l'opinion moyenne qu'un large groupe de personnes exprimerait sur son confort thermique en se référant à une échelle spécifique.

Le P.M.V (Predicted Mean Vote) est une évaluation basée sur un calcul statistique qui prédit l'opinion moyenne qu'un grand nombre de personnes exprimeraient concernant leur confort thermique, en se référant à une échelle donnée.

Le P.P.D (Predicted percentage Dissatisfied) indique, en fonction du P.M.V, le pourcentage de personnes insatisfaites dans une situation thermique spécifique. Ainsi, en connaissant le P.M.V, (Belge, 2007) le graphique associé permet d'estimer le P.P.D.

II.5. Transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur correspond au transfert d'énergie d'un milieu à un autre en raison de la différence de température. Cette transmission est régie par une combinaison de lois physiques. Dans la littérature sur le transfert de chaleur, 3 modes de transfert de chaleur

sont généralement reconnus : la conduction, la convection et le rayonnement (Baroud, 2022/2023).

II.5.1. Différents modes de transfert de chaleur :

Il existe 3 modes de transfert de chaleur : convection, conduction et rayonnement. Seul le rayonnement est un mode de propagation qui se produit dans le vide. La convection et la conduction nécessitent un matériau pour se propager (Baroud, 2022/2023).

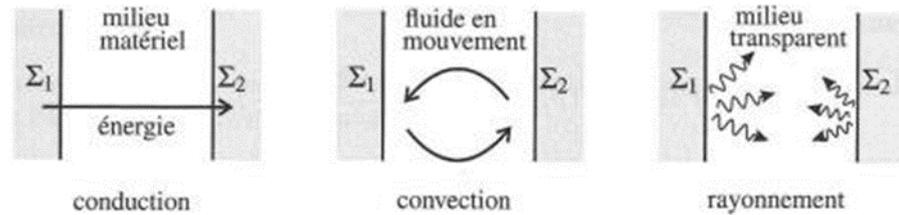


Figure. II. 8: Les trois modes de Transfert de chaleur (Baroud, 2022/2023).

II.5.1.1. Rayonnement :

L'énergie thermique est transmise par des ondes électromagnétiques sans contact direct. En fait, tous les objets physiques émettent et reçoivent un rayonnement sous forme de phonons, augmentant la température du corps récepteur en convertissant une partie de cette énergie en énergie interne (Baroud, 2022/2023).

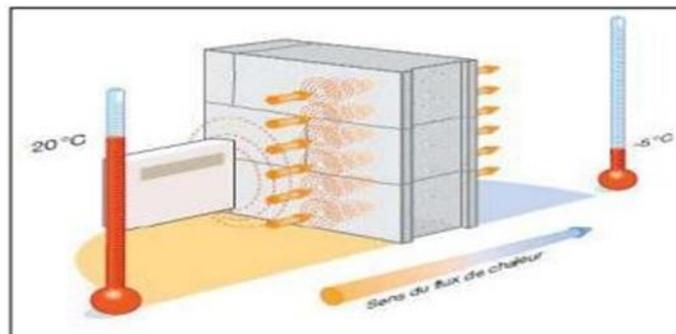


Figure. II. 9: Transfert chaleur par Rayonnement (Baroud, 2022/2023)

II.5.1.2. La conduction :

La conduction est un mode de transfert de chaleur dû à la différence de température entre 2 surfaces. Le découplage est un processus de transfert de chaleur. La transmission s'effectue sans transfert de matière et est irréversible. C'est spécifique au solide. Ceci est fait si 2 systèmes avec des températures différentes sont en contact direct ou indirect (à travers les parois qui les séparent).

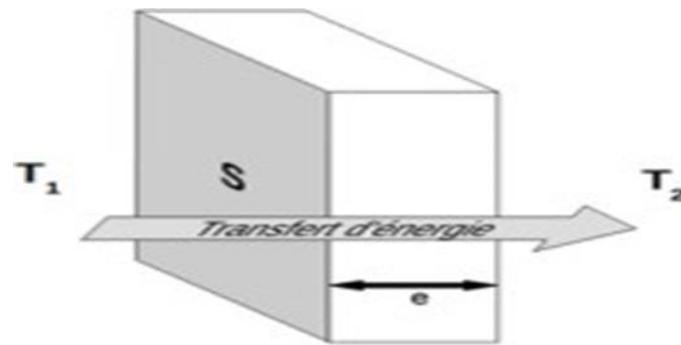


Figure .II. 10: Principe de la conduction (Baroud, 2022/2023)

La transmission peut être mesurée par la loi du tétramère. En fait, les deux parois sont prises à des températures T_1 et T_2 ($T_1 > T_2$), différentes de la surface 'S', séparées par l'épaisseur 'e', et le matériau séparant la paroi est la conductivité thermique ' λ '.

* Le flux de chaleur passant entre deux ' ϕ ' peut être mesuré par la formule suivante Dec :

$$\phi = \lambda S e (T_1 - T_2)$$

La conductivité thermique " λ " est inhérente à chaque matériau. En fait, chaque matériau a sa propre propriété unique, ce qui lui confère une conductivité différente de tout autre matériau. Il est dans l'unité W. Il existe en tant que M-1. Plus la conductivité K-1 est élevée, plus le matériau conduit de chaleur.

La conductivité thermique est mesurée physiquement à l'aide d'un analyseur thermique ou en la calculant à l'aide d'une équation de conductivité thermique appelée hypothèse de Fourier. :

$$\phi = - \lambda \text{ grad } (T)$$

ϕ : densité de flux thermique (en Wm^{-2})

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

Le signe – montre bien que la chaleur se déplace du milieu le plus chaud vers le plus froid.

Une autre mesure qui caractérise mieux la capacité d'un matériau à supprimer le transfert de chaleur est la résistance thermique. Son unité est μ .----- La résistance thermique caractérise la qualité de l'isolation : plus il y a de résistance thermique, plus il y a de matériaux isolants.

La résistance thermique est calculée à partir de la conductivité thermique :

$$R = e / \lambda$$

(Baroud, 2022/2023)

II.5.1.3. Convection :

La convection est une forme de mouvement qui ne se produit que dans le cas d'un liquide (liquide ou gazeux) et est étroitement liée au mouvement du milieu. Le transfert de chaleur par convection peut être divisé en 2 parties principales (Baroud, 2022/2023) :

- Convection naturelle :

Ce phénomène se produit généralement lorsqu'il y a un changement de densité du liquide en fonction des gradients de température et de concentration. La distribution inhomogène de la densité résultant de ces gradients thermiques et de concentration conduit à un mouvement convectif causé par la gravité.

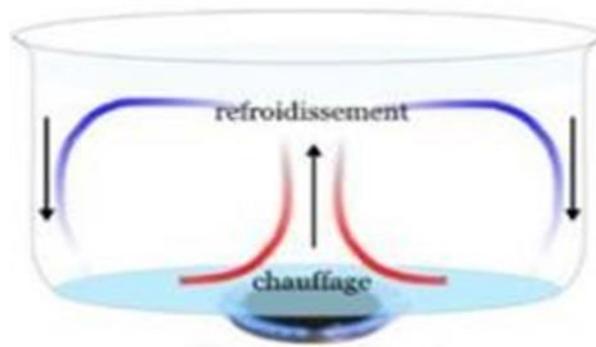


Figure. II. 11: Principe de la convection] (Baroud, 2022/2023)

- Convection forcée :

Le mouvement du liquide dépend du mouvement mécanique externe (pompe, ventilateur). La convection est régie par la loi de Newton et s'exprime comme suit. (Baroud, 2022/2023)

$$\phi = h (TP - T\infty)$$

ϕ : densité de flux thermique par convection

h : coefficient de transfert de chaleur par convection

TP : température du solide à la surface

$T\infty$: température du fluide éloigné du solide

(Baroud, 2022/2023)

II.6. Caractéristique thermique de la pierre :

Cette section est consacrée à la caractérisation thermique des pierres étudiées. Les essais ont été réalisés sur la base de la norme NF EN12664 : "Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par plaques chauffantes et méthodes à flux symétrique - estimation de la conductivité thermique, de la

capacité calorifique massique et volumique, de la diffusion et de l'efficacité thermique à partir des mesures de résistance thermique et de capacité calorifique. La densité apparente est déterminée en fonction de mesures de masse et de dimension en plusieurs points, comme le préconise la norme NF EN1936. Les propriétés du matériau sec et du matériau saturé en eau ont été déterminées. Au moins 3 tests similaires sont effectués pour chaque type de pierre (Pestre, 2021).

II.6.1. Conductivité thermique :

La connaissance de la conductivité thermique des matériaux de construction est nécessaire pour l'étude du transfert de chaleur sur les murs des bâtiments. La conductivité thermique est une grandeur qui caractérise la dissipation de chaleur due à l'agitation des particules élémentaires, sans mouvement macroscopique de la matière. Intervenir lorsque le niveau d'énergie est différent des deux côtés d'un ou plusieurs objets en contact. Puisque l'énergie dépend de la température, elle a transmis des régions chaudes aux régions froides. Le gradient de température est le moteur de la conduction thermique. La loi de Fourier définit la relation entre la densité de flux thermique θ due à la conductivité thermique et le gradient directionnel de température pour des matériaux homogènes et isotropes [W/km] à Déc :

$$\Lambda = - \lambda (\lambda T / \lambda x) \text{ [Masse volumique]}$$

La conductivité thermique des matériaux poreux affecte différentes phases du matériau. Chaque phase a sa propre conductivité, donc tout dépend de la matrice solide et du liquide recouvrant la zone des pores. L'air sec emprisonné dans le matériau agit comme isolant et, en général, les matériaux ayant la densité la plus faible sont les matériaux ayant la conductivité thermique la plus faible. D'autre part, en fonction de l'état hydrique du réseau de pores, lorsque les pores sont saturés d'eau, la conductivité thermique du matériau augmente et ceux qui sont plus poreux peuvent devenir plus conducteurs (Pestre, 2021).

II.6.2. Capacité thermique :

La capacité thermique C_T d'un corps est déterminée par le rapport dQ/dT , où dQ représente l'énergie thermique nécessaire pour augmenter la température du corps de dT . Cette grandeur n'est pas entièrement définie, sauf si le type de transformation est spécifique. Les processus abordés en physique du sol se produisent, comme tous les phénomènes naturels, sous pression atmosphérique, c'est-à-dire dans des conditions de pression relativement constantes. Ainsi, la capacité thermique d'un corps, exprimée par unité de masse, est entièrement déterminée par la notion de capacité thermique massique isobare C_P .

$$C_T = dQ / dt \text{ J/K} \quad \text{Et} \quad C_P = C_T / M \text{ J/Kg. K}$$

La capacité thermique massique isobare représente la capacité d'emmagasinement de chaleur d'un corps, par unité de masse et de température. Elle dépend en réalité de la température, mais, dans la gamme de température que peuvent présenter le pierre ses variations restent négligeables. (REZZAG M, 2022).

II.6.3. Perméabilité et diffusivité thermique du calcaire :

Les études sur le terrain non stationnaires nécessitent des informations sur les taux de diffusion et de pénétration de la chaleur, qui représentent respectivement la capacité de transférer et de stocker la chaleur. En fait, la diffusivité thermique " a " reflète la capacité du matériau à rayonner plus ou moins rapidement la contrainte thermique, tandis que la diffusivité thermique "b" caractérise la capacité du matériau à "se déchirer" d'une autre chaleur. Ces deux grandeurs sont estimées par des calculs obtenus à partir de mesures antérieures de conductivité et de capacité thermique. (Pestre, 2021).

$$a = \lambda / \rho \cdot c \quad [m^2/s]$$
$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad [(W \cdot s^{1/2}) / (m^2 \cdot K)]$$

Un matériau de construction idéal en termes d'énergie a une faible diffusivité thermique pour augmenter "l'inertie par transfert" et un taux de pénétration thermique élevé pour augmenter "l'inertie par absorption". Les deux solutions sont d'avoir une faible conductivité thermique " λ " et de maximiser la capacité calorifique volumétrique " $\lambda \cdot c$ ". Or, comme observé expérimentalement précédemment, la conductivité thermique est généralement inversement proportionnelle à la densité d'un type particulier de matériau. Le seul degré de liberté qui nous reste est de maximiser la capacité calorifique massique "c". Certains matériaux ont une capacité calorifique élevée et une faible conductivité thermique, comme certaines fibres végétales, mais leur densité reste relativement faible (Pestre, 2021).

II.6.4. La corrélation entre les propriétés hygrothermiques :

Ayant de multiples propriétés physiques déterminées par la teneur en eau et où Il est intéressant d'observer quelle est la température, la corrélation.

Les variables sélectionnées sont :

- Conductivité thermique (sec et humide),
- Densité apparente (sèche et humide),
- Capacité calorifique (sec et humide),
- Perméabilité à la vapeur d'eau (sèche et humide),
- Absorption d'eau à pression atmosphérique,
- Capacité tampon d'eau (MBV),

- Porosité ouverte,
- Porosité accessible à pression atmosphérique,
- Coefficient de diffusion de l'eau-80% d'humidité relative (23 °C),
- Efficacité thermique (sec et humide),
- Dissipation thermique (sec et humide).

La plupart de ces corrélations semblent évidentes en termes de relations physiques.

Il est connu de lier certains d'entre eux entre eux (par exemple, les propriétés thermiques et les fluidités et diffusivités). D'autres peuvent s'expliquer par une relation indirecte Découplée entre la capacité calorifique massique des pierres saturées et la MBV. Les pierres les plus poreuses sont celles qui peuvent absorber le plus d'eau (selon le réseau poreux) et ont donc un pouvoir tampon en eau plus élevé. D'autre part, le coefficient de corrélation entre la porosité et les propriétés de transfert d'eau est faible. Déc. Le réseau de portails a à nouveau un impact important. Les valeurs avec des coefficients de corrélation élevés sont marquées en vert. Ils sont proches de ± 1 et peuvent être facilement identifiés (Pestre, 2021).

Tableau. II. 1: Corrélations entre les propriétés hygrothermiques. (Pestre, 2021)

λ_{se}	-	0,97	0,86	-	0,97	-	-	-	-0,42	-0,52	-0,29	-0,62	0,96	0,99	0,80	0,57
c	0,52			0,73		0,98	0,85	0,85								
	Csec	-	-	0,33	-	0,43	0,61	0,61	-0,21	-0,08	0,44	0,36	-	-	-	-
		0,48	0,14		0,43								0,69	0,44	0,19	0,02
	Psec	0,83	-	0,98	-	-	-	-	-0,43	-0,57	-0,30	-0,72	0,90	0,99	0,84	0,44
			0,84		0,97	0,90	0,90									
	Λ_{sat}	-	0,86	-	-	-	-	-	-0,49	-0,55	-0,04	-0,46	0,77	0,88	0,86	0,75
		0,59		0,85	0,62	0,62										
	Csat	-	0,72	0,86	0,86	0,30	0,50	0,20	0,85	-	-	-	-	-	-	0,03
		0,76								0,62	0,78	0,87				
	Psat	-	-	-	-0,49	-0,60	-0,28	-0,66	0,89	0,99	0,79	0,56				
		0,98	0,81	0,81												
	Nouv	0,80	0,80	0,47	0,57	0,27	0,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								0,91	0,98	0,76	0,59					
	nacc	1,00	0,21	0,35	0,41	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
							0,83	0,85	0,80	0,12						
	Wsa	0,21	0,35	0,41	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

t					0,83	0,85	0,80	0,12	
	δsec	0,93	-0,08	0,42	-	-	-	-	
					0,25	0,46	0,38	0,39	
	δhum	-0,22	0,70	-	-	-	-	-	
					0,35	0,57	0,50	0,33	
	Dw80	-0,15	-	-	-	-	-	0,05	
	%				0,33	0,26	0,12		
	MB				-	-	-	0,03	
	V				0,54	0,66	0,65		
	Ase					0,92	0,69	0,54	
	c								
							bsec	0,84	
								0,55	
								asat	
									0,31
									bsat

II.6.5. Propriétés thermiques utiles des murs :

Les logiciels d'ingénierie du bâtiment nécessitent généralement la saisie d'un certain nombre de propriétés thermiques pour chaque matériau utilisé. En plus de la densité, de la conductivité et de la capacité calorifique présentées, la résistance thermique et l'octane de perte de chaleur permettent d'évaluer rapidement la performance énergétique du mur (Pestre, 2021).

II.6.5.1. Inertie thermique :

L'inertie thermique est caractérisée par deux principales grandeurs physiques : la diffusivité thermique et l'effusivité thermique. Ces dernières dépendent de :

- La conductivité thermique du matériau (λ)
- La capacité thermique massique du matériau (c)
- la masse volumique (ρ)

Appliquée à divers éléments tels que les matériaux de construction, les parois, les pièces ou les bâtiments, la capacité thermique désigne la quantité de chaleur qu'ils absorbent lorsqu'ils augmentent leur température d'un degré. Dans un espace intérieur doté d'une isolation légère ou de cloisons minces, l'inertie thermique est faible. Le réchauffement de l'air ambiant est

rapide, ce qui peut être avantageux. Cependant, durant l'été, même une légère exposition au soleil peut entraîner une hausse brutale de la température, suivie d'une chute rapide lorsque le soleil se couche. Cela peut causer une sensation d'inconfort marquée. Pour atténuer ces fluctuations, l'utilisation de murs massifs à l'intérieur et d'une isolation extérieure est recommandée, car cela augmente l'inertie thermique. Les valeurs de capacité thermique volumique et de masse volumique sont fournies dans les spécifications techniques des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments.) REZZAG M((2022 ,

L'INERTIE THERMIQUE DE LA PIERRE NATURELLE

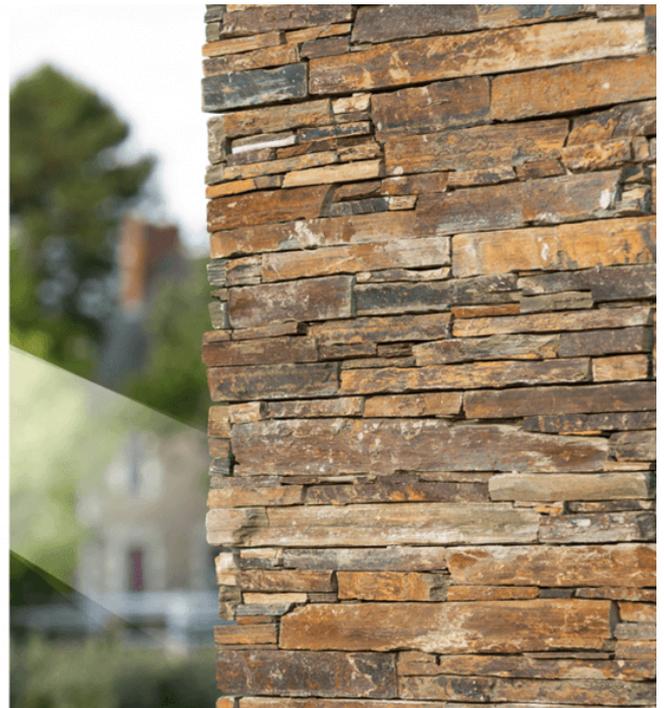


Figure. II. 12: L'inertie thermique de la pierre naturelle (<https://www.cupastone.fr/wp-content/uploads/sites/7/2024/01/image-1.png>)

II.7. Etat de l'art :

II.7.1. Etudes intérieures sur l'efficacité thermique des constructions en pierre :

II.7.1.1. Article 01 :

Influence de la réflectivité de l'enveloppe sur la demande énergétique des Bâtiments et sur le confort thermique

- L'auteur :

MANSOURI Ouarda, b, BOURBIA Fatih et BELARBI Rafik ; Nature & Technology <http://www.univ-chlef.dz/revuenatec> Soumis le : 30/10/2016

- Objectif :

Optimiser l'isolation thermique des murs extérieurs des habitations en pierre ou des locaux professionnels représente l'une des approches les plus efficaces pour assurer un confort

thermique optimal tout en réduisant la consommation d'énergie. Cette pratique permet de limiter les excès de chaleur en été et les pertes de chaleur en hiver.

- Méthodologie :

Une analyse paramétrique a été menée sur une structure générique en modifiant la réflectivité solaire de ses murs et de son toit, en plus d'autres variables telles que son orientation, sa capacité thermique et l'isolation de son enveloppe.

- Résultat :

Les conclusions démontrent qu'une forte réflectivité solaire associée à une isolation thermique adéquate assure un niveau de confort satisfaisant et réduit la demande énergétique, avec un impact plus marqué sur le toit que sur les murs. Cette étude vise à évaluer l'impact des revêtements réfléchissants sur la réduction de la consommation énergétique du bâtiment et l'amélioration de l'efficacité thermique intérieure.

II.7.1.2. Article 02:

Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of Algeria.

- Auteurs: L'auteur: Maatouk Khoukhi *Naïma Fizeau Khoukhi et Fezzioui International Journal of Energy and Environmental Engineering 2012, 3

<http://www.journal-ijeee.com/content/3/1/5>

- Objectif :

L'objectif de ce travail étudie le confort thermique des maisons traditionnelles dans la région chaude et sèche de l'Algérie pour fournir un environnement intérieur sain et économe en énergie.

- Méthodologie :

Dans cette recherche est d'examiner les points forts et les échecs de ce type de logement. Une simulation détaillée a été réalisée en utilisant le logiciel TRNSYS. TRNSYS est un environnement de simulation et une structure ouverte pour la simulation transitoire de systèmes utilisés pour concrétiser les concepts d'énergie nouvelle. Un projet TRNSYS est généralement configuré en connectant les composants graphiquement dans le studio de simulation à la première étape. Ils ont présenté une description technique et des propriétés physiques des matériaux de construction actuellement utilisés dans cette zone pour le logement traditionnel et le logement moderne. Nous avons ensuite comparé le confort thermique des maisons dans des conditions identiques.

- Résultat :

La simulation vise à évaluer l'adaptation de deux habitations traditionnelles au climat. Des recherches antérieures suggèrent que la maison moderne standard n'est pas adaptée aux climats désertiques, tandis que les maisons traditionnelles sont plus efficaces pour résoudre les problèmes de chaleur, comme le montrent les 22222 et 333333. De plus, la densité du tissu urbain est une caractéristique clé de l'architecture du sud de l'Algérie. Pour évaluer son impact sur le comportement thermique des habitations, des simulations ont été réalisées sur trois habitations dans un environnement urbain plus dense, explorant divers scénarios de compacité. Un scénario implique une maison flanquée de deux maisons similaires, comme détaillé dans cet article et résumé dans le tableau.

Tableau. II. 2: Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures (Maatouk Khoukhi 2012)

House type	Zone	Tmax	Tmin	34°C < T	32°C < T < 34°C	30°C < T < 32°C	18°C < T < 30°C	15°C < T < 18°C
		(°C)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
WD	Zone 1 (north)	35.71 7.63	1.08	5.81	7.12	42.35	13.34	30.30
	Zone 2 (west)	36.20 7.10	1.71	5.97	7.21	42.81	11.95	30.36
	Zone 3 (south)	36.72 7.72	3.35	6.14	6.49	44.06	14.18	25.91
	Zone 4 (east)	36.25 7.73	1.98	6.21	7.05	43.73	12.32	28.60
	Zone 1 (north)	33.54 3.07	0	2.94	10.39	44.50	11.73	31.76
	Zone 2 (west)	34.23 3.32	0.12	4.58	10.20	42.5	11.80	30.89
AD	Zone 3 (south)	35.36 3.49	1	8.16	7.7	42.96	12	27.08
	Zone 4 (east)	34.32 3.42	0.5	6	9.26	43	11.50	29.95
	Zone 1	38.69	16.59	5.78	5.17	36.64	9.58	26.23

CHAPITRE II : ETUDE SUR L'EFFICACITE THERMIQUE DE LA PIERRE

	(north)	6.7						
	Zone 2	38.86	16.67	5.91	5.41	41.8	9.73	25.85
	(west)	6.78						
MH	Zone 3	39.63	17.44	5.44	5.94	39.01	11.56	20.52
	(south)	8.19						
	Zone 4	39.50	19.81	4.97	6.25	35.99	11.15	21.82
	(east)	8.45						

Les résultats du tableau. II- 1 indiquent une légère augmentation des heures de confort ($18^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$) pour les constructions traditionnelles, avec des températures maximales plus basses par rapport à d'autres cas. Cependant, les températures minimales sont plus élevées. Pour la maison WD, le pourcentage d'heures au-dessus de 34°C est passé de 2,03% à 0,98%, tandis que les heures entre 30°C et 32°C ont légèrement augmenté de 6,96% à 7,02%. Le pourcentage d'heures en dessous de 15°C est resté inchangé, mais il y a eu une augmentation des heures entre 15°C et 30°C de 12,94% à 14,25%.

Tableau. II. 3: Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures. (Maatouk Khoukhi 2012)

House type	Zone	Tmax	Tmin	$34^{\circ}\text{C} < T < 32^{\circ}\text{C}$		$30^{\circ}\text{C} < T < 32^{\circ}\text{C}$		$18^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$
		($^{\circ}\text{C}$)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
WD	Zone 1 (north)	36.76	2.85	6.08	6.49	42.57	13.03	28.97
		5.72						
	Zone 2 (west)	37.45	3.78	5.92	6.62	42.20	11.15	30.33
		5.30						
	Zone 3 (south)	37.67	5.43	5.33	6.35	42.69	12.89	27.30
		5.43						
	Zone 4	37.5	4.25	5.81	6.67	42.71	12.08	28.48

CHAPITRE II : ETUDE SUR L'EFFICACITE THERMIQUE DE LA PIERRE

	(east)							
		5.72						
AD	Zone 1 (north)	34.23	0.09	3.27	8.91	44.18	11.65	31.89
		2.63						
	Zone 2 (west)	34.76	0.43	4.21	8.59	43.78	11.72	31.27
		2.74						
	Zone 3 (south)	36.09	1.82	6.18	7.10	43.93	11.95	29.01
		2.80						
	Zone 4 (east)	34.98	0.66	5.31	8.24	43.84	11.52	30.42
		2.84						
MH	Zone 1 (north)	37.17	15.50	7.37	2.64	39.76	10.87	23.91
		9.02						
	Zone 2 (west)	37.14	15.98	6.94	3.07	39.88	10.71	23.42
		9.23						
	Zone 3 (south)	37.69	17.37	6	6.11	44.58	16.58	9.34
		11.99						
	Zone 4 (east)	38.72	22.84	2.89	9.17	38.61	12.56	13.91
		11.70						

La maison AD montre des résultats prometteurs, avec aucune température dépassant 34°C sauf dans la pièce du sud. Les heures de confort ($18^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$) atteignent en moyenne 48,48%, nettement plus élevées que dans le premier cas (43,24%). Le tissu urbain plus dense réduit les heures entre 32°C et 34°C à 1,49%, en baisse de 3% par rapport au premier cas. En revanche, la maison moderne connaît une augmentation des heures d'inconfort au-dessus de 34°C (passant de 17,62% à 20,24%) et une diminution de l'intervalle de confort (de 38,36% à

34,65%). Ainsi, la densité du tissu urbain n'améliore pas notablement le confort thermique pour les maisons modernes avec des parois creuses.

Tableau. II. 4 : Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures pour les usines urbaines plus compactes. (Maatouk Khoukhi 2012) .

House type	Zone	Tmax 30°C (°C)	Tmin 15°C (%)	34°C < T < 32°C (%)	32°C < T < 34°C (%)	30°C < T < 32°C 18°C < T < 15°C (%)	18°C < T < 15°C (%)
WD	Zone 1 (north)	34.97	0.33	4.34	7.39	43.65	16.07
		9.64					28.13
	Zone 2 (west)	35.43	0.73	4.62	7.39	43.66	13.36
		8.43					30.21
	Zone 3 (south)	35.95	2.13	5.97	6.18	43.71	14.24
		8.11					27.76
	Zone 4 (east)	35.47	0.75	5.18	7.15	44.10	13.35
		8.51					29.45

CHAPITRE II : ETUDE SUR L'EFFICACITE THERMIQUE DE LA PIERRE

AD	Zone 1							
	(north)	33.30	0	0.33	5.60	50.28	12.34	31.44
		3.41						
	Zone 2							
(west)	33.86	0	0.60	6.89	49.28	12.20	31.02	
		3.46						
	Zone 3							
(south)	34.80	0.22	4.13	9.26	46.03	11.88	29.07	
		3.43						
	Zone 4							
(east)	33.81	0	0.91	8.43	48.11	11.96	30.58	
		3.51						
MH	Zone 1							
	(north)	38.49	18.20	5.29	5.04	35.85	10.34	25.28
		7.44						
	Zone 2							
	(west)	38.81	21.24	3.11	7	34.16	11.73	22.73
		8.37						
	Zone 3							
	(south)	39.14	20.90	3.65	6.63	34.47	11.50	22.85
	8.61							
	Zone 4							
(east)	38.76	21.36	3.10	7.14	34.12	11.72	22.55	
	8.49							

Nous avons également examiné comment le changement de matériaux de construction affecte les performances thermiques. En utilisant des parois creuses pour les constructions traditionnelles et de l'adobe et de la pierre pour les constructions modernes, les résultats Tableau. II- 2 montrent un impact mineur sur les performances thermiques de la maison WD dans la zone de confort ($30^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$), tandis que la maison AD performe mieux. Malgré le potentiel d'inertie thermique plus élevée dans la construction en adobe et pierre, cela entraîne une augmentation des heures d'inconfort au-dessus de 34°C (36,32%). Ce type de construction, en particulier dans des environnements urbains compacts, ne parvient pas à

CHAPITRE II : ETUDE SUR L'EFFICACITE THERMIQUE DE LA PIERRE

assurer un renouvellement adéquat de l'air et un refroidissement passif en raison d'une vitesse d'air plus faible et de températures extérieures plus élevées.

Tableau. II. 5: Pourcentage d'heures dans l'année obtenu par classification des températures pour un tissu urbain plus compact . (Maatouk Khoukhi 2012).

House type	Zone	Tmax (°C)	Tmin (%)	34°C < T (%)	32°C < T (%)	34°C < T < 32°C (%)	30°C < T < 32°C (%)	18°C < T < 15°C (%)
WD	Zone 1 (north)	36.33	2.89	5.93	6.65	43.74	14.88	26.98
		7.41						
	Zone 2 (west)	36.94	2.76	5.84	6.71	42.71	11.89	30.04
		6.45						
AD	Zone 3 (south)	37.13	4.52	5.51	6.43	41.99	12.45	29.08
		5.96						
	Zone 4 (east)	36.82	2.97	6.07	6.75	42.95	11.83	29.47
		6.77						
AD	Zone 1 (north)	33.38	0	0.88	7.64	47.59	12.06	31.81
		2.98						
	Zone 2 (west)	33.87	0	1.32	8.04	47.13	12.03	31.47
		3.01						
AD	Zone 3 (south)	34.74	0.25	4.29	7.51	46.24	11.67	30.03
		2.91						
	Zone 4 (east)	33.71	0	1.51	8.91	46.65	11.83	31.08
		3.04						

	Zone 1							
	(north)	41.41	37.51	7.5	7.21	40.54	7.24	0
		15						
	Zone 2							
	(west)	41.08	36.50	6.96	7.77	40.87	7.89	0
MH		15						
	Zone 3							
	(south)	40.75	34.41	5.71	8.77	42.40	8.60	0.09
		14.91						
	Zone 4							
	(east)	41.18	36.89	6.88	7.69	36.20	7.22	0
		15						

II.7.1.3. Article 03 :

A Comparative Study for the Traditional and Modern Houses in Terms of Thermal Comfort and Energy Consumption in Umm Qais city, Jordan

- Auteurs:

Hussain H. Alzoubi, Amal Th. Almalkavi. Collège d'architecture et de design, Université jordanienne des sciences et technologies, Irbid 22110, Jordanie

5 mai 2019. Courriel de l'auteur correspondant : alzoubih@umich.edu

- Objectif :

Étude comparative entre les maisons traditionnelles patrimoniales et les maisons modernes contemporaines en termes de confort thermique, de consommation et d'économie d'énergie, ainsi que de charge thermique maximale à Umm Qais, en Jordanie.

- Méthodologie :

Cette étude compare les maisons traditionnelles patrimoniales aux maisons modernes contemporaines à Umm Qais, en Jordanie, en se concentrant sur leur performance thermique. Elle analyse les caractéristiques des maisons traditionnelles pour évaluer leur impact sur le confort thermique des habitants et leur consommation d'énergie par rapport aux habitations modernes. De plus, elle examine comment les maisons traditionnelles s'adaptent aux conditions climatiques et physiques, et comment elles utilisent des techniques passives pour contrôler les gains solaires et réduire les besoins en chauffage et en climatisation, tout en maintenant un niveau optimal de confort thermique à l'intérieur. Des échantillons de chaque type de maison ont été sélectionnés pour évaluer l'effet des méthodes de conception

traditionnelles, des matériaux de construction et de la construction sur la performance thermique et le confort thermique à l'intérieur des maisons. La simulation informatique, assistée par des outils de mesure et des caméras thermiques, a été utilisée pour étudier la distribution de la chaleur dans les maisons sélectionnées. Le logiciel Revit a été employé pour valider les résultats et les comparer avec les données réelles sur le terrain.

- Résultat :

Les résultats indiquent que la résidence moderne présente la charge thermique maximale la plus élevée, atteignant 9 571 watts, soit une augmentation de 50% par rapport à la résidence traditionnelle à trois espaces, bien que les deux aient la même surface intérieure. En ce qui concerne la charge maximale de chauffage, elle s'élève à 2 109 watts Figure 40.

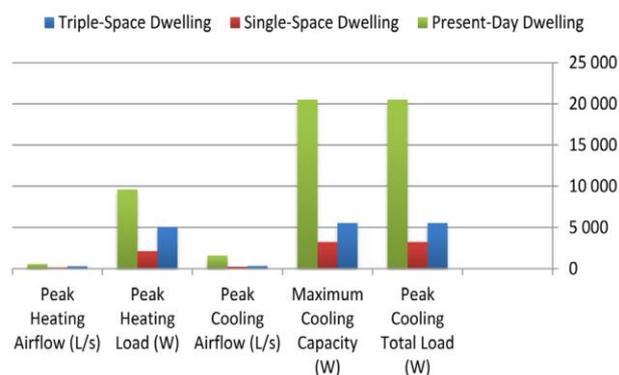


Figure. II 13: Charge de pointe de chauffage et de refroidissement pour tous les types d'habitations. (Hussain H .5 mai 2019) .

Pour la résidence à un espace. En ce qui concerne les charges de refroidissement, il semble que la résidence moderne présente la valeur la plus élevée, consommant une quantité plus importante d'air conditionné et d'énergie par rapport à la résidence traditionnelle. De plus, les résultats montrent que la résidence traditionnelle à trois espaces présente la densité de charge de chauffage par unité de surface la plus faible, tandis que celle de la résidence à un espace est plus élevée que celle de la résidence à trois espaces. La densité de charge de chauffage par unité de surface est également la plus élevée dans la résidence moderne (Figure 41).

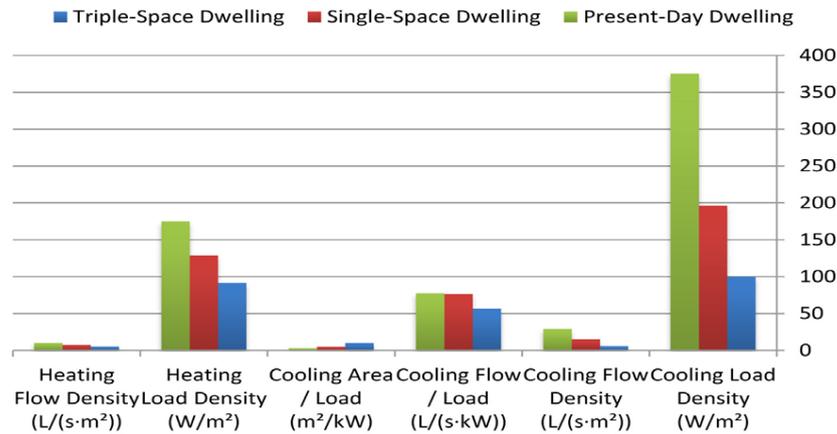


Figure. II. 14: Charge de chauffage et de refroidissement pour tous les types d'habitations .(Hussain H .5 mai 2019) .

En ce qui concerne la charge de refroidissement par mètre carré, il existe une grande différence entre la résidence moderne et la résidence traditionnelle, la première ayant une charge de refroidissement trois fois supérieure à celle de la seconde à trois espaces. Cependant, la charge de refroidissement par unité de surface est deux fois plus élevée dans la résidence traditionnelle à un espace par rapport à celle à trois espaces. De plus, la consommation mensuelle de carburant et d'électricité de tous les types de résidences a été examinée, et les résultats montrent que la résidence moderne consomme plus de carburant et d'électricité que la résidence traditionnelle. En ce qui concerne la charge de chauffage, la perte de chaleur est principalement attribuée aux murs, car la plupart de la chaleur est perdue à travers eux en raison de la baisse de température en hiver et du non-respect des normes par la valeur de l'isolation thermique (U-value) des murs des nouvelles unités résidentielles. Cependant, dans les résidences traditionnelles, où les murs sont fabriqués en argile et en pierre naturelle, le coefficient de perte de chaleur est très faible, réduisant ainsi les charges de chauffage et de refroidissement.

II.7.2. Mémoires consultés :

II.7.2.1. Mémoire 1 :

ETUDE BIOCLIMATIQUE DU LOGEMENT SOCIAL PARTICIPATIF DE LA VALLEE DU M'ZAB : CAS DU KSAR DE TAFILELT.

- Auteur :

Chabi Mohammed université mouloud Mammeri TIZI-OUZOU En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Architecture Option : Architecture et développement durable 27/06/2009.

- Objectif :

L'objectif de ce travail de recherche, outre son rapport à la pédagogie du projet d'architecture bioclimatique et notre présent travail est de procéder à une étude thermique de cet habitat et d'élaborer des recommandations toujours liées au bio climatisme dans le cas d'une nécessité.

- Méthodologie :

Cette étude consiste à créer en structures en pierre L'objectif principal était de l'efficacité thermique et le confort thermique sur les bâtiments dans le désert et de prouver l'importance de cet aspect et le l'efficacité énergétique annuels pour le chauffage et la climatisation

- Résultat :

En se basant sur les résultats et les études précédentes menées sur le logement social coopératif dans la vallée du M'Zab : le cas du Ksar de Tafilalt, nous concluons que le confort thermique est idéal et bon dans le logement social coopératif à Ksar Tafilalt par rapport à la maison traditionnelle, ainsi qu'en termes de consommation et d'économie d'énergie.

Conclusion :

En conclusion, l'efficacité thermique des structures construites en pierre est essentielle pour assurer le confort des habitants, cela dépend de plusieurs facteurs tels que la température, l'humidité de l'air, le mouvement de l'air, le métabolisme humain et le niveau de vêtements. En tenant compte de ces multiples facteurs, on peut conclure que l'efficacité thermique des bâtiments n'est pas simplement une question technique, mais inclut également des aspects environnementaux, économiques et le confort des habitants. Il est important de prendre en compte l'efficacité thermique dans la conception et la construction des bâtiments pour améliorer la consommation d'énergie et fournir un confort aux habitants et aux utilisateurs. L'évaluation de cette efficacité repose sur des normes, des graphiques et des logiciels de simulation thermique. Dans le contexte résidentiel, cela revêt une importance particulière, avec des approches spécifiques pour l'été et l'hiver. En Algérie, la législation exige des calculs précis pour garantir un confort thermique optimal. En conclusion, intégrer l'efficacité thermique dans la conception des structures en pierre est crucial pour le bien-être et la satisfaction des habitants.

CHAPITRE III :

PRESENTATION CAS DE L'ETUDE

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter cerner les principaux problèmes du confort thermique dans le bâtiment public, nous avons choisis comme cas d'étude, un habitat auto-construite dans le Ksar Tafilalet en va étudiée la situation géographique de la ville de Ghardaïa et son rapport de climat.

Puis analyser l'habitat de cas d'étude et son caractéristique constructif et son emplacement et orientation comme suite.

III.2. Représentation de la région d'étude :**III.2.1. Situation géographique et la géomorphologie :****III.2.1.1. Situation géographique :**

La wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. A environ 600 Km de La capitale Alger. Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 km)
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 km)
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla (200 km)
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset (1200 km)
- Au Sud-ouest par la wilaya d'Adrar (800 km)
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayad (350 km)

La wilaya comporte actuellement 13 communes regroupées en 9 daïras pour une population a Estimé à 455.572 habitants. (Benesseddik)

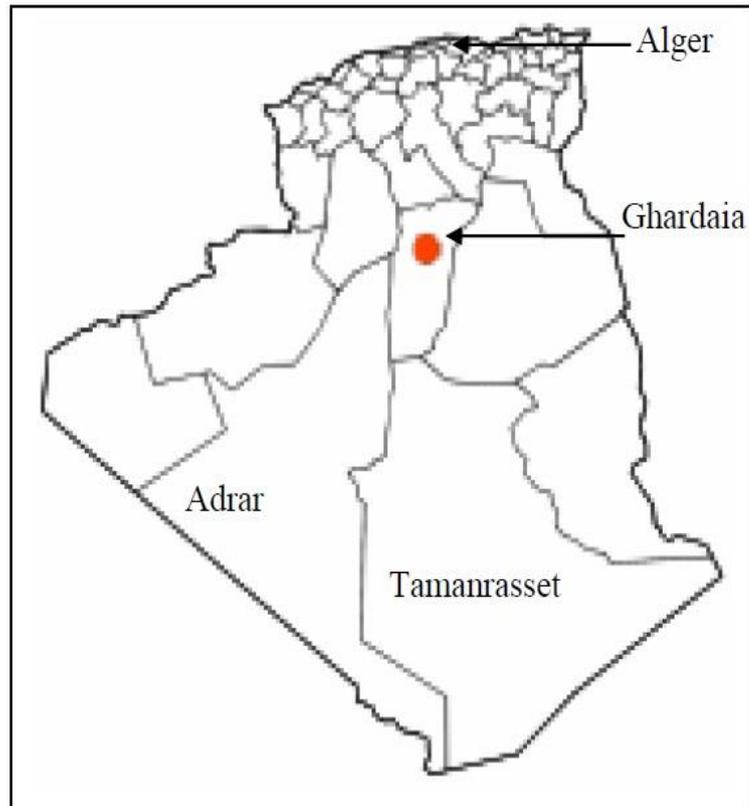


Figure. III. 1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (wikipedia, n.d.)

Ksar Tafilelt est inclus dans la commune de Bounoura, au nord de la wilaya de Ghardaïa à 4 km de Ghardaïa. Il est situé au sud du ksar historique de Beni Isguen, situé sur un plateau surplombant la vallée de. Il est entouré d'autres quartiers récents tels que Tinemmirine, Tawenza et Tinaâm.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude $32^{\circ} 27' 39''$ nord,

-Longitude $3^{\circ} 41' 28''$ est

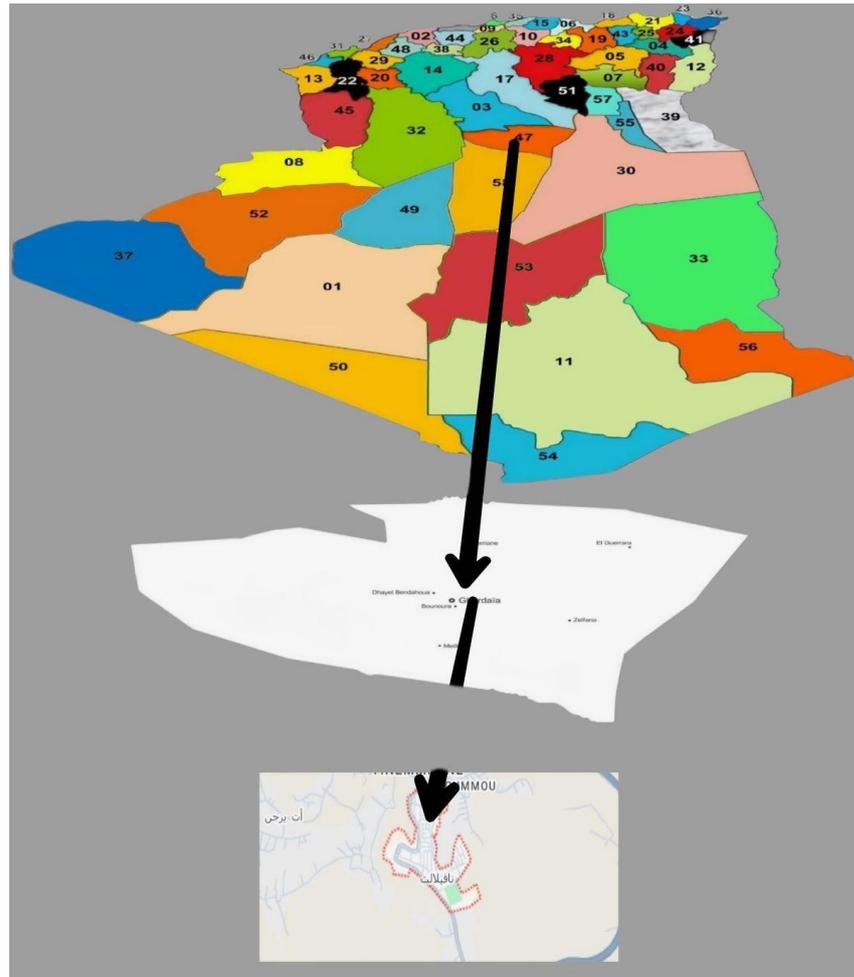


Figure. III. 2: Situation géographique de Le ksar Tafilelt (auteur, n.d.)



Figure. III. 3: Vue aérienne sur Bni Isguen, source : (: Association Amidoul, 2015)



Figure. III. 4: Localisation géographique du nouveau Ksar; source : (google earth)

III.2.1.2. Les conditions climatiques :

Sur le territoire algérien, 4 zones climatiques sont distinguées (A. B. C et D). Région Liés à nos recherches se trouvent dans la zone D, appelée Pré-Sahara et la zone Saharienne.

Tableau 6 : Extrait des caractéristiques de la zone D. Source : (mazouz, 2004)

Zone D :	Pré Sahara et Sahara
Variations Saisonnières	02 saisons, chaude et froide
Températures	T° Moy. Max : 45° et entre 20-30° en hiver variation saisonnière de 20°
Précipitations	Pluies rares, torrentielles par moments
Humidité	
Conditions célestes et rayonnements	Humidité réduite entre moins de 20‰ après-midi à plus de 40‰ la nuit
Végétations	Ciel clair pour une grande partie d'année, rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol.
Vents	Généralement locaux, les vents de sable et les tempêtes sont fréquents observe généralement pendant les après-midi

La

wilaya de GHARDAIA, le Ksar Tafilalet classé comme Zone climatique D.

Le climat de la région est caractérisé par la sécheresse et la chaleur, de sorte que la température journalière moyenne pour le mois de juillet est estimée à 33°. La température maximale atteint 46°.

Les précipitations annuelles moyennes sont estimées à 60 mm et ne dépassent pas 30 mm les années sèches. La région est également dominée par des vents hivernaux relativement froids et humides du nord-ouest et des vents chauds chargés de sable soufflent également en moyenne pendant 20 jours. Les mois de mars, avril et mai (Al-Ghunaimi ; Al-Dardiri 2007).

III.2.1.3. Evolution urbaine de ksar Tafilet :

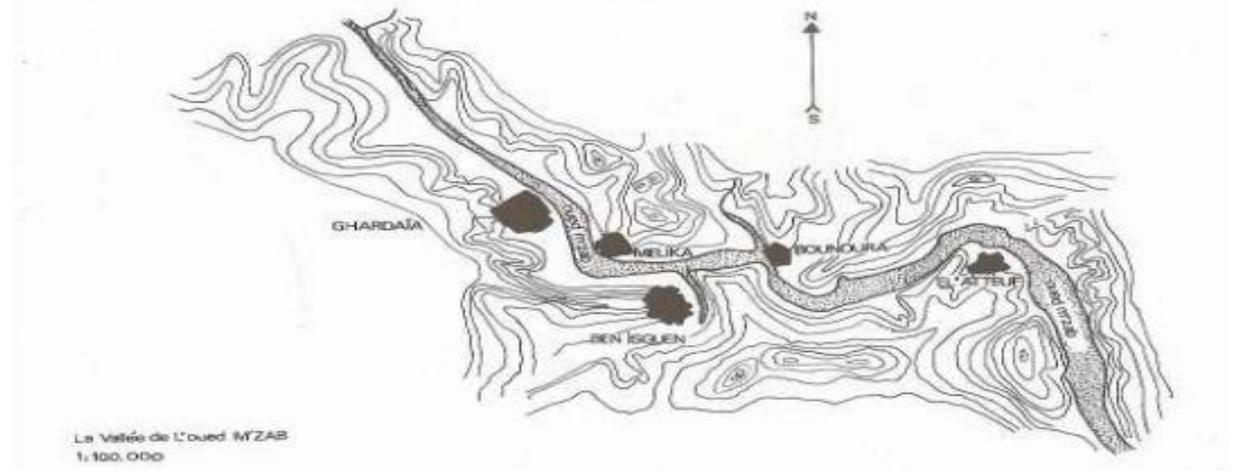


Figure. III. 5: Les 5 ksour de la vallée avant la période coloniale (Benyoucef, 1986)

Les ksour ont été et sont les premiers à en être affectés, car la maison du ksar accueillait parfois plusieurs familles au sein d'une seule et même maison, provoquant ainsi la saturation des ksour, et la détérioration du bâti, on notera trois cas figures : soit la restauration, ou la démolition ensuite la reconstruction, ou l'abandon (ce qui est très rare). Rappelons qu'à Ghardaïa les centres historiques n'ont jamais été le théâtre de désertification, comme la plupart des villes du Sahara algérien les constructions ont commencé à se développer tout d'abord sur les terrains plats ,entre les ksour, au-delà des remparts, loin de la multiplication de centres urbains, qu'a connus la vallée lors de sa création, il y a près de 1000 ans. (Donnadieu , Didillon , & Didillon, 1977).

Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, la vallée du M'Zab a subi peu de changements, jusqu'à son annexion et son occupation par les autorités françaises à la fin du 19^{ème} siècle. Les ksour de la vallée comprenaient quelques aires d'extensions à l'intérieur des remparts, et le noyau de la ville coloniale a été planté entre ksar Béni isguène et ksar Ghardaïa, dans ce qui était une partie de la palmeraie de Mélika, inexistante aujourd'hui. La vallée à cette époque n'abritait aucune structure industrielle, son économie était principalement basée sur l'agriculture et les échanges commerciaux et les bourgades du M'Zab grossirent d'abord par attraction ; des points les plus divers. Les différents recensements établis par les autorités françaises en 1896,

1926, 1954, puis en 1964 montrent bien que l'accroissement de la population fut très faible, il faut cependant attendre l'indépendance. (Mercier, 1922). Tous ces événements se sont évidemment traduits par la construction de nombreux logements à Ghardaïa, en raison de son attraction en tant que capitale du M'Zab. C'est presque exclusivement dans des zones attenantes aux remparts ou à proximité de ces derniers que fut construit les nouveaux quartiers, ensuite un peu plus tard vers la moitié du vingtième siècle, les constructions se sont petit à petit développés près des axes routiers, d'abord on verra le Ksar Ghardaïa connaître une extension, et se développer un tissu attendant aux remparts, avec quelques constructions éparses au-delà de son enceinte, entre Mélika, et Ghardaïa de part et d'autre de la route qui relie Béni Isguene à Ghardaïa.

À partir des années soixante, la pentapole connaît un développement d'une nouvelle nature, et ce avec les ressources du pétrole, et le développement de l'hydraulique (donnant naissance à une nouvelle économie), notant que ce dernier facteur, ainsi que la découverte d'une nappe phréatique importante ont permis l'extension de plusieurs palmeraies. Beaucoup d'efforts ont été fournis également durant cette période afin de mettre en place une bonne infrastructure en matière de réseaux de transports: routes, liaisons aériennes et autres, en rendant la pentapole plus accessible, d'ailleurs l'architecte français André Ravereau fut déjà surpris dès son retour au M'Zab dans cette période (les années soixante), et même choqué de l'évolution rapide et négative du bâti architectural qui risquait à moyen terme d'altérer l'image du M'Zab (Baudouï & Philippe, 2003).

Le ksar Tafilet Tadjdit (nouveau ksar de Tafilet)¹ est un projet communautaire de logements destinés aux ménages à faibles et moyens revenus. émanant de la volonté de la population locale, plus particulièrement celle du ksar Béni isguène, par le biais de l'association AMIDOUL (but non lucratif). C'est cette dernière qui a initié une promotion immobilière privée, un ensemble de logements bâtis sur une colline rocailleuse, dépourvue de toute végétation. C'est une implantation responsable qui se veut comme un témoignage d'une prise de conscience de la communauté, de l'état de l'urbanisation au M'Zab. Ce projet a pour premier objectif de résorber en partie la crise de logement qu'a connu la vallée ces dernières décennies, due d'une croissance urbaine incontrôlée et non maîtrisée et qui a aussi accéléré le processus de l'individualisation, mais suscité également des projets collectifs (Cherifi, 2003).

III.3. Choix de la maison d'étude :

Le choix de cette habitation s'inscrit dans ce contexte. C'est une résidence très répandue à Ksar Tafilalet, conçue en tenant compte du confort thermique et de l'efficacité énergétique lors de l'étude de la maison.

III.3.1. Situation géographique :

À 600 kilomètres au sud d'Alger se trouve la wilaya de Ghardaïa. Cette wilaya, qui comprend la vallée du M'zab, est située sur un plateau connu sous le nom de "plateau de la Hamada", et s'étend entre les latitudes 32° et 33° 20' nord et la longitude 2° 30' est. Sa superficie est de 86 105 kilomètres carrés et elle est composée de neuf daïras et treize communes, avec une population d'environ 375 000 habitants. La wilaya de Ghardaïa est bordée par les wilayas de Djelfa et Laghouat au nord, El Bayadh et Adrar à l'ouest, Ouargla à l'est et El Menia au sud. La ville de Ghardaïa, capitale de la wilaya, est située à 200 km de la capitale de la wilaya de Laghouat, à 200 km de la capitale de la wilaya de Ouargla, à 840 km de la capitale de la wilaya d'Adrar et à 270 km de la capitale de la wilaya d'El Menia. Le Ksar de Tafilalet, situé dans la commune de Bounoura, est un espace architectural modèle qui s'étend sur un plateau rocheux de 22 hectares, surplombant la commune de Beni Isguen.

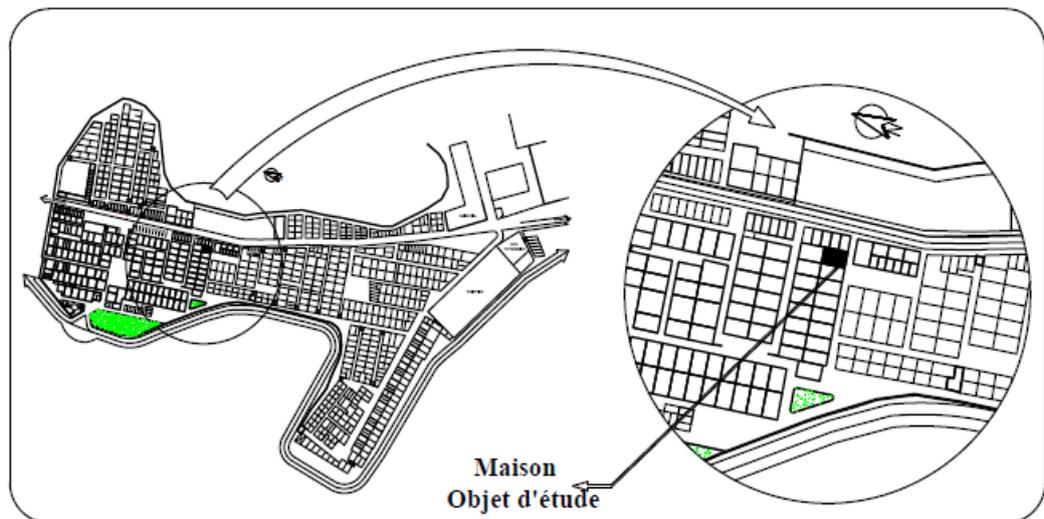


Figure. III. 6: Situation de la maison étudiée. Source : (Mohammed C. , 2009)

III.3.2. Présentation de la maison d'étude :

Dans le cadre de cette étude, nous examinerons une résidence à Ksar Tafilalet, dont la construction a débuté en 1997, et a été achevée et livrée en 2006. Cette résidence se compose d'un rez-de-chaussée comprenant deux chambres, un hall rectangulaire, une cuisine, une salle de bains et une cour, ainsi que d'un étage supérieur comprenant 3 chambres à coucher, un séjour, une salle de bains, et doté d'un escalier permettant d'accéder à la terrasse disponible pour une utilisation.

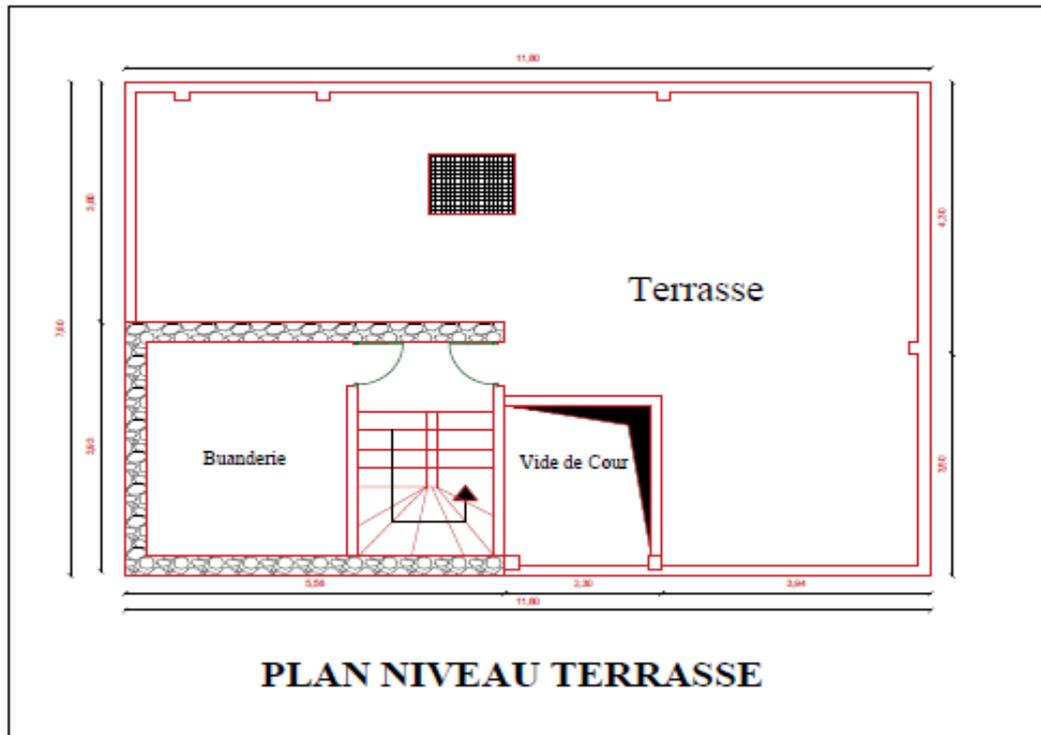


Photo n III. 03 : plan niveau terrasse . (source autour)

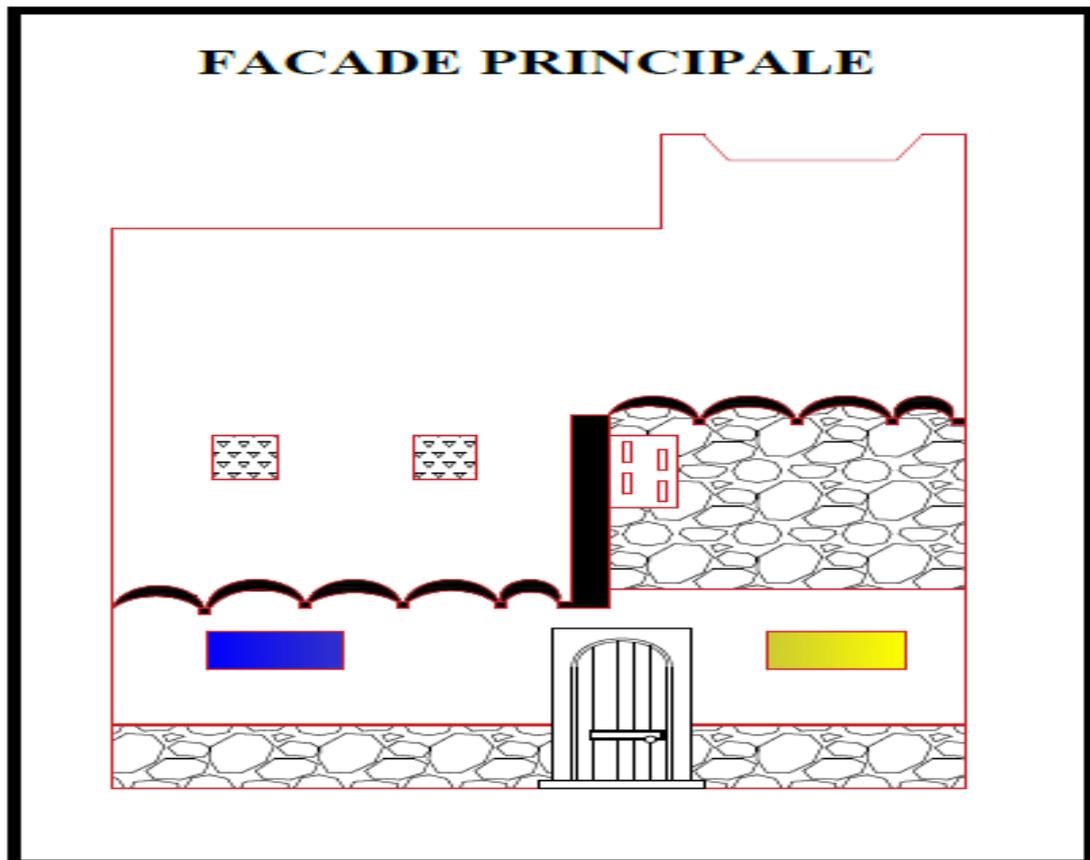


Photo n III.04 : plan de façade . (source autour)

III.3.3. Description de la maison étudiée

Nous avons choisi une maison typique, la plus répandue dans le ksar, avec des dimensions de 7,80 × 11,50 mètres. La maison se compose d'un rez-de-chaussée et d'un premier étage avec une terrasse aménagée et utilisable. La maison est mitoyenne avec les maisons voisines sur trois côtés : à l'est, à l'ouest et au nord, et s'étend dans la direction nord-sud. La maison que nous étudions a été conçue en respectant la répétition des mêmes espaces que ceux des maisons traditionnelles en général. À ce sujet, le Dr Hadj Ahmed Nouh explique que « le logement traditionnel dans la région du M'Zab a été notre source d'inspiration pour la réalisation de ce projet, en parallèle avec des recherches sur l'architecture bioclimatique, tout en l'adaptant aux exigences de la vie contemporaine, telles que l'ajout d'une cour pour augmenter la ventilation et l'éclairage de la maison ainsi que l'élargissement de ses espaces intérieurs ». En lisant le plan de la maison, il est évident qu'elle est conforme à l'organisation traditionnelle, à l'exception de l'introduction de la cour, de l'absence du patio au premier étage, et de l'augmentation des surfaces des ouvertures pour les adapter aux espaces plus grands comme le séjour, la cuisine et les chambres.

CHAPITRE IV :

**REPRESENTATION ET
DISCUSSION DES RESULTATS**

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente La simulation thermique et l'un des techniques utilisées par les chercheurs dans le domaine de confort thermique de bâtiment, qui permettant d'évaluer l'efficacité thermique de l'enveloppe bâtie en question.

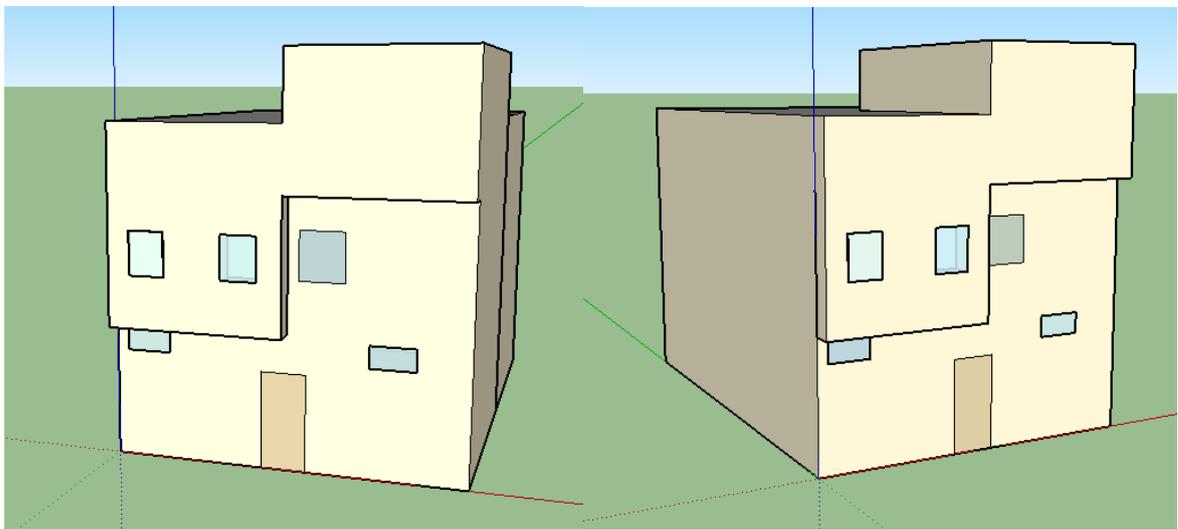
Ce chapitre présente une évaluation de l'efficacité thermique de l'enveloppe d'une maison bâtie en pierre, située dans le Ksar de Tafilalet, à l'aide d'une simulation thermique par EnergyPlus.

IV.2. Etapes de la simulation par EnergyPlus

Pour évaluer l'efficacité thermique de l'enveloppe bâtie en pierre de la maison d'étude, on a suivi les étapes suivantes :

IV.2.1. Modélisation de cas d'étude par Google Sketch Up

La modélisation de cas étudiant a été modulé on deux zones représentatives de deux étages RDC et 1^{er} Etage, par le logiciel Google Sketch Up version 2016 qui permet à **EnergyPlus** d'identifier et visualisé le model 3D du bâtié dans tous ses détails grâce à l'extension Euclid.



Graph. IV. 1 : Modélisation en 3D de cas d'étude par Google Sketch Up. (source autour)

IV.2.2. L'identification de cas d'étude en utilisant IDF Editor d'EnergyPlus.

Cette étape a pour objectif d'identifier :

- a) - La localisation de cas d'étude
- b)- Les conditions climatiques de la journée de la simulation.

La simulation a été réalisée en deux périodes :

- Une journée représentative de la période hivernale
- Une journée représentative de la période estivale

Les températures sont sélectionnées suivant une analyse de fichier climatique de la région d'étude.

c)- les caractéristiques thermiques des matériaux de construction :

Cité dans le tableau

Tableau. IV. 1: Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction. (Ministre de L'habitat, 1997) (Abdelkader, Mémoire Master "L'amélioration des performances thermique des habitations en parpaing. Cas de la ville de Metlili", 2023)

Cas d'étude	composantes de l'extérieur vers l'intérieur	L'épaisseur (m)	La conductivité thermique (W/m-K)
Mur extérieur	Enduit ext	0,02	1,15
	Pierre	0,45	1,2
	Enduit de plâtre	0,01	1,5
Dalle flottante	Dalle en béton	0,1	1,4
	Mortier de ciment	0,05	1,5
	Carrelage	0,03	1,2
Planchers	Dalle de compression	0,04	1,4
	Corps creux	0,16	1,2
	Enduit de plâtre	0,01	1,5
Fenêtre	Vitrage simple	0.004	1,05

d)- l'identification des variables de la simulation :

La simulation vise la variation des températures extérieures et intérieures

Lancé la simulation par EP-Lunch :

Pour lancer la simulation il faut :

- 1- Importer le fichier IDF construit dans l'étape 2
- 2- Importer le fichier climatique en format EPW (comprend les valeurs du rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse et la direction du vent, et des informations propres au site Tafilalet comme latitude, la longitude et l'altitude du lieu).
- 3- Le fichier climatique utilise dans la simulation est collecter de la station météorologique GHARDAIA/NOUMERAT

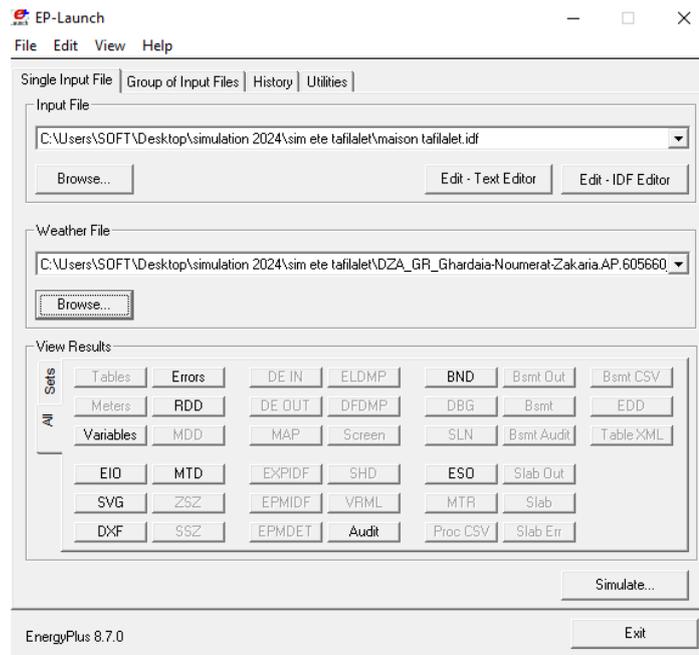
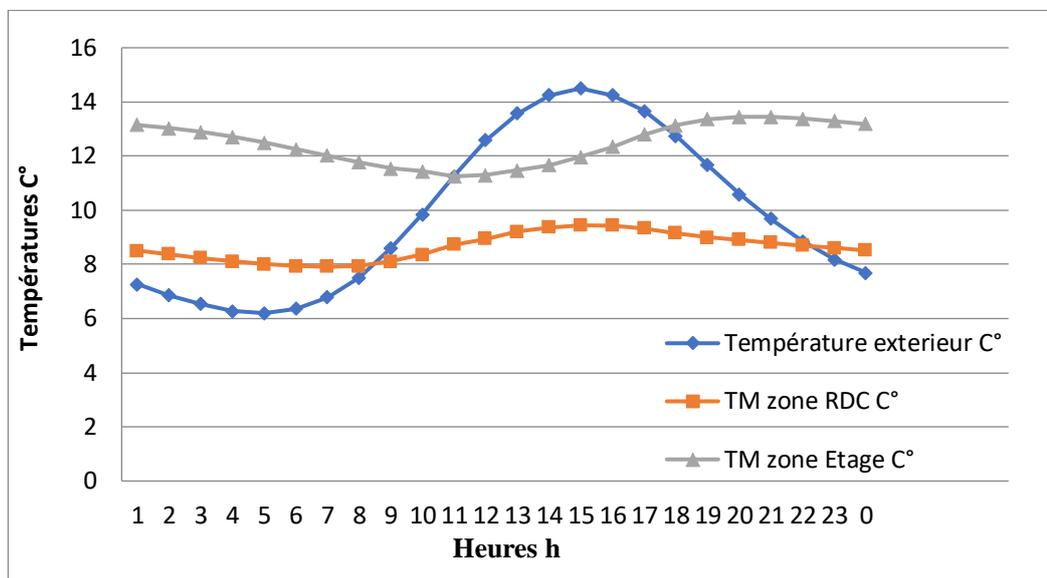


Photo n IV.01 : la simulation par EP-launch .(source autour).

IV.3. Représentation et discussion des résultats :

Les graphes 01 et 02 représentent la variation du tracé de la température d’air extérieur et intérieur de deux zones thermique représentatif de niveau RDC et l’étage de cas d’étude

IV.3.1. Résultat de la simulation durant la période hivernale :



Graphe. IV. 2: Résultats de la simulation durant la période hivernale. (source autour)

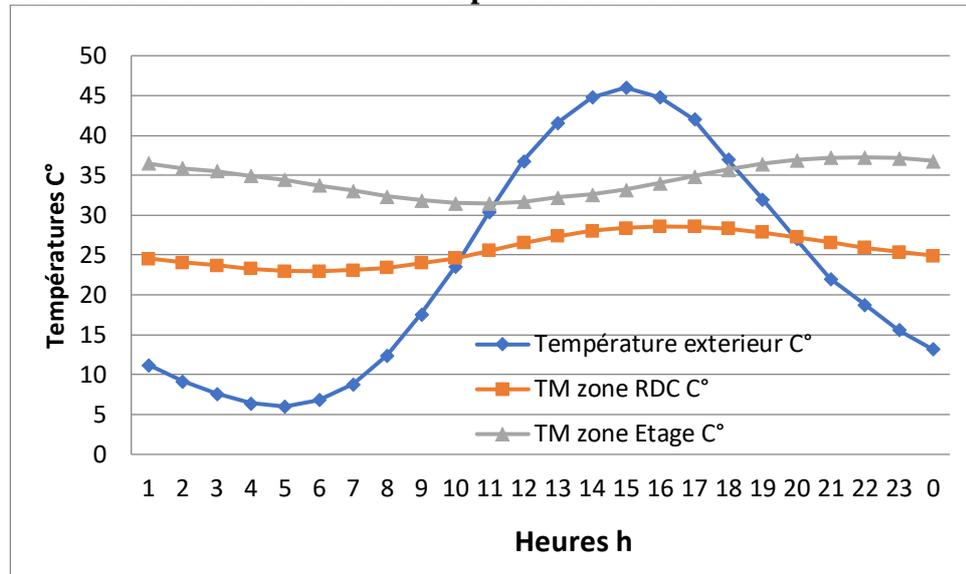
La température extérieure varie en trois périodes caractérisant par :

- Une chute de 7.27 C° à 1h00 vers 6.2C° à 5h00 et une croissance de 6.36C° à 6h00 vers un Pic de chaleur de 14.50 C° à 15h00 ensuite une chute qui arrive à 7.69C° à minuit
- Les courbes de la température interne varient simultanément de 1h00 jusqu’à 7h 00.

De 8h00, la température intérieure de RDC montre une faible augmentation d'ordre de 1C° par contre les températures intérieures de l'étage montrent une diminution d'ordre de 1C°

A 15h00 qui présente le Pic chaleur à l'extérieur la température de RDC commence à se diminuer légèrement, par contre la température de l'étage à augmenter jusqu'à 13.45C° à 20h00

IV.3.2. Résultat de la simulation durant la période estivale :



Graph. IV. 3: Résultats de la simulation durant la période estivale. (source autour)

La température extérieure varie en trois périodes caractérisant par :

- Une chute de 7.27 C° à 1h00 vers 6.2C° à 5h00 et une croissance de 6C° à 6h00 vers un Pic de chaleur de 46 C° à 15h00 ensuite une chute qui arrive à 13.2 C° à minuit

La température de RDC est légèrement stable on remarque une faible augmentation de 9h00 à 18h00 par contre la température de l'étage montre une augmentation jusqu'à 22h00 à une température max de 37.25C°

IV.4. Interprétation des résultats :

La courbe de la température extérieure durant les deux périodes d'hiver et d'été montre une grande fluctuation entre le jour et la nuit

IV.4.1. Durant la période hivernale :

La faible fluctuation des températures intérieures dans la zone RDC durant les deux périodes de la simulation, est résultat de l'isolation du plancher de l'extérieur par la superposition de la zone de l'étage qui a limité la déperdition thermique à travers le plancher. Par contre la forme de la courbe de la température intérieure de la zone de l'étage montre l'absence d'une isolation du plancher, ainsi que l'effet de l'inertie thermique importante des murs en pierre de minimiser les chutes de températures trop rapides

Donc les murs en pierre à forte inertie emmagasinent la chaleur la matinée en évitant les grandes fluctuations de température intérieure et les chutes de températures trop rapides.

Le soir, la chaleur emmagasinée ralentir l'entrée du froid grâce au déphasage thermique de 5h

IV.4.2. Durant la période estivale :

La zone de l'étage se rafraichit durant la nuit puis restitue du froid durant la journée en évitant les surchauffes jusqu'à 19h ou on remarque une augmentation de la température intérieure

- L'inertie de la pierre couplée par l'isolation du plancher de zone de RDC a bénéficié d'une différence de 6 C° par apport à l'extérieur

- les murs en pierres seul sans isolation des planchers ont bénéficié d'une différence de 3C°, ce qui montre l'effet d'isolation du plancher de limiter les pertes de la chaleur.

IV.5. Conclusion

Les différences flagrantes de températures extérieures entre le jour et la nuit durant les deux saisons : d'hiver et d'été, demande des matériaux de construction d'une efficacité thermique élevée pour assurer le confort thermique demandé dans les bâtiments d'usage d'habitation.

Les constructions d'une enveloppe extérieure bâtie en pierre ont la capacité d'emmagasiner la chaleur qui les reçoivent durant la journée, puis ils le restituent dans l'espace après un déphasage thermique de 5 à 6h.

Ce décalage permet de bénéficier de la chaleur durant les nuits froides de l'hiver qui se caractérise par des chutes rapide de la température, et de résister contre la période de surchauffe durant l'été.

Une ventilation transversale est indispensable pour rafraîchir les espaces intérieurs durant les nuits d'été.

Une isolation thermique des planchers peut limiter les pertes de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur, ce que nous permet de stabiliser la température à l'intérieur de la maison.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Cette recherche met en lumière l'importance de l'utilisation des matériaux locaux, en particulier la pierre, dans la construction durable, en s'appuyant sur l'exemple du ksar de Tafilalet dans la région de Ghardaïa. Les résultats de la simulation thermique effectuée avec le logiciel Energy Plus ont permis de démontrer les avantages thermiques significatifs des constructions en pierre dans un climat caractérisé par de grandes fluctuations de température entre le jour et la nuit.

Les analyses des périodes hivernales et estivales montrent que les murs en pierre, grâce à leur forte inertie thermique, emmagasinent la chaleur pendant la journée et la restituent la nuit, assurant ainsi une stabilité thermique qui améliore le confort des occupants. Cette capacité à limiter les variations rapides de température intérieure est cruciale dans un environnement où les nuits peuvent être particulièrement froides et les journées extrêmement chaudes.

En hiver, l'isolation thermique des planchers joue un rôle clé en réduisant les déperditions de chaleur et en minimisant l'effet d'inertie thermique des murs en pierre. En été, l'inertie thermique de la pierre, couplée à l'isolation des planchers, permet de maintenir des températures intérieures plus fraîches, retardant les surchauffes jusqu'à la fin de la journée.

La ventilation transversale se révèle indispensable pour rafraîchir les espaces intérieurs pendant les nuits d'été, soulignant la nécessité de combiner des solutions passives de gestion thermique pour maximiser le confort des habitants.

En conclusion, la valorisation de la pierre comme matériau de construction local s'avère non seulement bénéfique pour préserver le cachet architectural de la région de Ghardaïa, mais également efficace pour assurer le confort thermique des habitations. L'intégration de l'isolation des planchers et de la ventilation naturelle dans la conception des bâtiments renforce ces avantages, démontrant que les pratiques de construction traditionnelles peuvent être adaptées aux besoins contemporains tout en contribuant au développement durable. Cette étude souligne ainsi l'importance de réévaluer et d'intégrer les matériaux et techniques de construction locaux dans la planification urbaine moderne, en particulier dans les régions soumises à des conditions climatiques extrêmes.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- Abdelkader, b. (2023). L'amélioration des performances thermique des habitations en parpaing. Cas de la ville de metlili.
- Abdelkader, b. (2023). L'amélioration des performances thermique des habitations en parpaing. Cas de la ville de metlili.
- Ahmed, n. A. (2017, septembre). L'efficacité énergétique dans le bâtiment. Tizi-ouzou.
- Ahmed, n. A. (2017, septembre). L'efficacité énergétique dans le bâtiment. Tizi-ouzou.
- Alomar-garau, g. (2020). Les paysages de pierre sèche aux îles balears. *Sud-ouest européen. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*(50), 51-68.
- Arellano, a. (2011). Tourism in poor regions and social inclusion: the porters of the inca trail to machu picchu. *World leisure journal*, 53(2), 104-118.
- Aubert, m. (1960). La construction au moyen âge. *Bulletin monumental*, 118(4), 241-259.
- Baroud, c. K. (2022/2023). Pour une construction économique, amélioration des performances thermiques d'une habitation. Ghardaia.
- Baroud, c. K. (2022/2023). Pour une construction économique, amélioration des performances thermiques d'une habitation. Ghardaia.
- Batiweb. (s.d.). *Batiweb*.
- Batiweb. (s.d.). *Batiweb*.
- Beldjoudi, y., labiad, s., mermoul, m., & blibli, m. E. (2021). *L'architecture de terre, une alternative durable* université de jijel].
- Belge, e. P. (2007). Redéfinir la notion de confort thermique. Belgique.
- Belge, e. P. (2007). Redéfinir la notion de confort thermique. Belgique.
- Bessac, j.-c. (2013). Techniques classiques de construction et de décor architectural en pierre de taille entre orient et occident (vie-ixe siècle) abandon ou perte? *Archeologia dell'architettura*, 18, 9-23.
- Bessac, j.-c., & sablayrolles, r. (2002). Recherches récentes sur les carrières antiques de gaule: bilan et perspectives. *Gallia*, 59, 175-188.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bienne, m. (2004). «les enfants terribles». La psychiatrie infantile au secours de la famille: la consultation du professeur georges heuyer en 1950. *Revue d'histoire de l'enfance «irreguliere»*. *Le temps de l'histoire*(6), 69-91.
- Bisoffi-sauve, m. (2016). *Etude des ouvrages maçonnes en pierre par la methode des elements discrets: caracterisation et modelisation du comportement cohesif des joints* universite de bordeaux].
- Bitsindou, e. Construire une utopie urbaine a marne-la-vallee: genese, construction et posterite des espaces d'abraxas de ricardo bofill.
- Boiron, g. (2011). La grande muraille de chine: histoire et evolution d'un symbole. *La grande muraille de chine*, 1-241.
- Bouchard, m., & govare, é. (1999). Une vision globale de notre environnement: le geosysteme planetaire. *L'education geographique. Formation du citoyen et conscience geographique, sainte-foy, presses de l'universite du quebec*, 93-126.
- Bounamis, s., dorbane, r., & bouzenoune, a. (2006). *Caracteristiques geometriques et mecaniques des granulats issus de roches magmatiques (carrieres d'el milia)* universite de jijel].
- Boutemedjet, a., idres, a., deramchi, k., boukeroui, h., & bouzidi, n. (2019). Caracterisation des materiaux de construction et impact de la preparation mecanique sur l'environnement: cas du gisement de granite de kef bouacida-annaba, algerie.
- Boutera ghada, l. A. (2016/2017). L'efficacite energetique dans un eco village touristique cas de la ville d'el'oued.
- Boutera ghada, l. A. (2016/2017). L'efficacite energetique dans un eco village touristique cas de la ville d'el'oued.
- Brier, b., houdin, j.-p., le bonheur, j., & de closets, f. (2008). *Le secret de la grande pyramide*. Fayard.
- Bruant, m. (1997). Developpement et parametrages de controleurs flous multicriteres du confort. France.
- Bruant, m. (1997). Developpement et parametrages de controleurs flous multicriteres du confort. France.
- Caroly, s. (2007). Les mutations du travail face aux defis technologiques: quelles incidences sur la sante? *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la sante*(9-2).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cheknane, s. B. (2009, 12 14). Influence de l'isolation thermiqueinterieure et exterieure d'un batimenten pierre situee a ghardaïa.
- Cheknane, s. B. (2009, 12 14). Influence de l'isolation thermiqueinterieure et exterieure d'un batimenten pierre situee a ghardaïa.
- Cordier, p. L. A. (1868). *Description des roches composant l'ecorce terrestre, et des terrains cristallins constituant le sol primitif... Ouvrage redige d'apres la classification, les manuscrits inedits, et les leçons publiques de feu p.-l.-a. Cordier... Par charles d'orbigny*. Savy.
- Coste, a., & lajarge, r. (2014). Habitabilite periurbaine et territorialites renouvelees par les pratiques de nature. Saint-pierre de chartreuse, exemple emblématique?
- Cupa stone. (2015, novembre 11). L'efficacite thermique de la pierre naturelle : un mariage parfait pour votre habitat.
- Cupa stone. (2015, novembre 11). L'efficacite thermique de la pierre naturelle : un mariage parfait pour votre habitat.
- De la ressource, p. D. F. (2003). La medina ou casbah d'alger: mythologie et attraction touristique. *Alger: les nouveaux defis de l'urbanisation*, 179.
- Fleury, p., madeleine, s., lefevre, n., morineau, c., gorzkowski, s., leterrier, g., & sammour, k. (2015). Les nocturnes du plan de rome: le colisee.
- Giroud, a., & surcouf, c. (2016). De «pierre, combien de membres avez-vous?» a «nous nous appelons marc et christian»: reflexions autour de l'authenticite dans les documents oraux des manuels de fle pour debutants. Shs web of conferences,
- Guilaine, j., briois, f., vigne, j.-d., carrere, i., chazelles-gazzal, c.-a. D., collonge, j., gazzal, h., gerard, p., haye, l., & manen, c. (2002). L'habitat neolithique pre-ceramique de shillourokambos (parekklisha, chypre). *Bulletin de correspondance hellenique*, 126(2), 590-597.
- Hakim, h. Petrographie des roches metamorphiques.
- Handel, h., & pierre, j. (1975). Sur le role fondamental du cation alcalin dans la reduction des cetones par les hydrures metalliques. Utilisation de coordinats macrocycliques—ii: la stereoselection dans le cas ou intervient le modele cyclique (etude d'uen cetone aziridinique). *Tetrahedron*, 31(8), 997-1000.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- He, j., poder, t., dupras, j., & enomana, h. (2016). La valeur economique de la peche blanche et des services ecosystemiques au lac saint-pierre: analyse couts-avantages des strategies d'adaptation aux changements climatiques.
- Iacono-marziano, g. (2021). Interactions entre magmas et roches sedimentaires encaissantes: une revue de leurs implications dans les processus magmatiques. *27e edition de la reunion des sciences de la terre*.
- Imane, m. K. (2017). La confort thermique et l'efficacite energetique dans un maison construite en materiau de terre bts (blocs en terre stabilises).
- Imane, m. K. (2017). La confort thermique et l'efficacite energetique dans un maison construite en materiau de terre bts (blocs en terre stabilises).
- Khanoussi, m. (2003). L'evolution urbaine de thugga (dougga) en afrique proconsulaire: de l'agglomeration numide a la ville africo-romaine. *Comptes rendus des seances de l'academie des inscriptions et belles-lettres*, 147(1), 131-155.
- Koch, e. (2005). The taj mahal: architecture, symbolism, and urban significance. *Muqarnas online*, 22(1), 128-149.
- Lanari, p. (2012). *Micro-cartographie pt-» dans les roches metamorphiques. Applications aux alpes et a l'himalaya* universite de grenoble].
- Mamillan, m. Utilisation de la pierre dans la construction. In *recherche francaise et habitat du tiers monde. Document de travail* (pp. 74-78).
- M'hammed, a. S. (2018/2019). Contribution a l'etude de conflit thermique dans le batiment influence d'isolation thermique.
- M'hammed, a. S. (2018/2019). Contribution a l'etude de conflit thermique dans le batiment influence d'isolation thermique.
- Mohammed, c. (2009, 06 27). Etude bioclimatique du logement social-participatif de la vallee du m'zab : cas du ksar de tafilelt.
- Mohammed, c. (2009, 06 27). Etude bioclimatique du logement social-participatif de la vallee du m'zab : cas du ksar de tafilelt.
- Mohammed, m. (2012, septembre). Etude et evaluation du confort thermique des batiments a caractere public : cas du departement d'architecture de tamda (tizi-ouzou) . Tizi-ouzou.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Mohammed, m. (2012, septembre). Etude et evaluation du confort thermique des batiments a caractere public : cas du departement d'architecture de tamda (tizi-ouzou) . Tizi-ouzou.
- Maatouk Khoukhi *Naïma Fizeau Khoukhi et Fezzioui International Journal of energy and Environmental Engineering 2012, 3
- Hussain H. Alzoubi, Amal Th. Almalkavi. Collège d'architecture et de design, Université jordanienne des sciences et technologies, Irbid 22110, Jordanie
5 mai 2019. Courriel de l'auteur correspondant : alzoubih@umich.edu
- Paul, a. F. Y., & kouame, a. (2019). Conception de diagrammes ternaires de classification des sediments et roches sedimentaires mixtes clastiques terrigenes. *International journal of innovation and applied studies*, 26(4), 1193-1202.
- Pereira, p. (2014). *L'avenir des stations balneaires dans le contexte de la fin du tourisme: le cas de la baule et de bournemouth angers*].
- Pestre, t. (2021). *La pierre naturelle dans un contexte d'evolution reglementaire environnementale de la construction, etude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de batiments universite d'artois*].
- Pestre, t. (2021, 10 08). La pierre naturelle dans un contexte d'evolution reglementaire environnementale de la construction ,etude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de batiments.
- Pestre, t. (2021, 10 08). La pierre naturelle dans un contexte d'evolution reglementaire environnementale de la construction ,etude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de batiments.
- Prigent, d. (2020). Evolution de la construction medievale en pierre en anjou et touraine. In *anjou* (pp. 14-33). Routledge.
- Rahmouni, s. (2020). Evaluation et amelioration energetiques debatiments dans le cadre du programme nationald'efficacite energetique. Universite mostepha ben boulaïd- batna 2.
- Rahmouni, s. (2020). Evaluation et amelioration energetiques debatiments dans le cadre du programme nationald'efficacite energetique. Universite mostepha ben boulaïd- batna 2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Remy, m. C. (2013). *L'energie a decouvret*. Paris: cnrs éditions.

Remy, m. C. (2013). *L'energie a decouvret*. Paris: cnrs éditions.

Rezkallah, y. S. (2017). *Les carrieres et les materiaux de construction lapidaires a timgad et a son voisinage: etude d'archeologie et d'archeometrie paris 1]*.

Rezzag m, o. H. (2022). Effet du choix des materiaux sur les caracteristiques tharmique de l'habita cas d'une habitation dans la region de ghardaia.

Rezzag m, o. H. (2022). Effet du choix des materiaux sur les caracteristiques tharmique de l'habita cas d'une habitation dans la region de ghardaia.

Samama, c.-r. (2022). Les civilisations du monde et leurs culturalites: essais d'hermeneutique culturelle.

Sanogo, s. (2022). *Pegmatites lithiniferes (li-cs-ta) et roches plutoniques de bougouni (sud du mali, craton ouest africain): approches petrographiques, structurales, geochimiques et geochronologiques universite de lille (2022-....)]*.

Si amer, s. (2019). *L'impacte de la conception biophilique sur les bureaux cas d'etude universite mouloud mammeri]*.

(2023, 05 22). Recupere sur <http://www.epfl.ch/enerbat> .

(2023, 05 22). Recupere sur <http://www.epfl.ch/enerbat> .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des sciences et de la technologie
Département d'Hydraulique et Génie Civil

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

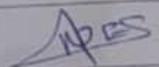
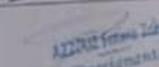
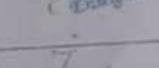
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الري والهندسة المدنية

ترخيص بإيداع مذكرة الماستر

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف :

الطالبين (ة): **ARIF Hadj Mohammed et BOUGRINE Youcef**
بوقرين يوسف و عريف حاج محمد

الشعبة : هندسة مدنية
التخصص: هياكل
نحن الأساتذة:

الإمضاء	الصفة	الرتبة و الجامعة الأصلية أو المؤسسة	الإسم واللقب
	رئيس	أستاذ محاضر أ (جامعة غرداية)	نسيل حميد
	ممتحن	أستاذ مساعد أ (جامعة غرداية)	عزوز فاطمة الزهراء
	مؤطر	أستاذ مساعد أ (جامعة غرداية)	معطل الله زينب

نرخص بإيداع النسخة النهائية لمذكرة الماستر بعنوان:

L'efficacité thermique de la pierre dans la construction cas de Ksar Tafilalet

