

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la
technologie Département
d'Architecture
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de

Doctorat en Architecture

Option : Habitat et ville durable

L'utilisation de l'énergie solaire dans les stratégies de conception passive pour améliorer le confort thermique et réduire la consommation énergétique dans les habitations

Cas d'étude : une habitation individuelle à Ouargla.

Présentée par :

Khechiba Abir.

Soutenue publiquement le 09/03/2024

Devant le Jury composé de :

| | | | |
|--------------------------|------------|--------------|---------------------------|
| Dr. Kamal Youcef | M.C.A | Président | Université de Biskra |
| Pr. Benabbas Moussadek | Professeur | Rapporteur | Université de Biskra |
| Dr.Djaghroui Djamila | M.C.A | Examinatrice | Université de Biskra |
| Dr.Guedouh Marouan Samir | M.C.A | Examineur | Université de Batna 1 |
| Dr.Giacomo Salvadori | M.C.A | Invité | Université de pise Italie |

Année universitaire : 2023/2024

Dédicace

*Je dédie ce travail, à
Ma mère et mon père
A mon mari, et ma fille
A mes sœurs et mes frères
A mes amis, mes collègues
A tous ceux qui me sont chers ...*

Abir

Remerciements

Je remercie Dieu tout -puissant de m'avoir donné toute la force et le courage nécessaire pour mener à bien ce modeste travail.

Tout d'abord, je voudrai remercier Prof. Benabbas Moussadek, directeur de ma thèse, ainsi que Dr. Djaghrouri Djamila, comme co-encadrante, mais se retrouvant comme examinatrice dans le jury. Tous deux m'ont donné le privilège d'être encadrée pour cette thèse. Je vous remercie pour tous vos conseils, vos disponibilités à tout moment. Vos compétences et vos rigueurs scientifiques m'ont enseignés énormément.

Je tiens également à remercier les membres du jury : Dr Kamal Youcef pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury ; Dr Guedouh Marouan Samir pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à Monsieur Giacomo salvadori et Dr Rocca de l'université de pise Italie, pour leurs précieux conseils, pour leurs encouragements, orientations et accueil tout au long de mon stage.

Enfin, un dernier merci à ma famille : mes parents, mon mari, ma fille, mes sœurs et mes frères, et mes amis, merci pour votre patience et votre soutien.

Résumé

Les matériaux de construction modernes en béton armé sont considérés comme les plus populaires dans la production de logements en Algérie, particulièrement dans les états désertiques telle que la ville d'Ouargla, caractérisée par un climat chaud et aride. Ces maisons ont besoin d'être plus adaptables à ce climat difficile, en dépit de la présence du Ksar d'Ouargla, contenant des logements traditionnels et qui ont prouvé leur efficacité en termes de problèmes de chaleur, soulevés dans plusieurs études achevées précédemment. De nos jours ces logements sont moins demandés car ils ne sont plus adaptés à la vie urbaine contemporaine. Par conséquent, le but de cette étude est d'améliorer la performance des typologies de maison les plus reconnues dans la ville d'Ouargla en termes de confort thermique et de consommation d'énergie en utilisant des stratégies passives. A cet égard, une méthodologie de recherche, basée sur des mesures sur terrain et des simulations de modèles avec TRNSYS 17, a été adoptée pour identifier les problèmes les plus communs rencontrés.

Le modèle simulé a été validé par corrélation statique, puis une simulation d'une année complète a été réalisée, au cours de laquelle de nombreux aspects de la construction sont étudiés et comparés, tels que l'isolation de la construction et la masse du toit et des murs, les dimensions et les types de fenêtres, l'orientation et l'ombrage solaire. Les résultats montrent que la maison moderne étudiée peut être considérée comme non appropriée pour un climat désertique et l'utilisation de l'ombrage solaire combiné avec des murs isolés et le toit permet d'augmenter de 35% le confort thermique annuel ($-0.5 \leq PMV \leq 0.5$) et de réduire la consommation d'énergie de 22,73%. Tous les scénarios simulés ont ensuite été comparés à une maison traditionnelle caractérisée par une conception architecturale bioclimatique utilisée en tant que bâtiment de référence. Les résultats obtenus peuvent être utiles pour assister à la fois les interventions de rénovation sur les bâtiments existants et la conception de nouveaux bâtiments. Bien que les interventions simulées soient largement étudiées dans la littérature, Il est très important de connaître leur impact sur la perception de l'environnement intérieur et de la consommation énergétique dans cette zone géographique particulière.

Mots clés : Conception passive, énergie solaire, confort thermique, consommation énergétique, climat sec et aride de Ouargla.

Abstract

Modern reinforced concrete building materials are considered the most popular in the production of housing in Algeria, particularly in desert states such as the city of Ouargla. This region is characterized by a hot and arid climate. These houses need to be more adaptable to this difficult climate, in spite of the presence of Ouargla Ksar, which contains traditional dwellings which have proven their effectiveness in terms of the heat problem in several studies which have been completed previously, but these housing has declined in demand because it is not suitable for contemporary urban life. Therefore, the aim of this study is to improve the performance of the most recognized house typologies in the city of Ouargla in terms of thermal comfort and energy consumption using passive strategies. In this regard, a research methodology based on deposited measurements and model simulations with TRNSYS 17 was adopted to identify the most common problems encountered. The simulated model was validated by static correlation, then a full year simulation was performed, during which many aspects of the construction are studied and compared, such as the insulation and the mass of the roof and walls , window sizes and types, orientation and solar shading. The results show that the modern house studied can be considered as not suitable for a desert climate and the use of solar shading combined with insulated walls and the roof allows to increase the annual thermal comfort by 35% ($-0.5 \leq PMV \leq 0.5$) and reduce energy consumption by 22.73%. All the simulated scenarios were then compared to a traditional house characterized by a bioclimatic architectural design used as a reference building. The results obtained can be useful to guide both renovation interventions on existing buildings and the design of new buildings. Although simulated interventions are widely studied in the literature, it is very important to know their impact on the perception of the indoor environment and energy consumption in that particular geographical area.

Keywords: Passive design, solar energy, thermal comfort, energy consumption, dry and arid climate of Ouargla

ملخص

تعتبر مواد البناء الحديثة من الخرسانة المسلحة الأكثر شعبية في إنتاج المساكن في الجزائر، ولا سيما في المدن الصحراوية مثل مدينة ورقلة. تتميز هذه المنطقة بمناخ حار وجاف. يجب أن تكون هذه المنازل أكثر قابلية للتكيف مع هذا المناخ الصعب، على الرغم من وجود قصر ورقلة، الذي يحتوي على مساكن تقليدية أثبتت فعاليتها من حيث مشكلة الحرارة حسب دراسات سابقة، ولكن هذه المساكن تراجع الطلب عليها لأنها غير مناسبة للحياة الحضرية المعاصرة. لذلك، فإن الهدف من هذه الدراسة هو تحسين أداء نماذج المنازل الأكثر شهرة في مدينة ورقلة من حيث الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة باستخدام الاستراتيجيات السلبية (غير النشطة). وفي هذا الصدد، تم اعتماد منهجية بحث تعتمد على القياسات الميدانية ومحاكاة النماذج باستخدام TRNSYS 17 لتحديد المشكلات الأكثر شيوعاً التي تمت مواجهتها. تم التحقق من صحة النموذج المحاكى عن طريق الارتباط الثابت، ثم تم إجراء محاكاة لمدة سنة كاملة، حيث تمت دراسة ومقارنة العديد من جوانب البناء، مثل العزل وكتلة السقف والجدران، وأبعاد النوافذ وأنواعها، والتوجيه والتظليل الشمسي. أظهرت النتائج أن المنزل الحديث المدروس يمكن اعتباره غير مناسب للمناخ الصحراوي وأن استخدام التظليل الشمسي جنباً إلى جنب مع الجدران المعزولة والسقف يسمح بزيادة الراحة الحرارية السنوية بنسبة 35% ($0.5 \leq PMV \leq -0.5$) وتقليل استهلاك الطاقة بنسبة 22.73%. تمت بعد ذلك مقارنة جميع سيناريوهات المحاكاة بمنزل تقليدي يتميز بتصميم معماري بيولوجي مناخي يستخدم كمبنى مرجعي. يمكن أن تكون النتائج التي تم الحصول عليها مفيدة لتوجيه تدخلات التجديد في المباني القائمة وتصميم المباني الجديدة. على الرغم من دراسة تدخلات المحاكاة على نطاق واسع في الأدبيات، فمن المهم جداً معرفة تأثيرها على تصور البيئة الداخلية واستهلاك الطاقة في تلك المنطقة الجغرافية المحددة.

الكلمات المفتاحية: التصميم السلبي، الطاقة الشمسية، الراحة الحرارية، استهلاك الطاقة، مناخ جاف وحار لمدينة ورقلة .

Table des matières

| | |
|-------------------------------|-----|
| Résumé..... | I |
| Table des matières | IV |
| Liste de figures | X |
| Liste des tableaux | XIV |
| Production scientifique | XVI |

Chapitre introductif

| | |
|--|----|
| 1-Introduction..... | 19 |
| 2-Motifs du choix du thème | 22 |
| 3-Eléments de la problématique | 23 |
| 3-1-Constats | 23 |
| 3-2-Questions et hypothèses | 24 |
| 3-3-Objectifs | 24 |
| 3-4-Analyse conceptuelle..... | 25 |
| 4-Méthodologie d'approche et organisation de la thèse..... | 26 |
| 4-1-Méthodes du travail..... | 26 |
| 4-2-Structure de la thèse | 27 |
| 4-3-Plan du travail | 29 |

Partie théorique

Chapitre I : Le confort thermique dans les habitations

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 32 |
| I.1. Le confort thermique, compréhension du concept..... | 33 |
| I.2. Les facteurs qui influent sur le confort thermique..... | 34 |
| I.2.1. Effet des facteurs environnementaux sur le confort thermique..... | 34 |
| I.2.1.1. La température de l'air..... | 34 |
| I.2.1.2. L'humidité relative..... | 35 |
| I.2.1.3. Radiation solaire..... | 35 |
| I.2.1.4. Vitesse de l'air..... | 35 |
| I.2.2. Effet des facteurs subjectifs sur le confort thermique..... | 36 |
| I.2.2.1. L'habillement..... | 36 |
| I.2.2.2. Acclimatation (adaptation et acceptation) | 37 |
| I.2.2.3. Forme du corps..... | 37 |
| I.2.2.4. État de santé..... | 37 |
| I.2.2.5. Nourriture et boisson..... | 38 |
| I.2.2.6. Couleur de peau..... | 38 |
| I.2.2.7. Les échanges de chaleur du corps humain..... | 38 |
| I.3. Modes de transfert de chaleur..... | 39 |
| I.3.1. Les échanges de chaleur par conduction (K en W/m^2)..... | 39 |
| I.3.2. Les échanges de chaleur par convection (C en W/m^2)..... | 39 |
| I.3.3. Les échanges de chaleur par rayonnement (R en W/m^2)..... | 40 |
| I.3.4. Les échanges de chaleur par évaporation (ESK en W/m^2)..... | 40 |
| I.3.5. Le bilan thermique..... | 41 |
| I.4. Modèles pour l'évaluation de confort thermique..... | 41 |

| | |
|---|----|
| I.4.1. Les modelés analytiques..... | 41 |
| I.4.2. Le modèle a deux nœuds de Gagge : ET, SET* et PMV*..... | 44 |
| I.4.3. Les modèles approfondis..... | 45 |
| I.4.4. Modèle adaptatif de confort thermique..... | 46 |
| I.5. De l'architecture vernaculaire à l'habitation moderne..... | 48 |
| I.5.1. L'architecture vernaculaire, compréhension du concept..... | 48 |
| I.5.1.1. Les maisons vernaculaires à cour dans le monde arabe..... | 50 |
| I.5.1.2. La configuration compacte..... | 52 |
| I.5.1.3. L'inertie de l'enveloppe et les matériaux..... | 52 |
| I.5.1.4. Les techniques d'adaptation de L'architecture iranienne..... | 53 |
| I.5.1.5. L'architecture vernaculaire algérienne..... | 54 |
| I.5.1.6. La maison traditionnelle d'Oued Souf..... | 54 |
| I.5.1.7. La maison traditionnelle de Mزاب..... | 54 |
| I.5.2. La typologie de l'habitat moderne..... | 55 |
| I.5.2.1. Classification selon le type d'occupation..... | 55 |
| I.5.2.1.1. L'habitat collectif..... | 55 |
| I.5.2.1.2. L'habitat individuel..... | 56 |
| I.5.2.2. Classification selon le domaine..... | 57 |
| I.5.2.2.1. L'habitat durable..... | 57 |
| I.5.2.2.2. L'habitat solaire..... | 58 |
| I.6. Le climat..... | 58 |
| I.6.1. Définition..... | 58 |
| I.6.2.Éléments utiles du climat..... | 58 |
| I.6.3.La classification du climat mondial..... | 59 |
| I.6.4.Le climat des zones arides et semi-arides..... | 63 |
| I.6.4.1.Caractéristiques des milieux arides et semi-arides..... | 64 |
| I.6.5.Classification du climat en Algérie..... | 64 |
| Conclusion..... | 65 |

Chapitre II : L'efficacité et consommation énergétique ; place de l'énergie solaire

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 68 |
| II.1. L'efficacité énergétique et développement durable..... | 69 |
| II.2. Règlements et labels..... | 69 |
| II.2.1. Les réglementations thermiques..... | 69 |
| II.2.2. La réglementation en vigueur..... | 70 |
| II.2.3. Les labels de performance énergétique..... | 71 |
| II.3. L'efficacité énergétique dans le monde et réglementations..... | 72 |
| II.3.1. Réglementation Française..... | 72 |
| II.3.2. Réglementation Tunisienne..... | 72 |
| II.3.3. Réglementation marocaine..... | 73 |
| II.3.4. Réglementation Algérienne..... | 74 |
| II.4. Barrières et enjeu réglementaire..... | 75 |
| II.4.1. Barrières institutionnelles et politiques..... | 75 |
| II.4.2. Barrières liées à l'information..... | 75 |
| II.4.3. Barrières comportementales..... | 75 |
| II.4.4. Enjeu économique et industriel..... | 75 |
| II.4.5. Enjeu environnemental..... | 75 |
| II.5. Consommation d'énergie..... | 76 |
| II.5.1. Consommation mondiale de l'énergie..... | 76 |

| | |
|---|----|
| II.5.1.1. Consommation par produit..... | 76 |
| II.5.1.2. Consommation par secteur..... | 77 |
| II.5.2. Consommation nationale d'énergie..... | 79 |
| II.5.2.1. Consommation nationale par produit..... | 79 |
| II.5.2.2. La répartition de consommation par secteur..... | 80 |
| II.6. Aperçu historique sur l'architecture solaire..... | 81 |
| II.6.1. L'époque antique : la ville vernaculaire..... | 81 |
| II.6.2. L'époque moderne : la révolution industrielle..... | 83 |
| II.6.3. Mouvement hygiénistes..... | 83 |
| II.6.4. L'époque contemporaine : la ville durable..... | 84 |
| II.7.L'énergie renouvelable et son utilisation en architecture..... | 85 |
| II.7.1. L'Énergie solaire..... | 86 |
| II.7.2. L'architecture solaire..... | 86 |
| II.8. La conception solaire..... | 87 |
| II.8.1.Les outils et méthodes de conception solaire..... | 88 |
| II.8.1.1.L'éclairage naturel..... | 88 |
| II.8.1.2. La production de chaleur utile..... | 89 |
| II.8.1.3. La production d'électricité..... | 91 |
| II.8.1.4. Architecture solaire passive..... | 91 |
| II.8.1.5. Énergie solaire et architecture..... | 92 |
| II.8.2.Le concept de Maison Passive..... | 92 |
| II.8.3. La conception passive..... | 92 |
| II.8.4. Conception des techniques passives..... | 92 |
| II.9. Energie et construction passive en Algérie..... | 93 |
| II.9.1. Les énergies renouvelables en Algérie..... | 93 |
| II.9.2. Exemple des constructions passives en Algérie..... | 95 |
| Conclusion..... | 97 |

Chapitre III : l'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique.

| | |
|--|-----|
| Introduction..... | 100 |
| III.1.Effet des différentes stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique..... | 101 |
| III.1.1.Les matériaux..... | 101 |
| III.1.2.PCM (matériau à changement de phase)..... | 102 |
| III.1.3.La forme..... | 103 |
| III.1.4.Compacité..... | 104 |
| III.1.5.Vitrage..... | 105 |
| III.1.6.La masse thermique..... | 105 |
| III.1.7.Taille des ouvertures..... | 108 |
| III.1.8.Le comportement des résidents..... | 109 |
| III.1.9.Isolation thermique..... | 109 |
| III.1.10.Effet de l'orientation..... | 110 |
| III.1.11.Les dispositifs d'ombrage..... | 111 |
| III.1.12.Système HVAC..... | 112 |
| III.1.13.Toit vert et les murs végétalisés..... | 113 |
| III.2. Les stratégies de refroidissement passif..... | 114 |
| III.2.1. Ventilation naturelle : vitesse de l'air..... | 114 |
| III.2.2. Refroidissement terre-air..... | 115 |

| | |
|--|-----|
| III.2.3. Tours à vent..... | 116 |
| III.2.4. La construction souterraine..... | 117 |
| III.3. Les stratégies de chauffage passif..... | 118 |
| III.3.1. Mur Trombe..... | 119 |
| III.3.2. La cheminée solaire..... | 119 |
| III.3.3. Chauffage solaire..... | 120 |
| III.4. État de l'art sur les méthodes d'évaluation des stratégies passives dans l'habitation individuelle..... | 121 |
| III.5. Recherches sur différentes méthodologies utilisées pour des stratégies d'amélioration visant à minimiser la consommation d'énergie et à maximiser le confort thermique..... | 126 |
| III.5.1. L'étude sur terrain..... | 126 |
| III.5.1.1. Adaptive model de confort thermique..... | 126 |
| III.5.1.2. Les mesures physiques..... | 127 |
| III.5.2. La méthode statique..... | 128 |
| III.5.3. La méthode expérimentale..... | 128 |
| III.5.3.1. Méthode de plan d'expérience..... | 128 |
| III.5.3.2. La méthode numérique..... | 129 |
| III.5.3.2.1. La validation de modèle numérique..... | 129 |
| III.5.3.2.2. L'optimisation de modèle numérique..... | 129 |
| Conclusion..... | 130 |

Partie pratique

Chapitre IV : Présentation et investigation du cas d'étude

| | |
|---|-----|
| Introduction..... | 133 |
| IV. Présentation du cas d'étude..... | 134 |
| IV.1. Situation géographique de la ville de Ouargla..... | 134 |
| IV.2. Caractéristique du climat de la ville d'Ouargla..... | 135 |
| IV.3. Les données climatiques de la ville d'Ouargla..... | 136 |
| IV.3.1. Rayonnements solaires et durée d'isolation..... | 136 |
| IV.3.2. Températures de l'air..... | 137 |
| IV.3.3. Les précipitations..... | 137 |
| IV.3.4. Humidité..... | 138 |
| IV.3.5. Les vents..... | 138 |
| IV.4. Analyse bioclimatique de la ville d'Ouargla..... | 139 |
| IV.4.1. Détermination la zone de surchauffe (isotherme d'Ouargla)..... | 139 |
| IV.4.2. Diagramme de Givoni appliqué aux données climatiques de Ouargla..... | 141 |
| IV.4.2.1. Lecture du diagramme..... | 141 |
| IV.4.2.2. Les recommandations de diagramme Givoni..... | 141 |
| IV.4.3. Application des Tables de Mahony pour analyser les données climatiques d'Ouargla..... | 142 |
| IV.4.4. Conclusion de l'analyse bioclimatique..... | 142 |
| IV.5. L'évolution historique de la ville de Ouargla..... | 143 |
| IV.5.1. L'ancien palais de Ouargla : entre hier et aujourd'hui..... | 144 |
| IV.5.1.1. Les rues couvertes..... | 146 |
| IV.5.1.2. Identification de la maison ksourienne Ouarglie et ses composantes..... | 147 |
| IV.5.1.3. Description spatiale d'une maison du ksar..... | 147 |
| IV.5.1.4. Matériaux et techniques de construction..... | 148 |

| | |
|---|-----|
| IV.5.1.5. Cas actuels des maisons de ksar..... | 150 |
| IV.5.1.6. La dégradation de bâties..... | 150 |
| IV.5.1.7. Les mutations typo-morphologiques causées par les habitants..... | 151 |
| IV.5.2. Opération de réhabilitations des façades urbaines..... | 152 |
| IV.5.3. Opération de formation aux métiers de restauration..... | 153 |
| IV.5.4. Programme de réhabilitation des logements traditionnels par la direction de logements..... | 154 |
| IV.6. Les premières formes des nouveaux espaces urbanisés par la colonisation..... | 154 |
| IV.6.1. Opération de réhabilitations de la citésilis par L'Office de promotion et gestion immobilière (OPGI) Ouargla..... | 156 |
| IV.7. Les quartiers autoproduits par les nomades : les quartiers spontanés..... | 156 |
| IV.8. Nouveaux espaces urbains produit par l'intervention de l'état algérien..... | 158 |
| IV.8.1. Situation urbanistique..... | 158 |
| IV.8.2. Matériaux et techniques de construction..... | 161 |
| IV.9. Données sur la croissance démographiques et de logement de la ville de Ouargla..... | 162 |
| IV.9.1. Analyse démographique et économiques..... | 162 |
| IV.9.1.1. Population..... | 162 |
| IV.9.1.2. Un développement démographique..... | 163 |
| IV.9.1.3. Évolution des taux de croissance..... | 164 |
| IV.9.2. Logements..... | 165 |
| IV.9.3. Evolution du logement..... | 165 |
| IV.9.4. Types des logements dans la ville..... | 166 |
| IV.10. Le potentiel et la consommation énergétique de la ville de Ouargla..... | 167 |
| IV.10.1. Importance de la ville de Ouargla en vue de ses ressources naturelles..... | 167 |
| IV.10.2. Le pétrole et l'énergie..... | 167 |
| IV.10.3. Les ressources hydriques..... | 168 |
| IV.10.4. Les richesses en sous-sol..... | 168 |
| IV.10.5. Potentiel solaire..... | 169 |
| IV.10.6. Electricité et gaz..... | 170 |
| IV.10.6.1. Réseau électricité..... | 170 |
| IV.10.6.2. Réseau Gaz..... | 170 |
| IV.10.6.3. Inconvénients des réseaux..... | 171 |
| IV.10.7. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla..... | 171 |
| IV.10.8. Etat des lieux..... | 171 |
| IV.10.9. Nombre de clients..... | 173 |
| IV.10.10. Vente..... | 173 |
| Conclusion..... | 175 |

Chapitre V : Évaluation du confort thermique : une étude comparative entre les maisons modernes et traditionnelles dans la ville de Ouargla.

| | |
|--|-----|
| Introduction..... | 178 |
| V.1. Sélection et analyse de l'objet d'étude..... | 179 |
| V.1.1. Présentation du corpus d'analyse..... | 179 |
| V.1.2. Description les modèles d'étude..... | 179 |
| V.1.2.1. La typologie de maison moderne..... | 180 |
| V.1.2.2. La typologie de maison traditionnelle..... | 181 |
| V.2. Comparaison des typologies : Comparaison analyse traditionnel versus contemporaine..... | 183 |
| V.3. Méthodologie de l'étude expérimentale..... | 185 |
| V.3.1. Etude quantitative..... | 186 |

| | |
|---|-----|
| V.3.1.1. Protocole de la prise de mesures..... | 186 |
| V.3.1.2. Étalonnage des instruments de la prise de mesures..... | 188 |
| V.3.1.3. Critère de choix du matériel de mesure..... | 188 |
| V.3.2. Etude qualitative..... | 189 |
| V.3.2.1. Enquête par questionnaire..... | 189 |
| V.4. Résultats et discussion..... | 191 |
| V.4.1. Les mesures expérimentales..... | 191 |
| V.4.1.1. Température de l'air..... | 191 |
| V.4.1.2. Humidité relative..... | 192 |
| V.4.4. Vitesse de l'aire..... | 192 |
| V.4.2. Enquête par questionnaire..... | 192 |
| Conclusion..... | 196 |

Chapitre VI : Modélisation et simulation pour amélioration du confort thermique et réduction des consommation sénergétiques dans les habitations : impact des stratégies passives

| | |
|---|-----|
| Introduction..... | 199 |
| VI.1. La simulation numérique..... | 200 |
| VI.2. Présentation de la méthodologie utilisée pour l'amélioration..... | 200 |
| VI.2.1. Étape de la modélisation..... | 200 |
| VI.2.1.1. Sélection des typologies de bâtiments..... | 200 |
| VI.2.1.2. Enquête sur place..... | 202 |
| VI.2.1.3. Création des modèles..... | 203 |
| VI.2.1.4. Validation et étalonnage du modèle..... | 208 |
| VI.2.2. Étape de simulation..... | 209 |
| VI.2.3. Étape de l'évaluation..... | 213 |
| VI.3. Résultats..... | 214 |
| VI.3.1. Température de l'air..... | 214 |
| VI.3.2. Confort thermique..... | 217 |
| VI.3.3. Consommation d'énergie..... | 218 |
| IV.4. Discussions..... | 221 |
| VI.5. Comparaison entre maison moderne et maison traditionnelle..... | 222 |
| Conclusion..... | 225 |
| Conclusion générale et perspectives de recherche..... | 226 |
| Recommandations..... | 229 |
| Les limites de la recherche..... | 234 |
| Perspectives futures de recherche..... | 234 |
| Bibliographie..... | 235 |
| Annexes..... | 253 |

Liste des figures

| Figure | Titre..... | Page |
|---------|--|------|
| Fig.01 | Schéma synthétique de l'analyse conceptuelle..... | 26 |
| Fig.02 | Schéma représentant le plan du travail..... | 29 |
| Fig.03 | Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendants..... | 34 |
| Fig.04 | Plage d'humidité optimale pour le confort et la santé humaine..... | 35 |
| Fig.05 | Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air..... | 36 |
| Fig.06 | La température optimale d'une pièce en fonction des activités et de l'habillement des occupants selon la norme EN ISO 7730..... | 37 |
| Fig.07 | Transfert de chaleur par conduction..... | 39 |
| Fig.08 | Transfert de chaleur par convection..... | 39 |
| Fig.09 | Transfert de chaleur par rayonnement..... | 40 |
| Fig.10 | Les quatre modes des échanges thermiques..... | 40 |
| Fig.11 | Pourcentage prévu d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévu (PMV)..... | 42 |
| Fig.12 | Méthode de la zone de confort graphique..... | 43 |
| Fig.13 | Schématisation du modèle thermique de Stolwijk..... | 46 |
| Fig.14 | Plages de température de fonctionnement acceptables pour les espaces naturellement conditionnés..... | 47 |
| Fig.15 | Représentation des mécanismes adaptatifs..... | 48 |
| Fig.16 | Performance thermique des cours..... | 51 |
| Fig.17 | Logement à cour vernaculaire au Maroc (Riad)..... | 51 |
| Fig.18 | La forte compacité urbaine du vieux Beni Izgenà Ghardaïa..... | 52 |
| Fig.19 | Maison soufi traditionnelle avec cour centrale..... | 54 |
| Fig.20 | Maison Mozabite..... | 55 |
| Fig.21 | Schéma publié dans le magazine documentaire Bibliothèque de Travail – 1991..... | 55 |
| Fig.22 | Type d'habitat collectif social à Guelma, Algérie..... | 56 |
| Fig.23 | Habitat individuelle à Alger, Algérie..... | 57 |
| Fig.24 | La carte des climats de Köppen-Geiger. Source : présentée par le US National Library of Médecine du National Institutes of Health..... | 59 |
| Fig.25 | Classification du climat en Algérie..... | 65 |
| Fig.26 | Structure de la consommation finale par secteur en Algérie..... | 81 |
| Fig.27 | Ville solaire conçue de la Grèce antique..... | 82 |
| Fig.28 | Révolution industrielle : Pollution des usines de cuivre dans les Cornouailles, Angleterre..... | 83 |
| Fig.29 | Pavillons de l'hôpital Boucicaud..... | 84 |
| Fig.30 | Exemple d'une ville durable..... | 85 |
| Fig.31 | Les principales types des énergies renouvelables..... | 86 |
| Fig.32 | Utilisation de projections stéréographiques et orthographiques..... | 89 |
| Fig.33 | Utilisation d'un héliodon à l'extérieur..... | 89 |
| Fig.34 | Positionnement de l'héliodon..... | 90 |
| Fig.35 | Maison bioclimatique..... | 91 |
| Fig.36 | Gain direct (à gauche), B. Mur Trombe (à droite)..... | 93 |
| Fig.37 | Potentialité de l'Energie solaire en Algérie para port la consommation énergétique mondiale..... | 94 |
| Fig.38 | Une maison pilote bioclimatique à Souidania (Alger)..... | 96 |
| Fig.39 | Un prototype du village solaire Ain Haneche (Boussaâda)..... | 96 |
| Fig.40 | Maison Type Ksar Tafilelt (Ghardaïa)..... | 97 |
| Fig.41. | Matériaux et système constructif traditionnel et contemporain dans la | 101 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 42.43.44 | ville de Tamanrasset..... | 103 |
| Fig.45 | Température de surface interne du mur pour toutes les orientations..... | 103 |
| Fig.46 | Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins..... | 103 |
| Fig.47 | Bâtiments avec différents indices de compacité..... | 104 |
| Fig.48 | Comportement thermique des matériaux de masse thermique..... | 106 |
| Fig.49 | Établissement de l'effet de la masse thermique dans les habitations en maçonnerie et en béton pendant l'été..... | 106 |
| Fig.50 | Etude sur la masse thermique des maisons méditerranéennes traditionnelles (A) et contemporaine (B)..... | 107 |
| Fig.51 | Schémas représentant différentes compositions d'ouvertures vues en coupe..... | 108 |
| Fig.52 | Différent types d'isolation thermique..... | 108 |
| Fig.53 | Schéma montrant différentes orientations pour un bâtiment résidentiel..... | 111 |
| Fig.54 | Effet du porte-à-faux sur le rayonnement incident à travers une fenêtre.... | 112 |
| Fig.55 | Les effets des systèmes d'ombrage sur les fenêtres orientées sud avec porte-à-faux..... | 112 |
| Fig.56 | Schémas du système HVAC..... | 113 |
| Fig.57 | (a) Température de surface interne du mur ; (b) Cellule d'essai avec mur vert..... | 114 |
| Fig.58 | Classification des systèmes de refroidissement passifs..... | 114 |
| Fig.59 | (a) La maison traditionnelle avec une ouverture horizontale dans le plafond (b) Température pour différentes tailles d'ouverture horizontale du 14 au 17 juillet..... | 115 |
| Fig.60 | Principe du stockage thermique passif dans le sol avec un puits canadien assurant l'échange de chaleur entre l'air entrant et le sol..... | 116 |
| Fig.61 | Vue sur les tours à vent unilatérales dans la ville de Meybod, province de Yazd, Iran..... | 116 |
| Fig.62 | (a) Configuration de la tour éolienne (b) Températures et humidité mesurées et calculées par heure..... | 117 |
| Fig.63 | Vue réelle du sous-sol le Salon. b) Comparaison entre la température horaire de la pièce souterraine et de la pièce hors-sol..... | 118 |
| Fig.64 | Trombe wall application in winter and summer time..... | 119 |
| Fig.65 | a) Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire. b) le prototype de la cheminée solaire..... | 120 |
| Fig.66 | Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif..... | 120 |
| Fig.67 | Les instruments de mesures utilisés pendant les enquêtes..... | 128 |
| Fig.68 | Carte de situation montre les limites administratives de la wilaya de Ouargla..... | 134 |
| Fig.69 | Vue sur tramway et cité Ennaser Ouargla..... | 135 |
| Fig.70 | Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2009-2019)..... | 136 |
| Fig.71 | La Température mensuelle moyenne de la région de Ouargla, pour la période de (2009-2019)..... | 137 |
| Fig.72 | La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla, pour la période de (2009-2019)..... | 137 |
| Fig.73 | L'humidité mensuelle moyenne de la région de Ouargla, pour la période de (2009-2019)..... | 138 |
| Fig.74 | Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla, pour la période de (2009- | 138 |

| | | |
|---------|---|-----|
| | 2019)..... | |
| Fig.75 | Calculateur de température heure par heure d'Ouargla..... | 139 |
| Fig.76 | Détermination de la zone de surchauffe de Ouargla..... | 140 |
| Fig.77 | Le diagramme solaire montre la trajectoire du soleil, et la zone de surchauffe pour la région la plus chaude de Ouargla- latitude nord 32..... | 140 |
| Fig.78 | Analyse des stratégies de conception bioclimatique par cartes psychrométriques pour l'amélioration du confort thermique..... | 141 |
| Fig.79 | Les composantes de tissu urbain de la ville de Ouargla..... | 144 |
| Fig.80 | Plan de palais de Ouargla montrant les trois quartiers de chaque communauté..... | 145 |
| Fig.81 | a) Bab Bahmid en 1854. b) Vue ancien d'une rue en impasse à Ouargla Algérie..... | 146 |
| Fig.82 | Une rue couverte à Ksar de Ouargla au quartier Bani Ibrahim..... | 146 |
| Fig.83 | Organigramme illustrant l'organisation spatiale de la maison traditionnelle du ksar..... | 147 |
| Fig.84 | Schéma de la « TADDART» maison Ouarglie avec légendes en mots berbères..... | 148 |
| Fig.85 | Des croquis des techniques de construction (a) fondation, (b) mur porteur, (c) plancher, de la maison traditionnelle du ksar et des matériaux qui la composent..... | 149 |
| Fig.86 | Des éléments architecturaux de la maison Ouargla..... | 149 |
| Fig.87 | Vue sur l'éclairage zénithal donnant sur Wast-Eddar.de la maison traditionnelle du vieux KSAR..... | 150 |
| Fig.88 | Esquisse schématique illustrant le comportement des matériaux de construction qui composent le plancher et le mur de la maison traditionnelle du Ksar durant le jour et la nuit..... | 150 |
| Fig.89 | L'état de dégradation ou démolition des habitations et les rues couverts... | 151 |
| Fig.90 | Transformations de l'image du ksar par les habitants En construisant des habitations avec de nouveaux matériaux de construction et d'une manière aléatoire..... | 152 |
| Fig.91 | Rénovation d'une partie de la façade urbaine..... | 153 |
| Fig.92 | a) Des habitations collectif R+2 avec des galeries de commerces au RDC. b) Entrée de ksar à partir de Beb Azzi décorés avec des arcades et des coupoles..... | 153 |
| Fig.93 | Formation de maçons sur la construction avec les techniques traditionnelles..... | 154 |
| Fig.94 | Maisons restaurées dans le ksar de Ouargla, à gauche la photo présente le renforcement de maison par les poteaux, à droite les photos présentent la restauration des façades avec l'utilisation des portes traditionnelles avec les arcs..... | 154 |
| Fig.95 | Cité administrative période coloniale..... | 155 |
| Fig.96 | a) Portes du Colonel Carbillet en 1961. b) Marché (Souk)..... | 155 |
| Fig.97 | Cité selis entre le passe et l'avenir..... | 156 |
| Fig.98 | Photos avant et après l'utilisation des panneaux sandwichs pour le respect de l'aspect architectural de climat et de conception dans les logements cité silis..... | 156 |
| Fig.99 | Des vues sur des maisons individuelles aux quartiers nomades de Beni Thour et sidi Boughoufala..... | 157 |
| Fig.100 | Exemple d'un tissu non planifié, ici quartiers nomades de Beni Thour et sidi Boughoufala..... | 157 |

| | | |
|---------|---|-----|
| Fig.101 | Exemple d'un tissu en lotissements des habitations individuelles, ici à droite, le quartier AADAL 2 et cite 294 LLP. À gauche cité Ennasr..... | 158 |
| Fig.102 | Lotissements planifiés à Ouargla. Source cahier de charge pour projet de lotissement de 1000 lot pour des logements individuelles..... | 159 |
| Fig.103 | Nouvelles extensions de la ville de Ouargla. Un logement LPA cite Bamendil Ouargla. Société de promotion immobilière SOTRAV : changements des plans et façade..... | 160 |
| Fig.104 | Nouvelles extensions de la ville de Ouargla. Logements AADAL à Ouargla..... | 161 |
| Fig.105 | Les matériaux de construction moderne utilisée, Brique creuse, parpaing, polystyrène..... | 161 |
| Fig.106 | Structure et techniques de construction moderne utilisé, fondation, mur, plancher..... | 162 |
| Fig.107 | Evolution de la population entre 1977 à 2019 pour la ville de Ouargla..... | 163 |
| Fig.108 | La réparation de la population par commune (2018)..... | 163 |
| Fig.109 | Dépendance population/énergie – Avant le pic de production d'énergie.... | 164 |
| Fig.110 | Les types des habitations existants à la ville de Ouargla..... | 167 |
| Fig.111 | Carte des bassins sédimentaires de la Plate-forme saharienne..... | 168 |
| Fig.112 | Potentialité du sous-sol saharien..... | 169 |
| Fig.113 | a) Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). b) Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne..... | 170 |
| Fig.114 | Consommation moyenne de gaz (kWh) de la ville d'Ouargla par période de 2 mois (2018)..... | 172 |
| Fig.115 | Consommation moyenne d'électricité (kWh) de la ville d'Ouargla par période de 2 mois (2018)..... | 172 |
| Fig.116 | Localisation les modèles d'étude..... | 180 |
| Fig.117 | Présentation de la situation, avec vue extérieure et intérieure de la maison moderne et les emplacements des points de mesure (points rouges)..... | 180 |
| Fig.118 | Les espaces de la maison modern (modèle de base) étudié..... | 181 |
| Fig.119 | Présentation de la situation, avec vue extérieure et intérieure de la maison traditionnelle et les emplacements des points de mesure..... | 182 |
| Fig.120 | Les espaces de la maison traditionnelle étudiée..... | 183 |
| Fig.121 | Schéma de la méthodologie proposée..... | 186 |
| Fig.122 | Matériel utilisé dans les campagnes de mesures Testo 480..... | 188 |
| Fig.123 | Répartition des votes de sensation thermique..... | 193 |
| Fig.124 | Répartition des votes de préférence thermique et d'acceptabilité thermique..... | 195 |
| Fig.125 | Cadre conceptuel de l'étude..... | 201 |
| Fig.126 | La création de la géométrie des modèles à travers l'exploitation du logiciel « Sketch-up »..... | 204 |
| Fig.127 | Équipement utilisé dans les campagnes de mesure (Testo 480)..... | 204 |
| Fig.128 | Horaire d'occupation du salon..... | 208 |
| Fig.129 | Comparaison des températures simulées et mesurées (à l'extérieur et à l'intérieur) pendant l'hiver le 01/03/2019 (en haut) et l'été le 30/07/2019 (en baisse) du scénario de référence..... | 209 |
| Fig.130 | Graphique de validation et d'étalonnage du modèle numérique pendant l'hiver du 03/01/2019 (à gauche) et l'été du 30/07/2019 (à droite) du scénario de référence..... | 210 |
| Fig.131 | Évolution de la température de l'air selon les différentes stratégies du 3 janvier 2019..... | 215 |

| | | |
|---------|---|-----|
| Fig.132 | Evolution de la température de l'air selon les différentes stratégies au 30 juillet..... | 215 |
| Fig.133 | Nombre d'heures dans la zone de confort selon les indices PMV..... | 218 |
| Fig.134 | Demande annuelle d'énergie de chauffage et de refroidissement du scénario de référence..... | 219 |
| Fig.135 | Comparaison de la consommation énergétique globale de toutes les stratégies étudiées avec le cas de base..... | 219 |
| Fig.136 | Comparaison de la consommation globale d'énergie de tous les scénarios étudiés avec la maison traditionnelle..... | 224 |

Liste des tableaux

| Tableau | Titre | Page |
|---------|---|------|
| Tab.01 | Valeur de l'isolation vestimentaire et du facteur caractérisant l'habillement pour différentes tenues..... | 37 |
| Tab.02 | Taux métabolique par activité..... | 38 |
| Tab.03 | Les échelles de sensation thermique..... | 42 |
| Tab.04 | La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique..... | 44 |
| Tab.05 | Les principales de refroidissement statique dans les éléments de l'architecture iranienne..... | 53 |
| Tab.06 | Type de climat..... | 60 |
| Tab.07 | Régime pluviométrique..... | 61 |
| Tab.08 | Variations de température..... | 62 |
| Tab.09 | Consommation des énergies primaires en 2019..... | 76 |
| Tab.10 | Consommation mondiale d'énergie primaire par habitant en 2019... | 78 |
| Tab.11 | L'évolution de la production, la consommation, l'exportation de l'énergie et les Émissions de CO2 pour la période allant de 1990 à 2019..... | 79 |
| Tab.12 | Récapitulatif des centres des énergies renouvelables en Algérie..... | |
| Tab.13 | Études antérieures sur les méthodes d'évaluation des stratégies passives dans l'habitation individuelle de 2002 à 2023..... | 121 |
| Tab.14 | Précipitations et Moyennes 1981-2010..... | 135 |
| Tab.15 | Evolution taux de croissance de population pour la commune de Ouargla..... | 164 |
| Tab.16 | Evolution du logement de wilaya Ouargla (1987-2019)..... | 165 |
| Tab.17 | Estimation du parc logement et taux d'occupation du logement selon la commune de Ouargla (2018)..... | 165 |
| Tab.18 | Total longueur des réseaux d'électricité au niveau de la ville d'Ouargla (2018-2019)..... | 171 |
| Tab.19 | Total longueur des réseaux du gaz au niveau de la ville d'Ouargla (2018-2019)..... | 171 |
| Tab.20 | Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'Ouargla..... | 173 |
| Tab.21 | Total des ventes d'électricité au niveau de la ville d'Ouargla pour (2018-2019)..... | 173 |
| Tab.22 | Total des ventes du gaz au niveau de la ville d'Ouargla pour (2018-2019)..... | 174 |
| Tab.23 | Total des taux de raccordements d'électricité et de gaz et de l'énergie solaire au niveau de la ville d'Ouargla pour l'année 2019..... | 174 |
| Tab.24 | Comparaison des éléments qui contribuent positivement aux différentes stratégies de conception passive pour les bâtiments résidentiels dans les | 184 |

| | | |
|--------|---|-----|
| | deux typologies..... | |
| Tab.25 | Instrument utilisé pour la mesure des données..... | 188 |
| Tab.26 | Éléments du questionnaire sur les occupants et leur confort thermique..... | 190 |
| Tab.27 | Questionnaire des occupants et les indicateurs de confort..... | 190 |
| Tab.28 | Les mesures environnementales extérieures et intérieures enregistrées dans les deux typologies des maisons d'Ouargla, Algérie..... | 191 |
| Tab.29 | Des vues planimétriques, des plans et des photos avec les points de mesure (points rouges) des deux bâtiments ont été utilisés comme études de cas..... | 202 |
| Tab.30 | Caractéristiques thermiques des murs extérieurs des maisons modernes et traditionnelles..... | 203 |
| Tab.31 | Caractéristiques principales de la maison moderne étudiée (cas de base) et de maison traditionnelle..... | 205 |
| Tab.32 | Caractéristiques thermiques des matériaux des modèles simulés de maison moderne..... | 206 |
| Tab.33 | Les caractéristiques thermiques des matériaux des modèles simulés de maison traditionnelle..... | 206 |
| Tab.34 | Les coefficients de corrélation..... | 209 |
| Tab.35 | Résumé des six stratégies de conception solaire passive sélectionnées et simulées et des scénarios connexes..... | 212 |
| Tab.36 | Données de la température moyenne maximale et minimale de l'air au 03/01/2019 et au 30/07/2019..... | 217 |
| Tab.37 | Comparaison du scénario de référence et d'autres scénarios de consommation d'énergie..... | 220 |

Productions scientifiques

Publications

- **Khechiba, A.; Djaghroui, D.; Benabbass, M.** Individual Housing Thermal Comfort Evaluation in Hot and Arid Climate Area: A Comparative Study between Modern and Traditional Houses in Ouargla City. *Int. J. Innov. Stud. Sociol. Humanit.* 2022, 7, 75–85.
- **Khechiba, A.; Djaghroui, D.; Benabbas, M.; Leccese, F.; Rocca, M.; Salvadori, G.** Balancing Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Buildings of Desert Areas: Impact of Passive Strategies. *Sustainability* 2023, 15, 8383. <https://doi.org/10.3390/su15108383>

Communications nationales ou internationales (orales)

- La première conférence nationale sur la protection de l'environnement et les énergies renouvelables (CNPÉR1-18) le 10-05-2018 à l'Université de Batna 02. Titre : L'architecture solaire comme contribution au développement durable en Algérie.
- Workshop national bioclimatique architecture and passive stratégies "BAPS 2022" sur l'environnement bâti face aux changements climatiques le 08-05-2022 à l'Université de Constantine. Titre : évaluation du confort thermique dans le logement individuel à la ville de Ouargla : étude expérimentale comparative entre maison traditionnelle et moderne.
- L'événement est organisé par l'Université d'architecture et d'urbanisme Ion Mincu, de Bucarest, et le Centre d'études de l'architecture vernaculaire, de DealuFrumos, dans le cadre du projet "Développer la capacité institutionnelle de l'UAUIM pour la recherche en architecture et en urbanisme, en favorisant la culture de la diffusion des résultats ». Le 04-06-2022 Bucarest, Roumanie. Titre : Evaluation du confort thermique dans un logement individuel dans la ville de Ouargla : étude expérimentale comparative entre maison traditionnelle et moderne.

Posters

- Atelier international "Villes et zones humides durables" à l'Université Mohamed Khider de Biskra, du 11 au 13 février 2018.
Intitulé : Pour une optimisation de l'énergie douce dans l'habitation : l'utilisation de l'énergie solaire dans une habitation individuelle à Biskra, à titre d'étude de cas.
- Le 1er colloque Doctoral (METPD'18) sur la méthodologie d'élaboration d'une thèse et d'une publication en doctorat ; à l'Université Hamma Lakhdar, El-Oued, le 07 mars 2018.
Intitulé : Pour une meilleure intégration de l'énergie solaire dans l'habitation individuelle dans l'Affaire de la ville de Biskra.
- Participation à la journée internationale (light on light) tenue à Biskra le 6 mai 2018.

- Participation au Séminaire National "Villes Durables et Projets Urbains Partagés" (VDPUP 2018). En présentant un poster intitulée smart city as a vector for sustainable development in cities.
- Certificat de participation à un atelier sur Comment publier dans des revues à fort impact, El Oued, 08 novembre 2018.
- Participation au symposium international sur la technologie et le développement de l'industrie durable (ISTSID'19) ; à l'Université Hamma Lakhdar, El-Oued, les 24-25-26 février 2019. Intitulé : L'habitat durable un pas vers la performance énergétique et la protection de l'environnement en Algérie.
- Participation au congrès international sur les trésors humains vivants et la gestion durable de l'environnement et des ressources culturelles touristiques : approches d'intelligence territoriale pour le développement des oasis et des zones de montagne et des zones rurales au Maghreb, en Afrique et en Euro-Méditerranéen. A Ouarzazate Maroc, les 15 et 16 juin 2019.
En présentant, un poster intitulé : caractéristiques et comportement énergétique des habitations individuelles étude de cas de la ville de Ouargla.

Workshops

- Certificat de participation à un atelier intitulé « Comment publier dans des revues à fort impact », El Oued, 08 novembre 2018.
- Certificat d'achèvement de cours électronique en ligne sur les concepts et les techniques de restauration de bâtiments historiques sous la supervision de l'expert prof. Dr Ahmed Hussein Abo Alhajaa qui a été présenté dans le cadre de l'initiative Restez à la maison et développez-vous du 05/05/2020 au 07/05/2020.

Introduction générale et problématique

« Aujourd'hui si l'Afrique entière ne contribue qu'à hauteur de 4% des émissions mondiales de G.E.S, cette contribution pourrait fortement augmenter à l'avenir. Les causes de cette augmentation sont la croissance démographique, l'urbanisation massive, l'augmentation du P.I.B. par habitant et l'exode rural qui conduisent davantage d'habitants à recourir à des énergies commerciales d'origine fossile. Il est donc essentiel de maîtriser à la fois la hausse des émissions de G.E.S. et la facture énergétique des ménages, des entreprises et du pays par une meilleure maîtrise de la consommation énergétique d'origine fossile. »

(Joffroyet *al.*, 2017)

1-Introduction

Le climat est un facteur très important puisqu'il affecte la santé, l'énergie, l'agriculture, la biodiversité et les facteurs socioéconomiques (Maharet *al.*,2019). Pour ces raisons, aujourd'hui, le changement climatique constitue un défi d'une grande complexité. D'après les recherches d'Elbi *et al.* (2021), l'impact du réchauffement climatique entraînerait une intensification des événements extrêmes et des conditions de stress thermique en raison de l'augmentation de la température de l'air. Cela peut entraîner des conditions de plus en plus chaudes parallèlement à une expansion rapide des zones urbaines, ce qui compliquera les facteurs environnementaux, socio-économiques et autres. Le secteur de l'énergie est au cœur du défi de la lutte contre le changement climatique. Cruciales pour le développement économique et social, les ressources énergétiques sont également responsables de la plupart des émissions de gaz à effet de serre, telles que celles produites par la production d'énergie, les transports et la construction. Pour limiter ces émissions, une transition vers des options énergétiques plus propres et plus vertes est nécessaire, ce qui nécessitera une transformation significative et progressive¹.

En Algérie, Les niveaux socio-économiques pourraient potentiellement être affectés par la perte des écosystèmes marins et des secteurs sensibles à la biodiversité, ainsi que par les sécheresses, les incendies de forêt, la dégradation des terres et la désertification, qui sont autant d'effets environnementaux négatifs associés au changement climatique(Mohammed *et al.*,2018). De plus, un autre aspect très pertinent dans ce domaine est représenté par l'évolution de la population, qui montre une augmentation remarquable de 30, 879,000 personnes en 2001 à 43, 900,000 personnes en 2020¹.

Dans cet état critique, les systèmes de logement et de santé sont toujours confrontés à des problèmes majeurs. La mauvaise infrastructure et le flux continu de personnes des zones rurales vers les villes exercent une pression accrue sur les deux systèmes. Selon le Programme des Nations Unies pour le développement, l'Algérie possède l'un des taux d'occupation les plus élevés au monde, et le gouvernement a annoncé une pénurie de logements de 1,5 million d'unités².

¹Office national des statistiques (ONS). Démographie algérienne 2019. Donnée statistique N°890, Algérie, <https://www.ons.dz/IMG/pdf/demographie2019.pdf>

²United Nations Développement Programme (UNDP), <https://www.undp.org/tag/algeria>

La répartition de la consommation d'énergie par industrie montre que le taux de consommation d'un bâtiment est très élevé. En général, ce taux varie de 30 à 40%. Et selon le rapport énergétique 2017 publié par le ministère algérien de l'énergie en 2018, le secteur des ménages résidentiels a représenté 44,4% contre 33,3% pour les transports et 22,3% pour l'Industrie et la construction. L'évolution finale de la consommation énergétique en 2017 montre que la consommation résidentielle a augmenté de 1% par rapport à 2016.. Malheureusement, cette augmentation de la consommation d'énergie, notamment d'électricité, fragilise la sécurité..l'énergie et la sécurité sociale du pays(Abderrahmane, 2016). L'Algérie est encore fortement tributaire du gaz naturel pour la production d'électricité et la contribution des énergies renouvelables est actuellement modeste par rapport aux immenses ressources naturelles dont elle dispose. Qui reflète la faible efficacité des politiques énergétiques en Algérie, mais en même temps représente un grand potentiel (Moomin *et al.* ,2021).

Le sud de l'Algérie représente la région la plus touchée par un climat extrême et la croissance démographique, ainsi que le développement des villes, qui a conduit à un tissu urbain sans identité. La wilaya d'Ouargla est considérée comme l'une des villes les plus importantes du sud de l'Algérie en raison de sa situation stratégique et économique. Le climat de la ville d'Ouargla est saharien, avec des hivers extrêmement froids et des étés secs et chauds. Cette région a souvent le plus grand potentiel technologique annuel total de l'énergie solaire, Ouargla est riche en ressources naturelles, y compris les hydrocarbures, représentés dans le bassin, Bar Kawi, 30 km à l'ouest de la ville, et "Ain Moussa, 15" km au nord, puis Hassi Messaoud, 80 km au sud-est 27³.

L'accroissement de la population en Algérie et dans la ville d'Ouargla provoque des défis socio-économiques aussi la nécessité d'accélérer le processus de construction et de réduire les coûts, le projet de logement social a été pensé dans un modèle standardisé à travers le pays, sans tenir compte des particularités régionales des conditions climatiques ou des matériaux de construction. Les résultats ont conduit à des bâtiments de mauvaise qualité qui ne répondent pas aux besoins des utilisateurs à bien des égards, y compris la performance énergétique et le confort thermique⁴.

Le vieux Ksar, ou premier noyau, de la ville d'Ouargla occupe une superficie de 30 hectares et contient plus de 2300 bâtiments classés au patrimoine national comme secteurs

³PDAU, rapport Ouargla, Rouissat, 2020.

⁴ANAT Agence National de Développement Territorial

protégés, et les habitants occupent ces maisons traditionnelles jusqu'à ce jour⁵. Dans les techniques anciennes et vernaculaires de construction de logements à Ouargla, la plupart des maisons ont été construites avec des matériaux lourds et massifs. Les murs, qui soutenaient également la structure. Ces murs épais procuraient plus de confort par la masse de surface et le gain de chaleur solaire (Reilly *et al.*, 2013).

La recherche réalisée en (Sebti *et al.*, 2013 ; Hebbalet *et al.*, 2019) explore l'adaptation du Ksar d'Ouargla au climat local. En outre, il a été constaté que les maisons traditionnelles et l'architecture vernaculaire peuvent fournir un meilleur confort thermique intérieur par rapport aux bâtiments modernes, selon (Abdou *et al.*, 2004 ; Khechiba *et al.*, 2022 ; Khoukhi *et al.*, 2012 ; Chelghoumet *et al.*, 2011 ; Benslimane *et al.*, 2020).

À Ouargla, on a découvert de nouvelles maisons qui ne sont pas adaptées au climat désertique, par conséquent, certains chercheurs tels que (Khechiba *et al.*, 2022 ; Hebbalet *et al.*, 2021 ; Bouchhamet *et al.*, 2007 ; Belhayaet *et al.*, 2017 ; Saifiet *et al.*, 2015) recommandent l'utilisation de certaines stratégies passives comme la tour éolienne, le potentiel géothermique de la cheminée souterraine solaire pour améliorer le confort thermique et la consommation d'énergie.

Cependant, (Latreche *et al.*, 2017 ; Berkouket *et al.*, 2017 ; Rais *et al.*, 2019 ; Ouldhenia, 2003) ont fait des études sur l'impact des dispositifs et des matériaux d'ombrage horizontaux, le confort thermique et l'efficacité énergétique au niveau de deux villes sahariennes ; Biskra et Bou-saada.

Dans d'autres pays, diverses études sur ce sujet ont montré que le confort thermique peut être amélioré par l'utilisation de la conception passive des bâtiments (Maharet *et al.*, 2019 ; Rivera *et al.*, 2019 ; Wang *et al.*, 2017 ; Farjami *et al.*, 2017 ; Harkouset *et al.*, 2018 ; Batier, 2016). Ces chercheurs étudient l'effet de divers paramètres et leur contribution à la consommation d'énergie de l'enveloppe.

Dans les recherches effectuées par (Depecker *et al.*, 2001 ; Cody *et al.*, 2018), la relation entre la forme du bâtiment et la consommation d'énergie connexe est étudiée. D'autres chercheurs [36-38] revoient les stratégies plus de commentaires pour l'amélioration de la performance énergétique et le confort thermique dans les bâtiments, tandis que (Elhadad *et al.*, 2020 ; Elbatayneh, 2021) ont proposé des nouvelles stratégies pour l'amélioration de la performance énergétique dans la zone désertique.

⁵PPSMVSS Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé, Ouargla

Bien que des études antérieures sur l'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation d'énergie dans les climats déférents et dans les types de bâtiments déférents aient été publiées, il n'y a pas suffisamment de recherches sur l'impact des stratégies passives, en équilibrant le confort thermique et la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels dans les zones désertiques.

L'objectif principal de cette recherche est d'étudier comment l'introduction de stratégies passives peut améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie dans la conception des logements dans la ville d'Ouargla. Les résultats obtenus peuvent être utiles à la fois pour soutenir la conception de nouveaux bâtiments et guider la rénovation des bâtiments existants.

2-Motifs du choix du thème

Le choix de notre thème de recherche s'intègre dans le cadre le plus général d'améliorer la performance des typologies de maison les plus reconnues dans la ville d'Ouargla en termes de confort thermique et de consommation d'énergie en utilisant des stratégies passives.

L'importance de cette étude et sa justification tiennent aux points suivants :

- La ville d'Ouargla manque d'études qui contribuent à la définition des concepts de construction passive, de systèmes de construction économes en énergie et les risques de changement climatique, qui sont devenus nécessaires, en raison de l'augmentation du réchauffement climatique.
- L'absence des guides à utiliser dans les phases de conception de nouveaux bâtiments et dans les interventions de rénovation sur les bâtiments existants pour la conception passive dans la ville d'Ouargla. Ce guide peut aider les bureaux d'études et les concepteurs à prendre des décisions lors de la phase de conception et de sélection des systèmes et matériaux de construction, qui semblent en apparence faciles et routinières, mais en réalité ils sont devenus très importants, car ils affectent directement, sur notre avenir environnemental, sanitaire et économique.
- La plupart des recherches existantes sur l'architecture moderne se concentrent sur la forme du bâtiment et l'utilisation des matériaux de construction, sans accorder suffisamment d'attention au bâtiment et à son adéquation à l'environnement qui l'entoure.
- La possibilité de bénéficier de certaines expériences mondiales et régionales.

- Cette étude permet aux futurs chercheurs d'aller plus loin et d'étudier des solutions et des technologies pour atteindre un confort maximal tout au long de l'année en utilisant des stratégies de conception passives.

3-Elément de la problématique

3-1-Constats et données

L'Algérie a enregistré pendant ces dernières années une augmentation de la consommation de l'énergie, et parmi les causes de cet excès, on trouve en premier lieu, le problème de la détérioration du secteur d'habitat par la grande consommation de l'énergie (chauffage, refroidissement). Cela amène vers une surcharge énergétique et peut manifester comme des coupures du courant électrique récurrentes. Ce type des problèmes sont dus à l'ignorance du secteur d'énergie et du confort lors de la conception d'un bâtiment.

La croissance démographique, avec des chiffres en Algérie et dans la ville d'Ouargla, pose également des défis socio-économiques. Face à la nécessité d'accélérer le processus de construction et de réduire les coûts, les projets de logements sociaux sont conçus selon un modèle standardisé à travers le pays, sans prendre en compte des caractéristiques régionales des conditions climatiques ou des matériaux de construction. Il en résulte des bâtiments de mauvaise qualité qui ne parviennent pas à répondre aux besoins des utilisateurs sur de nombreux aspects, notamment en termes de confort thermique et d'efficacité énergétique.

La majorité des utilisateurs de logement ont un faible pouvoir d'achat et, souvent, ils n'ont pas les moyens financiers de faire face aux dépenses des systèmes actifs pour pallier l'inconfort thermique.

Il a été constaté qu'il existe un rapport direct entre le confort thermique et la consommation énergétique dans les bâtiments (Morishita.,2010). Cette liaison est dû à l'effet du climat et de l'environnement sur les zones d'habitat (Agboola., 2016 ; Abdou., 2004). A cet effet, il faut bien optimiser et améliorer l'exploitation de ces facteurs climatiques afin d'atteindre une meilleure issue en termes de conservation d'énergie.

L'optimisation de soleil sur les constructions fait sujet de plusieurs recherches et revue qui montrent l'efficacité d'usage des stratégies passives et de l'énergie solaire pour l'amélioration de confort en hiver comme en été(Rivera *et al*, 2019; Stevanovi, 2013). Elle

peut être également considéré comme une source fiable et durable d'énergie (Abdalkhalaq *et al.*, 2019).

Cependant, cela contraste avec l'architecture vernaculaire. Selon des observations empiriques, l'architecture vernaculaire est la source de connaissances essentielles pour les principes de conception architecturale durable (Pulhan.,2006). Comprendre l'architecture vernaculaire ne devrait pas être prise comme une étude des anciennes traditions, mais comme une contribution à des nouvelles méthodes, solutions et réalisations pour l'environnement bâti futur (Jayasudha *et al.*,2017 ; Benslimane *et al.*.,2020).

3-2-Questions et hypothèses

Compte tenu de toutes ces données et des constats précédents, les questions de recherche suivantes se posent :

- **Quels sont les solutions qu'on doit proposer et les paramètres à optimiser dans la conception des maisons modernes afin d'assurer le confort thermique et l'efficacité énergétique dans un climat chaud et aride ?**
- **Quelle est la meilleure stratégie de conception passive à appliquer et dans quelle mesure est-il possible d'utiliser les principes architecturaux traditionnels dans des bâtiments contemporains pour garantir confort et efficacité énergétique tout au long de l'année ?**

Les hypothèses suivantes ont été émises pour tenter de répondre au problème mis en perspective.

- Il semble que l'utilisation des stratégies passive peut maximiser le confort thermique et minimiser la consommation énergétique dans la conception de nouveaux bâtiments et les interventions de rénovation sur les bâtiments existants.
- Les caractéristiques de l'architecture traditionnelle peuvent constituer une référence à des nouvelles méthodes, solutions et réalisations pour l'environnement bâti futur.

3-3-Objectifs

Dans ce sens, les objectifs de cette recherche visent à :

- Améliorer les conditions thermiques intérieures en évaluant différents paramètres microclimatiques tels que (vitesse de l'air, humidité relative, température de l'air), dans les saisons chaudes et froides séparément.

- Améliorer les performances des typologies de maisons les plus reconnues de la ville d'Ouargla en termes de confort thermique et de consommation d'énergie en utilisant des stratégies passives.
- Evaluer l'applicabilité des principes de l'architecture vernaculaire dans les bâtiments contemporains comme technique de construction.
- Elaborer un guide utile à la fois pour les interventions de rénovation sur les bâtiments existants et la conception de nouveaux bâtiments au niveau de la ville d'Ouargla.

3-4-L'analyse conceptuelle

Dans le but de répondre à nos objectifs, l'analyse conceptuelle a été utilisée en raison de son processus systématique qui permet d'explorer et de valider les composantes d'un concept, de le clarifier et de le définir (Walker et Avant, 2005). La méthode conceptuelle élaborée par Walker et Avant, issue des travaux de John Wilson (1963), a été utilisée ces dernières années afin d'explorer la signification de nombreux concepts.

Par ailleurs, les variables indépendantes et dépendantes ont été dégagées afin de confirmer les hypothèses annoncées auparavant (fig. 01).

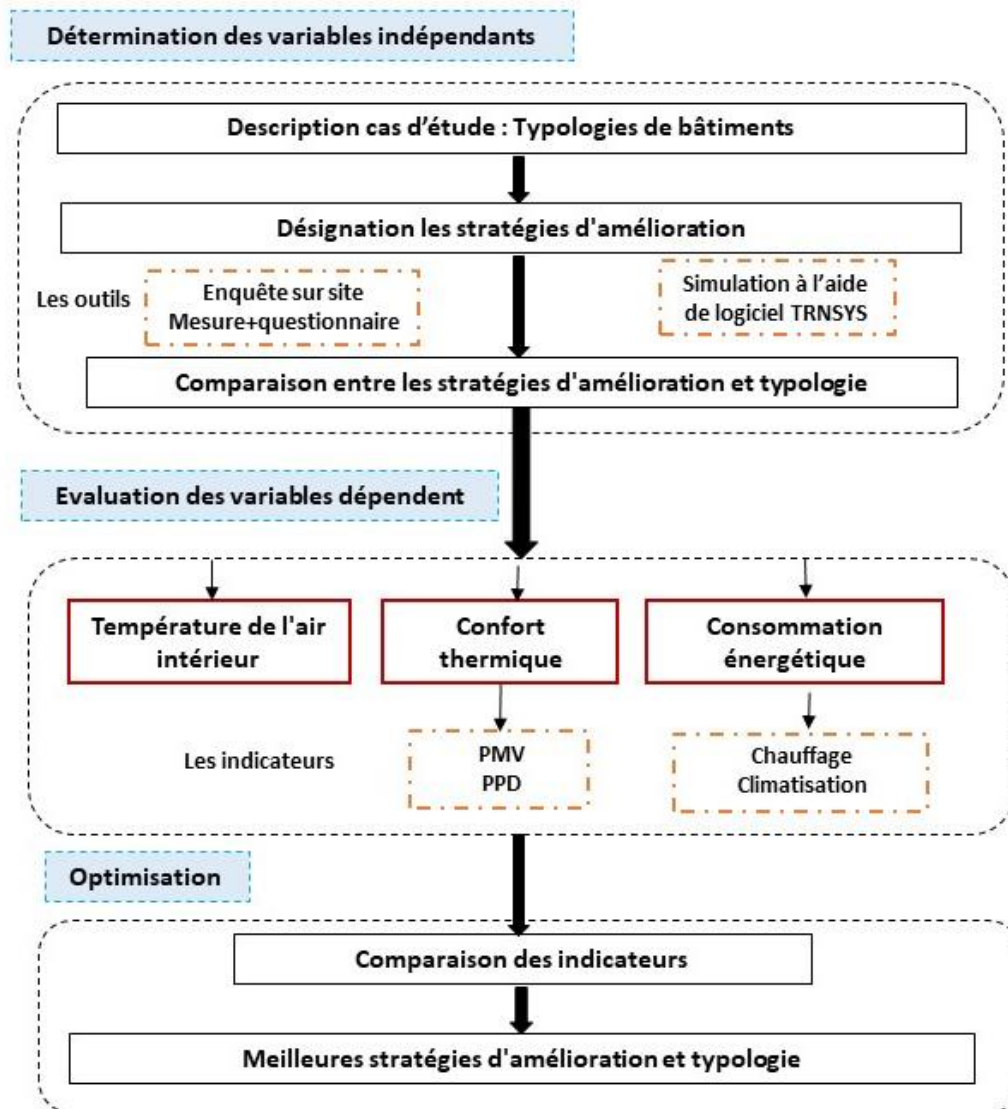


Fig.01 : Schéma synthétique de l'analyse conceptuelle. Source : auteure, 2019.

4-Méthodologie d'approche et organisation de la thèse

4-1-Méthode du travail

Pour atteindre notre objectifs une étude expérimentale a été effectuée, afin de désigner l'effet des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique et les typologies choisis, une étude paramétrique a été réalisée afin d'optimiser et choisir les meilleures stratégies et typologies.

Pour l'étude expérimentale, une investigation s'est basée sur deux approches : l'une objective et l'autre subjective. La première se traduit par une campagne de mesures in situ à l'aide de l'instrument des paramètres physiques, dans les typologies les plus répandues des maisons à

Ouargla. D'autre part, nous avons poussé cette recherche par une approche qualitative en utilisant un questionnaire afin d'évaluer l'ambiance thermique ressentie par les occupants.

Ensuite l'approche paramétrique a été utilisée afin d'étudier l'impact de la stratégie passive sur le confort thermique et la consommation d'énergie dans les maisons sélectionnées. La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel Trnsys 17 et peuvent être divisées en trois étapes : (1) étape de modélisation ; (2) étape de simulation ; (3) étape d'évaluation.

Pour tenter de résoudre le problème énoncé, vérifier les hypothèses et atteindre les objectifs de recherche, la structure suivante a été adoptée dans ce travail.

5-2-Structure de la thèse

La thèse est structurée comme suit :

La première partie : Théorique portant sur la précision des notions et concepts clés, de la thèse, afin d'identifier les différents mécanismes mis en jeu, ainsi que les différentes approches concernant le confort thermique et l'efficacité énergétique dans les bâtiments, en générale, et dans les bâtiments résidentiels en particulier.

Le premier chapitre est réservé au confort thermique et les différents modes de transfert de chaleur et puis l'analyse des connaissances existantes sur le confort thermique intérieur en utilisant différentes approches dans ce domaine. L'objectif est de mieux comprendre cette idée cruciale avec l'ensemble de ses différents paramètres et mécanismes. la deuxième partie examiner et évaluer l'architecture vernaculaire afin de déterminer son importance et sa capacité à résoudre les problèmes actuels et les types d'habitations en Algérie. Des exemples analytiques ont été cités afin d'arriver à l'adaptation de tissu urbain traditionnel, puis on a effectué une recherche empirique de cinq zones climatiques mondiale et en focalisant sur le climat chaud et sec.

Le second chapitre est dédié à l'efficacité et la consommation énergétiques, ce chapitre traite la maîtrise de l'énergie dans le secteur résidentiel, ainsi que les définitions des différents concepts ayant un rapport avec la politique de performance énergétique, à savoir ; les différents instruments utilisés actuellement ainsi que les barrières ralentissant l'application de ces instruments, des données sur la consommation au niveau international et national, aussi bien qu'un aperçu historique sur l'architecture solaire et les énergies renouvelables en général et l'énergie solaire en particulier.

Le troisième chapitre : présente un recours aux expériences passées et faits sur les principales études visant à évaluer l'effet des stratégies passives, concernant la réduction des besoins énergétiques du bâtiment, et l'amélioration du confort thermique intérieur.

Nous avons donné une revue générale, non exhaustive des études précédentes d'optimisation, basées sur la simulation de stratégies de conception solaire passive, avec un accent particulier sur les résultats de recherche récents, à partir d'une base de données s'étalant sur une vingtaine d'années, (à partir de 2002 jusqu' à 2023).

La deuxième partie : Analytique qui se compose de trois chapitres :

Le quatrième chapitre constitue une étude du terrain, en vue de comprendre mieux les effets du processus historique d'urbanisation de la ville d'Ouargla sur sa configuration urbaine actuelle. Pour cela, nous avons donné un aperçu général de la ville à travers la présentation de ses caractéristiques climatiques, suivi par une analyse bioclimatique, afin de fournir des recommandations architecturales adaptées au climat chaud et aride de la ville.

La deuxième section de ce chapitre présentera d'abord une analyse sur l'évolution historique du tissu urbain de la ville d'Ouargla, avec une présentation des données sur la croissance démographique et physique de la ville, ensuite ses potentialités et sa consommation énergétique.

Le cinquième chapitre porte sur un travail de terrain, pour évaluer l'applicabilité des principes de l'architecture vernaculaire dans les bâtiments contemporains, comme technique de construction applicable. L'étude compare l'architecture vernaculaire Ouarglie à l'architecture contemporaine, afin d'améliorer les conditions thermiques intérieures, tout en évaluant les différents paramètres microclimatiques, tels que ; (vitesse de l'air, humidité relative, température de l'air), dans les saisons chaudes et froides séparément de l'année 2019, ainsi que de ressortir une analyse subjective comparative de l'ambiance thermique entre les occupants de deux typologies de maisons.

Le sixième chapitre concerne une méthodologie de recherche, basée sur des mesures retenues dans le chapitre précédent et des simulations de modèles avec TRNSYS 17, a été adoptée pour identifier les problèmes communs, les plus rencontrés. Le modèle simulé a été validé par corrélation statique, puis une simulation d'une année complète a été réalisée, au cours de laquelle de nombreux aspects de la construction sont étudiés et comparés, tels que l'isolation et la masse du toit et des murs, les dimensions et les types de fenêtres, l'orientation et l'ombrage solaire, etc.....

6-3-Plan du travail

explicité comme suit, dans la présentation ci -dessous : (Fig. 02)

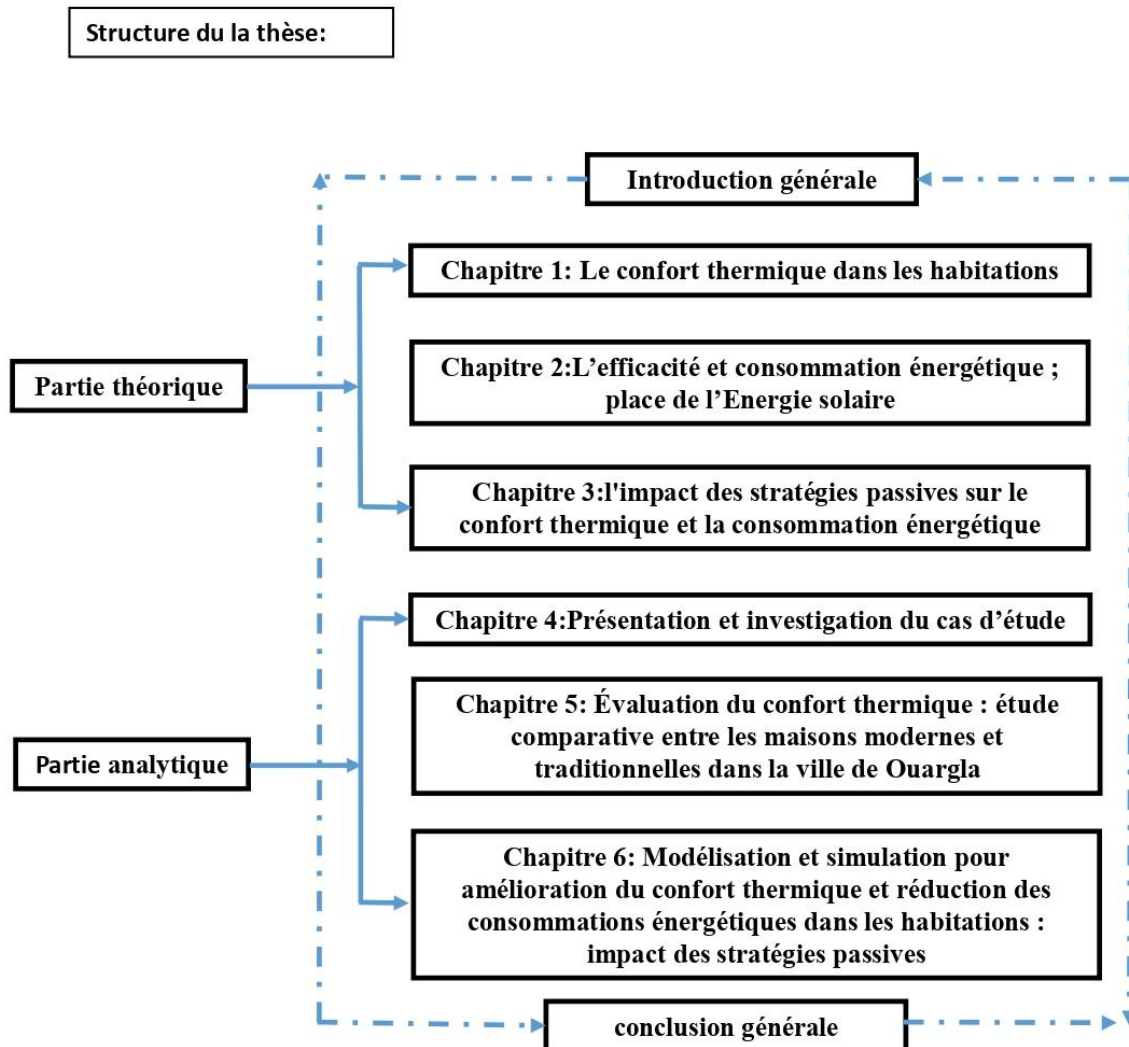


Fig.02 : Schéma représentant le plan du travail. Source : auteure, 2019.

Théorie et cadre des références

Le confort thermique dans les habitations

« Aujourd'hui si l'Afrique entière ne contribue qu'à hauteur de 4% des émissions mondiales de G.E.S, cette contribution pourrait fortement augmenter à l'avenir. Les causes de cette augmentation sont la croissance démographique, l'urbanisation massive, l'augmentation du P.I.B. par habitant et l'exode rural qui conduisent davantage d'habitants à recourir à des énergies commerciales d'origine fossile. Il est donc essentiel de maîtriser à la fois la hausse des émissions de G.E.S. et la facture énergétique des ménages, des entreprises et du pays par une meilleure maîtrise de la consommation énergétique d'origine fossile. »

(Joffroyet al., 2017)

Introduction

Ce chapitre porte brièvement sur quelques rappels vis-à-vis du confort thermique et les différents modes de transfert de chaleur et des informations pertinentes sur le confort thermique intérieur, ainsi que les différentes approches adoptées dans ce domaine. L'objectif est de mieux comprendre cette idée cruciale avec l'ensemble de ses différents paramètres et mécanismes.

La deuxième section examine et évalue l'architecture vernaculaire afin de déterminer son importance comme référence dans la résolution des problèmes actuels vis-à-vis du confort thermique dans les habitations dans le contexte Algérien, surtout dans les zones à climat chaud et sec. Des exemples analytiques ont été soulevés afin d'arriver à une vérité d'usage et d'adaptation des tissus urbains traditionnels qui s'avère plus appropriée, ensuite, une recherche empirique, sur cinq zones climatiques mondiales, a été effectuée en se focalisant sur les régions chaudes et arides.

I.1. Le confort thermique, compréhension du concept

Les premières études sur le terrain datent des années 1930. Le modèle a été établi par Thomas Bedford, qui en 1936 a publié son rapport *Le facteur de chaleur dans le confort au travail*. Elle concernait le confort thermique des personnes travaillant dans l'industrie légère en Angleterre et a été menée pendant la saison de chauffage. Il a sondé 12 usines et mené près de 4 000 entretiens. Bedford a commencé ses entretiens en demandant : « Vous sentez-vous bien au chaud ? » À partir des réponses variées à ses questions de suivi structurées, il a construit une échelle de classement en sept catégories qui est devenue connue sous le nom de « échelle de Bedford » : Beaucoup trop chaud Trop chaud Confortablement chaud Confortable Confortablement frais Trop frais Beaucoup trop frais ».

La définition du confort thermique est la perception satisfaisante d'un individu vis-à-vis de l'environnement thermique. Elle est considérée comme l'une des conditions les plus critiques pour améliorer le confort et la satisfaction des occupants dans l'environnement intérieur. Plusieurs facteurs sont associés à ce concept, notamment :

- Le paramètre physique : L'être humain est vu comme une machine thermique et les interactions avec l'environnement comme des échanges de chaleur.
- Le paramètre psychologique : Il s'agit de l'évaluation des environnements intérieurs et des expériences humaines de confort.
- Tous ces paramètres doivent être inclus dans une définition du confort thermique qui soit satisfaisante, mais de nombreuses définitions élaborées jusqu'à présent ne décrivent adéquatement la question que dans le contexte d'un seul de ces paramètres.
- Aspect physiologique : « Les exigences selon lesquelles les mécanismes d'autorégulation de l'organisme doivent fonctionner à un niveau minimal ».
- Aspect sensoriel : un état mental qui exprime la satisfaction de son environnement.

Le résultat d'un enchevêtrement réussi de nombreux phénomènes issus de diverses disciplines est le confort thermique. En génie climatique, la détermination de l'impact du climat extérieur sur l'ouvrage aidera au dimensionnement des équipements. Les thermologues mènent des études rigoureuses pour déterminer les plages de température et l'indice de confort. Par opposition à la thermophysiology, qui étudie les avantages de l'environnement thermique interne sur le corps humain pour calculer des grandeurs thermophysiques. La notion de confort thermique dans un bâtiment est liée à la fois à la qualité des ambiances intérieures et à

la quantité d'énergie que les équipements doivent fournir. Le confort thermique est une exigence cruciale dans les environnements bâtis, et le concepteur doit fournir les solutions appropriées.

I.2. Les facteurs qui influent sur le confort thermique

I.2.1. Effet des facteurs environnementaux sur le confort thermique

La réponse humaine à l'environnement thermique dépend de nombreux facteurs environnementaux tels que l'air et signifie la température radiante, l'humidité relative, le rayonnement et la vitesse de l'air. La sensation thermique ne dépend cependant pas de la seule température de l'air mais plutôt de l'effet simultané de quatre éléments qui doivent être considérés ensemble afin d'évaluer les réponses thermiques. Pour apprécier les effets de ces facteurs environnementaux, il est nécessaire d'examiner chacun des facteurs séparément.

I.2.1.1. La température de l'air

La température ambiante affecte l'échange de chaleur du corps par convection et rayonnement. Le taux d'échange dépend de la vitesse de l'air et du niveau de vêtement. Le corps, principalement avec une élévation de la température de la peau et du taux de sudation, réagit à l'élévation de la température ambiante. Ce taux d'élévation dépend du taux d'humidité et de la vitesse de l'air. Lorsque le niveau d'humidité est élevé et que la vitesse de l'air est faible, l'humidité de la peau sera ressentie. Mais dans des conditions de faible humidité et de vitesse élevée de l'air, la peau peut rester sèche, même à des températures élevées (Ashrae, 2013).

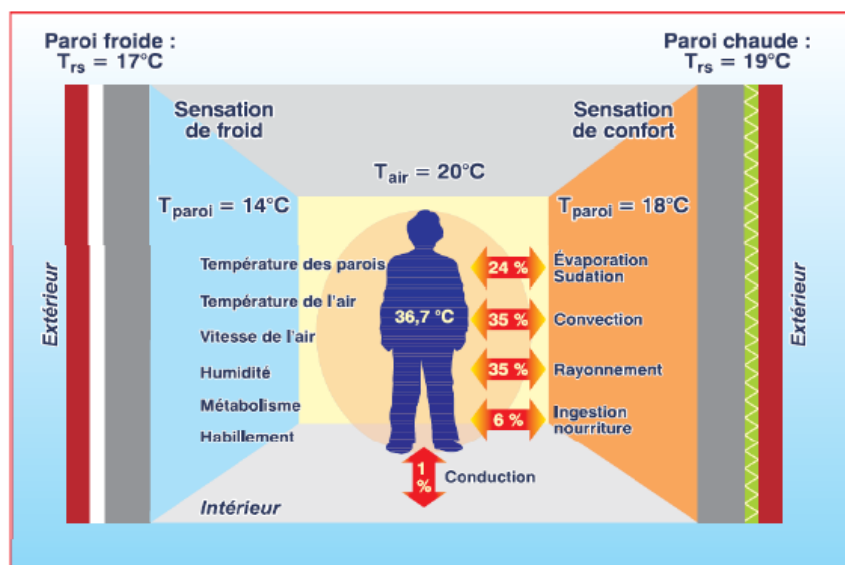


Fig.03 : Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendants. Source : (Lièbard et de Herd,2005)

I.2.1.2. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air n'affecte pas directement la dissipation de la chaleur du corps mais elle détermine la capacité d'évaporation de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la transpiration. La capacité d'évaporation est déterminée par la différence entre la pression de vapeur de la peau et celle de l'air ambiant. La pression de vapeur de la peau dépend de sa température et varie d'environ 37 mmHg, dans des conditions confortables (température de la peau à 33°C) à 42 mmHg dans des conditions de chaleur modérée (peau à 35°C), et 47mm dans des conditions de chaleur intense (peau à 37°C). Dans la plupart des cas, 42 mmHg est une valeur de travail appropriée.

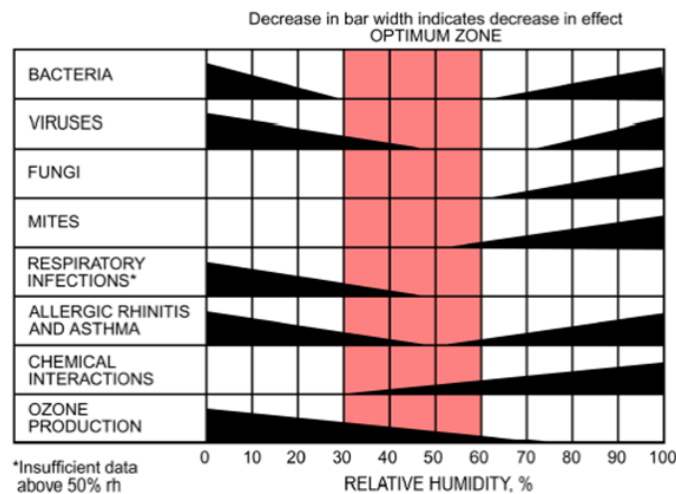


Fig.04 : Plage d'humidité optimale pour le confort et la santé humaine. Source : sterling *et al*, 1985

I.2.1.3. Radiation solaire

Le rayonnement solaire peut affecter considérablement la sensation thermique. Le rayonnement solaire direct tombant sur la surface du corps activera les mêmes organes sensoriels que ceux activés par la chaleur de l'air. L'effet combiné du rayonnement solaire et de l'air chaud augmentera la température de l'air entourant les surfaces corporelles. Si l'augmentation est supérieure à la température de la peau, la dissipation de chaleur sera réduite.

I.2.1.4. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air affecte le corps humain en augmentant ou en diminuant l'échange de chaleur convective du corps, ce qui détermine la capacité d'évaporation de l'air à côté du corps

et par conséquent l'efficacité de refroidissement de la transpiration. L'effet de la vitesse de l'air et de la température de l'air sur l'échange de chaleur par convection est interdépendant, car la convection est fonction de la vitesse et de la différence de température entre la peau et l'air. L'effet de la vitesse de l'air sur la capacité d'évaporation est liée à l'effet de l'humidité, car une augmentation de la vitesse de l'air augmente la capacité d'évaporation et réduit l'effet d'une humidité élevée.

Les vitesses de l'air supérieures à 1 m/s peuvent être gênantes et la température maximale de l'air qui peut être compensée de manière satisfaisante par un mouvement général de l'air est d'environ 28°C. À des températures élevées de l'air, il existe une valeur optimale de la vitesse de l'air à laquelle le mouvement de l'air produit.

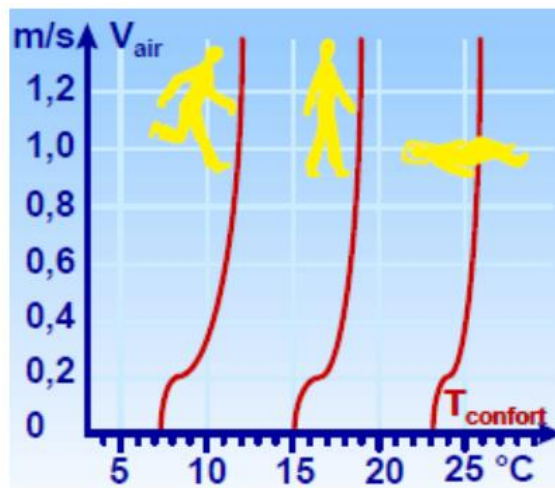


Fig.05 : Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air. Source : (Lièbard et de Herd, 2005).

I.2.2. Effet des facteurs subjectifs sur le confort thermique

Outre les principaux facteurs environnementaux, qui affectent la sensation thermique de confort thermique évoqués précédemment, les préférences thermiques sont également influencées par des facteurs subjectifs et non quantifiables des individus. L'inconfort d'un individu est réduit par l'ajustement d'une ou d'une combinaison des variables suivantes :

I.2.2.1. L'habillement : Le choix des vêtements peut varier selon la discrétion de chacun. Il ou elle peut exercer un degré considérable de contrôle sur la plupart des formes d'échange de chaleur entre la surface du corps et l'environnement. La valeur d'isolation exprimée en « clo » peut varier de 0,1 à 1. Cependant la valeur recommandée par Fanger (Fanger, 1970), adaptée aux climats chauds et humides, peut être comprise entre 0,3 et 0,5 clo.

Tab.01 : Valeur de l'isolation vestimentaire et du facteur caractérisant l'habillement pour différentes tenues. (AFNOR, 2006)

| I_{cl} (clo) | Description des tenues vestimentaires (comprenant les chaussures, les chaussettes ou les bas) |
|-------------------|--|
| 0,30 | Slip, T-shirt, shorts, chaussettes fines, sandales |
| 0,50 | Caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, chaussures |
| 0,70 | Slip, jupon, bas, robe, chaussures |
| 0,70 | Sous-vêtements, chemise, pantalon, chaussettes, chaussures |
| 1,00 | Slip, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures |
| 1,10 | Slip, bas, corsage, jupe longue, veste, chaussures |
| 1,30 | Sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise, pantalon, tricot col en V, veste, chaussettes, chaussures |
| 1,50 | Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, gilet, veste, manteau, chaussettes, chaussures |

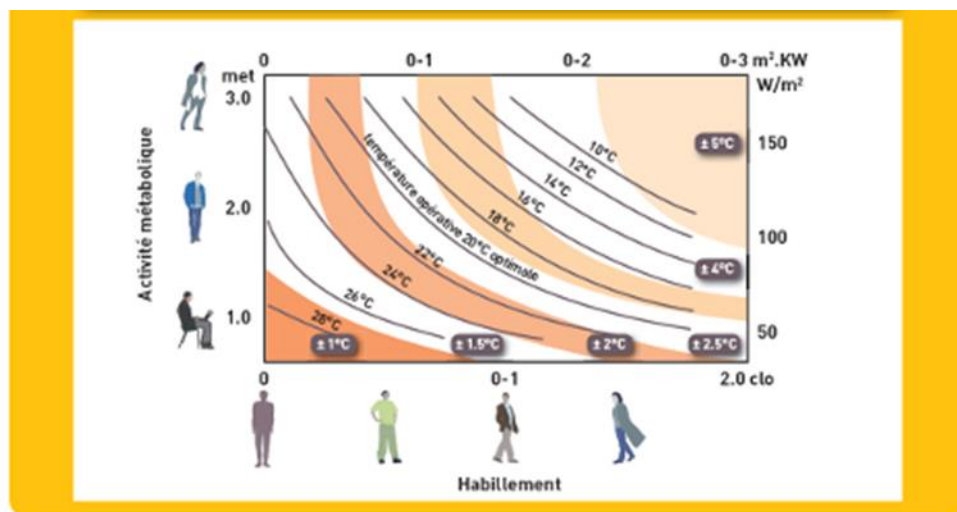


Fig.06 : La température optimale d'une pièce en fonction des activités et de l'habillement des occupants selon la norme EN ISO 7730. Source : la norme EN ISO 7730.

I.2.2.2. Acclimatation (adaptation et acceptation) : L'acclimatation à une condition dans un nouvel emplacement influence à la fois le taux métabolique et la circulation sanguine de l'individu. Le corps humain a normalement besoin de 30 jours pour s'adapter complètement à sa nouvelle condition.

I.2.2.3. Forme du corps : le taux de dissipation de la chaleur corporelle dans l'environnement dépend de la surface par rapport au volume d'un corps. Un grand corps mince a une plus grande surface qu'une petite silhouette arrondie. Une plus grande surface corporelle dissipera la chaleur plus rapidement. Une personne plus lourde aura besoin d'air plus frais pour dissiper la chaleur de manière satisfaisante.

I.2.2.4. État de santé : L'état de santé affecte la production de chaleur métabolique. Lorsqu'une personne est malade, la production de chaleur est augmentée et la plage de

température tolérable est plus étroite. Le corps a besoin de moyens externes pour maintenir l'équilibre, tels que des environnements externes changeants.

Tab.02 : Taux métabolique par activité Tiré de l'ASHRAE 55 (2013, p. 5)

| Activité | Taux métabolique (met) |
|--------------------|------------------------|
| Assis (silencieux) | 1 |
| Lire (assis) | 1 |
| Écrire | 1 |
| Dactylographier | 1,1 |
| Debout (détendu) | 1,2 |
| Marcher | 1,7 |

I.2.2.5. Nourriture et boisson : Certains aliments et boissons affectent le taux métabolique. Les aliments épicés ont tendance à augmenter le taux de transpiration du corps, ce qui peut aider à réduire la température de la peau.

I.2.2.6. Couleur de la peau : Les peaux de couleur claire réfléchissent plus de lumière que les peaux de couleur plus foncée, mais absorbent également les ultraviolets dans une plus grande mesure. La peau foncée a plus de pigment de mélanine qui aide à prévenir la pénétration des ultraviolets, qui provoquent des maladies de la peau et des coups de soleil (Ashrae, 2009).

I.2.2.7. Les échanges de chaleur du corps humain

Le corps humain fonctionne comme un système ouvert qui échange constamment du matériel cutané et respiratoire avec son environnement. Une augmentation de la température interne peut être utilisée pour bénéficier de la génération de chaleur métabolique par le corps, ou elle peut simplement être libérée à l'extérieur.

Ces échanges thermiques se produisent de quatre manières différentes : conduction, convection, rayonnement et évaporation.

La définition du transfert de chaleur est le mouvement de l'énergie d'une zone à une autre lorsqu'il y a une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques. Les trois principales méthodes de transmission de chaleur reconnues par la littérature sur le transfert de chaleur sont la conduction, la convection et le rayonnement.

I.3. Modes de transfert de chaleur

I.3.1. Les échanges de chaleur par conduction (K en W/m^2)

Le terme « conduction » fait référence au transfert de chaleur direct entre des parties spécifiques du corps et une surface (telle que le sol, une paire de portes ou un meuble) qui a une température différente. C'est le transfert de chaleur dans un environnement opaque provoqué par une différence de température sans aucun mouvement de matière. Deux mécanismes distincts régissent la conduction de la chaleur dans un corps : l'un implique le mouvement des électrons libres et l'autre implique la vibration des atomes ou des molécules.

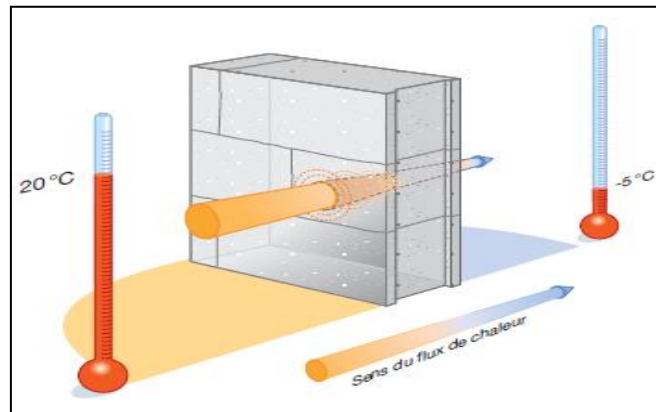


Fig.07 : Transfert de chaleur par conduction. Source : (Saint Gobain, 2016).

I.3.2. Les échanges de chaleur par convection (C en W/m^2)

Chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes, des phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur. La convection est considérée comme naturelle ou libre lorsqu'elle se produit dans un fluide à la suite de simples différences de densité causées par des gradients de température. Cependant, si une pompe ou un ventilateur est utilisé pour forcer le mouvement du fluide, le processus est appelé convection forcée.

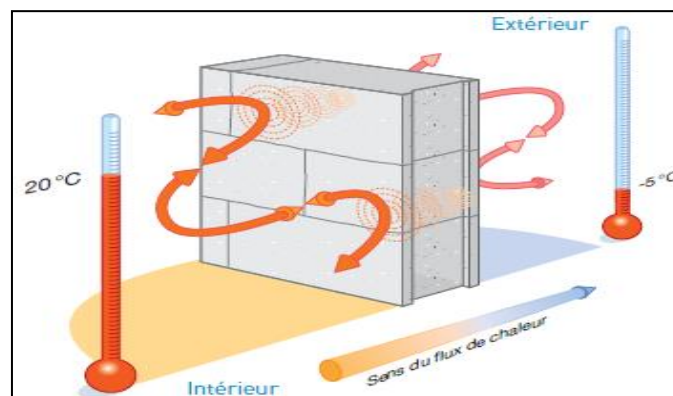


Fig.08 : Transfert de chaleur par convection. Source : (Saint Gobain, 2016).

I.3.3. Les échanges de chaleur par rayonnement (R en W/m²)

La méthode d'échange de chaleur à distance entre deux corps à l'aide de champs électromagnétiques est appelée rayonnement. Généralement, il y a des échanges entre la surface du corps et les surfaces de la pièce, et par conséquent, une gêne au froid peut être ressentie par rayonnement à proximité de surfaces froides (par exemple, un mur mal étanche ou une fenêtre en verre). Le transfert thermique dans le rayonnement de chaleur se produit par des vibrations électromagnétiques entre deux surfaces (même dans la vidéo). Sans entrer en contact les unes avec les autres, par le mouvement d'ondes dans l'espace qui se propagent en ligne droite sans aucun support de matière.

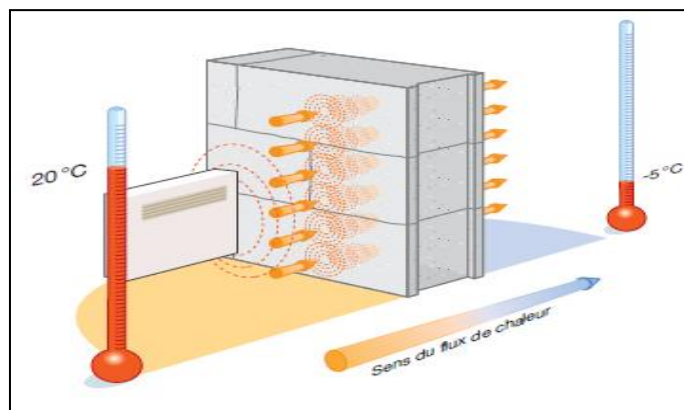


Fig.09 : Transfert de chaleur par rayonnement. Source : (Saint Gobain, 2016).

I.3.4. Les échanges de chaleur par évaporation (ESK en W/m²)

Nous distinguons deux types d'évaporation cutanée, à savoir perspiration et transpiration. La perspiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La transpiration (sudation) est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique.

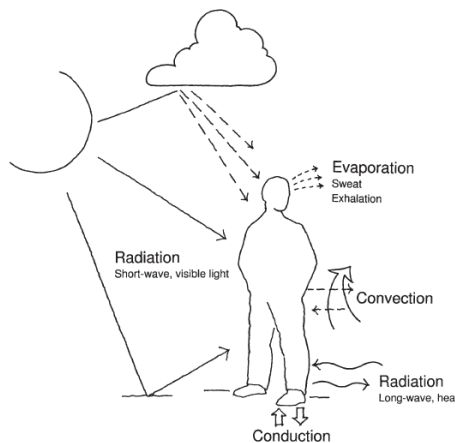


Fig.10 : Les quatre modes des échanges thermiques. Source (Hans Rosenlund,2000)

I.3.5. Le bilan thermique

Globalement, on peut écrire le bilan énergétique entre l'homme et son environnement de la manière suivante, en comptabilisant les contributions de la production interne de la chaleur, des échanges rayonnants, convectifs, conductifs, évaporatoires et respiratoires (Ashrae, 2009).

$$S = H + E_{RAD} + E_{CONV} + E_{COND} + E_{SW} + E_{DIF} + E_{RES} + C_{RES} \quad Eq.1$$

- H : Production de chaleur interne (surfacique) (W/m²)
- E_{RAD} : Echanges par rayonnement (W/m²)
- E_{CONV} : Echanges par convection (W/m²)
- E_{COND} : Echanges par conduction (W/m²)
- E_{SW} : Echanges par évaporation de la sueur (W/m²)
- E_{DIF} : Echanges par diffusion de la vapeur d'eau (W/m²)
- E_{RES} : Echanges par évaporation respiratoire (W/m²)
- C_{RES} : Echanges par convection respiratoire (respiration sèche) (W/m²)
- S : Stockage dans l'organisme (W/m²).

I.4. Modèles pour l'évaluation de confort thermique

I.4.1. Les modèles analytiques

De nombreux modèles analytiques ont été développés pour prédire l'évolution des réponses thermiques et physiologiques de l'organisme en fonction des conditions environnementales, qu'elles soient stationnaires ou transitoires. Le corps est traité comme un bloc singulier dans les modèles les plus simples. Le corps est divisé en plusieurs segments par des modèles plus complexes, qui permettent de simuler la dynamique des réponses physiologiques. Nous décrivons ci-après les principaux modèles :

Différents modèles ont été développés pour comprendre et définir les conditions thermiques permettant d'atteindre le confort thermique. Cependant, le modèle d'équation de confort de Fanger qui combine les six variables de confort thermique est un modèle largement accepté (Al-Saadi, 2006). Il est basé sur des équations d'équilibre thermique du corps humain

avec le milieu environnant. L'équation de confort peut calculer une combinaison optimale des variables pour tout type de vêtement et d'activité afin de créer une condition de confort thermique optimale (Fanger, 1970).

Fanger a également introduit le concept de vote moyen prédit (PMV) et de pourcentage prédit d'insatisfaits (PPD) pour évaluer et prédire la sensation thermique réelle (Fanger, 1970). Le PMV fournit un indice avec une échelle de sensation thermique à sept points sur l'ASHRAE, comme le montre la figure 14, qui est un vote d'un grand groupe de personnes exposées à un ensemble donné de conditions environnementales pour un taux métabolique vestimentaire donné.

Tab.03 :Les échelles de sensation thermique (basées en partie sur Markus et Morris 1980)

| | ASHRAE | Fanger (PMV) | Rohels & Nevins | Gagge's DISC | SET (C°) |
|------------------|--------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------|
| | | | + 5 | +5 | |
| Très chaud | | | + 4 | +4 | 37,5 - |
| Chaud | 7 | + 3 | + 3 | +3 | 34,5-37,5 |
| Tiède | 6 | + 2 | + 2 | +2 | 30,0-34,5 |
| Légèrement tiède | 5 | + 1 | + 1 | +1 | 25,6-30,0 |
| Neutre | 4 | 0 | 0 | ± 0.5 | 22,2-25,6 |
| Légèrement frais | 3 | -1 | -1 | -1 | 17,5-22,2 |
| Frais | 2 | -2 | -2 | -2 | 14,5-17,5 |
| Froid | 1 | -3 | -3 | -3 | 10,0-14,5 |
| Très froid | | | -4 | -4 | |

D'autre part, PPD exprime le nombre de personnes thermiquement insatisfaites en pourcentage. Il est déterminé à l'aide du PMV et est présenté graphiquement comme illustré à la Figure 11. L'ASHRAE définit les limites d'environnement thermique acceptables pour le confort général lorsque le vote moyen prévu se situe entre -0,5 et +0,5 et que moins de 10 % de la population est insatisfaite.

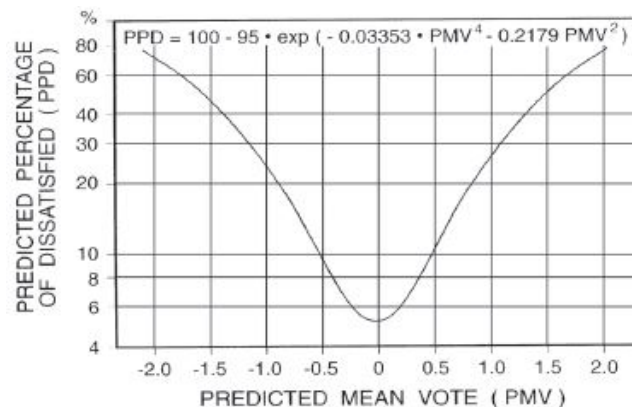


Fig.11 : Pourcentage prévu d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévu (PMV). Tirée de l'ASHRAE 55 (2013, p. 23)

Cependant, il y a des inquiétudes quant à la validité du modèle PMV où, dans les expériences, l'environnement est contrôlé dans une plage de température très restrictive (Harimiet *al.*, 2012). La situation est différente dans les bâtiments à ventilation naturelle. Les chercheurs s'accordent à dire que le modèle PMV ne prédit pas correctement les sensations thermiques des occupants, en particulier dans les climats aride et chauds (Harimiet *al.*, 2012).

Une méthode graphique est un autre outil pour déterminer la zone de confort pour une plus large gamme d'applications, comme illustré à la Figure 16. Elle est basée sur le modèle PMV-PPD mais suppose deux niveaux de vêtements différents : 0,5 clo (typique pour l'été) et 1,0 clo (typique pour l'hiver).

De plus, il correspond à un PPD de 10% (inconfort thermique général) et applicable uniquement lorsque les taux métaboliques sont compris entre 1,0 et 1,3 rencontrés avec une vitesse de l'air inférieure à 0,20 m/s.

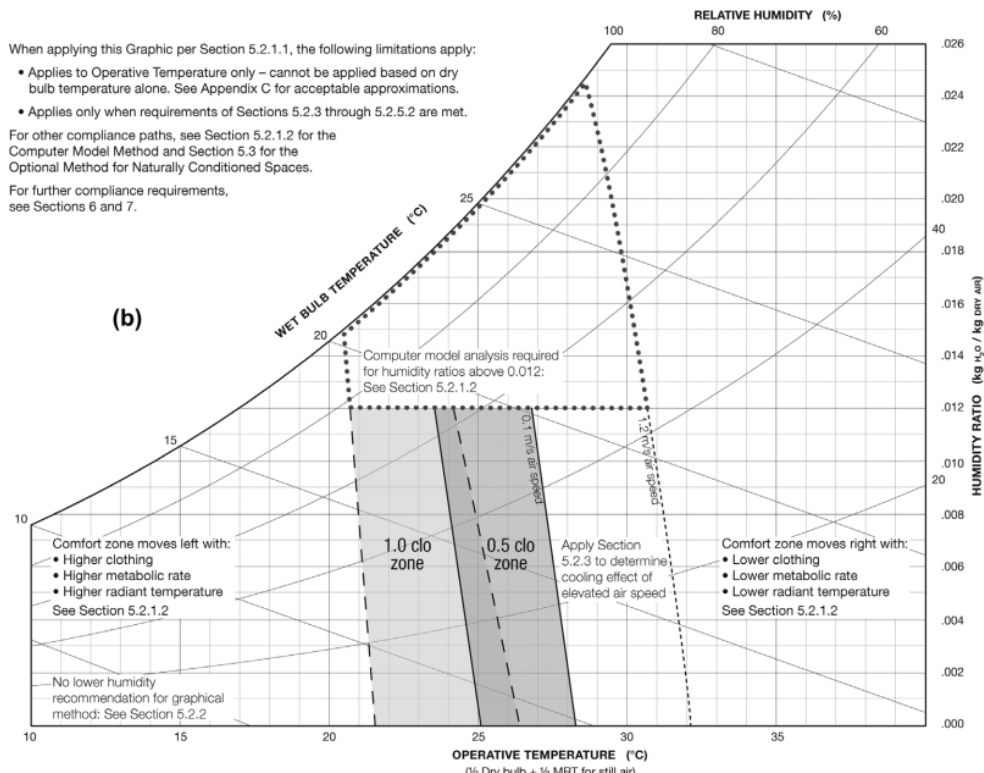


Fig.12 : Méthode de la zone de confort graphique. Source (ANSI/ASHRAE Standard 55-2004).

L'autre modèle est la méthode du modèle informatique qui utilise un logiciel informatique et peut également être utilisée lorsque les conditions spatiales sont différentes de celles décrites dans la méthode graphique. Le programme utilise des entrées de données où des valeurs spécifiques d'humidité, de vitesse de l'air, de vêtements et de taux métabolique sont utilisées.

I.4.2. Le modèle a deux nœuds de Gagge : ET, SET* et PMV*

Gagge a créé un modèle simplifié de thermorégulation dynamique (Ashrae, 1997). Ce modèle montre le corps humain comme deux nœuds concentriques qui représentent la peau et le centre du corps. Les changements de température entre les deux compartiments sont représentés par la conduction tissulaire et la convection sanguine. Contrairement au modèle de Fanger. Ce modèle permet le calcul de variables physiologiques dans des conditions temporaires, telles que les températures cutanées internes et de surface et la croissance des poils cutanés.

La température cutanée, l'humidité cutanée et le flux de chaleur cutanée sont utilisés pour calculer l'indice ET* (nouvelle température effective). L'apparence et l'activité du sujet sont des facteurs de l'indice ET*. Un nouvel indice, le « SET » (température effective standard), a été développé pour standardiser le calcul (Ashrae, 1997). Le SET est la température à laquelle un sujet portant des vêtements adaptés à l'activité échangerait la même quantité de chaleur et subirait le même gonflement cutané que dans une pièce isotherme à 50 % d'humidité relative. L'équation 1.23 est utilisée pour calculer la tenue standardisée (Gagge, 1986).

Tab.04. La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique. Source : (Parsons, 2003).

| <i>SET(°C)</i> | <i>Sensation</i> | <i>L'état physiologique d'une personne sédentaire</i> |
|----------------|---|---|
| >37.5 | Extrêmement chaud, très inconfortable | Echec de la régulation |
| 34.5-37.5 | Très chaud, très inacceptable | Sudation profuse |
| 30.0-34.5 | Chaud, inconfortable, inacceptable | Sudation |
| 25.6-30.0 | Légèrement chaud, légèrement inacceptable | Sudation légère, vasodilatation |
| 22.2-25.6 | Confortable et acceptable | Neutralité |
| 17.5-22.2 | Légèrement froid, légèrement inacceptable | Vasoconstriction |
| 14.5-17.5 | Froid et inacceptable | Refroidissement lent du corps |
| 10.0-14.5 | Très froid, très inacceptable | Frissons |

I.4.3. Les modèles approfondis

Les progrès technologiques rapides des dernières décennies ont permis de faire avancer la recherche sur le confort thermique en développant et en affinant les modèles thermiques du corps humain. Il s'agit d'une simulation dynamique du comportement thermique et physiologique du corps humain dans un environnement thermique prédéterminé, transitoire et hygrothermique (un véhicule, un bâtiment, etc.) à l'aide d'un jeu d'équations différentielles. Le système passif (le corps humain), qui est soumis aux différents échanges thermiques se produisant tant à l'intérieur du corps qu'avec l'environnement, est décrit dans des modèles thermiques, ainsi que le système actif de thermorégulation.

La plupart des gens connaissent le modèle de Stolwijk. Développé à l'origine pour la NASA, il a depuis été diffusé et utilisé par de nombreux laboratoires afin de l'utiliser ou de l'améliorer. Il représente le corps humain et sa thermorégulation. Le corps est divisé en six segments : la tête (sphérique), le torse, les bras, les mains, les jambes et les pieds (cylindriques). Chacun de ces segments est composé de quatre couches : peau, graisse, muscles et noyau. Le 25ème segment du modèle, qui représente le sang, assure une liaison thermique entre chaque compartiment (figure 13).

Une couche d'air sous une couche de tissu simule le vêtement. Chaque couche (physiologique et vestimentaire) est pensée pour être homogène et isotherme. Au sein d'une même couche, il n'y a ni échange ni transfert dans le sens longitudinal. Les transferts de conduction entre les segments sont ignorés ; le seul lien entre eux est la dette de sang. Le métabolisme est réparti dans toutes les couches ; néanmoins, les muscles sont le seul endroit où se produit le métabolisme lié à l'activité ou au frisson. Au centre et dans le grain, il y a un déficit sanguin constant. La couche centrale de la tête et du tronc tient compte des pertes respiratoires. Des calculs sont effectués pour chaque compartiment du bilan thermique détaillé du modèle (déficits de chaleur et de température).

L'environnement thermique, qui peut être transitoire et spatialement hétérogène, ainsi que les réponses thermo physiologiques de la personne, sont pris en compte. Les trois composants qui composent le système de régulation - les récepteurs, l'intégrateur et le répartiteur - permettent une représentation simple du système thermorégulateur humain sous la forme de températures de référence. Une commande est envoyée et répartie entre les différents effecteurs en fonction du signal d'écart détecté par l'intégrateur à l'aide des coefficients de commande.

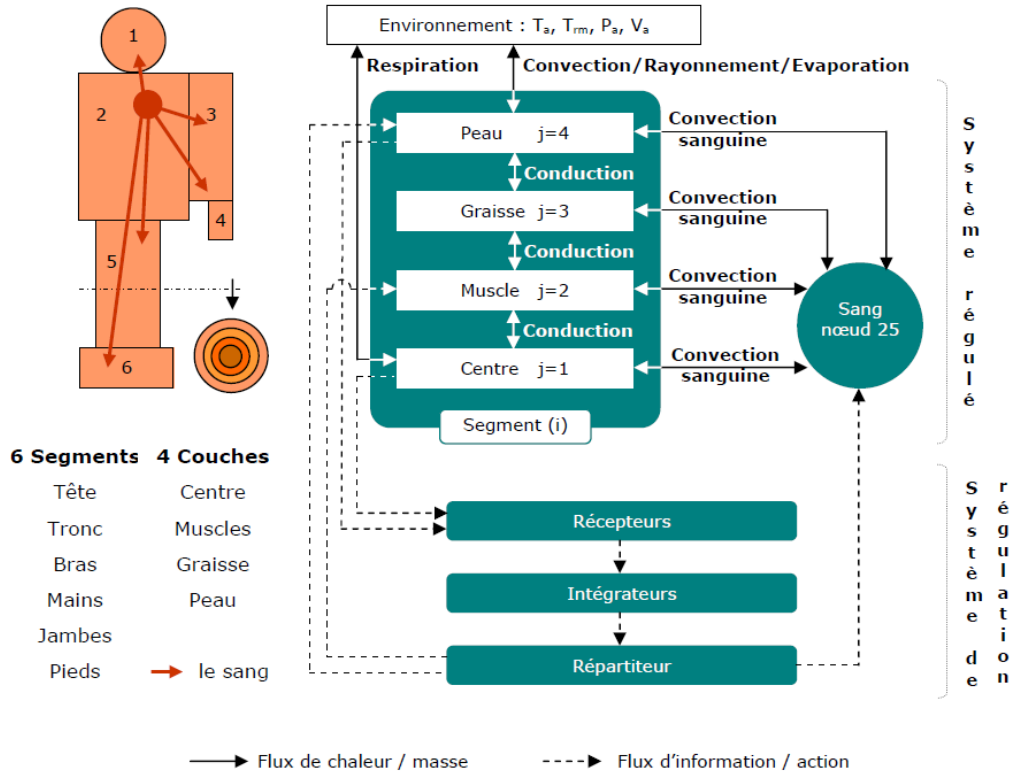


Fig.13 : Schématisation du modèle thermique de Stolwijk. Source (Moujalled,2007).

I.4.4. Modèle adaptatif de confort thermique

Des chercheurs en études de terrain sur le confort thermique se sont récemment interrogés sur la validité de l'approche PMV où les gens sont considérés comme des récepteurs statiques de leur environnement thermique, mais sont plutôt actifs et pourraient améliorer le confort intérieur en contrôlant l'environnement local ou en s'acclimatant au climat (Harimiet *al.*, 2012). Le même type d'écart a conduit au nouveau concept de modèle adaptatif (Humphreys et Nicol, 1998). Il a été défini par Humphreys comme suit : "Si un changement se produit de manière à produire un inconfort, les gens réagissent d'une manière qui tend à restaurer leur confort".

Diverses études sur le terrain ont prouvé que la réponse thermique des occupants dans les espaces climatisés naturellement est également liée au climat extérieur et peut différer des réponses des occupants dans les bâtiments climatisés. Dans l'une des études sur le terrain qui a recueilli un nombre élevé et des données de qualité provenant de 160 immeubles de bureaux différents situés sur 4 continents différents et couvrant différentes zones climatiques, il a été démontré que le modèle PMV peut être utilisé efficacement pour prédire le confort thermique

dans les bâtiments CVC contrôlés alors qu'aucun accord de ce type n'a été trouvé. Dans des bâtiments à ventilation naturelle.

La raison en est principalement les adaptations comportementales, l'acclimatation physique et les composants physiques qui démontrent le concept adaptatif (Brager et Dear, 2000).

ASHRAE utilise la méthode pour déterminer les conditions thermiques acceptables dans les espaces conditionnés naturellement où les espaces sont régulés par les occupants, comme illustré à la figure. Les occupants contrôlent l'ouverture et la fermeture des fenêtres, il n'y a pas de climatisation et le taux métabolique varie de 1,0 à 1,3 rencontré. (Olesen et Brager, 2004). Dans de telles conditions de régulation par l'occupant, la température de fonctionnement admissible peut être déterminée à l'aide de la Figure 17. La température optimale est déterminée en utilisant la température extérieure moyenne de chaque mois de l'année.

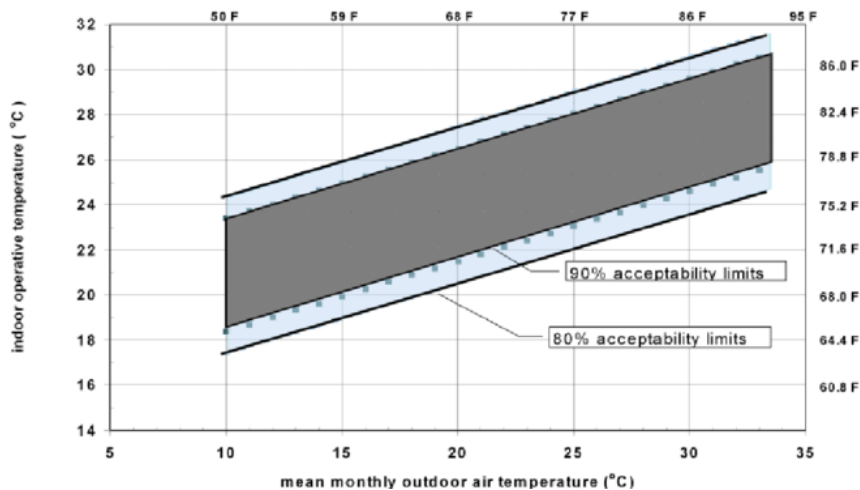


Fig.14. Plages de température de fonctionnement acceptables pour les espaces naturellement conditionnés. Source : Adaptive chart according to ASHRAE Standard 55-2010 (ASHRAE, 2014)

Les mécanismes adaptatifs sont représentés par des boucles rétroactives qui représentent les interactions dynamiques et multidisciplinaires entre l'homme et son environnement. Selon leurs types, De Dear divise l'adaptation en trois catégories : comportementale, physiologique et psychologique (De Dear, 1998). Pour chaque catégorie, il définit trois boucles rétroactives pour représenter l'adaptation de l'approche statistique tout au long de la chaîne linéaire (voir figure 15).

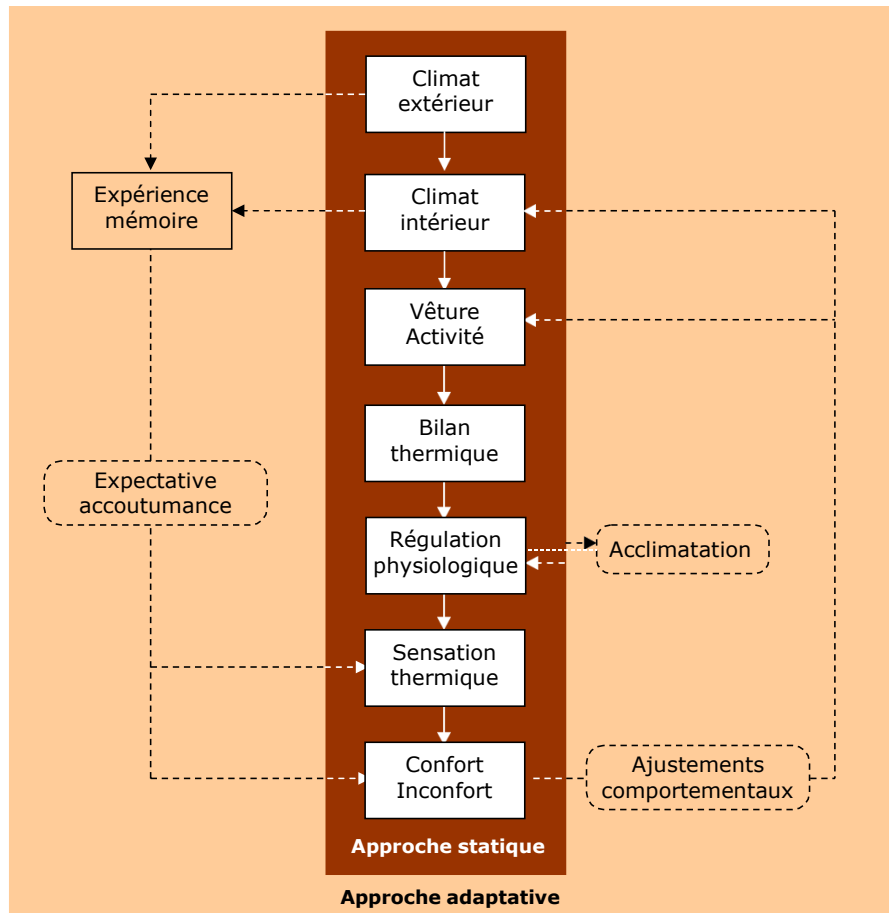


Fig.15 : Représentation des mécanismes adaptatifs. Source : (DeDear,2003)

I.5.De l'architecture vernaculaire à l'habitation moderne

I.5.1.L'architecture vernaculaire, compréhension du concept

L'architecture vernaculaire est définie comme l'utilisation de matériaux localement accessibles pour répondre aux exigences de construction locales (Helena Coch,1998). Dans les zones rurales peu développées, la plupart des structures vernaculaires ont été bien conservées (MOHURD). Puisqu'il y avait moins de ressources et de technologies accessibles dans le passé, les maisons vernaculaires ont été principalement créées pour tirer le meilleur parti de l'énergie du soleil et du vent (R. Shanthi Priya,2012, A.S. Dili,2010). L'environnement, l'économie, les convictions religieuses, la culture nationale et la procédure ont tous reçu une importance significative dans les maisons vernaculaires au cours de milliers d'années (Oliver P., 1997). L'optimisation des performances thermiques intérieures des bâtiments résidentiels nécessite une compréhension approfondie et une réflexion sur les méthodes adaptées au climat.

Selon une étude de la littérature, certains chercheurs (Maria Philokyprou, 2017 ; Susanne Bodach,2014) ont mené des recherches de terrain sur les principes de conception

écosensibles utilisés dans les habitations vernaculaires dans diverses zones climatiques. Il y a eu des études incroyablement approfondies sur l'évaluation comparative des stratégies de conception passive des maisons vernaculaires (A.K. Upadhyay, 2006, Jorge Fernandes, 2019). Ces études mènent exclusivement des recherches qualitatives sur les maisons traditionnelles au niveau sous régional.

Des recherches antérieures (Barbara Widera, 2021) identifient diverses variétés de maisons traditionnelles et établissent les bases d'un modèle de logement bon marché. Une nouvelle méthodologie de recherche est suggérée par certains chercheurs (Nguyen, 2011, Amin Mohammadi, 2018) pour expliquer la relation complexe en termes de climat. Un petit nombre de publications (Vissilia Anna-Maria, 2009, S. Saljoughinejad, 2015) évaluent des formes de maisons vernaculaires particulières et leur réactivité au climat en utilisant des principes de conception passive et classent les méthodes climatiques en différents niveaux d'espace. Un certain nombre d'études (Doris HooiChyeeToe, 2015, A.S. Dili, 2010) ont examiné les différentes stratégies de conception de refroidissement et de chauffage passifs intégrées au concept de maisons vernaculaires pouvant conduire à des conditions de confort thermique sensiblement améliorées, qui (A. Oikonomou, 2011) ont également analysé les aspects architecturaux concernant le bâtiment. La typologie, la forme, les matériaux et les méthodes de construction.

L'architecture traditionnelle et vernaculaire adhère à des principes socialement et naturellement durables, selon plusieurs études (P Jayasudha, 2014, Noor CholisIdham, 2018). Pour une typologie et une région de recherche spécifiques, ces enquêtes sont menées dans de nombreux pays et lieux. Dans la région de Hainan, il y a un manque de recherche comparant les performances thermiques et les techniques adaptées au climat des maisons modernes avec des maisons en pierre volcanique.

Peu d'études (Xiaoyu Du, 2016, Chen lin, 2018) ont comparé la réactivité climatique des bâtiments traditionnels et modernes. Mais il penche plus vers un niveau particulier de la structure.

Cependant, L'habitat saharien est, toujours, regroupé en Ksar, car dans le désert l'habitat épars n'existe pas. Les raisons de ce principe constructif semblent être d'ordre sécuritaire et défensif. Dans l'étude qu'il a consacré au mode de vie saharien dans son livre "le Sahara Français", R.Capot-Rey (1953) donne la définition du mot Ksar : "en principe le mot Ksar désigne un lieu fortifié ; on distingue dans l'agglomération le quartier entouré de murs de défense, appelé Ksar ou casbah, qui constitue une sorte de réduit et le quartier ouvert ou souk, mais souvent le mot de Ksar s'applique à l'ensemble que le village possède ou non une

enceinte". Selon l'auteur, les villages sahariens sont caractérisés par des structures variées. Il en a retenu trois types :

- Les premiers villages ont des rues étroites et tortueuses pouvant finir en impasse. Ce type est caractéristique de la construction saharienne, sa présence, aussi bien, chez les Berbères que les Arabes est réductible aux conditions climatiques et sécuritaires. Seules les rues principales conduisant vers la mosquée et le marché, faisant office de lieux publics, sont larges.

- Le second type est celui des plans géométriques dont les rues principales sont larges.

- Le troisième type est celui des hameaux Touareg (pas d'indication sur son agencement).

Sous l'effet des luttes qui ont régné au Sahara jusqu'à l'occupation française, des tours de guet attestent de l'insécurité dans laquelle vivaient les sédentaires. Aussi avaient-ils tenté d'abriter leur habitat par des murailles.

Nulle part, il ne pouvait être question de plan. Les maisons étaient bâties empiriquement : on commençait un mur, et on l'arrêtait quand une maison voisine en limite sa progression ; les habitations s'enchevêtraient, s'encadraient, s'emboîtaient. Le groupement des maisons par noyaux familiaux a formé des quartiers. Les quartiers ont été limités et desservis par les impasses. L'étage et la terrasse ont recouvert les ruelles ; ainsi toute la voirie est en tunnel à Ghadamès ; des puits de lumière l'éclairent à des intervalles réguliers à Touggourt ; passages couverts et à l'air libre alternent à Kenadsa. Des bancs en dur longent les murs où des artisans s'y installent parfois, mais elles servent, aussi, à la réunion à la djemaa.

On a remarqué un changement radical d'architecture à cause des interactions entre les facteurs environnementaux locaux et les facteurs sociaux culturels, qui diffèrent d'un endroit à l'autre en fonction du climat, de la nature environnante et des matériaux de construction disponibles dans la région.

Sous l'architecture vernaculaire on trouve deux exemples des habitations traditionnelles au niveau algérien et au niveau mondial on peut citer des techniques d'adaptation sur le plan architectural et urbain :

I.5.1.1. Les maisons vernaculaires à cour dans le monde arabe

Le dictionnaire anglais d'Oxford (2000, p.156) définit une cour comme "une zone de terrain, sans toit, entourée de murs ou de bâtiments, par exemple dans un château ou entre des maisons ou des appartements". Les maisons avec cour varient d'un endroit à l'autre et d'une époque à l'autre, "mais le concept principal du design reste le même... Il se caractérise par le

fait d'être tourné vers l'intérieur et avec quelques fenêtres extérieures hautes pour respecter les traditions socioculturelles ainsi que pour s'adapter aux conditions climatiques » (Schoenauer, 2000).

La conception de la cour est une stratégie de conception durable qui peut concilier de nombreuses exigences de conception : fonctionnelles, socioculturelles et bioclimatiques. La cour est un élément essentiel de l'architecture vernaculaire de nombreuses régions chaudes du monde. Al-Hawsh (qui signifie cour en arabe) se trouve dans les maisons de nombreux quartiers traditionnels des villes ou villages arabes (par exemple, Khan Al-Khalili au Caire, en Égypte ; le village de Zebid au Yémen ; le vieux Damas en Syrie ; Bastakia au Dubaï, Emirats Arabes Unis ; Sidi Bou Saïd, Tunis ; Qasba à Alger, Algérie)(Khaled A., 2019).

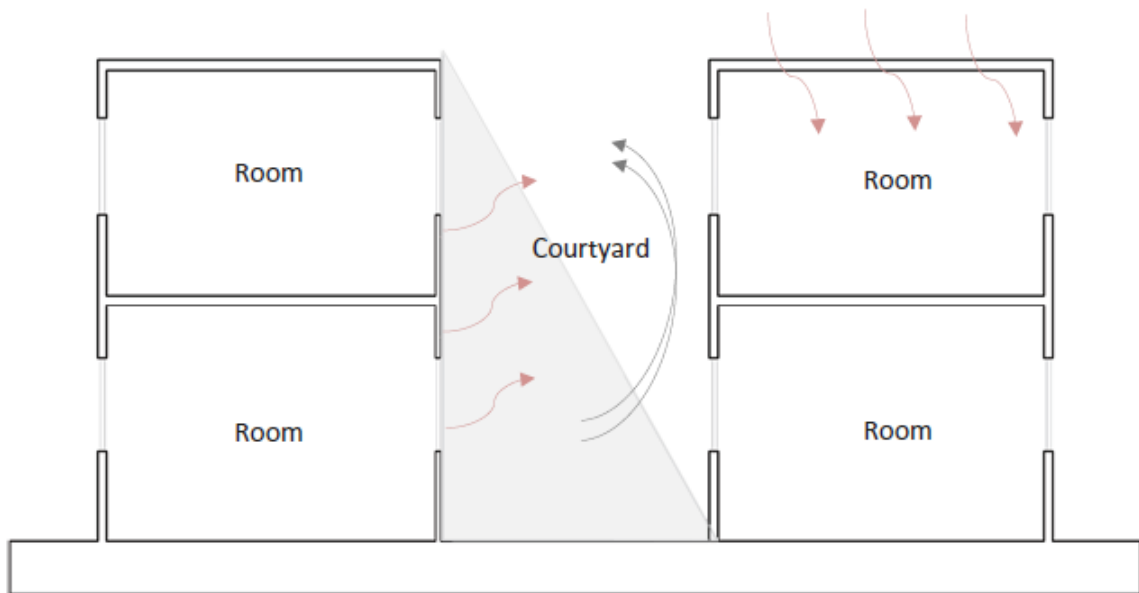


Fig.16 : Performance thermique des cours. Source :(Khaled A.2019)



Fig.17 : Logement à cour vernaculaire au Maroc (Riad). Source : Bianca (2000, p.200).

I.5.1.2. La configuration compacte

Dans les climats chauds et secs, il est recommandé d'adopter des formes compactes car elles ont de plus petites surfaces exposées aux conditions extérieures (rayonnement solaire élevé et température ambiante élevée) et, par conséquent, peuvent minimiser les gains de chaleur. Pourtant, les formes compactes sont préférables pendant la journée uniquement. La nuit, de grandes surfaces exposées peuvent aider à perdre de la chaleur par re-rayonnement (vers la haute atmosphère) et par convection (pour rafraîchir les brises) (Khaled A., 2019).



Fig.18 :La forte compacité urbaine du vieux Beni Izgenà Ghardaïa. Source : <https://www.oryxvoyages.com/ghardaia>.

I.5.1.3. L'inertie de l'enveloppe et les matériaux

Les matériaux d'habitation vernaculaires (pierre, brique, bois et troncs de palmier) sont généralement naturels et généralement faibles en énergie grise et en toxicité (Kim et Rigdon, 1998). Souvent, ces matériaux sont d'origine locale et mieux adaptés aux conditions climatiques, créant passivement et naturellement un environnement intérieur confortable.






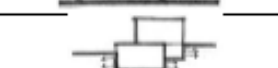
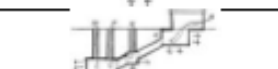
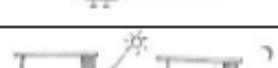
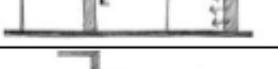



El-Fortia (1989) indique que les murs et les toits des bâtiments vernaculaires traditionnels étaient faits de matériaux très épais et que le toit était recouvert d'une couche de mortier, suivie d'une couche de boue ; tous deux ont été construits à partir de matériaux locaux qui offraient un degré élevé de résistance à la chaleur.

I.5.1.4. Les techniques d'adaptation de L'architecture iranien

D'après les recherches (B. AhmadkhaniMaleki,2011- Soltani, M,2017- MasoumehGeymati,2014, Mohammadzadeh E., 2015) on observe que les caractéristiques de l'architecture iranienne traditionnelle sont conformes aux règles de l'architecture durable. Il est capable de répondre à des problèmes environnementaux sur une longue période. Ses caractéristiques sont basées sur des facteurs climatiques ainsi que sur les matériaux de construction locaux des régions chaudes et arides. L'architecture des zones chaudes et arides iraniennes contient de nombreuses caractéristiques uniques qui comprennent les nécessités esthétiques et la capacité écologique. Voir le tableau au du sous.

Tab.05 : Les principales de refroidissement statique dans les éléments de l'architecture iranienne.

Source : Soltani, M., 2017.

| Architectural Elements | Static System Principles | Images |
|--------------------------------------|--|---|
| Windward | Corresponding system of solar chimney |  |
| Central courtyard | Air flew and Ventilation through the chimney in combination with the adjacent body of water hub sunshade and cold trap |  |
| garden pit | Cooling with Mass Effect |  |
| Porch | Air flew and Ventilation through the chimney |  |
| Spring house | The corresponding system evaporative coolers (open loop systems) |  |
| Bedchamber | Seasonal storage of heat |  |
| Shvadan | Seasonal storage of heat |  |
| Materials with high thermal capacity | Delays in time-temperature heating applications for direct absorption , The corresponding system(Trombe wall) |  |
| Building bodies nearby water | Exposure to natural elements and use the stylized air |  |
| Nodulation wood and plaster window | The corresponding system frame sunshades Horizontal and vertical awnings |  |
| Grille brick or tile | Cooling through ventilation (air flow) The corresponding system, the traditional facades |  |
| Windows under the roof | Air flew and Ventilation through the chimney |  |

I.5.1.5. L'architecture vernaculaire algérienne

I.5.1.6. La maison traditionnelle d'Oued Souf

Plusieurs études ont confirmé que l'habitat traditionnel d'Oued Souf assure un confort thermique acceptable pour les occupants (NefidiH., Oukaci, 2017, Fezzai et al., 2012). Grâce à l'utilisation des matériaux locaux à forte inertie thermique peut répondre aux fluctuations et que l'écart entre températures extérieures et intérieures peut atteindre jusqu'à 10°C.

D'après Yusta Garcia (2018) à donner une description sur la maison soufie, l'importance extrême de la cour. Toutes les chambres y donnent, un portique de protection solaire entoure. Toutes les chambres y donnent. Un portique de protection solaire entoure la cour et protège la sortie des chambres' éclairage vient de la porte qui donne sur la cour. Pas de fenêtres. Une ventilation transversale se fait entre la porte d'entrée et un orifice dans le sommet des coupoles.

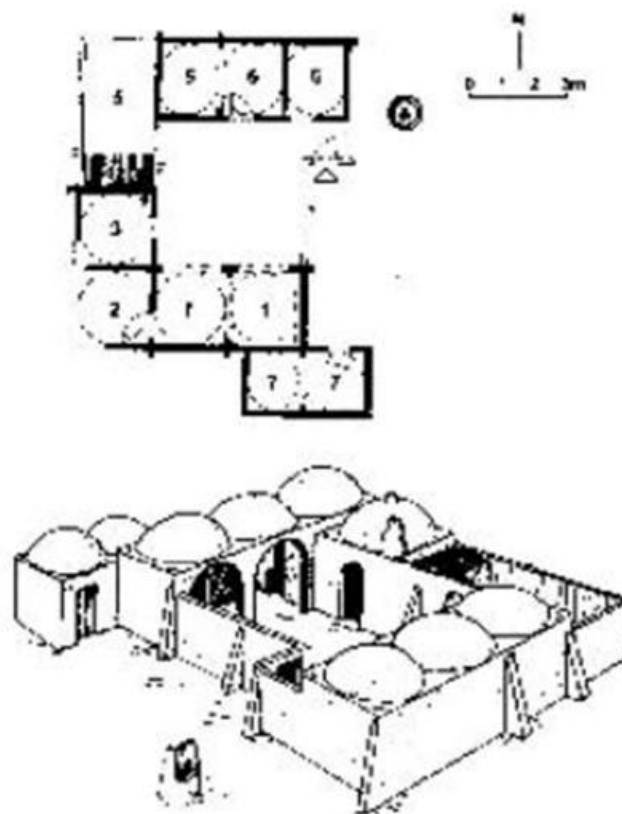


Fig.19 : Maison soufi traditionnelle avec cour centrale. Source : Fezzai et al., 2012

I.5.1.7. La maison traditionnelle de Mzab

(D'après Yusta Garcia, 2018) la maison mozabite se caractérise par Cours : Vaste et un volume central éclairé par le plafond ouvert avec une grille pour éviter les chutes. Les

évacuations thermiques se font par là. En été le jour elle est obturée pour empêcher le soleil de rentrer, la nuit elle est ouverte pour permettre l'évacuation des espaces. La nuit on dort sur les terrasses.



Fig.20 : Maison Mozabite. Source : <http://www.atmzab.net/>

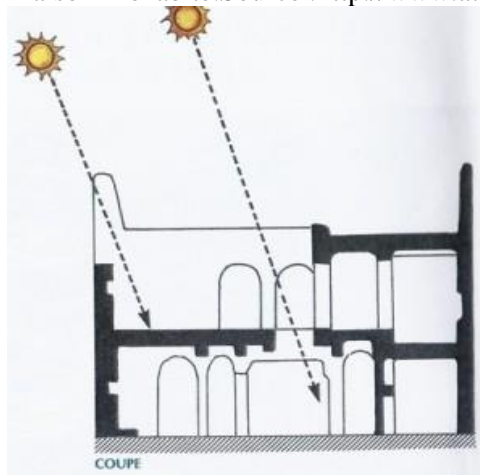


Fig.21 : Schéma publié dans le magazine documentaire Bibliothèque de Travail – 1991 (d'après un schéma d'André Ravereau)

I.5.2. La typologie de l'habitat moderne

I.5.2.1. Classification selon le type d'occupation

L'habitat est quelque chose de plus que d'avoir un toit et un certain nombre de mètre carrés à sa disposition (Christian, 1985).

L'habitat est l'espace résidentiel et le lieu d'activité privée de repos, de travail, de récréation et de vie familiale avec leur prolongement d'activité publique ou communautaires d'échange sociaux et d'utilisation d'équipement et de consommation de biens et de services (Encarta, 2004).

I.5.2.1.1. L'habitat collectif

Il s'agit d'une forme d'habitat comportant plusieurs logements (appartements) locatifs ou en accession à la propriété dans un même immeuble, par opposition à l'habitat individuel

qui n'en comporte qu'un (pavillon). La taille des immeubles d'habitat collectif est très variable : il peut s'agir de tours, de barres, mais aussi le plus souvent d'immeubles de petite taille. (DESBARRIERES).

L'habitat collectif groupé est initialement un terme architectural qui désigne un habitat moyen. Le groupe, constitué de cinq à dix familles, vit au sein d'un même habitat dans lequel les décisions à propos de la conception et de la gestion du lieu se font collectivement des locaux et des installations communes occupent une partie du budget et de la superficie du logement.

Alberto colin, l'habitat groupé : une expérimentation sociale entre singulier et collectif, thèse, université de Lyon, 2011.p :7.

Les différents types d'habitat collectif en Algérie : Logement social, Logement participatif, Logement promotionnel, Logement AADL, Logement évolutif.



Fig.22: Type d'habitat collectif social a Geulma, Algérie. Source : <https://www.lkeria.com%20logement%20collectif%20Geulma>

I.5.2.1.2. L'habitat individuel

L'INSEE distingue deux types de maisons : individuel pur (maison individuelle résultant d'une opération de construction ne comportant qu'un seul logement) ; individuel groupé (maison individuelle résultant d'une opération de construction comportant plusieurs logements individuels). Le terme « collectif » est défini par l'exclusion des deux premiers concepts. Il s'agit de logements faisant partie d'un bâtiment de deux logements ou plus. Dans d'autres présentations et définitions, l'INSEE estime qu'un logement individuel est un logement situé dans un immeuble comprenant un seul logement et un logement collectif un logement situé dans un immeuble comprenant plusieurs logements (Institut national de la statistique et des études économiques (www.insee.fr)).



Fig.23 : Habitat individuelle à Alger, Algérie. Source : <https://lalgerieaujourd'hui.dz/immobilier-stagne-a-alger>.

I.5.2.2. Classification selon le domaine

I.5.2.2.1. L'habitat durable

« Architecture "durable", "écologique" ou "environnementale" : quelques soient les termes en usage. [...] Une architecture respectueuse de l'environnement [...] vise notamment à réduire la pollution par la diminution de la consommation énergétique, la réutilisation de l'eau ou l'utilisation de matériaux "écologiques". Une architecture respectueuse de l'environnement naturel se présente comme une nécessité de toute urgence pour notre nouveau siècle. Pour ce faire, les populations doivent sacrifier leurs intérêts à court terme « dans la perspective d'un profit à long terme » (19fe)

Notre mode de vie et la manière dont nous construisons nos maisons ont des conséquences Étonnantes sur notre santé et celle de la planète. Les enjeux environnementaux, la pollution Industrielle, la déforestation, et les changements climatiques sont tous des résultats de nos Habitudes quotidiennes, et l'habitation est la cause majeure de tous ces effets. Pour contrer Ces évolutions parfois décourageantes, on fait appel à l'habitat écologique, pour pouvoir Construire et entretenir nos maisons de façon à respecter l'environnement. 'Habitation écologique consomme moins d'énergie, elle permet donc des économies Substantielles en chauffage et en électricité. Pour maximiser l'efficacité énergétique, les Maisons écologiques peuvent être dotées de : -d'une isolation adéquate -d'une récupération de la chaleur solaire -des échangeurs de chaleur d'air et d'eau -des appareils ménagers et de chauffages de haute efficacité -des portes et fenêtres éco énergétique -d'un éclairage eco-énergétique

-d'énergies renouvelables alternatives telles que le solaire et l'énergie éolienne. ([ecohabitation.pourquoi-habitation-écologique, 2009](#)).

I.5.2.2.2. L 'habitat solaire

Avec le premier choc pétrolé de 1970 les bâtiments conçus selon le style moderne sont apparus gourmands en énergies. Ce critère vient s'ajouter à l'ensemble des critiques qui visés déjà ce style. Cela a conduit à une reconversion profonde de notre approche de bâtir mais également au changement du regard envers l'architecture vernaculaire. Ce problème a conduit à la conception de constructions moins consommatrices d'énergie ; l'apparition des "maisons solaires" dans les années 1970, capable de capter, stocker et distribuer l'énergie naturelle. Les années 1980 quant à elles étaient marquées par les soucis environnementaux. Alors un autre type de bâti apparaît le bioclimatique. Un habitat bioclimatique permet d'utiliser l'environnement, afin d'assurer de façon totalement passive une ambiance maintenant sans effort les conditions de confort du corps humain". Cette architecture essaye d'offrir le même niveau de confort en exploitant aux maximums les données du site et de l'environnement, "une adéquation entre la construction, le comportement des occupants et le climat, pour réduire au maximum les besoins énergétique". En Allemagne dans les années 1988, l'habitat passif fait son apparition, totalement autonome en énergie. Tous ces modèles ne sont pas de nouvelles inventions, signale Dominique GAUZIN-MÜLLER, ils se sont référés aux architectures traditionnelles qui maîtrisaient déjà depuis longtemps les données bioclimatiques.

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

I.6. Le climat

I.6.1. Définition

Le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps.

Le climat est défini comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année(Armand,2010)

I.6.2. Eléments utiles du climat

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégorie d'après l'organisation météorologique mondiale (2011) :

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température

- Facteur hydrologique : précipitations, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons.

Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont :

- Le soleil (radiations)
- La température
- L'humidité
- Le vent
- Les précipitations (pluies, neiges.)

I.6.3. La classification du climat mondial

La classification de Köppen est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures. C'est le botaniste Wladimir Peter Köppen qui l'a inventée en 1900 en combinant la carte mondiale de la végétation publiée en 1866 par Hermann Griesbach et la division du climat en cinq zones par de Candolle. (M.C. Peel et al.,2007)

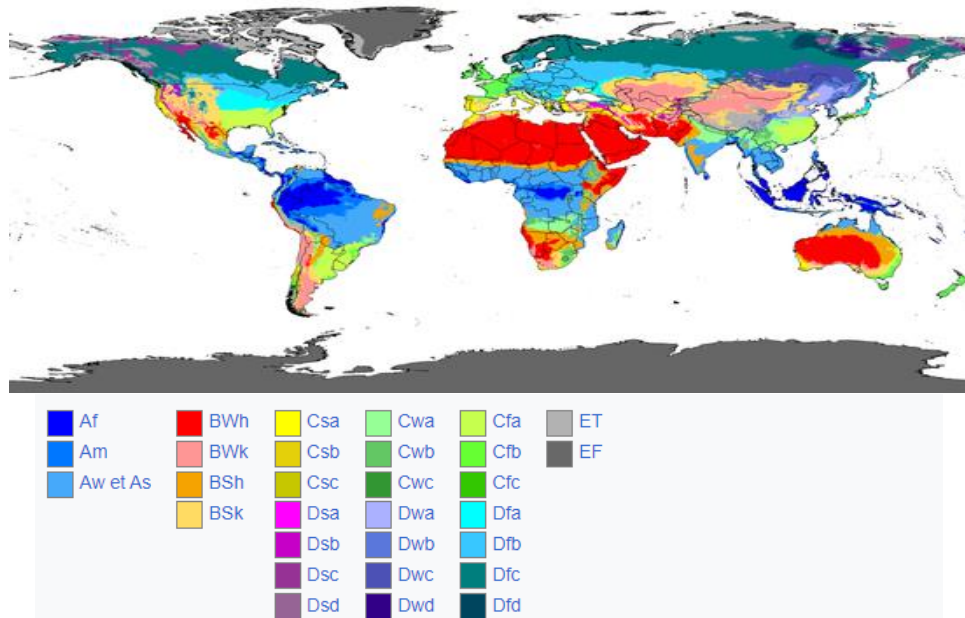


Fig.24 :La carte des climats de Köppen-Geiger. Source : présentée par le US National Library of Médecine du National Institutes of Health.

Un climat, selon cette classification, est repéré par un code de deux ou trois lettres (les critères indiqués dans les tableaux suivants sont ceux utilisés dans la carte, ils reprennent les critères utilisés par Köppen dans sa dernière publication en 1936). (Voir tableaux 07 et 08)

Dans les grandes lignes, les climats mondiaux s'étalent de A à E, en allant de l'équateur aux pôles. (Voir tableau 06)

Tab.06 : 1re lettre : type de climat. Source : Köppen, 1936.

| Code | Type | Description |
|------|------------------------------------|---|
| A | Climat tropical | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne de chaque mois de l'année > 18 °C • Pas de saison hivernale • Fortes précipitations annuelles (supérieure à l'évaporation annuelle) |
| B | Climat sec | <ul style="list-style-type: none"> • Évaporation annuelle supérieure aux précipitations annuelles. Ce seuil est calculé de la manière suivante : <ul style="list-style-type: none"> ○ Si moins de 30 % des précipitations tombent en été (avril à septembre dans l'hémisphère nord) : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne (°C) ○ Si plus de 70 % des précipitations tombent en été : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne + 280 ○ Autrement : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne + 140 |
| C | Climat tempéré | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne du mois le plus froid comprise entre -3 °C et 18 °C • Température moyenne du mois le plus chaud > 10 °C • Les saisons été et hiver sont bien définies |
| D | Climat continental | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne du mois le plus froid < -3 °C • Température moyenne du mois le plus chaud > 10 °C • Les saisons été et hiver sont bien définies |
| E | Climat polaire | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne du mois le plus chaud < 10 °C • La saison d'été est très peu marquée |

Tab.07 : 2^e lettre : régime pluviométrique. Source : Köppen, 1936.

| Code | Description | S'applique à |
|------|--|--------------|
| S | <ul style="list-style-type: none"> • Climat de steppe • Précipitations annuelles comprises entre 50 et 100 % du seuil calculé | B |
| W | <ul style="list-style-type: none"> • Climat désertique • Précipitations annuelles < 50 % du seuil | B |
| w | <ul style="list-style-type: none"> • Saison sèche en hiver <ul style="list-style-type: none"> ○ Pour A : climat de la savane, P du mois hivernal le plus sec < 60 mm et < [100 - (précipitations annuelles moyennes)/25] ○ Pour C et D : P du mois hivernal le plus sec < 1/10 du mois le plus humide | A-C-D |
| s | <ul style="list-style-type: none"> • Saison sèche en été <ul style="list-style-type: none"> ○ Pour A : climat de la savane, P du mois estival le plus sec < 60 mm et < [100 - (précipitations annuelles moyennes)/25]⁴ ○ Pour C et D : P du mois estival le plus sec < 40 mm^{4,5}, Note 1 et < 1/3 du mois hivernal le plus humide | A-C-D |
| f | <ul style="list-style-type: none"> • Climat humide, précipitations tous les mois de l'année <ul style="list-style-type: none"> ○ Pour A : climat de la forêt tropicale, P du mois le plus sec > 60 mm ○ Pour C et D: pas de saison sèche, ni « w » ni « s » | A-C-D |
| m | <ul style="list-style-type: none"> • Climat de mousson : • P du mois le plus sec < 60 mm et > [100 - (précipitations annuelles Moyenne's)/25] | A |
| T | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 °C et 10 °C | E |
| F | <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne du mois le plus chaud < 0 °C | E |
| M | <ul style="list-style-type: none"> • Précipitations abondantes • Hiver doux (Température moyenne du mois le plus froid > -10 °C) | E |

On obtient donc les catégories suivantes :

- Af : climat équatorial ;
- Aw : climat de savane avec hiver sec ;
- As : climat de savane avec été sec (catégorie parfois utilisée en analogie avec Aw dans les rares cas où la saison sèche se produit dans les mois où le soleil est au plus haut) ;
- Am : climat de mousson ;
- BS : climat de steppe (semi-aride) ;
- BW : climat désertique ;
- Cf : climat tempéré chaud sans saison sèche ;
- Cw : climat tempéré chaud avec hiver sec (chinois) ;
- Cs : climat tempéré chaud avec été sec (méditerranéen) ;
- Df : climat continental froid sans saison sèche ;
- Dw : climat continental froid avec hiver sec ;
- Ds : climat continental froid avec été sec (continental méditerranéen) ;
- ET : climat de toundra ;
- EF : climat d'inlandsis ;
- EM : climat subpolaire océanique.

Tab.08 : 3^e lettre : variations de température. Source : Köppen, 1936.

Pour affiner les types B, C et D, une troisième lettre précise l'amplitude du cycle annuel des températures :

| Code | Description | S'applique à |
|------------------------|--|--------------|
| a : été chaud | Température moyenne du mois le plus chaud > 22 °C | C-D |
| b : été tempéré | Température moyenne du mois le plus chaud < 22 °C Températures moyennes des 4 mois les plus chauds > 10 °C | C-D |
| c : été court et frais | Température moyenne du mois le plus chaud < 22 °C Températures moyennes mensuelles > 10 °C pour moins de 4 mois Température moyenne du mois le plus froid > -38 °C | C-D |

| | | |
|----------------------|--|---|
| d : hiver très froid | Température moyenne du mois le plus froid < -38 °C | D |
| h : sec et chaud | Température moyenne annuelle > 18 °C | B |
| k : sec et froid | Température moyenne annuelle < 18 °C | B |

Tab.09 : Classification des climats. Source : Köppen, 1936.

| Classe | Types de climats |
|--------|---|
| A | <ul style="list-style-type: none"> • Équatorial : Af • Mousson : Am • Savane : Aw, As |
| B | <ul style="list-style-type: none"> • Désertique : BWh, BWk, BWn • Semi-aride : BSh, BSk, BSn |
| C | <ul style="list-style-type: none"> • Subtropical humide : Cfa, Cwa • Océanique : Cfb, Cwb, Cfc, Cwc • Méditerranéen : Csa, Csb, Csc |
| D | <ul style="list-style-type: none"> • Continental humide : Dfa, Dwa, Dfb, Dwb • Subarctique : Dfc, Dwc, Dfd, Dwd • Continental méditerranéen : Dsa, Dsb, Dsc, Dsd |
| E | <ul style="list-style-type: none"> • Toundra : ET • Inlandsis ou calotte glaciaire : EF |

I.6.4. Le climat des zones arides et semi-arides

Le groupe des climats secs et chaudes ou désertiques rassemble on fait toutes les zones arides ou semi-arides situées de part et d'autre des deux tropiques 15° et 35° Nord et Sud de l'équateur. Ce sont des déserts chauds et leur localisation correspond à celle des zones anticycloniques subtropicales au-dessus des continents. C'est sur le continent africain que l'on trouve la majeure partie des régions rattachées à ce climat : de la Mauritanie et l'Égypte (ce qui inclut donc l'ensemble de la zone saharienne ainsi que ses bordures, le «sahel», Nord et Sud). S'ajoutant la péninsule Afrique le Pakistan.

Enfin, plus au Nord, ce groupe est représenté en Asie centrale par la ceinture de déserts froids s'étendant de la mer caspienne pratiquement jusqu'à Pékin.

<http://www.ecoquartiers-geneve.ch/documents/Confdeb02-archibioclimatique.pdf>

I.6.4.1. Caractéristiques des milieux arides et semi-arides

La température maximum dans ces régions atteint jusqu'à 50°C à l'ombre et la moyenne de la température journalière atteint 22°C. Les principales caractéristiques de ces milieux sont les suivants : <http://www.ecoquartiers-geneve.ch/documents/Confdeb02-archibioclimatique.pdf>

- Les hautes intensités des radiations solaires.
- La température air-sol diurne très élevée.
- L'humidité relative.
- Les vents chauds et secs (simoun).

I.6.5. Classification du climat en Algérie

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (Dominique, 2009) :

- Zone A : Littoral marin.
- Zone B : Arrière littoral montagne.
- Zone C : Hauts plateaux.
- Zone D : Présaharien et saharien.

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à la l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat pré-saharien ou saharien quant à lui est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés

et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco.

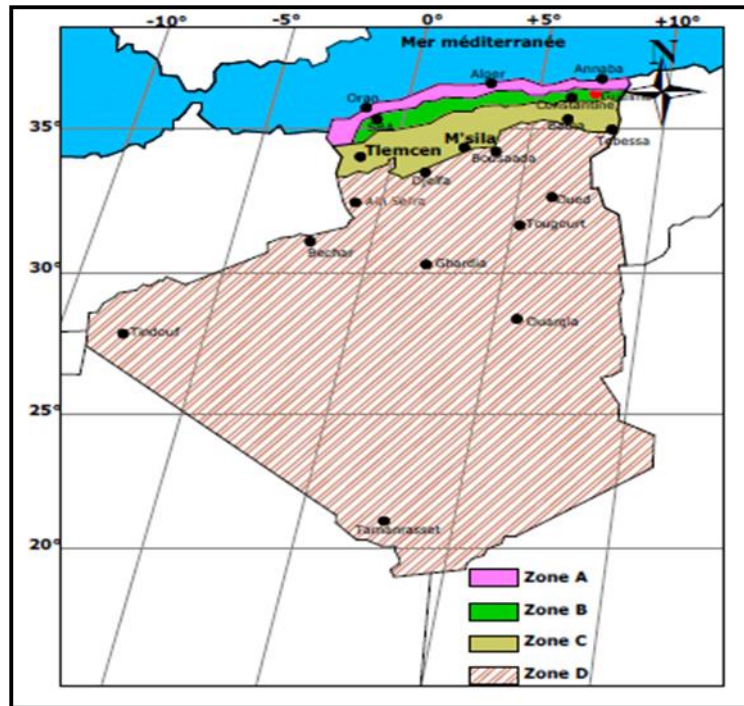


Fig.25 : Classification du climat en Algérie. Source : Dominique,2009

Conclusion

Les occupants d'un bâtiment confortable sont des occupants heureux, en bonne santé et productifs. Le confort thermique, astucieusement et robustement assuré, peut également réduire vos coûts énergétiques de fonctionnement. Bien que de meilleures pratiques d'exploitation puissent clairement aider, les rénovations majeures offrent une véritable opportunité en or de spécifier une enveloppe de bâtiment et des systèmes mécaniques conçus pour optimiser le confort et permettre une plus grande flexibilité opérationnelle.

Les interactions entre les moteurs du confort thermique illustrent parfaitement l'importance de maintenir une perspective large et globale lors de l'exploitation de vos bâtiments. L'analyse et la résolution de toutes les pièces du puzzle de manière intégrée conduiront presque toujours à une solution meilleure, plus fiable et à moindre coût. L'amélioration du confort thermique est un axe évident pour propriétaires et occupants.

Le terme habitat possède plusieurs significations selon divers domaines et l'occupation. Le climat est l'une des clés de l'architecture bioclimatique et l'homme représente le centre de toute préoccupation. On essaiera lors de prochain chapitre de notre recherche de présenter les

différentes stratégies passives afin de minimiser la consommation énergétique et maximiser le confort thermique.

L'efficacité et la consommation énergétique ; place de l'énergie solaire

« L'essor de l'architecture solaire puis bioclimatique permet à la fois la théorisation et la concrétisation de cette réflexion dans la production normale du cadre bâti. Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. »

(Mokhtari *et al.*, 2008)

Introduction

Le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie. Il absorbe une grande part de de la consommation totale d'énergie finale et rejette une grande part des émissions de CO₂.

Pour cela, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments est devenue un axe de progrès prioritaire. Elle est notamment soutenue par les politiques publiques.

Cependant, le réchauffement climatique et la hausse des prix de l'énergie suscitent un regain d'intérêt pour l'efficacité énergétique et un renforcement des politiques publiques.

Parmi les solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique, il est d'usage de distinguer les solutions dites « passives » qui consistent à réduire la consommation d'énergie des équipements et des matériaux grâce à une meilleure performance intrinsèque et les solutions dites « actives » visant à optimiser les flux et les ressources.

Dans ce sens, ce chapitre traite la maîtrise d'énergie dans le secteur résidentiel. Donc il nous paraît important d'exhiber, dans ce chapitre, les définitions des différents concepts ayant un rapport avec la politique de performance énergétique dans le bâtiment. A savoir le développement durable, l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment et la politique d'efficacité énergétique, ensuite nous présentons les différents instruments actuellement utilisés par les politiques de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel ainsi que les barrières ralentissant l'application de ces instruments et la diffusion de la politique de maîtrise d'énergie.

II.1. L'efficacité énergétique et développement durable

Le développement durable est « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* », citation de Mme Gro Harlem Brundtland, (1987).

Le développement durable s'appuie sur trois piliers, l'économie, la société et l'écologie. La coexistence de l'énergie, de l'économie et de l'environnement est une condition préalable pour assurer un développement sain, stable et durable. La performance globale d'un bâtiment est classée en fonction des performances énergétiques, économiques et environnementales, où les économies d'énergie dépendent de stratégies de conception innovantes optimisées, l'impact environnemental dépend des émissions de GHG et de CO₂, et la performance économique nécessite une réduction du LCC et du coût global (Kuo, W *et al.*, 2018 ; Vijayavenkataraman, S *et al.*, 2012 ; Tai, W, 2020).

II.2. Règlements et labels

En physique, « l'efficacité énergétique » désigne le rapport entre l'énergie utile produite par un système et l'énergie totale consommée pour le faire fonctionner.

Cette notion est souvent interprétée dans un sens plus large pour désigner les technologies et pratiques permettant de diminuer la consommation d'énergie tout en maintenant un niveau de performance finale équivalent. Nous utiliserons ici cette deuxième définition de l'efficacité énergétique, dont l'objectif est de « faire mieux avec moins ». <https://www.connaissancedesenergies.org/fichepedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>.

II.2.1. Les réglementations thermiques

La réglementation thermique est un ensemble de directives qui doivent être suivies dans l'industrie de la construction afin d'améliorer le confort des occupants tout en réduisant la consommation d'énergie. Elle établit des exigences techniques strictes pour la surface et l'orientation des fenêtres, le chauffage, l'isolation thermique, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude, l'éclairage, les apports d'énergie solaire et la perméabilité à l'air.

La réglementation thermique établit les normes de performances minimales à respecter plutôt que de définir les méthodes de construction. L'objectif à long terme est de construire de nouveaux bâtiments consommant moins de 50 kWh/m². La réglementation thermique actuelle s'appelle RT2012.(Tibermacine, 2015)

Voici une liste des textes réglementaires sur l'efficacité énergétique :

- 1972 Déclaration de Stockholm : Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement
- 1992 Déclaration de Rio sur l'Environnement et le développement
- 1997 Le protocole de Kyoto à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques
- 2000 Programme national de lutte contre le changement climatique
- 2002 Sommet mondial de Johannesburg sur le Développement Durable
- 2002 Directive sur la performance énergétique des bâtiments
- 2004 Plan Climat
- 2005 Loi de programme du 13 juillet fixant les orientations de la politique énergétique
- 2007 Sommet de Bali
- 2007-2008 Grenelle de l'Environnement I et II
- 2009 Sommet de Copenhague sur le changement climatique

II.2.2. La réglementation en vigueur

Deux directives majeures promulguées par le Parlement européen sur proposition de la Commission européenne conduisent les évolutions en matière d'efficacité énergétique :

1. **La directive 2010/31/EU** sur la performance énergétique des bâtiments. Elle fixait un cadre commun de mesures pour accroître de 20 % l'efficacité énergétique des bâtiments à horizon 2020 pour obtenir des bâtiments dits « passifs » ou encore « à énergie positive », en favorisant la rénovation énergétique et la construction vertueuse.

2. **La directive 2012/27/UE** sur l'efficacité énergétique établit les performances associées aux consommations des composants ou systèmes – avec ou non un étiquetage énergétique associé. C'est le cas des pompes, par exemple, qui doivent aujourd'hui être classées A pour être autorisées sur le marché.

RT 2012 et RT 2020

En France, la Réglementation Thermique 2012 (RT 2012) entrée en vigueur le 1er janvier 2013 avait pour objectif de répondre à la directive 2010/31/EU, ainsi qu'aux objectifs de développement durable fixés par le Grenelle de l'Environnement. Elle est remplacée au 1er

janvier 2021 par la RT 2020, applicable elle aussi à tous les nouveaux bâtiments : résidentiels, publics et tertiaires.

La RT 2020 impose :

- Une stratégie de rénovation massive et à coût raisonnable ;
- Les générateurs centralisés et l'intelligence de gestions associées ;
- L'établissement de certificats de performance énergétique ;
- Des indicateurs d'intelligence des bâtiments ;
- Le maintien des performances des systèmes de chauffage ;
- L'utilisation d'électricité décarbonée ;
- La favorisation de l'autoconsommation et des énergies renouvelables.

La RT 2012 avait déjà permis à la France d'aller dans la direction des bâtiments à faible empreinte carbone et des bâtiments à énergie positive (BEPOS), qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour leur fonctionnement. La RT 2020 renforce ces ambitions.

La politique énergétique française instaure également l'obligation de réaliser un diagnostic de performance énergétique (DPE) pour évaluer les performances d'un logement ou d'un bâtiment.

II.2.3. Les labels de performance énergétique

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement.

- HPE 2005 : Le « Label Haute Performance Energétique, HPE 2005 »
- THPE 2005 : Le « Label Très Haute Performance Energétique, THPE 2005 »
- HPE EnR 2005 : Le « Label Haute Performance Energétique Energies Renouvelables 2005»
- THPE EnR 2005 : Le « Label Très Haute Performance Energétique Energies Renouvelables
- BBC 2005 et EFFINERGIE : le « label bâtiment basse consommation énergétique »
- EFFINERGIE + : Les principales exigences, concernant l'habitation collective et individuelle

- MINERGIE : C'est un label de performance énergétique très répandu en Suisse.
- PASSIVHAUSS : c'est un label allemand propre à la maison passive.
- LE BEPOS : est un bâtiment à énergie positive
- nZEB : est un bâtiment à énergie zéro
- BREEAM :(Royaume-Uni), signifie la méthode d'évaluation environnementale de l'établissement de recherche
- LEED (États-Unis), signifie le Leadership in Energy and Environmental Design qui évalue les bâtiments.
- Passive House (Allemagne), désigne un bâtiment économe en énergie.

II.3. L'efficacité énergétique dans le monde et réglementations

La réglementation étudiée ne donne aucune norme spécifique n'ayant trait au confort thermique (ASHRAE, 1992)

L'International Energy Conservation Code, organisme national de gestion de l'énergie dans les bâtiments, met l'accent sur la performance. L'objectif de la réglementation thermique américaine est de réglementer la conception des enveloppes des bâtiments pour s'assurer qu'elles ont une résistance thermique adéquate et une faible perméabilité à l'air. La réglementation étudiée ne comporte pas de critères spécifiques de confort thermique. (ASHRAE, 1992 ; Nadia Saïfi, 2015)

II.3.1. Réglementation Française

L'un des exemples les plus courants avec des résultats positifs est la maison passive en Europe. La question de l'efficacité énergétique dans les bâtiments est la combinaison de technologies d'énergies renouvelables, d'équipements économes en énergie et de mesures d'efficacité énergétique. Afin d'économiser les ressources mondiales et de protéger l'environnement de la pollution, l'efficacité énergétique a été exigée à différents niveaux. La partie construction du bâtiment a le pourcentage le plus élevé d'influence sur la consommation d'énergie et l'efficacité énergétique.

<https://www.connaissancedesenergies.org/fichepedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

II.3.2. Réglementation Tunisienne

A partir des années 2000, la Tunisie a intensifié ses efforts pour améliorer son efficacité énergétique en tentant de diversifier son mix énergétique. Cette diversification vise à répondre

à l'alarmant déficit énergétique national, qui a dépassé les 4 Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole) en 2015 et atteint un taux de 56%. Les principales caractéristiques du secteur de l'énergie en Tunisie sont les suivantes :

- La poursuite de la construction de nouvelles centrales électriques au gaz (97% de la production électrique actuelle) pour répondre à la demande croissante et doter le pays d'une capacité de réseau supplémentaire ;
- Une forte augmentation de la demande d'électricité et un poids important accordé aux sources d'énergie renouvelables par les autorités nationales.

- La production d'électricité du secteur public est essentiellement monopolisée (81%). Pour connaître l'impact de différents paramètres sur le bilan énergétique, de nombreuses études sur les bâtiments ont été menées. Une évaluation exhaustive de l'état énergétique du bâtiment est réalisée au travers d'un diagnostic énergétique. Il poursuit trois objectifs :

- L'optimisation des consommations d'énergie, c'est-à-dire la correction des dysfonctionnements ou erreurs de conception par une amélioration de la gestion des équipements et/ou par une amélioration des performances de ceux-ci ;

- L'identification des opportunités de recours aux énergies renouvelables en lieu ;

- L'amélioration du confort des occupants (Malek, 2012).

II.3.3. Réglementation marocaine

Le gouvernement marocain a déclaré vouloir atteindre une économie énergétique primaire de 12% d'ici 2020 et de 15% d'ici 2030 grâce à la mise en œuvre d'une stratégie d'efficacité énergétique dans plusieurs secteurs économiques. Parmi ces industries, le secteur du bâtiment est un important consommateur d'énergie, représentant 25 % de la consommation énergétique globale du pays, 18 % étant destinés à un usage résidentiel et le reste à un usage commercial. Les années à venir devraient voir une forte augmentation de cette consommation d'énergie.

L'objectif premier de la Réglementation Thermique des Bâtiments Marocains (RTBM) est d'améliorer les performances thermiques par :

- La diminution des besoins en chauffage et en refroidissement ;

- Amélioration du confort dans les bâtiments non climatisés ;

- Mobilisation des professionnels du bâtiment vers l'utilisation d'approches d'enveloppe de bâtiment thermiquement efficaces ;

- Réalisation des bilans énergétiques des bâtiments existants.

II.3.4. Réglementation Algérienne

Les premières initiatives de recherche dans le domaine de l'habitat ont été lancées dans les universités algériennes au début des années 1980. Ces initiatives dispersées, qui manquent de coordination, de cadre réglementaire et de financement suffisant, se limitent à l'enseignement de l'architecture bioclimatique. Suite à la ratification de nombreux accords relatifs à la protection de l'environnement et au changement climatique dans le cadre des Objectifs de développement durable, l'Algérie a été amenée à modifier son système juridique pour s'adapter au nouvel environnement international.

Pour éviter de s'exposer aux différents problèmes (accès aux ressources, émissions de gaz à effet de serre, changement climatique), on doit mener une réflexion à propos de l'évolution de la situation énergétique du secteur du bâtiment, qui doit se préparer à modifier son rapport aux effets énergétiques. Pour cela, l'Algérie met en œuvre, dans le cadre du PNME 2007-2011, un programme de réalisation de logements à haute performance énergétique (HPE), dénommé ECO-BAT.

Ce programme est envisagé comme une opération pilote qui offre la possibilité de diffuser des pratiques conceptuelles réfléchies pour la gestion de l'utilisation de l'énergie au niveau national. Dans ce sens, une convention a été signée le 14 mai 2009 entre l'APRUE et 11 OPGI, au siège du ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, définissant les conditions et les modalités d'intégration des mesures d'efficacité au niveau des 600 logements pilotes répartis sur onze wilayas (départements) : Laghouat, Béchar, Blida, Tamanrasset, Alger (Hussein Dey), Djelfa, Sétif, Skikda, Mostaganem, Oran et El Oued.

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.

Les DTRC (Directives Thermique Réglementation C) initiés par le ministère de l'habitat et mises en œuvre par le CNERIB (Centre National d'Études et Recherches Intégrées du Bâtiment crée par décret n° 85-235 du 25 Août 1985 (Sakhraoui S, 2002).

II.4. Barrières et enjeu réglementaire

II.4.1. Barrières institutionnelles et politiques : Un certain nombre d'opérateurs institutionnels à travers le pays doivent participer au long processus d'élaboration d'une réglementation thermique des bâtiments. Les clés du succès sont une bonne planification administrative et une bonne connaissance de l'environnement institutionnel local. Il en ressort déjà clairement que l'application de politiques d'efficacité énergétique est difficile dans les pays développés, et elle l'est encore plus dans la majorité des pays en développement en raison de ressources insuffisantes et d'un manque d'experts pour effectuer les tâches de surveillance et de mise en œuvre nécessaires.

II.4.2. Barrières liées à l'information : Le manque de connaissances sur les méthodes, les outils et le potentiel des solutions liées à l'énergie limite considérablement la diffusion des pratiques et des comportements d'efficacité énergétique. De nombreuses possibilités d'économiser de l'énergie sont souvent négligées par les ménages et les propriétaires d'entreprises qui ne sont pas informés sur l'efficacité énergétique.

II.4.3. Barrières comportementales : Les actes de conscience individuels et collectifs influencent la façon dont les gens perçoivent leur environnement et leur mode de vie. En 2010, seuls 47 % des consommateurs connaissaient la quantité totale d'énergie qu'ils consommaient. A travers des campagnes de communication, les comportements « éco-citoyens » et les gestes simples, comme éteindre les appareils électroménagers la nuit, sont valorisés. Environ 850 kWh par foyer et par an, soit jusqu'à 18 % de la consommation électrique indiquée (hors chauffage ou eau chaude sanitaire). Les individus peuvent mieux modifier leur comportement en visualisant les données de consommation sur un écran et en comprenant la consommation théorique prise en compte dans le processus de conception du bâtiment.

II.4.4. Enjeu économique et industriel : Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments représente une énorme opportunité, notamment pour des entreprises comme Bouygues et Schneider Electric, qui investissent massivement dans des technologies de pointe et coûteuses. Les membres de l'équipe de construction doivent acquérir de nouvelles compétences. Selon l'Union européenne, 1,4 million de travailleurs supplémentaires devront acquérir ces compétences d'ici 2015.

II.4.5. Enjeu environnemental : 25% des émissions totales de GES du pays en France sont produites par le secteur du bâtiment. Conformément au protocole de Kyoto, l'Union

européenne s'est engagée à réduire ses émissions de GES de 8 % entre 2008 et 2012 par rapport aux niveaux de 1990. L'accord trouvé au niveau communautaire précise différentes initiatives de réduction selon les États et comporte un engagement de la France à stabiliser ses émissions de GES pour la période 2008-2012. Cet objectif pourrait être plus facilement atteint avec une efficacité énergétique accrue. Les marchés du carbone obligent les entreprises et les gouvernements à réduire leur impact environnemental.

<https://www.connaissancedesenergies.org/fichopedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

II.5. Consommation d'énergie

II.5.1. Consommation mondiale de l'énergie

En 2019, la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 1,3 %. Une diminution du double par rapport à l'augmentation de 2018 (2,8%), et inférieure à l'augmentation moyenne des dix années précédentes (1,6%). La majorité de la croissance est concentrée dans le gaz et les énergies renouvelables. [BP Statistical Review of World Energy 2020](#).

II.5.1.1. Consommation par produit

Le pétrole occupe la première place parmi les énergies les plus consommées, représentant 33,1% de la consommation mondiale. Son utilisation est principalement concentrée en Asie-Pacifique et en Amérique du Nord (60,3% de la consommation mondiale).

La deuxième place revient au charbon (27%) dont la consommation diminue dans les pays de l'OCDE mais augmente dans les pays émergents, notamment en Chine et en Indonésie.

Enfin, le gaz naturel (24,2%) occupe la troisième place et est le principal combustible dans la CEI et au Moyen-Orient. La consommation de gaz naturel a augmenté globalement de 2 % (BP, 2020) (voir Tab 05). [BP Statistical Review of World Energy 2020](#).

Tab.09 : Consommation des énergies primaires en 2019. Source: BP Statistical Review of World Energy 2020.

| Les ressources | Mix énergétique Monde - 2019 (en % de la consommation) | Mix énergétique Europe - 2019 Union européenne, UK, Suisse, Norvège, Ukraine et Turquie (en % de la consommation totale) | Mix énergétique France- 2019 (en % de la consommation totale) |
|----------------|--|--|---|
| | | | |

| | totale) | | |
|----------------------|---------|------|------|
| Hydraulique | 6,4 | 6,8 | 5,4 |
| Nucléaire | 4,3 | 9,9 | 36,8 |
| Gaz | 24,2 | 23,8 | 16,1 |
| Pétrole | 33,1 | 36,3 | 32,5 |
| Charbon | 27,0 | 13,5 | 2,8 |
| Autres renouvelables | 5,0 | 9,8 | 6,3 |

II.5.1.2. Consommation par secteur

Depuis la révolution industrielle, la consommation d'énergie ne cesse d'augmenter. La consommation finale énergétique mondiale progresse de 115 % entre 1973 et 2019 ; elle s'élève en 2019, selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), à 418 EJ, dont 19,7 % sous forme d'électricité ; depuis 1990, elle progresse un peu plus vite que la population. La répartition par secteur de cette consommation est : industrie 29 %, transports 29 %, résidentiel 21 %, tertiaire 8 %, agriculture et pêche 2 %, usages non énergétiques (chimie, etc.) 9 %. La part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie progresse rapidement : 13,3 % en 1990, 19,7 % en 2019 ; cette progression est particulièrement rapide dans les pays émergents.

Il n'est pas surprenant que les pays les plus peuplés consomment également le plus d'énergie : la Chine (18,5 % de la population mondiale), l'Inde (17,7 %) et les États-Unis (4,25 %).

La demande d'énergie par habitant augmente à mesure qu'une nation se développe.

En 1999, plus de 24 % de la population mondiale consommait plus de 75,7 gj/habitant (la consommation mondiale moyenne). En 2019, ce nombre est passé à 43 %.

En 2019, la Chine représente plus des trois quarts de la croissance mondiale. Mais ce pays ne se classe qu'au 42ème rang en termes de consommation d'énergie par habitant, loin derrière le Qatar, Singapour, et Trinidad et Tobago, le trio de tête. Les États-Unis sont classés 10ème.

Le tableau suivant montre bien ces différences de consommation par personne :

- Bien que les Américains soient quatre fois moins nombreux que les Africains, les États-Unis consomment plus par habitant que le continent.
- Bien qu'ils soient quatre fois plus nombreux que les Américains, les consommateurs chinois consomment trois fois moins que les Américains.
- Bien qu'ils soient deux fois plus nombreux que les Américains, les Européens consomment plus de deux fois moins d'énergie par personne.

Tab.10 : Consommation mondiale d'énergie primaire par habitant en 2019.

| Pays | % de la population mondiale | % de la consommation mondiale | % de la consommation par rapport à la consommation moyenne par habitant (75,7 gj) |
|------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Chine | 18,47 | 24,27 | 130,51 |
| Inde | 17,70 | 5,83 | 32,89 |
| Afrique | 17,2 | 3,40 | 20,07 |
| Europe | 9,59 | 14,36 | 163,27 |
| Etats-Unis | 4,25 | 16,21 | 379,92 |

Quand on regarde la consommation par personne, il est clair que le niveau de développement et les conditions de vie du pays ont un impact significatif. Les modes de vie dans les pays développés continuent de changer : moins d'argent est dépensé pour le logement et la nourriture, mais plus pour les transports, les loisirs et d'autres domaines souvent très énergivores. (Banque mondiale)

Plus de consommation équivaut à plus d'énergie utilisée, plus d'émissions de CO₂, plus de déchets et plus de pollution. Puisque la consommation est en partie responsable de la dégradation de l'environnement, les individus comme les gouvernements doivent assumer la responsabilité de leurs actes. Les citoyens peuvent modifier leurs habitudes de consommation et les gouvernements peuvent agir en adoptant des lois favorisant la transition énergétique, luttant contre l'obsolescence des objets programmables et modifiant le mix énergétique. Source : L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (*Ademe*).

La consommation énergétique mondiale est dominée par les combustibles fossiles que sont le pétrole, le charbon et le gaz. En 2013 leur part dans le mix énergétique mondial a atteint 87% ; dont 33M de pétrole, 24 de gaz et 30% de charbon. Selon l'Agence Internationale de l'Energie [2], les ressources fossiles constitueront encore dans les 30 prochaines années l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial et continueront de surmonter le secteur de l'énergie.

II.5.2. Consommation nationale d'énergie

II.5.2.1. Consommation nationale par produit

Alors que les hydrocarbures représentent à eux seuls 60% des recettes budgétaires et 98% des recettes d'exportation, le secteur de l'énergie en Algérie occupe une place majeure dans l'économie du pays.

En 2021, l'Algérie sera le 17^{ème} producteur mondial de pétrole brut, le 10^{ème} producteur de gaz naturel et le 7^{ème} exportateur de gaz naturel. Les réserves de pétrole de l'Algérie sont classées au 15^{ème} rang mondial et les réserves de gaz naturel au 13^{ème} rang mondial.

Plus de 99 % de l'énergie utilisée pour la production et la consommation, y compris l'électricité, provient des hydrocarbures. Le pourcentage d'électricité dans la consommation totale d'énergie en 2019 est de 12,3 %.

Cependant, le gouvernement algérien commence à réfléchir à des solutions respectueuses de l'environnement en finançant les énergies renouvelables.

Selon le PENREE (Programme Algérien pour le Développement des Energies Renouvelables et l'Efficacité Energétique) de 2012, l'Algérie visait à disposer de 22 000 MW d'électricité renouvelable installée d'ici 2030. Cependant, des résultats très mineurs ont été obtenus sept ans après ce plan : en 2021, le solaire l'énergie ne produisait que 0,8 % et l'éthane 0,1 % de l'électricité nationale, respectivement.

Tab.11 : l'évolution de la production, la consommation, l'exportation de l'énergie et les Émissions de CO₂ pour la période allant de 1990 à 2019. Source : Agence internationale de l'énergie.

| Énergie en Algérie | | | | | | |
|--------------------|------------|--------------------------|------------|---------------|---------------------|------------------------------|
| | Population | Consom. Énergie primaire | Production | Export. nette | Consom. électricité | Émissions de CO ₂ |
| Année | Millions | PJ | PJ | PJ | TWh | Mt CO ₂ éq |
| 1990 | 25,91 | 929 | 4 192 | 3 238 | 13,69 | 51,16 |

| | | | | | | |
|----------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 2000 | 31,18 | 1 130 | 5 955 | 4 814 | 21,21 | 61,49 |
| 2010 | 36,04 | 1 744 | 6 463 | 4 676 | 36,58 | 95,77 |
| 2015 | 39,7 | 2 346 | 6 120 | 3 787 | 57,57 | 130,4 |
| 2016 | 40,6 | 2 327 | 6 565 | 4 212 | 60,06 | 127,6 |
| 2017 | 41,3 | 2 395 | 6 542 | 4 110 | 64,81 | 130,5 |
| 2018 | 42,2 | 2 552 | 6 512 | 3 923 | 66,7 | 130,5 |
| 2019 | 43,1 | 2 637 | 6 213 | 3 555 | 71,5 | 142,4 |
| variation 1990- 2019 | +66 % | +184 % | +48 % | +10 % | +422 % | +178 % |

La production de l'énergie en Algérie atteint le niveau de 4 192 PJ en 1990 et de 6 213 PJ en 2019 soit un taux de croissance de 48 %. Cette augmentation est due principalement à la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel⁶.

II.5.2.2. La répartition de consommation par secteur

La répartition de la consommation d'énergie par industrie montre que le taux de consommation des bâtiments est très élevé. En général, ce taux varie de 30 à 40 %

En Algérie et selon le bilan énergétique de l'année 2017, édité par le ministère de l'énergie en 2018, le secteur résidentiel des ménages représente un taux de 44.4% contre 33.3% pour le transport, 22.3% pour l'industrie et BTP. L'évolution définitive de la consommation énergétique en 2017 montre que la consommation des ménages résidentiels de 1 % par rapport à l'année 2016⁷. Malheureusement, l'augmentation de la consommation d'énergie, notamment d'électricité, fragilise le système énergétique et la sécurité et sociale du pays⁸.

⁶ Site ministère de l'énergie et des mines

⁷(2019,mai30).[Online].Available:http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2017/Bilans_et_statistiques_du_secteur/BilnEnergétique/Bilan_Energetique_National_2017_edition_2018.pdf.

⁸ Statistiques des ventes d'électricité et de gaz dans l'Habitat Résidentiel en Ouargla, Direction de Distribution de l'électricité et du gaz Ouargla, 2018.

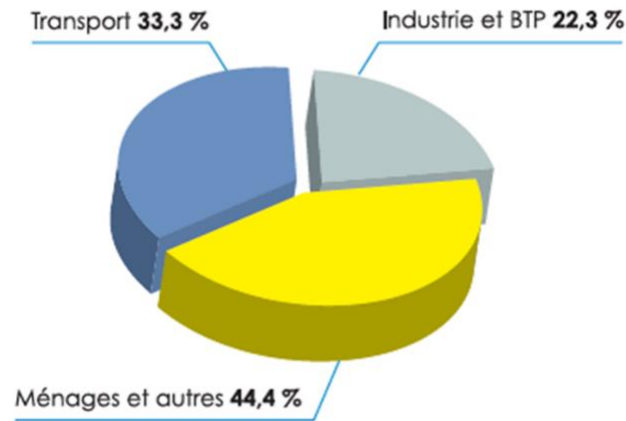


Fig.26. Structure de la consommation finale par secteur. Source : Le bilan énergétique national. Algérie (2017).

II.6. Aperçu historique sur l'architecture solaire

La question de l'afflux des rayons solaires dans l'environnement humain dont l'architecture et l'urbanisme ne font pas exception, occupe depuis longtemps une place notable du discours de la production des villes ; dont l'hygiène urbaine exige des conditions nécessaires et favorables à la vie biologique de l'homme dans son environnement. La longue histoire des villes et des agglomérations dépassant les 10000 ans raconte le privilège d'estimer le soleil, depuis l'antiquité. Elle fut soulignée par Aristote vu son rôle polyvalent ; et son importance vitale.

II.6.1. L'époque antique : la ville vernaculaire

Les croyances religieuses liées au soleil ont beaucoup influencé l'architecture et l'urbanisme des villes antiques, le temple égyptien Karnak, situé sur la rive orientale du Nil, connu comme le temple du solstice solaire ; est implanté en fonction du mouvement du soleil (M. Boubekri, 2008).

Les Romains avaient aussi orienté les plans des villes qu'ils ont fondées, leurs camps et leurs centuriations d'après la direction du soleil levant en vertu d'une vieille tradition religieuse héritée des Etrusques. La fondation de la ville romaine s'opère sur l'idée de la détermination de la direction du decumanus maximus d'après le lever du soleil au jour de la fondation (Joël Le Gall, 1975).

Villes solaires conçues de la Grèce antique, la plupart des gens ont entendu parler de Socrate, l'écrivain et philosophe grec classique (469 - 399 avant JC), mais peu sont au courant qu'il était également responsable de la première ville solaire conçue en Grèce.

Socrate s'est rendu compte que si les maisons étaient construites en pensant au soleil, elles seraient beaucoup plus chaudes en hiver et maison beaucoup plus fraîche en été. Il était tellement déterminé à mettre cette idée en pratique qu'il a mis sur pied une classe pour étudiants les subtilités de la création d'une maison solaire passive.

La nouvelle de l'idée de Socrate a commencé à se répandre dans le monde grec. Le premier a été la rénovation de deux maisons Athènes où les ouvriers ont changé la disposition des pièces pour que les plus importantes soient face à une cour plein sud. Puis vint la restructuration des maisons dans les zones rurales d'Athènes, et finalement, les urbanistes commencèrent à prendre garde et une ville solaire entière a été construite- la ville d'Olynthus dans le nord de la Grèce, où chaque maison face au sud.

Après Olynthus, d'autres villes ont suivi, et finalement la conception architecturale de Socrate a été mise en œuvre jusqu'à présent loin comme la Bulgarie centrale. Les villes solaires sont devenues la norme et le « choix moderne » et celles qui n'avaient pas l'intelligence pour construire leurs maisons de cette manière était considérée comme primitive. Source : <https://www.ancient-origins.net/news-history-archaeology/solar-designed-cities-ancient-greece-001120> (consulté le 28/12/2019).



Fig.27 : Ville solaire conçue de la Grèce antique. Source : John Perlin.

D'après [Joël Le Gall \(1975\)](#), la civilisation chinoise en a connu une théorie de ce genre qui lui ressemblait beaucoup : “les capitales impériales chinoises avaient un plan en damier, strictement orienté, qui était censé refléter sur le plan terrestre l'organisation idéale du

cosmos. L'axe principal était matérialisé par une voie nord-sud, dite "du Moineau rouge", qui conduisait au palais impérial". Pour beaucoup de ces communautés, le soleil était la principale source de chauffage et une source essentielle de confort et de bien-être (M. Boubekri, 2008).

II.6.2. L'époque moderne : la révolution industrielle

Vers la fin du 19^{ème} siècle l'Europe a connu d'énorme bouleversement au niveau de tous les secteurs. Un développement important des matériaux, des techniques et des moyens de construction, C'est là où commencé la révolution industrielle, à ce moment-là l'exode rural vers les villes cherchant un travail auprès des usines. Ceci a aggravé la demande de logements et à pousser les familles à s'entasser dans une seule pièce, ce qui a conduit à la forte densité et par conséquent une ville malsaine souffrant de maladies, des épidémies à cause de la mauvaise aération, le manque de lumière et d'ensoleillement. Le problème de la maîtrise du rayonnement solaire pour l'accommoder aux besoins de lumière et de chaleur dans les bâtiments et dans les villes occupe une partie notable des discours des architectes, médecins et ingénieurs à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle.

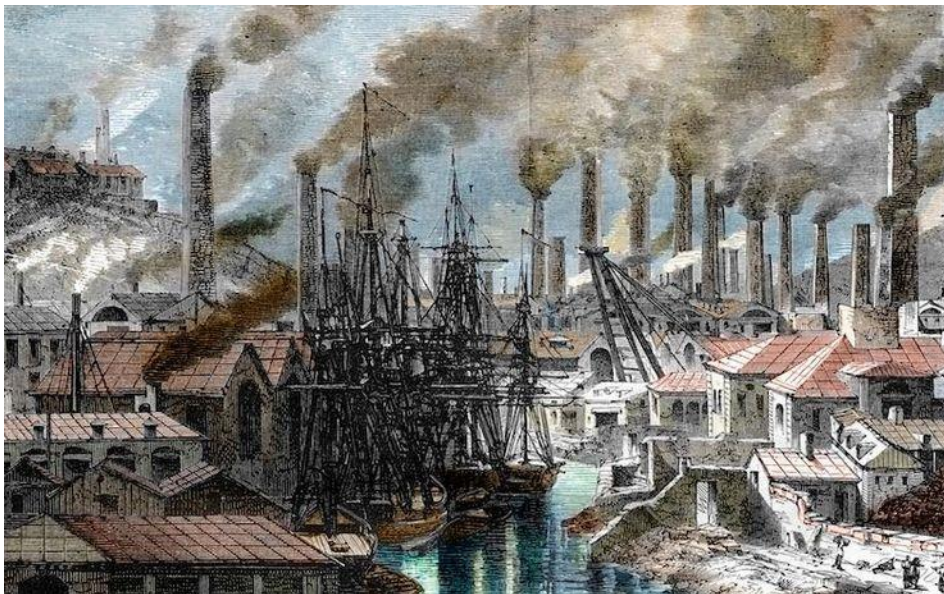


Fig.28 : Révolution industrielle : Pollution des usines de cuivre dans les Cornouailles, Angleterre.

Source : <https://www.bridgemanimages.com/en/unknown-artist/industrial-revolution-overview-of-mr-vivian-s-copper-factory-in-swanssea-wales-engraving-of-the-19th/engraving/asset/4611232>

II.6.3. Mouvement hygiénistes

Les premières interventions des architectes concernant le problème de la salubrité ont lieu dans les « sanatoriums ». Au cours du XVIII^e siècle, les nouveaux hôpitaux sont appelés à devenir des miniatures de la cité hygiénique (ETLIN, 1977).

Leurs bâtiments doivent être isolés, bien ventilés et chauffés, de manière à assurer à leurs résidents un air salubre (doté d'une fonction thérapeutique). La sécheresse, la pureté de l'air, des conditions favorables d'ensoleillement, de luminosité et surtout le climat de montagne, sont considérés, en plus de la cure diététique, comme les facteurs principaux de guérison et essentiellement de la tuberculose pulmonaire (HARZELLAH, 2008).



Fig.29 : Pavillons de l'hôpital Boucicaut. (Côté rue Lacordaire) - Paris XV. Source : Wikimedia.

II.6.4. L'époque contemporaine : la ville durable

À la suite du choc pétrolier qu'a connu le monde en 1973, et face à une dépendance énergétique inévitable, la hausse de la démographie et une consommation croissante de ressources limitées, une crise énergétique mondiale s'est produite. Les spécialistes trouvent comme solution alternative, qu'il est temps de faire recours aux énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse, marées), qui sont présentes partout, et inépuisables grâce aux cycles naturels. Dans le contexte actuel de dépendance énergétique aux activités humaines un modèle de la planification urbaine plus durable est nécessaire, capable de fournir des solutions différentes pour le développement urbain et de prendre en compte l'énergie solaire.

D.Siret et al. (2006) trouve que la ville durable fournit à ses habitants un soleil nourricier "viable", c'est-à-dire susceptible d'atténuer l'épuisement des ressources énergétiques fossiles terrestres, "vivable", contrôlé dans ses excès, et "équitable", pour que chacun puisse en profiter à sa guise. Les nouvelles villes solaires avec les dispositifs qui animent les façades des bâtiments contemporains (doubles peaux, panneaux photovoltaïques, écrans pare-soleil) témoignent clairement de ce renouveau.

L'architecture et l'urbanisme solaire offrent donc des solutions et des réponses aux soucis environnementaux, à travers les principes de conceptions solaires passives et actives qui s'adaptent au climat et des nouvelles technologies solaires employées.



Fig.30 : Exemple d'une ville durable. Source : La ville durable _ contexte, enjeux et perspectives - Dunya-Ethic.html ,2020.

II.7. L'énergie renouvelable et son utilisation en architecture

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain⁹. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO₂, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles¹⁰.

Les principales énergies renouvelables sont :

- L'énergie biomasse.
- L'énergie hydraulique.
- L'énergie éolienne.
- La géothermie.
- L'énergie solaire.

⁹ ROBERT Jérôme" FABAS Laurent, Guide de la maison économe", Edition Eyrolle, Paris 2008.

¹⁰ CHABANI Zeyneb" La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030" Mémoire de magister, Université M'hamed Bougara-Boumerdes. 2014.

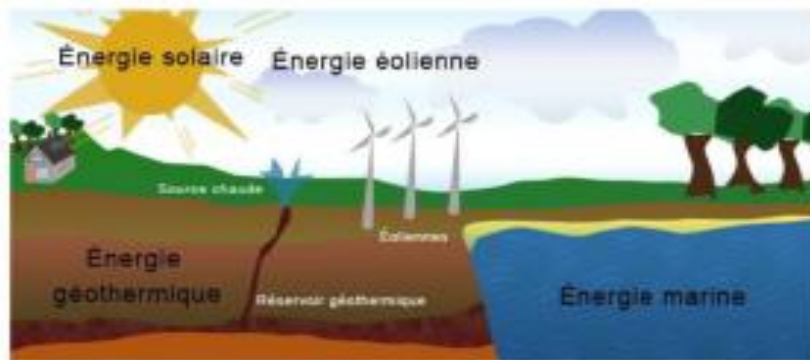


Fig.31 : Les principales types des énergies renouvelables. Source. FEDDAOUI, 2014

II.7.1. L'énergie solaire

Le soleil bien que distant de 150 millions de kilomètres de notre planète assure la plus grande source d'énergie, les réactions nucléaires qui ont lieu dans le soleil entretiennent et renouvellent en permanence cette source d'énergie.

L'énergie solaire peut, ou bien être convertie en chaleur, ou bien en électricité, l'exploitation de cette énergie peut se faire de manière thermique, thermodynamique ou photovoltaïque.

L'énergie solaire passive peut être divisée en trois catégories : gain direct, gain indirect (mur de trombe), et espace solaire (gains isolés).

L'intégration de l'énergie solaire à l'architecture sous-tend des dimensions environnementales, économiques, sociales et d'autre plus proprement architecturales, relatives aux ambiances physiques. Sur le plan environnemental, l'intégration est durable, efficace et propre, puisque l'énergie solaire est utilisée directement sur place (ne nécessite aucun transport, donc aucun pétrole) et est renouvelable (Suzuki et Boyd, 2008).

II.7.2. L'architecture solaire

L'architecture solaire consiste à utiliser la conception architecturale pour tirer profit de l'énergie solaire dans le but de réduire la consommation d'énergie produite hors site, tout ceci sans compromettre la qualité architecturale. D'après les ingénieurs Michael Kuehn et Dirk Mattner (2003), le but principal de l'architecture solaire est de concevoir des bâtiments offrant un confort optimal, à la fois en été et en hiver, en consommant le moins d'énergie possible. De plus nous avons le choix entre deux systèmes d'utilisation tel que :

Utilisation directe : par l'intégration des principes de l'architecture bioclimatique qui est à elle seule permet de faire beaucoup d'économie vis-à-vis de l'énergie systèmes passif.

Le solaire passif : L'utilisation directe du rayonnement solaire en architecture comme source de chaleur, communément appelée « solaire passif », est probablement la forme d'architecture solaire la plus simple et la plus efficace (Hegger, 2003). On parle de simplicité et d'efficacité puisque ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire. Le solaire passif consiste à profiter directement du rayonnement solaire en optimisant la volumétrie du bâtiment, son orientation et les matériaux utilisés. Les gains solaires obtenus contribuent ainsi au chauffage des espaces (Goetzberger et Schmid, 1985 ; International Energy Agency, 2009). Bien que les gains thermiques soient recherchés en saison froide, il faut aussi que le bâtiment soit en mesure de les minimiser en saison chaude sans avoir recours aux systèmes mécaniques du bâtiment.

Utilisation indirecte : comme le solaire thermique pour l'eau chaud sanitaire et pour le chauffage, et le solaire photovoltaïque pour la production de l'électricité système actif, surtout que notre pays possède un grand potentiel de taux d'ensoleillement parmi les plus élevés au monde, allant de 1.700 kWh par mètre carré dans le nord à 2.650 kWh dans le sud. L'exploitation de cette énergie reste très timide.

Le solaire actif : Les systèmes solaires actifs captent le rayonnement solaire et le transforment pour l'utiliser sous une autre forme ou dans un autre endroit. On compte deux types d'utilisation indirecte de l'énergie solaire : le solaire thermique et photovoltaïque (Hasting et Wall, 2007a). Dans le premier cas, des collecteurs transforment le rayonnement en chaleur et dans le second cas, ils l'utilisent pour générer de l'électricité. Tout comme pour l'utilisation directe, l'efficacité des systèmes actifs varie considérablement en fonction de la localisation du site ainsi que de leur orientation et inclinaison propres (Krippner, 2003; Roberts et Guariento, 2009). L'utilisation de systèmes solaires actifs permet d'améliorer le bilan énergétique de l'édifice et ainsi réduire la dépendance aux sources d'énergie non renouvelable.

II.8. La conception solaire

L'analyse du site est impérative. Le contexte environnemental du projet influence grandement l'énergie qu'un bâtiment utilise (Brown, 2001). L'étude climatique du site permet de déterminer quelles zones du terrain sont les plus exposées au rayonnement solaire et à quelles périodes. La compréhension du contexte paysager, bâti et climatique permet au concepteur de bien orienter le futur édifice et d'adapter sa volumétrie aux besoins fonctionnels et énergétiques du projet. De plus, l'analyse du site permet aussi de déterminer

sommairement quelles surfaces du projet seront les plus adaptées à recevoir des systèmes solaires actifs.

II.8.1. Les outils et méthodes de conception solaire

Afin de réaliser une architecture solaire de qualité, il est indispensable que les outils et méthodes de travail des architectes soient adaptés aux nouvelles données à considérer. En plus d'appuyer la prise de décision, un outil adapté à la conception solaire peut permettre d'en démontrer la pertinence aux clients, d'accélérer le processus et de soutenir la collaboration entre les différents intervenants, Les méthodes et les outils vus dans cette section concernent les trois volets suivants (Bouffard, 2013) :

II.8.1.1. L'éclairage naturel

1-Une règle du pouce fondamentale est l'orientation du vitrage par rapport au rayonnement solaire (Neufert 2002).

2-Une autre règle du pouce est la profondeur d'une pièce par rapport à la hauteur de sa fenestration, selon le guide des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2002).

3-La règle du pouce suivante concerne le facteur de réflexion des matériaux d'une pièce qui, selon l'IESNA, devrait être de 80% pour les plafonds, 50-70% pour les murs, 20-40% pour les planchers et 25-45% pour les meubles (IESNA; Lechner, 2001).

4-Une autre façon d'analyser l'éclairage naturel, avec plus de précision, est d'utiliser le facteur lumière du jour (FLJ), qui représente un rapport d'éclairements (Trezenga et Loe, 1988).

5-Enfin, une autre règle du pouce concerne les rapports de luminance. La luminance est le rapport de l'intensité émise dans une direction à la surface apparente de l'élément vu de cette direction. Elle se mesure en cd/m² (Roulet, 1987).

6-Des outils graphiques sont également disponibles pour la conception. Il s'agit, en l'occurrence, de projections stéréographiques et orthographiques utiles pour identifier les angles solaires, les périodes de l'année et les heures dans la journée où le rayonnement est propice à la surchauffe, etc (Brown et DeKay, 2001).

7-S'ajoutant aux méthodes et aux outils solaires concernant l'éclairage naturel, l'héliodon demeure un outil toujours utilisé pour visualiser l'ensoleillement et l'ombrage selon une latitude, une date et une heure choisies.

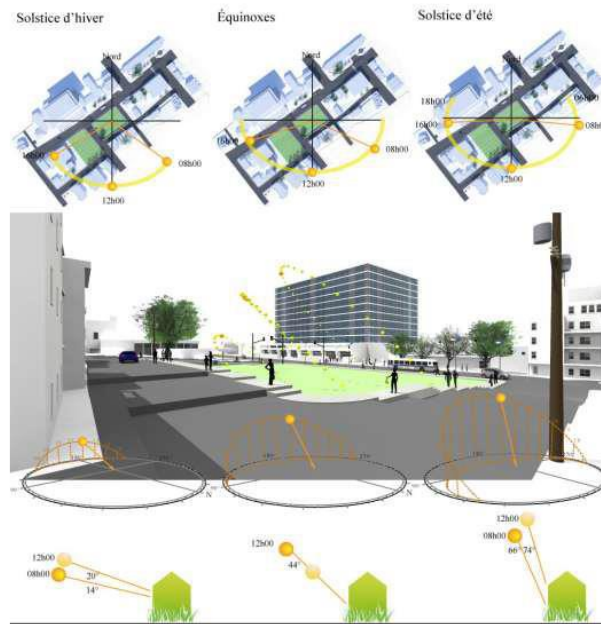


Fig.32. Utilisation de projections stéréographiques et orthographiques. Source :Émilie Bouffard.

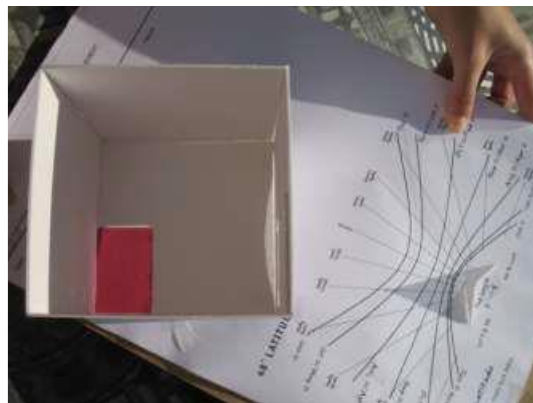


Fig.33. Utilisation d'un héliodion à l'extérieur. Source :Émilie Bouffard.

II.8.1.2. La production de chaleur utile

Deux règles du pouce sont présentées pour le présent volet. La première concerne l'orientation optimale pour optimiser le chauffage solaire passif. Pour une captation maximale de rayonnement solaire en hiver, elle se situe au sud (plus ou moins 30°) puisque cette orientation reçoit plus d'énergie en hiver qu'en été. En effet, selon [Robertson et Athienitis \(2010\)](#), les écarts jusqu'à 30° du sud réduisent les gains solaires de 12 %, ce qui demeure acceptable. La deuxième règle du pouce concerne le dimensionnement de panneaux solaires thermiques pour l'eau chaude domestique selon [Brown et DeKay \(2001\)](#).

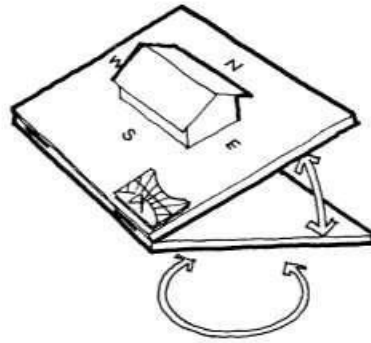


Fig.34. Positionnement de l'héliodon. Source : (Moore, 1985).

II.8.1.3. La production d'électricité

1-Encore ici, deux règles du pouce sont présentées concernant la production d'électricité. La première règle du pouce concerne le solaire actif photovoltaïque avec une image qui aide à approximer la productivité d'énergie possible selon une orientation et une inclinaison donnée.

2-La deuxième règle du pouce explique comment calculer le rendement énergétique d'un panneau solaire en utilisant un calcul simple (Probst *et al.* 2012).

II.8.1.4. Architecture solaire passive

Est une excellente technique pour la conception de bâtiments économes en énergie dans les régions froides. Cette approche souligne l'importance d'optimiser l'orientation et l'aménagement du bâtiment, ainsi que l'utilisation de verre et d'isolation thermique à haute performance, pour maximiser le gain solaire et minimiser les pertes de chaleur. De plus, l'utilisation de la masse thermique pour stocker la chaleur solaire pendant la journée et la restituer la nuit, ainsi que la mise en œuvre de systèmes de ventilation naturelle pour améliorer encore l'efficacité énergétique (Sapci *et al.*, 2021. Wei, J *et al.*, 2022).

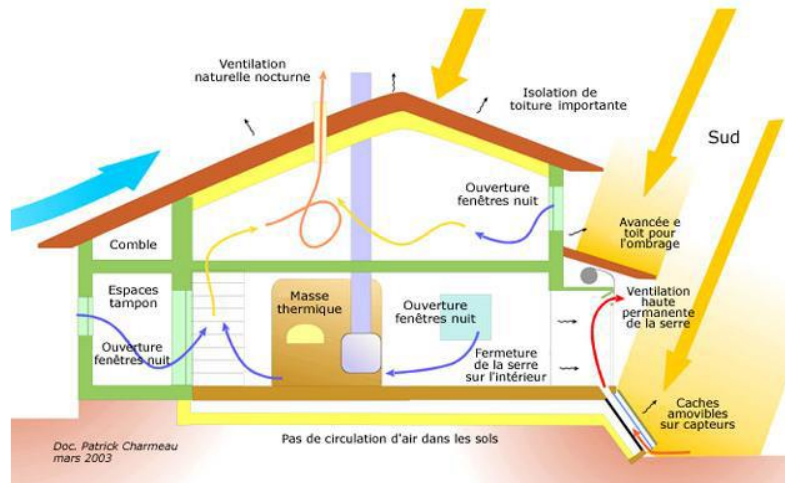


Fig.35 : Maison bioclimatique. Source : Doc.Patrick charneau mars 2003
II.8.1.5. Énergie solaire et architecture

Afin d'accélérer le développement du solaire en architecture, un projet de l'International Energy Agency (IEA) a été mis sur pied en 2009. Ce projet de recherche intitulé « Task 41 : Solar Energy and Architecture » s'inscrit dans le cadre du Solar Heating and Cooling Programme (SHC) de l'IEA. L'équipe de chercheurs impliqués dans ce projet inclut des experts de quatorze pays : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée du Sud, le Danemark, l'Espagne, la France, l'Italie, la Norvège, le Portugal, la Suède et la Suisse. Deux principaux objectifs sont poursuivis par cette tâche. Le premier consiste à soutenir le développement de bâtiments de haute qualité architecturale intégrant des systèmes solaires. Le second est d'améliorer la qualification des architectes dans ce domaine, ainsi que leur capacité de communication avec les ingénieurs, fabricants et clients.

II.8.2. Le concept de Maison Passive

Bo Adamson et Wolfgang Feist ont d'abord proposé le concept de "maison passive" en 1988. En 1991, à Darmstadt, en Allemagne, la première maison passive au monde a été construite.

En général, les « maisons passives » sont des bâtiments qui ne dépendent pas du chauffage traditionnel et de la climatisation active pour maintenir le confort thermique intérieur en été et en hiver (Feist 2014). Ces bâtiments ont été construits dans les pays germanophones à l'origine. Au fil du temps, un nombre croissant de pays ont investi dans la recherche et la construction de maisons passives.

Schneider *et al.* ont analysé la consommation d'énergie du chauffage des locaux dans de nombreuses maisons passives qui ont été construites dans cinq pays européens dans le

cadre d'un programme nommé le projet européen CEPHEUS. Les résultats de l'étude sur les concepts de maisons passives ont été jugés raisonnables pour les occupants du fait que ces bâtiments ont une faible consommation d'énergie et que la température reste à un niveau optimal. Ces excellents résultats ont démontré que les concepts de maison passive peuvent être mis en œuvre dans les maisons d'habitation neuves.

II.8.3. La conception passive

La conception passive » est une approche de la conception des bâtiments qui utilise l'architecture du bâtiment pour minimiser la consommation d'énergie et améliorer le confort thermique. La forme du bâtiment et les performances thermiques des éléments de construction (y compris l'architecture, la structure, l'enveloppe et la mécanique passive) sont soigneusement étudiés et optimisés pour l'interaction avec le microclimat local. La vision ultime de la conception passive est d'éliminer complètement les besoins en systèmes mécaniques actifs (et la consommation d'énergie associée à base de combustibles fossiles) et de maintenir le confort des occupants à tout moment.

Pour mettre en œuvre avec succès l'approche de conception passive, il faut d'abord accomplir ce qui suit :

- Comprendre et définir les critères de confort thermique acceptables.
- Comprendre et rechercher le climat local, de préférence avec des données spécifiques au site.
- Comprendre et établir des objectifs de performance énergétique clairs, réalistes et mesurables.

II.8.4. Conception des techniques passives

Chaque maison solaire comporte 5 éléments indispensables.

1-Collecteur : les fenêtres

2-Absorbeur : les surfaces

3-masse thermique : mur de maçonnerie ; plancher ; matériaux changement de phase

4-Distributeur : conduction ; convection ; radiation

5-Contrôleur : toitures

Types de base de conception passive

Gains directs les 5 éléments travail ensembles

Gains indirect mur trombe

Gain isolé espace solaire

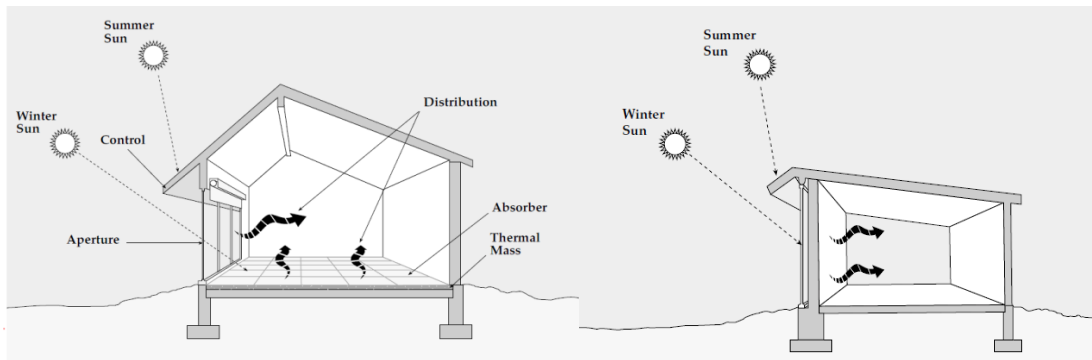


Fig.36. A. Gain direct (à gauche) ,B. Mur Trombe (à droite).

II.9. Energie et construction passive en Algérie

II.9.1. Les énergies renouvelables en Algérie

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (ENR). Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable¹¹.

Le programme des ENR en Algérie

Ce programme est développé en cinq chapitres :

1. Les capacités à installer par domaine d'activité énergétique ;
2. Le programme d'efficacité énergétique ;
3. La recherche et développement ;
4. les mesures incitatives et réglementaires ;
5. Les capacités industrielles à développer pour accompagner le programme.

Le programme inclut la réalisation, d'ici 2020, d'une soixantaine de centrales solaires Photovoltaïques et solaires thermiques, de fermes éoliennes et de centrales hybrides.

Les projets ENR de production d'électricité dédient au marché national

¹¹ Site officiel de ministère de l'énergie et des mines

Les projets ENR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en trois étapes :

1- une première étape, entre 2011 et 2013, sera consacrée à la réalisation de projets pilotes pour tester les différentes technologies disponibles ;

2- la seconde étape, en 2014 et 2015, sera marquée par le début du déploiement du programme.

3- la dernière étape, de 2016 à 2020, sera celle du déploiement à grande échelle.

Ces étapes consacrent la stratégie de l'Algérie qui vise à développer une véritable industrie du solaire associée à un programme de formation et de capitalisation qui permettra, à terme, d'employer le génie local algérien et d'asseoir un savoir-faire efficient, notamment en matière d'engineering et de management de projets.

Parmi les grands projets prévus en Algérie avec la coopération avec des entreprises étrangères, le DESERTEC.

L'Algérie, dont le territoire offre le plus grand potentiel solaire s'inscrit comme un élément central dans ce dispositif énergétique dans lequel des pays, notamment l'Allemagne et la France ont pris des options avec le projet DESERTEC pour les premiers et TRANSGREEN pour les seconds entre les entreprises et les différents centres de recherches dans le monde.

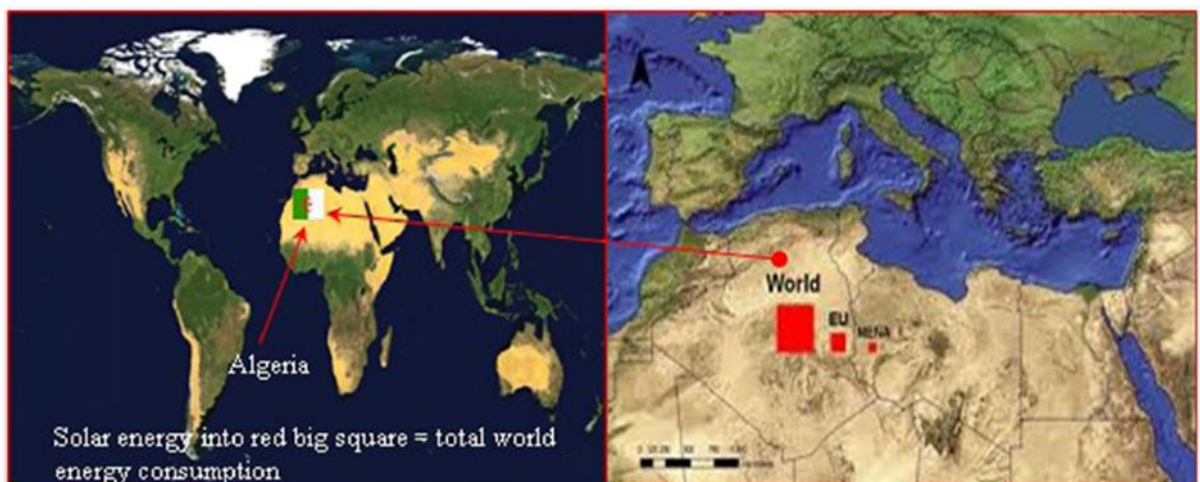


Fig.37 : Potentialité de l'énergie solaire en Algérie par rapport à la consommation énergétique mondiale. Source : Stambouli, 2012.

Ce tableau montre le manque des centres de recherches dans les énergies renouvelables surtout à l'ouest du pays.

Tab.12. Récapitulatif des centres des énergies renouvelable en Algérie

| Désignation | Statut | Siège | Programme de recherche |
|---|---------|----------|------------------------|
| Centre de développement des énergies renouvelable (CDER) | E.P.S.T | Alger | Energie renouvelable |
| Unité de développement des équipements solaire (UDES) | Unité | Alger | Energie renouvelable |
| Unité de recherche appliquée en énergie renouvelable (URAER) | Unité | Ghardaïa | Energie renouvelable |
| Station d'expérimentation des équipements solaires en milieu saharien (SEES/MS) | Unité | Adrar | Energie solaire |

II.9.2. Exemple des constructions passives en Algérie

La consommation énergétique des bâtiments en Algérie est estimée à 40%, et dans ce cadre, le gouvernement algérien compte créer 3 000 logements éco-logements et rénover thermiquement 4 000 autres logements existants, ainsi que 20 logements pour le secteur tertiaire (audit énergétique) dans le cadre du programme quinquennal 2010/2014.

Pour combiner des pratiques optimisées, un projet pilote a été mis en place à Souïdania, favorisant l'utilisation de matériaux locaux et de sources d'énergie alternatives... Le projet pilote MED-ENEC à Souïdania vise à réunir ces conditions, de la phase de construction à la phase d'exploitation. (Figure 38)

Les résultats du projet ont démontré une réduction de 56 % de la consommation énergétique du bâtiment, tout en mettant également en avant des techniques de construction traditionnelles, souvent optimisées sur le plan énergétique. Ainsi, l'utilisation de briques cuites (briques de terre sèche), l'éclairage naturel, l'orientation optimale du bâtiment ou encore la ventilation naturelle en été ont permis d'allier les aspects culturels, écologiques et économiques.

La durée de rentabilité du projet est estimée à 86 ans en raison de surcoûts de plus de 40% (plus de 300 000 DA).



Fig.38 : Une maison pilote bioclimatique à Souidania (Alger). Source : Hamidat, 2016

Le village solaire Ain Haneche ,Boussaâdaet un prototype conçu et fabriqué par le Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (Cnerib) en collaboration avec le CDER (Centre de développement des énergies renouvelables).Figure 39



Fig.39.Un prototype du village solaire Ain Haneche (Boussaâda). Source : oueldzmirli,2016

Le Kasr Tafilelt situé à Beni Isguen, dans la wilaya de Ghardaïa. L'association Amidoul chargée de mettre en œuvre ce projet utopique devenu réalité participe en présentant une maison typique construite en pierre.



Fig.40. Maison Type Ksar Tafillelt (Ghardaïa). Source : <http://portail.cder.dz/spip.php?article5562>

La ville idéale serait face au projet immobilier El Ryad à Oran livré par le groupe Sahraoui en 2013.. Situé à l'est de la ville côtière, l'ensemble résidentiel comprend près de 2 000 maisons et privilégie « l'espace vert, le confort » et le sentiment d'être en sécurité qu'il apporte aux acheteurs.

CONCLUSION

Nous avons exposé dans ce premier chapitre les définitions des concepts ayant un rapport avec le développement durable et la maîtrise d'énergie dans le secteur de bâtiment, dans l'optique de faire découvrir l'envergure de la position de l'efficacité énergétique dans les politiques nationales des pays développés et pays en voie de développement. Pour ces pays, l'efficacité énergétique représente une échappatoire : diminuer la dépendance envers le pétrole, supprimer les subventions des prix de l'électricité et du carburant et ainsi allouer davantage de ressources à des budgets prioritaires tels que la santé, l'éducation ou l'agriculture.

Ensuite, nous avons présenté les différents instruments de la politique d'efficacité énergétique déployés dans le secteur de bâtiments, à savoir, les instruments institutionnels, les instruments législatives et réglementaires, les instruments financiers et incitatifs, les instruments d'accompagnement et informatifs, et les instruments public-privé. Ce sont des mesures adoptées par l'Etat, dans le but de conduire les acteurs individuels et collectifs à prendre des décisions et à mener des actions qui seront compatibles avec les objectifs de la politique de maîtrise d'énergie.

Indubitablement, le rôle de l'Etat est crucial dans l'application et la performance de la politique d'efficacité énergétique dans l'habitat. Sans une véritable présence aux plus hauts

niveaux de décision, et sans un véritable portage politique, une politique d'efficacité énergétique dans l'habitat ne peut s'avérer effective.

C'est une politique qui permet d'agir sur les acteurs à l'amont. Cependant, l'Etat doit être le moteur du changement en imposant des choix stricts en matière de réglementation, en proposant une structure institutionnelle adéquate et en communiquant massivement sur sa politique aux diverses parties prenantes afin de permettre un véritable changement du comportement durable, individuel et collectif. L'état doit employer des combinaisons de mesures représentant un scénario de rupture qui implique la levée de multiples barrières à la diffusion de la politique de maîtrise d'énergie, des obstacles d'ordre politique et institutionnel, économique, technique, informationnelle, comportemental, et culturel.

L'augmentation de la demande d'énergie est évaluable suivant diverses hypothèses, sa répartition géographique connue et les sources énergétiques identifiées. Un ensemble de voies est à explorer pour élaborer des solutions satisfaisantes à des degrés divers. Tous ces éléments significatifs renforcent l'urgence de la mise en œuvre de la notion de développement durable dans les activités humaines. La réflexion sur la maîtrise de l'énergie et sur la mise en œuvre d'énergies nouvelles renouvelables doit en permanence.

Ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économies d'énergie. Le règlement général de construction fixant les règles de performance énergétique des constructions a pour finalité de réduire les besoins en chauffage et en climatisation dans les bâtiments, d'améliorer le confort thermique des occupants.

L'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique.

« L'utilisation des stratégies passives assure le confort thermique pour les habitants, améliore la qualité de vie et sert à réduire la consommation énergétique. De plus en plus, la consommation des énergies ne cesse d'augmenter, beaucoup d'énergies utilisées sont des énergies polluantes...»

(Benayache., 2019)

Introduction

L'ambiance thermique intérieure est influencée par les éléments de l'enveloppe extérieure de bâtiment. Plusieurs facteurs peuvent entrer en jeu dans le maintien du confort thermique à l'intérieur d'un bâtiment. Pour être en mesure d'optimiser le confort thermique, il est nécessaire de savoir comment l'enveloppe du bâtiment réagit à l'environnement qui l'entoure. De façon plus globale, les conditions extérieures affectent en premier lieu l'enveloppe du bâtiment, viennent ensuite les conditions intérieures.

Dans la littérature, des solutions adéquates pour économiser l'énergie en assurant un niveau de confort thermique avec une réduction consommation d'énergie ont été développées sur la base des attributs des stratégies passives. Ce chapitre présente les principales études visant à évaluer l'effet des stratégies passives sur la réduction des besoins énergétiques du bâtiment et l'amélioration du confort thermique intérieur.

III.1. Effet des différentes stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique

III.1.1. Les matériaux

Les matériaux utilisés dans les enveloppes des bâtiments jouent un rôle important dans l'évolution du bâtiment vers la durabilité grâce à des façades éco énergétiques (Iharaet al, 2015). Les matériaux influencent également le confort thermique intérieur, pour un examen de l'effet des matériaux sur le confort thermique, (Latha et al., 2015) ont réalisé un review sur le rôle des matériaux sur le confort thermique dans le climat tropical.

Selon (Chelghoum et Belhamki, 2011) les matériaux de construction locale sont plus performants dans le climat aride à cause de leur conductivité et la diffusivité thermique. Ils sont exploités des matériaux nouveaux et traditionnels employés dans la construction à Tamanrasset pour l'étude expérimentale. Les résultats ont prouvé la haute qualité thermique des matériaux traditionnels.

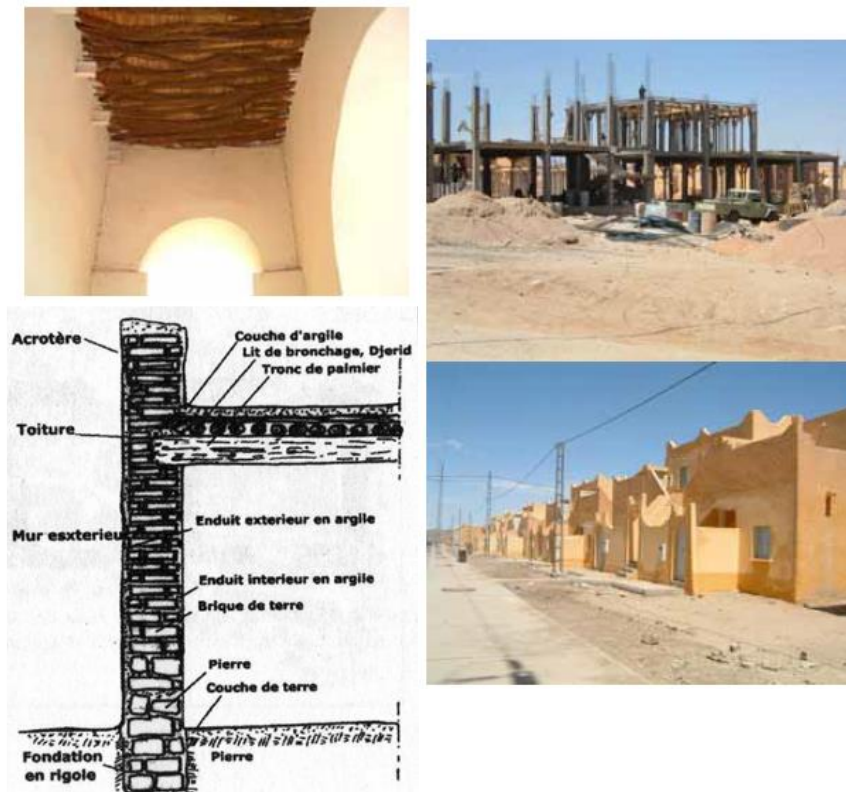


Fig.41. 42.43. 44 : Matériaux et système constructif traditionnel et contemporain dans la ville de Tamanrasset (Source : M. COTE 2006, Photo. Chelghoumet al., 2011).

OueldHenia (2002), a réalisé une thèse de doctorat sur choix climatiques et la construction sur l'optimisation de matériaux de construction à travers l'évaluation du confort thermique par le logiciel de simulation TRNSYS. Elle a exploité trois types de maisons (moderne –traditionnelle-prototype) se trouvant sur la ville de Bou Saada.

Le but étant de faire ressortir les points forts ainsi que les défaillances de chaque maison. Elle a confirmé que la maison moderne semble inadaptée au climat désertique et pour les deux autres maisons (prototype et traditionnelle), en été la maison traditionnelle reste de loin la plus efficace pour pallier le problème de chaleur ; cela prouve que l'inertie joue un grand rôle en été. En revanche, en hiver, le prototype est plus étanche au froid ; ceci est lié à l'isolation des murs.

III.1.2. PCM (matériau à changement de phase)

Le concept de matériaux à changement de phase (MCP) a fait l'objet d'investigations pour diverses applications. L'une des applications potentielles des MCP est dans les bâtiments en tant que matériaux de construction en raison de leur capacité à stocker et à libérer de la chaleur à une température relativement constante.

L'application de MCP dans les enveloppes de bâtiments vise à améliorer sa capacité de stockage thermique et donc à réduire la fluctuation de la température intérieure (Zhu *et al.*, 2009).

L'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP) permet également de limiter la consommation d'énergie dans les bâtiments. Des résultats de simulation prometteurs ont été obtenus par Ghedamsiet *al.*, 2014 en utilisant le MCP, la concentration optimale de 15% pour toutes les orientations de paroi présente une réduction significative des fluctuations de température sur la surface intérieure par rapport au mur sans MCP (voir Fig.45).

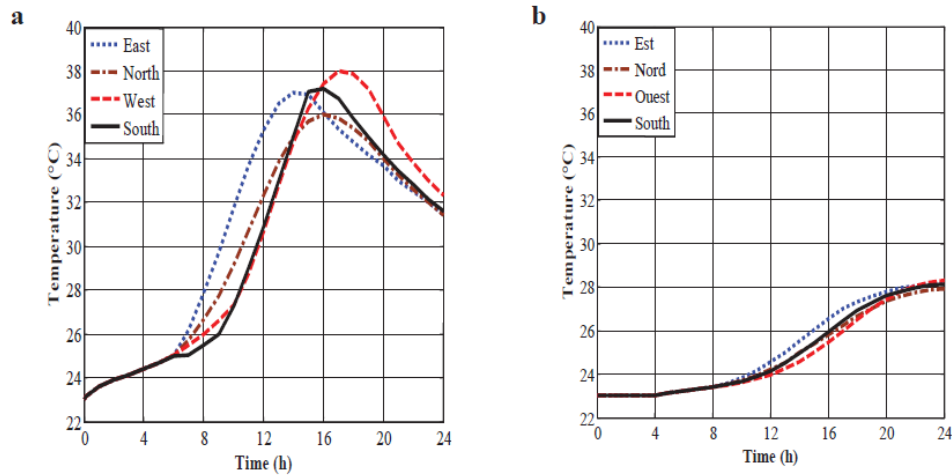


Fig. 45. Température de surface interne du mur pour toutes les orientations : (a) sans (b) avec MCP (15 %). (Source : Ghedamsiet *al.*, 2014).

III.1.3. La forme

La capacité de maximiser le gain de chaleur solaire et de minimiser les pertes de chaleur à travers l'enveloppe est la principale considération dans le choix de la forme du bâtiment, le chauffage étant le facteur le plus crucial. Ceci peut être accompli en augmentant la surface de collecte d'énergie solaire tout en diminuant les surfaces restantes. De plus, la réduction du rapport surface/volume peut améliorer les performances thermiques (*Huda, 2012*). De nombreux facteurs, y compris les considérations de planification, le type et l'utilisation prévue du bâtiment, la faisabilité et le coût initial, ont un impact sur la forme du bâtiment. Dans tous les cas, elle a un impact significatif sur la baisse de l'intensité énergétique du bâtiment (*Mikler et al., 2008*). Par exemple, la figure 46 montre comment la volumétrie peut être adaptée pour capter plus d'énergie solaire ou l'éviter.



Fig.46: Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins. Source : (Gagnon, 2011)

Depecker et al., 2001, ont étudié la relation entre le coefficient de forme et les charges de chauffage. L'étude a révélé que la charge de chauffage dans des conditions climatiques

froides était directement proportionnelle au coefficient de forme, la raison étant que le gain solaire à travers le vitrage était faible. L'étude a également suggéré que les murs opaques n'ont aucune association avec la charge de chauffage ou le coefficient de forme, portant ainsi moins d'importance dans des conditions climatiques douces et ensoleillées.

Stevanović., 2013, a examiné le flux de chaleur à travers l'enveloppe d'un bâtiment et a révélé qu'une forme de bâtiment optimisée peut réduire la charge de chauffage jusqu'à 12 % par volume total du bâtiment.

Sergides (1991) a comparé quatre variations de forme (Rectangulaire, Forme en L, Forme en Π, Carré) en additionnant la consommation d'énergie en chauffage et en refroidissement. On observe que la forme carrée conserve son avance en étant la maison la plus économique.

III.1.4. Compacité

Selon R. Pacheco *et al.*, 2012, L'indice de compacité est le rapport entre la surface extérieure de la façade et le volume du bâtiment. Elle est liée à la capacité du bâtiment à stocker la chaleur et à éviter les pertes de chaleur par sa façade. Un bâtiment très compact est un bâtiment qui a un rapport surface/volume élevé, plus il est performant, où la surface exposée à d'éventuelles pertes ou gains de chaleur est le plus petit possible. La compacité relative d'un bâtiment est définie comme le rapport entre son indice de compacité et l'indice de compacité d'un bâtiment de référence comme indiqué dans la figure47.

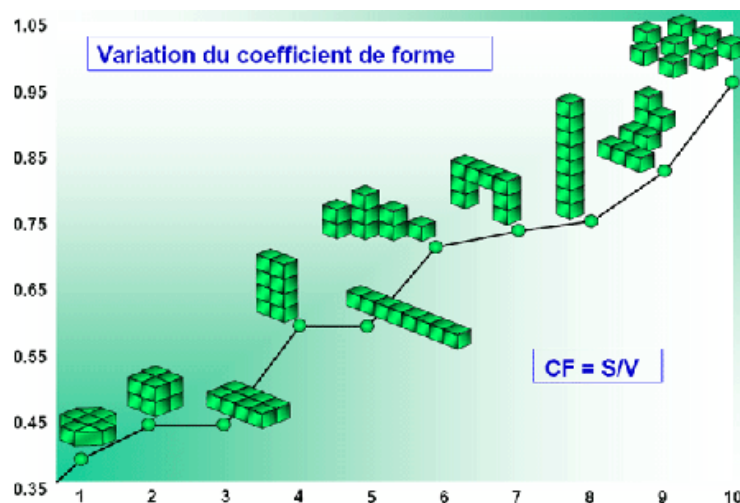


Fig.47. Bâtiments avec différents indices de compacité. Source :

(<http://www.energiepositive.info/fr/reduire-besoin/construire-compact.html>)

D'après [Tibermacine, 2016](#) la compacité de forme, étudié par nombreux chercheurs tels que : [De.Herde et Gratia\(2003\)](#), [Hawkes \(1996\)](#), [Depekeret al., \(2001\)](#), [Behsh \(2002\)](#), [Al Anziet al., \(2009\)](#).

III.1.5. Vitrage

Le vitrage des fenêtres est l'un des points de contrôle thermique les plus faibles à l'intérieur des bâtiments. Dans une résidence familiale standard, 10 à 20 % de toutes les pertes de chaleur se produisent par les fenêtres ([Roos et al., 1994](#)).

Plusieurs vitres avec différents gaz entre eux, des revêtements teintés, à faible émissivité et plusieurs matériaux d'encadrement qui affectent tous les performances thermiques de la façade. En général, les façades vitrées offrent une isolation thermique moindre que les façades opaques.

Des études récentes ont rapporté que l'application d'un double vitrage à haute performance à faible émissivité est fortement recommandée pour diminuer le coefficient de gain de chaleur solaire ([Tang, 2013](#)).

Les vitrages qui permettent des économies d'énergie peuvent être classés dans les types suivants :

- Verre absorbant la chaleur : ce vitrage transforme le rayonnement solaire en énergie thermique (c'est-à-dire en augmentant sa température) et répartit la chaleur dans la pièce par convection et rayonnement pour réduire le rayonnement direct à travers le verre.
- Verre réfléchissant la chaleur : ce vitrage est doté d'un revêtement ou d'un film qui bloque l'entrée du rayonnement solaire dans le bâtiment.
- Verre à faible rayonnement : ce vitrage possède également un revêtement ou un film qui réduit le coefficient de transfert thermique. Il peut également faciliter les économies d'énergie en hiver.

III.1.6. La masse thermique

La masse thermique est définie comme la capacité d'un matériau à absorber, stocker et libérer de la chaleur. Les matériaux de masse thermique, tels que l'eau, la terre, les briques, le bois, les roches, l'acier et le béton agissent comme dissipateurs de chaleur pendant les périodes chaudes et comme sources de chaleur pendant les périodes froides (Fig.48). Les matériaux à masse thermique élevée maintiennent les températures intérieures dans des plages

souhaitables. La densité, la conductivité thermique (K), la diffusivité thermique (α) et la capacité thermique spécifique (C) sont quelques-uns des facteurs influençant le comportement de la masse thermique (Payamet *et al.*, 2018).

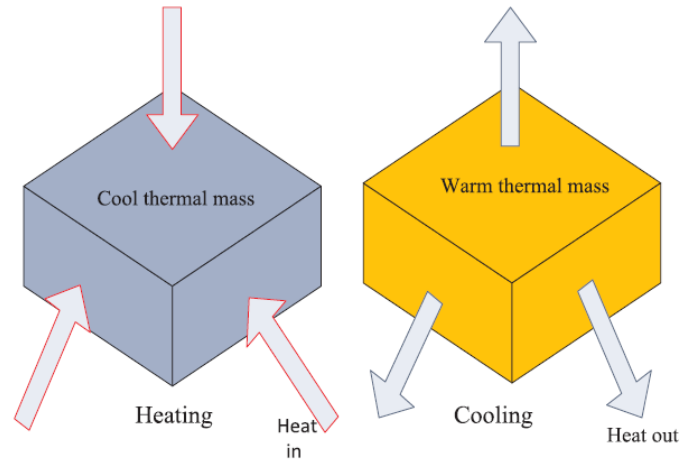


Fig.48 :Comportement thermique des matériaux de masse thermique. Source :(Payamet *et al.*,2018)

La masse thermique peut être utilisée comme moyen de réduire et de décaler les charges de refroidissement de pointe (Balaras ,1996 : Zhou *et al.*, 2008). Le refroidissement de la masse thermique est nécessaire la nuit et est plus efficace avec une plus grande variation de température diurne et une ventilation nocturne. Refroidir un bâtiment de cette manière est utile pour réduire la température mais peut encore laisser des niveaux d'humidité dans des conditions inacceptables. (Fig.49)

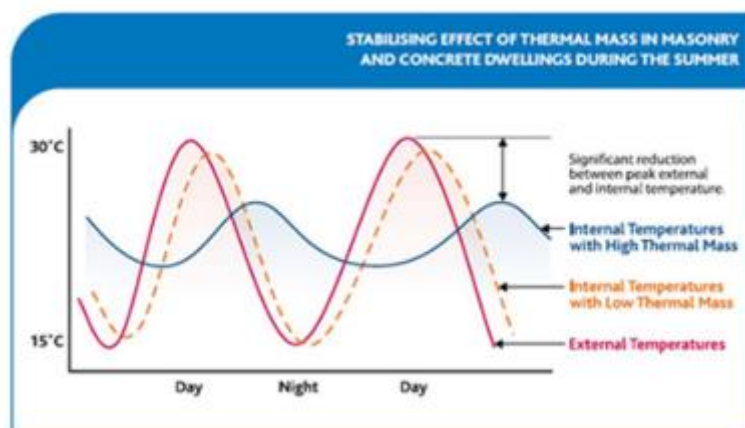


Fig.49: Établissement de l'effet de la masse thermique dans les habitations en maçonnerie et en béton pendant l'été. Source : (Hacker *et al.*, 2008).

Michael *et al.*, 2023 trouvent que les maisons méditerranéennes traditionnelles montrent toujours plus d'efficacité en raison de leur masse thermique plus élevée par rapport à la maison contemporaine.

La Figure 50 montre les deux maisons étudiées, les maisons traditionnelles ont des murs épais allant de 40 à 60 cm, tandis que les structures contemporaines utilisent 20 cm pour les murs extérieurs et 10 à 15 cm pour les murs intérieurs.

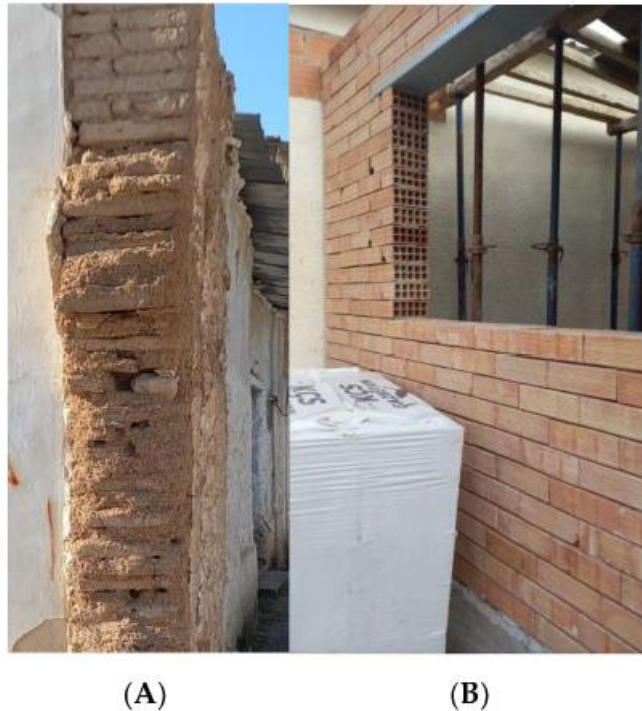


Fig.50 : Etude sur la masse thermique des maisons méditerranéennes traditionnelles (A) et contemporaine (B). Source (Michael *et al.*, 2023).

Aidan Reilly *et al.*, 2017 présente dans son article des nouvelles métriques pour mesurer l'effet de la masse thermique sur l'énergie nécessaire pour chauffer et refroidir les bâtiments. Les résultats concordent avec la littérature existante selon laquelle les structures à masse thermique élevée sont susceptibles d'être efficaces dans les climats chauds ; Les nouvelles métriques (rapport d'énergie transitoire et valeur U effective) fournissent une méthode généralisable pour quantifier ces effets. Ils sont en outre utilisés ici pour analyser les performances dynamiques des bâtiments fortement isolés et montrent qu'une masse thermique élevée entraîne souvent une consommation d'énergie plus élevée dans les climats froids.

III.1.7. Taille des ouvertures

L'utilisation de la lumière électrique, de la lumière naturelle ou d'une combinaison des deux produiront les niveaux de lumière nécessaires à l'exécution efficace et correcte des activités. Parce qu'elles laissent entrer la lumière naturelle et offrent une vue sur le monde extérieur, les fenêtres sont souvent très préférées dans la construction. Cependant, il est essentiel que les fenêtres soient réalisées de manière à ne pas compromettre l'intimité et le confort visuel des habitants, ainsi que leur confort thermique. La lumière du jour a le potentiel de conserver l'énergie et est cruciale pour la santé et le bonheur des résidents (Albatayneh *et al.*, 2021).

L'appariement de dispositifs d'ombrage avec des ouvertures convenablement composées et orientées est également considéré comme une approche efficace pour empêcher un gain de chaleur solaire excessif entraînant une réduction significative des charges de refroidissement du bâtiment (Bellia L *et al.*, 2013). Ceci est particulièrement efficace dans les climats chauds. L'incorporation de matériaux/composants/technologies avancés tels que les vitrages intégrés électro chromiques et photovoltaïques (PV) (Chae YT *et al.*, 2014 ; Pal SK *et al.*, 2016) et les dispositifs d'ombrage automatisés intégrant le PV avec cette approche devrait avoir un impact considérable sur la performance énergétique globale du bâtiment.

La taille du verre affecte le fonctionnement des ouvertures et des fenêtres pendant les saisons de chauffage et de climatisation. La taille de fenêtre idéale pour des performances hivernales efficaces est juste un peu plus grande que celle requise pour l'été. La profondeur de la fenêtre, ou l'épaisseur du mur a un impact sur la perception de la limite entre intérieur et extérieur. Plus la fenêtre est profonde, plus la distinction entre l'extérieur et l'intérieur est grande (Guzowski, 2000). Par ailleurs, la qualité de la lumière naturelle ainsi que son intensité et sa distribution dans l'espace peut se jouer à l'intérieur de l'épaisseur de l'ouverture.

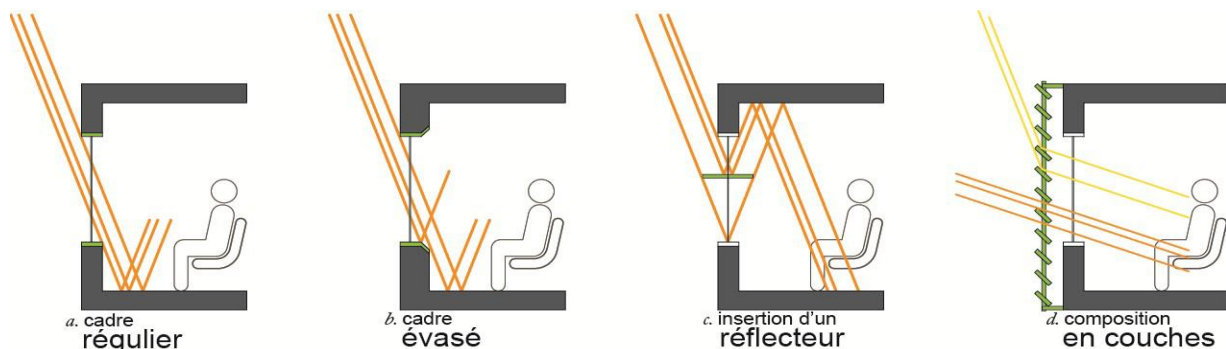


Fig.51 : Schémas représentant différentes compositions d'ouvertures vues en coupe.

Source (Guzowski, 2000).

III.1.8. Le comportement des résidents

De plus, un facteur important dans la consommation d'énergie du bâtiment est le comportement des résidents. Selon [Nayloret al., \(2018\)](#), les habitants ont un impact significatif sur la consommation d'énergie en modifiant le système énergétique et les comportements liés à l'utilisation de l'énergie. De plus, le contrôle sensible à l'occupant ne peut pas être réalisé avec les systèmes de contrôle de bâtiment actuels. Dans leur enquête sur les modèles énergétiques, [Zahiri&Elsharkawy \(2018\)](#) ont découvert que la diversité était causée par le modèle de chauffage d'utilisation de l'occupation (activités). Alors que la relation entre les personnes et les bâtiments peut aider à économiser de l'énergie ([Balvediet al, 2018](#), [Abd Rahman et al, 2022](#)).

III.1.9. Isolation thermique

L'isolation est utilisée à la fois dans les climats dominés par le chauffage ([Çomaklı, 2023](#)) et le refroidissement comme moyen d'économiser de l'énergie ([A-H DMS, 2005](#)). De nouvelles alternatives sont apparues pour améliorer les systèmes contemporains afin de leur permettre de contribuer au développement d'un avenir durable. À des fins de rénovation de façade, une de ces alternatives est les systèmes de revêtement de façade légers qui sont considérés comme une meilleure alternative aux systèmes de composition d'isolation thermique par l'extérieur ([Theodosiou et al., 2015](#)).

Il existe différents types des matériaux d'isolation thermique (biosourcés, minéraux et synthétiques) figure 52. L'installation des matériaux isolants dans l'enveloppe du bâtiment assurer une bonne isolation thermique par la réduction des déperditions thermique entre le bâtiment et le milieu extérieur.

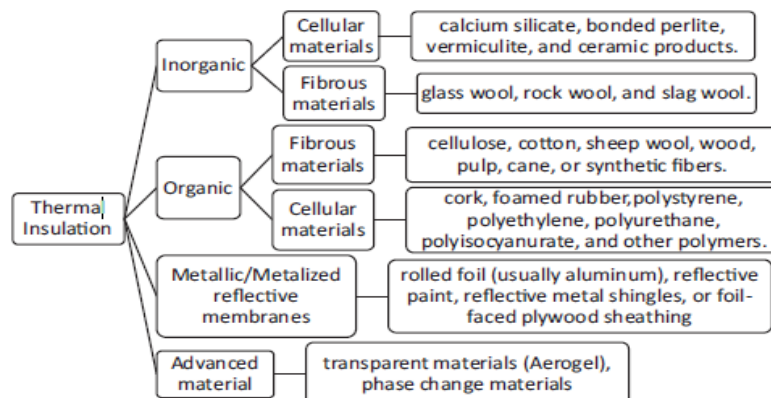


Fig.52 : Différent types d'isolation thermique. Source (Sadineni et al., 2011)

L'étude bibliographique (Sotehi ,2020 et Papadopoulos AM,2005 et BP J,2011 et M O,2011 et O K. 2012) montre que l'isolation thermique a un effet important sur la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment et sur la réduction de la consommation énergétique de chauffage et de climatisation.

Une étude récente (Pacheco *et al.*, 2012) a identifié la relation inversement proportionnelle entre l'épaisseur de l'isolant et les coûts des matériaux respectifs. L'étude a mis en évidence que l'augmentation de l'épaisseur des couches d'isolant n'est efficace que jusqu'à une certaine limite ; le dépassement de cette limite entraînerait des coûts considérablement élevés qui ne pourraient pas être récupérés grâce aux économies réalisées grâce à la réduction de la consommation d'énergie du bâtiment au fil du temps. Ceci est bien sûr conforme au concept technique de base de l'épaisseur critique d'isolation (Holman J.2009). Al-Sanea a constaté que le fait d'avoir la couche d'isolation à l'extérieur conduisait à de meilleurs résultats pour les charges dominées par le refroidissement.

III.1.10. Effet de l'orientation

Parmi les paramètres qui interviennent dans la conception solaire passive des bâtiments, l'orientation est le plus important et celui qui a été le plus fréquemment étudié. L'étude de l'orientation optimale d'un bâtiment évidemment augmente les économies d'énergie.

En traçant les directions du gain radiant maximal pour les mois chauds et froids, il est possible de déterminer l'orientation optimale pour un emplacement donné. Il est peu probable que les deux directions soient à angle droit l'une par rapport à l'autre et certains compromis doivent être faits pour parvenir à la répartition la plus satisfaisante des recettes totales de chaleur en toutes saisons. Il est difficile de généraliser, mais comme les murs orientés à l'est et à l'ouest reçoivent les intensités de rayonnement les plus élevées, ils doivent normalement être maintenus aussi courts que possible et les ouvertures, si elles doivent exister de ces côtés, doivent être aussi petites que possible. Le côté ouest, qui reçoit le maximum de rayonnement pendant la partie la plus chaude de la journée, peut être particulièrement gênant.

Par exemple, toutes les études menées jusqu'à présent à l'aide des techniques susmentionnées ont affirmé que les orientations des bâtiments sont optimisées lorsque le grand axe et la grande surface vitrée sont orientés vers le nord pour les bâtiments situés dans l'hémisphère sud (Albataynehet *al.*, 2018), et vers le sud dans l'hémisphère nord (Vasaturoet *al.*,2018 ; Dar-Mousaet *al.*,2019 ; Albataynehet *al.*,2021).

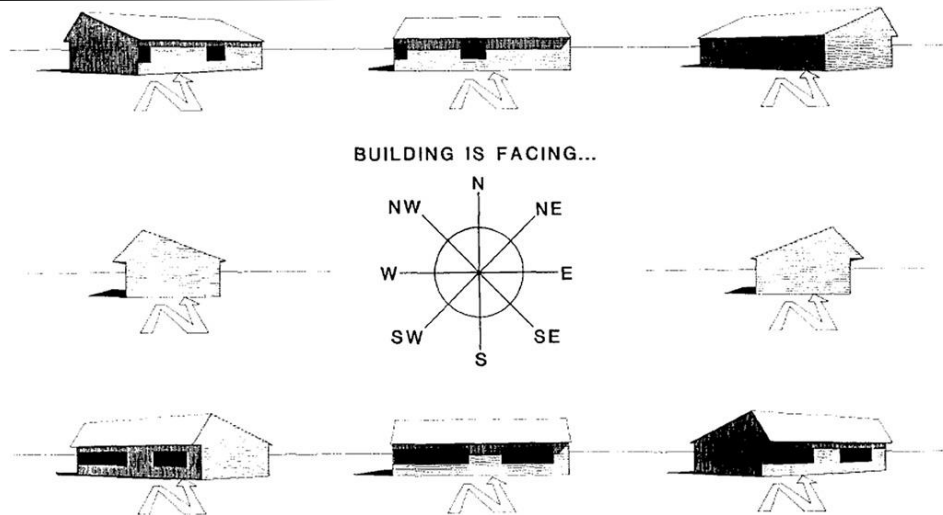


Fig.53. Schéma montrant différentes orientations pour un bâtiment résidentiel. Source (Andersson, 1985).

III.1.11. Les dispositifs d'ombrage

De la même manière que pour les autres dispositifs d'économie d'énergie dans le bâtiment, l'utilisation de dispositifs d'ombrage peut être bénéfique à certaines périodes de l'année alors qu'ils sont contre-productifs à d'autres moments. Le contrôle de l'ombrage est nécessaire afin d'assurer le confort thermique et visuel à l'intérieur du bâtiment. Les systèmes d'ombrage passifs favorisent une réduction de la chaleur acquise par le bâtiment, ce qui signifie que les systèmes de refroidissement ne fonctionnent pas aussi fréquemment.

Néanmoins, ils ont l'inconvénient de réduire la disponibilité de la lumière du jour. Protéger les bâtiments d'un ombrage excessif augmente les heures d'ensoleillement et réduit l'utilisation de la lumière artificielle. Cela génère des économies d'énergie ainsi que des économies de coûts, et offre également un plus grand confort aux occupants puisque la lumière du jour est plus confortable que la lumière artificielle. L'utilisation réduite de la lumière artificielle entraîne également une réduction de la chaleur générée dans le bâtiment.

Dans un modèle de recherche réalisé par (Berkouk et Mazouz 2017) évaluent l'impact des dispositifs d'ombrage horizontaux sur la performance thermique des appartements promotionnels dans la ville de Biskra. Les résultats ont montré l'efficacité des dispositifs d'ombrage horizontaux sur les performances thermiques.

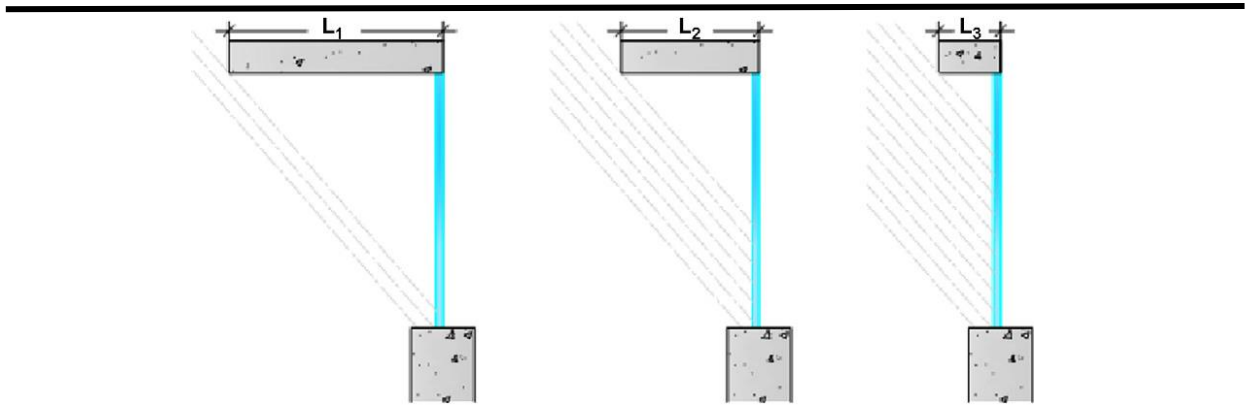


Fig.54. Effet du porte-à-faux sur le rayonnement incident à travers une fenêtre. Source (Pacheco *et al.*, 2012).

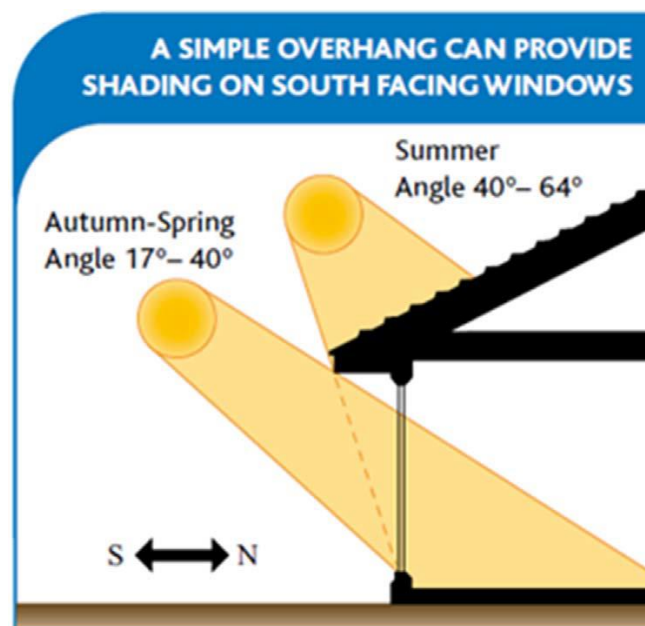


Fig.55. Les effets des systèmes d'ombrage sur les fenêtres orientées sud avec porte-à-faux. Source (Farjami *et al.*, 2017)

III.1.12. Système HVAC

Il est non seulement responsable de 40 à 60 % de la consommation d'énergie nette dans le bâtiment, mais également des conditions de confort des occupants, devenant ainsi un défi en soi pour optimiser l'état de chauffage/refroidissement pour un meilleur conditionnement sans compromettre l'état de confort.

Le HVAC est la technologie qui garantit la chaleur et la qualité de l'air intérieur. La consommation énergétique d'un bâtiment peut être considérablement modifiée en améliorant le système HVAC, par exemple en ajoutant des couches supplémentaires d'isolation qui peuvent réduire la transmission de chaleur, ou en passant d'une énergie non renouvelable à une énergie renouvelable. Étant donné que chaque bâtiment est unique, pour obtenir un

HVAC approprié, les paramètres diffèrent généralement, c'est-à-dire du matériau utilisé aux conditions météorologiques existantes du bâtiment.

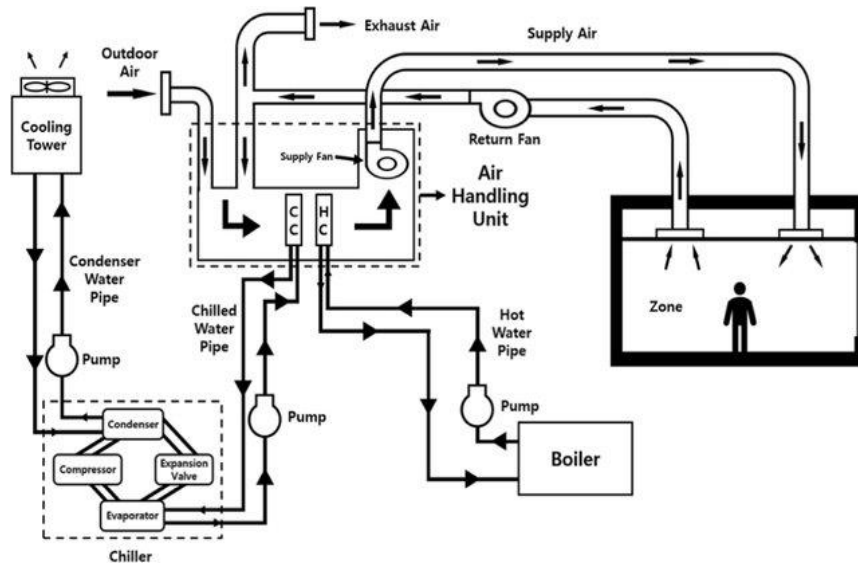


Fig.56. Schémas du système HVAC. Source(Lee *et al.*,2019)

III.1.13. Toit vert et les murs végétalisés

Le concept de toit vert est aujourd'hui réutilisé pour améliorer la performance énergétique des bâtiments. Dans une recherche sur modèle effectuée par [Liu et Minor \(2005\)](#) une comparaison entre un toit vert et un toit normal a été effectuée. Les résultats ont montré que lorsqu'un toit vert est installé au sommet du bâtiment, la demande d'énergie pour le refroidissement et le chauffage est jusqu'à 3 fois moindre. Les toits verts ont servi de barrière protégeant le sommet du bâtiment du rayonnement solaire d'économie d'énergie efficace, en particulier en termes de réduction de l'énergie de refroidissement ([Mazzaliet al., 2013](#)).

Une autre approche a été introduite par [Saifiet al., 2013](#) basé sur l'utilisation de mur végétalisé vertical afin d'augmenter le confort thermique intérieur. Trois cellules d'essai de volume $1 \times 1,2 \times 0,8 \text{ m}^3$ ont été construites à l'université d'Ouargla (cellule sans mur végétalisé et cellule recouverte de deux types de végétaux Jasmin et Aristoloche) à l'aide de briques, de ciment en surface de mur extérieur et intérieur, le toit est construit par dalle de béton et ciment en surface intérieure (Fig. 57a). Le rayonnement solaire a été généré à l'aide de quatre lampes. Les résultats ont montré que la végétation des murs offre un niveau de confort intérieur acceptable quelles que soient les conditions extérieures difficiles de la ville d'Ouargla en saison estivale (Fig. 57b).

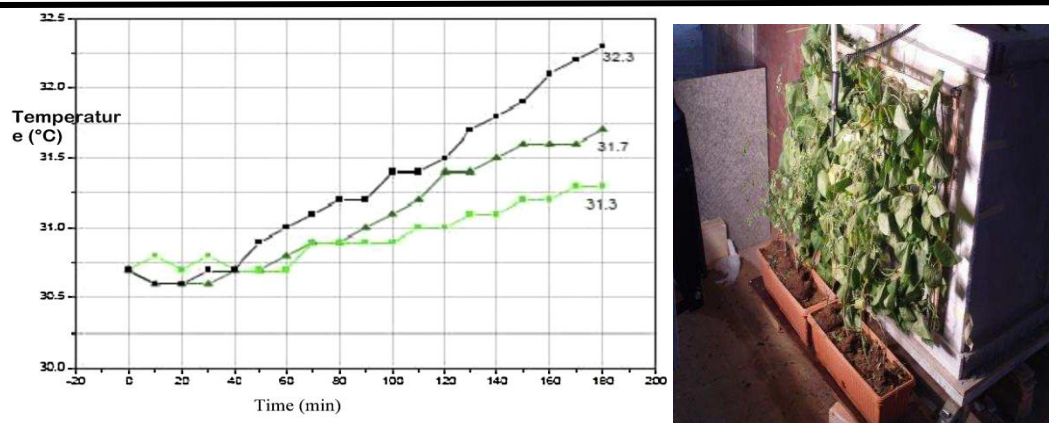


Fig. 57. (a) Température de surface interne du mur ; (b) Cellule d'essai avec mur vert. Source :Saïfi et al ,2013

III.2. Les stratégies de refroidissement passive

Comme indiqué dans revue de (Sankhayan et al., 2021) et la recherche de (Wong et al., 2022), les stratégies de refroidissement passif sont essentielles pour la conception de bâtiments économes en énergie, en particulier dans les zones chaudes et humides. Ces sources soulignent la nécessité de construire des bâtiments avec des dispositifs d'ombrage et une isolation thermique pour limiter le gain de chaleur, ainsi que l'utilisation de systèmes de ventilation naturelle pour augmenter le débit d'air et abaisser les températures internes.

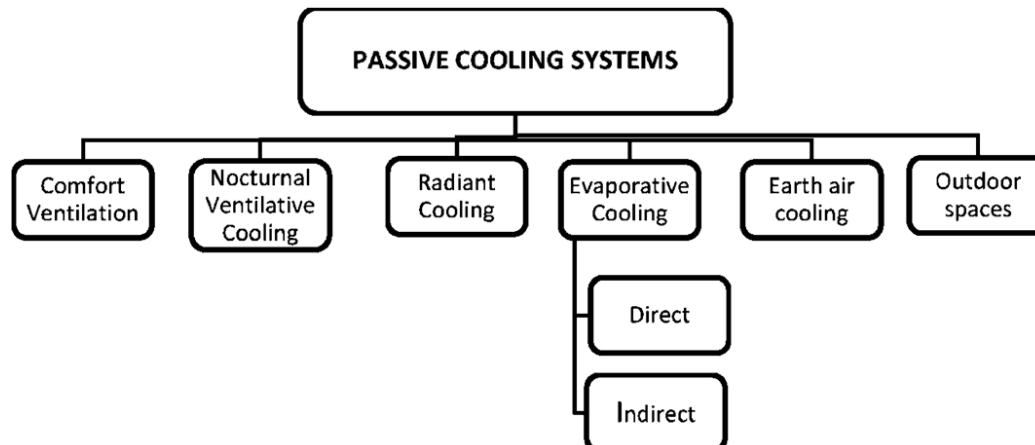


Fig. 58. Classification des systèmes de refroidissement passifs. Source (Givoni, 1994)

III.2.1. Ventilation naturelle : vitesse de l'air

En contrôlant les caractéristiques de l'air intérieur, y compris la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air (Chen, 2008), la ventilation naturelle joue un rôle important en aidant les bâtiments à générer des environnements thermiquement confortables.

Dans l'architecture vernaculaire, la ventilation naturelle contribue positivement au refroidissement (Aimilios et al., 2017).

À l'aide du logiciel TRNSYS-COMIS, l'effet d'une ouverture horizontale "Skifa" dans une maison traditionnelle typique sur le confort thermique a été étudié par Fezziouiet al., (2016)(Fig. 59a).

Des études numériques ont montré un effet plus fort de la dimension d'ouverture horizontale dans le flux d'air extérieur de la maison. Pour cette raison, il permet une bonne circulation de l'air dans la maison. Cette augmentation de la circulation de l'air entraîne une diminution de la température intérieure de la maison (Fig. 59b).

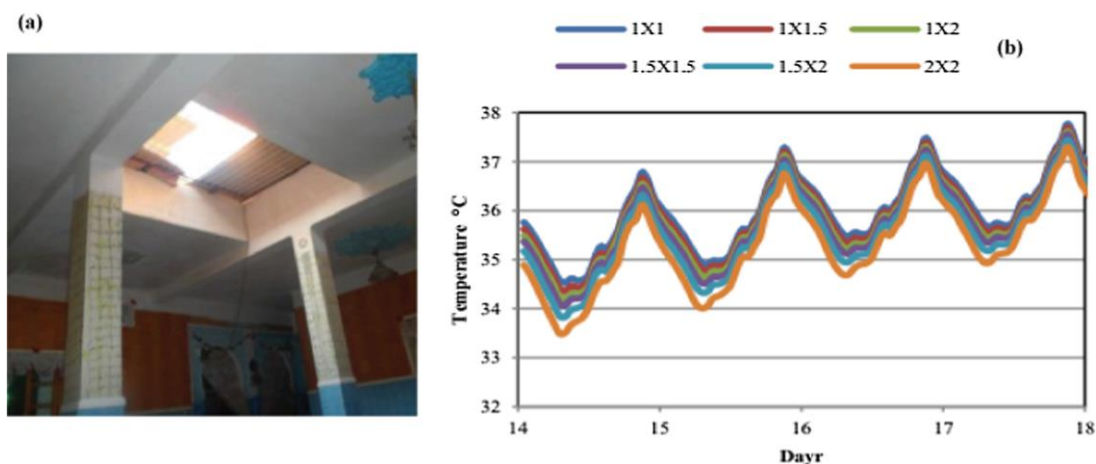


Fig. 59. (a) La maison traditionnelle avec une ouverture horizontale dans le plafond (b) Température pour différentes tailles d'ouverture horizontale du 14 au 17 juillet. Source :Fezzioui (2016).

III.2.2. Refroidissement terre-air

Le refroidissement terre-air profite de l'inertie thermique de la terre pour refroidir le bâtiment. Dans ce type de système, les bâtiments peuvent être totalement ou partiellement enterrés. Alternativement, des conduites d'air souterraines peuvent également être installées. Dans les climats tempérés, la température naturelle de la terre en été à une profondeur de 2 à 3 m peut être suffisamment basse pour que la terre puisse être utilisée comme source de refroidissement. Dans les climats plus chauds, la température naturelle de la terre en été est généralement trop élevée pour cela.

Le stockage géothermique de faible profondeur ; le puits canadien : il s'agit d'un échangeur air-sol (également connu sous les noms de puits canadien, puits provençal ou encore, plus récemment, puits climatique) est un échangeur géothermique à très basse énergie utilisé pour rafraîchir ou réchauffer l'air ventilé dans un bâtiment. Ce type d'échangeur est notamment utilisé dans l'habitat passif.

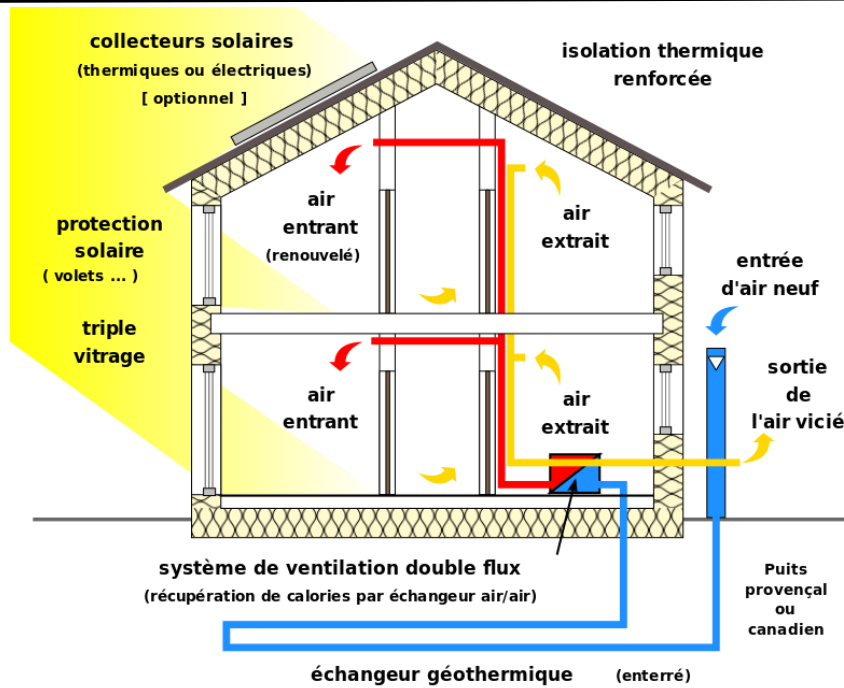


Fig.60 : Principe du stockage thermique passif dans le sol avec un puits canadien assurant l'échange de chaleur entre l'air entrant et le sol. Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89changeur_air-sol

Les villes et les régions situées dans les déserts ont des styles architecturaux uniques. La forte chaleur et les nuits froides obligent les habitants de ces régions à faire des dispositions adaptées, nécessaires, pour répondre à leurs besoins de confort. Il est important de rappeler le manque de neige et de pluie, la présence de tempêtes de sable et la différence de température entre le soleil et l'ombre.

Comme nous pouvons-nous référer à des nombreuses solutions pour le refroidissement passif dans l'architecture vernaculaire comme, les tours à vent et la construction souterraine.

III.2.3. Tours à vent

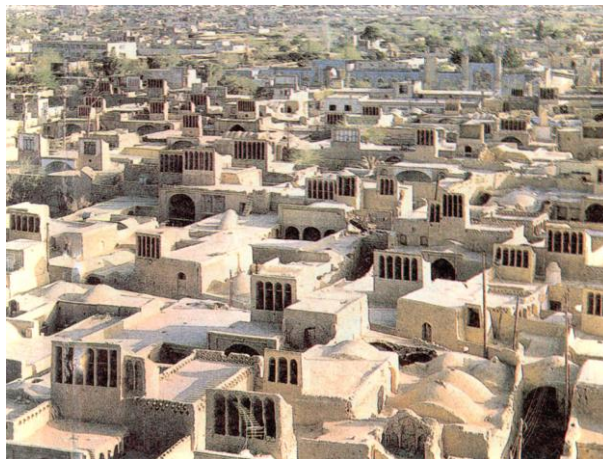


Fig.61. Vue sur les tours à vent unilatérales dans la ville de Meybod, province de Yazd, Iran. Source (Bahadori, 2014)

Pour augmenter le confort intérieur dans la maison typique d'Ouargla, [Bouchahmet al., 2011](#), ont étudié l'utilisation d'une tour éolienne de 6,50 m pour un système de refroidissement passif par évaporation (la section intérieure est de $0,70 \times 0,75 \text{ m}^2$). Le mur adjacent est ventilé pour minimiser le gain de chaleur dû au rayonnement solaire. Au pied de la tour se trouve un bassin rempli d'eau (Fig. 62a). Les mesures du site au mois de juillet ne sont pas encourageantes, la température de l'air intérieur est supérieure à 40 °C avec une augmentation de l'humidité obtenue par la procédure d'humidification (Fig. 62b). Cependant, les résultats de la simulation confirment l'intérêt de l'application de cette stratégie. La température intérieure peut être considérablement réduite ($28,3 \text{ à } 32,3 \text{ °C}$) en utilisant une hauteur de colonne mouillée plus élevée ($5,5 \text{ à } 4,5 \text{ m}$) et une taille plus petite de la cloison des conduits à l'intérieur de la tour ($0,14 \text{ à } 0,116 \text{ m}$) en augmentant leur nombre.

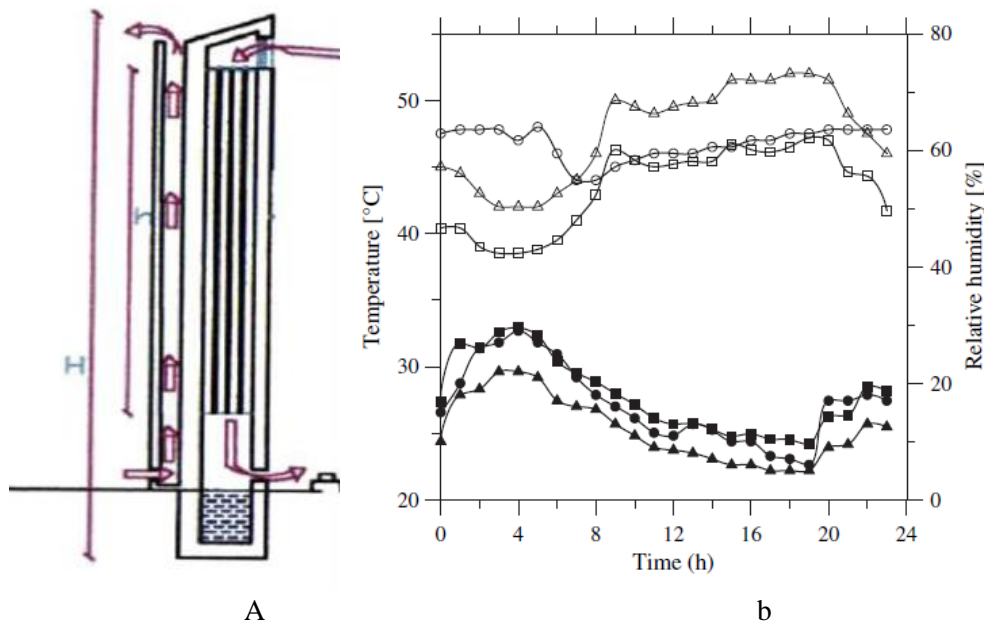


Fig. 62. (a) Configuration de la tour éolienne (b) Températures et humidité mesurées et calculées par heure. Source ([Bouchahmet al., 2011](#)).

Température : D : Texte mesuré, □ : Teinte calculée, ○ : Teinte mesurée. Humidité relative : ▲ : Hext mesuré, ■ : Hint calculé, ● : Hintmesuré. Source :[Bouchahmet al., 2011](#)

III.2.3. La construction souterraine

Les habitants de la région sud ont développé une approche architecturale unique connue localement sous le nom de "Dahalisse" ou "Damous" pour se protéger de la chaleur estivale qui s'intensifie. C'est une structure qui est construite sous le niveau des fondations d'une maison et dont les fenêtres sont enterrées dans le sol, la protégeant des intempéries extérieures.

En conséquence, la température dans la pièce souterraine fluctue légèrement tout au long de la journée, restant proche de la température moyenne du journal. Le fait que cette

température soit inférieure à la température de référence permet aux habitants de profiter de la fraîcheur pour profiter d'une bonne sieste en journée durant l'été. Parfois, on a besoin d'un ventilateur pour respirer plus facilement (Benhamou, 2015).

(Hebbal, 2022) dans son thèse doctorat sous le titre Optimisation de la consommation énergétique d'un habitat saharien par des techniques passives cas de la ville d'Ouargla. il a étudié la construction souterraine expérimentalement et numériquement. La modélisation a été effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS 18.

Les résultats obtenus (figure 63) montrent que la température de l'air et l'humidité relative mesurées durant le mois le plus chaud (août) par les capteurs installés intérieurs de la salle souterraine varient entre 28-29 °C et 20-30% respectivement, où le confort thermique est assuré sans besoin d'énergie de refroidissement (Besoin en climatisation nulle). L'économie totale du coût de l'électricité consommée pour tous les mois d'été d'un an a atteint 91 247.31 DZD/an (654.27 USD/an), avec une période de récupération estimée à environ 4 ans. Une économie d'énergie importante peut être assurée par l'investissement dans ce type des techniques passives.

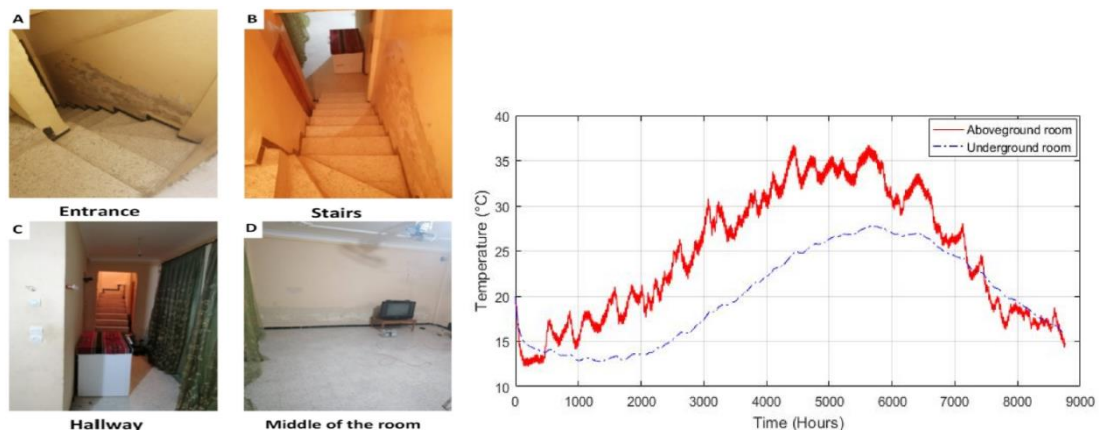


Fig.63.a) Vue réelle du sous-sol le Salon. b) Comparaison entre la température horaire de la pièce souterraine et de la pièce hors-sol. Source : Hebbal,2022.

III.3. Les stratégies de chauffage passive

Les options de chauffage passif, basées sur les propriétés thermo-physiques ainsi que sur la configuration des enveloppes du bâtiment, peuvent éliminer jusqu'à 2/3 de l'inconfort thermique. L'utilisation passive de l'énergie solaire utilise certains éléments du bâtiment (murs, toit, vitrage) pour stocker la chaleur. Le degré d'efficacité de ces systèmes dépend des conditions climatiques, des matériaux de construction et de l'utilisation directe ou indirecte de l'énergie solaire.

Les espaces fermés à apport solaire direct, tels que les solariums, offrent une surface supplémentaire pour l'absorption du rayonnement solaire ainsi qu'une masse supplémentaire

pour son stockage. Ce sont les systèmes les plus efficaces pour le chauffage et l'éclairage diurne du bâtiment. Plus de recherches ont été faites sur les méthodes de chauffage passif que sur les méthodes de refroidissement passif. D'une manière générale, les mécanismes passifs fonctionnent mieux lorsqu'ils fonctionnent en combinaison les uns avec les autres. Les sections suivantes décrivent les méthodes de chauffage passif les plus importantes pour les bâtiments.

III.3.1. Mur Trombe

Un mur Trombe est un mur séparé de l'extérieur par un vitrage et une cavité d'air. Il a également des événements en haut et en bas du mur intérieur, pour contrôler le flux d'air. L'énergie solaire est stockée dans le mur, puis acheminée à l'intérieur du bâtiment par conduction. L'air chaud s'échappe par les trous de ventilation supérieurs. L'air froid pénètre dans l'espace entre le mur et le vitrage par les événements inférieurs et entre en contact avec le mur, provoquant une augmentation de la température du mur, figure 64. Ensuite, le cycle recommence. De nombreux chercheurs ont essayé d'améliorer la conception de base. La revue montre diverses configurations de mur trombe (Omidrezaet al., 2018).

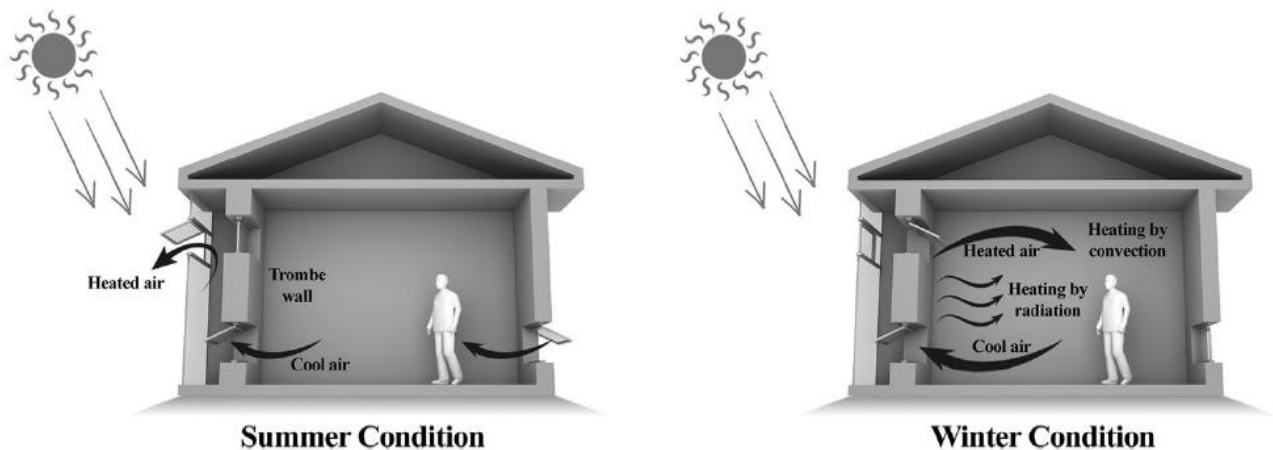


Fig. 64. Trombe wall application in winter and summer time. Source : (Chelet al., 2008).

III.3.2. La cheminée solaire

La cheminée solaire est un moyen de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Elle repose sur l'idée d'exploiter le mouvement de convection naturelle de l'air chauffé par le soleil. D'immenses serres appelées « collecteurs » stockent et dirigent l'air chauffé par le rayonnement solaire. Cet air chaud aspiré naturellement par la cheminée est continuellement

renouvelé par l'air aux abords de la serre. Equipé de ballons d'eau qui absorbent la chaleur pendant la journée et la restituent la nuit, créant une brise régulière.

L'énergie cinétique de l'air est absorbée par un système de turbines et de générateurs. Cette simplicité offre des avantages significatifs aux pays en développement en termes de coûts de construction, d'entretien, de robustesse, de durabilité et d'accessibilité.

Dans une étude, un prototype a été créé au niveau de l'Université d'Ouargla et étudié dans le mémoire intitulé sous le nom "Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire" en 2017 par les étudiants MEHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZIA Mohamed Farès.

La figure (65) représente le prototype de la cheminée solaire conçu et situé exactement à la faculté centrale d'Ouargla.

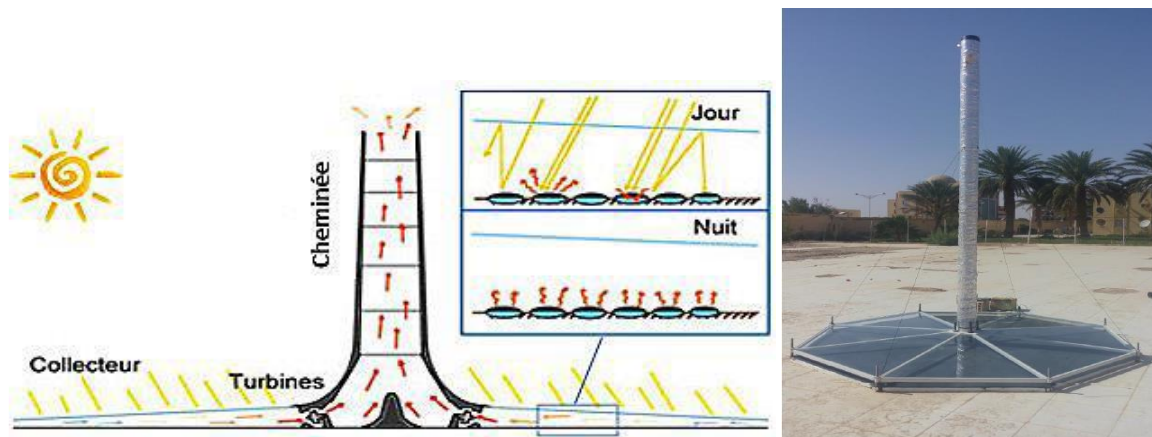


Fig.65. a) Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire. b) le prototype de la cheminée solaire.

Source :Mehiri A.Y et Ben mazouziaM.F,2017

III.3.3. Chauffage solaire

Le chauffage solaire passif repose sur quatre principes fondamentaux : capter l'énergie solaire, l'accumuler, la distribuer et la conserver. Ces principes touchent donc autant la conception formelle que technique du bâtiment.

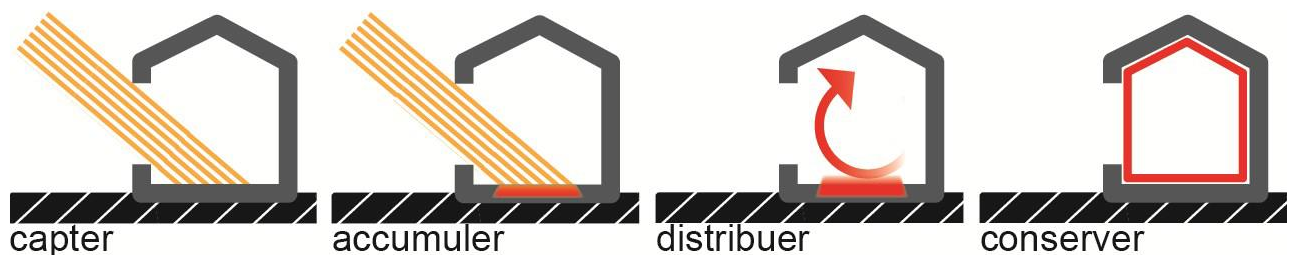


Fig.66. Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif (inspiré de Cofaighet al., 1996)

III.4. État de l'art sur les méthodes d'évaluation des stratégies passives dans l'habitation individuelle

A ce propos, le Tableau montre le développement chronologique des études antérieures, sur les différentes méthodes d'évaluations des stratégies passives afin d'assurer le confort thermique et de réduire la consommation énergétique, dans les bâtiments résidentiels dans des différents climats, logicielles de simulation et différentes variables tester, durant une période de 21 ans de l'année 2002 au 2023. Voir tableau état de l'art (Tab.13).

Tab.13 : études antérieures sur les méthodes d'évaluation des stratégies passives dans l'habitation individuelle de 2002 à 2023. Source : l'auteur, 2023.

Chapitre III : L'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique

| Année | Auteurs | Les références nom de papier | Objectif Fonctions | Variables de conception | Méthode d'optimisation | Méthode de simulation | Localisation de cas d'étude |
|-------|--|---|---|--|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 2002 | Florides GA, Tassou SA, Kalogirou SA, Wrobel LC. | Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. | Charge de refroidissement, coût du cycle de vie | Isolation du toit, taux de ventilation, type de vitrage, profondeur d'ombrage du surplomb, orientation du bâtiment, rapport d'aspect, masse thermique | Etude paramétrique | TRNSYS | Chypre |
| 2003 | Horowitz S. Boulder: | Enhanced sequential search strategies for identifying cost optimal building designs on the path to zero net energy. | Pour identifier les conceptions de bâtiments rentables | Vingt variantes de stratégie d'efficacité | BEopt | Energy Plus DOE-2 et TRNSYS | USA |
| 2004 | Christensen C, Barker G, Horowitz S. A | sequential search technique for identifying optimal building designs on the path to zero net energy. | Pour identifier les conceptions de bâtiments optimales sur la voie de l'énergie nette zéro | La méthode d'optimisation impliquée consiste à rechercher les options les plus rentables dans une série de catégories (par exemple, type de mur, type de plafond, type de vitre, type de CVCA, etc.) | BEopt | DOE2 et TRNSYS | USA |
| 2005 | Wang W, Rivard H, Zmeureanu R. | An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms. | Coût et cycle de vie | Orientation du bâtiment, forme, rapport d'aspect, type de mur, inclinaison du mur, type de vitrage, rapport fenêtres-mur, profondeur de surplomb | Algorithme génétique | ASHRAE toolkit | Canada |
| 2006 | Charron R, Athienitis A. | The Use of Genetic Algorithms for a net-Zero Energy Solar Home Design Optimisation Tool | La conception de bâtiments à consommation énergétique faible et nette zéro fournirait aux aide les concepteurs | 17 paramètres, y compris le rapport largeur-longueur du bâtiment, le type de système de chauffage, le type et la taille du capteur thermique solaire, la taille des fenêtres par orientation, et plus, pour trouver plusieurs configurations de conception qui atteignent un objectif de consommation d'énergie. | Algorithme génétique | TRNSYS | Canada |
| 2007 | M.Ozel, K.Pihtili | Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations. | Afin de déterminer la distribution et l'emplacement optimal d'isolation dans le mur à partir d'examiner le temps de décalage et le facteur de diminution. | 12 différentes configurations des murs du bâtiment pour diverses orientations des murs dans les deux conditions climatiques d'été et d'hiver. | Structure murale multicouche Procédure de solution numérique | MATLAB | Turkey |

Chapitre III : L'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique

| | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|--|--|------------------------|
| 2008 | Charron R. | A review of design processes for low energy solar homes. | Coût de construction | Facteur de forme et orientation du bâtiment, niveau d'isolation, rapport fenêtres-murs, type de système de chauffage, capteur thermique solaire et paramètres de base du système photovoltaïque | Algorithmique | TRNSYS | Canada, USA |
| 2009 | L. Wang, Gwilliam, and Jones | Case study of zero energy house design in UK | Les charges de chauffage et de refroidissement | Valeurs U des rapports muraux-muraux externes (WWR) et des orientations (indiquées par l'orientation de la fenêtre de grande surface) | Etude paramétrique | EnergyPlus et TRNSYS | UK |
| 2010 | Zhai ZJ, Previtali JM. | Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. | Coût énergétique d'exploitation | Type de mur, type de toit, sous-sol vs dalle, profondeur d'écoute, taux d'infiltration | BEopt. | DOE-2 | 22 lieux dans le monde |
| 2011 | Jaber S, Ajib S. | Optimum technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region. | Pour minimiser son coût de cycle de vie | la taille des fenêtres sur chaque façade, la présence d'ombrage sur la façade sud et l'épaisseur de l'isolation thermique sur le plafond et les murs. | Etude paramétrique | TRNSYS | Amman |
| 2012 | Gong X, Akashi Y, Sumiyoshi D. | Optimization of passive design measures for residential buildings in different Chinese areas. | Charge de chauffage, charge de refroidissement | Épaisseur des murs, épaisseur du toit et de l'isolation des murs extérieurs, orientation des fenêtres, rapport fenêtres-murs, type de vitrage, profondeur/surplomb de la véranda | Méthode orthogonale, méthode de listage | THERB | 25 villes en Chine |
| 2013 | Kruzner K, Cox K, Machmer B and Klotz L | Tendances des stratégies observables de conception solaire passive pour les maisons existantes aux États-Unis. | Réduire la Consommation d'énergie | Orientation Couleur du toit Niveau d'ombrage des arbres | Observable à partir d'images satellites de Google Earth, | Une formule de générateur de dans le tableur Microsoft Excel | U.S.A |
| 2014 | Doris HooiChyee Toe. | Application of Passive Cooling Techniques to Improve Indoor Thermal Comfort of Modern Urban Houses in Hot-Humid Climate of Malaysia | Refroidissement passif | Isolation thermique du toit, du mur et du plafond Ombrage de fenêtre Ventilation forcée | Etude paramétrique | TRNSYS et COMIS | Malaysia |
| 2015 | Joseph Amoako-Attah, Ali B- | Impact of conservatory as a passive solar design | Les avantages énergétiques équilibrés de la réduction de la | Comportement des occupants, orientation du bâtiment, masse thermique, vitrage avancé, | Analysé à l'aide des critères de | Logiciel de simulation d'analyse | UK |

Chapitre III : L'impact des stratégies passives sur le confort thermique et la consommation énergétique

| | | | | | | | |
|------|--|---|--|--|---|--|----------------------------------|
| | Jahromi | of UK dwellings | consommation d'énergie | ventilation et ombrage appropriés, | confort thermique adaptatif Cibse TM52. | thermique TAS version 9.3.1 | |
| 2016 | Farjami, E. A. Mohamedal | Evaluating interior surfaces including finishing materials, ceiling, and their contribution to solar energy in residential buildings in Famagusta, North-Cyprus, Turkey | Pour analyser l'éclairage de jour, le gain solaire, la consommation d'énergie et l'énergie d'insolation prospective. | 1. Emplacement de l'immeuble 2. Orientation 3. Conditions climatiques 4. Matériaux de construction 5. Finitions intérieures 6. Compacité du bâtiment 7. Tailles des ouvertures et les systèmes d'ombrage 8. Compacité du bâtiment (rapport A/V) | Méthodologies qualitatives et quantitatives Et Une comparaison | Autodesk Ecotect@ Analysis | Famagusta nord de Chypre Turquie |
| 2017 | Belhaya and al | A Fast Evaluation Method for Energy Building Consumption Based on the Design of Experiments | Réduire la consommation d'énergie des bâtiments résidentiels | Bâtiment, structure factorielle, ratio murs/fenêtres, etc. | Etude paramétrique | Co-simulation DOE et TRNSYS | Ville d'Ouargla sud de l'Algérie |
| 2018 | Attia, S., Lacombe, T., Rakotondramiarana, H. T., Garde, F., &Roshan, G. | Analysis tool for bioclimatic design strategies in hot humid climates. | Soutenir le processus décisionnel des architectes et des urbanistes en proposant des lignes directrices de conception environnementale | Premièrement, un zonage climatique de l'île basé sur l'altitude, l'irradiation solaire et la température du thermomètre sec. Deuxièmement, une analyse bioclimatique basée sur les niveaux de température et d'humidité. | Etude paramétrique | ArcGIS ainsi que World Climdata les données TMY3 du National | Madagascar |
| 2019 | Rivera et al H .2019 Rosa M. Rivera Gabriela Ledesma H. | Improvement of Thermal Comfort by Passive Strategies. Case Study: Social Housing in Mexico | Confort thermique et consommation d'énergie | Tissu du bâtiment, ombrage, ventilation, infiltration et hauteur sur le confort thermique 1) isolation du bâtiment, 2) augmentation de la ventilation et de l'ombrage, et 3) refroidissement passif et chauffage par des cheminées solaires | Etude paramétrique | Logicielmexicain DEEVi | 4 zones climatiques au Mexique |
| 2020 | Liu, S., Kwok, Y. T., Lau, K. K. L., Ouyang, W., & Ng, | Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for residential buildings in hot and humid Hong Kong | Examiner l'efficacité dynamique des stratégies de conception passive | Isolation thermique Tailles des ouvertures Profil d'occupation | Etude paramétrique | Energy Plus | Honk Kong |

| | | | | | | | |
|------|---|---|--|--|--------------------|---|-----------------------------|
| 2021 | Mushtaha, E., Salameh, T., Kharrufa, S., Mori, T., Aldawoud, A., Hamad, R., & Nemer, T. | The impact of passive design strategies on cooling loads of buildings in temperate climate | Confort thermique et consommation d'énergie | Les systèmes d'ombrage Isolation thermique Ventilation naturelle | Etude paramétrique | Climate Consultant et IESve | La bande de Gaza, Palestine |
| 2022 | B Ozarisoy | Energy effectiveness of passive cooling design strategies to reduce the impact of long-term heatwaves on occupants' thermal comfort in Europe: Climate change and mitigation. | Confort thermique et consommation d'énergie | Tissu du bâtiment, ombrage, ventilation | Etude paramétrique | logicielle Integrated Environmental Solutions (IES) | London UK |
| 2023 | Michael Tesfaye Bekele and CemilAtakara | Residential Building Energy Conservation in Mediterranean Climate Zone by Integrating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies | Pour réduire la consommation d'énergie et améliorer la conservation de l'énergie | Masse thermique, matériaux d'isolation, orientation du bâtiment, dispositifs d'ombrage | Etude paramétrique | Energy Plus | Cyprus |

III.5. Recherches sur différentes méthodologies utilisées pour des stratégies d'amélioration visant à minimiser la consommation d'énergie et à maximiser le confort thermique

Dans le domaine de la recherche scientifique, la plupart des ingénieurs et techniciens travaillent sur l'amélioration de leur processus de production ou des produits au moyen de tests. Malheureusement, les stratégies et les méthodes qui sont couramment utilisés pour la pratique de telles analyses souvent ou toujours coûteuses et inefficaces et elles suscitent beaucoup d'expériences difficilement utilisables, c'est pour ça en s'appuient sur la modélisation.

Plusieurs méthodes ont été mentionnées dans la littérature (kheiri ; Boeckeaet al) sur les méthodes appliquées pour une efficacité énergétique dans les bâtiments.

(Schweiker M *et al*, 2020) ont réalisé une revue dans l'objectif est de mettre en évidence les antécédents motivationnels, les méthodologies clés et les principaux résultats des enquêtes multi-domaines sur la perception et le comportement humains dans les environnements intérieurs.

Dans cette partie, nous donnerons au lecteur une explication brève et simplifiée sur la méthode et les logiciels utilisé dans notre recherche, et nous offrons aussi un résumé de la méthodologie et indiquerons également des méthodes étudiées et les modèles et l'ensemble des programmes numériques utilisables dans ce domaine. En mettant l'accent sur le logiciel TRNSYS que nous avons adoptée dans cette étude.

III.5.1. L'étude sur terrain

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour le confort thermique dans les bâtiments (Moujalled, 2007). Les enquêtes varient en fonction de leur objectif, et certaines enquêtes étudient l'influence d'un élément particulier sur le confort thermique. L'approche adaptative a mobilisé plusieurs enquêtes réalisées ces dernières années.

III.5.1.1. Adaptive model de confort thermique

Elle est basée sur l'observation directe et le questionnaire « longitudinal » qui constitue le cœur de l'approche adaptative du confort thermique (Nicol *et al.*,2018). Elaboré selon la norme ISO 10551 , le questionnaire a comporté quatre sections :

-La première a concerné les informations générales sur les répondants : âge, sexe, groupe d'usagers, habillement et position dans la salle.

- La seconde section s'est axée sur le confort thermique et a comporté des questions à échelle de différentiations sémantiques sur :

- Le Vote de Sensation Thermique basée sur l'échelle de sept points de l'ASHRAE (-3 très froid à +3 très chaud) qui nous permet d'estimer le Vote Moyen Actuel (AMV),
- La préférence thermique (échelle de 7 points de ASHRAE),
- Acceptabilité de l'environnement thermique, la satisfaction envers l'environnement thermique selon l'échelle de 5 points de Potvin (très agréable, agréable, Neutre, inconfortable et intolérable),
- Sensation du mouvement de l'air et préférence du mouvement de l'air (échelles de Brager).

Ainsi qu'une question à choix multiples sur le comportement adaptatif entrepris par les répondants dans le but d'améliorer leur confort thermique.

- La troisième section a concerné le confort visuel. Elle englobe des questions sur la perception de l'environnement lumineux des salles, la satisfaction visuelle, l'acceptabilité.

Nous retrouvons également des enquêtes in situ, qui se basent sur de simples mesures physiques de la température et de l'humidité, effectuées dans l'ambiance thermique pour évaluer son niveau ainsi que les conditions de confort.

III.5.1.2. Les mesures physiques

Afin de quantifier l'ambiance intérieure d'un local, qui est caractérisée par quatre grandeurs physiques essentielles : la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité de l'air et la vitesse de l'air. Dans l'enquête, ces dernières doivent être mesurées selon un intervalle horaire fixé par l'enquêteur en fonction des objectifs de son étude.

Les mesures des paramètres physiques se font à l'aide d'un thermomètre protégé du rayonnement solaire.



Fig.67. Les instruments de mesures utilisés pendant les enquêtes. (Source : B. Moujalled, 2007)

III.5.2. La méthode statique

La méthode statique est utilisée par un outil appelé PHPP « Passive House Planning Package ». Cet outil utilisé dès la conception des projets est basé sur le tableur « Microsoft Excel ». Il est utilisé afin de réaliser les certifications des bâtiments passifs. C'est via cet outil que l'on donne le label passif ou non à un bâtiment. La PMP (plate-forme maison passive asbl) est en charge de la délivrance des certifications.

PHPP a été créé en 1998 pour simplifier la conception des bâtiments passifs. Depuis lors, il a été continuellement développé avec de nouveaux modules de conception ainsi que validé sur la base de mesures et de nouveaux résultats de recherche (Feist *et al.*, 2007).

III.5.3. La méthode expérimentale

III.5.3.1. Méthode de plan d'expérience

La méthode traditionnelle d'essai, qui consiste généralement de modifier les paramètres après l'autre, d'observer le changement avec le temps, cette méthode ne donne pas de résultats acceptables de l'interaction entre les différents facteurs, qui affectent directement sur l'expérience.

Afin d'éviter ou d'éliminer les inconvénients des expériences traditionnelles, une méthode basée sur des expériences aussi peu que possible a été créée par détermination de la relation entre les différents facteurs d'influence et les résultats escomptés, qui sont appelés plan d'expérience (Stéphane, 2002).

III.5.3.2. La méthode numérique

La modélisation et la simulation informatiques consistent à analyser des modèles mathématiques pour prédire différentes caractéristiques physiques et comportements opérationnels pour un environnement bâti économe en énergie.

Différentes études et recherches ont indiqué que la modélisation énergétique des bâtiments, comme une méthode efficace pour promouvoir l'efficacité énergétique des bâtiments (Fazaneh et al,2019 ; Hossain, 2019).

Pezeshkiet al.,(2018) a proposé un examen complet des applications BEM utilisant des bases de données BIM, identifiant huit catégories différentes de mise en œuvre BEM, à savoir la prévision, l'estimation, la consommation, la conception optimale, l'évaluation, l'efficacité, la gestion et l'optimisation.

Crawley et al.,2008, ont effectué une comparaison à jour des caractéristiques et des capacités de 20 principaux codes de simulation énergétique des bâtiments. Les codes incluent BLAST, BSim,DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES/VES, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE et TRNSYS.

III.5.3.2.1. La validation de modèle numérique

Les modèles énergétiques des bâtiments doivent être fiables, et donc le calibrage avec des données réelles est généralement fondamental (Ascioneet al,2020).

Dans ce but, différents indicateurs peuvent être utilisés pour comparer des données réelles avec des données simulées. Les indicateurs les plus utilisés sont l'erreur de biais moyen (MBE) et le coefficient de variation de l'erreur quadratique moyenne (CV(RMSE)) (Hong et al, 2017) et la méthode statistique qui utilise la régression ou la classification (Zhang et al, 2016).

III.5.3.2.2. L'optimisation de modèle numérique

Toutes les études montrent que le développement de modèles fiables et calibrés est la première étape d'une optimisation robuste de la conception/rénovation énergétique des bâtiments. A cet égard, différents objectifs (souvent opposés) peuvent être abordés, par exemple, la minimisation de la consommation d'énergie, l'investissement, le coût de fonctionnement, le coût global, les émissions polluantes, l'inconfort thermique, etc. Par

conséquent, l'optimisation énergétique des bâtiments (BEO) est un problème multi-objectifs typique. il existe plusieurs méthodes d'optimisation en peut le trouver sur la recherche de (N. A. Abd Rahman *et al*,2022) : Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine (SVM), Grey Prediction (GP),Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) ,Ant Colony (AC) ,Case-BasedReasoning (CBR) ,K-NearestNeighbourPrediction (k-NN) ,l'algorithme génétique, L'analyse de sensibilité.

Conclusion

L'étude et l'optimisation de confort thermique et la consommation énergétique par des stratégies passives dans les bâtiments résidentiels relevés d'un champ de recherche très vaste. L'impact des stratégies passives sur les besoins énergétique et thermique dans les habitations donne à ce sujet un intérêt au grand nombre de chercheure et des travaux réalisés. Les études réalisées sont basées sur des méthodologies analytiques, sur terrain, expérimentales numérique ou statique.

Dans notre travail, nous utilisons un outil de simulation thermique dynamique puissant et précis permettant de prédire le comportement thermique des bâtiments et des systèmes associés et de réduire le temps et le coût de recherche est utilisé : il s'agit du TRNSYS logiciel.

PARTIE PRATIQUE

Cas d'étude, Ouargla.

« The passive design solutions allow buildings to adapt more appropriately to their local climates in order to create a favorable environment. On the other hand, modern architecture was found unsuitable for the climate of Ouargla. Therefore, it is imperative for architects and engineers to learn about ancient architecture ».

« The Ksar of Ouargla is a very interesting reference for adaptation to harsh climatic conditions and its traditional architecture brings good bioclimatic solutions using a combination of passive designs : vegetal, masse, shade and ventilation. »

(Hebbal, 2020)

Introduction

L'objectif de ce chapitre, qui sera suivi d'une étude théorique sur le terrain, est de mieux comprendre les effets du processus historique d'urbanisation de la ville d'Ouargla sur sa configuration urbaine actuelle.

Pour cela, nous allons d'abord donner un aperçu général de la ville à travers la présentation de ses caractéristiques climatique suivi par une analyse bioclimatique afin de fournir des recommandations architecturales adaptées au climat chaud et aride de la ville.

Dans ce chapitre on va expliquer les logiques et les stratégies d'insertion de ces nouveaux habitants dans la ville de Sud-ouest algérien Ouargla, et les pratiques d'habitat qui ont été développés dans ces espaces. Le choix a été fait de se concentrer sur la ville d'Ouargla, l'une des régions oasiennes du Bas-Sahara, en raison de son importance historique et religieuse et sa potentialité énergétique, ainsi que de la morphologie urbaine diachronique de la ville, qui a un impact important à la fois sur le climat local. Afin de déterminer les objets d'étude le plus approprié pour mener l'enquête pratique.

Les nouvelles périphéries des agglomérations urbaines du Sahara sont le résultat d'une série de mesures qui viennent pour satisfaire les besoins de la population en logement et en équipement. Ces activités, qui ont commencé pendant le colonialisme et se sont accélérées après l'indépendance, ont progressivement façonné ces villes et les quartiers qui les rendent uniques en termes de structure et de fonctionnalité.

Cette dynamique se caractérise par un important détachement du cadre bâti, se traduisant par de nouvelles franges urbaines à la fois planifiées et non planifiées. Au lieu d'être homogène, cet habitat périphérique contient une variété de types d'habitats qui diffèrent les uns de l'autre tant par leur morphologie que par leur contenu social.

Ainsi, cette étude vient éclairer le développement des bâtiments résidentiels à Ouargla conformément aux évolutions climatiques et environnementales, l'utilisation des technologies d'énergies alternatives et renouvelables, et la réduction de la charge thermique à l'intérieur des bâtiments, d'une manière qui soit adaptée aux générations actuelles et anciennes. Prise en compte des techniques traditionnelles de l'architecture algérienne au sein de la technologie moderne.

La deuxième partie de ce chapitre présentera d'abord des données sur la croissance démographique et de logement de la ville ensuite sa potentialité et sa consommation énergétique.

IV. Présentation du cas d'étude

IV.1. Situation géographique de la ville d'Ouargla

La ville d'Ouargla est située à 128 mètres d'altitude, à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra. Elle est peuplée de 210 175 habitants [Ghedamsi R, \(2013\)](#). Ouargla est la première ville du désert du Sahara à posséder un tramway (voir figure 68).

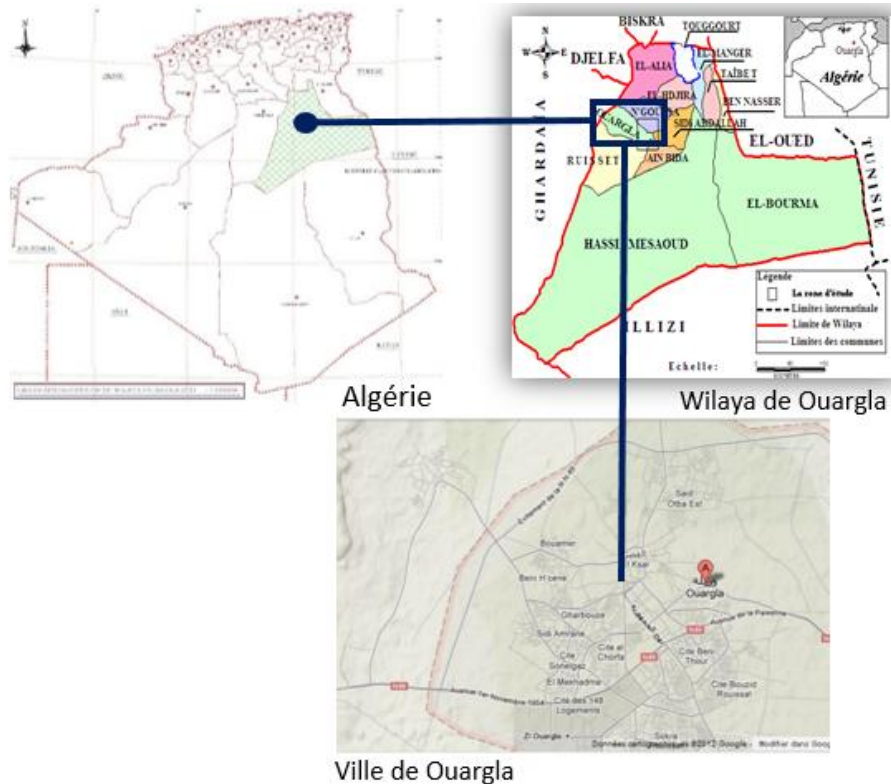


Fig.68 : Carte de situation montre les limites administratives de la wilaya d'Ouargla(Source : PDAU Ouargla 2020 et Google image 2020)

La wilaya d'Ouargla dispose d'atouts importants dans les domaines des infrastructures économiques et des équipements structurants la mettant en position idéale pour un véritable essor économique. La Wilaya d'Ouargla est considérée comme le pôle économique le plus important du pays de part du plus grand champ pétrolier de l'Algérie à Hassi Messaoud Cette situation lui confère une position de pôle économique par excellence en plus de sa position stratégique qui relie le Sud-Est au Nord du pays.



Fig.69 : Vue sur tramway et cité Ennaser Ouargla. Source : auteure 2020

IV.2. Caractéristique du climat de la ville d'Ouargla

Ouargla possède un climat désertique chaud (Classification de Köppen BWh), avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème. (Tableau.14)

Le soleil est présente presque dans tous les jours de l'année avec un ciel clair, ce facteur est considéré comme avantage économique. Surtout pour les énergies renouvelables (énergie solaire).

On pourrait classer le climat d'un lieu en avantages dont on veut profiter et contre lesquels on veut se protéger. Trouver un équilibre sain entre la fonction de la structure, le confort des occupants et la prise en compte de ces circonstances est le but de l'architecture bioclimatique. Ces facteurs font qu'il est essentiel d'évaluer le climat du site du projet avant de commencer toute conception architecturale.

Tab.14 : (Précipitations et Moyennes 1981-2010) Hong Kong Observatory.. Source : Météo Climat Bzh (extrêmes 1963–aujourd'hui).

| Mois | jan. | fév. | mars | avril | mai | juin | juil. | août | sep. | oct. | nov. | déc. | année |
|-----------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Température minimale moyenne (°C) | 4,7 | 6,8 | 10,8 | 15,1 | 19,8 | 24,7 | 27,7 | 27,3 | 23,2 | 17,2 | 10 | 6 | 16,3 |
| Température moyenne (°C) | 11,5 | 13,6 | 17,6 | 21,3 | 25,8 | 32,1 | 34,5 | 34,2 | 30 | 23,2 | 16,8 | 12,9 | 22,84 |
| Température maximale moyenne (°C) | 18,1 | 20,9 | 26 | 30 | 34,9 | 40,3 | 43,3 | 42,5 | 37,3 | 31,4 | 23,7 | 19,2 | 30,8 |
| Record de froid (°C) | -3,7 | -2 | 0 | 3 | 8,9 | 14,8 | 17 | 18 | 13 | 5 | -0,2 | -2,6 | -3,7 |
| Record de chaleur (°C) | 28,3 | 37,2 | 40 | 41,3 | 46,2 | 49 | 51,3 | 53,5 | 47,7 | 42,3 | 38,9 | 31,4 | 53,5 |
| Précipitations (mm) | 12,4 | 1 | 5 | 1,8 | 11,6 | 4,1 | 0,5 | 0,3 | 5,5 | 4,4 | 8,8 | 2,8 | 55,9 |

IV.3. Les données climatiques de la ville d'Ouargla

Il est utile d'étudier les différents facteurs qui composent le climat de la ville d'Ouargla afin de mieux le comprendre. Cela peut se faire en évaluant des données météorologiques étalées sur une période de dix ans, relatives à la période (2009-2019), dont la source est la station météorologique d'Ouargla.

IV.3.1. Rayonnements solaires et durée d'isolation

A partir des données climatiques recueillies au niveau de la station météorologique d'Ouargla relatives à la durée d'ensoleillement de la ville d'Ouargla pour la période de 2009-2019. Le maximum de l'insolation est atteint au mois d'Août avec une durée moyenne de 330.68 heures, et le minimum est enregistrée au mois de Décembre avec une durée moyenne de 223.23 heures.

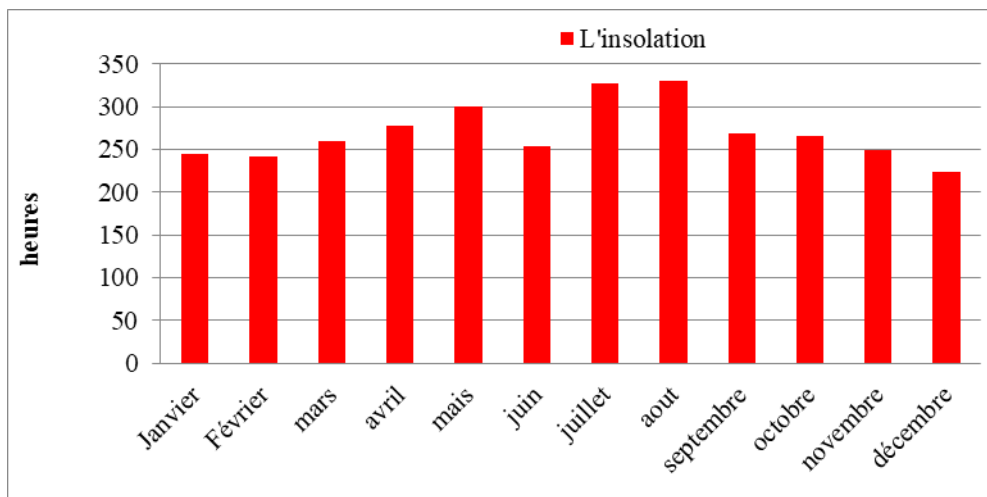


Fig.70: Duréemensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2009-2019).

Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique d'Ouargla.

Les rayons du soleil affectent directement les bâtiments et les matériaux de construction utilisés, ainsi que les plantes environnantes, et considérant la ville d'Ouargla comme une région désertique, elle est exposée à un pourcentage élevé de lumière solaire par an sauf pendant quelques jours qui témoignent de quelques heures de rayonnement et c'est surtout en hiver, et Le rayonnement solaire quotidien moyen est de 15 heures, de 59 à 57 heures en hiver et de 15 à 11 heures en été. Cette quantité d'insolation rend l'atmosphère de la région quelque peu rude, et c'est pourquoi les espaces verts doivent être intensifiés car les plantes absorbent le rayonnement solaire et refroidissent l'air en libérant de l'humidité. Les espaces verts jouent également un rôle efficace dans l'affaiblissement de l'intensité du rayonnement solaire, et cela en fonction de l'intensité des implants. Sur elle dans les carrés et les carrés ouverts.

IV.3.2. Températures de l'air

La chaleur constitue l'élément le plus important du climat, à partir de la (Figure71), la région d'Ouargla est caractérisée par des températures très élevées ; le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 43,7°C et la température moyenne minimale du mois le plus froid est de 5.1°C au mois de janvier. La température annuelle moyenne est 30.9°C.

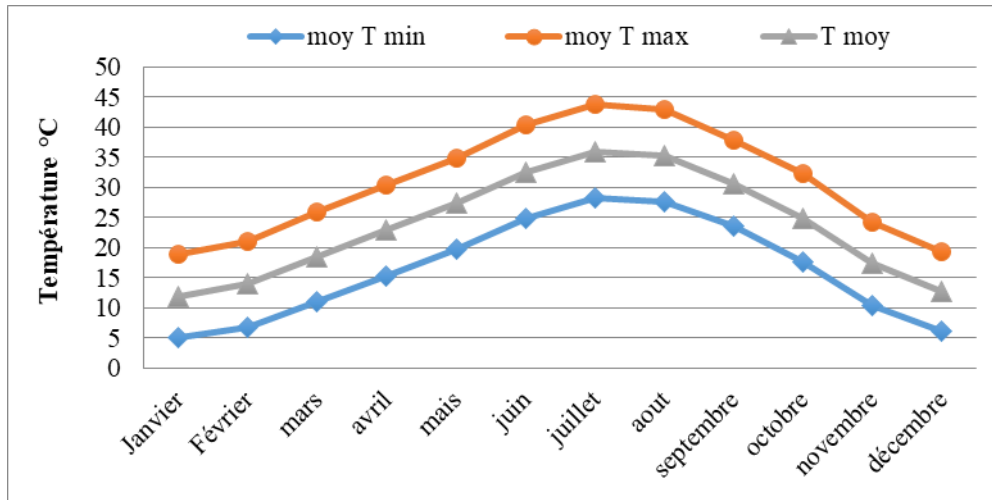


Fig.71: La Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla, pour la période de (2009-2019).

Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique d'Ouargla.

IV.3.3. Les précipitations

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période de sécheresse (quatre mois : mai, juin, juillet et, août) où les précipitations sont très faibles et, si elles existent, tombent sous forme d'orages. Le reste paraît plus humide.

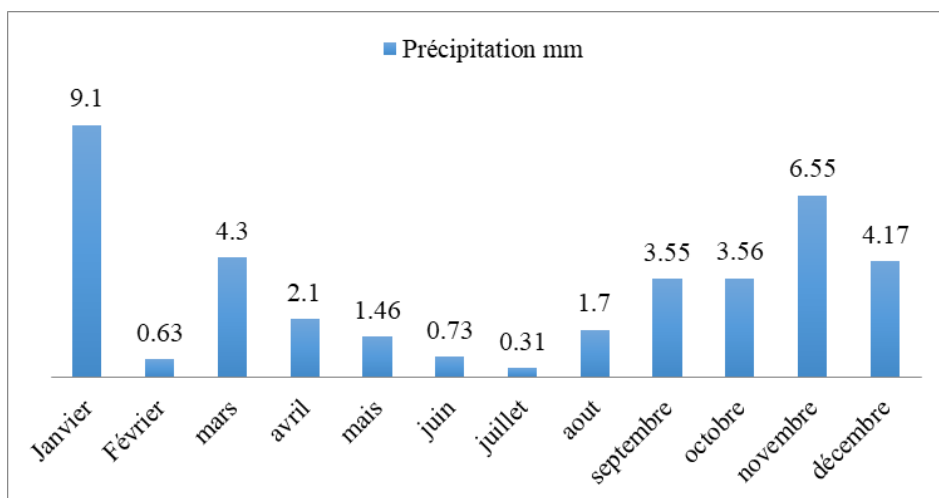


Fig.72 : La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla, pour la période de (2009-2019)

Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de ONM d'Ouargla.

IV.3.4. Humidité

A Ouargla, l'humidité relative de l'air (H) est faible avec une moyenne annuelle de 42,75% (2009-2019), elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet pendant l'été, elle diminue jusqu'à 25.72 % au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Elle s'élève en hiver et atteint une moyenne maximale de 61 % au mois de décembre.

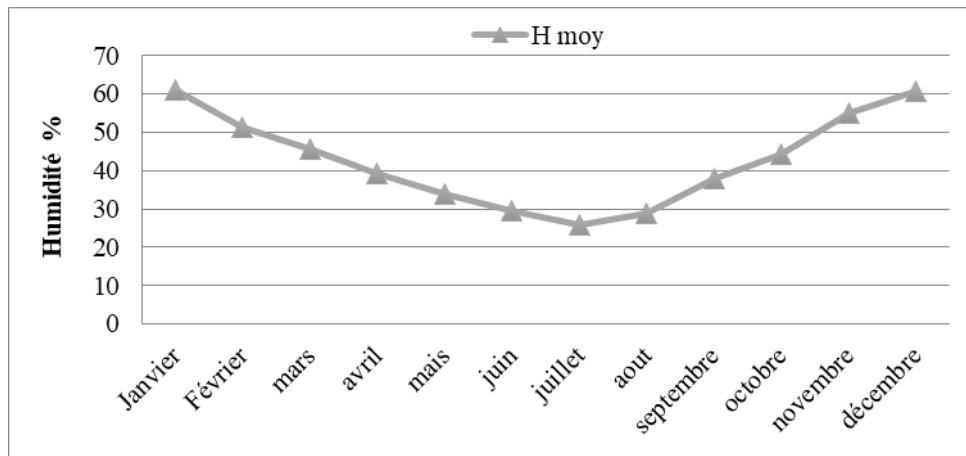


Fig.73 : L'humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla, pour la période de (2009-2019)

Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de ONM d'Ouargla.

IV.3.5. Les vents

Le vent dans la région d'Ouargla souffle pendant toute l'année avec des vitesses variables. Ils soufflent du nord-sud (sirocco) et dominant dans la région d'étude en été peuvent causer des dégâts, surtout en absence de couvert végétal avec une vitesse maximale de 4.85m/s. la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,65 m/s.

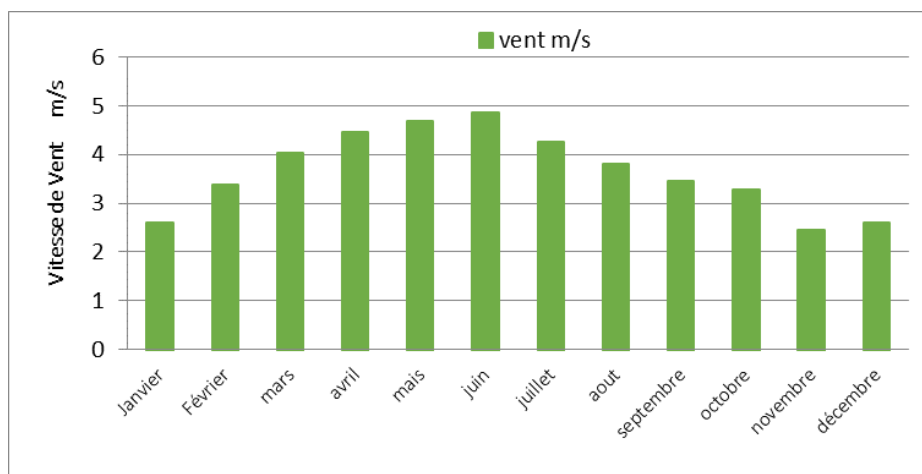


Fig.74 : Le vent mensuel moyen de la région d'Ouargla, pour la période de (2009-2019)

Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de ONM d'Ouargla.

IV.4. Analyse bioclimatique de la ville d'Ouargla

Pour déterminer la zone de confort à la ville d'Ouargla, en ce qui concerne le confort humain et la conception des bâtiments, les principaux facteurs climatiques comprennent le rayonnement solaire, la température, l'humidité, le vent, les précipitations et d'autres qualités uniques. Une zone de confort moyenne a été déterminée et est pertinente pour la ville d'Ouargla à l'aide du diagramme psychométrique, du diagramme bioclimatique d'Olgay (1963), du diagramme de confort de Humphreys et de l'équation de Szokolays (1985), des Tables de Mahony, les résultats suivants ont été atteints :

IV.4.1. Détermination la zone de surchauffe (isotherme d'Ouargla)

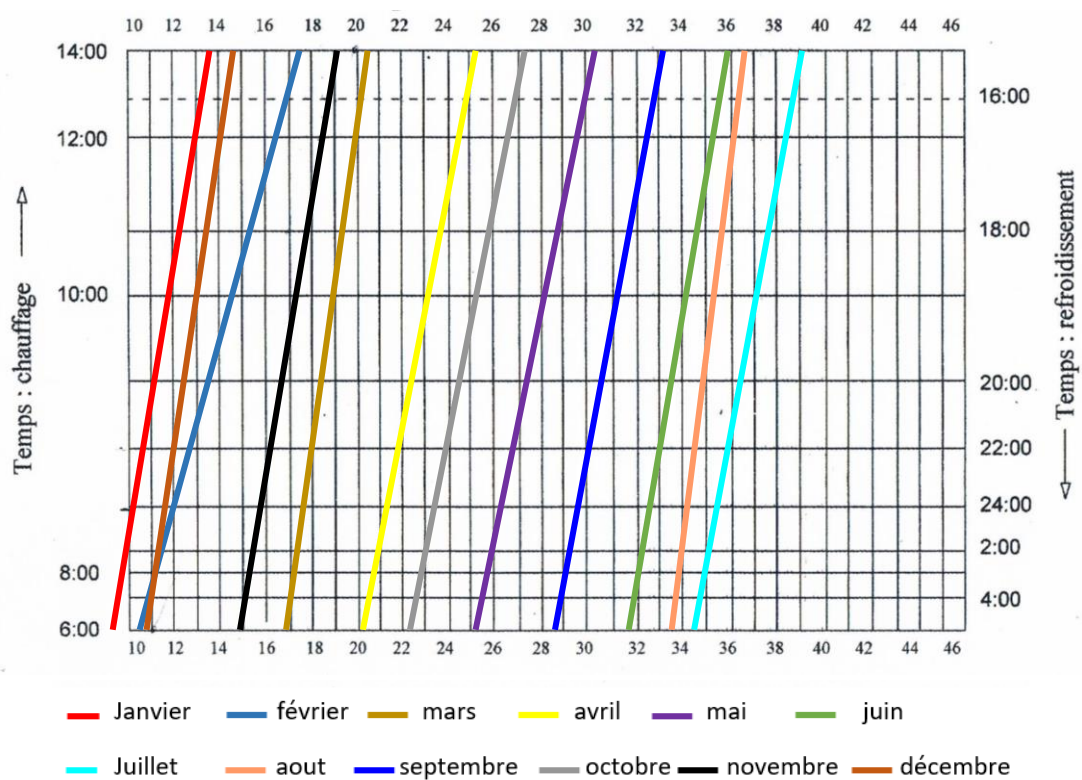


Fig.75 : Calculateur de température heure par heure d'Ouargla. (Source : auteur, 2019).

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0:00 | 9.9 | 11.4 | 17.2 | 21 | 26 | 32.1 | 35.1 | 34 | 29.2 | 23 | 15.5 | 11.3 |
| 2:00 | 9.5 | 10.9 | 17 | 20.5 | 25.5 | 31.9 | 34.9 | 33.8 | 29 | 22.8 | 15.1 | 10.9 |
| 4:00 | 9.2 | 10.5 | 16.9 | 20.3 | 25.2 | 31.7 | 34.6 | 33.6 | 28.7 | 22.3 | 14.9 | 10.8 |
| 6:00 | 9.7 | 11.2 | 17.1 | 20.8 | 25.8 | 32.2 | 35 | 33.9 | 29.1 | 22.9 | 15.2 | 11.1 |
| Couché du soleil | 11.9 | 14.5 | 19 | 23.2 | 28.1 | 34.2 | 37.1 | 35.4 | 31.2 | 25.3 | 17.2 | 13 |
| 8:00 | 13 | 16.5 | 19.9 | 24.5 | 29.7 | 35.3 | 38.5 | 36.1 | 32.5 | 26.7 | 18.5 | 14 |
| 10:00 | 13.7 | 17.5 | 20.5 | 25.3 | 30.4 | 35.9 | 39.1 | 36.6 | 33.2 | 27.3 | 19.1 | 14.9 |
| 12:00 | 13.4 | 16.9 | 20.1 | 25.9 | 30 | 35.5 | 38.9 | 36.3 | 32.9 | 26.9 | 18.9 | 14.4 |
| 14:00 | 12.3 | 15.3 | 19.2 | 23.7 | 28.9 | 34.8 | 37.8 | 35.8 | 31.8 | 25.9 | 17.9 | 13.5 |
| Couché du soleil | 11.2 | 13.5 | 18.3 | 22.5 | 27.2 | 33.5 | 36.4 | 34.9 | 30.6 | 24.5 | 16.7 | 12.5 |
| 18:00 | 10.6 | 12.8 | 18 | 21.9 | 26.8 | 33 | 35.9 | 34.6 | 30.1 | 23.9 | 16.1 | 12 |
| 20:00 | 10.2 | 12 | 17.8 | 21.3 | 26.3 | 32.6 | 35.4 | 34.2 | 29.8 | 23.4 | 15.9 | 11.6 |
| 22:00 | | | | | | | | | | | | |
| 24:00 | | | | | | | | | | | | |
| | Jan | Fev | mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec |

Fig.76 : Détermination de la zone de surchauffe d’Ouargla. (Source : auteur, 2019).

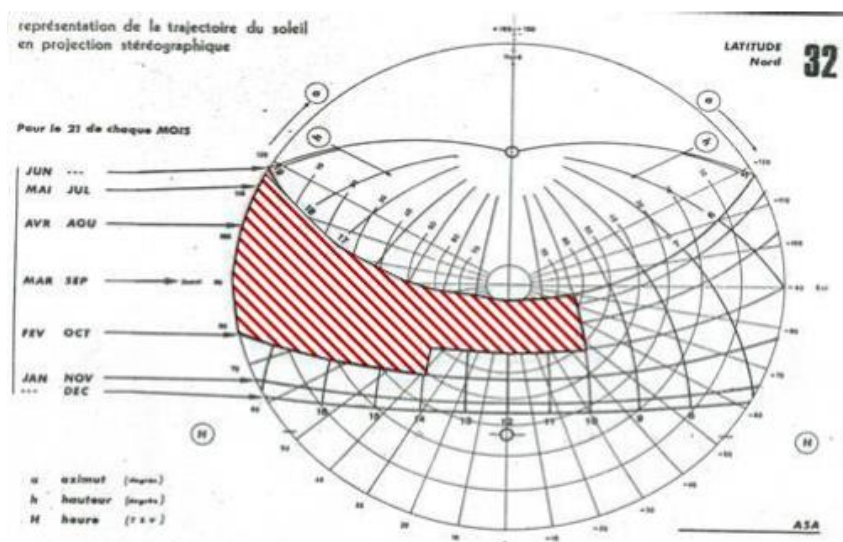


Fig.77 : Le diagramme solaire montre la trajectoire du soleil, et la zone de surchauffe pour la région la plus chaude d’Ouargla- latitude nord 32. Source : rapport de PDEAU 2019.

On pourra aussi reporter les résultats de la matrice des isothermes sur un diagramme solaire, correspondant à la latitude de la ville d’Ouargla, pour faire ressortir la zone de surchauffe de la région, qui est présenté par la (figure 77).

Le diagramme solaire, montre que la trajectoire solaire est plus importante en été (21 juin jour le plus long de l’année) qu’en hiver (20 décembre, jour le plus court de l’année).

IV.4.2. Diagramme de Givoni appliqué aux données climatiques de Ouargla

IV.4.2.1. Lecture du diagramme

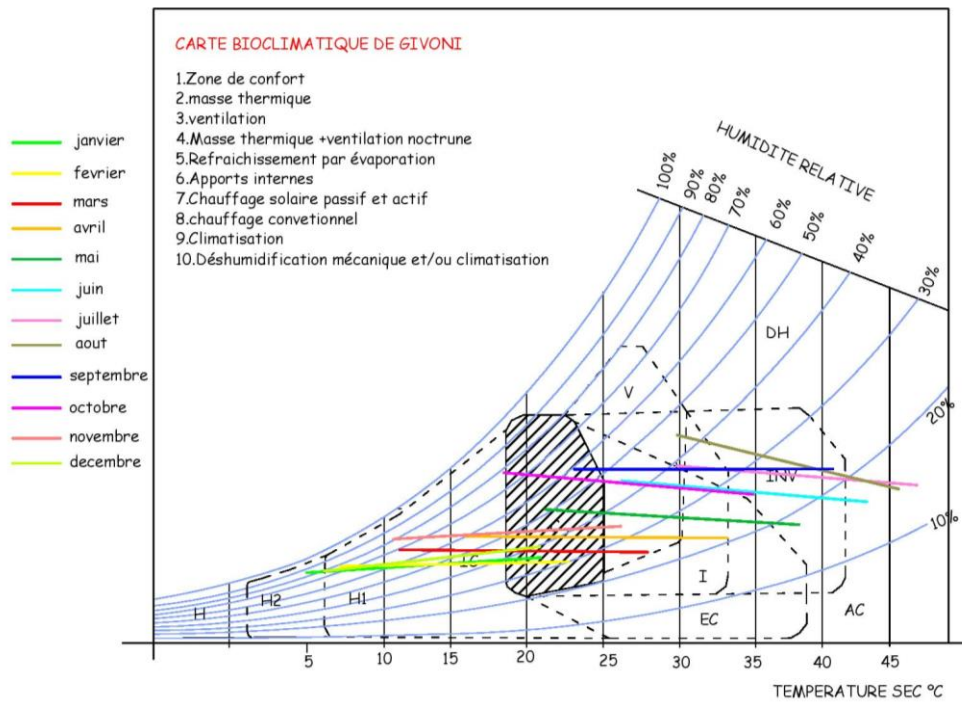


Fig.78 : Analyse des stratégies de conception bioclimatique par cartes psychrométriques pour l'amélioration du confort thermique.(Source : l'auteur 2019).

L'interprétation du diagramme psychrométrique de S. Zockolay (Fig.78) appliqué à la ville d'Ouargla laisse apparaître deux périodes distinctes, une période fraîche qui sollicite un chauffage passif, elle concerne les mois de novembre, décembre, janvier et février, pour cela il suffirait d'une bonne maîtrise des tailles et de l'orientation des ouvertures afin de ramener l'ambiance le plus près de la zone de confort.

Une période chaude, durant laquelle les mois de juin, juillet, août, septembre nécessitent un effet de masse avec une ventilation nocturne afin de se rapprocher de la zone de confort seulement pendant le mois d'août, certains moyens techniques peuvent être utilisés car les dispositifs architecturaux passifs ne suffisent pas. Le segment représentatif du mois d'août s'éloigne de la zone de l'effet de masse avec système de refroidissement par évaporation.

IV.4.2.2. Les recommandations de diagramme Givoni

- Un système actif est nécessaire les mois de décembre, janvier et février (nuit).
- Un système passif (utilisation de l'énergie solaire sans utilisation d'équipements spécifiques, la chaleur est captée, stockée et restituée, via ses ouvertures et les murs)

est nécessaire les mois de novembre (nuit), décembre, janvier et février (jour), mars et avril (nuit).

- Les gains internes suffisent pour atteindre le confort, donc le chauffage n'est pas nécessaire durant le mois d'octobre (nuit), novembre (jour), avril (jour) et mai (nuit).
- Période de confort durant laquelle ni le chauffage ni la ventilation ne sont nécessaires : mai (jour), juin (nuit), octobre (jour), et septembre (nuit).
- Pendant la période d'été, qui correspond aux mois de juin (jour), juillet, août, septembre (jour), on a recours à la masse thermique et au refroidissement par évaporation, associé à une ventilation nocturne, ce sont les stratégies recommandées pour la zone de surchauffe afin de réintégrer le confort d'été.

IV.4.3. Application des Tables de Mahony pour analyser les données climatiques d'Ouargla

Nous déterminons un nombre précis de suggestions nécessaires pour assurer le confort hygrothermique d'un bâtiment destiné à la région d'Ouargla à partir de l'utilisation de la méthode Mahoney (Annexe-1). Pour donner suite à cette analyse, nous vous proposons :

- Organisation d'une cour intérieure compacte.
- L'orientation du bâtiment
- La compacité au niveau du plan de masse
- Le ratio d'ouverture moyenne doit être de 20 % à 35 % ;
- Une ventilation
- Prévoir des terrasses accessibles
- Assurer une forte inertie thermique

IV.4.4. Conclusion de l'analyse bioclimatique

De longues périodes de surchauffe avec un inconfort intense caractérisent la ville d'Ouargla, lieu choisi pour cette étude. La majorité de l'année se situe en dehors de la zone de confort, selon l'analyse climatique et bioclimatique de la ville d'Ouargla.

Les bâtiments doivent être construits pour répondre aux exigences de l'été ; cela satisfera également les besoins hivernaux. Par conséquent, il est plus acceptable de se concentrer sur la phase de surchauffe tout en développant des méthodes de refroidissement

passif qui aident à abaisser les températures intérieures pour créer des ambiances confortables. Selon les diagrammes bioclimatiques (Szokolay) et les tables de Mahoney, atteindre le confort thermique intérieur en été nécessite une conception compacte, l'inertie thermique, l'effet de masse, la ventilation nocturne, le refroidissement par évaporation, ainsi que l'intégration des espaces extérieurs (terrasses). Par ailleurs, pour retrouver un confort thermique en hiver, un chauffage solaire passif à effet de masse thermique est conseillé.

Parce que les solutions (stratégies) produites par l'étude bioclimatique préalable sont souvent proposées sans explication, en suggérant simplement "que faire" (l'objectif), plutôt que "comment accomplir", ces stratégies ne peuvent pas être appliquées immédiatement dès la conception architecturale (le processus et le savoir-faire). L'objectif de la sous-section suivante est d'y parvenir.

IV.5. L'évolution historique de la ville d'Ouargla

La ville d'Ouargla est comme toutes les villes algériennes, elle vivait plusieurs Périodes à travers l'histoire, chaque époque de l'histoire laisse son empreinte, et qui prend place en juxtaposition ou en superposition avec l'époque précédente sans l'effacer, on va exposer les différentes périodes historiques qu'elle voyait cette ville. A travers cette analyse de son tissu urbain on peut y déceler (Fig.79).

1-l'ancien palais d'Ouargla : entre hier et aujourd'hui.

2-les premières formes des nouveaux espaces urbanisés par la colonisation

3-les quartiers autoproduits par les nomades : les quartiers spontanés

4-nouveaux espaces urbains produits par l'intervention de l'état algérienne : les extensions Khedji, Bamendil, les lotissements AADAL-et les lotissements des agences de promotions.

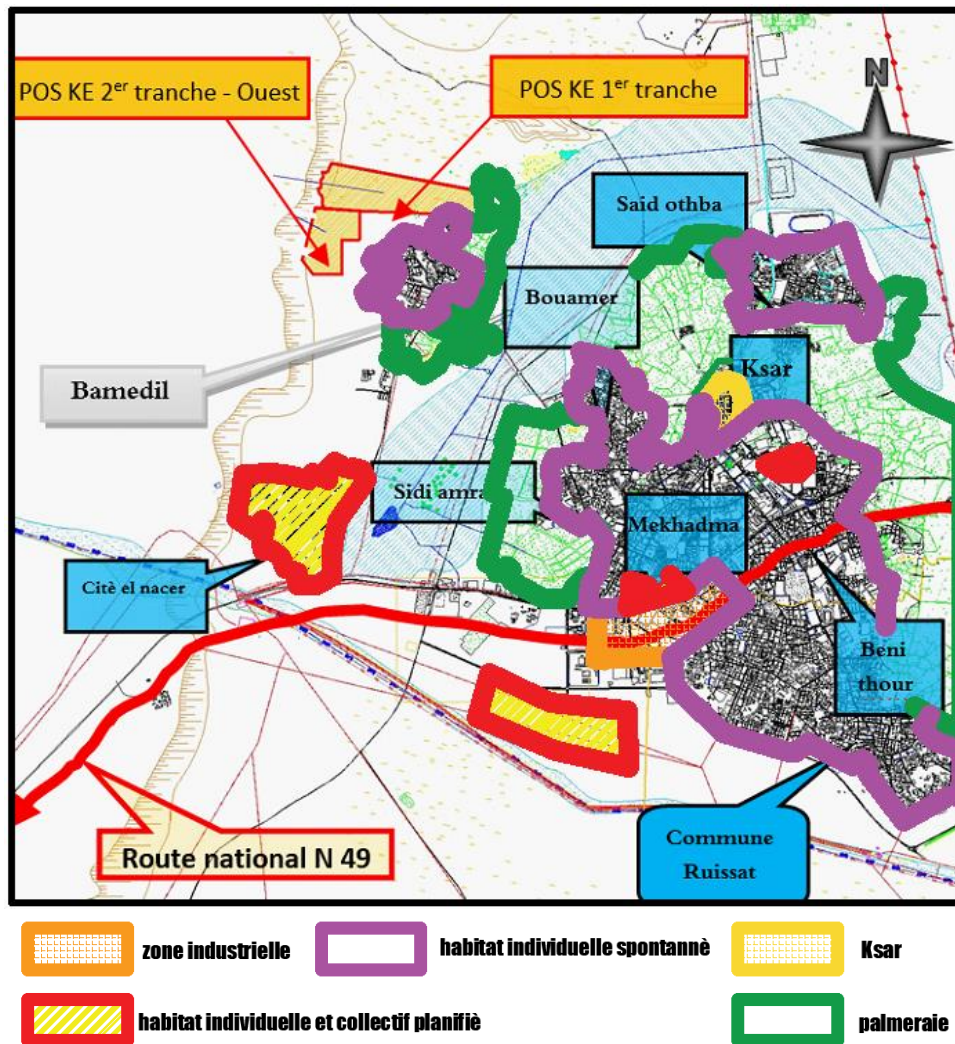


Fig.79 : Les composantes de tissu urbain de la ville de Ouargla. (Source : l'auteur 2020).

IV.5.1. L'ancien palais d'Ouargla : entre hier et aujourd'hui

L'ancien palais d'Ouargla s'étend sur une superficie de 30 hectares et se situe au nord de la ville d'Ouargla et la vie y est toujours présente, puisqu'il est habité par environ 8000 habitants (Hichem ADAD, 2020)., il est apparu avant l'antiquité romaine. Il est classé comme patrimoine historique national comme, il dote d'un plan de sauvegarde de mise en valeur, il est sans doute le plus enraciné dans l'histoire du Sahara. L'organisation physique du ksar d'Ouargla, comme celle de nombreuses villes sahariennes, satisfait parfaitement les besoins socioculturels et économiques de ses habitants. C'est un lieu fonctionnel, avec une planification compacte qui reflète la cohésion sociale de ses habitants. Les liens entre morphologie sociale et urbaine ont permis de favoriser l'expansion de la vie sociale. Il est entouré de rues étroites et sinueuses, et des routes secondaires (ruelles et impasses).

Le ksar est organisé en trois grandes entités spatiales correspondantes à trois composantes ethniques : « Le quartier des Beni Ouagguin, Le quartier des Beni-Brahim, Le quartier des Beni-Sissin » (Kadri *et al.*, 2016). Le palais contient sept portes, qui sont : Bab Amor, Bab Ami, Bab Bouchak, Bab El Boustène, Bab El Khoukha (Rabaa), Bab Azzi et Bab Errabia donnent accès au vieux ksar. (Figure 84). Le ksar revêt une importance particulière en tant que patrimoine national compte tenu de sa taille, de sa complexité, de son originalité, de son organisation urbaine et de son intérêt historique, en plus des monuments religieux. Ces derniers ont joué un rôle important dans la diffusion de l'islam dont les plus importantes sont la mosquée Maliki et la mosquée Lalla Azza al-Abadi, ainsi que les zawiya, dont la zawiya de Sidi Abdel Qader, Sidi Al Hafian et l'étudiant arabe (Palais du Désert de la Wilayat d'Ouargla, Direction de Culture).

Avec ses activités fonctionnelles, il conserve son style architectural et urbain ancien, où son développement était radialement entouré de forêts de palmiers, et il est aujourd'hui le noyau central de l'environnement urbain pour le domaine d'études (Archive de l'Association Locale De La Culture Et De L'ISLAH D'el Ksar). Le vieux Ksar d'Ouargla, est classé depuis l'année 2011 secteur sauvegardé (patrimoine national). Retenue dans le cadre du programme d'appui à la protection et la valorisation du patrimoine culturel en Algérie, initié par le ministère de la Culture avec le concours de l'Union européenne.



Fig.80 : Plan de palais d'Ouargla montrant les trois quartiers de chaque communauté.

Source : fond de carte « L'association locale de la culture et de l'islahd'el Ksar d'Ouargla »

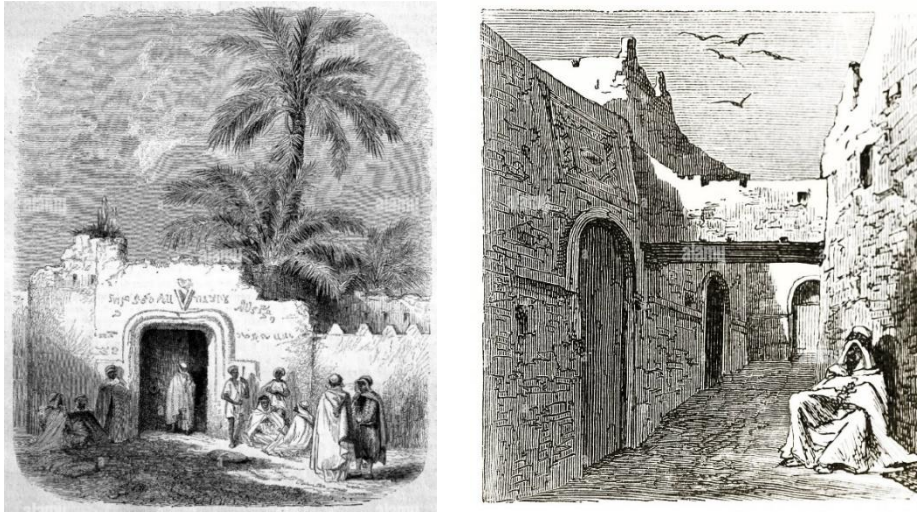


Fig.81: a) Bab Bahmiden 1854. Source (Magasin Pittoresque 1856) **b)** Vue ancien d'une rue en impasse à Ouargla Algérie. Source : journal le tour du monde paris 1863.

IV.5.1.1. Les rues couvertes

Selon (Suiggat,2020) Les rues de l'ancien palais se distinguent par leurs rues étroites et tortueuses, car elles réduisent l'intensité des vents sablonneux et des courants d'air froid ou chaud. Chacune d'entre elles peut mesurer un mètre de large et mène directement aux centres sensibles du palais, représentée dans la Grande Mosquée, la Kasbah et la Rahba.

Ils apportant ombre et fraîcheur en été, dans le Ksar, en sont un bel exemple. Le passage couvert est une des configurations urbaines favorisant l'atténuation de l'intense rayonnement solaire à l'extérieur des bâtiments. (Kadi, Y. 1999)



Fig.82 : Une rue couverte à Ksar d'Ouargla au quartier Bani Ibrahim. Source : l'auteur,2020

IV.5.1.2. Identification de la maison ksourienne Ouarglie et ses composantes

La maison ksourienne Ouarglie est introvertie comme une enceinte close et opaque. D'après Joudi (2015) Les habitations du palais se jouxtent, entourant le minaret de la mosquée, formant un tissu compact. La plupart des habitations se composent d'un premier étage et d'un toit. Ce qui distingue les habitations du palais, ce sont leurs murs épais qui résistent à la chaleur en été et au froid en hiver, Construit avec des matériaux de construction locaux, pierre et Temchemt, avec des performances thermiques efficaces.

IV.5.1.3. Description spatiale d'une maison du Ksar

Les espaces de la maison sont répartis autour du centre de la maison ou centre de vie de la famille, où ils sont éclairés par une ouverture supérieure, Le premier étage a une entrée privée, qui est l'entrée pour l'invité, menant généralement à deux chambres et à un espace ouvert. Caractéristiques architecturales et artistiques de l'habitation traditionnelle du palais d'Ouargla, (Judy Mohamed,2015). Deux idées fondamentales sont à retenir de l'usage de cette maison, l'une est relative à l'occupation de l'espace par rapport aux saisons, l'autre à l'occupation de l'espace par rapport aux membres de la famille selon qu'ils sont de sexe féminin ou masculin. En hiver, les soirées se déroulent au rez-de-chaussée « *wāddāy n tādḍārt* », pour mieux se protéger de la rigueur du froid des fins d'après-midi et des débuts de soirées. La mitoyenneté ainsi que les portes de communication du bas « *āyzār* », qu'on rencontre parfois même au niveau de la terrasse, « *ennezz* », permettent aux femmes et aux enfants de passer d'une maison à l'autre, sans avoir besoin de prendre la rue.

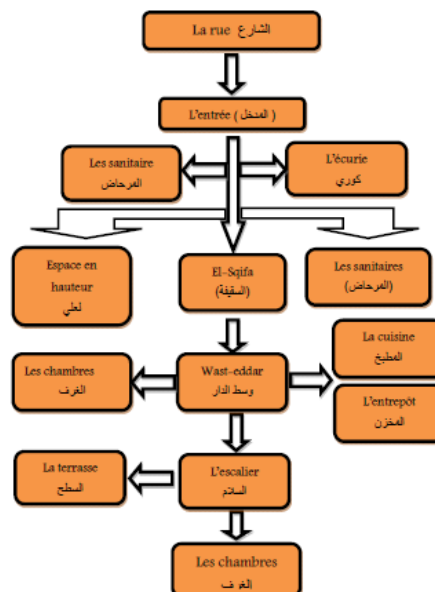


Fig.83 : Organigramme illustrant l'organisation spatiale de la maison traditionnelle du Ksar.

Source : PPSMVSS Ouargla,2019

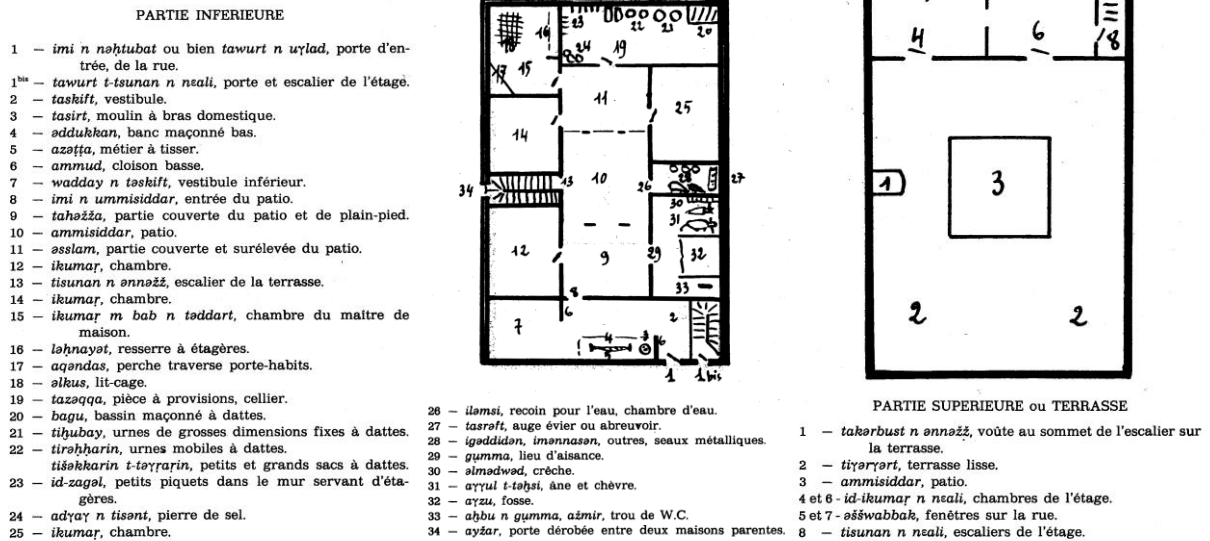


Fig.84 : Schéma de la « TADDART » maison Ouarglie avec légendes en mots berbères. Source. (Delheure.1973).

(Les chiffres portés sur le plan font la correspondance avec ceux entre parenthèses qui suivent les noms d'espaces dans le texte qui décrit la maison traditionnelle)

IV.5.1.4. Matériaux et techniques de construction

Les murs porteurs réalisés en pierre et en Timchemt portent le plafond sont composé des différents matériaux : une couche supérieure de Timchemt utilisé comme enduit extérieur, une couche de terre compactée suivie d'une couche épaisse de pierres local mélangées à du Timchemt comme liant.

Ils constituent d'une autre couche de Timchemt comme enduit extérieur, et enfin les troncs de palmiers utilisés comme poutrelles porteuses transversales, et tous ces matériaux sont les plus connus dans le monde pour ses propriétés thermiques, sa large disponibilité et son faible coût(Dethier, 1981).

Les matériaux de construction locaux ont un coefficient d'isolation thermique élevé C'est une indication de son efficacité face aux conditions climatiques dominantes.

Les couloirs et les plafonds sont construits avec des matériaux locaux à faible conductivité thermique et d'une épaisseur considérable afin de réduire la conductivité thermique à l'extérieur de ces matériaux.

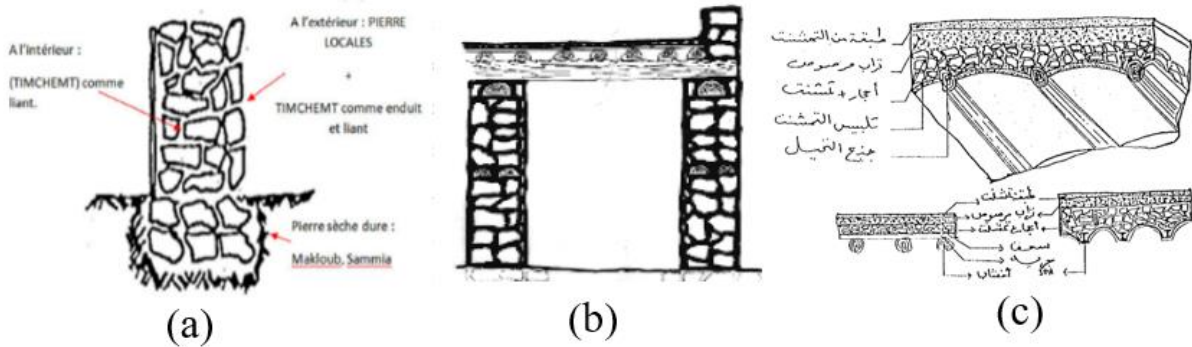


Fig.85 : Des croquis des techniques de construction (a) fondation, (b) mur porteur, (c) plancher, de la maison traditionnelle du ksar et des matériaux qui la composent. Source : PPSMVSS Ouargla.

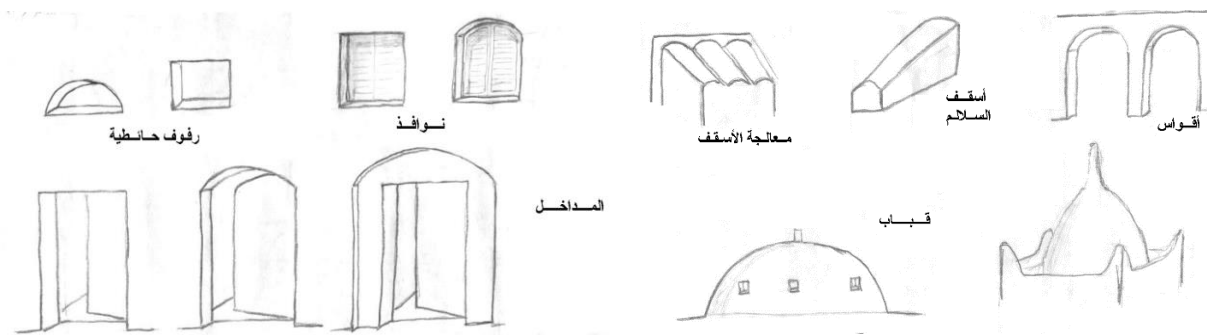


Fig.86 : Des éléments architecturaux de la maison Ouargli. Source : PPSMVSS Ouargla, 2019.

La maison traditionnelle duKsard’Ouargla se caractérise par une organisation architecturale introvertie autour d'un noyau centrale principale et important, qui est wast-eddar(ChaoucheMeriama 2007).

Le système d’éclairage naturel des maisons traditionnelles du Ksar sont réalisés grâce à la présence des ouvertures au niveau des planchers supérieurs au –dessus de WAST-EDDAR. Cette dernière constitue la source de l'ensemble des espaces architecturaux qui composent la maison traditionnelle, Cette ouverture (voir figure 87) permet aussi aux habitants de la maison traditionnelle d'avoir une ventilation qui participe à l'équilibre de l'humidité dans les maisons "KSAR "en assurant aussi là une préservation des matériaux (PPSMVSS Ouargla).

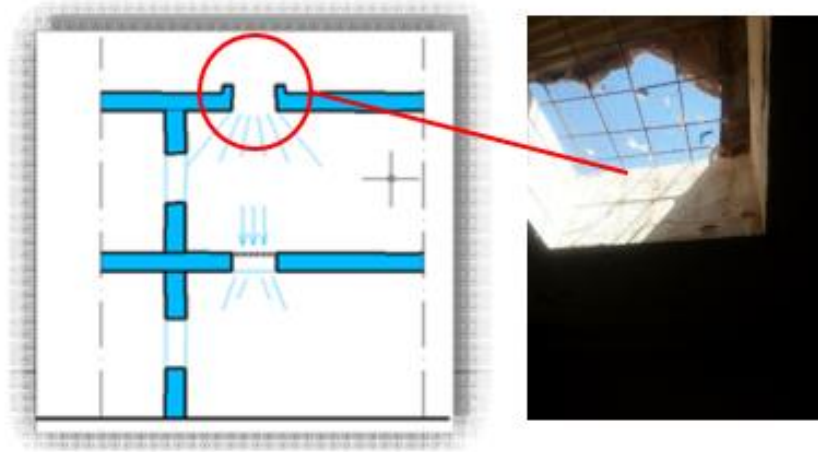


Fig.87 : Vue sur l'éclairage zénithal donnant sur West-Eddar.de la maison traditionnelle du vieux Ksar. Source auteur et PPSMVSS.

Pendant la journée, les matériaux de construction réduisent l'ampleur du rayonnement thermique à l'intérieur de la fenêtre (voir figure 88), ce qui peut adoucir l'atmosphère à l'intérieur. Le processus inverse se déroule durant la nuit lorsque le rayonnement thermique s'écoule vers l'extérieur pour se refroidir à l'intérieur aux premières heures de la journée. Les matériaux de construction locaux ont un coefficient d'isolation thermique élevé. C'est une indication de son efficacité face aux conditions climatiques dominantes (PPSMVSS Ouargla).

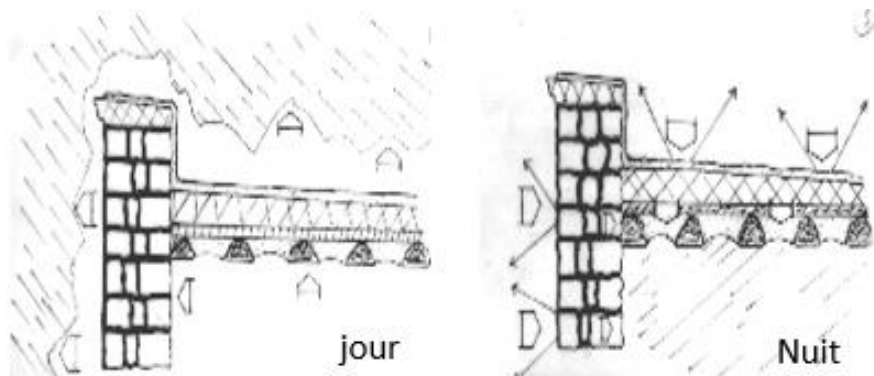


Fig.88: Esquisse schématique illustrant le comportement des matériaux de construction qui composent le plancher et le mur de la maison traditionnelle du Ksar durant le jour et la nuit. Source PPSMVSS.

IV.5.1.5. Cas actuels des maisons de ksar

IV.5.1.6. La dégradation de bâties

Selon [Rayanekadrilima et al \(2016\)](#), le ksar est actuellement dans un état de dégradation avancé. Il a subi des dommages causés par l'augmentation du prix des logements disponibles et la diminution de la disponibilité de l'eau potable. Il en résulte une usure rapide des matériaux et de la structure. Son tissu s'est encore densifié jusqu'à saturation (335hab/ha), et ses rues se couvrent de morceaux.

Des places sont progressivement supprimées et des jardins intérieurs sont construits pour maximiser l'espace disponible. Les remparts, qui ont été détruits, sont remplacés par des bâtiments qui s'étendent jusqu'à la limite sud du périmètre.



Fig.89 : L'état de dégradation ou démolition des habitations et les rues couvertes. Source l'auteur 2020

IV.5.1.7. Les mutations typo-morphologiques causées par les habitants

Lors d'une visite du palais d'Ouargla, vous remarquerez et découvrirez plusieurs mutations causées par les habitants de certaines maisons ,nous en mentionnerons quelques-uns : voir figure (90) comme exemples de ces mutations(ADAD, H. 2020)

- Utilisation des balcons et des grandes ouvertures vers l'extérieures.
- Les transformations typologiques et changement d'usage de certaines pièces.
- Construction de type nord ne correspondent pas au Ksar.
- Utilisation des matériaux nouveaux avec structure mixtes (béton/pierre) et (béton/brique).





Fig.90 : Transformations de l'image du Ksar par les habitants En construisant des habitations avec de nouveaux matériaux de construction et d'une manière aléatoire. Source l'auteur 2020.

Selon Ghellab 2020, à cause de ce changement dans le Ksar et depuis la classification du site, les autorités locales œuvrent en coordination avec les associations actives pour mener à bien de nombreuses opérations de restauration du site et recherchent les moyens et les mécanismes nécessaires à sa pérennité, en engageant des ingénieurs et des architectes professionnels et en organisant des séminaires et des forums pour présenter ce patrimoine pour éviter sa disparition. Au cours des dernières années, plusieurs opérations ont été engagées pour réhabiliter et restaurer ce Ksar qui s'étale sur 30 hectares. Et on va citer certaines opérations de restauration.

IV.5.2. Opération de réhabilitations des façades urbaines

En 2012, une enveloppe de 2 millions de dinars a été allouée pour déblayer les débris et les pierres résultant de l'effondrement des bâtisses. Le site a également bénéficié d'autres couvertures financières d'une valeur de 6,2 millions de DA, entre 2007 et 2009, pour effectuer les mêmes opérations en plus de certaines restaurations charge une partie des travaux de renouvellement du réseau d'eaux usées et d'alimentation en eau potable, en plus du renforcement des réseaux d'éclairage public.

Au tour au périphérie de Ksar tout d'abord et voire les façades qui a été réhabilité par la DUC financer par la loi 7-21 amélioration urbaine. En 2007 sont réhabilitée 1.5 KM de façades de Ksar.



Fig.91: Rénovation d'une partie de la façade urbaine. Source l'auteur 2020

Selon la figureci-dessous92, les façades avec une couleur claire uniforme ; et décoré par des motifs ou des signes berbères. A l'entrée de Beb Azzi en trouve une large voie avec des bâtiments en extrémité a du gabarit R+2 de commerce au RDC avec des arcades (forme une galerie) et les 2 autres niveaux sont des habitats collectifs.



Fig.92 : a) Des habitations collectif R+2 avec des galeries de commerces au RDC. b) Entrée de Ksar à partir de Beb Azzi décorés avec des arcades et des coupoles. Source l'auteur 2020.

IV.5.3. Opération de formation aux métiers de restauration

Une opération de formation aux métiers de restauration a été lancée à Ouargla en prélude à des interventions de ré- habilitation prévues sur le vieux Ksar d'Ouargla. Couvrant trois quartiers principaux, à savoir Béni-Sissine, Béni Ouaguine et Béni-Brahim, cette action consiste en la formation d'une quarantaine de jeunes sur le savoir-faire traditionnel de maçonnerie et la production de matériaux locaux.

La session de formation de 9 mois, effectuée en coordination avec le secteur de la formation et de l'enseignement professionnels, sera sanctionnée par un diplôme de base sur l'art de la maçonnerie traditionnelle et des matériaux de construction locaux. ([Rapport de chambre de commerce et d'industrie Ouargla oasis 2016-2017](#)).



Fig.93 : Formation de maçons sur la construction avec les techniques traditionnelles. Source (Kchired, 2017).

IV.5.4. Programme de réhabilitation des logements traditionnels par la direction de logements Ouargla

Le projet visant la réhabilitation et la restauration de 150 bâtisses pilote à l'intérieur du Ksar, un exemple des rénovations des résidences du palais avec des matériaux locaux "Timchmet et Hajrat Ouargla" et une main d'œuvre locale également (Figure 94), pour servir de témoin et de référence pour savoir comment restaurer et intervenir dans le tissu urbain de l'ancien palais, le secteur préservé au futur ces maisons devront utiliser pour un circuit touristique.



Fig.94 : Maisons restaurées dans le Ksar d'Ouargla, à **gauche** la photo présente le renforcement de maison par les poteaux, à **droite** les photos présente la restauration des façades avec l'utilisation des portes traditionnelles avec les arcs. Source : l'auteur, 2020

IV.6. Les premières formes des nouveaux espaces urbanisés par la colonisation

Pendant la période française, la ville apparut au sud du palais et commença à se répandre. Les Français ont mis en place une construction urbaine moderne dans la première opération Carpellet entre 1927 et 1940 et ont adopté une nouvelle méthode d'insertion de

l'espace dans la région, établissant un réseau urbain régulier selon la planification des échiquiers, avec de vastes jardins et couloirs. A partir de 1940, la ville a continué à se développer selon une planification régulière, qui a été conçue conformément aux principes de la Charte d'Athènes (soleil, espaces verts, loisirs...) Le palais a été séparé du reste du verger de palmiers. (Kebaili, A.2015).

Selon [Yousfi Badruddin \(2015\)](#), la première phase de la formation des villes désertiques remonte à la période de l'occupation française, où les villages ont été établis pour recevoir des casernes militaires à proximité des palais les plus importants. Cela a contribué à la création d'un nouveau cadre urbain, selon une logique technique militaire dans laquelle ces villages font face à des carences. Ces villages ont été utilisés pour construire quelques petits équipements, ainsi que pour loger les étrangers européens et autochtones, qui sont venus s'installer dans ces communautés.

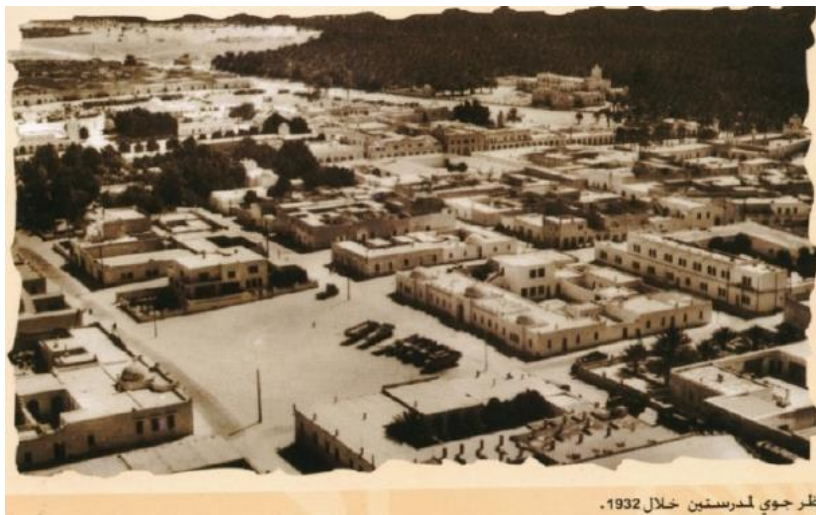


Fig.95 : Cité administrative période coloniale. Source : CPSM Algérie L'urbanisme moderne (de 1927à 1930)



Fig.96: a) Portes du Colonel Carbillet en 1961. b) Marché (Souk). Source ; Association du Ksar pour la culture et Islah.

Depuis 1940, la ville a continué à se développer selon les plans du colonel Carbillet. Le processus le plus important a été la construction de la ville de Silis (maintenant la province de Belkassem), à travers laquelle il vise à accueillir les civils français. Il s'agit notamment de parcelles de terrain de villa autour des deux principaux hôtels transatlantiques et Caravansérails séparés de la fracture de la palmeraie à Beni Sessine Sud.



Fig.97 : Cité silis entre le passé et l'avenir. Source : l'auteur 2021

IV.6.1. Opération de réhabilitations de la cité silis par L'Office de promotion et gestion immobilière (OPGI) Ouargla

Projet étude et suivi pour la réhabilitation d'un parc immobilier des communes OUARGLA Lot N : 04 -Cité 24 février « ex-Silis » commune d'Ouargla 2020/2022 (OPGI Ouargla) sous la direction du chef-lieu de la wilaya d'Ouargla. (Voir figure 98)



Fig.98 : Photos avant et après l'utilisation des panneaux sandwichs pour le respect de l'aspect architectural de climat et de conception dans les logements cité Silis. Source : Éditée par l'auteur, 2019.

IV.7. Les quartiers autoproduits par les nomades : les quartiers spontanés

Selon [Yousfi Badruddin \(2015\)](#), l'inclusion de symboles d'urbanisme pendant la période d'occupation française visant à contrôler et à normaliser techniquement les agglomérations désertiques a été incapable de freiner les origines et la croissance des quartiers informels. Ce phénomène s'est poursuivi après l'indépendance, entraînant l'émergence de

certaines zones d'habitat malsain, notamment à Adrar et Bachar. Ces espaces ont été créés pour accueillir le nombre croissant de populations extérieures qui ont décidé de s'installer dans ces villes.



Fig.99 : Des vues sur des maisons individuelles aux quartiers nomades de Beni Thour et sidi Boughoufala. Source : l'auteur 2020

Contrairement au palais, qui est resté inchangé, la nouvelle ville a commencé à se développer. C'est notamment le cas après le démarrage de l'exploitation pétrolière à Hassi Messaoud en 1956, la construction de la route « Ouargla, Hassi Messaoud », la construction de l'aéroport, et la construction de nombreux autres bâtiments, où les salaires de la population ont augmenté par rapport à la baisse des revenus de l'agriculture et de l'élevage (Abdelkader, S.2013). Les nomades se réinstallent dans les banlieues sud et nord de la ville en établissant des établissements urbains ouverts à extension horizontale, connus sous le nom de (Al-Diyar). La situation actuelle de l'étalement urbain, au niveau de la zone d'étude, se présente ainsi, comme la présente la photographie aérienne ci-dessous (figure 100).



Fig.100 : Exemple d'un tissu non planifié, ici quartiers nomades de Beni Thour et sidi Boughoufala. Source : Google earth, 2022

Plusieurs zones urbaines, au niveau d'Ouargla, ont connus un développement de leur tissu urbain sans avoir d'autorisation de construction de la part des autorités compétentes en la matière. Au début des années 1990, les zones de Rouissat et de Ziaina, en particulier, ont

montré une extension très soutenue de leur tissu urbain sans permis de construction. L'Etat s'est opposé avec force, ce qui a poussé l'administration des domaines à activer la mise en place du plan cadastral de la wilaya.(Bouafia,A.2011)

IV.8. Nouveaux espaces urbains produit par l'intervention de l'état algérien

IV.8.1. Situation urbanistique

A l'heure actuelle, Ouargla apparaît comme une oasis prospère, lié surtout aux apports monétaires extérieurs et à la volonté de l'Etat pour établir un équilibre régional et national. Ouargla est aujourd'hui caractérisée par l'implantation des zones d'habitat urbain nouvelles et collectives à construction en hauteur et superposition des étages.

C'est ainsi que des citées de : 750 logements, 460 logements, 324 logements et 148 logements sont édifiées avec des plans et de façades type. Un autre site d'extension future de la ville est situé à l'ouest de la ville d'Ouargla. C'est le plateau de Bamendil qui s'étale sur une superficie de 1 020 hectares. Ce site est préparé pour recevoir tous les programmes de développement de la ville à court, moyen et long terme. Ce qui permet de sauvegarder le Ksar classé comme patrimoine national. Néanmoins, cet éloignement (du site du Ksar) peut accentuer la rupture entre le tissu urbain traditionnel et les nouveaux pôles d'animation de la ville.(Abdelkader, S, 2013). A travers la figure ci-dessous 101, en peut voir l'état actuel du tissu urbain au niveau de la ville d'Ouargla



Fig.101 : Exemple d'un tissu en lotissements des habitations individuelles, ici à droite, le quartier AADAL 2 et cite 294 LLP. À gauche cité Ennasr. Source : Google earth, 2022

Nous découvrirons en apprenant à travers l'histoire jusqu'où s'est développé une architecture régionale spécifique, sensible à la fois à l'utilisation de l'énergie et aux conditions climatiques.

- La plupart de la conception architecturale des structures modernes à Ouargla (construites après 1970) est basée sur la formation d'architectes locaux, sont fortement

influencées par l'architecture occidentale et ont une nette propension à imiter un style architectural international sans tenir compte des avantages de l'architecture traditionnelle, des conditions climatiques uniques et de la vie sociale à prédominance laïque.

- Mais aussi leur d'une soumission d'un projet, l'administration exige des conditions et des critères pour la sélection d'un projet, alors les architectes sont obligées de faire des conceptions standard qui marche avec le cahier de charge de la soumission.

- Une analyse approfondie des disparités entre l'espace, la société et les institutions urbaines s'impose face à l'échec des modèles officiels et à la faible performance constatée des outils de régulation.

- La grande majorité des bâtiments contemporains sont construits sans tenir compte des conditions climatiques ou de leur impact sur le confort et le bien-être des occupants, malgré le fait qu'il existe d'excellents exemples basés sur des principes de conception appropriés et une meilleure compréhension des conditions climatiques locales. Cela est principalement dû à un manque de compréhension des performances thermiques des matériaux et des techniques de construction modernes, ce qui conduit à un manque de codes de construction. (Hammache, S.2015)

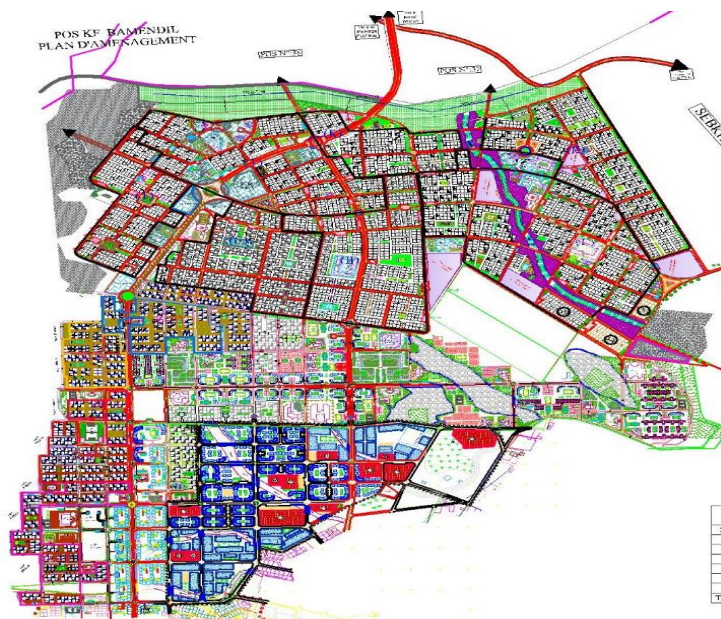


Fig.102 : Lotissements planifiés à Ouargla. Source cahier de charge pour projet de lotissement de 4500lots pour des logements individuelles. Bamendil Ouargla.Mahdadi 2015.

D'après [Yousfi Badr Eddine \(2015\)](#) Les préoccupations des pouvoirs politiques se sont réorientées entre 1980 et 2010 sur la question du logement, qui a été renforcée par lotissements, coopératives immobilières et zones d'habitat urbain nouvelles (ZHUN). Les habitants s'adaptent mal à ces nouveaux logements et veulent des extensions et changements dans les plans et les façades. Dans les nouvelles habitations individuelles de la ville, on relève des transformations des plans des techniciens au cours de la réalisation de ces maisons (voir la figure 103). Ainsi, ces dernières sont conçues et construites par les habitants eux-mêmes à la recherche d'une conformité avec la réalité de leur mode de vie et de leur situation sociale spécifique.



Fig.103 : Nouvelles extensions de la ville d'Ouargla. Un logement LPA cite Bamendil Ouargla. Société de promotion immobilière SOTRAV : changements des plans et façade. Source : l'auteur,2022

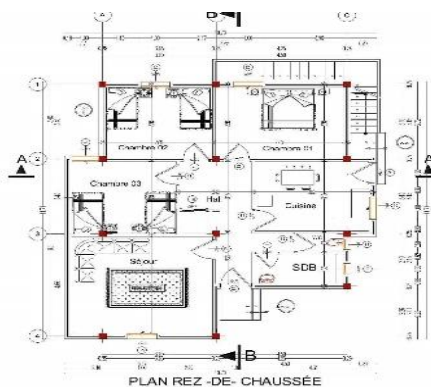




Fig.104 : Nouvelles extensions de la ville d'Ouargla. Logements AADAL à Ouargla. Source : l'auteur, 2020.

IV.8.2. Matériaux et techniques de construction

Les matériaux utilisés dans la construction actuelle telle que le béton, le parpaing et le verre, se caractérisent par de mauvaises propriétés thermo physiques à l'égard du rayonnement solaire intense qui caractérise la région (fontaine J ,2003). Le mur et les toitures à faible inertie thermique ne possédant pas des caractéristiques isolantes importantes constituent une surface d'absorption au rayonnement solaire (Chelghoum et al, 2011)

La typologie récente de l'habitat fait appel à une nouvelle conception architecturale, prenant en compte des matériaux nouveaux inadaptés au climat aride des zones Sahariennes. Il s'agit principalement du matériau béton (structure poteaux-poutres et blocs de parpaings) connu pour ses multiples avantages (plasticité, facilité de mise en œuvre, résistance mécanique importante acquise à court terme, etc.). Ce système de construction est presque le même sur tous le territoire Algérien avec les mêmes matériaux de construction.



Fig.105 : Les matériaux de construction moderne utilisée, Brique creuse, parpaing, polystyrène. Source : l'auteur, 2020

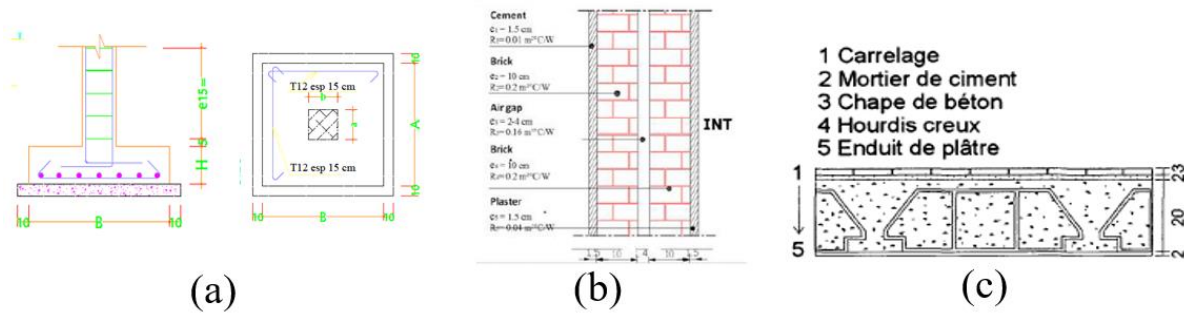


Fig.106 : Structure et techniques de construction moderne utilisé, a. Fondation, b. Mur, c. Plancher
.Source : l'auteur,2020

IV.9. Données sur la croissance démographiques et de logement de la ville d'Ouargla

IV.9.1. Analyse démographique et économiques

L'étalement urbain à Ouargla est renforcé par l'augmentation de la population et le programme de logements. Le développement de l'oasis est lié aux ressources monétaires extérieures et à la volonté d'un Etat d'instaurer une équité régionale et nationale.

IV.9.1.1. Population

Le développement de la population a des implications et une grande importance dans les études urbaines car il s'agit d'une précipitation des causes, et donc l'étude urbaine doit être abordée, en fonction du changement démographique ou de son déclin, il affecte les besoins de l'étude, et en fonction des besoins de la population, elle doit être soigneusement calculée.

Les études démographiques se distinguent par un caractère particulier compte tenu de leur importance du point de vue théorique et pratique, car elles sont le principal indicateur pour connaître les besoins matériels de la société, tels que la santé, l'éducation, le logement, la main-d'œuvre dans diverses activités économiques telles que l'agriculture, l'industrie et le commerce mais aussi l'énergie afin de connaître l'équilibre ou non au niveau de ces activités. Les études démographiques dans le monde d'aujourd'hui sont devenues un indicateur de bien-être social ou de pauvreté. Pour notre cas de la ville de Ouargla on va montrer les éléments suivants:

- Le développement de la population et son taux de croissance dans le domaine d'études.
- Le développement de logement et les potentialités et la consommation énergétique.

Vu que la croissance démographique, surtout celle des ménages, a un effet important sur la consommation énergétique. L'objectif de ce type d'analyse peut également nous aide à

clarifier les images dans lesquelles la population est distribuée à différentes périodes et peut être résumée dans les points suivants et à travers les données du rapport du schéma directeur d'aménagement et de reconstruction des communes d'Ouargla-Rouissat et l'Office National des Statistiques (ONS).

IV.9.1.2. Un développement démographique

D'après l'annuaire statistique réalisé par la direction de la Programmation et du Suivi Budgétaire Ouargla, et l'Office National des Statistiques (ONS). Les deux services fournissent des données démographiques de base environ tous les 10 ans. Les deux derniers recensements de la population ont été réalisés en 2009 et 2019 (Services statistiques, 2018) : D'après les figures (107 et 108) on peut noter l'augmentation annuelle du nombre de population entre 1977 et 2019 et le nombre total de personnes recensées en 2018, dans la ville d'Ouargla était de 155,601 et pour la wilaya d'Ouargla était de 694,203.

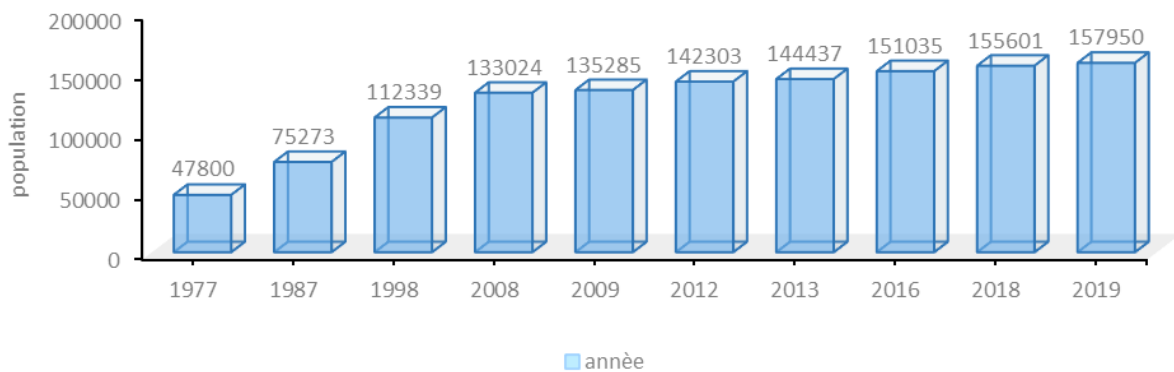


Fig.107 : Evolution de la population entre 1977 à 2019 pour la ville d'Ouargla. Source direction de programmation Ouargla 2019.

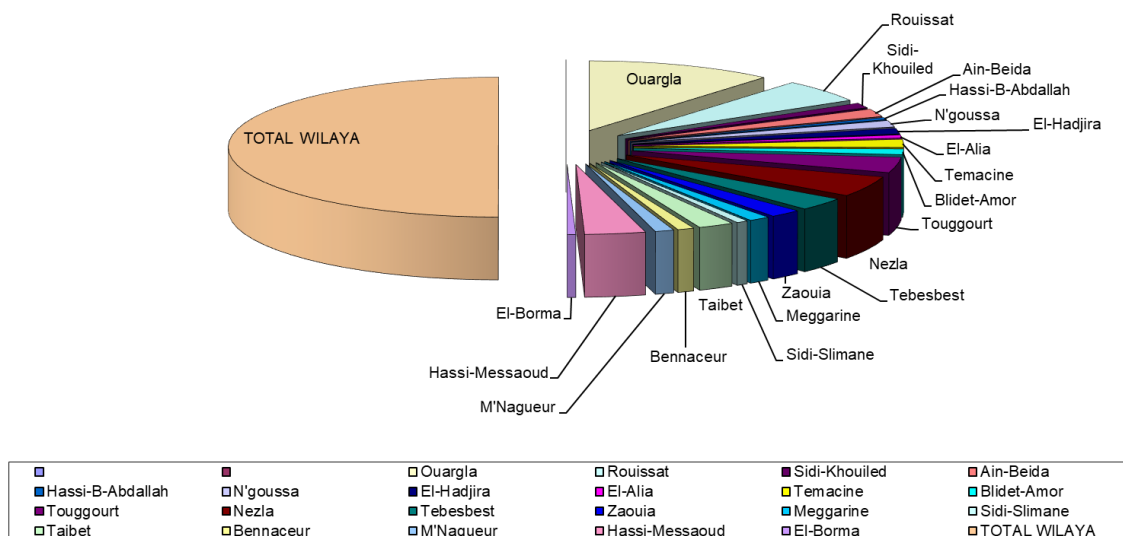


Fig. 108 : La répartition de la population par commune (2018). Sourcedirection de la Programmation et du Suivi Budgétaire Ouargla (2018).

IV.9.1.3. Évolution des taux de croissance

Il y a une relation entre le taux de croissance démographique et la consommation d'énergie, les populations croissantes consomment plus d'énergie. La disponibilité de l'énergie permet aux populations de croître. La consommation d'énergie exerce des pressions sur les ressources énergétiques, ce qui les rend plus rares. Selon la Figure (109) Par Graham Zabel , initialement publié par Energy Bulletin 20 avril 2009.

Pour la ville d'Ouargla et selon la direction de programmation et l'annuaire statistique de l'année 2019 le taux de croissance de la population pour l'année 2019 est 1.5%.

Tab.15. Evolution taux de croissance de population pour la commune d'Ouargla. Source Direction de programmation 2019.

| Comn. de Ouargla | Enumeration | | | | | Estimations | | | | | |
|----------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Année | 1966 | 1977 | 1987 | 1998 | 2008 | 2009 | 2012 | 2013 | 2016 | 2018 |
| Nomb. de population | / | 47800 | 75273 | 112339 | 133024 | 135285 | 142303 | 144437 | 151035 | 155601 | 157950 |
| Taux de croissance % | / | / | 4.64 | 4.08 | 1.70 | 1.70 | 1.70 | 1.50 | 1.50% | 1.50% | 1.50% |

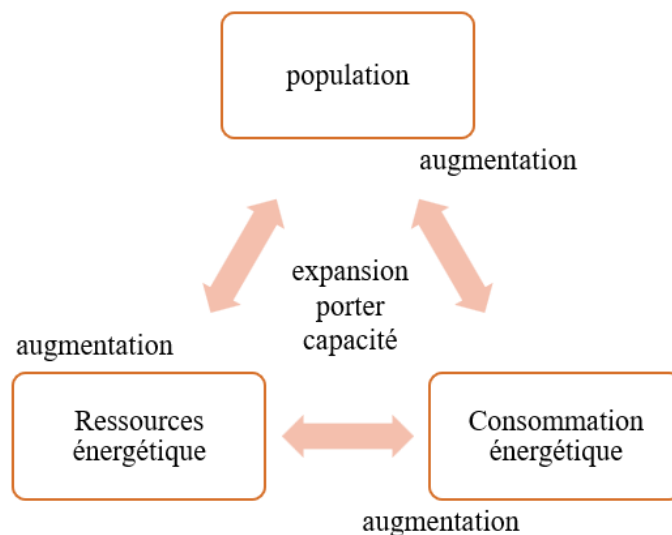


Fig.109 : Dépendance population/énergie – Avant le pic de production d'énergie. Source : Zabel Graham.2009

IV.9.2. Logements

IV.9.3. Evolution du logement

A travers les données extraites des statistiques de 2008 et de la Direction de Programmation 2019, on constate que les programmes de logements ont connu un développement remarquable, puisque le nombre de logements a augmenté entre 1987 et 1998 pour atteindre 9063 logements, à un rythme estimé à environ 906 logements par an. Pour la première période, et entre 1998 et 2008 à 12301 logements, à un rythme estimé d'environ 1230 logements par an.

Selon le Tableau 16 au-dessus, dans la deuxième période, entre 2008 et 2019, il y avait 7324 logements à un rythme estimé d'environ 666 logements par an dans la troisième période. Le nombre total d'unités était de 28,030 en 2008 et était de 32,551 en 2018 au niveau de la commune d'Ouargla. La réparation du parc logement total de wilaya d'Ouargla était de 108,366 en 2008 et 137,576 en 2018.

Tab.16. Evolution du logement de wilaya d'Ouargla (1987-2019). Source direction de programmation 2019

| Désignation | Nombre de logements 1987 | Nombre de logements 1998 | Nombre de logements 2008 | Nombre de logements 2019 |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Commune d'Ouargla | 13060 | 19003 | 28030 | 32551 |
| Commune de Ruissat | 3116 | 6236 | 9712 | 12313 |
| Ville de Ouargla | 16176 | 25239 | 37540 | 44864 |
| Evolution dulogement | 9063 | 12301 | 7324 | |

Tab.17 : Estimation du parc logement et taux d'occupation du logement selon la commune d'Ouargla (2018).

| Année Population /indicateur | 2017 | | | | 2018 | | | |
|------------------------------------|-------------|--------------------|------|------|-------------|-----------------------|------|------|
| | Pop 2017 | Parc logt total | TOL | TOP | Pop 2018 | Parc logt total | TOL | TOP |
| Estimation | 153,301 | 32,070 | 4.78 | 1.59 | 155,601 | 32,551 | 4.78 | 1.59 |

À partir des données ci-dessus, on peut déduire que le nombre moyen de personnes par logement était de 4,78 pour l'année 2017 et 2018. Le nombre d'occupants dans une maison est également important et directement lié au comportement énergétique général de la maison. Le

nombre d'occupants est présenté sur le tableau au-dessus, De plus, un autre paramètre important concernant les occupants d'une maison est le taux d'occupation par populations lorsque tous les occupants sont présents dans les maisons. Et comme on peut le constater le taux d'occupation par populations est de 1.59 pour l'année 2018 et 2019. Le taux d'occupation des logements d'une personne pour chaque logement est élevé pour l'année 2018. Cela est dû à:

L'augmentation de la population et de la demande de logements se poursuit et le ralentissement du rythme des projets de logements, notamment par les promoteurs immobiliers et la mauvaise gestion dans la distribution, qui a conduit à la présence de beaucoup de logements distribués et inhabités. C'est pourquoi il faut revoir les lois sur le logement en matière de réalisation et de mode de distribution, en tenant compte de la quantité et du type et accélérer la réalisation avec sa préparation et livraison des différents réseaux, distribution, quelle que soient sa nature et valorisation des logements sociaux (en location à un montant toujours raisonnable, avec interdiction de vente et de propriété).

En tenant compte de la réalisation d'équipements de proximité dans le même temps, tels que l'éducation, la santé, la sécurité, les services postaux, les loisirs et Attirer des investisseurs étrangers dans le domaine du logement, tels que des entreprises chinoises, espagnoles, mixtes et allemandes. C'est-à-dire acquérir une expertise scientifique et technique et atteindre l'autosuffisance pour couvrir le déficit et répondre aux demandes existantes. Et dans le futur, Il s'agit d'atteindre:

L'équilibre dans le développement entre l'augmentation de la population et la demande de logements (notamment de logements programmés par la partie de l'État, comme le logement social et développemental et le logement covalent afin d'atteindre le taux d'occupation futur souhaité de 04 personnes/logement.

Selon les données fournies au sein du dernier numéro de la revue périodique "Bâtisseurs.dz" publiée par la CNL, relatives à l'année 2020.le prix moyen de cession du m² minimum au niveau de la wilaya d'Ouargla, il est évalué à 81,987.00 DA/m².

IV.9.4. Types des logements dans la ville

Les logements individuels représentent le plus grand pourcentage de 83,75 %, tandis que la proportion de logements communaux est de 14,70%, et la moitié des logements collectifs est de 1,54%. La prédominance du logement individuel, selon le schéma directeur d'aménagement et de reconstruction de 2008, sur l'enceinte résidentielle de la ville, à la

composition sociale de la population de la ville et à la nature de la zone chaude, ainsi qu'à la politique de l'État et des autorités locales en matière de répartition et d'attribution des terres (Madour Y, 2012).

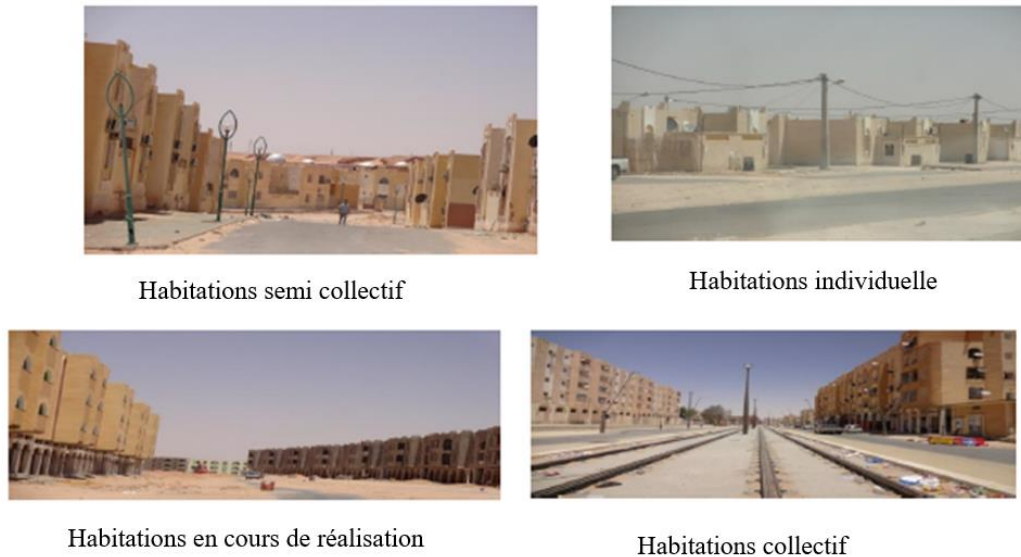


Fig.110 : Les types des habitations existants à la ville d'Ouargla. Source : rapport PDEAU, 2019

IV.10. Le potentiel et la consommation énergétique de la ville d'Ouargla

IV.10.1. Importance de la ville d'Ouargla en vue de ses ressources naturelles

Ouargla est riche en ressources naturelles, notamment en hydrocarbures, représentées dans le bassin de Berkawi à 30 km à l'ouest de la ville, Ain Moussa à 15 km au nord, puis Hassi Messaoud à 80 km au sud-est. PDEAU Ouargla

Ouargla est devenu un centre régional, grâce à son niveau supérieur d'équipement (aéroport, université, ...), mais, aussi, comme chef-lieu d'une région stratégique à fort potentiel énergétique (les revenus contribuent à plus de 40% dans le P.I.B et constituent 90% des recettes financières du pays).

Malgré sa nature hostile, le territoire de la Wilaya d'Ouargla dispose de ressources naturelles abondantes qui sont appelés à jouer un grand rôle dans son développement.

IV.10.2. Le pétrole et l'énergie

Les principales ressources énergétiques du pays se trouvent dans le sous-sol de la Wilaya d'Ouargla. Les hydrocarbures sont tirés de structures géologiques favorables aux dépôts sédimentaires .

Depuis, de nouvelles découvertes se sont succédé dans de multiples champs pétroliers réunis dans les régions de : Gassi-Touil, Berkaoui, Ghourd-El-Baguel.

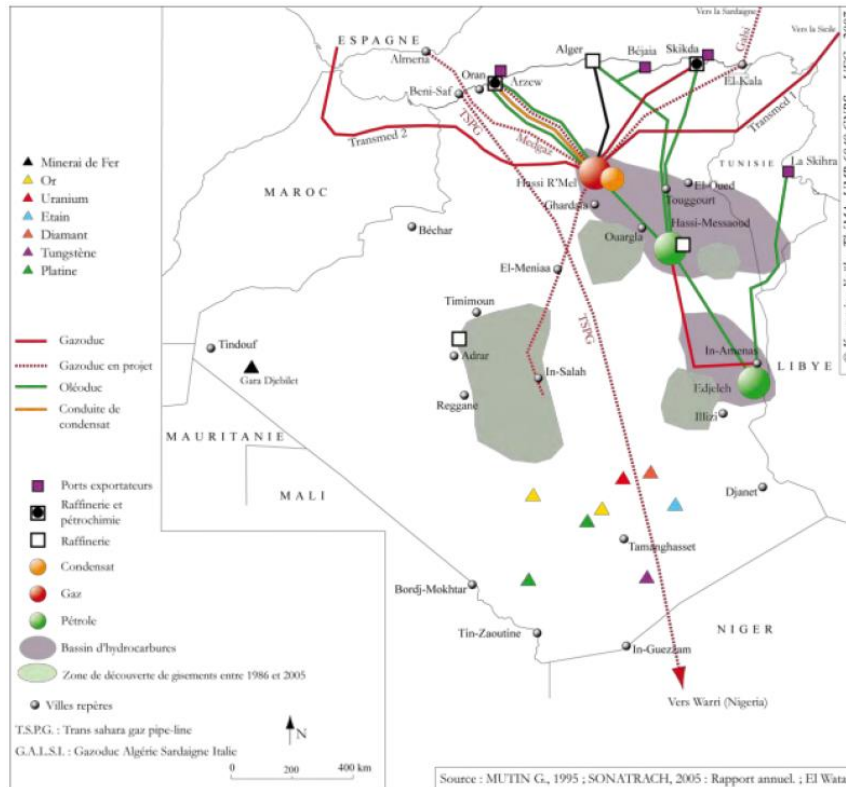


Fig.112 :Potentialité du sous-sol saharien. Source :Site ministère de l’Energie Algérie

IV.10.5. Potentiel solaire

Vue de sa localisation géographique, l’Algérie dispose d’un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d’insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L’énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud.

Avec le pétrole, la Wilaya dispose d’autres sources d’énergies qui sont des ressources naturelles importants appelées à jouer un grand rôle dans son développement.

Il s’agit des énergies solaires et éolienne. En ce qui concerne l’énergie solaire, il faut noter que le nombre de jours de soleil par année est de 300 jours environ.

L’énergie solaire peut à l’avenir servir dans le cadre des segments suivants : centrales solaires, éclairage photovoltaïque, pompes photovoltaïques, humidificateurs, extracteurs, Réfrigérateur photovoltaïque (applications médicales), Distillateur à effet de serre, Télécommunications à système photovoltaïque, Séchage des produits agricoles.

Pour ce qui est de l’énergie éolienne et comme il a été indiqué précédemment, les vents sont fréquents dans la Wilaya. Leur utilisation dans le secteur hydraulique par exemple. D’après [l’annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla](#).

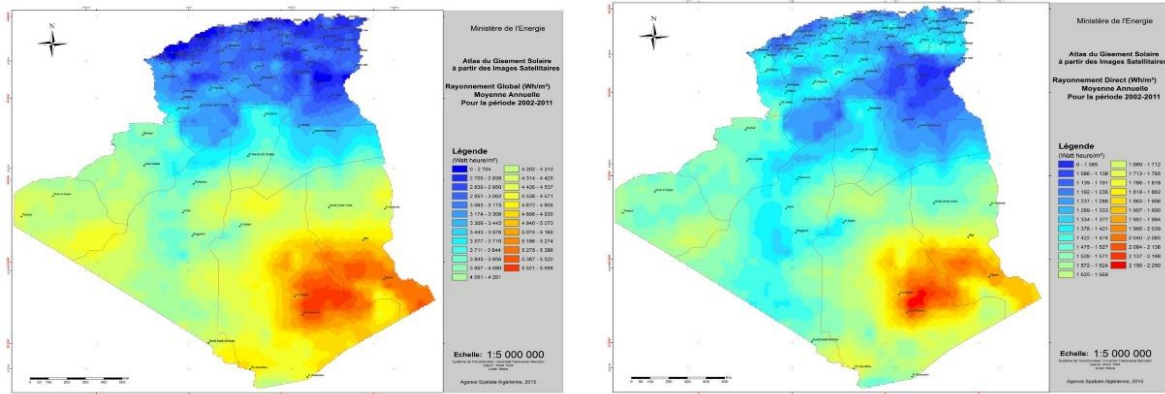


Fig.113:a) Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). b) Carte de l'Irradiation Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011). Source:Site ministère de l'Énergie Algérie

IV.10.6. Electricité et gaz

IV.10.6.1. Réseau électricité : Les communes d'Ouargla et de Rouissat sont alimentées en électricité par un réseau constitué d'un ensemble de lignes (hautes-moyenne et basse intensité (qui sont également financées par des transformateurs au sol et portées sur des poteaux, dont la longueur totale est de 166235 m / tonne, avec un taux de couverture d'environ 98%.

Centrale électrique de 660 mégawatts

Projet d'une centrale photovoltaïque 30 MW à El-Hadjira.

3 100 foyers raccordés en énergie électrique (logements)

Selon (Rapport de la chambre de commerce et d'artisanat 2015)

IV.10.6.2. Réseau Gaz :Les communes d'Ouargla et de Rouissat sont financées par un réseau de gaz naturel constitué de canaux de nature et de diamètres différents (Acier),(PE),(50,63,100,125,150,200,300) mm, d'une longueur totale : 2,287.012 (m/longueur) pour l'année 2019, Avec un taux de couverture d'environ 81%, qui est présenté dans les tableaux (13,14).

- Taux de couverture en gaz de ville : 56,2%.
- 10 000 foyers raccordés en énergie gazière (logements)
- D'après (Rapport ANDI investissement à Ouargla 2013).

IV.10.6.3. Inconvénients des réseaux

- Passage de quelques lignes à travers le tissu urbain, Le réseau ne couvre pas toute la zone d'études.
- La présence de lignes de haute et moyenne intensité dans le tissu urbain.
- Coupures de courant fréquentes, surtout en été, Le réseau coupe certains bâtiments.

Tab. 18. Total longueur des réseaux d'électricité au niveau de la ville d'Ouargla (2018-2019). (Réseaux en Kms). Source : l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Designation | 2018 | 2019 |
|-----------------|-------|-----------|
| Baisse tension | 3,402 | 3,635.950 |
| Moyenne tension | 4,003 | 4,276.025 |
| TOTAL | 7,405 | 7,911.975 |

Tab. 19. Total longueur des réseaux du gaz au niveau de la ville d'Ouargla (2018-2019). (Réseaux en Kms). Source : l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Designation | Réalis de | Cumul |
|----------------|-----------|---------------|
| | 2018 | au 31/12/2019 |
| Reseaux acier | 45.388 | 40.647 |
| Reseaux culver | 0.036 | 0.036 |
| Reseaux P.E | 2,142.296 | 2,246.329 |
| TOTAL | 2,187.720 | 2,287.012 |

IV.10.7. Consommation énergétique de la ville d'Ouargla

IV.10.8. Etat des lieux

Dans ce qui suit nous donnons un état réel de la consommation énergétique de gaz et électricité pour l'année 2018 des maisons résidentielles de la ville d'Ouargla sur la base des statistiques de la Direction de Distribution de l'électricité et du gaz Ouargla Comme on peut le constater d'après les figures (80 et 81) et les tableaux au-dessous (15,16,17,18).

La consommation moyenne d'électricité et de gaz sur une base de deux mois, il existe deux pics sur la consommation d'électricité. La période dans laquelle la consommation la plus élevée de l'électricité est celle de juillet-août en raison de le fait que cette période a la plus haute température et humidité dans l'année et le besoin de refroidissement est impérative.

La deuxième plus haute consommation d'électricité observée en novembre – décembre où les températures les plus basses sont présentes et les unités de type split sont utilisés pour le chauffage. En outre, un autre point à noter est que les périodes d'automne et de printemps ont plus ou moins la même électricité consommation. C'est une observation très importante car elle montre que la demande en électricité pour le chauffage est supérieure à celle du refroidissement.

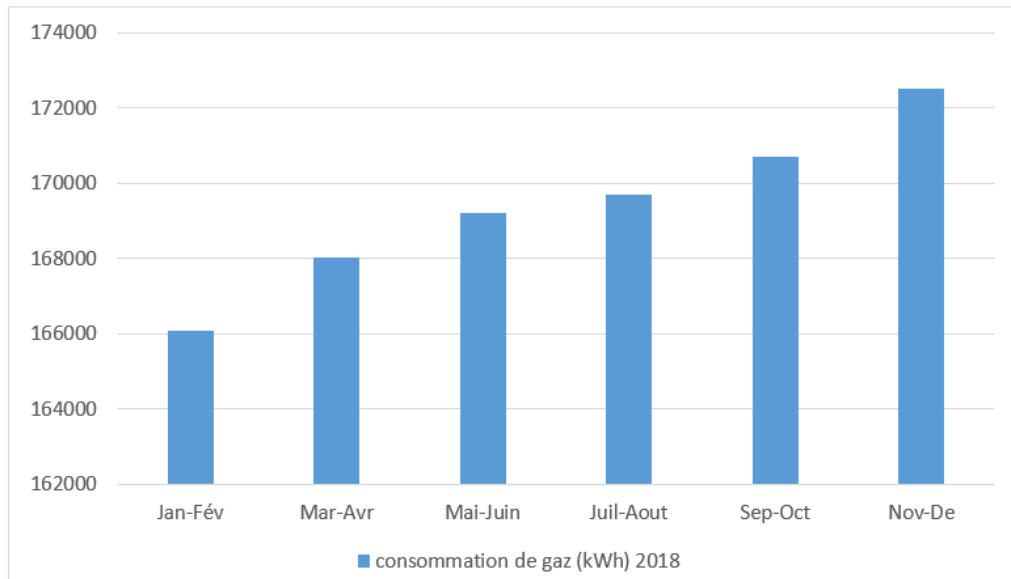


Fig.114. Consommation moyenne de gaz (kWh) de la ville d'Ouargla par période de 2 mois (2018).Source : l'auteur,2019

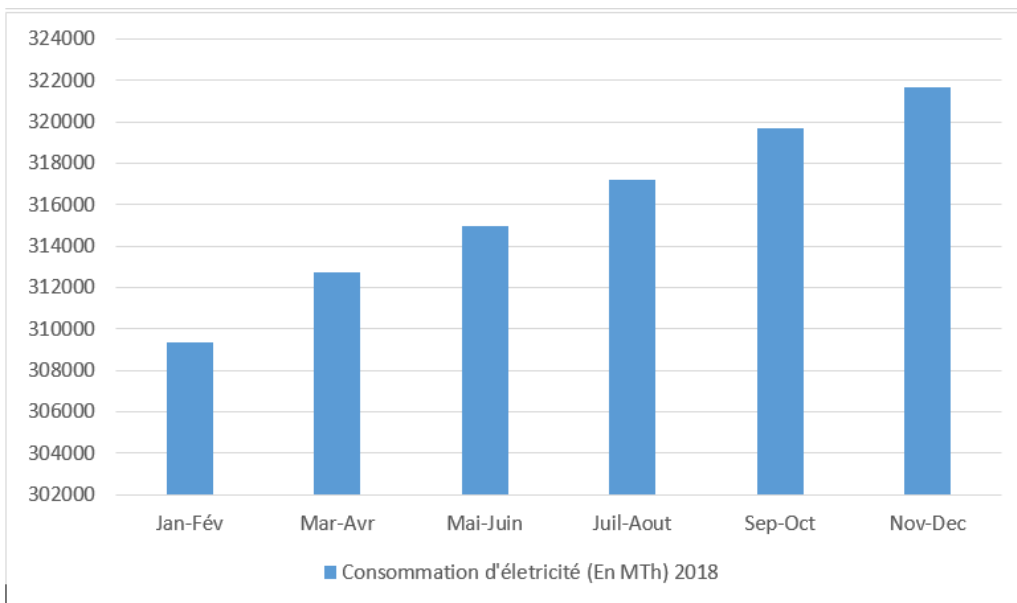


Fig.115. Consommation moyenne d'électricité (kWh) de la ville d'Ouargla par période de 2 mois (2018).Source : l'auteur,2019

La consommation d'électricité dans la ville d'Ouargla est en constante augmentation. L'impact direct de la température élevée en été se manifeste entre 13 H et 18 H, et le pic est généralement enregistré entre 16 H et 17 H, ce qui entraîne parfois des coupures de courant dues au manque de tolérance des bornes de raccordement et du réseau en général pour les climatiseurs pendant les heures. www.seec.gov.sa04/04/2015.

IV.10.9. Nombre de clients

L'augmentation annuelle enregistrée de la consommation du gaz naturel ou de l'électricité à Ouargla est surtout due à l'évolution du nombre d'abonnés. Ci-dessous indique la croissance importante du nombre d'abonnés en électricité arrivant à 176285 abonnés en 2019, contre 92289 abonnés en réseau du gaz naturel. Cette consommation énergétique globale (gaz et électricité) à Ouargla est plus considérable en secteur résidentiel qu'en secteur tertiaire.

Tab.20: Nombre de clients électricité au niveau de la ville d'Ouargla. Source : l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Designation | Type abonnés (31/12/2019) | | | | TOTAL |
|--------------------|----------------------------|-------|--------|----|---------|
| | BT | MT | BP | MP | |
| Abonnésélectricité | 173,668 | 2,617 | 00 | 00 | 176,285 |
| Abonnésgaz | 00 | 00 | 92,211 | 78 | 92,289 |

Les présents tableaux présentent la vente d'électricité et de gaz à la ville d'Ouargla et le nombre de raccordement à l'énergie solaire (foyers et structures) pour prendre une idée sur l'accrue de demande énergétique d'année par année.

IV.10.10. Vente

Tab.21. Total des ventes d'électricité au niveau de la ville d'Ouargla pour (2018-2019). Electricité en GWH. Source : l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Designation | 2018 | 2019 |
|------------------|-----------|-----------|
| Vente BT | 1,036.650 | 1,165.120 |
| Vente MT | 606.540 | 667.900 |
| Total des ventes | 1,643.190 | 1,833.020 |

Tab.22. Total des ventes du gaz au niveau de la ville d'Ouargla pour (2018-2019). Gaz en M/TH.Source :l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Designation | 2018 | 2019 |
|------------------|---------|-----------|
| Vente BP | 852.920 | 955.320 |
| Vente MP | 116.720 | 101.770 |
| Total des ventes | 969.640 | 1,057.090 |

Tab.23. Total des taux de raccordements d'électricité et de gaz et de l'énergie solaire au niveau de la ville d'Ouargla pour l'année 2019.Source :l'annuaire statistique 2020 direction de programmation, Ouargla.

| Communes | Electricité | | | Gaz | | | Nombre de raccordement à l'Energie solaire (foyers et structures) |
|------------------|---|---|--|------------------------------------|--|---|---|
| | Taux global de raccordement à l'électricité | Taux de raccordement à l'électricité (zones Urbaines) | Taux de raccordement à l'électricité (zones Rurales) | Taux global de raccordement au gaz | Taux de raccordement au gaz (zones Urbaines) | Taux de raccordement au gaz (zones Rurales) | |
| Ouargla | 98.00 | 98.00 | 98.00 | 93.00 | 94.00 | 93.00 | 00 |
| Rouissat | 98.00 | 98.00 | 98.00 | 95.00 | 96.00 | 95.00 | 00 |
| Sidi-Khouiled | 98.00 | 98.00 | 98.00 | 97.00 | 97.00 | 97.00 | 00 |
| Ain-Beida | 98.50 | 98.50 | 98.50 | 96.50 | 97.00 | 96.50 | 00 |
| Hassi-B-Abdallah | 99.00 | 99.00 | 99.00 | 98.00 | 98.00 | 88.00 | 00 |
| N'goussa | 98.00 | 98.00 | 98.00 | 81.00 | 85.00 | 81.00 | 15 |
| Hassi-Messaoud | 98.50 | 98.50 | 98.50 | 95.00 | 96.00 | 85.00 | 50 |
| El-Borma | 98.00 | 98.00 | 98.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 66 |
| Total Wilaya | 98.25 | 98.25 | 98.25 | 81.94 | 82.88 | 79.44 | 131 |

Conclusion

Ce chapitre a identifié le contexte d'étude à travers sa situation géographique et administrative, il a également présenté ses données climatiques avec une analyse bioclimatique.

Ensuite, nous avons présenté les données sur la croissance démographiques et de logement de la ville qui est considérée comme un pôle économique important. Ces éléments ont conduit à sa formation en tant que centre d'attraction pour les résidents des municipalités voisines et de l'extérieur de l'état. Cet afflux a affecté ses tissus et sa forme et a augmenté la demande de biens immobiliers.

Au final, on a démontré comment la géographie et la potentialité et la consommation énergétique de la région et la facilité du terrain ont rendu la zone propice à la construction et à la consommation immobilière, ce qui a conduit à l'épuisement des terres affectées à la construction en une courte période.

Ce chapitre a identifié le contexte de l'étude, il a, également, caractérisé l'habitat individuel relativement à ce contexte. Pour commencer, A ce stade de la recherche, les différents types d'habitat individuels présents, sont identifiés, classés, comparés et replacés dans une chronologie d'ensemble qui saisit la structure de leur évolution., les traits généraux de cadre bâti résidentiel ont été mise en exergue.il s'agit, à présente compléter ce travail en procédant à une analyse centrée sur les caractéristiques proprement architecturales et matérielles de l'enveloppe. Le palais peut être considéré comme une référence à laquelle nous avons recours dans notre future planification de l'architecture du désert local.

On peut également conclure, à travers l'étude du développement urbain de la ville, qu'elle a pris dans sa globalité une morphologie caractérisé par la plupart des villes désertiques par l'imbrication de plusieurs tissus urbains sous forme d'étapes temporelles Tout au long de l'histoire de sa construction, il a donné les textures urbaines suivantes:

Le palais, qui constitue le premier noyau de la ville, avec son tissu ancien, compact et traditionnel. Augmentations créées par le colonialisme autour ou à côté de la vieille ville.

- Bidonvilles formés durant les premières périodes d'indépendance ou créés par les habitants
- Nomades en quête de stabilité.
- Nouveaux quartiers programmés par l'Etat sous forme de différents logements· individuels ou autonomes ou collectifs

L'étalement urbain à Ouargla est renforcé par l'augmentation de la population et le programme de logements. Le développement de l'oasis est lié aux ressources monétaires extérieures et à la volonté d'un Etat d'instaurer une équité régionale et nationale. Le Ksar, classé patrimoine national, est en rupture avec les nouveaux pôles d'animation. L'étalement urbain peut être dangereux pour les exploitations agricoles et les ressources naturelles, et il est important d'y réfléchir sérieusement.

Ont conclue après l'analyse sur l'habitat récent à Ouargla que la nouvelle architecture soi-disant développée ou modernisée n'est pas du tout compatible avec le tissu urbain ni le climat de la région. Moderniser ne veut pas dire stéréotyper, car chaque région à son propre climat, sa culture et son mode constructif, Ouargla aujourd'hui est loin pour répondre à ces concepts et pour cela on va asseye dans le chapitre suivant d'évaluer des échantillons des maisons afin d'amélioré leur performance thermique et énergétique.

Évaluation du confort thermique des logements individuels : une étude comparative entre les maisons modernes et traditionnelles dans la ville d'Ouargla.

« En effet, le confort constitue souvent le mode de perception principal du bâtiment par l'occupant. Or non seulement il peut être différent dans les bâtiments performants, mais il influence les arbitrages opérés pour l'assurer et peut impacter d'une manière plus ou moins importante les consommations d'énergie. »

(Bouchet *et al.*, 2018)

Introduction

La conception des bâtiments résidentiels en général, et des maisons individuelles en Algérie en particulier, a souvent un impact négatif sur la consommation énergétique et les besoins thermiques de leurs habitants. Par conséquent, la réalisation de ces habitations modernes et inconfortables nécessite l'attention et l'application de stratégies passives pour remédier aux déficiences thermiques et à la consommation d'énergie excessive.

Les matériaux de construction indigènes utilisés dans la construction de maisons traditionnelles se sont révélés être une technique efficace pour la conservation de l'énergie sans compromettre le confort des occupants. Le matériau de construction le plus courant pour les maisons traditionnelles du sud-est algérien est la pierre. Plusieurs études ont montré les qualités thermiques et physiques de ce matériau grâce à l'utilisation de stratégies passives.

Ce chapitre vise à évaluer le confort thermique dans les typologies de maisons les plus populaires de la ville d'Ouargla dans le sud de l'Algérie. Cette recherche présente une étude comparative entre l'architecture vernaculaire représentée par les maisons patrimoniales (Ksar d'Ouargla) et la maison contemporaine typique, en termes de performances thermiques. A cet effet, une méthode de recherche basée sur un questionnaire et des mesures in situ est appliquée pour déterminer les caractéristiques thermiques de chacun des types étudiés.

Les résultats montrent l'insatisfaction des habitants face au confort et à la consommation énergétique excessive des maisons modernes en ciment. En été, la maison traditionnelle en pierre est de loin le moyen le plus efficace pour faire face au problème de la chaleur, et il est démontré que les stratégies passives sont la meilleure solution pour créer des maisons plus confortables et économes en énergie.

V.1.Sélection et analyse de l'objet d'étude

V.1.1. Présentation du corpus d'analyse

Plusieurs études montrent l'impact des typologies des habitations sur les conditions thermiques intérieures et l'efficacité énergétique (khoukhi, 2012 ;Oueldhenia, 2003) .et pour que ces mesures soient plus significatives, on cherche un type d'habitat par une analyse typologique des tissus urbains de la ville d'Ouargla. Selon le tissu et l'étude, on a marqué deux types d'habitat, Habitat traditionnel et Habitat moderne.

Dans une phase préliminaire, une étude typologique des habitats dans le tissu urbain de la ville d'Ouargla a été réalisée. Une telle étude et le tissu urbain indiquent qu'il existe deux types distincts d'habitat : l'habitat traditionnel et l'habitat moderne. Pour cette étude, une maison de référence moderne qui constitue une grande partie du parc immobilier résidentiel de la région aride, en particulier dans la ville de Ouargla, a été sélectionnée. En outre, une maison de référence traditionnelle a été sélectionnée afin de comparer leurs performances thermiques et énergétiques.

V.1.2. Description les modèles d'étude

Dans une précédente activité de recherche (Benslimaneet al., 2020 ; Sebti et al ,2013), à travers une enquête sur le logement et des campagnes de mesure du confort thermique des maisons traditionnelles et modernes, il a été constaté que les maisons traditionnelles sont plus adaptatives dans été. En raison de leurs caractéristiques, de leur technique de construction et de leurs matériaux de construction, les maisons traditionnelles sont plus efficaces pour pallier les problèmes de surchauffe. Au contraire, les maisons modernes sont inadaptées au climat désertique et elles créent souvent le mécontentement de ses habitants. Pour ces raisons, dans cette recherche, la maison moderne est étudiée afin d'améliorer ses performances thermiques et énergétiques avec des stratégies de conception passives.

Les deux maisons sélectionnées sont situées au Nord-Ouest de la ville d'Ouargla ; la maison moderne est occupée par cinq personnes et la maison traditionnelle est occupée par six personnes. La superficie des maisons sélectionnées, ainsi que le plan et la description de chacune d'elles, présentés dans la figure 116.

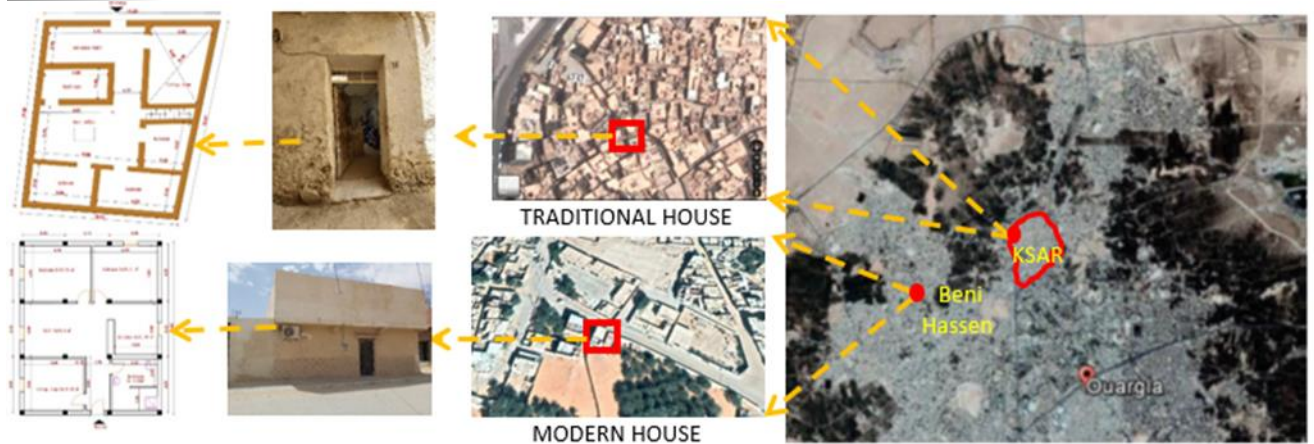


Fig.116. Localisation les modèles d'étude. Source : Auteur,2019

V.1.2.1. La typologie de maison moderne

La maison moderne choisie comme cas d'étude se trouve à la ville d'Ouargla à Beni Hassen. Une maison prototype a été développée sur la base de l'enquête. Le modèle est une maison individuelle unifamiliale, sur une superficie de 430 m². La maison dispose principalement de salon pour les invités et d'une cuisine au rez-de-chaussée et des espaces privés. La maison a également une disposition de maison Ouarglienne typique d'éléments architecturaux (portes et fenêtres). Ce type de maison représente 50% du parc immobilier Ouargla.

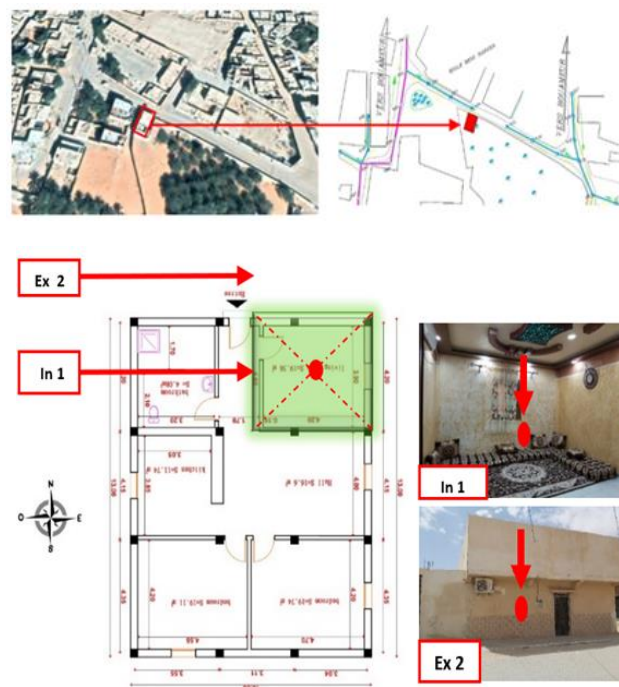


Fig.117. Présentation de la situation, avec vue extérieure et intérieure de la maison moderne et les emplacements des points de mesure (points rouges). Plan de masse d'après (POS Ouargla et image

de Google Earthe 2019). Source, auteur 2019



Fig.118 : Les espaces de la maison modern (modèle de base) étudié. Source : auteur, 2019

V.1.2.2. La typologie de maison traditionnelle

La résidence traditionnelle choisie pour l'étude est située dans le quartier de Bani Ibrahim, au nord-ouest du Ksar Ouargla, sur une superficie de 131.36 m², elle est au rez-de-chaussée qui contient un hall, un salon, une cuisine, une salle de bain et une terrasse accessible.

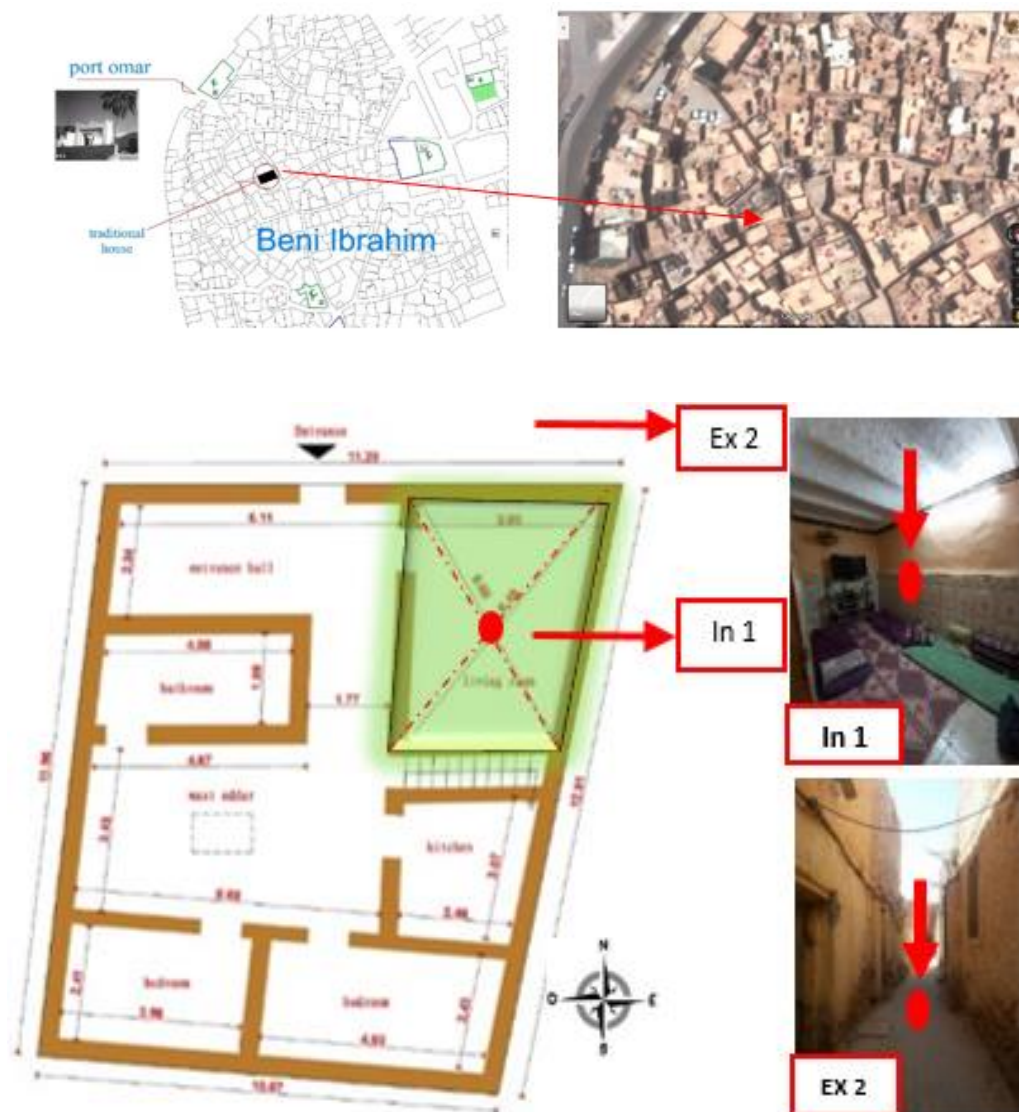


Fig.119.Présentation de la situation, avec vue extérieure et intérieure de la maison traditionnelle et les emplacements des points de mesure (points rouges).Plan de masse d'après (POS Ksar d'Ouargla et image de Google Earth 2019). Source, auteur 2019



Fig.120 : Les espaces de la maison traditionnelle étudiée. Source : auteur, 2019

V.2. Comparaison des typologies : Comparaison analyse traditionnel versus contemporaine

L'analyse des typologies de la maison traditionnelle et contemporaine montre une variété de caractéristiques dont une synthèse de comparaison nous permet de évaluer les différents avantages et inconvénients. Une telle comparaison participe à canaliser l'étude vers ses objectifs tracés. Le tableau 19 suivant montre les différentes caractéristiques de chaque typologie.

Tab.24. Comparaison des éléments qui contribuent positivement aux différentes stratégies de conception passive pour les bâtiments résidentiels dans les deux typologies. Source, (kolokotroni, 1985) réadapte par l'auteur 2019

| Aspect/Critères des maisons | Maison traditionnelle | Maison moderne |
|--|--|---|
| Forme et volumétrie du bâtiment | Toits plats bombés et voûtés | |
| | Toit plat Forme compacte avec cour Voûte, coupole Pénuries de services | Planification ne compacte Pas de cour Problèmes de zonage Des toits plats |
| Groupement de site et d'implantation | Groupement compact | Habitats individuels Habitats collectifs Habitats semi collectives |
| Position/modèles d'occupation spatiale/aménagement de l'espace | Nomadisme journalier Ouverture zénithale | Inchangé dans le bâtiment résidentiel |
| Enveloppe (conception architecturale) | Capacité d'accumuler la chaleur | Ration de la fenêtre au mur < 50% |
| | Espaces tampons Petite ouverture Matériaux massive (masse thermique) Matériaux locaux (toub, temchemet, palmier) Pas de balcon | Pas d'isolation Petits balcons (brise-soleil extérieur) Matériau moderne (béton armé) |
| Performance thermique | Satisfaction en été comme hiver et en tout temps | Insatisfaisant pendant les périodes de surchauffe et de sous-chauffage |
| Aucun problème de confort thermique | Nécessité d'un entretien annuel Pénuries de services Pénuries de ressources naturelles Eclairage et ventilation Inaccessibilité en cas d'urgence | Problèmes d'intempéries Aucune réglementation de construction adéquate Forte n'influence des entrepreneurs du bâtiment Problèmes acoustiques |
| Demande | En baisse car inadapté à la vie urbaine contemporaine | En augmentation en raison des changements sociaux et économiques et de la vie contemporaine |

V.3.Méthodologie de l'étude expérimentale

L'investigation s'est basée sur deux méthodes : l'une **objective** et l'autre **subjective**. La première se traduit par une campagne de mesures in situ des paramètres physiques dans les typologies les plus répandues des maisons à Ouargla cette choix est le plus approprié pour notre étude qui permettre de mettre en évidence les défauts de ces constructions.

D'autre part, nous avons poussé cette recherche par une approche **qualitative** en utilisant un questionnaire afin d'évaluer l'ambiance thermique ressentit par les occupants, Il existe dans la littérature, notamment en sociologie de l'énergie, de nombreux sondages réalisés par l'intermédiaire d'enquêtes quantitatives qui peuvent éventuellement être complétées par des enquêtes semi-directives (MOUJALLED, 2007 ; VILLOT, 2012). Sur la base de ces études et de livres spécialisés dans les enquêtes (DE SINGLY, 2012 ; MARTIN et DE SINGLY, 2012), nous avons réalisé un questionnaire permettant de comprendre le comportement des occupants sur la période hivernale et sur la période estivale. Les questions permettant de situer et de connaître les caractéristiques principales du locataire, de sa famille et de son logement.

Ces enquêtes nous permettront de comparer les ambiances thermiques de différents maisons étudiées mais aussi les pratiques de leurs locataires.

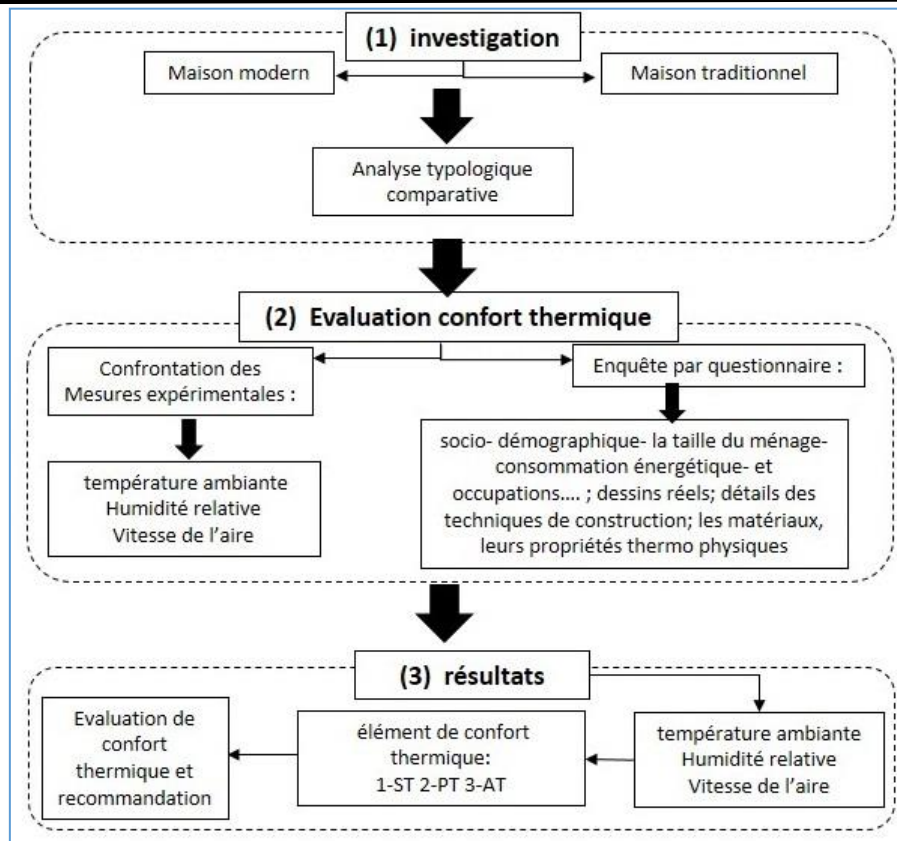


Fig.121.Schéma de la méthodologie proposée. Source l'auteur,2019

V.3.1. Etude quantitative

La mesure est un élément essentiel pour l'amélioration continue de l'efficacité de la production du bâtiment. Permet d'en rechercher les défauts et d'en optimiser les systèmes (chauffage, climatisation, ventilation) ; mesurer la résistance des parois d'un bien permet d'en connaître l'existant.

V.3.1.1. Protocole de la prise de mesures

A l'aide de concept de design-days et l'analyse des données climatiques de 15 ans (entre 2004 et 2019) de la ville d'Ouargla, nous permet de déterminer les deux périodes les plus représentatives pour les conditions chaudes et froides durant l'année 2019. Ainsi, de déterminer les journées types "design day" du 28 au 30 juillet qui représentent la période estivale et les conditions les plus chaudes, et les journées de janvier 1 à 3 qui représentent les conditions les plus froides de la période hivernale (Khelil, 2015).

Afin d'évaluer le confort thermique dans la maison moderne, deux campagnes de mesures ont été réalisées durant les périodes d'été et d'hiver en 2019. Les paramètres

microclimatiques mesurés sont : la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Toutes les mesures ont été effectuées dans le salon, à l'aide d'un thermomètre multifonctions Testo 480 AG 501 1ST, 0563 4800.

La sonde d'humidité relative et de température de l'air a été réglée à une hauteur de 1,20 m, la sonde de vitesse de l'air a été réglée à une hauteur de 1,70 m (L'emplacement des points de mesure est indiqué dans les figures (158 et 160)).

Dans le détail, les campagnes de mesure ont été réalisées en période hivernale du 1er janvier au 3 janvier, et en période estivale du 28 juillet au 30 juillet. Chaque mesure débute à 7h00 et se termine à 20h00. Les mesures ont été réalisées en présence de toute la famille à domicile, afin d'obtenir des résultats plus efficaces. Les informations sur le profil d'occupation (nombre d'occupants pendant des journées typiques) ont été obtenues grâce à une enquête auprès des propriétaires des maisons afin d'obtenir des informations utiles à inclure dans la création du modèle.

Pour cette étude, la température de l'air intérieur et l'humidité relative ont été surveillées simultanément dans le salon. Des études antérieures confirment que le salon d'une maison peut être choisi comme représentatif de l'ensemble du bâtiment. [Coltonet al., \(année\)](#) ont utilisé les mesures prises dans l'espace de vie principal d'un appartement comme représentatif de l'ensemble de l'appartement ([Coltonet al., 2014](#)).

Dans une autre étude, les mesures prises dans le salon et les chambres des appartements ont été considérées comme représentatives pour l'évaluation de chaque appartement ([Lai et al., 2009](#)). Par conséquent, les mesures effectuées dans le salon du cas de référence ont été considérées comme représentatives et ont été utilisées à des fins d'étalonnage. Le même équipement a été utilisé dans des études scientifiques réalisées précédemment ([Jack et al., 2019](#) ; [Kumar & Singh, 2019](#) ; [Pathan, 2017](#) ; [Pingel, 2019](#)).

V.3.1.2. Étalonnage des instruments de la prise de mesures



Fig.122. Matériel utilisé dans les campagnes de mesures Testo 480 (Source auteur, 2020)

Tab.25. Instrument utilisé pour la mesure des données (source : Djaghroui,2021)

| Meteorological Data Parameters | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|------|----------|
| Variable Method of Storage | Device | Probe Reference | Unit | Accuracy |
| Air temperature (Ta) | Testo 480 0563 4800 | 12 Φ 0636 9743 | °C | ±0.5 ° |
| Relative humidity (RH) | - | 12 Φ 0636 9743 | % | ±1.0% |
| Wind velocity (Va) Automatic | - | Helix 100 Φ mm 0635 9343 | m/s | ±0.1 m/s |
| Globe Temperature (Tg) Automatic | - | 12 Φ (200 mm) 0635 1543 | °C | ±0.5 °C |

V.3.1.3. Critère de choix du matériel de mesure

Le choix du matériel Testo 480 est un appareil multifonctionnel grâce à ses sondes variées, se fera en fonction des applications désirées :

- Mesure des températures des surfaces (paroi, vitrage)
- Suivi de la température intérieure d'un logement
- Mesure l'humidité relative
- Mesure la vitesse de l'air
- Mesure météo (Température extérieure)
- Optimisation des températures des fluides de chauffage et climatisation
- Mesure extérieure de tuyauterie

Les critères importants pour choisir le système de mesure de température sont les suivants :

- Précision des sondes de température
- Précision de chacun des thermomètres qui influe considérablement sur l'erreur de la mesure et qui sera d'autant plus importante que l'écart entre l'intérieur et l'extérieur est faible
- Forme de la sonde en fonction de l'application et du milieu à mesurer
- Temps de réponse des sondes des thermomètres
- Possibilité d'enregistrer des données et de transmettre à un ordinateur

V.3.2. Etude qualitative

V.3.2.1. Enquête par questionnaire

Elle est basée sur l'observation directe et le questionnaire « longitudinal » qui constitue le cœur de l'approche adaptative du confort thermique (Nicol *et al*, 2012), élaborée selon la norme ISO 10551, le questionnaire a comporté trois sections :

-La première est concernée aux informations générales sur les répondants : âge, sexe, groupe d'usagers, habillement et position dans la salle.

-La seconde s'est axée sur le confort thermique et comporte des questions à échelle de différentiations sémantiques sur : le Vote de Sensation Thermique basée sur l'échelle de sept points de l'ASHRAE (-3 très froid à +3 très chaud) qui nous permet d'estimer le Vote Moyen prédictions (PMV), la préférence thermique (échelle de 7 points de ASHRAE), acceptabilité de l'environnement thermique, la satisfaction envers l'environnement thermique selon l'échelle de 5 points de Potvin (très agréable, agréable, Neutre, inconfortable et intolérable), sensation du mouvement de l'air et préférence du mouvement de l'air (échelles de Brager). Ainsi qu'une question à choix multiples sur le comportement adaptatif entrepris par les répondants dans le but d'améliorer leur confort thermique.

Un questionnaire d'enquête a été rempli pour collecter les données d'entrée auprès des occupants de la maison et une interview semi-structurée a été menée avec le chef de ménage pour obtenir plus de détails sur les différents intrants nécessaires. Pour améliorer l'adaptation des occupants et la satisfaction thermique. L'enquête a été menée en même temps que la prise

de mesure in site dans les deux typologies des maisons choisi. Le questionnaire est divisé en 2 parties comme expliqué dans le tableau 21.

Tab.26. Éléments du questionnaire sur les occupants et leur confort thermique. Source : auteur,2020

| |
|---|
| 1 ère partie : comprenait des informations liées aux occupants et les caractéristiques des maisons étudiées |
| Caractéristiques personnelle des occupants des maisons : socio- démographique- la taille du ménage - matériau de construction-consommation énergétique- et occupations... ; dessins réels ; détails des techniques de construction ; les matériaux, leurs propriétés thermo physiques |
| 2 ème partie : comprenait des informations liées au confort thermique en été et en hiver |
| Vêtements, activité, type de nourriture et comportement adaptatif. Confort thermique et comportements des occupantes |
| Sensation thermique (ST) : très froid-froid-légèrement froid-neutre-légèrement chaud –chaud-très chaud |
| Préférence thermique (PT) : très inconfortable- inconfortable-peu inconfortable -peu confortable-confortable-très confortable |
| Acceptabilité thermique (AT) : inacceptable-acceptable. |

Tab.27. Questionnaire des occupants et les indicateurs de confort. (Source auteur, 2020)

| Typologies de la Maison | Maison moderne | Maison traditionnelle |
|---------------------------|---|-----------------------|
| Niveaud'habillement (clo) | 1.5 | 1.5 |
| Tauxmétabolique (met) | 1.2 | 1.2 |
| Nombre des répondants | 7 | 6 |
| Nombre des maisons | 01 | 01 |
| Temps de questionnaire | Janvier (hiver), juillet (été) les mois de 2019 | |
| Age des répondants | | |
| < 25 | 04 | 03 |
| 36-45 | 01 | |
| > 45 | 02 | 03 |
| Sexe des répondants | | |
| Masculin | 03 | 03 |
| Féminin | 04 | 03 |

V.4.Résultats et discussion

V.4.1. Les mesures expérimentales

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau .28. Les mesures environnementales extérieures et intérieures enregistrées dans les deux typologies des maisons d'Ouargla, Algérie (Source auteur, 2020)

| Période | Hivernal (Janvier 1, 2,3,2019) | | | | | | Estival (Juillet 28, 29,30,2019) | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|-----------------------|------|------|----------------------------------|------|------|-----------------------|------|----------|
| Typologies | Maison moderne | | | Maison traditionnelle | | | Maison moderne | | | Maison traditionnelle | | |
| Variable | Mea n | Max | Min | Mea n | Max | Min | Mea n | Max | Min | Mea n | Max | Mi n |
| T(c°) ext | 10.2 | 14.0 | 6.2 | 11.6 | 13.2 | 10.0 | 37.2 | 42.7 | 28.1 | 26.9 | 32.1 | 21. 2 |
| H (%) ext | 53.0 | 73.0 | 36.0 | 38.9 | 53 | 26.7 | 31.4 | 40.0 | 26.2 | 36.2 | 39.1 | 34. 2 |
| T(c°) int | 14.2 | 20.5 | 7.0 | 20.6 | 22.2 | 19.9 | 28.7 | 32.0 | 23.0 | 19.7 | 20.2 | 19. 1 |
| H (%) int | 65.6 | 83.3 | 51.0 | 40.4 | 41.8 | 33.9 | 26.1 | 41.5 | 20.2 | 32.6 | 35.6 | 30. 2 |
| V air ext (m/s) | 3.6 | 6.1 | 0.0 | 1.6 | 2.8 | 0.4 | 4.1 | 7.8 | 0.0 | 1.2 | 2.7 | 0.2 |

V.4.1.1. Température de l'air

Il a été constaté que les températures mesurées à l'extérieur et à l'intérieur étaient très chaudes et très arides pendant l'été et froides durant l'hiver pour les maisons modernes par rapport aux maisons traditionnelles pour une différence de température moyenne 1.1 c° vers 12.0 c°. La valeur maximale de la température ambiante est enregistrée dans la maison moderne, ce qui confirme que cette typologie est visiblement inadaptée au climat chaud et aride.

En conclusion, il apparaît que les températures intérieures les plus élevées sont enregistrées dans la typologie de maison moderne avec des matériaux à faible résistance thermique tels que les blocs creux et pleins. En revanche, la typologie de maison traditionnelle donne des résultats plus intéressants du point de vue confort thermique en période estivale. Notez que les températures ambiantes mesurées dépendent également d'autres facteurs tels que l'orientation et les fluctuations climatiques externes.

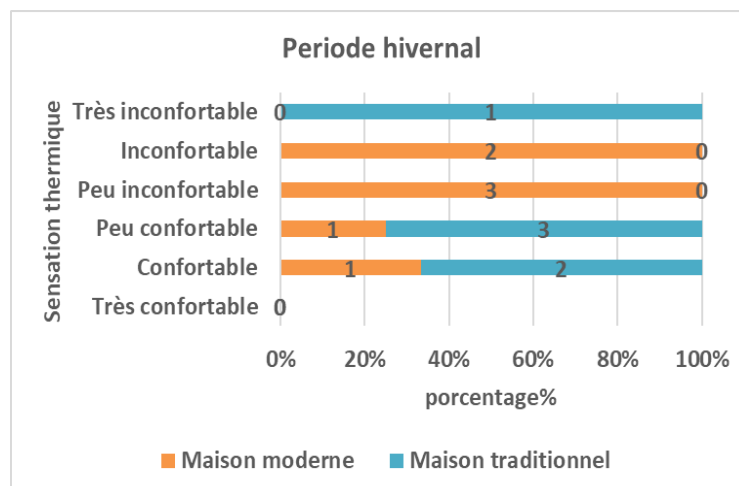
V.4.1.2. Humidité relative

À la lecture des résultats des mesures, on peut dire que l'humidité relative extérieure est faible par rapport à l'humidité intérieure, à l'extérieur, elle varie généralement entre 73% et 26.7% et à l'intérieur, elle se situe entre 83.3% et 33.9% pour la période hivernale et entre 41.5% et 20.2% durant la période estivale. Ces résultats peuvent être expliqués par le métabolisme des vapeurs humaines et les activités domestiques et aussi le manque d'aération dans la maison.

V.4.1.3. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un facteur climatique essentiel à analyser par ce que la ventilation naturelle contribue positivement au refroidissement (Aimilioset al,2017). D'après la lecture des résultats, le tableau de mesure. Nous constatons que la valeur de vitesse de l'air intérieure des salons des maisons étudiée est nulle pendant la journée étudiée, à cause d'absence un courant d'air, par contre la vitesse de l'air mesurée à l'extérieur dans les différentes typologies testées, ne dépasse pas 7.78 m/s.

V.4.2. Enquête par questionnaire : l'évaluation subjective



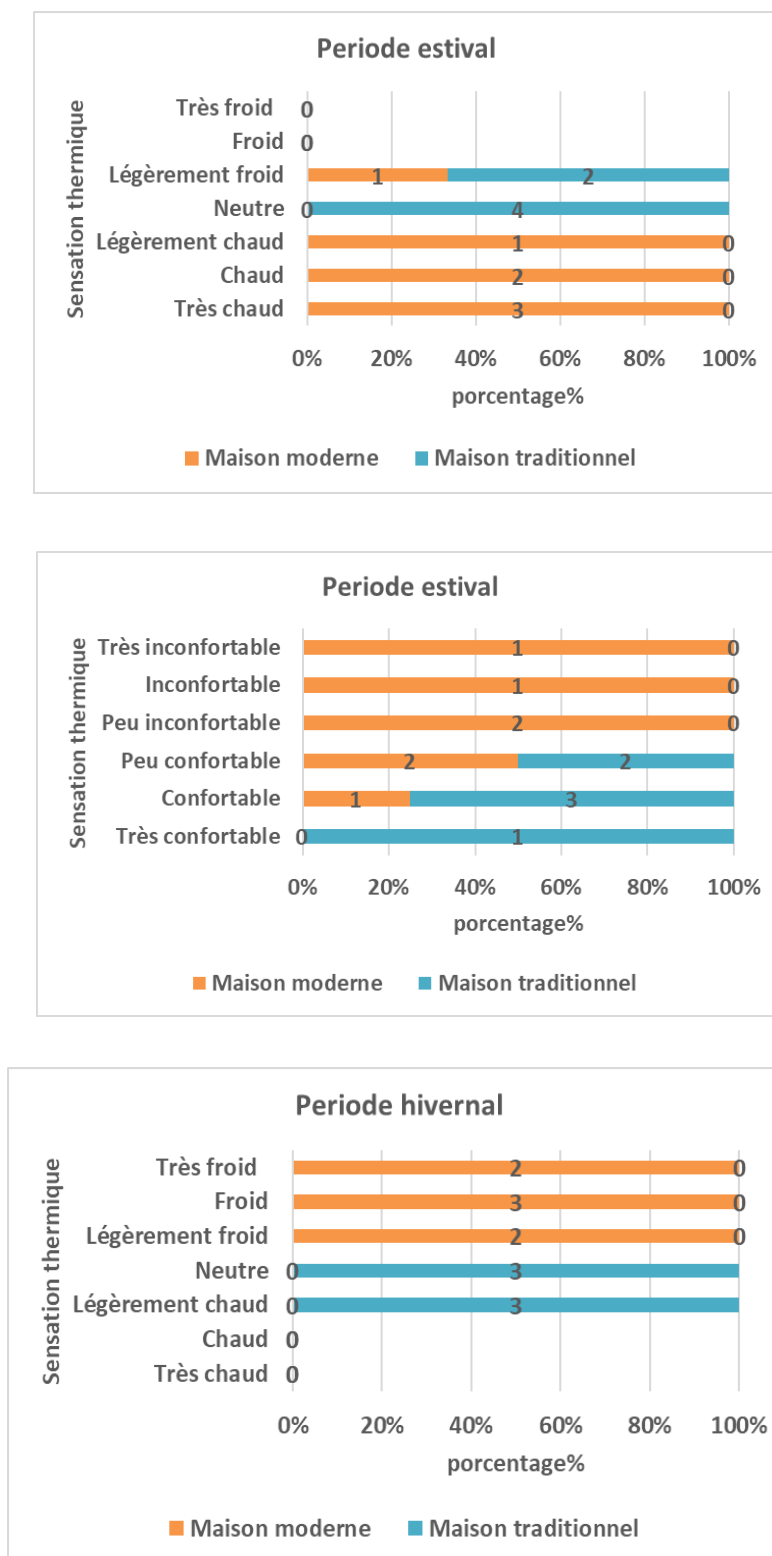


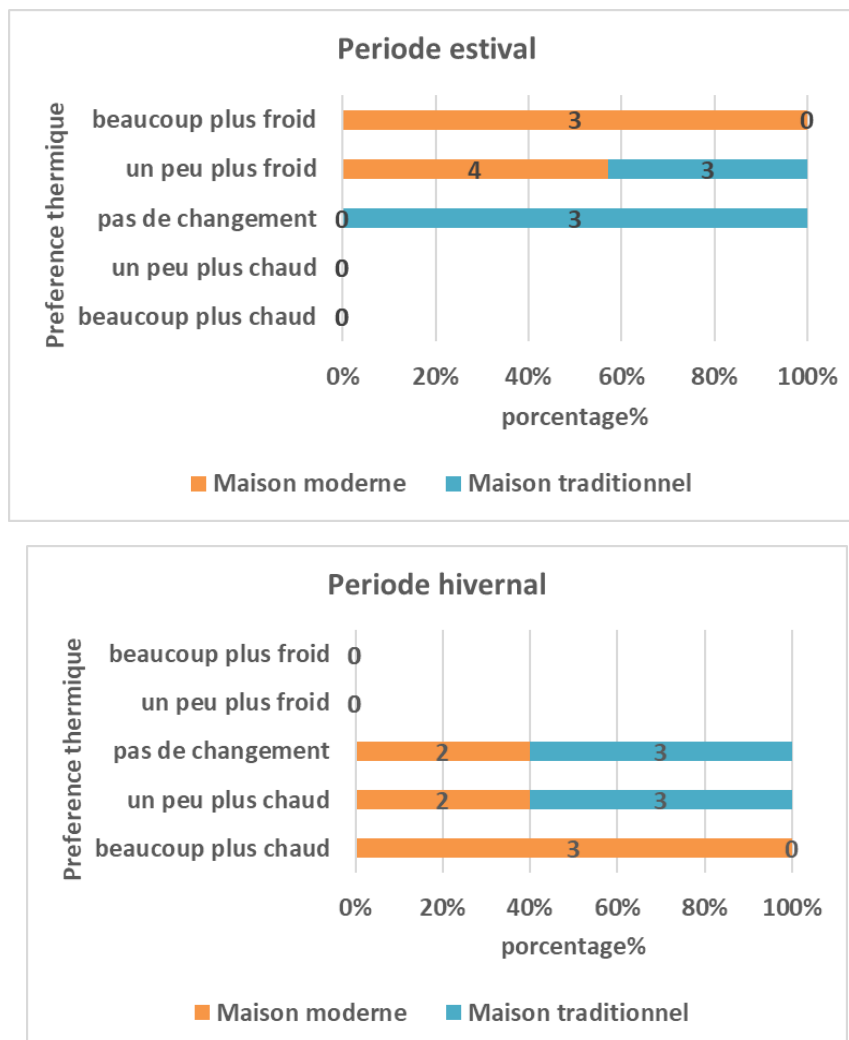
Fig.123. Répartition des votes de sensation thermique. Source : auteur, 2019

Dans la figure (123) on remarque qu'il y a une différence de satisfaction thermique entre la maison moderne et la maison traditionnelle pour les périodes d'été et hiver où :

Pendant l'été, la plupart des usagers de maisons modernes trouvent qu'il est très chaud et très inconfortable, cependant la plupart des usagers de maison traditionnelle trouvent qu'il est doux et confortable.

Durant l'hiver, la plupart des usagers de maison moderne trouvent qu'il est froid et inconfortable, en revanche la plupart des usagers de maison traditionnelle trouvent qu'il est doux ou légèrement chaud et confortable.

La différence dans la sensation thermique entre les deux types de maisons s'explique par plusieurs facteurs, à savoir : le tissu urbain, matériaux de construction, l'exposition de salon au soleil.



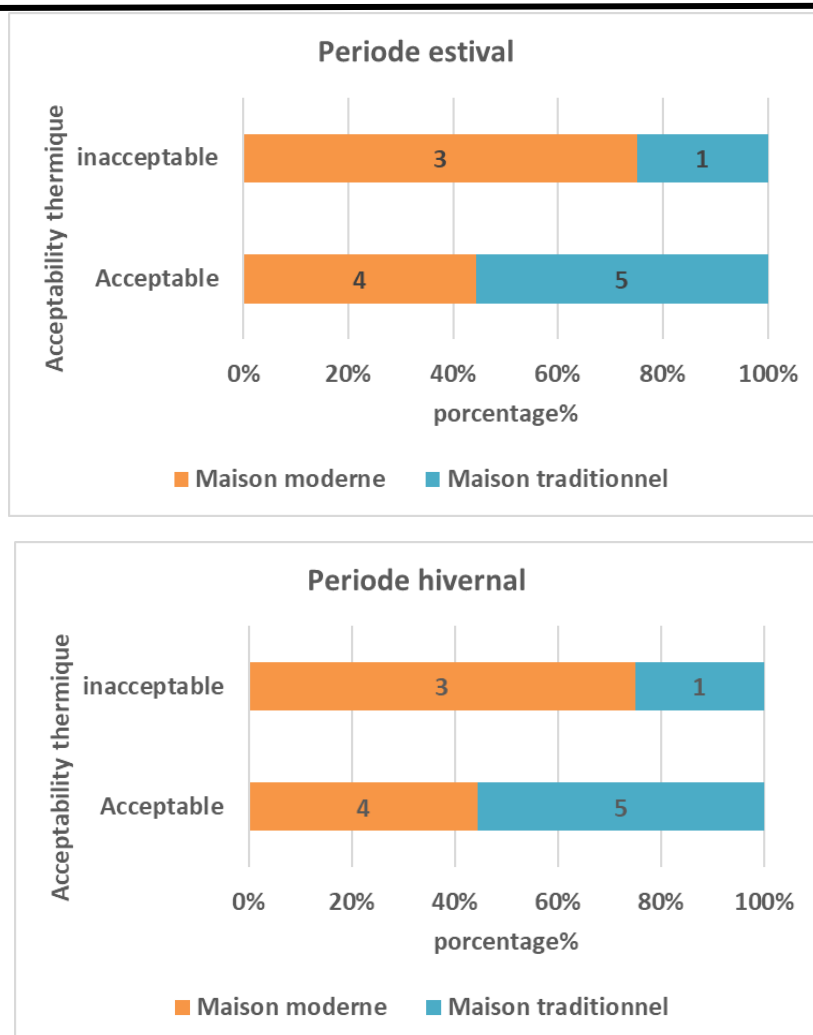


Fig.124. Répartition des votes de préférence thermique et d'acceptabilité thermique. Source : auteur,2019

Dans (la figure 124) on constate que pour les périodes d'été et hiver, les usagers de maison traditionnelle généralement ne préfèrent aucun changement de l'ambiance thermique par rapport aux usagers de maison moderne qu'ils préfèrent qu'il soit plus froid pendant l'été et plus chaud durant l'hiver, et dans la maison traditionnelle, ils trouvent que l'ambiance est acceptable, cependant, dans la maison moderne les usagers trouvent qu'il est inacceptable.

Conclusion

Nous avons retenu comme études de cas deux typologies de résidences individuelles à Ouargla afin de les évaluer sur le plan bioclimatique et comprendre leur rapport au climat afin de cerner les principaux enjeux de confort thermique dans les bâtiments publics.

Le volet pratique de cette activité consiste en une enquête de terrain à l'aide de deux instruments de recherche, soit les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'enquête par questionnaire, qui s'appuie sur la perception que les gens ont d'une situation et leurs réponses à celle-ci.

Concernant le premier instrument d'étude, nous avons mesuré les températures, l'humidité relative et les températures ambiantes à l'intérieur et à l'extérieur des deux pièces des résidences sélectionnées pendant une journée entière pendant les saisons d'hiver et d'été.

En réalité, il s'agit de recueillir des données sur le confort thermique et les besoins des habitants des maisons unifamiliales représentatives.

L'objectif de la recherche est d'évaluer le niveau d'adaptation climatique de deux habitats traditionnel et moderne. Dans les recherches précédentes, il a été constaté que la maison moderne typique semble être inappropriée pour un climat désertique, et en été, les maisons traditionnelles restent les plus efficaces au problème de chaleur pour les deux types de matériaux de construction testés (Temchemt et parpaing creux)

L'architecture traditionnelle conçue par des architectes traditionnels a comme premier but de donner des solutions du confort humain et d'exploiter les énergies naturelles d'une manière simple et optimale.

Il est évident que le nouveau projet dans la ville d'Ouargla ne respecte pas les principes de base de la conception durable en termes de choix de matériaux et cela est dû à un certain nombre de caractéristiques de conception. Tandis que les anciennes unités d'habitation vernaculaires se sont avérées bien meilleures que les modernes. En raison de Son agencement se caractérise par une grande compacité, où les pièces s'ouvrent sur une cour centrale. Cette disposition utilise la ventilation naturelle de la cour et la minimisation des surfaces extérieures exposées, qui contribuent à la stratégie de refroidissement passif. L'autre caractéristique importante de l'habitation traditionnelle est l'enveloppe du bâtiment. L'utilisation d'une façade presque aveugle, à l'exception de quelques petites ouvertures, réduit les gains de chaleur et assure l'intimité. L'utilisation de matériaux d'origine locale est une autre caractéristique de

l'enveloppe. Dans le cas du "Ksar" d'Ouargla, les matériaux utilisés sont le bois (issu des palmiers), les fibres naturelles et la paille, associés à de la terre pour la construction des toitures. Le Temchemt et la pierre sont utilisés pour les murs, les sols et les fondations. Ces matériaux fournissent une masse thermique, indispensable à la stratégie de refroidissement passif.

Cette étude permet aux futurs chercheurs d'aller plus loin et d'étudier des solutions et des techniques pour atteindre un confort maximal tout au long de l'année en utilisant des stratégies de conception passives. Lors de la construction à Ouargla, il est recommandé aux concepteurs d'adopter une approche de conception passive qui utilise l'architecture du bâtiment pour maximiser le confort des occupants et minimiser la consommation d'énergie. Nous verrons donc cela dans le chapitre suivant.

Modélisation et simulation pour amélioration du confort thermique et réduction des consommations énergétiques dans les habitations : impact des stratégies passives

« La simulation en thermique est un outil prometteur qui permet de réaliser des progrès dans la construction des systèmes thermiques dans les pays en développement. Cela facilite l'exploration d'un vaste champ de solutions pour des divers problèmes comme la thermique du bâtiment. L'obtention du confort thermique peut donc se faire par la climatisation passive ou la climatisation active... »

(Kemajou *et al.*, 2011)

Introduction

Les matériaux de construction modernes en béton armé sont considérés comme les plus populaires dans la production de logements en Algérie, particulièrement dans les états désertiques tels que la ville d'Ouargla. Cette région est caractérisée par un climat chaud et aride. Ces maisons ont besoin d'être plus adaptables à ce climat difficile, en dépit de la présence du Ouargla Ksar, qui contient des logements traditionnels qui ont prouvé leur efficacité en termes de problème de chaleur dans plusieurs études qui ont été achevées précédemment, mais ces logements ont diminué en demande car ils ne sont pas adaptés à la vie urbaine contemporaine.

Par conséquent, le but de cette étude est d'améliorer la performance des typologies de maison les plus reconnues dans la ville d'Ouargla en termes de confort thermique et de consommation d'énergie en utilisant des stratégies passives. A cet égard, une méthodologie de recherche basée sur des mesures déposées et des simulations de modèles avec TRNSYS 17 a été adoptée pour identifier les problèmes les plus communs rencontrés. Le modèle simulé a été validé par corrélation statique, puis une simulation d'une année complète a été réalisée, au cours de laquelle de nombreux aspects de la construction sont étudiés et comparés, tels que l'isolation et la masse du toit et des murs, les dimensions et les types de fenêtres, l'orientation et l'ombrage solaire. Les résultats montrent que la maison moderne étudiée peut être considérée comme non appropriée pour un climat désertique et l'utilisation de l'ombrage solaire combiné avec des murs isolés et le toit permet d'augmenter de 35% le confort thermique annuel ($-0.5 \leq PMV \leq 0.5$) et de réduire la consommation d'énergie de 22,73%.

Tous les scénarios simulés ont ensuite été comparés à une maison traditionnelle caractérisée par une conception architecturale bioclimatique utilisée en tant que bâtiment de référence. Les résultats obtenus peuvent être utiles pour guider à la fois les interventions de rénovation sur les bâtiments existants et la conception de nouveaux bâtiments. Bien que les interventions simulées soient largement étudiées dans la littérature, Il est très important de connaître leur impact sur la perception de l'environnement intérieur et de la consommation énergétique dans cette zone géographique particulière.

VI.1. La simulation numérique

La simulation numérique permet d'utiliser un modèle informatique dont les caractéristiques et les variables sont des répliques de celles du processus étudié pour représenter le comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire. Il est exploité par les scientifiques dans leur travail car il rend possible l'élaboration de tous les modèles complexes ou simples et permet-elle de réduire les coûts et les délais. Aujourd'hui la simulation numérique est devenue indispensable à la recherche scientifique.

VI.2. Présentation de la méthodologie utilisée pour l'amélioration

La méthodologie suivie pour étudier l'impact de la stratégie passive sur le confort thermique et la consommation d'énergie dans les maisons de sélection peut être divisée en trois étapes : (1) étape de modélisation ; (2) étape de simulation ; (3) étape d'évaluation (figure 125).

Dans la figure 125, le cadre de l'étude conceptuelle est représenté, et chaque étape est décrite dans les sections suivantes.

VI.2.1. Étape de la modélisation

La phase de modélisation représente la première étape de la méthodologie suivie. Il se compose à son tour de trois phases : Sélection des typologies de bâtiments, Enquête sur place, et la création de modèles.

VI.2.1.1. Sélection des typologies de bâtiments : dans une phase préliminaire, une étude typologique des habitats dans le tissu urbain de la ville d'Ouargla a été réalisée. Une telle étude et le tissu urbain indiquent qu'il existe deux types distincts d'habitat : l'habitat traditionnel et l'habitat moderne. Pour cette étude, une maison de référence moderne qui constitue une grande partie du parc immobilier résidentiel de la région aride, en particulier dans la ville d'Ouargla, a été sélectionnée. En outre, une maison de référence traditionnelle a été sélectionnée afin de comparer leurs performances thermiques et énergétiques.

Dans une activité de recherche antérieure, tout au long d'une enquête sur le logement et des campagnes de mesure du confort thermique des maisons traditionnelles et modernes dans la ville d'Ouargla (Algérie), il a été constaté que les maisons traditionnelles sont plus adaptables en été, en raison de leurs caractéristiques, de la technique de construction et des matériaux de construction, les maisons traditionnelles sont plus efficaces pour pallier les problèmes de surchauffe. Sur le continent, les maisons modernes ne conviennent pas au climat désertique et

créent souvent de l'insatisfaction chez les habitants. Pour ces raisons, dans ce document, la maison moderne est étudiée afin d'améliorer ses performances thermiques et énergétiques avec des stratégies de conception passive.

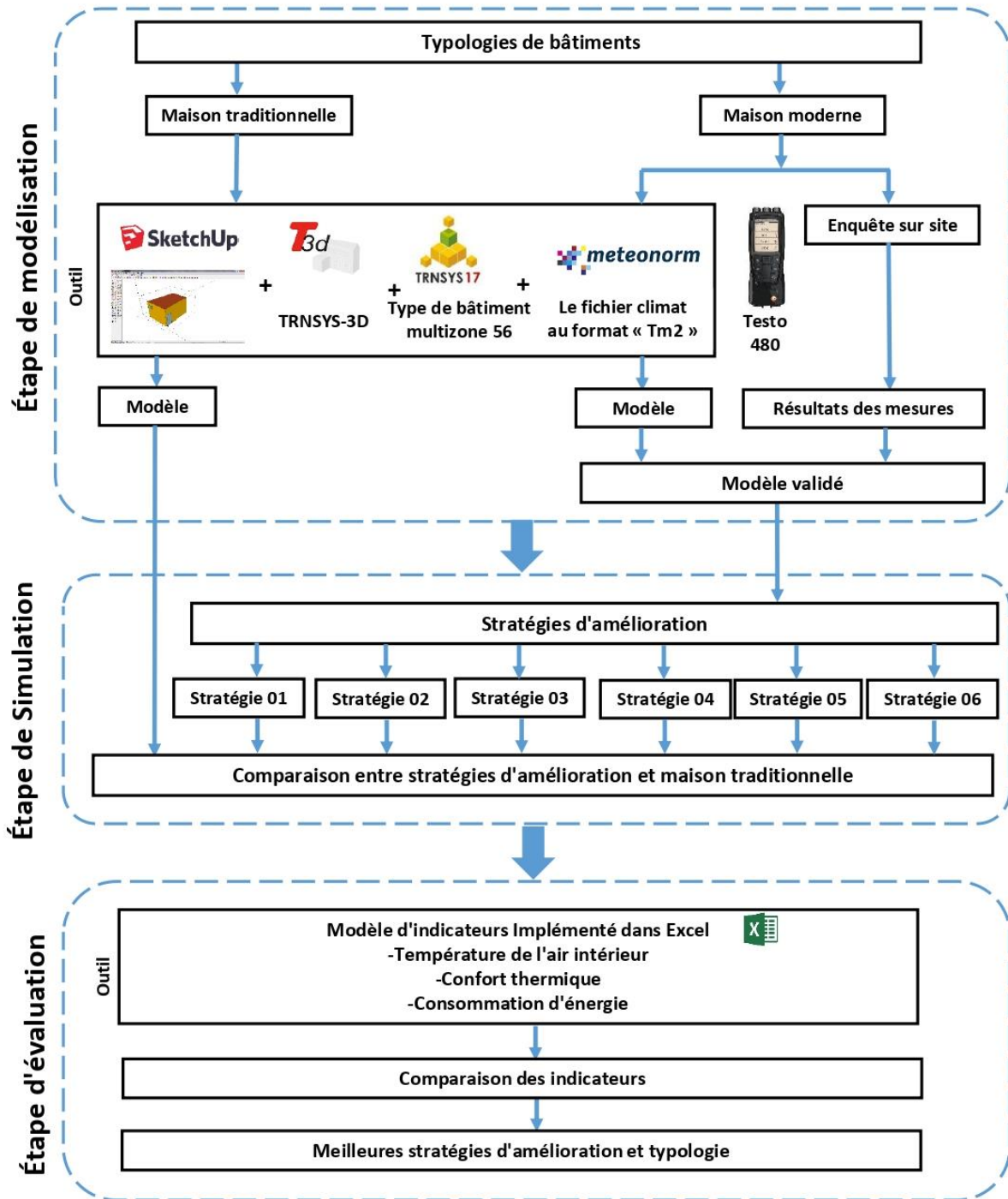


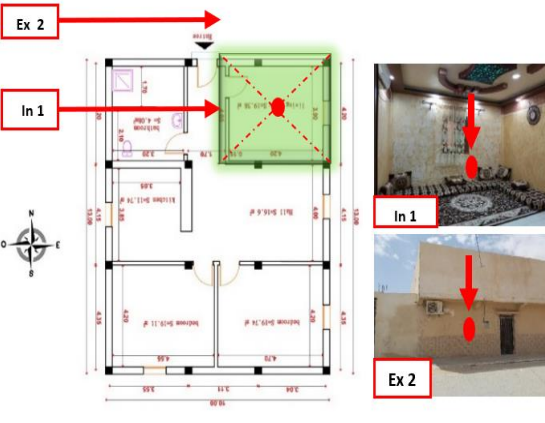
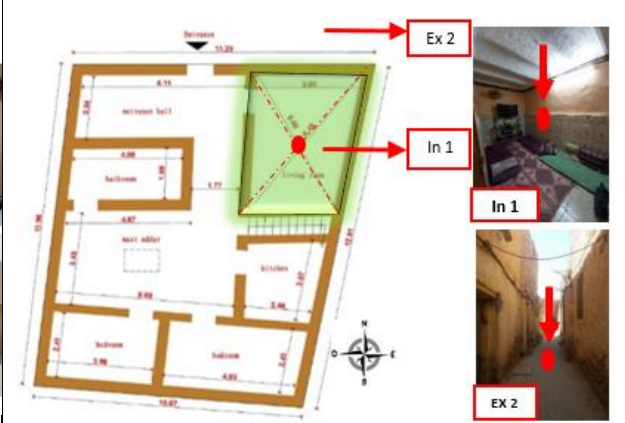


Fig.125 : Cadre conceptuel de l'étude. Source (auteur,2020).

Les deux maisons sélectionnées sont situées dans le nord-ouest de la ville d'Ouargla ; la maison moderne est occupée par cinq personnes, et la maison traditionnelle est occupée par six personnes. La superficie des maisons sélectionnées, En plus du plan et d'une description

de chacun d'entre eux, présentés dans le tableau 29. De plus des renseignements sur les deux cas d'études se trouvent dans le chapitre précédent.

Tab.29 : Des vues planimétriques, des plans et des photos avec les points de mesure (points rouges) des deux bâtiments ont été utilisés comme études de cas. Source (auteur, 2020)

| Typologies | Maison moderne | Maison traditionnelle |
|--|--|---|
| Contexte urbain |  |  |
| Vue extérieure et intérieure des maisons |  |  |

VI.2.1.2. Enquête sur place

Afin d'évaluer le confort thermique dans la maison moderne, deux campagnes de mesure ont été menées durant les périodes d'été et d'hiver 2019. Les paramètres microclimatiques mesurés sont : Température de l'air, Humidité relative et vitesse de l'air. Toutes les mesures ont été effectuées dans le salon, à l'aide d'un thermomètre multifonction Testo 480 AG 501 1ST, 0563 4800 (Figure 122).

En détail, les campagnes de mesure ont été menées durant la période hivernale du 1 janvier au 3 janvier et durant la période estivale du 28 juillet au 30 juillet.

Chaque mesure commence à 7 h et se termine à 20 h. Les mesures ont été effectuées en présence de toute la famille à domicile, afin d'obtenir des résultats plus efficaces. Les renseignements sur le profil professionnel (nombre d'occupants pendant les jours types) ont été obtenus au moyen d'une enquête auprès des propriétaires des maisons afin d'obtenir des renseignements utiles à inclure dans la création du modèle.

Tab.30 :Caractéristiques thermiques des murs extérieurs des maisons modernes et traditionnelles
Source (auteur,2020).

| | Maison modern (Cas de base) | Maison traditionnelle |
|---|--|----------------------------------|
| Transmission thermique (W/m ² K) | 0.862 | 0.446 |
| Transmission thermique périodique (W/m ² K) | 0.332 | 0.001 |
| Facteur de décrémentation | 0.491 | 0.002 |
| Décalage horaire (heure) | 7.7 | 8.8 |

VI.2.1.3. Création des modèles

Les améliorations du confort thermique et de la consommation énergétique ont été analysées par simulation dynamique à l'aide du logiciel TRNSYS basée sur plusieurs stratégies testées pour chaque paramètre et simulées individuellement. Le logiciel TRNSYS 2017 a été initialement développé par l'Université du Wisconsin dans les années 1970 pour l'analyse numérique de l'énergie solaire pour le chauffage et l'eau chaude. (<https://dokumen.tips/documents/type-56-05-multizonebuilding.html>). Les données de simulation sont tirées de l'enquête au niveau des occupants des maisons étudiées. La maison moderne de référence a été modélisée en utilisant TRNSYS.

La création de la géométrie des modèles a été réalisée à travers l'exploitation du logiciel « Sketch-up » en utilisant le plugin « Trnsys-3D », le plugin « Trnsys-3D » nous permet de créer le modèle du bâtiment en « Sketch-up » ainsi que d'exporter le fichier vers le logiciel TRNSYS en. Format idf comme indiqué dans la figure 125.

La maison de référence moderne existante (cas) a été définie par un cube de 4,20× 3,90× 3 mètres pour le salon d'une maison moderne et 3,93 ×4,95 ×2,70 mètres pour le salon d'une maison traditionnelle, dans une seule zone thermique avec une fenêtre orientée au sud et sans protection solaire interne ou externe. Le mur sud est considéré comme le mur extérieur où les principaux échanges de chaleur avec l'extérieur ont lieu. Les autres murs sont considérés comme des « limites » ou des murs dont les conditions sont connues (Trnsys 17). La façade étudiée est celle orientée au sud (la façade la plus exposée au rayonnement solaire avec les conditions les plus défavorables) (Khadraoui *et al.*, 2018). La simulation a été limitée au salon parce que c'est l'espace de vie le plus occupé, où la famille se réunit.

En utilisant le « TRNBuild » du logiciel TRNSYS à travers le « Type 56 » du bâtiment multi-Zone, nous pouvons présenter les paramètres (entrée) pour faire la simulation et nous donner les (sorties). Le fichier climatique de la ville d'Ouargla a été généré par le logiciel « Meteonorm V7.2 » au format Tm2 pour « Type 15-2 Weather data ».

Le tableau 31 présente les paramètres d'entrée du modèle de simulation, en détail pour les deux dimensions, les propriétés de l'enveloppe, les systèmes de centrales thermiques et les profils d'occupation. De plus, les tableaux 32 et 33 présentent les propriétés thermiques des matériaux utilisés dans le bâtiment de référence.

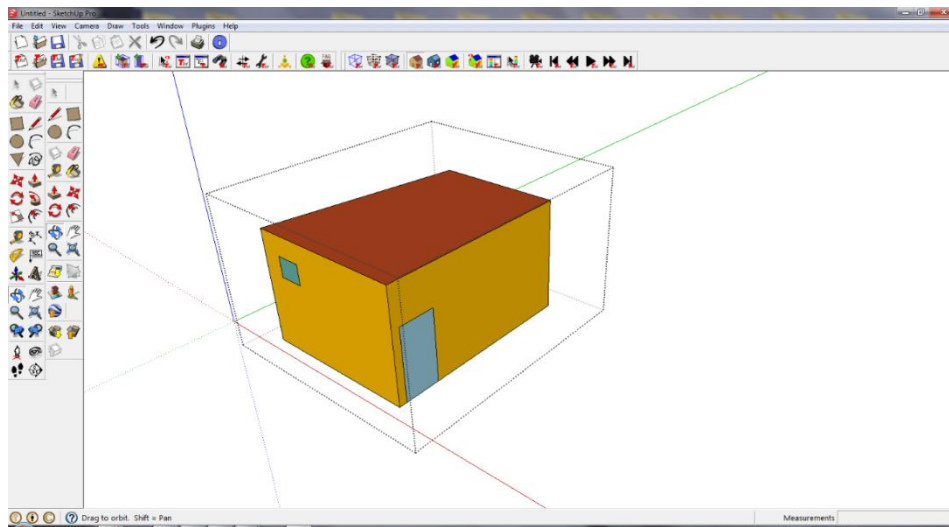


Fig.126 : La création de la géométrie des modèles à travers l'exploitation du logiciel « Sketch-up ». Source (auteur,2020)



Fig.127 :Équipement utilisé dans les campagnes de mesure(Testo 480). Source (auteur,2020)

Tab.31 : Caractéristiques principales de la maison moderne étudiée (cas de base) et de la maison traditionnelle. Source (auteur, 2020)

| Les données d'entrée | | Maison moderne (cas de base) | Maison traditionnelle | |
|-----------------------------------|--|--|--|------------------|
| Géométrie | Orientation | Est - Ouest | Est - Ouest | |
| | Hauteur du plancher | 3.00 m | 2.70 m | |
| | Total des étages | 1 | 1 | |
| | Surface bâti | 430 m ² | 131.36 m ² | |
| Enveloppe | Rapport fenêtre/mur | 6.35% | 2.83% | |
| | Mur extérieur | S=12.60 m ² , U= 0.765 W/m ² .K | S=10.61 m ² , U= 0.461 W/m ² .K | |
| | Mur adjacent | S= 11.70 m ² , U= 1.661 W/m ² .K | S=13.37 m ² , U= 0.461 W/m ² .K | |
| | Toit extérieur | S=16.38 m ² , U= 1.459 W/m ² .K | S=19.45 m ² , U= 0.742 W/m ² .K | |
| | Rez-de-chaussée | S=16.38 m ² , U= 2.925 W/m ² .K | S=19.45 m ² , U= 2.925 W/m ² .K | |
| | Couleur de finition | Beige-jaune | Beige | |
| | Vitrage | Simple vitrage, S=16.38 m ² , U=5.74 W/m ² .K | Simple vitrage, S=16.38 m ² , U=5.74 W/m ² .K | |
| | Ombres | Aucun | Aucun | |
| | Systèmes et profil d'occupation | HVAC | Aucun | Aucun |
| | | Système de chauffage | Chauffage au gaz | Chauffage au gaz |
| Consigne de chauffage | | 17°C | 17°C | |
| Système de refroidissement | | Climatiseur | Aucun | |
| Seuil/Consigne de refroidissement | | 27°C | Aucun | |
| Infiltration | | 1 Volume/h | 1 Volume/h | |
| Occupation | | 6 personnes | 5 personnes | |
| Apport interne | | 5W/m ² (TV et éclairage électrique) | 5W/m ² (TV et éclairage électrique) | |
| Facteur d'habillement | | 1.5 clo | 1.5 clo | |
| Ration de métabolisme | | 1.2 met | 1.2 met | |

Tab. 32 : Caractéristiques thermiques des matériaux des modèles simulés de maison moderne. Source (auteur,2020)

| Composition des éléments de construction (de l'extérieur vers l'intérieur) | Conductivité Thermique $\lambda(\text{kg/mK})$ | Chaleur spécifique (kJ/kgK) | Densité D (kg/m³) | Epaisseur (m) |
|---|--|--|---|--------------------------------|
| Walls | | | | |
| Enduit-ext | 4.152 | 1 | 1700 | 0.010 |
| Briq-cr-50 | 1.805 | 0.794 | 720 | 0.100 |
| Lame-air15 | 0.325 | 1.227 | 1 | 0.050 |
| Briq-cr15 | 1.697 | 0.794 | 720 | 0.150 |
| Enduit-pla | 1.264 | 1 | 1500 | 0.020 |
| Ceiling | | | | |
| Enduit-pla | 1.264 | 1 | 1500 | 0.020 |
| Parping-20 | 3.791 | 0.650 | 1300 | 0.160 |
| Béton-c400 | 0.578 | 0.880 | 400 | 0.040 |
| Par03-chape | 6.3 | 1 | 2300 | 0.100 |
| Floor | | | | |
| Carrelage | 6.137 | 0.700 | 2300 | 0.020 |
| Enduit-ext | 4.152 | 1 | 1700 | 0.050 |
| Béton-lour | 6.318 | 0.92 | 2300 | 0.200 |
| Cou06-terre-sol | 6.3 | 1.8 | 1750 | 0.005 |

Tab.33 : les caractéristiques thermiques des matériaux des modèles simulés de maison traditionnelle. Source (auteur,2020)

| Composition des éléments de construction (de l'extérieur vers l'intérieur) | Conductivité Thermique $\lambda(\text{kg/mK})$ | Chaleur spécifique (kJ/kgK) | Densité D (kg/m³) | Epaisseur (m) |
|---|--|--|---|--------------------------------|
| Murs | | | | |
| Temchemt | 0.502 | 1.193 | 1400 | 0.020 |
| Pierre | 1.05 | 0.231 | 2000 | 0.500 |
| Temchemt | 0.502 | 1.193 | 1400 | 0.020 |

| Plafond | | | | |
|-----------------|-------|-------|------|-------|
| Temchemt | 0.502 | 1.193 | 1400 | 0.020 |
| Cou06-terre-sol | 6.3 | 1.8 | 1750 | 0.120 |
| Pierre | 1.054 | 0.231 | 2000 | 0.240 |
| Temchemt | 0.502 | 1.193 | 1400 | 0.020 |
| Plancher | | | | |
| Carrelage | 6.137 | 0.700 | 2300 | 0.020 |
| Enduit-ext | 4.152 | 1 | 1700 | 0.050 |
| Béton-lour | 6.318 | 0.92 | 2300 | 0.200 |
| Cou06-terre-sol | 6.3 | 1.8 | 1750 | 0.005 |

Après la création de la bibliothèque de documents sur TRNSYS, un scénario détaillé qui englobe tous les paramètres (infiltration, gains internes, nombre de personnes et leurs activités, et équipement possible) a été intégré. A cet égard, les caractéristiques suivantes ont été définies selon le scénario d'occupation le plus réaliste pour les habitants de la ville d'Ouargla. La résistance thermique des vêtements a été fixée à 1,5 clo, selon la tenue traditionnelle de la ville d'Ouargla.

L'énergie métabolique a été théoriquement fixée à 1 met, où les habitants étaient en position assise et en état de repos (selon ISO 9920) pendant tout le temps simulé, comme le montre le tableau 31. Le scénario d'occupation le plus réaliste, compte tenu d'une occupation de six personnes dans le scénario de référence et de cinq personnes dans le MT pour chaque logement, comme le montre l'annexe A ; la figure 128 avec des horaires d'occupation de 24 h a été établie. Les autres gains internes sont dus à l'équipement 5W/m² (TV et éclairage électrique), qui se trouve dans le salon. Les autres gains internes sont dus à l'équipement 5W/m² (TV et éclairage électrique), qui se trouve dans le salon.

Pour estimer les besoins en énergie, des points de consigne de température ont été déterminés pour le fonctionnement des centrales thermiques d'hiver et d'été, à savoir 17 °C pour le chauffage et 27 °C pour le refroidissement, respectivement. Afin d'éviter les erreurs dans l'initialisation de la simulation, la simulation a été effectuée pendant un an. L'étape de simulation a été réglée à une heure, et les résultats ont été exportés au format. xls. Par la suite, les graphiques ont été produits pour les périodes les plus chaudes et les plus froides selon le fichier climatique utilisé.

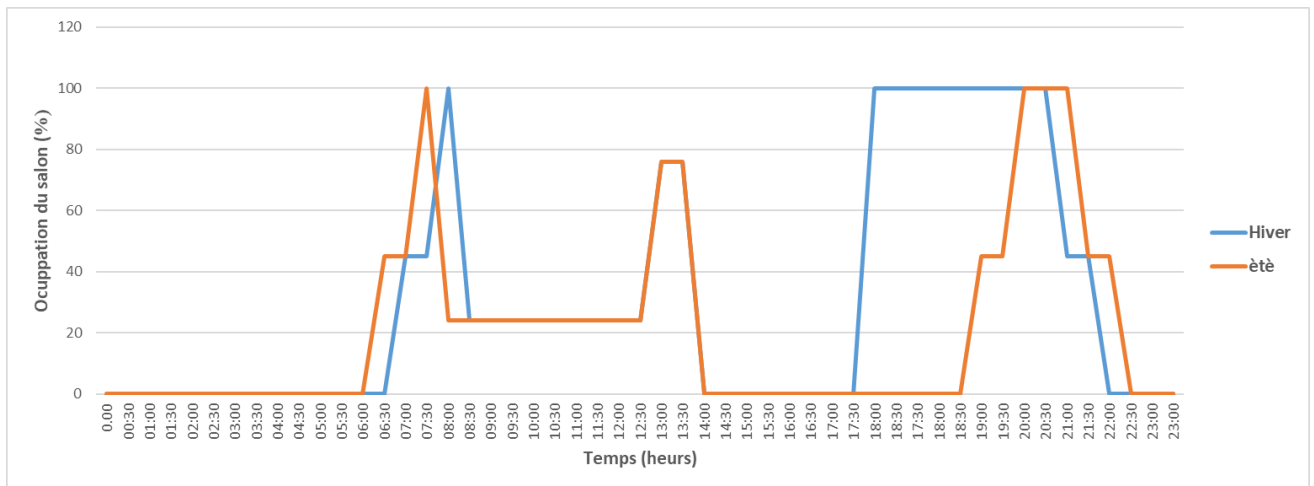


Fig.128 : Horaire d'occupation du salon. Source : l'auteur,2020

VI.2.1.4. Validation et étalonnage du modèle

Avant d'étudier les différentes améliorations passives, le modèle de la maison moderne dans la situation actuelle (scénario de base) a été validé par comparaison des températures simulées (extérieur et intérieur). Avec les résultats des mesures sur place comme le montre la figure 129. L'analyse des données climatiques d'Ouargla, nous a permis de déterminer les deux périodes les plus représentatives pour les conditions chaudes et froides en 2019. Ainsi, les jours du 28 au 30 juillet représentent la période estivale et les conditions les plus chaudes et les jours du 1er au 3 janvier représentaient les conditions les plus froides de la période hivernale. Par souci de commodité, parmi les données mesurées, le 30/07/2019 pour la période estivale et le 03/01/2019 pour la période hivernale ont été utilisés pour valider le modèle.

Par la suite, un étalonnage statique par régression linéaire a été utilisé pour valider le modèle du scénario de base avec les résultats des mesures expérimentales et les résultats de la simulation numérique pendant l'hiver le 03/01/2019 et l'été le 30/07/2019, comme le montre la figure 130.

Pendant la période hivernale, on constate que le coefficient de corrélation est $R^2 = 0,9698$ et pour la période estivale, il est $R^2 = 0,9454$. Cela est jugé satisfaisant pour vérifier la validation des résultats de simulation numérique. En effet, un coefficient de corrélation (R^2) entre 0,90 et 1,00 explique une corrélation très forte. Le graphique ci-dessus résume la validation du modèle de simulation numérique pendant les saisons d'été et d'hiver. (Tableau 34)

Tab.34. Les coefficients de corrélation. Source : l'auteur,2020

| Coefficient de corrélation R^2 | Interprétation |
|----------------------------------|--------------------------|
| 0.00-0.10 | Aucune corrélation |
| 0.10-0.39 | Corrélation hebdomadaire |
| 0.140-0.69 | Corrélation modérée |
| 0.70-0.89 | Forte corrélation |
| 0.90-1.00 | Corrélation très forte |

VI.2.2. Étape de simulation

À cette étape, six stratégies passives différentes sont proposées et décrites. Selon l'analyse bioclimatique de la ville d'Ouargla pour découvrir la zone de confort, et à l'aide de l'interprétation des résultats du diagramme psychométrique et des tableaux Mahoney (Mazouz., 2001), quelques suggestions et stratégies nécessaires pour assurer le confort pendant les périodes chaudes et froides dans cette zone désertique sont obtenus.

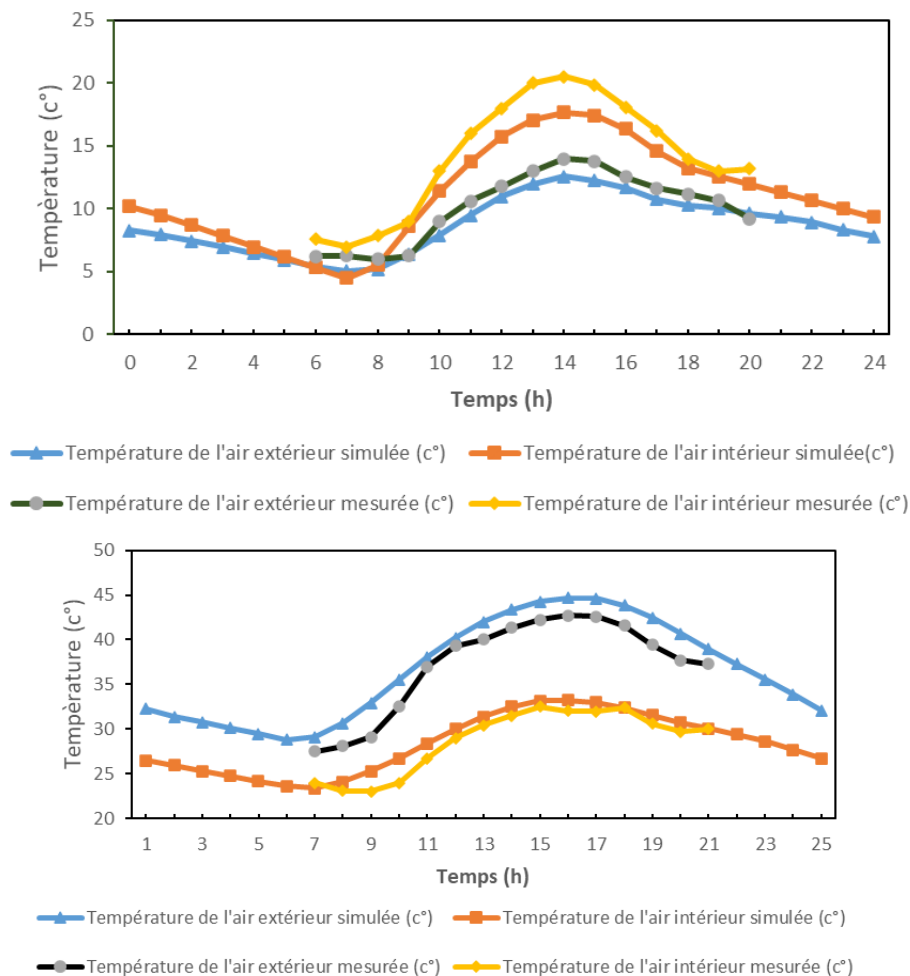


Fig.129. Comparaison des températures simulées et mesurées (à l'extérieur et à l'intérieur) pendant l'hiver le 01/03/2019 (en haut) et l'été le 30/07/2019 (en basse) du scénario de référence. Source : l'auteur,2020

D'après les résultats présentés à la figure 131 et 132, il semble évident que la température de l'air intérieur en hiver atteint des valeurs très faibles. Par conséquent, selon (Berardiet al., 2017), (Fernandeset al., 2019). La stratégie principale simulée était l'amélioration de la transmission thermique des murs et du toit (ST1). (Tableau 35). Comme cette stratégie s'est avérée cruciale pour la réalisation des conditions de confort intérieur (température de l'air et PMV), d'autres stratégies ont été testées en maintenant toujours l'amélioration de la transmission des murs et du toit.

En d'autres termes, toutes les autres stratégies ont été considérées en combinaison avec le ST1. Il est important de noter que chaque stratégie de conception passive (ST) comprend un ou plusieurs scénarios (SC) qui ont été simulés séparément. Plus loin dans le document, chaque scénario sera identifié par un code sous la forme suivante : STxSCy (avec x comme numéro d'identification de la stratégie et y comme numéro d'identification du scénario).

Dans ce document, l'attention a été portée aux interventions passives en matière d'efficacité énergétique concernant l'enveloppe opaque et transparente du bâtiment. Les caractéristiques de chaque scénario sont résumées au tableau 35. Les six stratégies comprennent les interventions d'amélioration suivantes.

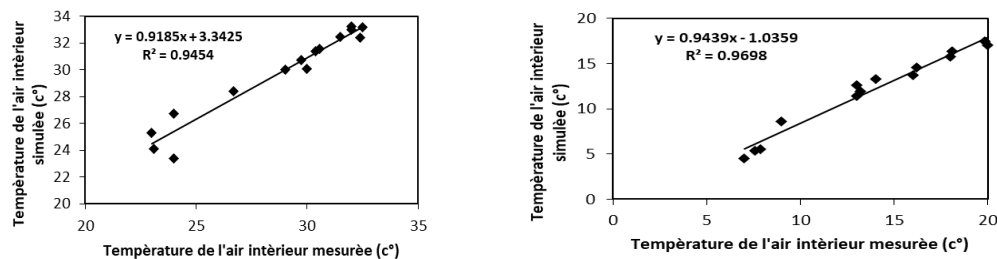


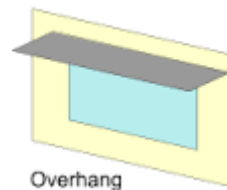
Fig.130. Graphique de validation et d'étalonnage du modèle numérique pendant l'hiver du 03/01/2019 (à gauche) et l'été du 30/07/2019 (à droite) du scénario de référence. Source : l'auteur, 2020

Stratégie 1 (ST1) - Réduction de la transmission thermique des murs et des toits ; en détail compte tenu de la performance négative du scénario de base (en particulier dans la température de l'air pendant la saison hivernale) et qui est plus facile à intervenir sur les murs, la transmission murale a été fortement réduite à un quart et celle du toit a été réduite de moitié. Cette stratégie a été étudiée dans un scénario. Il s'agit d'une stratégie d'amélioration typique parce que d'autres activités de recherche démontrent son efficacité. Par exemple, des solutions similaires dans une étude de cas à Kenadsa (au sud de Bechar) sont proposées (Khouki et al., 2016).

Stratégie 2 (ST2) – Réduction de la transmission thermique des murs et des toits et changement des types de verre des fenêtres – Le type de verre a été modifié (le boîtier de base a un seul vitrage) pour le double vitrage dans le scénario ST2SC1 et le triple vitrage dans le scénario ST2SC2.

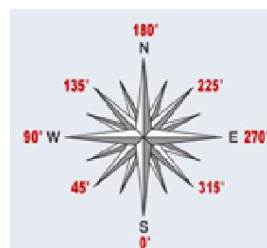
Stratégie 3 (ST3) – Réduction de la transmission thermique des murs et des toits et augmentation des dimensions des fenêtres : les dimensions des fenêtres sont passées de 0,8 x 1,0 m du boîtier de base à 1,0 x 1,20 m dans le scénario ST3SC1 et à 1,20 x 1,50 m dans le scénario ST3SC2.

Stratégie 4 (ST4) – Réduction de la transmission thermique des murs et des toits et utilisation de l'ombrage solaire : puisque le scénario de base ne prévoit pas l'utilisation de systèmes d'ombrage solaire, un système d'ombrage composé d'un cantilever horizontal a été inséré dans le scénario ST4SC1 pour ombrer les fenêtres.



Stratégie 5 (ST5) – Réduction de la transmission thermique des murs et des toits et augmentation de la masse de surface des murs extérieurs : afin d'améliorer les performances estivales et hivernales de l'enveloppe, au-delà de l'amélioration de l'isolation thermique des murs, la masse de surface a été doublée. Cette stratégie est en accord avec les techniques anciennes et vernaculaires de construction de logements à Ouargla, a été construit avec des matériaux lourds et massifs porteurs (Sotehiet *al.*, 2019).

Stratégie 6 (ST6) – Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et changement d'orientation du salon. L'orientation du salon, qui dans le cas de base est S:0-90, a été testée dans trois scénarios W : 90-90 (ST6SC1), N:180-90 (ST6SC2), E : 270-90 (ST6SC3).



Les résultats obtenus pour chaque scénario ont ensuite été comparés au scénario de référence afin de déterminer les meilleures stratégies.

Tab.35. Résumé des six stratégies de conception solaire passive sélectionnées et simulées et des scénarios connexes (en gras, les propriétés d'amélioration sont mises en évidence).Source :

l'auteur,2020

| Propriétés | Transmission thermique | Types de vitrage des fenêtres | Dimensions des fenêtres | Systèmes de protection solaire | Masse Surfaceute | Orientation |
|--------------------------------|--|--|-------------------------|---|--|-------------|
| | $U_{mur,0}:0.76$ | | | | | |
| Cas de base (existante) | W/m^2K $U_{toiture,0}: 1.5$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74 W/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST1 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74w/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST2SC1 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage double $U_{g1}:2.95W/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST2SC2 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage triple $U_{g2}:2 W/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST3SC1 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74W/m^2K$ | 1.0 x 1.20 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST3SC2 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74W/m^2K$ | 1.20 x 1.50 m | Pas de protection | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST4SC1 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ W/m^2K $U_{mur,1}:0.19$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74W/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Protection horizontale 1.0 m x 0.5 m | $M_{s, mur}=227$ kg/m ² | S:0-90 |
| ST5SC1 | W/m^2K $U_{toiture,1}: 0.8$ | Vitrage simple $U_{g,0}:5.74W/m^2K$ | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | $M_{s,Mur}=454$ kg/m² | S:0-90 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|-----------------------------|-------------------|--|-----------------|
| | W/m²K | | | | | |
| | U_{mur,1}:0.19 | | | | | |
| ST6SC1 | W/m²K | Vitrage simple | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | M _{s, mur} =227 kg/m ² | W:90-90 |
| | U_{toiture,1}: 0.8 | U _{g,0} :5.74W/m ² K | | | | |
| | W/m²K | | | | | |
| | U_{mur,1}:0.19 | | | | | |
| ST6SC2 | W/m²K | Vitrage simple | 0.8 x 1.0 m | Pas de protection | M _{s, mur} =227 kg/m ² | N:180-90 |
| | U_{toiture,1}: 0.8 | U _{g,0} :5.74W/m ² K | | | | |
| | W/m²K | | | | | |
| ST6SC3 | U_{mur,1}:0.19 | | | | | |
| | W/m²K | Vitrage simple | W ₀ :0.8 x 1.0 m | Pas de protection | M _{s, mur} =227 kg/m ² | E:270-90 |
| U_{toiture,1}: 0.8 | U _{g,0} :5.74W/m ² K | | | | | |
| | W/m²K | | | | | |

VI.2.3. Étape de l'évaluation

La comparaison entre le scénario de base et chaque scénario d'amélioration est effectuée en termes de données simulées horaires moyennes mensuelles sur le logiciel TRNSYS17.

Un ensemble d'indicateurs de confort thermique et de consommation d'énergie a été utilisé pour évaluer les différentes solutions testées. En détail, pour les évaluations du confort thermique à l'intérieur, on a calculé l'indice de vote moyen prévisible (PMV) et pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD). Pour la consommation d'énergie ont été déterminés la demande d'énergie de chauffage sensible (Q Heat) et la demande d'énergie de refroidissement sensible (Q Cool) ont été.

Le calcul des indicateurs a été effectué pour tous les scénarios pour une année complète.

La consommation d'énergie pour chaque heure de l'année a été calculée automatiquement avec le logiciel TRNSYS 17, qui nous a donné des résultats horaires. Microsoft Excel a été utilisé pour calculer la consommation annuelle de chauffage et de refroidissement pour les scénarios, afin de faciliter la lecture des données et d'interpréter les résultats, donc, de faire une comparaison entre les stratégies en fonction de leur consommation annuelle d'énergie.

VI.3. Résultats

Cette section décrit les résultats de la simulation de maison moderne par rapport à d'autres stratégies. Ces résultats ont été présentés sous forme de graphiques comprenant des valeurs mensuelles/horaires à des fins de comparaison puis discutés ; Ces valeurs peuvent nous donner quelques suggestions pour équilibrer confort thermique et consommation énergétique dans une maison moderne. Également comparé aux résultats de la maison traditionnelle.

Les données de température de l'air sont discutées pour deux jours représentatifs des saisons d'hiver et d'été.

VI.3.1. Température de l'air

Les figures 131 et 132 montrent la température de l'air résultant des simulations des différentes stratégies testées en été et en hiver. Comme le montre également la figure 131, le scénario de référence montre une fluctuation évidente des valeurs avec une tendance à la hausse de 7 h à 16 h et une tendance à la baisse de 16 h à 19 h, qui peut être considérée selon la tendance de la température extérieure de l'air. Comme nous l'avons déjà mentionné, le scénario de référence nécessite une amélioration importante de la transmission thermique des murs et des toits. Pour cette raison, la première stratégie (ST1) a été appliquée à tous les scénarios. Les résultats de cette amélioration sont évidents parce que les tendances de tous les scénarios testés sont très stables et que les variations de température sont plus faibles par rapport au scénario de référence. De plus, à partir de la figure 131, on peut observer que les scénarios ayant un impact plus élevé sur la température de l'air pendant la saison hivernale sont les suivants : ST3SC2, ST6SC1 et ST2SC2 ; et à partir de la figure 132, on peut observer que, pendant la saison estivale, les scénarios qui permettent des valeurs plus faibles des températures de l'air sont les suivants : ST4SC1, ST1 et ST5SC1.

Afin de comprendre quel scénario donne une température proche de la température de la zone de confort, on a calculé pour chaque scénario la température moyenne de l'air et l'écart-type connexe (tableau 36). De plus, les valeurs maximales et minimales de température de l'air obtenues pour chaque scénario sont indiquées.

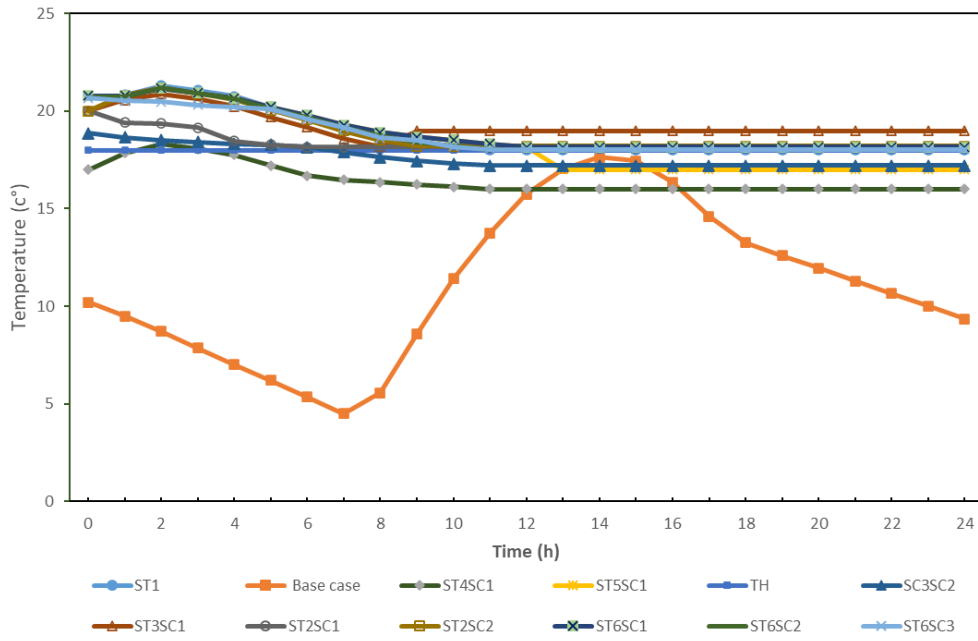


Fig.131.Évolution de la température de l’air selon les différentes stratégies du 3 janvier 2019 (Le cas de base et le MT représentent les cas de maisons modernes et traditionnelles dans la situation actuelle, STxSCy représentent les scénarios d’amélioration étudiés de maisons modernes).Source : l’auteur,2020

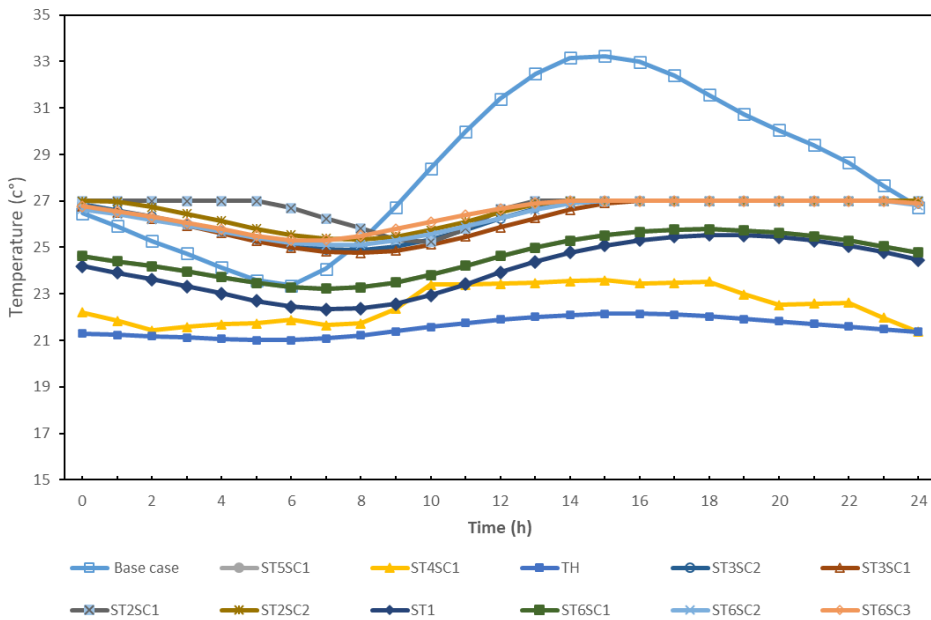


Fig.132. Evolution de la température de l’air selon les différentes stratégies au 30 juillet 2019 (Scénario de référence et MT représentent les cas de maisons modernes et traditionnelles dans la situation actuelle, STxSCy représente les scénarios d’amélioration étudiés de la maison moderne).Source : l’auteur,2020

Comme on pouvait s'y attendre, le scénario de référence représente les pires scénarios simulés, avec la plus faible valeur de la température moyenne de l'air en hiver (11,1 °C) et les valeurs les plus élevées de la température moyenne de l'air en été (28,3 °C). De plus, la température atteint des valeurs très basses en hiver (valeur minimale enregistrée de 4,5 °C) et des températures très élevées en été (valeur maximale enregistrée de 33,2 °C), ce qui peut être considéré comme des conditions très inconfortables.

En ce qui concerne les différents scénarios, certains commentaires peuvent être obtenus à partir de la valeur de la température de l'air et de leurs écarts. La première représente la valeur moyenne de la température de l'air enregistrée au cours d'une période de référence d'un jour, la seconde donne des informations sur la variation des températures au cours de la période de référence (un jour).

Pendant la période hivernale, la valeur minimale de la température de l'air a été observée sur le ST4SC1 (16,0 °C), tandis que la valeur maximale de la température de l'air a été observée sur le ST1 (21,3 °C). En ce qui concerne les valeurs moyennes, la température moyenne maximale de l'air est observée sur le ST3SC1 (19,3 °C), tandis que la température moyenne minimale de l'air est observée sur le ST4SC1 (16,5 °C), comme le montre le tableau 36.

Au cours de la période estivale, la valeur minimale de la température de l'air a été observée sur le ST4SC1 (21,4 °C), et la valeur maximale de la température de l'air a été observée sur plus de scénarios : ST2SC1, ST2SC2, ST3SC1, ST3SC2, ST6SC2, ST6SC3 (27,0 °C). Concernant les valeurs moyennes. La température moyenne maximale de l'air a été observée sur le ST2SC1 (26,7 °C), alors que les valeurs minimales de température moyenne de l'air ont été observées sur le ST4SC1 (22,5 °C), comme le montre le tableau 36.

Compte tenu des valeurs de l'écart-type (SD), on peut observer que la solution qui permet la variation minimale de la température de l'air, puis la ET minimale en hiver et en été est le ST2SC1. En été, les valeurs d'écart-type les plus faibles ont également été atteintes par ST2SC2 et ST6SC3. Au contraire, des variations maximales puis des valeurs plus élevées de SD ont été obtenues avec ST5SC1 en hiver et ST1 en été.

Les données de température de l'air sont discutées pour deux jours représentatifs des saisons d'hiver et d'été.

Tab.36 : Données de la température moyenne maximale et minimale de l'air au 03/01/2019 et au 30/07/2019. Source : l'auteur, 2020

| Scénarios | 03/01/2019 | | | | 30/07/2019 | | | |
|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| | Température d'air Min (°C) | Température d'air Moy (°C) | Température d'air Max (°C) | SD (°C) | Température d'air Min (°C) | Température d'air Moy (°C) | Température d'air Max (°C) | SD (°C) |
| Case de base | 4.5 | 11.1 | 17.7 | 3.9 | 23.4 | 28.3 | 33.2 | 3.3 |
| ST1 | 18.0 | 18.8 | 21.3 | 1.2 | 22.3 | 24.1 | 25.5 | 1.1 |
| ST2SC1 | 18.2 | 18.4 | 20.0 | 0.5 | 25.2 | 26.7 | 27.0 | 0.6 |
| ST2SC2 | 18.2 | 18.9 | 21.2 | 1.1 | 25.4 | 26.5 | 27.0 | 0.6 |
| ST3SC1 | 18.2 | 19.3 | 20.9 | 0.7 | 24.8 | 26.2 | 27.0 | 0.8 |
| ST3SC2 | 17.2 | 17.6 | 18.9 | 0.6 | 24.9 | 26.3 | 27.0 | 0.8 |
| ST4SC1 | 16.0 | 16.5 | 18.3 | 0.8 | 21.4 | 22.5 | 23.6 | 0.8 |
| ST5SC1 | 17.0 | 18.4 | 21.2 | 1.5 | 23.2 | 24.6 | 25.8 | 0.9 |
| ST6SC1 | 18.2 | 19.0 | 21.2 | 1.1 | 23.2 | 24.6 | 25.8 | 0.9 |
| ST6SC2 | 18.1 | 18.9 | 21.2 | 1.2 | 25.1 | 26.3 | 27.0 | 0.7 |
| ST6SC3 | 18.0 | 18.8 | 20.7 | 1.0 | 25.3 | 26.5 | 27.0 | 0.6 |
| MT | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 0.2 | 21.0 | 21.6 | 22.1 | 0.4 |

VI.3.2. Confort thermique

Pendant une période d'un an, les valeurs de l'indice PMV pour les différents scénarios ont été obtenues. La figure 133 montre, pour chaque scénario étudié, le nombre d'heures pendant lesquelles le PMV se situe à l'intérieur de l'intervalle -0,5 et +0,5. Cette fourchette correspond à un indice PPD inférieur ou égal à 10 %, c'est-à-dire le pourcentage d'heures occupées où 90 % des personnes sont satisfaites de leur perception de l'environnement thermique.

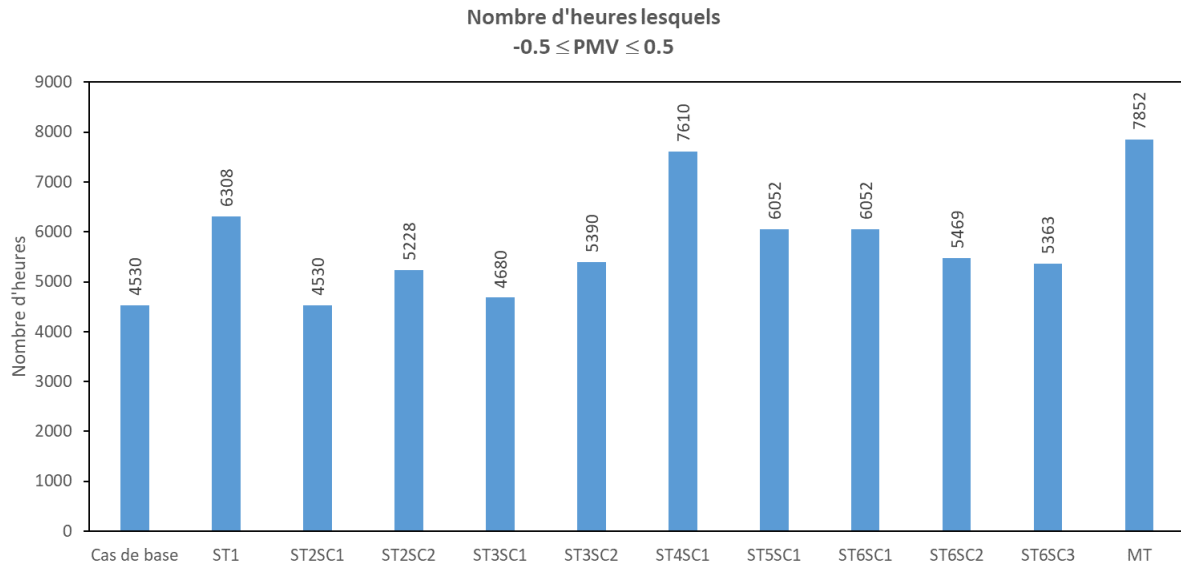


Fig.133. Nombre d'heures dans la zone de confort selon les indices PMV (Cas de base et MT représentent les cas de maisons modernes et traditionnelles dans la situation actuelle, STxSCy représente les scénarios d'amélioration étudiés des maisons modernes).Source : l'auteur,2020

Selon le PMV dans les différentes stratégies simulées, le nombre d'heures dans la zone de confort thermique (PMV entre -0,5 et +0,5) était plus élevé dans le scénario ST4SC1 (7610 h) suivi des scénarios ST1, ST5SC1 et ST6SC. Au contraire, le nombre d'heures était inférieur dans le scénario ST2SC1, suivi par les scénarios ST3SC1, ST3SC2 et ST6SC3.

Dans la figure 133, les résultats des simulations du confort thermique dans différentes stratégies montrent que ST2SC1 ne donne pas une amélioration de PMV la valeur est la même que le scénario de base. De plus, en général, le seul scénario qui permet une amélioration par rapport à la stratégie ST1 est le ST4SC1, toutes les autres solutions représentent une amélioration par rapport au scénario de base, mais elles fournissent un nombre d'heures inférieur au ST1.

VI.3.3. Consommation d'énergie

La figure 134 présente la demande mensuelle d'énergie de chauffage et de refroidissement du scénario de référence. Ce chiffre montre que les mois où il n'y a que la demande d'énergie de chauffage est janvier, février, mars, avril, octobre, novembre et décembre ; les mois où il n'y a que la demande d'énergie de refroidissement sont juillet et août ; tandis qu'en mai, juin et septembre il y a des demandes d'énergie de chauffage et de refroidissement.

La figure 135 présente la demande énergétique globale annuelle du scénario de référence et tous les scénarios simulés. À partir de cette figure, on peut observer qu'en été, le meilleur

scénario est le scénario ST4SC1, tandis que le pire est le scénario de base ; en hiver, les meilleurs scénarios sont ST1, ST6SC3 et ST3SC1, tandis que le pire scénario est le scénario ST4SC1.

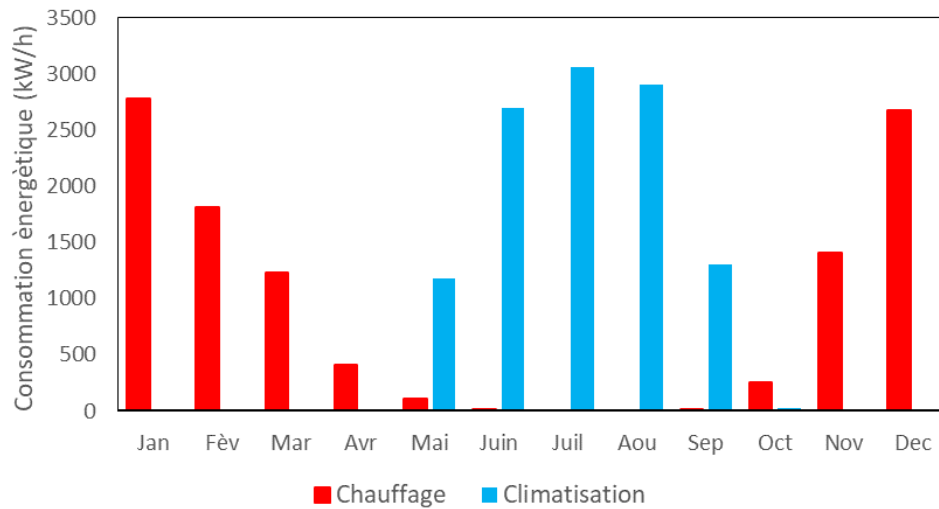


Fig.134. Demande annuelle d'énergie de chauffage et de refroidissement du scénario de référence. Source : l'auteur, 2020

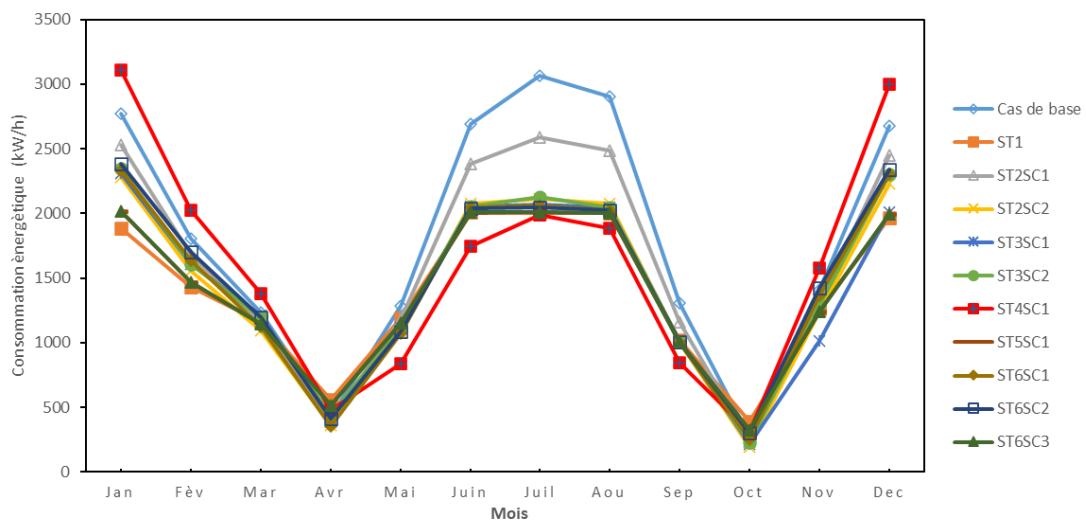


Fig.135. Comparaison de la consommation énergétique globale de toutes les stratégies étudiées avec le cas de base. Source : l'auteur, 2020

Selon le tableau 37, les résultats de la simulation ont démontré des améliorations importantes du rendement énergétique des bâtiments. Pour la base, le cas a obtenu une consommation annuelle d'énergie égale à 21.849,66 kWh/an, tandis que la réduction de la transmission thermique des murs et des toits (ST1) permet d'obtenir une consommation de 16.883,43 kWh/an. Parmi les différents scénarios, seulement pour l'énergie globale-les

objectifs d'économie ST1, ST5SC1 et ST6SC1 représentent les meilleurs scénarios avec des réductions globales de la consommation d'énergie d'environ 22,7 %.

Compte tenu uniquement de la consommation d'énergie pour le refroidissement, le meilleur scénario est le ST5ST1 (7015,07 kWh/an), tandis que le pire est le ST2SC1 (8828,78 kWh/an); les réductions de consommation d'énergie obtenues par rapport au scénario de référence varient de 21 % à 37,2 %.

Considérant seulement la consommation d'énergie pour le chauffage, le meilleur scénario est le ST1 (9845,72 kWh/an), tandis que le pire est le SC4SC1 (12022,97 kWh/an). Il est important de souligner que tous les scénarios simulés ne représentent pas une solution d'amélioration du scénario de base dans la saison de chauffage ; en fait les scénarios ST2SC1, ST4SC1 et ST6SC2 impliquent une légère augmentation de la consommation d'énergie. Cependant, il est important de noter que la réduction d'énergie ne doit pas être évaluée seule, mais en combinant les résultats du confort thermique afin de comprendre quelle solution garantit à la fois une réduction d'énergie et une amélioration du confort thermique.

Tab.37. Comparaison du scénario de référence et d'autres scénarios de consommation d'énergie. Source : l'auteur, 2020

| Scénarios | Consommation d'énergie | | | Réduction (%) |
|-------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------------|
| | Chauffage (kWh/yr) | Climatisation (kWh/yr) | Totale (kWh/yr) | |
| Cas de base | 10,673.32 | 11,176.34 | 21,849.66 | 0.00 |
| ST1 | 9845.72 | 7037.570 | 16,883.43 | 22.7% |
| ST2SC1 | 10,748.31 | 8828.78 | 19,577.09 | 10.4% |
| ST2SC2 | 10,041.75 | 7262.78 | 17,304.53 | 20.8% |
| ST3SC1 | 9899.22 | 7189.99 | 17,089.21 | 21.8% |
| ST3SC2 | 10,539.55 | 7227.80 | 17,767.35 | 18.7% |
| ST4SC1 | 12,022.97 | 7161.88 | 19,184.85 | 12.2% |
| ST5SC1 | 9883.74 | 7015.07 | 16,898.80 | 22.7% |
| ST6SC1 | 10,456.82 | 7138.26 | 17,595.08 | 19.5% |
| ST6SC2 | 10,854.58 | 7109.32 | 17,963.90 | 17.8% |
| ST6SC3 | 9873.93 | 7024.88 | 16,902.81 | 22.6% |

IV.4. Discussion

Selon les résultats obtenus, la première considération est que les différents scénarios testés (puis les différentes stratégies passives) peuvent améliorer le confort thermique intérieur et réduire la consommation d'énergie.

Les résultats de la simulation (figures 131, 132, 133, 134 et 135) indiquent que le scénario de référence présente un rendement énergétique médiocre (forte consommation d'énergie), même si la température de l'air intérieur fluctue beaucoup et que la condition de confort thermique n'est atteinte qu'environ la moitié des heures de l'année.

En ce qui concerne la température de l'air intérieur, le scénario ST1 (réduction de la transmission thermique des murs et du toit) est le plus efficace ; comme le montre la figure 131, ce scénario permet la plus grande variation par rapport au scénario de base. Cet effet est plus évident en hiver, tandis que les autres scénarios (obtenus en combinant ST1 avec d'autres stratégies passives) permettent des variations plus importantes en été.

En ce qui concerne le confort thermique dans l'environnement simulé et considérant un total de 8760 heures, le scénario le plus efficace est le ST4SC1 qui permet d'obtenir une condition confortable pour les 87% des heures, avec une amélioration de 35% par rapport au scénario de base. Alors que la seule amélioration de la transmission thermique des murs et du toit (ST1) pour obtenir un état confortable pour le 72% des heures, avec une amélioration de 20% par rapport au scénario de base. Plus généralement, tout le scénario simulé permet une amélioration des heures de confort thermique, la seule exception est le scénario ST2SC1 dans lequel l'effet positif de l'amélioration de la transmission est atténué par les effets négatifs (en termes de confort thermique) en raison du changement de type de verre.

L'utilisation d'un système d'ombrage solaire combiné à l'amélioration de la transmission thermique des murs et du toit (ST4SC1) a permis d'obtenir la température intérieure moyenne la plus basse pendant la saison estivale (21,4 °C) avec des avantages conséquents sur le confort thermique et la réduction de la consommation pour le refroidissement. En fait, l'utilisation de systèmes d'ombrage solaire consiste à protéger le rayonnement solaire, ce qui a un effet positif en été (en évitant les phénomènes de surchauffe), mais il a en même temps un effet négatif en hiver en empêchant de profiter des gains de chaleur solaire gratuits. Par conséquent, ce scénario (ST4SC1) implique la température hivernale la plus basse (16 °C) et donc une consommation d'énergie plus élevée pour le chauffage.

L'utilisation de double vitrage dans les fenêtres (ST2SC1) ne permet pas d'obtenir une augmentation de la température de l'air intérieur en hiver par rapport à ST1, mais cela signifie que les valeurs du type d'écart de température de l'air en été et en hiver sont plus faibles, ce qui entraîne des fluctuations de température dans les deux saisons. L'ampleur est plus petite. De plus, ce cas (ST2SC1) n'a pas réussi à améliorer le temps de confort thermique.

Parmi les différents scénarios, l'augmentation de la masse des parois obtenue en doublant leur épaisseur (ST5SC1) fournit la plus faible consommation de refroidissement, l'une des plus faibles consommations d'énergie globale, et la troisième quantité d'heures de confort thermique.

Par rapport à l'augmentation de la transmission thermique des murs et des toits seuls, l'augmentation de la taille des fenêtres (ST3C2) ne peut pas être considérée comme une stratégie favorable car elle implique une aggravation dans tous les aspects analysés : températures moyennes de l'air en hiver et en été, nombre d'heures de confort thermique et consommation d'énergie en hiver et en été.

VI.5. Comparaison entre maison moderne et maison traditionnelle

Dans cette section, la performance des différents scénarios simulés sur une maison moderne est comparée à la performance d'une maison traditionnelle typique (MT), qui pourrait représenter un bâtiment de référence de l'architecture vernaculaire typique dans le sud de l'Afrique du Nord.

Dans la recherche précédente ([Abdou et al., 2004](#)), ([Benslimane et al., 2020](#)). Il a été constaté que la maison traditionnelle (MT) est toujours celle qui garantit les meilleures conditions de confort intérieur, tandis que la maison moderne typique s'avère ne pas convenir à un climat désertique.

La conception architecturale traditionnelle avait pour premier objectif de fournir des solutions pour le confort humain et d'exploiter les énergies naturelles de manière simple et optimale. Il est donc important de rénover l'architecture moderne afin d'atteindre le même niveau d'efficacité en obtenant l'amélioration des conditions de confort thermique avec une consommation d'énergie plus faible.

La maison traditionnelle (MT) choisie pour l'étude est située dans le quartier de Bani Ibrahim, au nord-ouest de Ksar Ouargla comme indiqué dans la figure 119, sur une superficie de 131,36 m². Il est au rez-de-chaussée, qui contient un hall, un salon, une cuisine, une salle

de bains et une terrasse accessible, et une petite fenêtre dans la façade. La MT se caractérise par une organisation architecturale introvertie autour d'un noyau central, permettant un système d'éclairage naturel horizontal. Concernant le Tableau 33, la MT est construit avec des matériaux et techniques traditionnels (pierre de Temchemt et palmiers), a des murs épais, dispose d'un système de chauffage au gaz et pas de système de refroidissement et est habité par 5 personnes.

En ce qui concerne la température interne de l'air, la maison traditionnelle (MT) est très stable en hiver et en été (figures 131,132 et tableau36) ; en détail, pendant la saison hivernale, la température de l'air est constante à 18 °C, alors qu'elle varie entre 21 °C et 22,1 °C pendant la saison estivale. L'épaisseur des murs est également une variable influente.

Les propriétés de la maison traditionnelle permettent d'obtenir des conditions thermiques confortables en un très grand nombre d'heures. En fait, dans un nombre total de 8760 heures simulées, le PMV se situe dans la plage de confort thermique $-0,5$ $+0,5$, ce qui correspond à une PPD de 10 % en 7852 heures (environ 90 % du nombre total d'heures). Ce résultat peut être considéré comme le meilleur par rapport à tous les autres scénarios simulés, comme le montre la figure 133.

Puisque la maison traditionnelle et la maison moderne étudiées dans cette recherche ont des surfaces internes et des volumes différents, afin de permettre la comparaison de la performance énergétique des deux études de cas, les consommations d'énergie ont été normalisées sur le volume d'intérêt des deux maisons (figure 136). Les consommations d'énergie normalisées sur le volume (exprimées en kWh/m^3) ont été calculées pour chaque mois et elles permettent de comparer tous les scénarios d'amélioration simulés avec la maison traditionnelle. Afin de comparer la consommation d'énergie de tous les scénarios simulés avec la maison traditionnelle. Plus en détail à partir de la figure 136, on peut observer qu'au cours des mois de juin, juillet et août, la courbe de la maison traditionnelle (MT) est descendue à 0 kWh/m^3 , ce qui est dû au fait que la maison traditionnelle (MT) n'est pas équipée de systèmes de refroidissement. Considérant plutôt la période d'utilisation des systèmes de chauffage, la maison traditionnelle a montré la plus forte consommation d'énergie par volume dans les mois de février, mars, avril, octobre et novembre.

En d'autres termes, les performances élevées de confort thermique du MT (voir tableau 35 et figure 133) sont obtenues de manière complètement passive (sans systèmes de refroidissement) en été, alors qu'en hiver, ils sont obtenus au moyen de systèmes de chauffage

avec une consommation normalisée plus élevée par rapport aux scénarios testés dans la maison moderne.

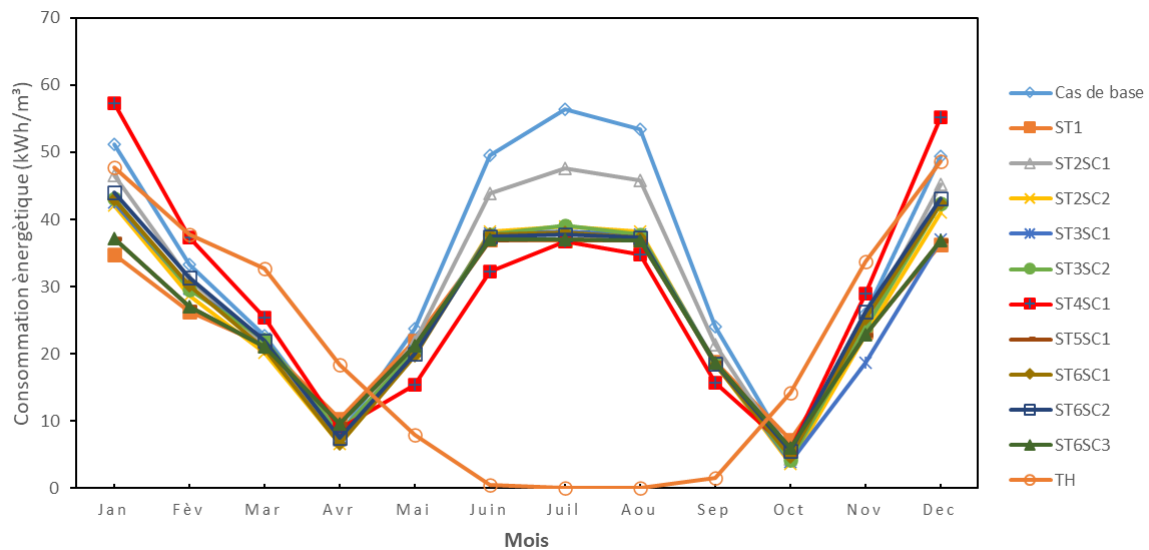


Fig.136. Comparaison de la consommation globale d'énergie de tous les scénarios étudiés avec la maison traditionnelle. Source : l'auteur,2020

Conclusion

Cette étude visait à étudier le potentiel d'amélioration du confort thermique intérieur et de réduction de la consommation dans la typologie de logement la plus courante dans la ville d'Ouargla, en Algérie. Une approche d'étude mixte a été utilisée, qui a permis de vérifier les réalités climatiques, physiques et comportementales du logement à Ouargla. Une approche de simulation avancée a été utilisée pour tester et valider les recommandations de conception pour les futurs concepteurs.

La maison moderne a montré très mauvais état avec des températures d'air intérieur inconfortables en été et en hiver. Pour ces raisons, parmi les scénarios étudiés, l'amélioration de l'isolation thermique des toits et des murs, et donc la réduction de leur transmission thermique, représente l'intervention d'amélioration la plus efficace. Il a permis d'obtenir une augmentation significative des heures de confort thermique, en plus d'une réduction de la consommation d'énergie d'environ 23%.

En ce qui concerne le confort thermique, la combinaison de murs isolés et de toits avec l'utilisation de l'ombrage solaire représente le meilleur scénario, avec environ 87 % des heures simulées dans la plage de confort thermique ($-0,5 \leq \text{PMV} \leq 0,5$).

Afin d'avoir une comparaison avec un bâtiment de référence, une maison traditionnelle dans le sud de l'Afrique du Nord a été étudiée simultanément. Cette maison traditionnelle est caractéristique de la conception architecturale bioclimatique, et elle a montré des conditions de confort intérieur optimales, qui ne permettent pas de systèmes de refroidissement pendant la saison estivale.

Les résultats obtenus peuvent être utiles pour un grand nombre de maisons généralement présentes en Afrique du Nord, et ils peuvent guider non seulement l'intervention de rénovation dans les bâtiments existants, mais aussi aider les architectes et les ingénieurs pendant la phase de conception des nouveaux bâtiments. Compte tenu de la zone géographique d'intérêt particulière, bien que les interventions simulées soient largement étudiées dans la littérature, il est très important de connaître leur impact sur la perception de l'environnement intérieur et sur la consommation d'énergie.

Conclusion générale

Ce travail présente les grands éléments de notre recherche et stipule les recommandations proposées, ainsi que les limites et les défis de recherche rencontrés, comme il sous-entend les perspectives de recherche. De nos jours, les changements climatiques ont accru l'importance du confort thermique, de la consommation d'énergie et de l'efficacité énergétique des bâtiments, comme apport au développement durable. La situation accroît le besoin de confort thermique intérieur pour répondre aux modes de vie et de travail. La norme et les politiques existantes en Algérie ne répondent pas aux besoins du confort thermique des bâtiments résidentiels. Ainsi, il existe un fort besoin de solutions pour améliorer le confort thermique intérieur et minimiser la consommation énergétique des maisons.

Cette étude vise à comprendre l'importance du confort thermique des occupants et à évaluer le potentiel d'amélioration du confort et la minimisation des consommations énergétiques, à l'aide des stratégies de conception passive, basées sur des études climatiques et contextuelles. Les résultats fournissent une aide à la décision éclairée pour la conception de bâtiments résidentiels thermiquement confortables, dans des climats secs et arides. La ville de Ouargla a été choisie comme étude de cas, elle représente deux enjeux importants liés à son climat et à sa situation géographique ; climat désertique, de plus, l'absence de cadre réglementaire, l'augmentation de la population urbaine, l'étalement urbain et la lenteur du développement compliquent encore la situation. Bien qu'elle soit la capitale de la plus grande province de l'Algérie (en termes de potentialité solaire et énergétique), la ville reste la moins développée parmi les autres grandes villes. De nombreuses villes des pays en développement sont confrontés à des défis similaires. Néanmoins, les architectes, les professionnels du bâtiment et les chercheurs jouent un rôle dans la production de connaissances locales et la conception de bâtiments adaptés au climat.

Comme contribution, dans le domaine de la recherche, aussi minime soit-elle, résume les apports originaux apportés par nos soins, dans le développement des différentes étapes de cette thèse de doctorat :

1.1 Caractéristiques des logements individuels à Ouargla

La caractérisation de l'habitation à Ouargla a été faite pour identifier les caractéristiques des logements existants à travers l'évolution historique et typologique. L'étude comprenait également un résumé des conditions climatiques, de la situation énergétique, des données sur la croissance démographique et de logement à Ouargla, Algérie. Cela nous a conduit à

produire un état des lieux des logements. Les techniques de collecte de données peuvent également être utiles aux futurs chercheurs pour collecter ces données.

Les résultats fournissent des informations précieuses pour comprendre les détails du logement, les techniques de construction, les matériaux et les pratiques utilisés à Ouargla. Les résultats de l'inventaire sont basés sur une enquête des maisons dans les zones résidentielles et un examen de plusieurs documents, littérature et données recueillies auprès de différentes institutions et agences.

1.2 Evaluation du confort thermique intérieur

À ce stade, l'évaluation du confort thermique intérieur de la typologie d'habitation la plus courante, nous avons retenu comme études de cas deux typologies de résidences individuelles à Ouargla afin de les évaluer sur le plan bioclimatique et comprendre leur rapport au climat afin de cerner les principaux enjeux de confort thermique dans les bâtiments résidentiels.

Le volet pratique de cette activité consiste en une enquête de terrain à l'aide de deux instruments de recherche, soit les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'enquête par questionnaire, qui s'appuie sur la perception que les gens ont d'une situation et leurs réponses à celle-ci.

Concernant le premier instrument d'étude, nous avons mesuré les températures, l'humidité relative et les températures ambiantes à l'intérieur et à l'extérieur des résidences sélectionnées pendant une journée entière et pendant les saisons d'hiver et d'été.

Les résultats montrent que les maisons modernes existantes n'offrent pas un confort thermique adéquat aux résidents. Les systèmes de chauffage et de refroidissement actifs sont principalement utilisés pour améliorer le confort. La situation énergétique est insatisfaisante en raison des coupures de courant principalement en été. En revanche les maisons traditionnelles restent les plus efficaces au problème de chaleur, en raison de son agencement se caractérise par une grande compacité, où les pièces s'ouvrent sur une cour centrale. L'autre caractéristique importante de l'habitation traditionnelle est l'enveloppe du bâtiment. L'utilisation d'une façade presque aveugle, à l'exception de quelques petites ouvertures, réduit les gains de chaleur et assure l'intimité. L'utilisation de matériaux d'origine locale est une autre caractéristique de l'enveloppe. Dans le cas du "ksar" de Ouargla, les matériaux utilisés sont le bois (issu des palmiers), les fibres naturelles et la paille, associés à de la terre pour la

construction des toitures. Le Temchemt et la pierre sont utilisés pour les murs, les sols et les fondations. Ces matériaux fournissent une masse thermique, indispensable à la stratégie de refroidissement passif.

1.3 Elaboration du référence et choix du modèle de confort

Sur la base des enquêtes, de la collecte de données, des mesures réalisées sur les maisons représentatives sélectionnée pour l'étude de référence. Un modèle virtuel a été créé dans logiciel Trnsys 17 et les données mesurées ont été utilisées pour la validation. Une analyse paramétrique a été réalisée à l'aide de diverses solutions de conception passive pour l'amélioration du confort thermique intérieur et de réduction de la consommation énergétique.

Une analyse comparative de six stratégies passives modèles, a été réalisée dans cette étude pour évaluer le modèle de confort le mieux adapté au contexte. Il a été conclu que la maison moderne a montré très mauvais état avec des températures d'air intérieur inconfortables en été et en hiver. Pour ces raisons, parmi les scénarios étudiés, l'amélioration par l'isolation thermique des toits et des murs, et donc la réduction de leur transmission thermique, représente l'intervention d'amélioration la plus efficace. Il a permis d'obtenir une augmentation significative des heures de confort thermique, en plus d'une réduction de la consommation d'énergie d'environ 23%.

En ce qui concerne le confort thermique, la combinaison de murs isolés et de toits avec l'utilisation de l'ombrage solaire représente le meilleur scénario, avec environ 87 % des heures simulées dans la plage de confort thermique (-0,5 PMV 0,5).

Plus généralement, tout le scénario simulé permet une amélioration des heures de confort thermique, la seule exception est le scénario type de vitrage triple dans lequel l'effet positif de l'amélioration de la transmission est atténué par les effets négatifs (en termes de confort thermique) en raison du changement de type de verre.

L'utilisation de double vitrage dans les fenêtres, elle implique des valeurs plus faibles de la température de l'air en été et en hiver. De plus, un tel scénario ne permet pas d'améliorer les heures de confort thermique.

Parmi les différents scénarios, l'augmentation de la masse surfacique des parois obtenue en doublant leur épaisseur fournit la plus faible consommation de refroidissement, l'une des plus faibles consommations d'énergie globale, et la troisième quantité d'heures de confort thermique.

Enfin seuls, l'augmentation de la taille des fenêtres ne peut pas être considérée comme une stratégie favorable car elle implique une aggravation dans tous les aspects analysés : températures moyennes de l'air en hiver et en été, nombre d'heures de confort thermique et consommation d'énergie en hiver et en été.

Recommandations

La maison moderne a montré un mauvais état avec des températures d'air intérieur inconfortables en été et en hiver. Pour ces raisons, parmi les scénarios étudiés, l'amélioration de l'isolation thermique des toits et des murs, et donc la réduction de leur transmission thermique, représente l'intervention d'amélioration la plus efficace. Cela nous a permis d'obtenir une augmentation significative des heures de confort thermique, en plus d'une réduction de la consommation d'énergie d'environ 23%.

En ce qui concerne le confort thermique, la combinaison de murs isolés et de toits avec l'utilisation de l'ombrage solaire représente le meilleur scénario, pour le climat sec et aride de la ville d'Ouargla.

Afin d'avoir une comparaison avec un bâtiment de référence, une maison traditionnelle dans le sud de l'Afrique du Nord a été étudiée simultanément. Cette maison traditionnelle est caractéristique de la conception architecturale bioclimatique, et elle a montré des conditions de confort intérieur optimales, qui ne permettent pas de systèmes de refroidissement pendant la saison estivale.

Les résultats obtenus peuvent être utiles pour un grand nombre de maisons généralement présentes en Afrique du Nord, et ils peuvent guider non seulement l'intervention de rénovation dans les bâtiments existants, mais aussi aider les architectes et les ingénieurs pendant la phase de conception des nouveaux bâtiments. Compte tenu de la zone géographique d'intérêt particulier, bien que les interventions simulées soient largement étudiées dans la littérature, il est très important de connaître leur impact sur la perception de l'environnement intérieur et sur la consommation d'énergie.

Nos résultats permettront certainement aux futurs chercheurs d'aller plus loin et d'étudier des solutions et des techniques plus appropriées pour atteindre un confort maximal tout au long de l'année, en utilisant des stratégies de conception passives. Lors de la construction à Ouargla, il est recommandé aux concepteurs d'adopter une approche de

conception passive qui utilise l'architecture vernaculaire du bâtiment afin de maximiser le confort des occupants et minimiser la consommation d'énergie.

Le domaine du confort thermique, ses outils et bases de données associés, évoluent en permanence. Avec le développement de la technologie et de la puissance de calcul, il devient plus pratique d'effectuer des études de simulation qui reflètent la réalité. De nouvelles méthodes, outils et bases de données sont en cours de développement et devraient être disponibles dans un proche avenir.

Le réchauffement climatique, le changement climatique et l'augmentation de l'utilisation et de la demande d'énergie sensibilisent à la nécessité d'adopter des moyens passifs et durables pour améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments. Le coût des combustibles fossiles n'est plus une option abordable pour de nombreux pays et crée une pauvreté énergétique. Le mix de production d'électricité au Algérie et dans plusieurs autres pays n'est pas durable et a un impact négatif sur l'environnement. Dans cette situation, en utilisant des techniques de conception passives et des mesures d'adoption, le confort thermique intérieur peut être amélioré sans créer d'effets néfastes sur l'environnement.

Les connaissances concernant le confort thermique et les mesures de conception passive au Algérie sont limitées. Cette étude de doctorat couvre un problème de recherche important sur l'inconfort dans les climats secs et arides en fournissant une aide à la décision éclairée aux architectes pour améliorer le confort thermique intérieur à l'aide de solutions de conception passives. Il est nécessaire de développer davantage le guide prescriptif développé dans cette recherche doctorale. Par exemple, le guide normatif devrait être élargi pour inclure le coût financier, la performance énergétique et l'analyse du cycle de vie.

De cette manière, une évaluation intégrée de l'impact environnemental, du coût financier, de la performance énergétique et du cycle de vie sera possible, ce qui est nécessaire pour prendre des décisions éclairées et équilibrées pendant le processus de conception. Les recommandations de cette étude sont divisées en ces parties.

Formation et apprentissage par compétences pour les architectes

Les programmes d'enseignement de l'architecture existants au Algérie manquent de formation de base comme les stages de conception et le travail sur le terrain. La majorité des diplômés acquièrent les compétences et les connaissances pratiques nécessaires après l'obtention de leur diplôme. Il est essentiel de se concentrer sur la formation et l'apprentissage

des architectes et des professionnels du bâtiment. Les programmes éducatifs devraient être restructurés pour fournir les dernières connaissances et compétences pratiques en incluant des études sur le terrain et des stages. Les organismes et régulateurs concernés devraient organiser un apprentissage et une formation basés sur les compétences pour les architectes en exercice.

Soutien à l'industrie et aux fabricants locaux

La plupart des matériaux utilisés au Algérie pour adopter des mesures passives sont importés d'autres pays. Cela crée un fardeau pour l'économie et affecte l'accessibilité des matériaux en augmentant leurs prix. La fabrication de tels matériaux au Algérie peut offrir des avantages économiques en réduisant les factures d'importation et facilitera les industries locales en offrant la possibilité d'entrer sur un tel marché. Les régulateurs doivent encourager les initiatives locales et les aider à fabriquer des matériaux de construction de haute qualité et économes en énergie.

Essais de matériaux, certification et répertoire des matériaux

Des laboratoires d'essais de matériaux de construction et des instituts de recherche devraient être établis dans toutes les grandes villes du pays. Un système d'enregistrement, de validation et de certification des matériaux doit être introduit au niveau national. Un système de classement et d'étiquetage des matériaux doit être adapté en fonction de leurs caractéristiques, de leurs performances thermiques et de leur efficacité énergétique.

Cela a conduit au développement de matériaux durables et d'un écosystème pour soutenir et promouvoir la durabilité dans la construction de bâtiments et l'environnement bâti. À l'avenir, un répertoire des matériaux de construction disponibles pourra être introduit au niveau national pour aider les architectes et les propriétaires de bâtiments à faire une meilleure sélection des matériaux de construction.

Bourses de recherche et financement

La recherche scientifique liée à l'environnement bâti et à l'industrie de la construction nécessite une attention particulière. Des bourses de recherche et des financements dans ces domaines aideraient les chercheurs à proposer de nouvelles recherches contextuelles liées au confort thermique, à l'efficacité énergétique et au développement durable. À l'heure actuelle, il y a un manque de chercheurs qualifiés dans le domaine de l'architecture. La plupart des écoles d'architecture n'ont pas de professeurs possédant des qualifications supérieures. Un

système orienté vers la recherche devrait être mis en place pour réinventer le secteur de la construction du pays.

Urbanisation

L'Algérie est l'un des pays confrontés à une croissance rapide de la population urbaine. Selon les estimations, la population urbaine du pays augmentera de 85 % entre 2018 et 2050. Cette situation créera un nouveau défi pour les architectes et les professionnels du bâtiment. Les activités économiques sont nombreuses à se déplacer vers les zones urbaines. Il est urgent de se concentrer sur les défis urbains à venir pour répondre aux demandes de la population future, y compris le logement et les équipements connexes.

La croissance de la population urbaine entraînera de nouvelles constructions de maisons et de bâtiments. Ces nouveaux développements doivent être soigneusement planifiés, conçus et construits pour atteindre le confort thermique intérieur, l'efficacité énergétique et le développement durable.

Élaboration d'un guide de conception, de règlements municipaux et d'un code du bâtiment

Les conclusions de cette étude peuvent être utilisées pour créer un guide de conception pour la ville de Ouargla et aider à réformer les futurs règlements et codes de construction au Algérie. Bien que cette recherche doctorale se concentre sur la ville de Ouargla, les résultats (guide normatif) peuvent également aider à concevoir des bâtiments résidentiels dans des climats aride et sec et avec certaines interventions dans d'autres régions d'Algérie. Par exemple, les stratégies de ventilation naturelle et d'ombrage peut être utile dans plusieurs régions du pays lors de conditions estivales extrêmes. En comparaison, le chauffage solaire passif et l'isolation thermique peuvent être appliqués dans un climat froid.

Performance thermique des maisons vernaculaires

Les maisons vernaculaires à Ouargla diminuent lentement, ces maisons sont principalement construites et utilisées pour la vie. Les recherches futures pourraient se concentrer sur l'étude de la performance thermique des maisons locales et vernaculaires. On observe que l'architecture vernaculaire est principalement sensible au climat et basée sur le contexte. La demande de confort et le niveau de satisfaction des résidents de ces maisons peuvent être inférieurs à ceux des habitants des maisons modernes. Il y a de fortes chances

qu'avec des interventions minimales, le confort thermique des occupants dans de telles maisons puisse être amélioré.

Stratégies de conception passive et solutions adaptées au climat pour les bâtiments non résidentiels

Les bâtiments autres que les habitations ou les bâtiments dont moins de la moitié de la surface brute de plancher est utilisée à des fins d'habitation sont considérés comme des bâtiments non résidentiels. En réalité, les bâtiments non résidentiels représentent une part importante du parc immobilier. Ces bâtiments ont souvent des schémas d'occupation différents et diverses fonctions ; cependant, ces bâtiments peuvent nécessiter une conception et des stratégies particulières qui sont très différentes des bâtiments résidentiels.

De nombreux bâtiments non résidentiels sont des bâtiments publics, des écoles, des bureaux et des bâtiments industriels, et les principales préoccupations des architectes sont la performance des occupants, le confort et la consommation d'énergie. Des solutions de conception passive et intelligente face au climat peuvent également être appliquées aux bâtiments non résidentiels pour améliorer le confort thermique des occupants (améliorer les performances de travail) et réduire les besoins énergétiques pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage.

Confort thermique et optimisation de la qualité de l'environnement intérieur

Le confort thermique intérieur peut être amélioré en tenant compte des facteurs climatiques, de la conception des bâtiments, des matériaux et techniques de construction alternatifs, des mesures de conception passive, etc. Cependant, pour obtenir un confort thermique optimal, il est nécessaire de combiner des systèmes passifs et actifs. La priorité devrait rester de maintenir l'utilisation minimale des systèmes actifs car le mix énergétique du Algérie dépend principalement des combustibles fossiles.

L'énergie produite à partir de combustibles fossiles est surévaluée, ce qui crée une précarité énergétique et des effets néfastes sur l'environnement. Les systèmes actifs doivent être énergivores pour réduire les coûts de chauffage et de refroidissement. Des études futures pourraient envisager de concevoir un critère de conception pour atteindre un confort thermique optimal en utilisant des systèmes passifs et actifs.

Les limites de la recherche

Cette étude est touchée par certaines limites dont il faut tenir compte dans l'évaluation des résultats. La première est que l'analyse des paramètres environnementaux et de la performance énergétique du scénario de référence et des scénarios d'amélioration ne concernaient qu'une seule pièce (salon) et non l'ensemble du bâtiment. En outre, la perspective d'appliquer l'optimisation doit encore être améliorée en combinant plusieurs stratégies simultanément ou en simulant des stratégies passives supplémentaires.

Malgré les limites, cette approche a montré le potentiel de répondre aux changements avec des alternatives de conception et d'inclure des solutions de conception qui peuvent être appliquées dans les bâtiments existants et qui peuvent conduire à une amélioration des conditions environnementales intérieures avec une amélioration simultanée de performance thermique et énergétique.

Les perspectives de la recherche

Des études futures pourraient examiner un large éventail de critères d'optimisation en combinant différentes stratégies d'amélioration et en mettant en œuvre l'utilisation d'énergies renouvelables ainsi que d'autres stratégies telles que les cheminées solaires.

Il serait intéressant d'analyser les variables l'optimisation énergétique des bâtiments par Exemple l'analyse sensitive.

De plus, il est avantageux de s'intéresser à une évaluation technico-économique, en calculant le temps de retour sur investissement qui est déterminé en calculant le pourcentage de réduction du coût initial de l'énergie annuelle de refroidissement et de chauffage, si l'on applique certaines stratégies passives. Les résultats de la présente étude représentent un point de départ pour l'étude et l'optimisation des maisons modernes qui sont très courantes sur le territoire algérien.

Bibliographies

A. Oikonomou, F. Bougiatioti, Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece, *Build. Environ.* 46 (3) (2011) 669-689
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.012>

A.K. Upadhyay, H. Yoshida, H.B. Rijal, Climate responsive building design in the Kathmandu Valley, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 5 (1) (2006) 169-176.

A.S. Dili, M.A. Naseer, T. Zacharia Varghese. Passive control methods of Kerala traditional architecture for a comfortable indoor environment: Comparative investigation during various periods of rainy season. *Building and Environment* 45 (10) (2010) 2218-2230
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.002>

Abd El-Monteleb, A., Ahmed, M. A. (2012). Using simulation for studying the influence of vertical shading devices on the thermal performance of residential buildings (Case study: New Assiut City). *Ain Shams Engineering Journal*, 3(2), pp.163-174.

Abd Rahman, N. A., Kamaruzzaman, S. N., & Akashah, F. W. (2022). A Review of Optimization Techniques Application for Building Performance Analysis. *Civil Engineering Journal*, 8(4), 823-842.

Abdelkader, S. Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement ; Page: 156 (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat en Géographie).

Abderrahmane, H. Integration of solar thermal and photovoltaic energy in residential housing in Algeria. *Bull. Énergies Renouvelables* 2016, 40, 6-7. (In French)

Abdou, S., & Boumaza, M. Investigation sur l'intégration climatique dans la maison traditionnelle du Ksar de Ouargla. *Sciences 4. & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur* 2004, 121-129.

ADAD, H. 2020. Les mutations typo-morphologiques induites par les habitants sur les établissements humains sahariens : Cas de Ksar d'Ouargla en Algérie *Cinq Continents* 10 (22): 320-333

AFNOR, I. S. O. (2006). 14040 (2006) Management environnemental—Analyse du cycle de vie—Principes et cadres. *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*, in: *IOF Standardization* (Ed.), ISO, 14040, 33-46.

Afren, R., Benabbas, M., Zemmouri, N., & Djaghroui, D. Impact of the typology of school buildings on the internal thermal conditions, in a hot and dry climate. *Energy Procedia*, 2017. 122, 505-510.

Agboola, O. P. Importance of climate to architectural designs in Nigeria. *Journal of Environmental Issues and Agriculture in 3. Developing Countries*, 2011, 3(1), 15-28.

A-H DMS. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Build Environ* 2005;40:353–66.

Aimilios et al,2017

Aimilios Michael, Despina Demosthenous, Maria Philokyprou. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study In vernacular architecture of Cyprus. *Energy and Buildings* 144 (2017) 333-345 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.040>

Alanzi, A. et al. (2009). Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait. *Energy Conversion and Management*

Albatayneh, A. Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone. *Energy Rep.* **2021**, 7, 2081–2093.

Albatayneh, A., Atieh, H., Jaradat, M., Al-Omary, M., Zaquot, M., Juaidi, A., ... & Manzano Agugliaro, F. (2021). The impact of modern artificial lighting on the optimum window-to-wall ratio of residential buildings in Jordan. *Applied Sciences*, 11(13), 5888.

Albatayneh, A.; Alterman, D.; Page, A.; Moghtaderi, B. The significance of building design for the climate. *Environ. Clim. Technol.*

Alberto colin, l’habitat groupé : une expérimentation sociale entre singulier et collectif, thèse, université de lyon,2011.p :7.

Algeria Presse Service. Climate: Algeria Called upon to Develop an Adequate Strategy. Available online: <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/115591-changements-climatiques-l-algerie-appellee-a-developper-une-strategie-adequate>(accessed on 28 February 2023). (In French)

Al-Saadi, S.N.2006. “Envelope design for thermal comfort and reducing energy consumption in residential buildings”. Master’s diss., King Fahd University of Petroleum and Minerals.

Al-Sallal, K. A., & Rahmani, M. (2019). Vernacular architecture in the MENA region: Review of bioclimatic strategies and analysis of case studies. *Sustainable vernacular architecture: How the past can enrich the future*, 23-53.

Amin Mohammadi, Mahmoud Reza Saghafi, Mansoureh Tahbaz, Farshad Nasrollahi, The study of climate-responsive solutions in traditional dwellings of Bushehr City in Southern Iran, *Journal of Building Engineering* 16 (2018) 169-183 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.014>.

Amirifard, F.; Sharif, S.A.; Nasiri, F. Application of passive measures for energy conservation in buildings—A review. *Adv. Build. Energy Res.* **2019**, 13, 282–315.

Andersson B, et al. The impact of building orientation on residential heating and cooling. *Energy and Buildings* 1985;8(3):205e24.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating & Air -Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, États-Unis, 2004

Anter, A.G.; Sultan, A.A.; Hegazi, A.A.; ElBouz, M.A. Thermal performance and energy saving using phase change materials (PCM) integrated in building walls. *J. Energy Storage* **2023**, *67*, 107568.

ASHRAE 55, 2013, p. 16

ASHRAE, 1997

ASHRAE, 2014

Athienitis, A. (2011). Modeling, Design and Control of Solar and Zero-Energy Buildings in Canada BIPV, BIPV

Bahadori MN, Dehghani-sanij AR. Wind towers: architecture. In: Sayigh A, editor. Climate and sustainability. Springer International Publishing; 2014.

Balaras CA. The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy Build* 1996; 24:1–10.

Balvedi, B. F., Ghisi, E., & Lamberts, R. (2018). A review of occupant behaviour in residential buildings. *Energy and Buildings*, 174, 495–505. doi:10.1016/j.enbuild.2018.06.049.

Barbara Widera. Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 140 (2021) 110736 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110736>

Batier, C. (2016). Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales (Doctoral dissertation, Université Montpellier).

Bedford, T. (1936). The Warmth Factor in Comfort at Work. A Physiological Study of Heating and Ventilation. The Warmth Factor in Comfort at Work. A Physiological Study of Heating and Ventilation., (76).

Behsh, B. (2002). Building form as an option for enhancing indoor thermal conditions. Paper presented at the Building Physics - 6th Nordic Symposium.

Bekele, Michael Tesfaye, and Cemil Atakara. 2023. "Residential Building Energy Conservation in Mediterranean Climate Zone by Integrating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies" *Buildings* 13, no. 4: 1073. <https://doi.org/10.3390/buildings13041073>

Belahya, H.; Boubekri, A.; Kriker, A. A comparative study about the energetic impact of dryland residential buildings with the integration of photovoltaic system. *Energy Procedia* **2017**, *139*, 738–743.

Bellia L, De Falco F, Minichiello F. Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Appl Therm Eng* 2013;54:190–201.

Benhamou, M. (2015). Analyse et caractérisation d'un système géothermique de rafraîchissement approprié aux logements bâtis au sud algérien. Thèse de doctorat, Université Tahri Mohamed Béchar.

Benslimane, N., Biara, W. R., & Bougdah, H. Traditional Versus Contemporary Dwellings in a Desert Environment: The Case of 8. Bechar, Algeria. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(4), 2020, 118-130. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.arem.76.4.21595>.

Berardi, U.; Naldi, M.

The impact of the temperature dependent thermal conductivity insulating materials on the effective building envelope performance. *J. Energy Build.* **2017**, 144, 262–275.

Berkouk, D.; Mazouz, S. Numerical study of the horizontal shading devices effect on the thermal performance of promotional apartments: Case of El-Alia-Biskra. *J. Appl. Eng. Sci. Technol.* **2017**, 3, 21–27.

Bouafia, Abdul Razzaq. (2011). Inclusion des éléments de durabilité dans la planification urbaine des institutions humaines du désert - une étude de cas de la ville de Ouargla (Thèse de magister, Université Mohamed Kheidar Biskra, Département d'architecture).

Bouchahm, Y.; Djouima, A. Application of new design of wind tower configuration to existing building for passive cooling. In *Proceeding of the 2nd PALENCC Conference and 28th AIVCC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century*, Crete Island, Greece, 27–29 September 2007.

BP J. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – properties, requirements and possibilities. *Energy Build*

Brager G.S. and de Dear R.J. 2000. “A standard for Natural ventilation”. *ASHRAE Journal*. October.

Brown et DeKay, 2001 Brown, Marilyn A. . (2001). «Market failures and barriers as a basis for clean energy policies». *Energy Policy*. 29(14). pp. 1197-1207.

Brown, 2001 Brown, G. Z. (2001). *Sun, wind & light : architectural design strategies*. New York: Wiley, 382 p.

Capot-Rey, R. (1953, March). L'industrialisation de l'Afrique du Nord. In *Annales. Histoire, Sciences Sociales* (Vol. 8, No. 1, pp. 80-86). Cambridge University Press.

CHABANI Zeyneb. "La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030" Mémoire de magister, Université Mohamed Bougara-Boumerdes. 2014.

Chae YT, Kim J, Park H, Shin B. Building energy performance evaluation of building integrated photovoltaic (BIPV) window with semi-transparent solar cells. *Appl Energy* 2014;129:217–27.

Chaouche Bencharif Meriama. La Micro-urbanisation et la ville-oasis ; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable cas du Bas-Sahara, thèse Doctorat, université de Constantine 1 (ex Mantouri), 2007.

Chaouche-Bencherif, M., & Farhi, A. (2007). *La Micro-urbanisation et la ville-oasis; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable* (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

Chel, A., Nayak, J. K., & Kaushik, G. (2008).Energy conservation in honey storage building using Trombe wall. *Energy and Buildings*, 40(9), 1643–1650.

Chelghoum, Z., & Belhamri, A. Analyse des propriétés thermiques des matériaux de constructions utilisés dans la ville de 11. Tamanrasset. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 2011, 47-56

Chelghoum, Z., & Belhamri, A. Analyse des propriétés thermiques des matériaux de constructions utilisés dans la ville de 11. Tamanrasset. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 2011, 47-56.

Chelghoum, Z.; Belhamri, A. Analysis of the thermal properties of building materials used in the city of Tamanrasset. *Sci. Technologie. D* 2011, 47–56. (In French). Available online: https://www.researchgate.net/publication/356493418_ANALYSE_DES_PROPRIETES_THERMIQUES_DES_MATERIAUX_DE_CONSTRUCTIONS_UTILISEES_DANS_LA_VILLE_DE_TAMANRASSET (accessed on 28 March 2023).

Chen lin, Gong juan. Research on building materials and techniques of traditional dwellings in the north of Hainan. *Construction Materials & Decoration*, 5 (2018) 66-67 (in Chinese)

Christensen C, Barker G, Horowitz S. A. sequential search technique for identifying optimal building designs on the path to zero net energy.

Cody, B.; Loeschnig, W.; Eberl, A. Operating energy demand of various residential building typologies in different European climates. *Smart Sustain. Built Environ.* 2018, 7, 226-250.

Crawley DB, Hand JW, Kummert M, Griffith BT. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment* 2008; 43(4): 661–73. D.P.A.T, Ouargla, 1995

Dar-Mousa, R.N.; Makhamreh, Z. Analysis of the pattern of energy consumptions and its impact on urban environmental sustainability in Jordan: Amman City as a case study. *Energy Sustain. Soc.* 2019, 9, 15.

De Dear, R., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. published in ASHRAE Transactions 1998, Vol 104, Part 1.

Department of Culture of Ouargla. *Permanent Plan for the Safeguard and Development of the Safeguarded Sector (PPSMVSS)*; Department of Culture of Ouargla: Ouargla, Algeria. (In French) (Contact: telephone number +213 29 71 09 69; <https://www.facebook.com/profile.php?id=100063805515609>).

Depecker, P.; Menezo, C.; Virgone, J.; Lepers, S. Design of buildings shape and energetic consumption. *Build. Environ.* 2001, 36, 627–635.

Dethier, J. *Architectures de terre*. Ed. Centre Pompidou, 1981, Paris, 224 p.14.

De Herde et Gratia (2003), Design of low energy office buildings, *Energy and Buildings*, Volume 35, Issue 5, Pages 473-491, ISSN 0378-7788,

Directorate of Urbanization, Architecture and Building for the wilaya of Ouargla. *Master Plan for the Development and Reconstruction of the Municipality of Ouargla—Ruwaitat (PDEAU)*; Report 2020; Ouargla, Algeria. (Contact: duc.ogx@gmail.com; <https://www.facebook.com/profile.php?id=100076963913814>)

Djamila, D., Roumaissa, A., Moussadek, B., & Lazhar, B. (2021). Impact of the building envelope on heat transfer in a hot and dry climate, case of individual housing in Laghouat (ALGERIA) colloque international (webinaire) confort, habitat en milieux sensibles et ville résiliente CHSVR, université 8 Mai 1945, Guelma, 13 & 14 octobre 2021.

Djelloul, A., Draoui, B., & Moumami, N. (2013). Simulation du comportement énergétique des bâtiments résidentiels au sud algérien.

Doris HooiChyeeToe, Tetsu Kubota. Comparative assessment of vernacular passive cooling techniques for improving indoor thermal comfort of modern terraced houses in hot-humid climate of Malaysia. *Solar Energy* 114 (2015) 229-258
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.01.035>

Dylewski RAJ. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. *Build Environ* 2011;46:2615–23.

El Hassar, S. M. K., Amirat, M., Silhadi, K., Souici, M., & Sakhraoui, S. (2002). Réglementation thermique algérienne des bâtiments : Contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires. *Revue française de génie civil*, 6(4), 661-681.

Elbi, K.L.; Vanos, J.; Baldwin, J.W.; Bell, J.E.; Hondula, D.M.; Errett, N.A.; Hayes, K.; Reid, C. E.; Saha, S.; Spector, J.; et al. Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. *Annu. Rev. Public Health* 2021, 42, 293–315.

Elhadad, S.; Radha, C.H.; Kistelegdi, I.; Baranyai, B.; Gyergyák, J. Model simplification on energy and comfort simulation analysis for residential building design in hot and arid climate. *Energies* 2020, 13, 1876.

Émilie Bouffard, (2013). ‘Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception’, p 3, université Laval Canada.

EN ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment. Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales.

EN ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment. Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales.

ETLIN, Richard. L’air dans l’urbanisme des Lumières, In : Dix-Huitième siècle. Le sain et le malsain, n°9, 1977, p. 123-134 ;

F. Ascione, N. Bianco, T. Iovane, G.M. Mauro, D.F. Napolitano, A. Ruggiano, L. Viscido, A real industrial building: Modeling, calibration and Pareto optimization of energy retrofit, *Journal of Building Engineering* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101186>.

Fanger, P.O. 1970. “Thermal comfort”. Danish Technical Press. Markus et Morris 1980

Farjami, E.; Moahamedali, A. Evaluating interior surfaces including finishing materials, ceiling, and their contribution to solar energy in residential buildings in Famagusta, North-Cyprus, Turkey. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 75, 338–353.

Farzaneh, A., Monfet, D., & Forgues, D. (2019). Review of using Building Information Modeling for building energy modeling during the design process. *Journal of Building Engineering*, 23, 127-135.

FEDDAOUI Omar. "Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération, Application aux Energies Renouvelables" Mémoire de magister, Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras 2014.

Feist W, Puger R, Kaufmann B, Schnieders J, Kah O. Passive house planning package 2007. Darmstadt: Passive House Institute; June 2007.

Feist, Wolfgang. Passive House Planning Package PHPP: Energy Balance and Passive House Design Tool for Quality Approved Passive Houses and EnerPHit Retrofits. Passive House Institute, 2015.

Feist, Wolfgang; Adamson, Bo: Design of Low Energy Houses in the Federal Republic of Germany; Lund University, Report BKL 1989:3(E)

Fernandes, M.S.; Rodrigues, E.; Rodrigues Gasper, A.; Costa, J.J.; Gomes, A. The impact of the maltransmittance variation on building design in the Mediterranean region. *J. Appl. Energy* 2019, 239, 581–597.

FEZZAI, S., AHRIZ, A., & Alkama, D. (2012). Evaluation des performances énergétiques de l'habitat traditionnel dans la région de SOUF.

Fezzioui, N., Benyamine, M., Draoui, B., Roulet, C.A.: The traditional house with horizontal opening: a trend towards zero energy house in the hot, dry climates. *Energy Procedia* 96, 934–944 (2016)

Florides GA, Tassou SA, Kalogirou SA, Wrobel LC. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness.

Fontaine, J., & Flitti, M. L'évolution de la population du Sahara algérien 1954 à 1998. avec la coll. de M. Flitti), université de 18. Franche-Comté, Besançon, 2003.

Frisancho, A.R. 1981. *Human Adaptation*. Ann Arbor: U. of Mich. Press.

Gagge, 1986 Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, L. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE trans*, 92(2), 709-731.

Gencel, O.; Bayram, M.; Subaşı, S.; Hekimoğlu, G.; Sarı, A.; Ustaoglu, A.; Marasli, M.; Ozbakkaloglu, T. Microencapsulated phase change material incorporated light transmitting gypsum composite for thermal energy saving in buildings. *J. Energy Storage* 2023, 67, 107457.

Georges et Jeanne-Marie ALEXANDROFF, Architectures et climats, Soleil et énergies naturelles dans l'habitat, op.cit., p. 200.

Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., & Reciou, B. Estimating the energy consumption in building sector 13. in Algeria using bottom-up mode. In IREC2015 the Sixth International Renewable Energy Congress, 2015, March, (pp.1-6).IEEE, DOI:10.1109/IREC.2015.7110942.

Ghedamsi, R., Settou, N., Saifi, N., Dokkar, B. Contribution on buildings design with low consumption of energy incorporated PCMs. *Energy Procedia* 50, 322–332 (2014).

Ghellabchahinez, Patrimoine en péril : le ksar de Ouargla agonise p 10-11 journal NRP, October 2020, n°52-53

Givoni B. Passive and low energy cooling of buildings. John Wiley & Sons; 1994.

Glaser, E. 1966. *The physiological basis of habituation*. London: O.U.P.

Guzowski, M. (2000). Daylighting for Sustainable Design. (McGraw-Hill Professional Engineering Series). McGraw Hill. <https://books.google.com/books?id=VQ5QAAAAMAAJ>

Goetzberger et Schmid, 1985; Goetzberger, A. et Schmid, J. (1985). «Review of Components of Passive Solar Energy Utilization». *International Journal of Solar Energy*. 3(6). pp. 309-328.

Graham Zabel, initialement publié par Energy Bulletin 20 avril 2009

Hacker JN, De Soulless TP, Minson AJ, Holmes Michael J. Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change, Arup research commissioned by The Concrete Centre and British Cement Association. *SciDirect: Energy Build* 2008;40:375–84.

Hammache, S. (2015, March). Retour sur une expérience de terrain: les nouveaux pôles urbains à Ouargla. In *Les mutations de la ville saharienne—Approches croisées sur le changement social et les pratiques urbaines*.

Harimi, Djamila, Ming C.C. and Kumaresan S.K. 2012. “A conceptual review on residential thermal comfort in the humid tropics”. *International Journal of Engineering Innovation and Research*. 1.6:539-544.

Harkouss, F.; Fardoun, F.; Biwole, P.H. Passive design optimization of low energy buildings in different climates. *Energy* 2018, 165, 591–613.

HARZELLAH, Amina. Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories Architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du XIXe siècle à la deuxième guerre mondiale. Thèse de doctorat, Nantes, Université de Nantes, 2007, 391 p.

HARZELLAH, op.cit. Crise pétrolière la recherche des énergies douce

HAWKES, D. (1996), *The Environmental Tradition: Studies in the architecture of environment* (1 ed.). London: E & FN Spon.

Hasting et Wall, 2007 Hasting, Robert et Wall, Maria (Eds.). (2007). *Vol. 2 Exemplary Buildings and Technologies de Sustainable Solar Housing*. London: Earthscan, 257 p.

Hebbal, B.; Marif, Y.; Belhadj, M.M. Bioclimatic Architecture in the Ancient Village of Southern Algeria. In *ICREEC 2019, Proceedings of the 1st International Conference on Renewable Energy and Energy Conversion, Oran, Algeria, 11–13 November 2019*; Springer: Singapore, 2020; pp. 597–603.

Hebbal, B.; Marif, Y.; Hamdani, M.; Belhadj, M. M.; Bouguettaia, H.; Bechki, D. The geothermal potential of underground buildings in hot climates: Case of Southern Algeria. *Case Stud. Therm. Eng.* **2021**, *28*, 101422.

Hegger, 2003 Hegger, Manfred. (2003). «From Passive Utilization to Smart Solar Architecture». In *In Detail Solar Architecture*. sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.

Helena Coch. Chapter 4 - Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* *2* (1-2) (1998) 67-87 [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(98\)00012-4](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(98)00012-4)

Holman J. Heat transfer. McGraw-Hill Education; 2009

Hong, T., Kim, J., Jeong, J., Lee, M., & Ji, C. (2017). Automatic calibration model of a building energy simulation

Horowitz S. Boulder : Enhanced sequential search strategies for identifying cost optimal building designs on the path to zero net energy.

Hossain, M. F. (2019). Sustainable technology for energy and environmental benign building design. *Journal of Building Engineering*, *22*, 130-139

<https://www.infodiagnostiqueur.com/2009/12/16/le-materiel-de-mesures-de-temperature-et-de-resistance-thermique/>

Huda Mohammed Hussein Abed , Effect Of Building Form On The Thermal Performance Of Residential Complexes In The Mediterranean Climate Of The Gaza Strip Thèse De Doctorat, 2012 Islamic University Of Gaza.

Humphreys, M.A. and Nicol, J.F. 1998. “Understanding the adaptive approach to thermal comfort”. *ASHRAE Transactions*. 104(Pt. 1B)

Ihara T, Gustavsen A, Jelle BP. Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Appl Energy* 2015;158:422–32.

Institut national de la statistique et des études économiques (www.insee.fr)

International Energy Agency, 2009 Task 41: Solar Energy and Architecture. Coll. «Solar Heating & Cooling Programme». Task 41: Solar Energy and Architecture, 15 p.

Islam, Tibermacine. 2016. “l’impact de la typologie des habitats collectifs sur les conditions thermiques intérieures et l’efficacité énergétique – cas de climat chaud et sec.

ISO

9920; Ergonomics of the Thermal Environment Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble. ISO: Geneva, Switzerland, 1995.

J.M. Lee, S.H. Hong, B.M. Seo, K.H. Lee, Appl. Therm. Eng. *153*, 726–738 (2019)

Jayasudha, P., Dhanasekaran, M., Devadas, M. D., & Ramachandran, N. A study on sustainable design principles: A 7. case study of a vernacular dwelling in Thanjavur region of Tamil Nadu, India. *Indian J. Tradit. Knowl*, 2014, *13*, 762–770.

Jedidi, M., & Abroug, A. (2018). Etude de l’efficacité énergétique d’un bâtiment en Tunisie. 1^{er} Colloque International des Energies Nouvelles et Renouvelables - Innovation et Progrès Scientifique CIENRIPS’2018

- Jorge Fernandes, Ricardo Mateus, Helena Gervasio, Sandra M. Silva, Luís Bragança.** Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance. *Renewable Energy* 142 (2019) 345-363
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.098>
- joudi (2015) Judy Mohamed, 2015/04, Journal de la plateforme du patrimoine archéologique
- Kadi, Y. 1999.** La maison qsourienneouarglie : Tāddārt n ātwārgren. In Depaule, J. (Ed.), *Lieux et façons d'habiter, aujourd'hui*. Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans. doi :10.4000/books.iremam.2982
- KADRI, S. R., CHAUCHE, S., & BENAMEUR, A. H.** Quelles formes de réhabilitation pour le ksar d'Ouargla? Des objectifs urbains, patrimoniaux et sociaux. p131.2016
- KEBAILI, A. (2015).** LA VILLE SAHARIENNE EN ALGERIE ENTRE MUTATIONS ET STRATEGIES D'INTERVENTION «CAS D'OUARGLA». Le Forum International Transformations de la Ville du Désert 3-4 mars 2015
- Kemal ÇomaklıBY.** Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Appl Therm Eng* 2003;23:473–9.
- Khadraoui, M.A.; Sriti, L.** Study and optimization of the windows' impact on thermal comfort and energy efficiency (Case of offices in a hot and arid climate). *J. Appl. Eng. Sci. Technol.* **2018**, 4, 89–99.
- Khechiba, A.; Djaghroui, D.; Benabbass, M.** Individual Housing Thermal Comfort Evaluation in Hot and Arid Climate Area: A Comparative Study between Modern and Traditional Houses in Ouargla City. *Int. J. Innov. Stud. Sociol. Humanit.* **2022**, 7, 75–85.
- Kheiri, F.** A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, 92, 897–920.
- Khokhi, M., & Fezzioui, N.** Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of Algeria. *International Journal of 10. Energy and Environmental Engineering*, 2012, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-3-5>
- Khokhi, M.; Fezzioui, N.; Draoui, B.; Salah, L.** The impact of changes in thermal conductivity of polystyrene insulation material under different operating temperatures on the heat transfer through the building envelope. *Appl. Therm. Eng.* **2016**, 105, 669–674.
- Kolokotroni, M.,** The Thermal Performance of Housing in Greece: a Study of the Environmental response to Climate, MSc, Bartlett 19. School of Architecture, UCL, 1985.
- Krippner, 2003; Roberts et Guariento, 2009).** Krippner, Rolland. (2003). «Solar Technology - From Innovation Skin to Energy-Efficient Renovation». In *In*
- Kuehn, Michael et Mattner, Dirk. (2003).** «Solar Concepts for Building». In *In Detail Solar Architecture* sous la dir. de Schittich. Basel: Birkhäuser, 176 p.
- Kuo, W.; Pan, C.** A Reliability Look at Energy Development. *Joule* **2018**, 2, 5–9.
- l'ASHRAE 55** (2013, p. 23)
- La direction de Distribution de l'électricité et du gaz Ouargla, données 2018-2019

L. De Boeck, S. Verbeke, A. Audenaert, L. De Mesmaeker,(2015). Improving the energy performance of residential buildings: A literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 52. Pages 960-975. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.037>.

Latha PKDY, Venugopal V. Role of building material in thermal comfort in tropical climates – a review. *J Bldg Eng* 2015;3:104–13.

Latreche,S.;Sriti,L.Theeffectofbuildingmaterialschoiceonthethermalcomfortintheauto-producedindividualhousinginBiskra.*J. Build. Mater. Struct.* **2017**, 4,50–57.

Le dictionnaire anglais d'Oxford (2000, p.156)

Liu, K., & Minor, J. (2005).Performance evaluation of an extensive green roof. *Presentation at Green Rooftops for Sustainable Communities, Washington DC*, 1-11.

M O. Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Appl Therm Eng* 2011;31:3854–63.

Mahar,W.A.;Verbeeck,G.;Singh,M.K.;Attia,S.Aninvestigationofthermalcomfortofhousesin dryandsemi-aridclimatesofQuetta,Pakistan. *Sustainability* **2019**, 11,5203.

Maria Philokyprou, Aimilios Michael, Eleni Malaktou, Andreas Savvides. Environmentally responsive design in Eastern Mediterranean. The case of vernacular architecture in the coastal, lowland and mountainous regions of Cyprus. *Building and Environment* 111 (2017) 91-109 <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.010>
Mazouz,S.ThermalComfort.DepartmentofArchitectureoftheUniversityofBiskra: Biskra, Algeria.(InFrench) Available online: <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/hamel/Confort%20thermique%2001.pdf> (accessed on 12 April 2023)

Mazzali U, Peron F, Romagnoni P, Pulselli RM, Bastianoni S. Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate. *Build Environ* 2013;64:57–66.

Medour Yahia (2012), p98 Source : Internet <http://saharayro.free.fr/bordjs/fortsn09.htm>

Mehiri A.Y et Ben mazouzia M.F,2017."Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire". Mémoire master, université de Ouargla.

Michael, A., Demosthenous, D., &Philokyprou, M. Natural ventilation for cooling in mediterraneanclimate: A case study in vernacular 21. architecture of Cyprus. *Energy and Buildings*, 2017, 144, 333-345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.040>

Mikler, Vladimir; Bicol, Albert; Breisnes, Beth AndLabrie, M Ichel (2008).Passive Design Toolkit – Best Practices, City Of Vancouver, Canada.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD). Available at: http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201906/t20190620_240922.html accessed 21.04.05

Mohammed,T.;Al-Amin,A.Q.ClimatechangeandwaterresourcesinAlgeria: Vulnerability,impactandadaptationstrategy. *Econ. Environ. Stud.* **2018**, 18,411–429.

Moomin, S.; Etaieb, E. The role of renewable energy projects in promoting the production of electricity power in Algeria. *J. Stud. Econ. Bus. Adm.* **2021**, *4*, 463.

Morishita, N. A study of the relationship between thermal comfort & energy consumption in kindergartens. Doctoral dissertation, 2. Vienna University of technology, 2010.

Munari Probst, C. M., Roecker, C., Frontini, F., Scognamiglio, A., Farkas, K., Maturi, L., et al. (2012). SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE integration criteria

N. A. Abd Rahman, S. N. Kamaruzzaman, F. W. Akashah. A Review of Optimization Techniques Application for Building Performance Analysis, 2020, Civil Engineering Journal Vol. 8, No.

National Agency for Territorial Development (ANAT). *Study of Modernization of the Agglomeration of Ouargla*; National Agency for Territorial Development: Kouba, Algeria. (In French). Available on line at: <https://elmouchir.caci.dz/entreprise/8770/anaat-agence-nationale-lamangement-et-lattractivite-des-territoires> (accessed on 15 March 2023)

National Agency for the Promotion and Rationalization of Energy Use (APRUE). *Final Energy Consumption in Algeria, Key Figures Year 2007*; Ministry of Energy and Mines: Algiers, Algeria, 2009.

National Statistics Office (ONS). Algerian Demography 2019. Statistical Data N° 890, Algiers, Algeria: Technical Department in Charge of Population and Employment Statistics. 2020. Available online: <https://www.ons.dz/IMG/pdf/demographie2019.pdf> (accessed on 28 February 2023). (In French)

Naylor, S., Gillott, M., & Lau, T. (2018). A review of occupant-centric building control strategies to reduce building energy use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *96*, 1–10. doi:10.1016/j.rser.2018.07.019.

Nguyen Ank-Tuan, Tran Quoc-Bao, Duc-Quang Tran, Sigrid Reiter, An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam, *Energy Build.* *46* (2011) 2088-2106 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.019>.

Nicol F, Humpreys M, Roaf S. Adaptive thermal comfort. Principles and practice. New York: Routledge Taylor & Francis Group; 2012.

Noor Cholis Idham. Javanese vernacular architecture and environmental synchronization based on the regional diversity of Joglo and Limasan. *Frontiers of Architectural Research* *7* (3) (2018) 317-333 <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.06.006>

O K. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renew Sustain Energy Rev* *2012*; *16*:415–25.

Olesen B.W. and Brager G.S. 2004. “A better way to predict comfort”. *ASHRAE Journal*. August.

Oliver, P. (1997). *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. New York: Cambridge University Press.

Ould-henia, A. Choix climatiques et construction. Zones arides et semi arides. Maison à cour de Bou-saada. Thèse de doctorat, 12. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2003.

Ould-henia, A. Choix climatiques et construction. Zones arides et semi arides. Maison à cour de Bou-saada. Thèse de doctorat, 12. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2003.

Ould-henia, A. Climatic Choices and Construction. Arid and Semi-Arid Areas. Bou-Saada Courtyard House. Ph.D. Thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland, 2003. (In French)

P Jayasudha, M Dhanasekaran, Monsingh D Devadas & N Ramachandran. A study on sustainable design principles: A case study of a vernacular dwelling in Thanjavur region of Tamil Nadu, India. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 13 (4) (2014) 762-770.

Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559-3573.

Pal SK, Alanne K, Jokisalo J, Siren K. Energy performance and economic viability of advanced window technologies for a new Finnish townhouse concept. *Appl Energy* 2016;162:11–20.

Papadopoulos AM. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy Build* 2005;37:77–86.

Parsons KC (2003). Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. Taylor & Francis. London, New York, p 527

Pezeshki, Z., Ivari, S.A.S. (2018). Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline. *Arch Computat Methods Eng* 25, 273–312 .<https://doi.org/10.1007/s11831-016-9204-1>

Pooya Lotfabadi, Polat Hançer. A Comparative Study of Traditional and Contemporary Building Envelope Construction Techniques in Terms of Thermal Comfort and Energy Efficiency in Hot and Humid Climates. *Sustainability* 11 (2019) 3582 <https://doi.org/10.3390/su11133582>

PPSMVSS-vieux ksar d’Ouargla-rapport écrit, (2020). Direction de la culture de Ouargla, (PDF).16.

PRINGLE, John. Observations sur les maladies des armées dans les camps et les garnisons. Paris, trd. Fourcroy, 1771, 2 vol est un des tout premiers à associer architecture à la médecine.

Pulhan, H., & Numan, I. The traditional urban house in Cyprus as material expression of cultural transformation. *Journal of 1. Design History*, 2006, 19(2), 105-119.

Q. Chen, Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications, *Building and Environment* 44 (4) (2009) 848-858 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.025>

R. Shanthi Priya, M.C. Sundarraja, S. Radhakrishnan, L. Vijayalakshmi, Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu - India

- a qualitative and quantitative analysis, *Energy and Buildings* 49 (2012) 50-61
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.033>

Rais, M.; Boumerzoug, A.; Halada, M.; Sriti, L. Optimizing the cooling energy consumption by the passive traditional facade strategies in hot dry climate. *Pollack Period.* **2019**, 14, 177–188.

Rapport ANDI investissement à Ouargla 2013

Rapport de chambre de commerce et d'industrie Ouargla oasis 2016-2017

Rapport de la chambre de commerce et d'artisanat 2015

Reilly, A.; Kinnane, O. The impact of thermal mass on building energy consumption. *Appl. Energy* **2017**, 198, 108-121.

Rivera, R. M., & Ledesma, G. Improvement of thermal comfort by passive strategies. Case study: social housing in Mexico. 5. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 2019, 227-233. <https://doi.org/10.18178/ijscer.8.3.227-233>

Rivera, R. M.; Ledesma, G. Improvement of thermal comfort by passive strategies. Case study: Social housing in Mexico. *Int. J. Struct. Civ. Eng. Res.* **2019**, 8, 227–233.

Roos A, Karlsson B. Optical and thermal characterization of multiple glazed windows with low U-values. *Solar Energy* 1994;52:315–25.

Rosenlund, H. (2000). *Climatic design of buildings using passive techniques*. Lund University, Housing Development and Management. volume 10, number 1, building issues

Roulet, 1987 Roulet, C-A. (1987). Énergétique du bâtiment, Bilan énergétique global, PPUR, Gérer l'environnement

S. Saljoughinejad, S.R. Sharifabad, Classification of climatic strategies, used in Iranian vernacular residences based on spatial constituent elements, *Build. Environ.* 92 (2015) 475-493 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.005>

Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(8), 3617-3631.

SAIFI, N. (2015). Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones arides (Doctoral dissertation). Université kasdimerbah Ouargla

Saifi, N., Settou, N., Necib, H., Damene, D. Experimental study of thermal performance and the contribution of plant-covered walls to the thermal behavior of building. *Energy Procedia* 36, 995–1001 (2013). ARECE13

Saifi, N.; Settou, N.; Dokkar, A. Modeling and parametric studies for the thermal performance of an earth to air heat exchanger in South East Algeria. In *Proceedings of the IREC 2015 the Sixth International Renewable Energy Congress*, Sousse, Tunisia, 24–26 March 2015; pp. 1–6.

Sakhraoui S, 2002

Sankhayan, S.S.; Sharma, R.K. A Review of Energy-Efficient and Sustainable Passive Cooling Techniques for Building Applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, 61, 156–171.

Sapci, E.; Paiva, C.M.; Melo, A.L. Passive Solar Design Optimization for Energy-Efficient Residential Buildings in Cold Climates. *Energy Build.* **2021**, 2, 23–27.

Schnieders, J., & Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34(2), 151-171.

Schweiker M, Ampatzi E, Andargie MS, Andersen RK, Azar E, Barthelmes, VM, Berger C, Bourikas L, Carlucci S, Chinazzo G, Edappilly LP, Favero M, Gauthier S, Jamrozik A, Kane M, Mahdavi A, Piselli C, Pisello AL, Roetzel A, Rysanek A, Sharma K, Zhang S, Review of multidomain approaches to indoor environmental perception and behaviour, *Building and Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106804>

Sebti, M., Alkama, D., & Bouchair, A. Assessment of the effect of modern transformation on the traditional settlement “Ksar” 9. of Ouargla in southern Algeria. *Frontiers of Architectural Research*, 2013, 2(3), 322–337. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.05.002>.

Sergides, D, 1991, "Zero Energy for The Cyprus House," The Architectural Association Stavrou, N, 1998, Energy Conservation in New Residential Buildings in Cyprus: Cost Comparative Study, School of the Built Environment, University of Glamorgan, Cardiff

Shafigh, P., I. Asadi, and N.B. Mahyuddin, Concrete as a thermal mass material for building applications-Areview. *Journal of Building Engineering*, 2018.

Siret, D., & Harzallah, A. (2006, November). Architecture et contrôle de l'ensoleillement. In Congrès IBPSA France.

Sotehi, O., Chaker, A., Mahdi, K. (2020). Study of the Influence of Thermal Insulation on the Energy Consumption of Buildings in Different Climates in Algeria. In: Belasri, A., Beldjilali, S. (eds) ICREEC 2019. Springer Proceedings in Energy. Springer, Singapore. http://sci-hub.tw/10.1007/978-981-15-5444-5_82

Stambouli, A. B., Khiat, Z., Flazi, S., & Kitamura, Y. (2012). A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(7), 4445-4460.

Stéphane VIVIER, Thèse doctorat, Stratégies d'optimisation par la méthode des Plans d'Expériences, et Application aux dispositifs électrotechniques modélisés par Eléments Finis, 2002, l'Ecole Centrale de Lille

Sterling, E. M., Arundel, A., & Sterling, T. D. (1985). Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. *ASHRAE transactions*, 91(1), 611-622.

Stevanović, S. Optimization of passive solar design strategies: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 25, 177–196.

Suigatrabia, 2020 (03)/12, The characteristics of traditional desert architecture the old K'sar of Ouargla as a model, *Journal des Chercheurs en Sciences Humaines et Sociales*.

Susanne Bodach, Werner Lang, Johannes Hamhaber, Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal, *Energy Build.* 81 (2014) 227-242 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.022>.

Suzuki, D., Boyd, D. R., & Paquin, S. (2008). *Le Guide Vert : Comment Réduire Votre Empreinte Ecologique*. Éditions Boréal (Montreal).

Tang C, Chin N. Building energy efficiency technical guideline for passive design. Malaysia: Building Sector Energy Efficiency Project (BSEEP); 2013.

Theodosiou TG, Tsikaloudaki AG, Kontoleon KJ, Bikas DK. Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades. *Energy Build* 2015;109:377–84.

Trezenga et Loe, 1988 Trezenga P., Loe D. (1998) The Design of Lighting. London: E & FN Spon.

TRNSYS 17, Multizone Building Modeling with Type56 and TRNBuild, Volume 5. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Etats-Unis. Available online: <https://dokumen.tips/documents/type-56-05-multizonebuilding.html> (accessed on 28 March 2023).

Tsai, W.-H. Carbon Emission Reduction—Carbon Tax, Carbon Trading, and Carbon Offset. *Energies* **2020**, *13*, 6128.

United Nations Development Programme (UNDP). Available online: <https://www.undp.org/tag/algeria> (accessed on 28 February 2023). using optimization algorithm. *Energy Procedia*, 105, 3698-3704.

Vasaturo, R.; van Hooff, T.; Kalkman, I.; Blocken, B.; van Wesemael, P. Impact of passive climate adaptation measures and building orientation on the energy demand of a detached lightweight semi-portable building. *Build. Simul.* **2018**, *11*, 1163–1177.

Vissilia Anna-Maria, Evaluation of Greek vernacular settlement and its landscape: architectural typology and building physics, *Build. Environ.* 44 (6) (2009) 1095-1106 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.026>

Wang W, Rivard H, Zmeureanu R. An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms.

Wang ying, Wang yongping. The Ecological Adaptability of Ancient Villages in Yangshan , Haikou. *Huazhong Architecture*, 1 (2013) 132-136 (in Chinese)

Wang, C.; Ma, J. Evaluation on Thermal Environment and Energy Consumption of a Demonstration Building in Ningqiang. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2017**, *81*, 012116.

Wei, J.; Ma, Z.; Zhao, J. A Review of Passive Solar Heating Systems for Energy-Efficient Buildings in Cold Climates. *Energy Build.* **2022**, *2*, 3–5.

Wong, C.K.; Mui, K.W.; Wong, A.W.C. Development of an Energy-Efficient Envelope Design for High-Rise Residential Buildings in the Hot and Humid Climate of Hong Kong. *Energy Build.* **2022**, *3*, 5–12.

Xiaoyu Du, Regina Bokel and Andy van den Dobbelen. Architectural Spatial Design Strategies for Summer Microclimate Control in Buildings: A Comparative Case Study of Chinese Vernacular and Modern Houses. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering.* 15 (2) (2016) 327-334 <http://doi.org/10.3130/jaabe.15.327>

Yousfi, B. (2015, March). Formation des nouveaux espaces urbanisés et recomposition socio-spatiale des villes sahariennes du Sud-ouest. In *Les mutations de la ville saharienne—Approches croisées sur le changement social et les pratiques urbaines.*

Zahiri, S., & Elsharkawy, H. (2018). Towards energy-efficient retrofit of council housing in London: Assessing the impact of occupancy and energy-use patterns on building performance. *Energy and Buildings*, 174, 672–681. doi:10.1016/j.enbuild.2018.07.010.

Zhang gui. Research of Suitable Design and Technical Strategy in the Sustainable Renovation of Dwellings in Ruxie Village in Hainan. Qinghua University Press, 5 (2015) (in Chinese)

Zhang, F., Deb, C., Lee, S. E., Yang, J., & Shah, K. W. (2016). Time series forecasting for building energy consumption using weighted Support Vector Regression with differential evolution optimization technique. *Energy and Buildings*, 126, 94–103. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.028.

Zhou JZZ, Lin Y, Li Y. Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings. *Energy Build* 2008;40:979–86.

Zhu N, Ma Z, Wang S. Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: a review. *Energy Convers Manag* 2009;50:3169–81.

Site internet :

(en) Energy Statistics Data Browser - Algeria: Balances 2019 [archive], Agence internationale de l'énergie, octobre 2021. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>

article en ligne La ville durable _ contexte, enjeux et perspectives - Dunya-Ethic.html ,2020

article en ligne, April Holloway, Solar-designed cities of Ancient Greece, consulté le 28/12/2019.

Article Eurojar, 'L'Algérie s'essaye à une ruralité verte', ENPI info centre, 15 mars 2010.

BP Statistical Review of World Energy 2020: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

Cobalt Engineering, Hughes Condon Marler: Architects, 2009. <https://vancouver.ca/files/cov/passive-design-large-buildings.pdf>

Dc.Patrick Charmeau mars 2003. Maison bioclimatique de Charmeau . <http://www.areso.asso.fr/spip.php?article221>

Efficacité énergétique et bâtiments : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

Etude de cas : Cité Résidentielle El Ryad - Oran : <https://www.construction21.org/algerie/http://www.energiepositive.info/fr/reduire-besoin/construire-compact.html>

http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2017/Bilans_et_statistiques_du_secteur/BilnEnergetique/Bilan_Energetique_National_2017_edition_2018.pdf. (2019, mai 30).

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) : <https://www.iea.org/>

L'habitat durable, un pas vers la performance énergétique. (2018, June 21): <https://www.geopl.com/>.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). <https://www.ademe.fr/>

Le CDER, Centre de développement des énergies renouvelables. <http://portail.cder.dz/spip.php?article5562>

Mme Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre norvégien (1987). De la Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement à l'ONU, rend aux Nations Unies un rapport intitulé « Notre avenir à tous », qui deviendra très vite *le Rapport Brundtland*. <https://leshorizons.net/gro-harlem-brundtland-developpement-durable/>

PENREE (Programme Algérien pour le Développement des Energies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique) de 2012 : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_Alg%C3%A9rie

Saint Gobain, 2016 .introduction à la thermique du bâtiment .repère à www.construireavecsaint-gobain.fr

Site ministère de l'énergie et des mines : <https://www.energy.gov.dz/>

Solar designed cities of ancient Greece, April Holloway, 2013: <https://www.ancient-origins.net/news-history-archaeology/solar-designed-cities-ancient-greece-001120>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population 2019, Online Edition. Rev. 1. https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf

Documents

Document Excel, données agence Sonelgaz, Ouargla, 2019

Statistiques des ventes d'électricité et de gaz dans l'Habitat Résidentiel à Ouargla, Direction de Distribution de l'électricité et du gaz, Ouargla, 2018.

Livres

Alain Liébard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, édition Le Moniteur. (2005).

Boubekri, M. (2008). Daylighting, architecture, and health: building design strategies. Edition Elsevier .UK

IESNA; Lechner, 2001 IESNA, Illuminating Engineering Society of North America. IES Lighting Handbook. New York : IESNA.

John Perlin, image de ville Grèce *Let It Shine: The 6000-Year Story of Solar Energy*, (John Perlin, sole author), available in bookstores mid September, 2013

Le Gall, J. (1975). Les romains et l'orientation solaire. *Mélanges de l'école française de Rome*, 87(1), 287-320.

Neufert, E. (2002). Les éléments des projets de construction: DUNOD.

Robert Jérôme Fabas Laurent. Guide de la maison économe", Edition Eyrolle, Paris 2008.

« Ouargla, authenticité et élégance » CDSP éditions (2013).

l'habitation à Ouargla suivie d'une étude sur le morphème « n » en teggarrgent. J, Delheure, P, Reesink. 1973. Alger.

Annexe-1 : Tables de Mahoney de Ouargla

Tableau 1:situation

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Localisation | Sud-ouest Algérien |
| Latitude | 31° 57' 47" Nord |
| Longitude | 5° 20' 31" Est |
| Altitude | 315 m |

TABLE1 : TEMPERATURES

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temp. Moy. Max | 4.9 | 8.4 | 12.3 | 17.7 | 22.7 | 26.8 | 27.9 | 27.4 | 25.9 | 19.7 | 13.6 | 6.8 |
| Temp. Moy. Min | 18.5 | 22.2 | 25.9 | 30.8 | 36.3 | 42.8 | 45.5 | 44.6 | 41 | 34.1 | 26.5 | 19.4 |
| E.D.T. | 11.7 | 15.3 | 19.1 | 24.3 | 29.5 | 34.8 | 36.7 | 36 | 33.4 | 26.9 | 20 | 13.1 |

| | |
|------------|------|
| La + haute | TAM |
| 45.5 | 25.5 |
| 4.9 | 40.6 |
| La + basse | EAT |

TABLE 2 : HUMIDITE, PLUIE, VENT

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humidité Rel. Max | 62.99 | 48.21 | 43.48 | 33.13 | 31.59 | 29.34 | 24.35 | 32.34 | 44.88 | 62.94 | 51.95 | 55.65 |
| Humidité Rel. Min. | 33.68 | 29.19 | 24.3 | 20.44 | 16.34 | 15.64 | 13.76 | 15.18 | 18.03 | 23.66 | 25.58 | 30.60 |
| Humidité Rel. Moy. | 45.09 | 36.21 | 32.71 | 25.15 | 22.88 | 20.02 | 17.33 | 19.82 | 29.08 | 35.44 | 38.68 | 43.45 |
| Groupe (G.H.) | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Pluie (mm)percipitation | | | | | | | | | | | | |
| Vent (directions) | Dominant | | | | | | | | | | | |
| | secondaire | | | | | | | | | | | |

| G.H. | |
|----------------------|---|
| ≤ 30% | 1 |
| 30-50 | 2 |
| 50-70 | 3 |
| ≥ 70 | 4 |
| Total annuel pluies | |
| <input type="text"/> | |

TABLE3 : CONFORT

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Groupe Hygro (G.H.) | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |

Températures

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Moy. Mens. Max. | | 18.5 | 22.2 | 25.9 | 30.8 | 36.3 | 42.8 | 45.5 | 44.6 | 41 | 34.1 | 26.5 | 19.4 |
| Confort diurne | Maxi | | 31 | 31 | 31 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 31 | 31 | 31 |
| | Mini | | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 |
| Moy. Mens. Mini | | 4.9 | 8.4 | 12.3 | 17.7 | 22.7 | 26.8 | 27.9 | 27.4 | 25.9 | 19.7 | 13.6 | 6.8 |
| Confort | Maxi | | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| nocturne | Mini | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
|----------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Stress thermique

| | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jour | F | F | F | / | / | C | C | C | C | / | F | F |
| Nuit | F | F | / | / | / | / | C | C | / | F | F | F |

C : tropchaud
/ : confort
F : trop froid

Limites de confort

| | G.H. | TAM ≥ 20 | | 15 ≤ TAM ≤ 20 | | TAM ≤ 15 | | G.H. |
|---------------|----------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Humidité | Groupe | Jour | Nuit | Jour | Nuit | Jour | Nuit | Groupe |
| <u>0-30</u> | <u>1</u> | <u>26-34</u> | <u>17-25</u> | <u>23-32</u> | <u>14-23</u> | <u>21-30</u> | <u>21-30</u> | <u>12-21</u> |
| <u>30-50</u> | <u>2</u> | <u>25-31</u> | <u>17-24</u> | <u>22-30</u> | <u>14-22</u> | <u>20-27</u> | <u>20-27</u> | <u>12-20</u> |
| <u>30-70</u> | <u>3</u> | <u>23-29</u> | <u>17-23</u> | <u>21-28</u> | <u>14-21</u> | <u>19-26</u> | <u>19-26</u> | <u>12-19</u> |
| <u>70></u> | <u>4</u> | <u>22-27</u> | <u>17-21</u> | <u>20-25</u> | <u>14-20</u> | <u>18-24</u> | <u>18-24</u> | <u>12-18</u> |

Table 4 : Indicateurs

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Total |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| H1 ventilation essentielle | | | | | | | | | | | | | 0 |
| H2 Ventilation désirable | | | | | | | | | | | | | 0 |
| H3 Protection pluie | | | | | | | | | | | | | 0 |
| A1 Inertie thermique | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | 12 |
| A2 Dormir dehors | | | | | | | ✓ | ✓ | | | | | 0 |
| A3 Prob. Saison froide | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | 03 |

| | Stress Thermique | G.H. | EDT | Pluie |
|----|------------------|------|-----|-------|
| H1 | | | | |
| H2 | | | | |
| H3 | | | | |
| A1 | | | | |
| A2 | | | | |
| A3 | | | | |

TABLES DE MAHONEY : RECOMMANDATIONS

| Totaux indicateurs (d'après la table 4) | | | | | | | |
|---|----|----|----------|----|------|---|--|
| Humide | | | Aride | | | | |
| H1 | H2 | H3 | A1 | A2 | A3 | | |
| 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 03 | | 1. Plan masse |
| | | | 0-10 | | | | <i>Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.</i> |
| | | | 11 ou 12 | | 5-12 | | <i>Plans compacts avec cours intérieures</i> |
| | | | | | 0-4 | ✓ | |

| 2. espacements entre bâtiments | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--|--|---|---|
| 11 ou 12 | | | | | | | <i>Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent</i> |
| 2-10 | | | | | | | <i>Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid</i> |
| 0 ou 1 | | | | | | ✓ | <i>Plans compacts</i> |

| 3. Circulation d'air | | | | | | | |
|----------------------|--------|--|------|--|--|---|--|
| 3-12 | | | | | | | <i>Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.</i> |
| 1 ou 2 | | | 0-5 | | | | <i>Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.</i> |
| | 2-12 | | 6-12 | | | | |
| 0 | 0 ou 1 | | | | | ✓ | <i>Circulation d'air inutile</i> |

| 4. Dimensions des ouvertures | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|----------|--|------|---|--|
| | | | 0 ou 1 | | 0 | | <i>Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud.</i> |
| | | | | | 1-12 | | <i>Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs</i> |
| | | | 2-5 | | | | |
| | | | 6-10 | | | ✓ | <i>Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.</i> |
| | | | 11 ou 12 | | 0-3 | | <i>Petites, 15 à 25% de la surface des murs.</i> |
| | | | | | 4-12 | | <i>Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs.</i> |

| 5. Position des ouvertures | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--|------|--|--|---|--|
| 3-12 | | | | | | | <i>Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.</i> |
| 1 ou 2 | | | 0-5 | | | | |
| | 2-12 | | 6-12 | | | | <i>Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.</i> |
| 0 | 0 ou 1 | | | | | ✓ | |

6. Protection des ouvertures

| | | | | | | | | | |
|--|--|------|--|--|-----|--|--|---|---|
| | | | | | 0-2 | | | | <i>Se protéger de l'ensoleillement direct</i> |
| | | 2-12 | | | | | | ✓ | <i>Prévoir une protection contre la pluie</i> |

7. Murs et planchers

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|------|--|--|--|--|---|---|
| | | | 0-2 | | | | | | <i>Constructions légères, faible inertie thermique</i> |
| | | | 3-12 | | | | | ✓ | <i>Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures</i> |

8. Toiture

| | | | | | | | | | |
|-------|--|--|------|--|--|--|--|---|--|
| 10-12 | | | 0-2 | | | | | | <i>Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.</i> |
| | | | 3-12 | | | | | | <i>Légère et bien isolée</i> |
| 0-9 | | | 0-5 | | | | | | |
| | | | 6-12 | | | | | ✓ | <i>Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures</i> |

9. Espaces extérieurs

| | | | | | | | | | |
|--|--|------|--|------|--|--|--|---|---|
| | | | | 1-12 | | | | ✓ | <i>Emplacement pour le sommeil en plein air</i> |
| | | 1-12 | | | | | | | <i>Drainage approprié des eaux de pluie</i> |
| | | 3-12 | | | | | | | |

Questionnaire sur l'Utilisation de l'énergie solaire, confort thermique et la consommation énergétique dans les habitations

De : KHECHIBA Abir

Encadrée par : Pr. BENABBAS Moussadek

Biskra le 15/02/2022

Madame, Monsieur ;

Tout d'abord je vous remercie pour votre participation à ce questionnaire qui rentre dans le cadre de la réalisation d'une thèse de doctorat en architecture que je prépare sous l'encadrement de Pr. BENABBAS Moussadek au sein de laboratoire LACOMOFA à l'université Mohamed Khider de Biskra.

Dans cette optique, je me permets de vous solliciter de bien vouloir remplir ce questionnaire et je vous serais reconnaissant si vous cochez par (X) sur la réponse que vous choisissez afin de vous décrire votre propre point de vue, sachant que le questionnaire est anonyme et est élaboré à des fins strictement académiques, ne comportant pas de réponses fausses et d'autres correctes.

D'autre part, je vous informe que votre participation à ce questionnaire est fortement essentielle à la réussite de notre travail de recherche.

Enfin, je vous remercie infiniment pour votre coopération et votre compréhension.

NB : ce questionnaire sera récupéré deux jours après la distribution.

Veuillez agréer mes salutations distinguées

KHECHIBA Abir

Doctorante en architecture

Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes Architecturales et Urbaine "LACOMOFA"

Département d'architecture

Faculté de science et la technologie

Université Mohamed Khider, Biskra : BP 145 RP,0 7000 Biskra, Algérie

Téléphone (portable) : 0697 47 12 10

Première partie : Informations générales

○ **1/Quel âge avez-vous ?**

- < 25
- 25-35
- 36-45
- > 45

○ **2/Qu'elle est votre sexe ?**

- Masculin
- Féminin

○ **3/Combien de personnes vivent dans votre logement?**

- 2
- 3
- 4
- 5
- > 5

○ **4/Quel est votre diplôme le plus élevé ?**

- Pas de diplôme
- Certificat d'études primaires
- BEF ou BEM
- Baccalauréat /Diplôme de technicien
- Baccalauréat + 3 ans (Licence)
- Baccalauréat + 5 ans (Ingénieur ou Master)
- Magister ou Doctorat

○ **5/Quel est le salaire net mensuel de la famille ?**

- < 18 000,00 DA
- Entre 18 000,00 et 36 000,00DA
- Entre 36 000,00 et 54 000,00DA
- Entre 54 000,00 et 72 000,00DA
- Entre 72 000,00 et 90 000,00DA

> 90 000,00DA

○ 6/Quelle est votre adresse ?

.....

○ 7/ Qu'elle est la date de construction de votre maison ?

Avant 1945

Entre 1945 et 1962

Entre 1963 1990

Entre 1991-2000

Entre 2001-2010

Entre 2011-2022

Je ne sais pas

○ 8/Qu'elle est la superficie de votre maison ?

Moins de 100 m2

Entre 100 et 150 m2

Entre 150 et 200 m2

Entre 200 et 250 m2

Plus de 250 m2

Je ne sais pas

○ 9/Qu'elle est la hauteur de votre maison?

.....

○ 10/Combien d'étage dans votre maison ?

Rais de chaussé

2 étages

3 étages

4 étages

Plus

○ 11/Quels est le type de votre logement ?

F1

F2

F3

F4

F5

- 12/Catégorie de maison ?

Individuelle

Semi-collective

Collective

- 13/Quel est le type de vitrage des fenêtres ?

Simple vitrage

Double vitrage

Triple vitrage

- 14/Quelle sont les matériaux et le système de construction de votre maison ?

Traditionnel

Modern

Mixte

Deuxième partie : consommation énergétique

- 15/C'est important pour vous de réduire la consommation énergétique dans votre maison ?

Oui

Non

Je ne sais pas

- 16/L'utilisation de l'énergie dans votre maison provoque-t-elle une pollution de l'environnement ?

Oui

Non

Je ne sais pas

- 17/Est-il possible d'économiser de l'énergie dans votre maison en effectuant les travaux suivants : isolation thermique des murs et de la toiture, installation de fenêtres double vitrage, utilisation d'équipements à basse consommation énergétique, installation de panneaux solaires et photovoltaïques ?

Oui

Non

Je ne sais pas

- 18/Connaissez-vous des personnes ayant adopté des mesures d'investissement pour réduire la consommation énergétique ?

Oui

Non

- 19/Source de chaleur ?

Chauffage au gaz

Chauffage électrique

Chauffage traditionnelle

- 20/Avez-vous d'un système de climatisation ?

Oui

Non

- 21/Avez-vous d'un système de chauffage ?

Oui

Non

- 22/ Généralement, combien d'heures utilisez-vous la lumière naturelle pour bien éclairer votre salle de séjour ?

< 2h

2h-4h

4h-6h

6h-8h

> 8h

- 23/Pendant l'hiver, combien d'heures utilisez-vous les rayonnements solaires pour chauffer votre salle de séjour ?

< 2h

2h-4h

4h-6h

6h-8h

> 8h

- **24/En hiver, combien d'heurs préférez-vous que les rayonnements solaires doivent pénétrer dans votre salle de séjour ?**
 - < 2h
 - 2h-4h
 - 4h-6h
 - 6h-8h
 - > 8h

- **25/La salle de séjour doit avoir une distribution uniforme de l'éclairage ?**
 - Fortement d'accord
 - D'accord
 - Neutre
 - En dés accord
 - FortementEn dés accord

- **26/Pendant la période estivale, combien d'heures profiter vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?**
 - < 2h
 - 2h-4h
 - 4h-6h
 - 6h-8h
 - > 8h

- **27/En été, combien d'heures préférez-vous que la lumière naturelle doit être utilisée dans votre salle de séjour ?**
 - < 2h
 - 2h-4h
 - 4h-6h
 - 6h-8h
 - > 8h

- **28/Durant la période hivernale, combien d'heures profiter vous de la lumière du soleil dans votre salle de séjour ?**
 - < 2h
 - 2h-4h
 - 4h-6h

6h-8h

> 8h

- 29/En hiver, combien d'heures préférez-vous que la lumière naturelle doit être utilisée dans votre salle de séjour ?

< 2h

2h-4h

4h-6h

6h-8h

> 8h

- 30/Au niveau de l'environnement lumineux, êtes-vous d'accord que l'effet global de la lumière naturelle sur votre salle de séjour est satisfaisant ?

Fortement d'accord

D'accord

Neutre

En dés accord

FortementEn dés accord

- 31/Au niveau de l'environnement thermique, êtes-vous d'accord que l'effet global des rayonnements solaires sur votre salle de séjour est satisfaisant ?

Fortement d'accord

D'accord

Neutre

En dés accord

FortementEn dés accord

Troisième partie : le confort thermique

- 32/Pendant la période estivale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?

Très chaud

Chaud

Légèrement chaud

Neutre

Légèrement froid

Froid

Très froid

- 33/Généralement cette sensation implique un état :

Très confortable

Confortable

Peu confortable

Peu inconfortable

Inconfortable

Très inconfortable

- 34/D'après vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période estivale est :

Accepta

inaccept

- 35/En été, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?

Humide

Naturel

sec

- 36/Durant la période hivernale, comment vous sentez par rapport à la température de votre salle de séjour ?

Très chaud

Chaud

Légèrement chaud

Neutre

Légèrement froid

Froid

Très froid

- 37/Généralement cette sensation implique un état :

Très confortable

Confortable

Peu confortable

Peu inconfortable

Inconfortable

Très inconfortable

- 38/D'après vous, l'environnement thermique de votre salle de séjour pendant la période hivernale est :

Accepta

inaccept

- 39/En hiver, comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre logement ?

Humide

Naturel

sec

Quatrième partie : l'utilisation de l'énergie solaire

- 40/Es que vous êtes intéressé d'intégrer un système d'énergie solaire (comme panneaux solaire photovoltaïque pour production d'électricité, afin de réduire la consommation électrique d'électricité surtout dans la période d'été?

Oui

Non

- 41/Comment trouvez-vous l'exploitation de l'énergie solaire dans la ville d'Ouargla ?

Très grand

Grand

Moyen

Faible

Très faible

- 42/A votre avis quel est l'impact du l'utilisation de l'énergie solaire dans les habitats sur la réduction de la consommation énergétique

Très grand

Grand

Moyen

Faible

Très faible

- 43/Au moment de construire/rénover/acheter, Pensez-vous déjà d'utiliser l'énergie solaire dans votre maison afin de réduire la consommation énergétique ?

Oui

Non

- 44/Quelle est les difficultés principales qui vous empêchent de construire des bâtiments à faible ou très faible consommation énergétique ?

Le surcoût des matériaux/techniques à mettre en oeuvre

La difficulté de trouver des informations

Les informations trouvées se contredisent

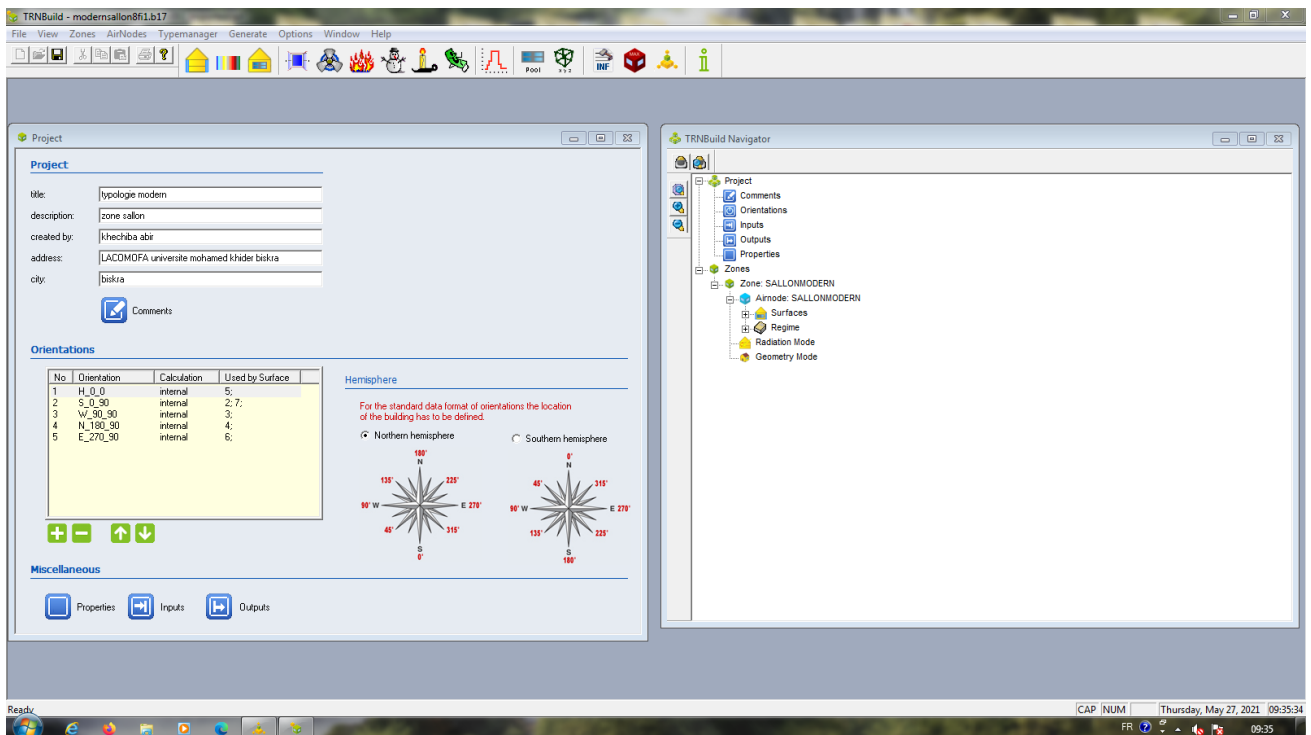
Le manque de formations proposées

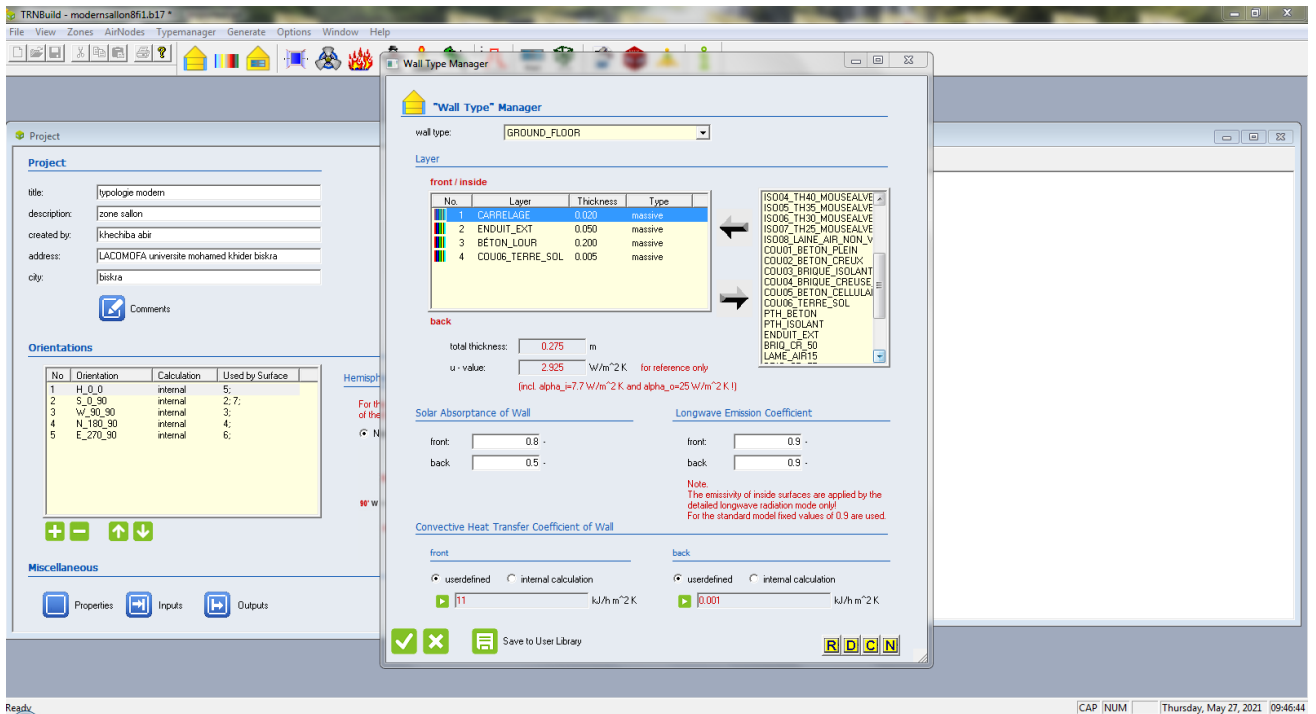
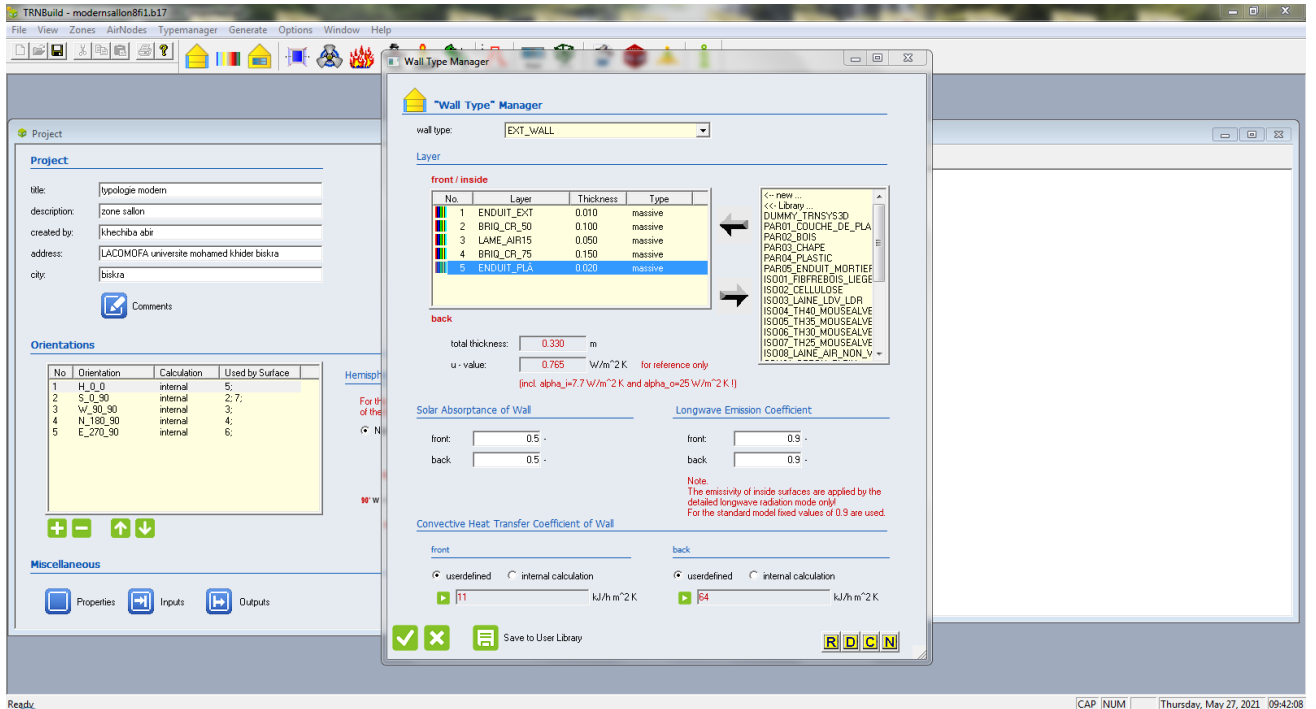
Je ne sais pas

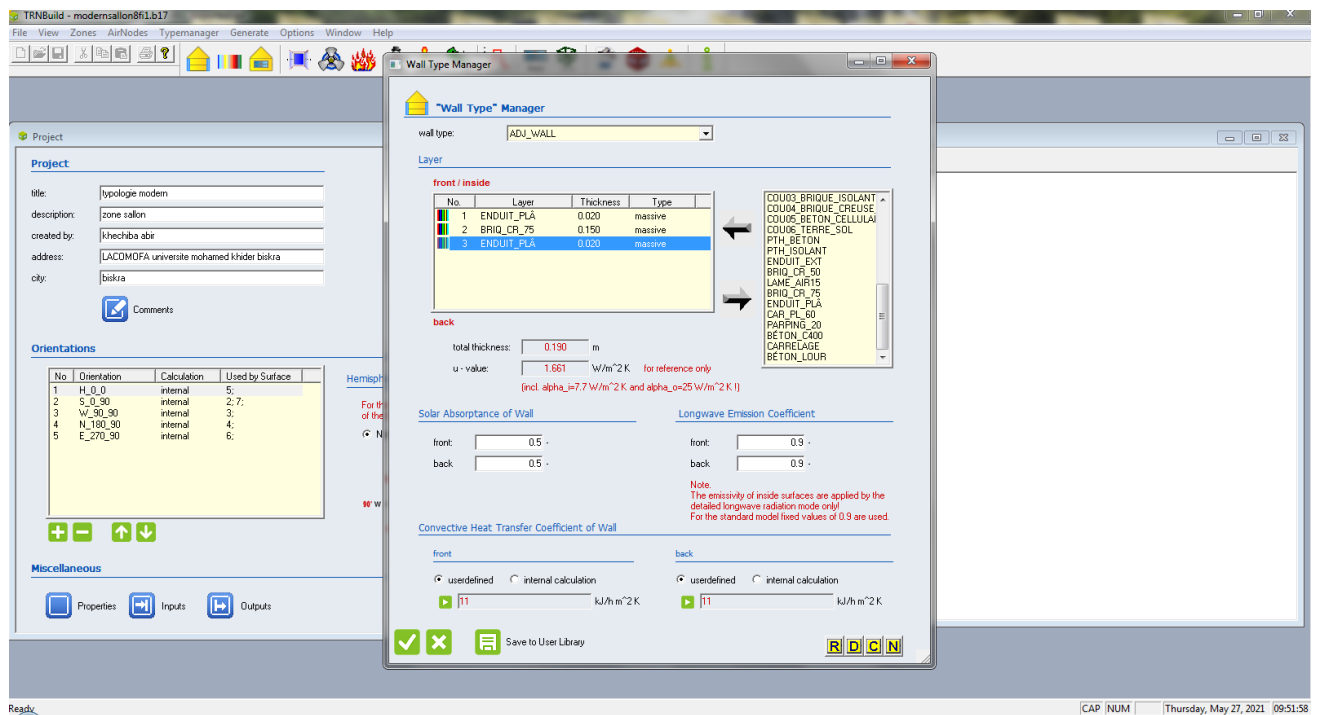
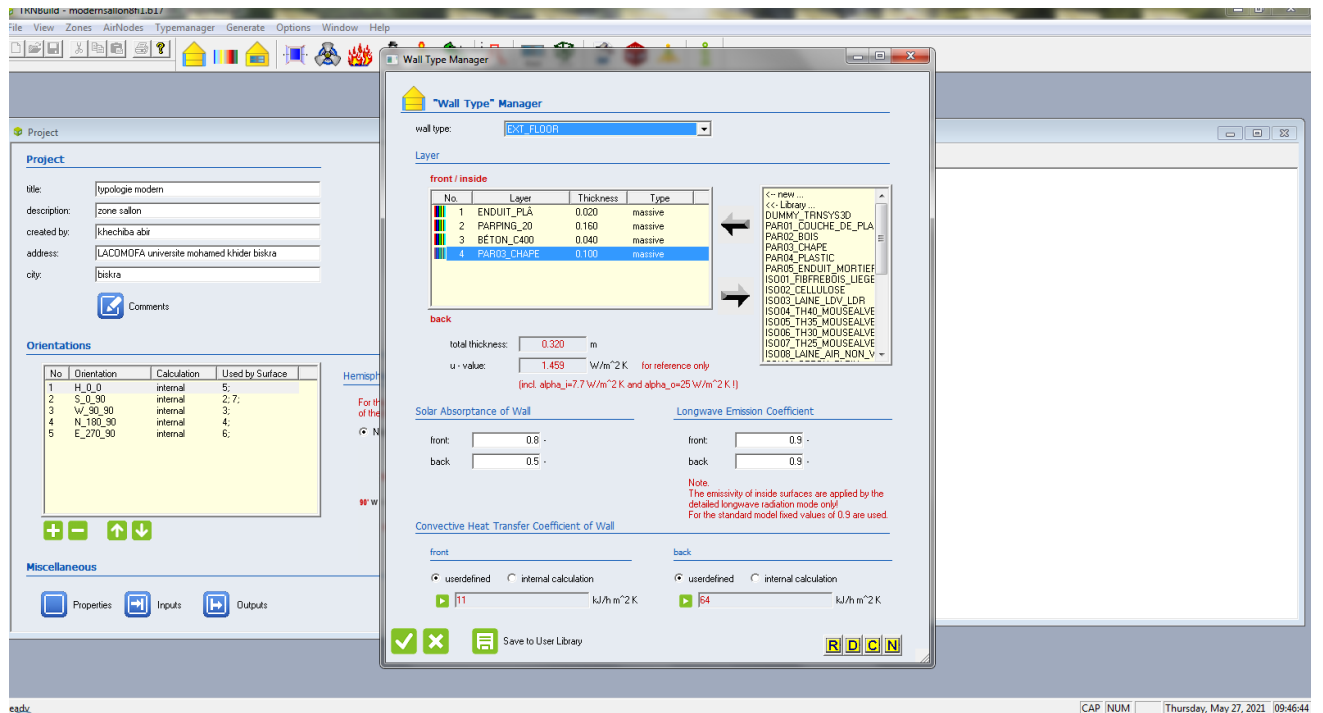
La difficulté de trouver des architectes/corps de métiers compétents

Autres :

Maison moderne (modèle de base)







Maison traditionnelle :

