

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



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم : الهندسة المعمارية  
المرجع

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

## Doctorat en Architecture

Spécialité : Villes et Architecture au Sahara

# Forme urbaine, confort et efficacité énergétique du cadre bâti. Cas de la ville de Ouargla

Présentée par :

**DJEDDOU Boutheina**

Soutenu publiquement le:....--/--/2025..

## Devant le jury composé de :

**Dr. MEZRDI Toufik**  
**Dr. HARAOUBIA Imane**  
**Dr. DAICH Safa**  
**Dr. ABADA Djallel**

**MCA**  
**MCA**  
**MCA**  
**MCA**

**Président**  
**Examinatrice**  
**Rapporteur**  
**Examineur**

**Université de Biskra.**  
**Université de Alger 1.**  
**Université de Biskra.**  
**Université de**  
**Constantine 3.**



## REMERCIEMENTS

Louange à *Dieu*, le Tout-Puissant, Saigneur et maitre de l'univers , merci de m'avoir donné la force le courage et la patience pour arriver là.

قال رسول الله ﷺ: (التحدثُ بنعمة الله شكر، وتركها كفر، ومن لا يشكر القليل لا يشكر الكثير، ومن لا يشكر الناس لا يشكر الله)

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, qui a contribué à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements les plus chère s'adressent en premier lieu à ma famille , a très chère maman et ma chère sœur que je ne remercie jamais assez

J'exprime ma gratitude à ma directrice de thèse Dr **Daïch Safa** , pour son temps ; son soutien, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'elle m'a prodiguée tout au long de la réalisation de ce travail, sans son appui cette thèse n'aurait jamais vue le jour.

Mes vifs remerciements s'adressent aux membres de jury , de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse , et d'évaluer ce modeste travail : le président du jury Dr **Mezrdi Toufik** ainsi que les membres examinateurs ; Dr **Haraoubia Imen** et Dr **ABADA Djallel**

Un immense merci pour ta présence, ton soutien et ton amitié précieuse. Ton écoute, tes encouragements et ta bienveillance ont été une source de force tout au long de ce parcours. Merci du fond du cœur chère amie **Sabrina Soto**.

Mes remerciements les plus sincères s'adresse à ma chère amie Dr **Asma Femmam** pour son aide et sa disponibilité aux moments les plus critiques.

Je remercie profondément Dr Laouni Inès pour toute aide et d'être là au moment très difficile

Je remercie Mr **Hafsi Mostafa** pour ces aides , précieux orientations et le chaleureux accueil à Ouargla

Je n'oublierai les membres de l'association du ksar ورقلة جمعية القصر للثقافة والاصلاح et à leurs tête le président de l'association pour son aide , et c'est grâce à eux que le travaille sur terrain a été accompli .

A toi Nouara , Tu es devenue un véritable membre de la famille. Je n'oublierai jamais tout ce que tu as fait pour moi, et surtout ta prise en charge si généreuse de mes filles. Je n'aurais jamais pu arriver au bout de ce chemin. Mille mercis, du fond du cœur.

Je remercie également Dr **CHARROUF Moncef** pour son aide a chaque fois , Mr Suiret Abdelouha, Mr Khouiled de la DUC de Ouargla, ainsi que l'équipe de Sonelgaz de Biskra pour toute aide et temps consacré.

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon défunt père, qui a tant attendu ce jour-là, et qui a toujours cru en moi et a soutenu dans mes ambitions. Ce travail est le fruit de l'héritage précieux que tu m'as transmis, des valeurs que tu m'as enseignées, de la persévérance et de l'honnêteté. Ta présence m'a accompagné à chaque étape de ce chemin. Que cet aboutissement te rende fier là où tu es*

### *Ma chère maman*

*Je dédie ces lignes avec une gratitude infinie à toi maman. Ton amour inconditionnel, tes sacrifices, ta patience et tes encouragements constants tout au long de mon parcours. Ton soutien moral et ta foi inébranlable en mes capacités ont été ma lumière dans les moments les plus sombres, et une source de force inestimable dans les moments difficiles. Vous êtes et resterez toujours mon pilier.*

### *Ma chère et unique sœur Nadjeh*

*Complice de toujours et véritable alliée, je te remercie pour tous tes sacrifices, tes encouragements sincères et ta présence aux moments les plus dur dont j'ai passé. Ta présence, même à distance, a illuminé ce parcours. Avec toute ma gratitude et mon affection infinie Dhouha.*

### *Mes frères*

*HATEM tu étais toujours là présent pour moi, tu es notre pilier.*

*DJALEL ELDDINE et à ta petite famille : Meriem, Alona et Anous*

### *À mon mari*

*Ta compréhension et ta patience, ton amour et ta présence rassurante, m'ont été une source inestimable de motivation tout au long de ce parcours. Tu as été mon roc tout au long de cette aventure, et je ne pourrais jamais exprimer à quel point ton soutien a été essentiel à l'aboutissement de ce travail. Merci d'avoir partagé avec moi cette aventure Mostefa.*

### *À mes petites princesses d'amour*

*Mes filles adorées Safwa et Seja. Vous êtes ma lumière, et ma joie. Chaque sourire, chaque éclat de rire et chaque instant passé à vos côtés m'ont donné la force de persévérer.*

*Ce travail porte les empreintes de votre bienveillance et de votre dévouement. Que cet accomplissement soit aussi le vôtre.*

*Mme Djeddou.B eps Masmoufi*

## RÉSUMÉ

La demande en énergie dans les zones urbaines ne cesse d'augmenter en raison de la croissance rapide de la population, les villes sahariennes ne font pas exception, où le développement urbain s'accélère, entraînant une hausse de la consommation d'énergie. Dans les climats chauds et arides, la demande énergétique augmente davantage. Afin d'évaluer l'efficacité énergétique des habitations dans les zones arides en Algérie, cette étude se penche sur trois types de quartiers à Ouargla de différentes densités urbaines.

Une enquête sur terrain a été menée à l'aide de questionnaires pour évaluer la qualité du confort thermique extérieur dans les rues et son influence sur l'intérieur des bâtiments, ainsi que sur la consommation énergétique à Ouargla. L'objectif est de concevoir un environnement urbain durable et économe en énergie. La forme urbaine est considérée comme le paramètre clé qui influence le plus l'efficacité énergétique des bâtiments dans un climat chaud et aride.

Cette étude vise à évaluer l'impact de la forme urbaine sur la consommation d'énergie des bâtiments. Les quartiers sélectionnés ont été simulés à l'aide du logiciel DesignBuilder en utilisant les données climatiques spécifiques à la ville d'Ouargla. Différents paramètres ont été étudiés à la fois à l'échelle urbaine et architecturale. Les caractéristiques urbaines, la forme urbaine exprimé par le rapport H/W, aussi le type d'habitation ; les matériaux de constructions, la valeur U et l'épaisseur des murs comme caractéristiques architecturales. Cette étude s'est concentrée sur la saison estivale et a révélé qu'en plus à l'enveloppe du bâtiment ; la forme urbaine a un impact significatif sur la consommation d'énergie, plus la forme est compacte et dense moins est la consommation énergétique.

**Mots clés :** Caractéristiques urbaine, efficacité énergétique, climat chaud et aride, bâtiments résidentiel, enquête in-situ, simulation numérique, DesignBuilder

## ABSTRACT

Energy demand in urban areas is increasing due to rapid population growth, Saharan cities are no exception, where urban development is accelerating, leading to an increase in energy consumption. In hot and arid climates, energy demand increases further. In order to assess the energy efficiency of housing in arid areas in Algeria, this study focuses on three types of neighborhoods in Ouargla with different urban densities.

A field survey was conducted using questionnaires to assess the quality of outdoor thermal comfort in the streets and its influence on the interior of buildings, as well as on energy consumption in Ouargla. The aim is to design a sustainable and energy-efficient urban environment. Urban form is considered as the key parameter that most influences the energy efficiency of buildings in a hot and arid climate.

This study aims to assess the impact of urban form on the energy consumption of buildings. The selected neighborhoods were simulated using DesignBuilder software using climate data specific to the city of Ouargla. Different parameters were studied at both urban and architectural scales. Urban characteristics, urban form expressed by the H/W ratio and orientation, also the style of the dwelling; construction materials, U-value and wall thickness as architectural features. This study focused on the summer season and revealed that in addition to the building envelope; urban form has a significant impact on energy consumption, the more compact and denser the form is the month is the energy consumption.

**Keywords:** Urban characteristics, energy efficiency, hot and arid climate, residential buildings, in-situ survey, numerical simulation, DesignBuilder

## المخلص:

يستمر الطلب على الطاقة في المناطق الحضرية في الارتفاع بسبب النمو السكاني السريع، والمدن الصحراوية ليست استثناء، حيث تتسارع التنمية الحضرية، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة. وفي المناخات الحارة والجافة، يزداد الطلب على الطاقة بشكل أكبر. من أجل تقييم كفاءة استخدام الطاقة للمنازل في المناطق القاحلة في الجزائر، تبحث هذه الدراسة في ثلاثة أنواع من الأحياء في ورقلة ذات كثافات حضرية مختلفة.

تم إجراء مسح ميداني باستخدام استبيانات لتقييم جودة الراحة الحرارية الخارجية في الشوارع وتأثيرها على المناطق الداخلية من المباني، وكذلك على استهلاك الطاقة في ورقلة. الهدف هو تصميم بيئة حضرية مستدامة وموفرة للطاقة. يعتبر الشكل الحضري المعلمة الرئيسية التي تؤثر بشكل كبير على كفاءة استخدام الطاقة في المباني في المناخ الحار والجاف.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الشكل الحضري على استهلاك الطاقة في المباني. تمت محاكاة الأحياء المختارة باستخدام برنامج DesignBuilder باستخدام البيانات المناخية الخاصة بمدينة ورقلة. تمت دراسة عوامل مختلفة على المستوى الحضري والمعماري. الخصائص الحضرية، والشكل الحضري الذي يعبر عنه بنسبة الارتفاع إلى العرض والتوجه، وكذلك نمط السكن؛ مواد البناء والقيمة U وسمك الجدار بالإضافة إلى الميزات المعمارية. ركزت هذه الدراسة على فصل الصيف وكشفت أنه بالإضافة إلى غلاف المبنى؛ للشكل الحضري تأثير كبير على استهلاك الطاقة، فكلما كان الشكل أكثر إحكاما وكثافة كلما قل استهلاك الطاقة.

**الكلمات المفتاحية:** الخصائص الحضرية، كفاءة الطاقة، المناخ الحار والجاف، المباني السكنية، التحقيق في الموقع، المحاكاة الرقمية، DesignBuilder

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE .....	II
RÉSUMÉ.....	III
ABSTRACT.....	IV
المخلص.....	IV
TABLE DES MATIERES .....	XI
LISTE DES FIGURES .....	XII
LISTE DES FIGURES .....	XII

### CHAPITRE INTRODUCTIF : INTRODUCTION GENERALE

I. Background.....	1
II. Problématique de recherche :.....	4
III. Structure de la thèse :.....	8
IV. Approche Méthodologique :.....	9
V. Motivation et choix du cas d'étude : .....	10

### CHAPITRE I : FORME URBAINE ET CONFORT THERMIQUE

INTRODUCTION.....	12
I. MORPHOLOGIE URBAINE.....	13
II.LA FORME URBAINE.....	14
II.1. L'approche de la forme urbaine comme forme du paysage urbain,.....	15
II.2. L'approche de la forme urbaine comme forme sociale (ou morphologie sociale),.....	15
II.3. L'approche de la forme urbaine comme forme des tissus urbains.....	15
II.4. L'approche de la forme urbaine comme forme des tracés urbains .....	15
II.5. L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique.....	15
III. FORME URBAINE ET CONFORT THERMIQUE.....	16

III.1. Ilot de chaleur urbain et son effet sur le confort thermique extérieur .....	17
III.2. Les paramètres de conception urbaine affectant le microclimat .....	18
III.2.1. L'intensité d'utilisation du sol : .....	19
III.2.2. La forme du bâti : .....	20
III.2.3. La géométrie du canyon : .....	20
III.2.4. L'enceinte de l'espace : .....	21
III.2.5. Les caractéristiques descriptives : .....	21
III.3. La végétation .....	22
IV. LA MORPHOLOGIE URBAINE DES VILLES SAHARIENNE .....	23
IV.1. Forme urbaine de la ville saharienne.....	25
IV.2. L'adaptation de la ville et le bâtiment saharien au climat local : .....	27
IV.2.1. Stratégies d'adaptation du bâtiment Saharien.....	28
IV.2.2. L'échelle urbaine .....	29
IV.2.2.1.Géométrie urbaine.....	29
IV.2.2.2.La végétation.....	30
IV.2.2.3.L'Ombrage.....	31
IV.2.2.4.L'orientation .....	32
IV.2.3. L'échelle architectural .....	33
IV.2.3.1.La forme du bâtiment : introvertie .....	34
IV.2.3.2.La Ventilation naturelle .....	36
IV.2.3.3.Les matériaux de construction : .....	37
CONCLUSION.....	38

## **CHAPITRE II : FORME URBAINE ET EFFICACITE ÉNERGETIQUE**

INTRODUCTION .....	39
I. L'EFFICACITE ENERGETIQUE A L'ECHELLE URBAINE OU A L'ECHELLE ARCHITECTURAL.....	40
II.L'EFFET DU CLIMAT LOCAL SUR LA CONSOMMATION ET LA DEMANDE ENERGETIQUE.....	41
III. L'ENERGIE ET LA FORME DE LA VILLE.....	42
III.1. Energie de transports et Formes urbaines .....	43
III.2. Effet de La forme Urbaine sur l'efficacité Énergétique .....	45

III.2.1. Effet de la compacité de la ville sur l'efficacité Énergétique .....	46
III.2.2. Effet de la géométrie urbaine sur l'efficacité Énergétique .....	48
III.3. L'efficacité énergétique du bâtiment.....	50
III.3.1. L'effet de la forme des bâtiments sur l'efficacité énergétique .....	51
III.3.2. L'effet de l'enveloppe du bâtiment sur la consommation énergétique.....	52
III.3.3. L'effet de l'orientation du bâtiment sur la consommation énergétique.....	53
IV. TRAVAUX EXAMINANT LA RELATION ENTRE LA FORME URBAINE ET ARCHITECTURALE SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	54
CONCLUSION.....	62

### CHAPITRE III : CAS D'ETUDE

INTRODUCTION .....	63
I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DU CAS D'ETUDE .....	64
I.1. Situation géographique de la ville de Ouargla .....	64
I.1. Le contexte climatique : .....	64
I.2. Climat chaud et aride.....	65
I.3. L'adaptation au conditions climatiques.....	65
II.LA CROISSANCE URBAINE DES VILLES SAHARIENNES : UNE VOLONTE POLITIQUE.....	66
III. EVOLUTION HISTORIQUE DE LA VILLE DE OUARGLA .....	67
III.1. La morphologie de la ville de Ouargla.....	68
III.1.1. Ville Vernaculaire : la ville Ksourienne compacte .....	69
III.1.2. Ville coloniales (le triangle militaire).....	71
III.1.3. Ville Moderne : la ville fragmenté (éclatée).....	73
IV. CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE .....	74
IV.1. Le quartier traditionnel : le Ksar .....	75
IV.2. L'agglomération nomade : Quartier Said Otba-1.....	76
IV.3. L'intervention de l'état ou les ZHUN :La cite des 460 logements collectifs:.....	77
IV.4. Caractéristiques urbaines : .....	80
IV.4.1. Quartier traditionnel.....	80
IV.4.2. Quartier moderne .....	81
IV.4.3. Quartier collectif .....	83
IV.5. Caractéristiques architecturales.....	85

IV.5.1. Habitats traditionnels .....	85
IV.5.2. Habitats individuels : planifier – spontané.....	86
IV.5.3. Habitats collectifs / semi collectif.....	87
CONCLUSION.....	88

## CHAPITRE IV : APPROCHE METHODOLOGIQUE

INTRODUCTION .....	89
I. APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	90
I.1. Effet de la forme urbaine sur l’efficacité énergétique.....	90
I.2. Évaluation des paramètres affectant l’efficacité énergétique des maisons traditionnelles.....	97
II. ELABORATION DU MODELE D’ANALYSE.....	101
II.1. Enquête in-situ par Questionnaire .....	103
II.1.1. Objectif du Questionnaire :.....	105
II.1.2. Zone d’enquête : Population ciblé de l’étude .....	105
II.1.3. Période de l’enquête.....	106
II.1.4. Structure du Questionnaire : .....	106
II.1.5. Procédure et stratégie de collecte de données.....	107
II.1.6. Sélection et échantillonnage .....	107
II.1.7. Méthodes d’analyse :.....	108
II.2. Simulation numérique : .....	108
II.2.1. Présentation du logiciel DesignBuilder .....	109
II.2.2. Collecte des données.....	110
II.2.3. Protocole de simulation numérique .....	111
II.2.4. Les données d’entrée : .....	111
II.2.4.1. Période de l’étude.....	111
II.2.4.2. Données climatiques.....	112
II.2.4.3. Caractéristiques physiques :.....	112
II.2.4.3.1 Echelle urbaine :.....	112
II.2.4.3.2. Échelle architecturale :.....	113
II.2.4.3.3. La sélection des bâtiments référence .....	114
II.3. Le relevé de la consommation réelle d’énergie électrique des quartiers d’étude.....	115
II.4. La validation par les données de consommation énergétique réelle .....	116

II.4.1. La méthode de la calibration.....	117
II.4.2. La corrélation.....	117
CONCLUSION.....	118

## CHAPITRE V : ENQUETE IN-SITU

INTRODUCTION .....	119
I. ENQUETE PAR QUESTIONNAIRE :.....	120
II. ANALYSE DESCRIPTIVE : .....	120
II.1. Le nombre et le genre.....	120
II.2. Analyse de l'environnement thermique :.....	122
II.2.1. Le début de la saison estivale : .....	123
II.2.2. Les sensations thermiques à l'intérieur et à l'extérieur : .....	123
II.3. Analyse de la consommation énergétique.....	125
II.3.1. L'importance de l'utilisation des climatiseurs pour refroidissement intérieur .....	125
II.3.2. L'utilisation des espaces extérieurs et l'effet de la forme urbaine.....	128
II.3.3. Fréquentation des espaces extérieurs.....	129
II.3.4. La satisfaction thermique dans les espaces extérieure :.....	132
II.3.5. L'effet des climatiseurs sur les conditions thermiques extérieur .....	133
II.3.6. Les propositions d'amélioration des conditions thermique extérieures.....	133
CONCLUSION.....	135

## CHAPITRE VI : INVESTIGATION ET APPLICATION DU MODÈLE

INTRODUCTION .....	136
I. EXPERIMENTATION ET SIMULATION NUMERIQUE.....	137
II. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	137
II.1. L'intensité de l'énergie solaire.....	139
II.2. Effet de la forme urbaine sur le confort thermique du bâtiment résidentiel .....	139
II.3. Évaluation du confort thermique du bâtiment résidentiel .....	142
II.4. Effet de la forme urbaine sur la consommation d'énergie électrique pour le refroidissement.....	144
II.4.1. Echelle urbaine : .....	145
II.4.2. Echelle architecturale :.....	147
II.5. Évaluation de la consommation énergétique du bâtiment résidentiel isolé .....	148

II.5.1. Quartier traditionnel Ksar .....	148
II.5.1.1. Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement.....	150
II.5.1.2. Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total.....	151
II.5.2. Quartier de Saïd Otba-1 .....	152
II.5.2.1.Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement.....	154
II.5.2.2.Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total.....	155
II.5.3. Quartier des 460 logements collectifs.....	156
II.5.3.1.Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement.....	158
II.5.3.2.Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total.....	159
III. LA VALIDATION DES RESULTATS .....	161
III.1. Calcule de pourcentage d'erreurs.....	162
III.2. La validation des résultats de la consommation d'énergie électrique.....	162
IV. CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES.....	165
IV.1. Le confort thermique.....	165
IV.2. La consommation énergétique .....	167
CONCLUSION.....	172

## CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION.....	173
RECOMMANDATION .....	175
LIMITES DE LA RECHERCHE .....	176
PISTE DE FUTURE RECHERCHES : .....	177
BIBLIOGRAPHIE.....	178
ANNEXES .....	195

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Schématisation de la structure de la thèse. (Source : Auteur).....	9
<b>Figure I.1:</b> Vue d'ensemble d'en haut de la ville de Ghardaïa (à droite) , vue d'un passage couvert (à gauche) .(Source: Roche, 2003).....	26
<b>Figure I.2 :</b> Cas d'étude à Tunis : traditionnels, coloniaux et réglementés (de gauche à droite) (Source : Achour-Younsi, S., et al, 2016).....	30
<b>Figure I.3:</b> Coupe schématique de la rue et la cour (Source : auteur).....	32
<b>Figure I.4:</b> Conception urbaine compacte. (Source : Ergün, et al 2024). ....	32
<b>Figure I.5:</b> Utilisation de l'orientation du bâtiment pour le refroidissement passif (Source : Ergün, et al 2024 ) .....	33
<b>Figure I.6:</b> Plan schématisation de la configuration de la maison traditionnelle. (Source : Auteur) .....	35
<b>Figure I.7:</b> Vue axonométrie d'une maison introvertie à Ghardaïa .(Source : Bousquet, C. , 2002). .....	35
<b>Figure I.8:</b> Analyse des performances thermiques de la cour centrale la nuit. (Source Kelili et al 2014) .....	36
<b>Figure II.1 :</b> La consommation énergétique final totale par secteur. (Source IEA, World Energy Balances Overview 2017). ....	44
<b>Figure II.2:</b> Les paramètres urbains qui affecte la consommation énergétique. (Source Mutani., et al 2020) .....	45
<b>Figure II.3 :</b> Différent rapport d'aspect (H / L) de rue canyon (Source: Bougiatioti. 2006). ....	49
<b>Figure II.4:</b> Orientation idéale d'un bâtiment en fonction de la course solaire tout au long de l'année. (Source : Toroxel, et al, 2024) .....	54
<b>Figure II.5 :</b> Répartition horaire de la température de l'air intérieur en salle 3, cas à enveloppes massives et calorifugées (21 janvier et 21 juillet). (Source Sözen.I., et all, 2019) .....	58
<b>Figure II.6:</b> La variation de la consommation d'énergie annuelle et les charges d'énergie de chauffage et de refroidissement totales mensuelles. (Source Sözen.I., et all, 2019) .....	58
<b>Figure II.7 :</b> Présence de végétation et de l'eau dans une cours d'une maison traditionnelle.(Source : Toroxel, et al 2024).....	60
<b>Figure III.1 :</b> Localisation de Ouargla en Algérie. (Source: Auteur 2023) .....	64
<b>Figure III.2 :</b> Températures mensuelles. (Source : METEONORM 2023) .....	65
<b>Figure III.3 :</b> Durée d'ensoleillement (Source : METEONORM 2023) .....	65
<b>Figure III.4 :</b> L'évolution historique de la ville de Ouargla : 1952, 1968, 2010 (Source: Ali Bensaad 2013).....	68
<b>Figure III.5 :</b> Evolution urbaine de la ville de Ouargla, l'émergence du tissu coloniale (Source : PDAU de Ouargla 2019).....	72
<b>Figure III.6 :</b> Vu du grand boulevard d'habitat collectif et tramway à Ouargla. (Source: Auteur 2023) .....	74
<b>Figure III.7 :</b> Localisation des quartiers choisis pour l'étude (Source: Auteur 2023) .....	75
<b>Figure III.8 :</b> Plan du quartier d'étude : Ksar (Source : DUAC Ouargla 2020).....	76

<b>Figure III.9</b> : Vue sur le quartier S.O-1 (Source : Auteur 2023) .....	77
<b>Figure III.10</b> : POS M'khadema, situation de la Cité 460 Logements Collectifs (Source: DUC 2002) .....	78
<b>Figure III.11</b> : Les escapes ouvertes de la cite des 460 Lgts (Source : auteur d'après POS 3B 2002) .....	79
<b>Figure III.12</b> : Les espaces extérieurs de la cite des 460 Lgts. (Source: auteur 2023) .....	79
<b>Figure III.13</b> : L'étroitesse d'une ruelle et la densité du Ksar (Source : Auteur 2023) .....	81
<b>Figure III.14</b> : Plan du quartier d'étude : SaidOtba-1(S.O-1) (Source : DUAC Ouargla 2020)..	82
<b>Figure III.15</b> : Profile des rues du lotissement S.O-1 (Source : auteur Mai 2023).....	82
<b>Figure III.16</b> : Vue des rues et façades du quartier S.O-1. (Source: Auteur 2023) .....	83
<b>Figure III.17</b> : Plan de la Cité 460 Logement collectif. (Source : DUAC Ouargla 2020).....	83
<b>Figure III.18</b> : Vue des espaces extérieurs de la cité des 460 logements collectifs (Source: Auteur 2023) .....	84
<b>Figure III.19</b> : Vue des espaces extérieurs et façades de la cité des 460 logements collectifs (Source: Auteur 2023).....	84
<b>Figure III.20</b> : Matériaux de construction au Ksar: Toub à base de Timchemt (Source : auteur 2023) .....	85

<b>Figure IV.1</b> : Plan type et texture d'établissements alternatifs. (Source : Kocagil, et al., 2015). 91	
<b>Figure IV.2</b> : La géométrie urbaine du complexe de deux bâtiments et l'emplacement de la cour extérieure. (Source Abdallah. A.; 2015) .....	92
<b>Figure IV.3</b> : Plan d'étage du bâtiment de référence (a) et variantes de texture urbaine (b). (Source : Mangan et al. ,2018) .....	93
<b>Figure IV.4</b> : Sections de rues alternatives pour l'évaluation du confort thermique extérieur. (Source Mangan et al. ,2018).....	94
<b>Figure IV.5</b> : La représentation schématique de l'approche utilisée dans l'étude. (Source Mangan, et al., 2020 ) .....	95
<b>Figure IV.6</b> : Planifiez des alternatives avec un plan d'étage carré (a) et un plan d'étage rectangulaire (b). (Source Mangan, et al., 2020 ) .....	96
<b>Figure IV.7</b> : A gauche : La maison sélectionnée avec l'environnement immédiat. A droite : Le plan du premier étage de la maison sélectionnée. (Source : Sözen.I, et all ,2019).....	97
<b>Figure IV.8</b> : Formes bâties urbaines génériques à pavillon, b terrasse, c cour et d tunnel-cour (à gauche), section montrant l'angle de coupure (à droite). (Source : Ahmadian E., et al.,2019) ..	100
<b>Figure IV.9</b> : Schéma de la méthodologie de travail. (Source : Auteur) .....	103
<b>Figure IV.10</b> : Flux de travail du logiciel DesignBuilder. (Source: <a href="https://www.batisim.net/55-designbuilder.html">https://www.batisim.net/55-designbuilder.html</a> ) .....	110
<b>Figure IV.11</b> : Profiles des rues des quartiers d'étude. (Source : Auteur) .....	112
<b>Figure IV.12</b> : Modèles numériques des trois quartiers: Ksar (a), S.O-1 (b), 460 Lgts (c). (Source : Auteur) .....	114

<b>Figure V.1</b> : Distribution âge des personnes interrogées dans les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023) .....	121
<b>Figure V.2</b> : Distribution sexe des personnes interrogées dans les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).....	121
<b>Figure V.3</b> : Nombre d'années vécu dans les quartiers. (Source : Auteur Mai 2023). .....	122

<b>Figure V.4:</b> Début de la saison estival dans les différents quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).	123
<b>Figure V. 5:</b> Sensation thermique à l'extérieur et à l'intérieur. (Source : Auteur Mai 2023).	124
<b>Figure V.6:</b> l'électroménager les plus utilisé en été. (Source : Auteur Mai 2023).	125
<b>Figure V.7:</b> L'importance de l'utilisation du climatiseur pour le refroidissement. (Source : Auteur Mai 2023).	126
<b>Figure V.8:</b> Le moment de la journée d'éteindre le climatiseur. (Source : Auteur Mai 2023).	126
<b>Figure V.9:</b> Moment de la journée de refroidissement mécanique des trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).	127
<b>Figure V.10:</b> Heures de la journée de refroidissement mécanique des trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).	128
<b>Figure V.11:</b> Raison et moment de sortir pour les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).	129
<b>Figure V.12:</b> A gauche espace le plus fréquenté par les habitants des trois quartiers. A droite qualité de l'espace fréquenté a la maison. (Source : Auteur Mai 2023).	130
<b>Figure V.13:</b> Espace extérieur fréquenté par les habitants climatise ou non. (Source : Auteur Mai 2023).	130
<b>Figure V.14 :</b> Les raisons de sortie des habitants en été. (Source : Auteur Mai 2023).	131
<b>Figure V.15:</b> Nombre de fois de fréquentations des espaces extérieurs et le temps passé à l'extérieur. (Source : Auteur Mai 2023).	131
<b>Figure V.16:</b> Satisfaction thermique des espaces extérieurs. (Source : Auteur Mai 2023).	132
<b>Figure V.17:</b> L'effet des climatiseurs sur le réchauffement extérieur. (Source : Auteur Mai 2023).	133
<b>Figure V.18</b> facteurs aident a baissé les températures extérieures. (Source : Auteur Mai 2023).	134
<b>Figure VI.1</b> Présentation du modèle 3D du l'ancienne ville Ksar (A) maison avec environnement urbain, (B) maison isolée.	135
<b>Figure VI.2 :</b> Présentation du modèle 3D du quartier Said Otba-1: (A) avec environnement urbain, (B) bâtiment isolé.	135
<b>Figure VI.3:</b> Présentation du modèle 3D de la cité 460 Lgts: (A) apparemment avec environnement urbain, (B) apparemment isolé.	135
<b>Figures VI.4:</b> Quantité d'énergie solaire direct reçu dans la ville de Ouargla en kWh/m <sup>2</sup> .	136
<b>Figure VI.5:</b> Variations des températures de l'air durant la période de pic.	137
<b>Figure VI.6 :</b> Variations journalière des températures de l'aire pour les trois cas avec l'environnement bâti urbain. Cas : Ksar (A), S.O-1(B), 460 Lgts (C)	138
<b>Figure VI.7:</b> Variations des températures durant la saison estivale aux quartiers d'étude.	139
<b>Figure VI.8:</b> Comparaison du nombre d'heures d'inconforts pour les trois cas d'étude.	140
<b>Figure VI.9:</b> Consommation d'électricité pour le refroidissement (kWh)	143
<b>Figure VI.10:</b> Besoin total d'électricité pour le refroidissement (kWh)	143
<b>Figure VI.11:</b> Consommation et besoins d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans la maison type au Ksar.	146
<b>Figure VI.12:</b> L'énergie électrique consommer par la maison type (Ksar) des deux cas.	148
<b>Figure VI.13:</b> L'énergie demander pour le refroidissement total de la maison type au Ksar avec la forme urbaine et le cas isolé.	149

<b>Figure VI.14:</b> Consommation et besoin d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans la maison (S.O-1). .....	150
<b>Figure VI.15:</b> L'énergie électrique consommée par la maison type (S.O-1) avec et sans environnement urbain bâti. ....	151
<b>Figure VI.16:</b> L'énergie demandée pour le refroidissement total de la maison type au quartier S.O-1 avec et sans la forme urbaine. ....	153
<b>Figure VI.17:</b> Consommation et besoin d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans l'appartement (460 Lgts). ....	154
<b>Figure VI.18 :</b> L'énergie électrique consommée par l'appartement type (460 Lgts) avec et sans environnement urbain bâti. ....	155
<b>Figure VI.19:</b> L'énergie demandée pour le refroidissement total de l'appartement type avec et sans la forme urbaine. ....	156
<b>Figure VI.20:</b> Pourcentage d'erreur pour les trois cas : Ksar(A), S.O-1 (B), 460 Lgts (C) .....	160
<b>Figure VI.21:</b> Corrélation entre la satisfaction thermique et les heures d'inconfort dans les trois cités de l'étude : Ksar (A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C). ....	162
<b>Figure VI.22:</b> Corrélation entre la consommation d'énergie électrique pour le refroidissement et la satisfaction des conditions thermique intérieure pour les trois cités de l'étude Ksar(A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C). ....	164
<b>Figure VI.23:</b> Corrélation entre les besoins d'énergie électrique pour le refroidissement total et la fréquentation des espaces extérieurs pour les trois cités de l'étude Ksar(A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C). ....	165

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 :</b> Littérature sur l'effet combiné de la géométrie urbaine et de la végétation. (Source: Lin,P., et al., 2017).....	23
<b>Tableau II.1 :</b> Les quatre principaux types de climat proposer par Olgyay. Source : Olgyay , 1963. .....	42
<b>Tableau IV.1:</b> Propriétés physiques et thermiques des murs massifs et conventionnels modélisés. (Source Sözen.I., et all. ,2019).....	98
<b>Tableau IV.2:</b> Charges annuelles de chauffage, de refroidissement et d'énergie totales pour tous les cas. (Source Sözen.I., et all. ,2019) .....	98
<b>Tableau IV.3:</b> Détails des caractéristiques urbaine du cas d'étude . (Source : Auteur).....	113
<b>Tableau IV.4 :</b> Détails des maisons typiques pour chaque cas d'étude. (Source : Auteur).....	113
<b>Tableau IV.5 :</b> La composition spatiale des maisons au quartier S.O-1. (Source : Auteur).....	116
<b>Tableau VI.1:</b> Variation des températures de l'air dans les trois quartiers de l'étude.....	142
<b>Tableau VI.2:</b> Nombre d'heures d'inconfort pour chaque quartier de l'étude. ....	143
<b>Tableau VI.3:</b> L'énergie électrique mensuelle consommée durant les cinq mois pour les trois maisons types. ....	144
<b>Tableau VI.4:</b> Besoin en énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de la maison au quartier traditionnel Ksar isolé. ....	148
<b>Tableau VI.5:</b> Evaluation de l'électricité consommer pour le refroidissement de la maison au Ksar dans les deux cas dans sa forme urbaine et isolé. ....	150
<b>Tableau VI.6:</b> Les besoins en énergie électrique pour le refroidissement totale de l'appartement avec l'environnement bâti et isolé. ....	151
<b>Tableau VI.7:</b> Demande d'énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de la maison au quartier S.O-1 isolé.....	152
<b>Tableau VI.8:</b> Evaluation de la différence de l'électricité consommer pour le refroidissement de la maison au quartier S.O-1 dans sa forme urbaine et isolé.....	154
<b>Tableau VI.9:</b> La demande de l'énergie électrique pour le refroidissement totale de la maison au quartier S.O-1 avec l'environnement et sans environnement bâti.....	155
<b>Tableau VI.10 :</b> Demande d'énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de l'appartement au quartier des 460 Lgts isolé .....	157
<b>Tableau VI.11:</b> Evaluation de la différence de l'électricité consommer pour le refroidissement de l'appartement dans sa forme urbaine et isolé.....	158
<b>Tableau VI.12:</b> Les besoins de l'énergie électrique pour le refroidissement totale de l'appartement avec l'environnement et sans environnement bâti.....	159
<b>Tableau VI.13:</b> Les données réelles de la consommation énergétique pour chaque quartier....	162
<b>Tableau VI.14:</b> Calcul du pourcentage d'erreur mensuel.....	162
<b>Tableau VI.15:</b> Calcule de pourcentage d'erreur mensuelle pour les trois cas d'étude.....	163

# CHAPITRE INTRODUCTIF :

## INTRODUCTION GENERALE

*“Rien de grand ne s’est jamais accompli dans le monde sans passion”*

Friedrich Hegel

## I. Background

La ville ; le développement durable et le développement urbain ces dernières années ont eu une prise en considération importante à travers les recherches ; les conférences et les rencontres scientifiques organisées, citant par exemple World Urban Forum 5 (UN-Habitat, 2010) et Sustainable Development and Planning (Wessex Institute of Technology, 2011), et beaucoup d'autres .... Cela afin de créer un environnement urbain durable.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) les changements climatiques en causé une augmentation de la température de l'air de 2°C par décennie au cours du prochain siècle. Par exemple, les vagues de chaleur seront plus fortes et dureront plus longtemps. Ceci est un problème en particulier dans les régions à climat chaud et les conséquences comprennent une augmentation du stress thermique et d'autres maladies liées à la chaleur. De plus, la performance humaine des tâches mentales et physiques diminue à des températures très élevées et dans une ambiance inconfortable. (Harlan et al., 2006).

En plus au réchauffement climatique les villes sont également exposées au phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU). L'ampleur de ce dernier dépend principalement de la taille de la ville et de ses caractéristiques climatiques locales (Arnfield., 2003). Pendant les jours d'été extrêmes dans les zones à climat chauds et arides, l'intensité de l'ICU tend à être plus élevée en raison du rayonnement solaire extrême, de l'humidité relative faible et du manque de plans d'eau et de végétation. Ces facteurs conduisent significativement à l'inconfort thermique intérieur et extérieur (Mohammed A., 2016). Et afin de réduire les impacts climatiques négatifs dans nos villes, les acteurs du développement urbain, de la planification et du design doivent commencer à intégrer les connaissances climatiques dans les stratégies de planification et à créer des liens entre microclimat, confort thermique, design et urbanisme.

Depuis que le changement climatique a été reconnu comme un défi mondial critique (Hamin, E. et al., 2009), la préservation de l'environnement et la conservation de l'énergie en tant que deux objectifs complémentaires ont donné lieu à un large éventail de politiques et de réglementations impliquant différents niveaux (Anderson, W., et al., 1996) et différents sujets, des processus industriels à la mobilité et au secteur du bâtiment. L'Accord de Paris et le Pacte climatique de Glasgow sont des exemples bien connus d'efforts internationaux collaboratifs en 2015 et 2021, respectivement. Au niveau de la ville, la forme urbaine serait un élément

essentiel à prendre en compte dans la planification urbaine afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment (Anderson, W., et al.,1996).

Certains auteurs qui ont travaillé sur le climat urbain en période estivale, considèrent que la modification du climat en ville ne résulte pas tant de la source additionnelle de chaleur dégagée par les activités humaines que du changement des propriétés de la surface – imperméabilité des revêtements, matériaux de grande capacité thermique et retrait de la végétation créant un environnement propice au piégeage du rayonnement solaire (Pigeon, G., et al, 2008). Certain d'autre considère que le microclimat urbain et le confort thermique extérieur sont généralement peu pris en compte dans les processus de conception et de planification urbaine (Eliasson, 2000, Johansson, 2006).

Le phénomène de l'urbanisation rapide des villes est devenu aussi un des plus importants sujets de la planification urbaine et le développement urbain. Ce phénomène entraîne souvent un impact négatif sur l'environnement ; dont les modifications du microclimat urbain. La forte densité de population et la végétation limitée et beaucoup d'autre facteurs sont aussi engendrant l'altération du climat de la ville.

Des études récentes ont révélé que la diversité de la géométrie urbaine, telle qu'on la retrouve dans les zones urbaines traditionnelles, a des conséquences positives sur l'amélioration du microclimat urbain par rapport aux zones urbaines qui ont des formes plus régulières. La diversité des formes urbaines avec des modèles de rues variables, des tailles de parcelles irrégulières et des hauteurs de construction dans les zones traditionnelles peut aider à abaisser la température de l'air ( $T_a$ ) ainsi que la température radiante moyenne ( $T_{mrt}$ ) par rapport aux zones régulières ( Tania .S., et al., 2016).

Dans la ville de Fès, Johansson (2006) a trouvé que les formes urbaines actuelles (construction à faible hauteur et une couverture au sol très faible) garantis l'accès de la lumière du jour pour les bâtiments. Cela peut être pertinent pour la période hivernale où la hauteur solaire est faible et où le chauffage passif des bâtiments est souhaité. Par contre en période estivale ceci engendre un microclimat défavorable pour les espaces extérieures.

En Arabie Saoudite, d'après l'étude sur la forme urbaine actuelle évoquée par Al-Hemaidi (2001) et Eben Saleh (2001) l'urbanisation nouvelle a conduit à un microclimat extérieur indésirable, qui est caractérisé par des plans en grille avec de larges rues où sont peu élevée et constructions extrêmement dispersées par conséquence ils sont totalement dépourvus d'ombrage.

Toutes les études soulignent l'importance primordiale du rapport Hauteur / Largeur (H / W) et de l'orientation de la rue, étant les paramètres urbains les plus pertinents responsables du microclimat urbain, aussi bien qu'ils sont révélés décisifs dans le bilan énergétique d'un canyon urbain (Nunez & Oke 1977, Todhunter 1990, Yoshida et al., 1990/91, Arnfield et Mills 1994).

La conception de la rue est donc une question clé dans une approche globale pour un design urbain environnemental (par exemple Oke 1988, Ali-Toudert et Bensalem 2001). En effet, la forme du canyon influence l'environnement intérieur et extérieur, à savoir le potentiel de gains solaires passifs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, la perméabilité au vent pour la ventilation interne et urbaine, l'absorption urbaine et la réflectance, ainsi que le potentiel de refroidissement de l'ensemble du système urbain. Par implication, la forme de la rue affecte la sensation thermique des personnes ainsi que la consommation énergétique globale des bâtiments urbains. (Ali-Toudert ; 2005). Ceci reflète la forte influence de la géométrie urbaine sur le microclimat et le bilan énergétique de l'environnement construit. Malgré le fait que certaines études ont été menées récemment sur le confort dans les régions à climats chauds et arides, il existe un nombre limité d'études de recherche qui ont abordé la forme urbaine d'un point de vue microclimatique et efficacité énergétique.

De nombreux planificateurs conviendraient que la forme urbaine influe sur la consommation d'énergie dans les transports et qu'il existe un vaste corpus de recherches pour les soutenir, mais peu d'études ont cherché à déterminer si la forme urbaine affecte de manière significative la performance énergétique des bâtiments. Baker et Steemers (2000) concluent que la consommation d'énergie est affectée par la conception du bâtiment par un facteur de 2,5 ; l'efficacité du système par un facteur 2; et le comportement des occupants par un facteur 2. Si un bâtiment est mal conçu, équipé d'un système mécanique inefficace et occupé par des occupants qui gaspillent de l'énergie, il pourrait consommer 10 fois plus d'énergie ( $2,5 \times 2 \times 2 = 10$  ; Baker et Steemers 2000). Avec ces multiples variables indépendantes en jeu, il a été difficile de déterminer l'effet de la forme urbaine sur la consommation d'énergie (Lantsberg 2005 ; Mitchell 2005 ; Ratti, Baker et Steemers 2005). Ratti, Baker et Steemers (2005) préconisent la contribution d'un facteur de forme urbain, mais ils suggèrent que la densité et la géométrie urbaines n'affectent la consommation énergétique que dans une fourchette d'environ 10% de la consommation énergétique totale des bâtiments. Néanmoins, même si la forme urbaine a un impact relativement faible sur la consommation globale

d'énergie dans les bâtiments, l'impact à long terme sur des milliers ou des millions de bâtiments peut représenter une différence substantielle.

De plus, selon Yekang Ko (2013), la recherche a tendance à être divisée entre les directives de conception à l'échelle du bâtiment / site et la recherche de poursuivies par les architectes et les scientifiques du bâtiment et les approches empiriques à l'échelle communautaire / urbaine dirigée par les planificateurs. D'après Yekang Ko (2013), il est difficile de saisir les conclusions sur l'effet de la forme urbaine sur la consommation d'énergie résidentielle en raison des incohérences dans la portée et les méthodes employées.

## **II. Problématique de recherche :**

L'augmentation actuelle de la population et des taux d'urbanisation, estime que les zones urbaines mondiales vont tripler par rapport au début du XXe siècle (Seto et al., 2012), et les deux tiers de la population mondiale seront vivre dans les zones urbaines d'ici 2050 (UN DESA, 2014). De plus, les zones urbaines représentent les trois quarts de la consommation mondiale d'énergie primaire et environ 60 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (ONU-Habitat, 2018).

La crise énergétique et le changement climatique sont les plus grands défis auxquels le monde est confronté aujourd'hui. (Khalili, M., et al., 2014). Dans les pays en développement, la consommation d'énergie a augmenté en raison de la croissance démographique et de l'industrialisation ; tous estiment que plus d'un tiers de toute l'énergie est dépensée pour le chauffage et la climatisation des bâtiments dans n'importe quel pays (Pérez-Lombarda, Ortizb et Poutb, 2008).

En particulier, la consommation d'énergie se situe principalement dans les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie. Le secteur du bâtiment est d'une importance cruciale en termes d'efficacité énergétique (IEA, 2013), car il est responsable de près d'un quart de la consommation totale d'énergie, soit près de 32 % de la consommation mondiale d'énergie, et sa part dans les émissions de CO2 atteindrait près de 30 % si ses émissions indirectes étaient également incluses (IEA, 2021). Le secteur résidentiel est notamment une sous-division du secteur du bâtiment, qui est responsable des trois quarts de sa consommation totale d'énergie (Nejat, P., et al., 2015), et se compose de refroidissement, de chauffage, d'éclairage et d'appareils électroménagers. En 2011, 23 % de la TFC (consommation finale totale) a été

consommée dans le secteur résidentiel (IEA, 2014). Dans les pays développés comme dans les pays en développement l'un des indicateurs les plus importants de l'évolution technologique, économique et physique est l'approvisionnement et l'utilisation de l'énergie.

À cet égard, les urbanistes ont récemment accordé une attention particulière au rôle des formes urbaines dans la baisse de la REC (consommation énergétique résidentielle), qui est toujours controversée parmi les chercheurs (Lee, S., et al., 2014). Bien que l'association entre la forme urbaine et l'énergie utilisée dans le secteur des transports ait été étudiée avec vigueur, l'association entre la forme urbaine et la REC est toujours ambivalente (Ewing, R., et al., 2008).

L'urbanisation vernaculaire au Sahara s'est basée sur la création d'un environnement urbain et la construction des bâtiments qui servent comme un abri contre les aléas du climat, dont l'intérêt est de créer un environnement intérieurs confortables et écoénergétiques sans prendre en considération les interactions des constructions à la fois sur le climat extérieur et les conditions thermiques intérieur, qui, à son tour, affecterait les performances énergétiques des bâtiments. Les spécificités du milieu urbain engendrent des modifications climatiques perceptibles à tous les niveaux.

De nombreuses études sur le confort thermique urbain des villes sahariennes préconisent la ville dense et compacte. Le lien entre compacité du bâtiment et son efficacité énergétique n'est plus à prouver, cette relation est moins évidente à l'échelle du quartier, et d'autant moins à l'échelle urbaine, tant la ville saharienne et plus précisément le Ksar qui est une entité complexe dans sa composition morphologique et spatiale.

La morphologie urbaine, la géométrie des bâtiments, et le climat local sont des aspects cruciaux pour optimiser la performance énergétique des bâtiments à l'échelle des quartiers. De plus, la forme urbaine est un paramètre clé pour modifier la disponibilité solaire dans les zones densément bâties (Mutani, et al 2020). C'est pourquoi, la compréhension des relations entre la forme urbaine et les paramètres physiques du microclimat local est primordiale, ce qui nous permettra d'appréhender son interaction avec l'efficacité énergétique dans un tel milieu.

La présente investigation s'inscrit dans une démarche de développement durable, et contribue au débat sur la morphologie urbaine et son impact sur le confort thermique et l'efficacité énergétique, dans un contexte spécifique, qui a comme un objectif principal de réduire la consommation énergétique du bâtiment résidentiel.

Ceci nous mène à s'interroger sur :

- Existe-t-il une relation qui nécessite l'exploration entre la forme urbaine et l'efficacité énergétique du bâtiment ?
- Est-il nécessaire de changer l'échelle de réflexion sur la question énergétique dans un contexte urbain saharien ?
- Quels sont les indicateurs morphologiques qui mettent en relation l'efficacité énergétique, le confort thermique à l'échelle urbaine ? Et lesquels permettront d'atteindre l'efficacité énergétique optimale dans un milieu à climat chaud et aride ?

Et comme question de recherche :

*Existe-t-il une corrélation entre confort thermique et efficacité énergétique des bâtiments et la densité urbaine pour le refroidissement des espaces durant la saison estivale dans la ville saharienne ?*

*Quel est l'impact de la forme urbaine sur la consommation énergétique pour le refroidissement des espaces du bâtiment résidentiel en été dans une ville saharienne ?*

Les énoncées suivants sont **hypothèses** établies pour cette question :

- La géométrie urbaine est le paramètre clés qui affecte le confort thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments à l'échelle urbaine.
- L'efficacité énergétique des bâtiments est influencée à la fois par les caractéristiques de l'enveloppe bâti, ainsi que par le contexte environnant et ses variations microclimatiques
- La forme urbaine a un impact sur le confort thermique ainsi que sur l'efficacité énergétique.

Répondre à ces questions nous permettra d'atteindre **les objectifs** suivants :

Aider à la décision quant à la planification et l'aménagement urbain saharien est l'un des principaux objectifs soulignés par le présent travail, ceci par la proposition de recommandation pour un contexte urbain saharienne qui répond aux exigences locales et les

conditions climatiques d'une région chaude et aride tout en garantissant le confort thermique et une efficacité énergétique optimale.

L'étude porte sur les caractéristiques architecturales et urbaines dans un climat chaud et aride en termes de confort thermique pendant la saison estivale. L'objectif est de dégager des principes étayés par des données quantitatives. La ville de Ouargla est déterminée comme cas d'étude. Son tissu urbain a connu des mutations et une extension urbaine remarquable au fil des années ; à l'encontre de son ancien noyau vernaculaire qui garde son identité et ses caractéristiques urbaines et architecturales et qui a été cité pour les niveaux de confort thermique.

La prise en compte du couplage entre le climat et le bâti ; la présente étude est principalement motivée par le désir de comprendre le lien de la trilogie confort thermique, efficacité énergétique et la forme urbaine qui constitue l'élément générateur du microclimat urbain. D'un autre côté comprendre et analyser la logique morphologique constructive du tissu urbain et leurs effets de sur le confort thermique et son lien avec l'efficacité énergétique.

L'objectif est de mesurer les impacts relatifs de différentes caractéristiques de la forme urbaine, ainsi de contribuer à une compréhension approfondis de ces caractéristiques qui agissent le plus sur la modification du confort thermique et par conséquent son efficacité énergétique dans un milieu urbain hostile afin d'en savoir plus sur les options qui présentent les opportunités les plus convaincantes pour les planificateurs de réduire la consommation énergétique tout en fournissant un climat confortable et par conséquence réduire l'empreinte carbone d'une ville.

A travers cette étude le rôle de la densité urbaine est examinée afin d'explorer le lien entre densité urbaine et l'efficacité énergétique. Elle adresse aussi une contribution au débat de la forme urbaine la plus adéquate, tout en envisageant des stratégies urbaines et des directives d'aide à la planification urbaine pour un milieu urbain a caractéristique spécifique et des conditions climatiques extrême notamment saharien ; afin de garantir une ambiance thermique confortable toute en assurant une efficacité énergétique optimale.

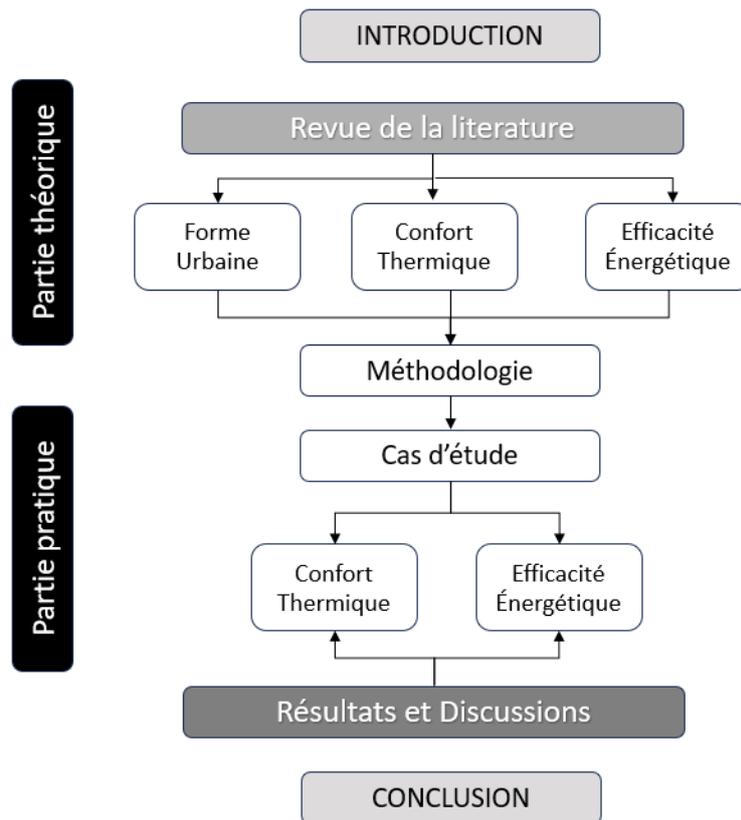
Cette étude évalue ces questions dans le contexte à climat chaud et aride à caractéristiques spécifique prenant le cas de la ville de Ouargla comme référence.

### **III. Structure de la thèse :**

Ce travail de recherche sera élaboré sur deux parties ; une partie théorique et une partie pratique, composée de six chapitres. Le premier chapitre présente le contexte de l'étude décrivant le sujet sa problématique et les objectifs de la recherche.

Ensuite on passe à la revue la littérature pertinente à cette recherche. Nous abordons ; d'abord les concepts généraux : la forme urbaine, le confort thermique et l'efficacité énergétique des milieux à climat chaud et aride à l'échelle urbaine. Ces chapitres organisent la revue de littérature en recherches sur : 1) la relation entre les caractéristiques de la forme urbaine et le confort thermique, 2) la relation entre les caractéristiques de la forme urbaine et d'efficacité énergétique ; formant ainsi deux principaux chapitres. Le cas d'étude et les formes urbaines sélection seront présentés dans le troisième chapitre.

Un quatrième chapitre comprend le cadre conceptuel, ainsi que le déroulement et la conception de la recherche. Il identifie également le domaine de recherche, les sources de données et la méthodologie utilisée pour tester l'hypothèse. Les dernières chapitres V et VI présentent les résultats de l'analyse. L'analyse a révélé les effets de divers facteurs sur le confort thermique et l'efficacité énergétique à l'échelle urbaine dans un climat chaud et aride cas de la ville de Ouargla. Enfin, un dernier chapitre énonce les principaux résultats de l'étude, et des conclusions sur la base des résultats, des limites de l'étude et des recommandations pour les recherches futures.



**Figure 1:** Schématisation de la structure de la thèse. (Source : Auteur)

#### IV. Approche Méthodologique :

La présente étude interroge le lien entre forme urbaine, le confort thermique et efficacité énergétique. Plusieurs étapes sont nécessaires afin d'atteindre les objectifs tracés et répondre aux questionnements posés. L'approche adoptée pour cette investigation est une Approche mixte (quantitative et qualitative) : une analyse de contenu, des mesures in-situ par le relevé des compteurs d'électricité des domiciles en question, un questionnaire in-situ et une simulation numérique. Pour cela il est indispensable de passer par les étapes suivantes :

- Analyser d'abord le contexte d'étude et d'identifier les caractéristiques de la géométrie urbaine de la ville de Ouargla, ensuite une classification typologique à travers une analyse des documents écrits, des cartes et des récits, afin d'identifier les quartiers représentatifs qui ont des caractéristiques urbaines distinctes et composer de bâtiments résidentiels de typologie variée.

- Le choix d'une technique d'expérimentation :

1. En premier lieu une enquête par un questionnaire sur terrain est indispensable pour l'étude du confort thermique afin de faire une évaluation qualitative du confort thermique.

2. Ensuite ; la construction des modèles tridimensionnelles des tissus représentatifs sur la base de plusieurs données et paramètres collecté sur terrain et de l'enquête, pour la simulation numérique via le logiciel Design Builder pour évaluer l'efficacité énergétique.

3. En dernier la validation des résultats de la simulation numérique par les données réelles de la consommation d'énergie électrique par le relevé des compteurs des domiciles sélectionnés pour l'étude.

## **V. Motivation et choix du cas d'étude :**

Plusieurs raisons nous ont amené à porter la réflexion sur ce type de sujet. Ces raisons sont aussi pertinentes les unes que les autres.

Parmi les principales raisons de choix d'un cas d'étude qui s'inscrit dans une région a climat extrême, notamment le Sud Algérien ; provient du fait que la quasi majorité des études récentes qui traitent le confort thermique et l'efficacité énergétique au milieu urbain ne s'intéresse pas aux régions à climat chaud et sec.

En parcourant les travaux de recherches élaborer sur les zones urbaines à climat extrême, on peut aisément s'apercevoir de la richesse du champ de la recherche sur le confort thermique d'une manière générale. En effet, on peut aussi bien s'arrêter sur des sujets qui traitent de politiques d'efficacité énergétique et de la performance énergétique, de confort thermique ou de l'ilot de chaleur urbain que sur des sujets qui traitent un seul aspect, l'évaluation de quelques paramètres, etc. Il n'y a pas lieu de préciser que cette petite liste n'est pas exhaustive. Par ailleurs, les différents sujets abordés et les parenthèses faisant cas des exceptions aux zones climatiques extrêmes et particulièrement en Algérie nous ont confirmé l'intérêt de ce sujet et cadrer le travail sur le lien de la forme urbaine, le confort et l'efficacité énergétique d'un milieu a climat chaud et sec. Dans ce puits sans fond de possibilités, on s'est focalisé sur les zones à climat chaud et sec.

Grâce à sa position géographique et son importance stratégique, elle était peuplée par les habitants des régions avoisinantes, ce qui lui a permis d'être un centre de rayonnement de civilisation et commercial important d'un cachet particulier.

Ouargla a connu de profondes mutations dans plusieurs sens, l'évolution économique et démographique suivi par une expansion urbaine. Il s'agit d'une taille de population importante pour une agglomération qui évolue dans un système oasien demeurant fragile, et qui a connu des atteintes et des règlements suite à l'évolution urbaine anarchique ; il en est résulté une variété de la morphologie urbaine et une métamorphose des tissus urbains flagrantes. Elle constitue un important centre urbain dans la région du Sud Algérien reliant les points les plus importants du pays ; depuis l'antiquité, Ouargla était un carrefour important pour les caravanes commerciales et les nomades venaient du nord du pays et de l'extrême Maghreb en direction des pays arabes, et le sud de l'Afrique.

La région d'Ouargla conserve jusqu'à présent des sites et vestiges historiques, elle représente aussi une zone très riche de matière première et une source importante de plusieurs énergies (renouvelable et non renouvelable : gaz ; pétrole), ce qui fait d'elle une source économique varié (agraire, pétrole, touristique ...) en Algérie.

Le développement de l'urbanisation galopante et anarchique de la ville de Ouargla à engendrer d'énorme problème ; tel que le déclin de la forme urbaine traditionnelle et des valeurs architecturales vernaculaires ; la détérioration de la qualité du microclimat la pollution atmosphérique.

De ce fait on en rencontre que très peu de travaux qui présentent l'enjeu de la forme urbaine dans les milieux à climat chaud et aride. De là notre démarche est née par une réflexion et nous est suggérée par une insuffisance de travail sur la question de la forme urbaine, confort thermique et celle de l'efficacité énergétique de la ville de Ouargla vu son appartenance à une zone a climat chaud et sec.

# CHAPITRE I :

## **Forme Urbaine et Confort Thermique**

*“Le désert est d’abord vide d’hommes, ou bien il  
les oblige à adapter leurs modes de vie”*

Aziz Ballouche, 2017

## **INTRODUCTION**

L'évolution de la forme urbaine s'inscrit dans un contexte de transformations sociales, économiques et environnementales, où les enjeux de densification, de gestion des ressources naturelles et de mobilité durable occupent une place de premier plan. Les formes urbaines, influencés par des facteurs historiques, culturels, et politiques, façonnent les paysages urbains contemporains, et chaque ville adopte une forme particulière en réponse aux défis locaux et aux aspirations de ses habitants.

Ce chapitre explore les concepts et approches théoriques clés liées à la forme urbaine, en examinant des études variées. En s'appuyant sur une revue de la littérature et sur des exemples concrets, il vise à fournir une compréhension approfondie de la manière dont la forme urbaine est façonnée, les facteurs qui la déterminent, et ses implications pour un développement urbain durable.

Le chapitre est composé de trois parties traitant chacune un volet théorique de la forme urbaine, en premier lieu nous définissons la forme urbaine de manière globale et nous spécifions la forme urbaine dans un contexte saharien, ainsi que les différents paramètres associés à la forme urbaine. Ensuite le lien entre la forme urbaine et le confort thermique est présentée **afin l'analyse de l'impact** des paramètres de la forme urbaine sur le confort thermique. En dernier lieu, une dernière section qui aborde les stratégies de la forme urbaine et son adaptation dans le milieu à climat chaud et aride, afin de mieux comprendre les indicateurs morphologiques influençant sur le confort thermique et par conséquent l'efficacité thermique du bâtiment. Ce croisement de paramètres physiques et morphologiques vise à distinguer les indicateurs morphologiques les plus influents. Étant donné que les travaux traitant le sujet sont généralement très vastes, la sélection se porte sur les études ayant une approche et des paramètres connexe au sujet d'étude et traitant des cas dans des climats similaires.

## **I. MORPHOLOGIE URBAINE**

Selon Levy, A (2005) l'étude de la morphologie urbaine comme objet de la ville, permet d'apercevoir son évolution et ses transformations à travers la compréhension de l'évolution de la forme urbaine. Cette dernière qui pose la question de sa définition est l'objet de la morphologie urbaine. Elle ajoute que la morphologie urbaine ne doit pas être réduite à une simple étude descriptive de la forme mais être aussi articulée à ses significations.

Les grandes écoles de la morphologie urbaine; ont développé deux approches de définition de la morphologie urbaine et qui ont dominé les études morphologiques : la forme urbaine comme forme du tissu (les trois écoles de morphologie, italienne, française, et anglaise), la forme urbaine comme forme des tracés (développée par les géographes allemands de l'entre-deux guerres; Lavedan, 1936).

La morphologie urbaine a toujours été considérée comme une branche auxiliaire de l'histoire urbaine, elle vise, d'une manière générale, la connaissance de l'histoire de la ville par sa forme. (Levy, A., 2005), de son côté Huang (2010) définit la morphologie urbaine selon les disciplines qui la considère (économie, sociologie, architecture, climatologie etc.).

La question de la morphologie urbaine dans toute sa complexité et ces interactions avec celle de la ville durable, telles que le microclimat urbain, l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, la dimension humaine, ou encore les déplacements et les transports ; a été traité par Salat (2011), dans son ouvrage intitulé *Les Villes et les Formes*. Il souligne sur le fait que la morphologie urbaine a une importance cruciale sur l'efficacité environnementale et énergétique des villes. Il considère la forme urbaine comme une composante basique du système urbain global. Afin de mieux comprendre les différentes composantes de la ville, la réflexion Salat (2011) renvoie à mettre en avant la morphologie urbaine comme stratification de six couches, superposées :

- La première strate correspond aux personnes et aux activités
- La deuxième strate correspond au réseau de rue et à la trame viaire de la ville
- La troisième strate correspond au parcellaire qui joue un rôle déterminant dans la forme du bâti
- La quatrième strate comprend la topographie et le relief du site
- La cinquième strate correspond à l'utilisation des sols et à la répartition des activités

- La sixième strate appréhende la ville en trois dimensions

Ce dernier point a été abordé avant quelques années par K. Steemers en 2003 ; lorsqu'il a défini aussi la morphologie urbaine comme étant la combinaison de la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments et des espaces créés autour d'eux (Steemers, 2003). Rajoute a cela ; Erell, E.; et al (2012), les caractéristiques des surfaces artificielles et la quantité d'espaces verts.

Tiziana et Marianna (2013) aborde le terme "*texture urbaine* " et trouve qu'il désigne une organisation territoriale, urbanistique et constructive, qui présente des caractéristiques homogènes du point de vue de la transformation historique et de la relation formelle et dimensionnelle entre espaces publics et privés. Ceci a été évoqué par Ratti et al. (2005) définissant la forme urbaine comme étant une texture urbaine; qui renvoie à une expression communément acceptée, notamment la forme et la hauteur des bâtiments, la largeur des rues, leur orientation, leur configuration spatiale et leur disposition dans l'intersection spatiale, la végétation, etc.

Lin., P et al. (2017) jugent que la morphologie urbaine est la principale force en ce qui concerne la gestion de l'environnement thermique à micro-échelle, en décidant de la disponibilité du rayonnement solaire (échange de rayonnement) et en affectant le modèle d'écoulement du vent. Ils pointent trois aspects élémentaires pour évaluer l'influence de la morphologie urbaine sur les variations du microclimat : le potentiel d'ombrage de la masse urbaine (en particulier pour les villes tropicales), la ventilation urbaine et la réflectivité thermique urbaine.

## **II. LA FORME URBAINE**

Dans sa recherche sur significations de la forme urbaine Levy, A (2005) souligne la nécessité de la compréhension de la forme urbaine, de ses structures et de ses modalités de formation et de transformations. Elle définit la forme urbaine comme forme complexe peut avoir plusieurs aspects dépendent des considérations des urbanistes. En croisant les différents points de vue, un inventaire rapide et sommaire afin d'attirer l'attention sur la diversité des formes, et des approches, elle propose cinq registres de la forme urbaine :

**II.1. L'approche de la forme urbaine comme forme du paysage urbain,**

Où l'étude de l'espace urbain visuellement est saisi dans sa tridimensionnalité (volume, gabarits du bâti et des espaces publics) et dans sa matérialité plastique (texture, couleur, matériaux,) aussi par nature du style architectural, culturelle, historique périodes. (K. Lynch 1960, Castex et all., 1980),

**II.2. L'approche de la forme urbaine comme forme sociale (ou morphologie sociale),**

Dans cette approche l'espace urbain étudié dans son occupation par les divers groupes sociaux, démographiques, ethniques, E. Durkheim (1960), (Y. Grafmeyer ; I. Joseph, 1984), M. Roncayolo (1996). Les différents modes de division sociale de la ville (économique, culturelle, ethnique, religieuse...), aux types de lien social, de sociabilité (Levy, 1993).

**II.3. L'approche de la forme urbaine comme forme des tissus urbains**

Consiste, en l'étude des interrelations entre les éléments composants : parcellaire/viaire/espace libre/espace bâti, constitutifs de tout tissu, en rapport avec le site, aussi la relation (systémique) formelle, historique des tissus, à la culture urbanistique, mais aussi aux pratiques urbaines de ces formes (Panerai, Lange, 2001).

**II.4. L'approche de la forme urbaine comme forme des tracés urbains**

Renvoie à la forme géométrique du plan de la ville (plan organique/plan géométrique ; plan orthogonal/plan radioconcentrique), Lavedan (1926, 1941, 1952). Elle renvoie aussi à la notion de composition urbaine et à ses significations (Pinon, 1994, Levy, 1996).

**II.5. L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique**

C'est-à-dire l'espace urbain étudié dans sa dimension environnementale, comme microclimat (urbain), tant dans ses variations géographiques, que dans sa diversité liée aux types de tissu (ouvert/ferme/semi-ouvert), selon l'orientation (héliothermique), selon le site (eau, relief, végétation). (Escourrou, 1980, 1991).

Une refonte totale de l'architecture comme de l'urbanisme peut être menée par la prise en compte des critères de ce dernier registre ; que Levy (2005) considère en étroite relation avec d'autres registres. Elle conclut que la forme urbaine est complexe ; constituée d'une diversité de registres de forme, et de sens, est donc polymorphique et polysémique. Elle présente, en outre, un caractère systémique, les registres de forme, interdépendants entre eux, s'articulent pour produire la forme unitaire globale.

### **III. FORME URBAINE ET CONFORT THERMIQUE**

L'évaluation du confort thermique extérieur joue un rôle crucial dans la planification et la conception urbaines, en particulier compte tenu de l'urbanisation croissante et des effets du changement climatique (Hurlimann et al., 2021 ; Lindsey et Dahlman, 2020). L'investigation dans ce domaine a connu un développement substantiel, intégrant des simulations informatiques, des analyses de données (Lai et al., 2020) et des approches de conception créatives pour améliorer les espaces extérieurs, grâce aux progrès technologiques et aux études interdisciplinaires.

La densité urbaine comme paramètre modérateur de la qualité thermique des espaces intérieurs et extérieurs, selon Narimani., et al (2023) a un impact significatif sur divers secteurs, elle doit être évaluée en fonction du contexte de planification. En particulier, la densité n'est ni intrinsèquement positive ni négative (Moroni, S., 2016). Bien que les chercheurs soient parvenus à des conclusions contradictoires sur le rôle de la densité dans la réduction de la consommation énergétique résidentielle, certains éléments peuvent justifier cette divergence. (Narimani., et al., 2023). Des études ont montré que les paramètres de conception urbaine, tels que la forme et la géométrie des espaces urbains, la topographie, la végétation, la présence de plans d'eau et les caractéristiques de surface, ont un impact significatif sur la modification des conditions environnementales et du confort thermique extérieur (Al-hagla, K. et al (2019), Wang, Y., et al (2016), Salvati, A., et al (2022)). La géométrie urbaine a été fortement liée à l'augmentation de l'inconfort ressenti dans les espaces extérieurs (Abdollahzadeh, N., et al(2022)). Il est important de prendre en compte la géométrie urbaine afin de diminuer le stress thermique en milieu urbain et de créer des canyons urbains offrant un confort thermique optimal.

Dans le contexte traditionnel ; il existe de nombreuses études qui ont examiné, classé et commenté les caractéristiques bioclimatiques de l'architecture traditionnelle. (Coch, 1998;

Bouillot, 2008; Sözen et Gedik, 2007; Vissilia, 2009; Baran et al., 2011; Singh et al., 2011). La plupart des études se concentrent sur 'l'apprentissage de la langue vernaculaire' pour la conception d'environnements bâtis écoénergétiques et confortables. Il est difficile de distinguer et de faire des déclarations claires sur les différentes caractéristiques et paramètres pour leur contribution à l'environnement thermique.

Une évaluation quantitative nécessite des outils de mesure et / ou de simulation. Et il y a tellement de paramètres à considérer à différentes échelles (Sözen, I., et al. 2019). Certaines études de mesure et de simulation sont effectuées pour évaluer l'efficacité énergétique et la performance thermique des bâtiments traditionnelles en tenant compte des espaces intérieurs (Foruzanmehr et al., 2008; Manioglu et al., 2008; Singh., et al, 2010 ; Oikonomou et al., 2011; Cardinale et al, 2013; Xiaoyu, 2014). D'autres se concentrent sur la forme urbaine et le microclimat qui sont importants pour le confort thermique intérieur et extérieur. (Mazouz et Zarouala, 1999; Bourbia et al., 2004 et 2010; Johansson, 2006; Taleb et al., 2013; Andreau et Axarli, 2012 et Andreau, 2014) Les résultats généraux montrent que les formes urbaines compactes et les canyons urbains profonds créer des espaces extérieurs plus confortables dans les climats chauds et arides. L'ombrage à travers les configurations urbaines s'avère plus important que le vent, pour le confort thermique dans les climats chauds et arides.

### **III.1. Ilot de chaleur urbain et son effet sur le confort thermique extérieur**

Le phénomène l'îlot de chaleur urbain (ICU) en tant qu'indicateur de la modification du climat urbain, a fait l'objet de nombreuses recherches depuis qu'il a été documenté pour la première fois par Luke Howard en 1818. L'ICU dépend à la fois de facteurs naturels et artificiels. Les conditions météorologiques locales et les caractéristiques topographiques sont les principales forces naturelles qui régissent l'environnement thermique urbain. Le climat urbain et la qualité de l'air extérieur des villes qui ont un bilan thermique positif en fonction des consommations thermiques des bâtiments provoquent une augmentation des effets d'îlot de chaleur urbain et du réchauffement climatique (G.Mutani et al., 2020). En ce qui concerne les facteurs d'origine humaine, le processus d'urbanisation est le principal moteur qui modifie l'environnement thermique extérieur urbain. La hausse des températures est associée aux îlots de chaleur urbains (ICU) (Carmelieta, et al. 2020), qui a un impact négatif sur le confort thermique, la consommation énergétique des bâtiments pour le refroidissement et la santé publique (Moonen, et al. 2012). La

génération et l'atténuation de l'ICU ou de la modification du climat urbain ont suscité un intérêt de recherche généralisé (Rizwan, A.M et al. 2008, Santamouris, M.et al.2016).

Les facteurs importants en termes d'environnement bâti urbain ont été explorés et résumés par de nombreux chercheurs (Santamouris, M.et al. 2001, Wong, N.H.; et al. 2008), couvrants la géométrie du canyon, les matériaux de construction, les sources de refroidissement par évaporation (végétation ou plan d'eau), l'effet de serre, les sources de chaleur anthropiques et les modèles de vent. De leur côté, Jalali et al. (2024) soulignent que l'îlot de chaleur urbain (ICU) a un impact significatif sur la demande de refroidissement en été et la demande de chauffage en hiver, avec une différence d'environ 4,35 % et 2,6 %, respectivement, augmentant ainsi son intensité (ICU) et réduisant la disponibilité du rayonnement solaire sur les façades des bâtiments peut modifier l'énergie consommée par le bâtiment. (Salvati, et al. 2017)

Des stratégies pour atténuer l'intensité de l'ICU et l'amélioration de l'environnement thermique urbain ont été étudiées et proposées pour divers contextes climatiques en ce qui concerne la conception urbaine. La géométrie urbaine et la végétation sont considérées comme les caractéristiques de conception urbaine les plus influentes (Monteiro et al., 2020, Wong, N.H.; et al. 2008, Santamouris, M.et al 2001, Todhunter, P.E et al.1990). D'autres initiatives tel que l'architecture adaptative au climat, sont mises en œuvre pour lutter contre l'effet des îlots de chaleur urbains (Kim et Brown, 2021) et le développement des espaces extérieurs accueillants, sains et agréables qui donnent la priorité au bien-être des populations urbaines face au changement climatique. Il est donc très important pour les concepteurs et architectes urbains de comprendre la relation entre les indicateurs climatiques et les caractéristiques de la conception urbaine et d'être en mesure d'anticiper l'impact potentiel sur les performances thermiques extérieures des caractéristiques géométriques urbaines proposées au début de la conception (Lin, P., et al. 2017).

### **III.2. Les paramètres de conception urbaine affectant le microclimat**

Selon Mazouz et Zerouala, deux tendances semblent émerger dans les différentes approches bioclimatiques de la construction et du design. La première tendance se concentre uniquement sur les bâtiments individuels et tente d'améliorer leurs performances thermiques globales par des caractéristiques bien connues telles que la masse thermique, le rapport surface /

volume et les dispositifs d'ombrage. La seconde tendance tient pour acquis les bonnes vieilles solutions traditionnelles, sans aucun outil d'analyse, copiées jusque dans leurs moindres détails et tombant dans le piège du pastiche et du folklore. Pourtant, une approche alternative semble possible. Une telle approche ne copierait pas les formes du passé ni ne traiterait les bâtiments isolément de leur contexte, mais générerait des formes en modulant les paramètres environnementaux grâce à l'utilisation d'aides et d'outils de conception. Une approche holistique tenant compte des paramètres à différentes échelles est nécessaire.

Lin, P., et al. (2017) ont répertorié un ensemble des travaux sur les indicateurs de conception urbaine traitant de l'impact de la géométrie urbaine et de la végétation sur l'environnement thermique extérieur au niveau des piétons. Ils affirment que la géométrie urbaine et la végétation sont les facteurs de conception urbaine les plus influents qui affectent le microclimat extérieur. Ils ont identifié et classée en cinq (05) groupes en fonction des caractéristiques de conception de nombreux indicateurs de conception urbaine traitant des caractéristiques géométriques urbaines que les paramètres impliquent, y compris:

### **III.2.1. L'intensité d'utilisation du sol :**

Pour décrire cet indicateur le paramètre le plus utilisé est la densité bâti (couverture / densité du bâtiment, rapport de la surface de plancher). Outre la densité des bâtiments, d'autres paramètres sont utilisés dans les études pour aborder l'intensité d'utilisation des terres, y compris le taux de couverture des rues, le taux de couverture des bâtiments et la densité du volume des bâtiments (effet sur la température estivale). (Petralli et al.2014)

L'utilisation de la densité urbaine comme seul indicateur pour évaluer l'environnement physique urbain a ses limites. La même valeur de densité peut correspondre à diverses configurations de bâtiment (Djeddou., et al., 2016). On peut avoir des conditions microclimatiques différentes pour deux sites de projet avec le même ratio de couverture du bâtiment et des hauteurs de bâtiment différentes, ou le même ratio de surface de plancher (FAR).

De ce fait la densité urbaine devrait être combinée avec d'autres paramètres permettant de quantifier avec précision la géométrie des bâtiments dans les dimensions horizontales et verticales pour mieux définir les caractéristiques physiques urbaines. (Lin, P., et al. 2017)

### **III.2.2. La forme du bâti :**

Trois caractéristiques de la géométrie urbaine ont été confirmées comme ayant une influence sur l'albédo urbain: la densité de la surface du plan, la hauteur du bâtiment et l'uniformité de la hauteur du bâtiment (Erell, E.; et al. 2012, Kondo, A.; et al. 2001). Il existe également de nombreux autres indicateurs morphologiques identifiés par les chercheurs en climatologie entre autres Adolphe (2001) identifié la densité, la rugosité, la porosité, la sinuosité, l'occlusivité, la compacité, la contiguïté, l'admittance solaire et la minéralisation.

Lin, P., et al. (2017) trouvent que l'albédo urbain est le paramètre clé, dans la définition de la forme bâtie au milieu urbain. Il représente la capacité de la ville à réfléchir le rayonnement; n'ont pas uniquement la réflectivité de chaque matériau de construction indépendamment mais aussi par la disposition tridimensionnelle de la forme urbaine. (Erell, E.; et al. 2012)

Il est aussi important de souligner que les études de cas établie par Ahmadian.E., et al (2019) sur le logement dans les différents pays, comparent la consommation d'énergie avec les hauteurs des bâtiments résidentiels, sans examiner la relation entre énergie et densité. Il s'agit d'un domaine qui nécessite une enquête plus approfondie.

### **III.2.3. La géométrie du canyon :**

Oke (1981) introduit la notion du canyon urbain pour décrire la géométrie de la rue. De ça part Lin, P., et al. (2017) soulignent que le canyon urbain est utilisé pour simplifier la forme urbaine complexe. Un canyon urbain est formé dans une rue par deux rangées de grands immeubles (une vallée profonde et étroite). Il peut être défini par trois paramètres: H, la hauteur moyenne des bâtiments le long des deux côtés de la rue dans le canyon; W, la largeur du canyon, L, la longueur du canyon. Sur la base de ces paramètres, plusieurs indicateurs géométriques sont proposés pour quantifier la géométrie du canyon, y compris le rapport d'aspect (rapport hauteur / largeur)  $H / W$ , le rapport longueur / largeur ( $L / W$ ) et la densité du bâtiment (Santamouris, M.2001). La géométrie du canyon est souvent associée à l'orientation de la rue par les chercheurs lorsqu'ils étudient la corrélation entre la géométrie de la rue et le climat urbain. Ces deux indicateurs contrôlent principalement la quantité de rayonnement solaire atteignant un canyon urbain, ce qui détermine le flux et le stockage d'énergie radiante.

D'après plusieurs recherches sur les paramètres qui affectent le plus le microclimat urbain, le rapport hauteur/ largeur des rues et leurs orientations sont les plus déterminant dans la modification du microclimat urbain. (Abd Elraouf, R., et al', 2022). Ils influencent directement l'absorption et l'émission du rayonnement solaire ainsi que la ventilation urbaine, affectant ainsi le confort thermique des piétons (Rodríguez-Algeciras, J., et al., 2021, Salman, A. et al., 2021, Hassan, A. et al.,2020, Crank, P. et al.,2020). En outre, une disposition adéquate des bâtiments en milieu urbain peut contribuer à réduire les impacts négatifs liés au climat urbain (Rose,L., et al 2011, Lai, D., et al., 2019).

#### **III.2.4. L'enceinte de l'espace :**

L'indicateur 3D le plus couramment utilisé est le facteur de vue du ciel (SVF); utilisé pour refléter la géométrie des rues et les caractéristiques d'utilisation des sols, il quantifie les caractéristiques géométriques urbaines, en particulier pour les espaces hétérogènes. Le SVF représente la fraction de l'hémisphère sus-jacent occupée par le ciel et elle peut être calculée par des images hémisphériques prises par des caméras avec des objectifs fish-eye Oke (1981).

Lin, P., et al. (2017) affirment que son effet sur le climat varie en termes de temps et de saison (contrôle la quantité de rayonnement global dans un canyon urbain); et qu'il n'y a pas de norme universelle pour le seuil de SVF. Par conséquent, des suggestions pour une plage de SVF optimale devraient être faites sur la base de la recherche dans chaque ville spécifique.

#### **III.2.5. Les caractéristiques descriptives :**

La configuration du bâtiment comme indicateur descriptif de la forme urbaine est souvent utilisée afin d'explorer sa corrélation avec le climat. Leslie Martin et son équipe ont identifié et comparé six formes archétypales simplifiées en termes de potentiel bâti (rapport de surface de plancher du bâtiment par rapport à la zone du site) et la disponibilité de la lumière du jour. En se basant sur ces formes archétypales, des études ont été élaborées, et en utilisant plusieurs paramètres environnementaux, y compris les rapports surface / volume, les densités d'ombre, l'accessibilité à la lumière du jour et les facteurs de vue, afin d'examiner la charge énergétique causée par l'environnement urbain immédiat, par laquelle l'implication de la façon dont ces formes de bâtiments génériques affectaient le microclimat urbain peut être révélée.

En plus des descripteurs susmentionnés; Lin,P., et al. (2017) ont passé en revue d'ensemble sur la végétation urbaine en la considérant comme descripteur qui joue un rôle très important sur la modification du microclimat urbain (uniquement la végétation au sol qui a été abordé).

Rodríguez-Gallego, J. et al (2024) proposent une méthodologie pour évaluer le confort thermique urbain en collectant des données personnelles, microclimatiques et morphologiques. Basée sur 200 enquêtes menées sur six parcours transects distincts, à Séville en Espagne, répartis équitablement entre le centre historique et les zones périphériques. Elle compare les écarts entre l'indice UTCI et le confort thermique perçu. Les résultats mettent en évidence l'influence positive de la végétation, de la configuration spatiale et l'importance de la température de l'air et du rayonnement pour les préférences individuelles dans la perception du confort thermique.

### **III.3. La végétation**

La végétation est un paramètre modérateur du climat urbain et du confort thermique, affecte le climat urbain à travers plusieurs processus : l'évapotranspiration, fournir de l'ombrage et réduire les flux d'air indésirables lorsqu'elle est stratégiquement disposée. Tong, S et al (2017) et Perini, K et al (2014) Confirment que l'effet de la végétation sur le microclimat varie avec le temps, la saison et l'environnement bâti urbain. Aussi Baris, M.E.et al (2009) ont indiqué que le climat urbain est étroitement lié à la quantité et aux types de végétation. Parmi tous les types de végétation, les arbres sont considérés comme plus influents sur la réduction de la température de l'air que l'herbe. L'effet rafraîchissant des arbres dépend aussi de l'espèce et de la taille du couvert. Le facteur de vue arborescente (TVF), défini comme la fraction occupée par le couvert végétal de l'hémisphère sus-jacent. Il a été utilisé pour évaluer la capacité d'ombrage fournie par les arbres, qui est calculée, de manière similaire au facteur de vue du ciel, par le logiciel WinSCANOPY (un analyseur d'image numérique pour l'analyse de la canopée et des radiations solaires, développé par Regent Instruments Inc., Québec, QC, Canada) en utilisant des images de vue du ciel prises par une caméra avec un objectif fish-eye (Yang, F.et al, 2010).

Plusieurs travaux de recherche examinant l'effet mutuel et combiné de la géométrie urbaine et de la végétation, dans le but d'établir une approche de conception systématique en ce qui concerne l'environnement urbain confortable (tableau I.1). Ils se sont avérés les plus critiques pour

affecter l'environnement thermique urbain. Lin,P., et al. (2017); indique que la géométrie urbaine et le climat local peuvent à la fois modifier et influencer les performances de la végétation.

De ce fait une série de paramètres de conception urbaine importants ont été identifié à travers cette étude, et qui a présenté que leurs impacts sur l'environnement thermique varient avec le temps, la saison, le climat local et les contextes urbains. Des impacts contradictoires se produisent souvent entre la journée et la nuit, ou des saisons différentes, ce qui nécessite des compromis à réaliser lors de la proposition de stratégies de conception.

**Tableau I.1** : littérature sur l'effet combiné de la géométrie urbaine et de la végétation. (Source: Lin,P., et al., 2017)

Research	Urban Area	Climate	Method	Parameters Investigated
[104]	Colombo, Sri Lanka	Tropical monsoon climate	Field measurement	H/W, sky view factor (SVF), orientation, ground cover, distance to sea
[93]	Singapore	Tropical rainforest climate (hot and humid)	Field measurement and simulation	Green plot ratio (GnPR), sky view factor, surrounding building density, the wall surface area, pavement area, albedo
[100]	Pikermi, Greece	Subtropical Mediterranean climate	Simulation	Size of green area, density of the urban texture, orientation, different wind speeds, distance from the green area
[5,49,94,105]	Hong Kong, China	Humid subtropical climate	Field measurement	Surface albedo, SVF, tree cover, shrub cover, average height to floor area ratio, built area
[36]	Hong Kong, China	Humid subtropical climate	Field measurement	Floor area ratio (FAR), building density, park area, tree ratio, shrub ratio
[6,106]	Shanghai, China	Humid subtropical climate	Field measurement	SVF, tree view factor (TVF), green ratio, green plot ratio, green cover ratio, ground surface albedo, FAR
[68]	Beijing, China	Humid continental climate	Field measurement	Building area (%), vegetation cover (%), SVF distance to park, distance to water body
[37]	Toronto, Canada	Humid continental climate	Simulation	Density, building height, surface albedo, vegetation cover
[107]	Tel Aviv, Israel	Mediterranean climate	Field measurement and simulation	Courtyard's geometry and the density of shade trees
[108]	Tel Aviv, Israel	Mediterranean climate	Field measurement and simulation	Cluster deepening, albedo modification, and orientation in the presence of shade trees
[101]	Tel Aviv, Israel	Mediterranean climate	Field measurement and simulation	Generic built forms, H/W, spacing distance to frontal length, building depth to frontal length, envelope ratio, trees coverage, colonnade
[109]	Athens, Greece	Subtropical Mediterranean climate	Field measurement and simulation	Tree canopy coverage, traffic load, surface albedo modification, aspect ratio and street's ventilation
[103]	Tinos, Greece	Mediterranean climate	Field measurement and simulation	Aspect ratio, street orientation, presence of trees, ground albedo
[24]	Milan, Genoa, Rome	Mediterranean climate	Simulation	Building density, building height, vegetation cover and types
[110]	Gothenburg, Sweden	Oceanic climate	Field measurement	Tree cover and volume, building cover and volume, fraction of permeable surfaces and SVF
[111]	Damascus, Syria	Cold desert climate	Simulation	Aspect ratio, street orientation, the presence of trees, building types

#### IV. LA MORPHOLOGIE URBAINE DES VILLES SAHARIENNE

L'urbanisation saharienne a suivi une évolution historique notable, s'inscrivant dans une continuité d'urbanisation qui, pendant un millénaire, a façonné le territoire saharien en lien étroit avec les échanges commerciaux transsahariens.

La morphologie urbaine des villes sahariennes présente des caractéristiques spécifiques liées aux contraintes climatiques et géographiques propres à la région désertique du Sahara.

Les villes sahariennes sont nées d'intersection des axes caravanier (NS-EO), afin d'assurer la fonction de relai, leur importance est régulièrement évoquée du 8e au 18e siècle.

De plus de la fonction de centres-relais ; qui n'est pas la seule ; elles regroupent des populations fixes, vivent de l'exploitation des palmeraies. Caractérisés essentiellement par leur organisation spatiale et leurs modes d'appropriation territoriale. Ce sont des chapelets d'agglomérations, villages, bourgs et bourgades s'égrenant le long des oueds. Ce n'est pas par leurs tailles mais par le rôle qu'elle joue qu'elles se sont imposées au milieu désertique. Quand un ksar plus important émerge, il s'érige comme cité et devient le pôle structurant d'un réseau. (S. Belguidoum, 2002).

À travers les diverses descriptions historiques, il ressort que les cités et les ksour qui leur sont rattachés ont des tissus structurés à partir de quelques grands équipements et éléments récurrents : la mosquée, les places, les rues, le fort (bordj), les remparts, les marchés, les commerces et l'artisanat. Les fonctions de ces cités se regroupent en trois grands types : le politique, le religieux et l'économique. C'est à partir de ce triptyque qu'il faut comprendre leur permanence, leur raison d'être, leurs moments de gloire et leurs périodes de régression.

L'urbanité a pour socle un système économique de production et d'échange, ainsi qu'un rôle politique et symbolique fort qui se matérialise par un complexe architectural. Cela engendre des modes de vie distinctifs et des aménagements spatiaux reflétant des pratiques sociales particulières. L'espace, en tant que cadre de ces activités, reflète également leur organisation sociale. Tandis que l'architecture, qu'elle soit banale ou monumentale, exprime cette appropriation spatiale. (Matallah, 2015).

La morphologie spatiale de la ville saharienne prend souvent la forme d'une agrégation de tissus, correspondant à quatre temps historiques d'urbanisation : le ksar ou la cité traditionnelle, la ville coloniale dans les localités où la présence française a été significative, les quartiers spontanés aux constructions plus ou moins finies, et les zones d'urbanisation programmée. Ce modèle évolue à des rythmes différents ; le ksar s'efface au profit de l'habitat collectif moderne, les grandes maisons traditionnelles au profit de luxueuses villas reproduisant les modèles du Nord, les anciennes centralités au profit de nouveaux centres.

La dynamique actuelle accélérée a imposé aux anciens tissus d'abandonner les principes antérieurs pour une législation moderne, pour laquelle l'identité de la plupart des villes a été enterrée sous la lourdeur de la nouvelle urbanisation de la standardise. (Matallah, 2015)

#### **IV.1. Forme urbaine de la ville saharienne**

L'urbanisme traditionnels au Sahara et son architecture répondent à un processus de production qui tient compte des spécificités de la région : le site, le climat aride, les matériaux locaux, les techniques de mise en œuvre, le savoir-faire de la population locale, les conditions socio- économiques et culturelles, le mode de vie locale et les traditions. L'oasis constitue l'espace idéal pour se prémunir contre les rigueurs du climat. Son exploitation a permis la survie de la structure urbaine du ksar qui entretient des rapports d'échanges importants avec celle-ci.

Les villes-oasis traditionnelles, se présente comme des regroupements stables au Sahara sous forme de Ksour, prenant des formes urbaines fortifiées, compactes et homogène. Un ensemble de bâtis de taille variable, d'un tissu très dense entourée d'une palmeraie. Son tissu est fermé avec un réseau hiérarchisé et souvent étroit avec une accessibilité contrôlée et filtrée depuis les portes du ksar jusqu'aux habitations ; déterminant une organisation liée à un ordre symbolique où chaque espace exprime un sens.

La rue est l'artère essentielle de la vie sociale. Avec la place, elle constitue l'espace public, le lieu où l'on passe, où l'on se croise et se rencontre. Les rues sont généralement sinueuses, hiérarchisées et pénètrent la cité en un système complexe de courbes, d'axes principaux, de ruelles, de venelles et d'impasses. Certaines ruelles ou impasses ont un usage semi-public ou semi-privé. D'autres, les rues marchandes, sont bordées d'échoppes des boutiquiers et artisans. C'est l'importance de ces équipements qui permet de distinguer la cité du village, la médina du ksar. La grande mosquée et l'existence au sein de la même cité d'autres mosquées, l'existence de remparts et de fossés, de portes, de marchés et de commerces sont les éléments de différenciations. Ce tissu urbain évolue en fonction de la prospérité de la cité. C'est à la fin du Xine siècle que Biskra est dotée d'une citadelle. Touggourt est également entourée d'un mur de moellons et d'argile, alors que Ouargla possède un mur d'enceinte en briques crues. Le bâti est réalisé avec des matériaux locaux adaptés aux conditions géographiques et climatiques de la région (la terre, troncs de palmiers...) ;

grâce à des compétences techniques remarquables. D'où les maisons sont imbriquées les unes aux autres formant une masse reliant ainsi les maisons par des murs communs formant ainsi des relations sociales et familiales fortes.

Les constructions sont en briques crues séchées au soleil ou en mauvais pisé. Parfois elles sont en pierres, matériau noble réservé aux édifices publics (mosquée et bordj) et aux demeures les plus riches. Dans le M'Zab ou à Touggourt, les premiers constructeurs élevèrent leurs demeures autour de la mosquée principale comme centre, les rues dessinant des cercles concentriques. Dans d'autres cités, la création de nouveaux quartiers se fait par rajout, sans respect du schéma initial.

La ville se développe selon un modèle qui peut être radioconcentrique (Fig.I.1) (Touggourt, Ngoussa, Ouargla, et les cités du M'Zab) ou de forme plus étirée (les cités du Souf). Elle traduit aussi les inégalités sociales, qui s'inscrivent dans le tissu, et maintient sur ses marges les campements temporaires des nomades. (S. Belguidoum, 2002, W. Saad Soud, 2013, A. Kebaili,2015)

L'architecture traditionnelle nous montre comment l'interaction dialectique avec la nature peut être réalisée. Les bâtiments anciens montrent un grand respect pour leur environnement en utilisant des matériaux et des techniques locaux en tenant pleinement compte des contraintes imposées par le climat. (Coch, 1998).



Roche, 2003, 2<sup>ème</sup> édition, p. 32

Ruelles étroites/hauteur du bâti pour des façades ombragées  
Passages couverts pour créer de l'ombre et briser les vents de sable



Roche, 2003, 2<sup>ème</sup> édition, p. 35

**Figure I.1:** vue d'ensemble d'en haut de la ville de Ghardaïa (à droite) , vue d'un passage couvert (à gauche) .(Source: Roche, 2003)

#### **IV.2. L'adaptation de la ville et le bâtiment saharien au climat local :**

Selon Gabriel, N. (2014) l'architecture traditionnelle a été définie à différentes étapes, en commençant par définir le terme en fonction d'une caractéristique spécifique du processus. Les architectes tels que Ronald William Brunskill, Frank L. Wright et Bernard Rudofsky ont développé la classification monothématique. Plus tard, au fur et à mesure de l'approfondissement de l'étude du domaine, le terme a été redéfini par Mercer comme un phénomène social et architectural (Mercer 1975).

La ville saharienne ancienne représente un modèle parfait d'adaptation et d'intégration au contexte local, elle a fait preuve d'une meilleure réponse aux conditions climatiques les plus hostiles, proposant des solutions adaptées et flexibles qui incarnent les principes de durabilité, pareil pour la maison traditionnelle, avec son insertion parfaite dans son environnement immédiat, son respect de nature et l'utilisation des matériaux et des techniques disponibles localement, par ces aspects elle représente une intégration socioculturelles locales.

Les conditions climatiques diffèrent d'un endroit à l'autre, et d'une ville à une autre, et les choix architecturaux adaptés à l'environnement construit sont propres à chaque région.

L'urbanisation des villes anciennes repose sur les principes de la conception bioclimatique. C'est-à-dire lors de l'implantation et la conception, ils prennent en compte, le climat et l'environnement immédiat, ce qui permet de réduire les besoins en énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et d'être mieux adapté aux conditions climatiques.

L'intégration du confort thermique extérieur dans le processus de conception est essentielle pour un développement urbain durable. Il est impératif de reconnaître que la dynamique thermique des climats chauds et arides présente une particularité marquée par des fluctuations quotidiennes et saisonnières prononcées. (Djeddou, B., et al, 2024)

Une bonne compréhension des stratégies de conception bioclimatique peut aider à optimiser les performances thermiques intérieures sans recourir à la climatisation, jouant ainsi un rôle crucial dans la réduction de la consommation énergétique et par conséquent diminuer les émissions de carbone.

### **IV.2.1.Stratégies d'adaptation du bâtiment Saharien**

Les régions arides témoignent d'une maîtrise significative du savoir-faire en matière d'urbanisme et d'une adaptation efficace aux conditions climatiques extrêmes. Ces villes incarnent une interaction harmonieuse entre la nature et l'environnement urbain, en valorisant leur dimension architecturale et urbaine.

En général, l'architecture traditionnelle peut être comprise comme une manifestation d'une conception adaptée à l'environnement. Elle s'appuie sur des techniques passives pour minimiser les conditions climatiques défavorables et atteindre de meilleurs niveaux de confort à l'intérieur (Manzano-Agugliaro, F.,2015, Pajek, L., 2021) sans dépendre de mécanismes actifs consommateurs d'énergie. Elle est donc considérée comme un précurseur et un fondement important de l'architecture bioclimatique, et le lien entre les deux est exploré dans plusieurs travaux de recherches (Cañas,et al, 2004, Lavafpour, et al, 2011, Tipnis, A. 2012, Fernandes,et al,2015, da Silva, et al, 2015, Lotfabadi, et al.2019, Pajek, 2021).

L'application d'une approche bioclimatique à la construction au sahara implique de reconnaître que les aspects culturels, sociaux et économiques restent cruciaux dans le développement d'une architecture durable (Bragança, et al.2010, Widera, 2016). Une recherche de Fernandes, et al (2020) prône l'étude et la valorisation de l'architecture traditionnelle comme moyen de sauver et de maintenir le patrimoine d'une région, et de nombreux efforts de recherche naissent précisément du désir de quantifier et de démontrer scientifiquement les contributions que ces techniques traditionnelles peuvent apporter aux constructions contemporaines (Fernandes, et al.2020, Fernandes, et al.2015, Priya, et al.2012). Widera (2016) soutient en outre que l'architecture bioclimatique devrait être capable de s'adapter à l'environnement local et d'améliorer son écosystème, en cherchant à contribuer à son intégrité et à sa biodiversité.

Kalili et al (2014) ont met en lumière les éléments architecturaux respectueux de l'environnement, issus de l'architecture traditionnelle iranienne, qui intègrent des solutions climatiques adaptées aux régions chaudes et arides. Pendant des siècles, les bâtisseurs iraniens ont tiré parti des variations de température jour-nuit et des courants d'air pour assurer un confort thermique dans leurs bâtiments. Parmi les techniques mises en œuvre figurent les tours à vent, les toits en dôme, les cours intérieures, les caves souterraines et les glaciers naturelles. Leur objectif est de réintroduire les stratégies passives, tout en encourageant des comportements adaptés au

climat et de répondre aux défis énergétiques actuels. Les résultats révèlent que l'architecture traditionnelle iranienne offrait des solutions énergétiquement efficaces en alliant confort thermique et modes de vie adaptatifs. L'étude met en avant le potentiel de ces approches, peut être réadapté aux bâtiments contemporains en s'inspirant de leurs techniques afin de concevoir des bâtiments modernes à faible impact environnemental.

#### **IV.2.2. L'échelle urbaine**

L'urbanisation des villes anciennes est fondée sur des principes adaptés aux caractéristiques locales, comme la densité, la compacité, la géométrie spécifique des rues et des espaces extérieurs. La continuité des constructions et l'uniformité de son apparence lui rendront difficile de se repérer. La ressemblance des façades n'est pas un critère suffisant pour définir un type. (Bousquet, C. , 2002)

Dans cette section, nous nous concentrerons sur les villes situées en milieu chaud et aride, où ces principes jouent un rôle essentiel dans la conception urbaine, favorisant une adaptation efficace aux contraintes climatiques et géographiques.

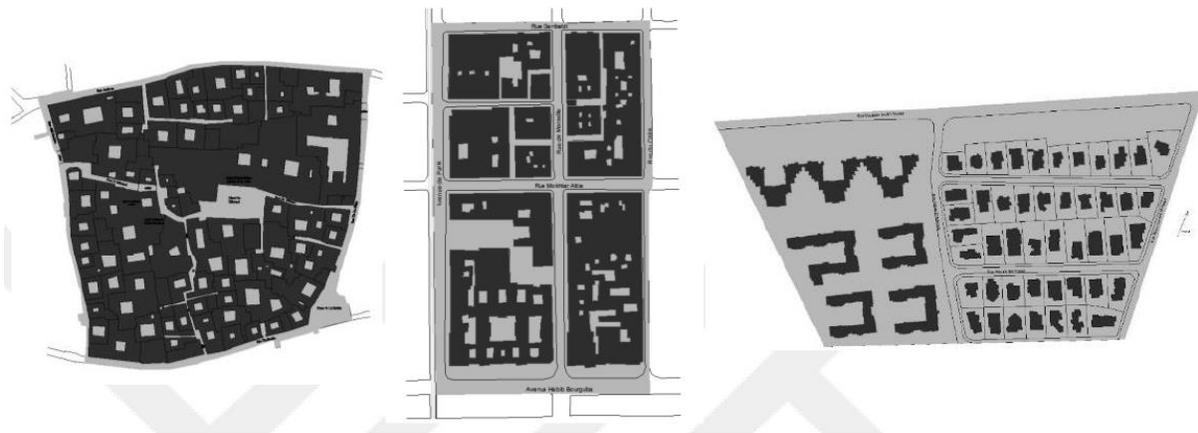
##### **IV.2.2.1. Géométrie urbaine**

Le tissu urbain de la ville ancienne traditionnelle est distingué par sa la compacité , et sa forme urbaine est basée sur la forte densité. Créant ainsi des ensembles bâtis connu sous forme de Ksour, qui apporte une meilleure protection aux conditions climatiques extrêmes, comme l'exposition au rayonnement solaire intense, qui engendre par la suite une chaleur insupportable, assurant aussi un bon control des tempêtes de sable. Leur configuration urbaine limite ainsi les besoins en transport et en énergie. De plus, ces agencements favorisent les espaces ombragés et la ventilation naturelle dans les espaces urbains, ce qui est essentiel pour maintenir un confort thermique dans des climats rigoureux.

L'étroitesse des espaces, souvent visible dans les rues et ruelles des villes chaudes, participe également à la gestion des conditions climatiques. Les rues étroites réduisent l'exposition directe au soleil, créant des zones ombragées et des couloirs de ventilation qui améliorent le confort urbain en abaissant les températures ambiantes. Ces espaces restreints favorisent également une proximité sociale et un usage optimisé de l'espace disponible, tout en minimisant les surfaces non

constructibles. Sözen, M. Ş., et al (2019) considèrent que la densité de l'habitat est un paramètre clé définissant les conditions de confort extérieur de la ville ainsi que le microclimat autour de la maison. Dans ce cas, seul l'effet sur les conditions intérieures, les charges énergétiques doivent être prises en compte.

Achour-Younsi, S., et al (2016) ont analysé l'impact des paramètres de rapport H/L et d'orientation des canyons urbains sur le confort thermique extérieur à Tunis, en Tunisie, durant une journée estivale typique. L'indice UTCI (Urban Thermal Comfort Index) a été utilisé pour évaluer le confort thermique. Les cas d'étude ont été développés à partir d'une analyse morphologique des implantations urbaines de la ville, identifiant trois typologies : traditionnel, colonial et réglementé (Fig.I.2). Les paramètres morphologiques, notamment le rapport H/L (de 0,25, 1 et 4), le facteur de vue du ciel et l'orientation (E-O, N-S, NE-SW et NO-SE), ont été examinés à l'aide de simulations numériques sur des configurations urbaines idéalisées. Les résultats montrent un confort thermique élevé, avec une différence allant jusqu'à 8,48 °C dans l'UTCI entre les cas H/L : 4 et H/L : 0,25. Par ailleurs, les rues orientées N-S offrent des conditions nettement plus favorables que celles orientées E-O.



**Figure I.2** : Cas d'étude à Tunis : traditionnels, coloniaux et réglementés (de gauche à droite) (Source : Achour-Younsi, S., et al, 2016).

#### IV.2.2.2. La végétation

L'utilisation de la végétation comme stratégie pour atténuer l'îlot de chaleur urbain (ICU) et améliorer le microclimat a été largement étudiée (Taha, et al., 1997, Ng, 2009). Dans les climats chauds et arides, l'optimisation de la végétation devrait tirer parti de son ombre pour limiter le

rayonnement solaire intense durant l'été, car la surchauffe résulte essentiellement du stockage de chaleur par les surfaces exposées au soleil.

La présence de la palmeraie autour des Ksour des villes sahariennes contribue au rafraîchissement et d'atténuation des températures élevée en saison estivale. Selon plusieurs travaux de recherches la végétation urbaine pourrait influencée significativement les températures par différents processus (Oke, 1989, Givoni, 1991).

La végétation crée de l'ombrage qui peut agir pour refroidir l'atmosphère en interceptant simplement le rayonnement solaire, empêchant le réchauffement du sol et de l'air (Oke, 1989). Elle peut aussi affecter les mouvements de l'air et l'échange de chaleur (Bonan, 1997). Elle est l'une des mesures d'atténuation de la chaleur les plus efficaces, en raison des effets d'îlot de fraîcheur bien établis (Lai, D., et al, 2019).

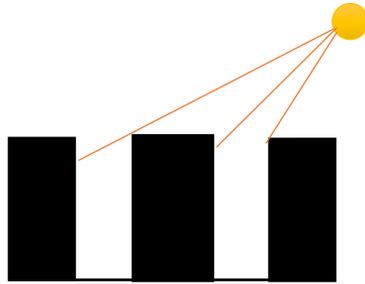
L'évapotranspiration est un processus clé, qui consomme l'énergie du rayonnement solaire et augmente la chaleur latente plutôt que sensible, refroidissant la feuille et la température de l'air qui l'entoure (Taha et al., 1988, Grimmond et Oke, 1991). Ce processus est décrit par la perte d'eau d'une plante sous forme de vapeur dans l'atmosphère. (Bowler, D. E., et al, 2010). D'après Bowler et al (2010), les espaces verts urbains présentent une température moyenne plus basse, de 0,94 °C que les sites non végétalisés. Les résultats de la recherche de Wang, Q., et al, (2024) ont indiqué que la verdure urbaine affiche une intensité de refroidissement plus élevée pendant la journée que pendant la nuit.

Il est essentiel d'intégrer la végétation dans les zones bâties pour améliorer l'environnement immédiat de chaque construction, car elle procure deux effets principaux : l'ombrage qui réduit le rayonnement solaire, et la conservation des températures de l'air, généralement plus basse que celle des températures des surfaces de matériaux urbains courants tels que l'asphalte, les blocs de béton, etc. (Nikolopoulou, et al., 2003, Boukhabl, et al., 2012).

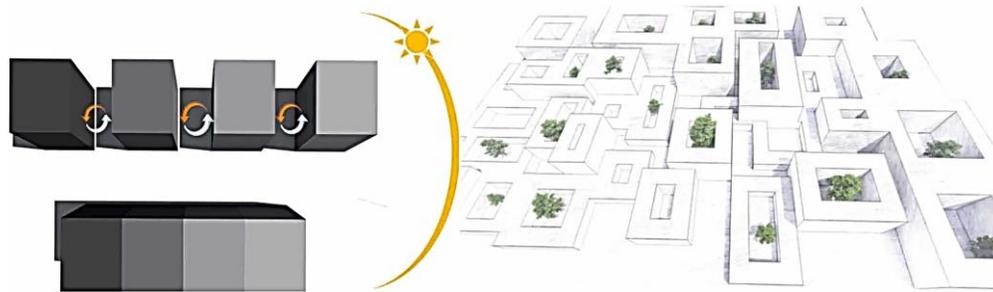
#### **IV.2.2.3. L'Ombrage**

Selon Wang, Q., et al, (2024) la forme urbaine peut influencer sensiblement la zone d'ombre du bâtiment, affectant ainsi l'effet d'ombrage pendant la journée. L'effet de fraîcheur créée par l'ombrage des bâtiments existe (Fig.I.3) dans la ville traditionnelle de manière général, créée par sa configuration. La forme urbaine compacte de la ville ancienne traditionnelle fournit de

l'ombre (Fig.I.4), en empêchant les bâtiments d'être trop exposés au soleil essentiellement en été. La disposition des bâtiment et l'é étroitesse des rues permet de crée des zones d'ombres et d'empêche le rayonnement solaire d'y pénétrer.



**Figure I.3:** Coupe schématique de la rue et la cour (Source : auteur).



**Figure I.4:** Conception urbaine compacte. (Source : Ergün, et al 2024).

L'ombrage d'une surface recevant le rayonnement solaire direct est la stratégie la plus importante, la première pour réduire la charge thermique dans un climat chaud et sec. (Melo, et al., 2023).

#### **IV.2.2.4. L'orientation**

L'orientation est un paramètre essentiel dans la conception pour garantir un confort thermique optimal dans un bâtiment. Elle consiste à positionner le bâtiment de manière à maximiser l'exploitation efficace de la lumière naturelle et à favoriser la ventilation naturelle, contribuant ainsi à une conception durable et économe en énergie.

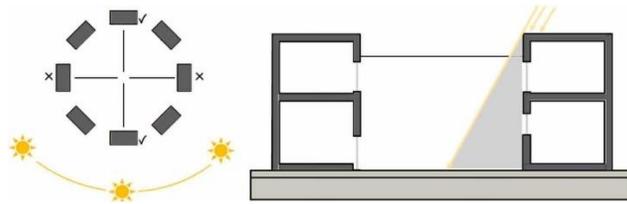
L'orientation des bâtiments est un facteur clé souvent sous-estimé, elle a un impact sur l'angle auquel le soleil entre par les fenêtres (Radha, 2018), permet d'optimiser les flux d'énergie naturels. Une orientation adéquate du bâtiment peut améliorer les avantages passifs réduits la

dépendance aux systèmes mécaniques, et améliore les performances thermiques en adaptant les façades aux conditions climatiques. (Poddar, A., et al, 2024, Radha, 2018).

Les études recommandent d'orienter les bâtiments sur l'axe longitudinal dans la direction est-ouest pour maximiser les apports solaires et l'ombrage. Cette orientation favorise une meilleure absorption de chaleur par la façade sud en hiver, tandis que la façade nord reste plus fraîche lors des périodes de forte chaleur estivale. (Ajoku, J.I., 2021).

Poddar, A., et al, (2024) souligne qu'en milieu urbain, la disposition des rues et des bâtiments environnants influence l'exposition au soleil et la circulation de l'air, impactant ainsi le confort thermique et l'efficacité énergétique.

En architecture traditionnelle des climats chauds et arides, l'orientation nord-sud des bâtiments constitue l'un des moyens les plus efficaces pour maximiser l'ombrage (Fig.I.5). Et minimiser l'exposition au rayonnement solaire intense de l'été . L'orientation du bâtiment joue également un rôle primordial pour la ventilation et le refroidissement naturels (Aflaki, et al, 2015)



**Figure I.5:** Utilisation de l'orientation du bâtiment pour le refroidissement passif (Source : Ergün, et al 2024 )

### IV.2.3. L'échelle architectural

L'architecture traditionnelle, conçue et réalisée par les communautés locales, reflète à la fois leurs besoins spécifiques et leurs valeurs socioculturelles. Ces habitations sont façonnées par divers facteurs, notamment le climat, les matériaux disponibles, et les influences culturelles propres à chaque région.

Selon le modèle tripartite de Vitruve en ce qui concerne l'environnement, dans sa grande simplicité, permet de décrire le rôle du contrôle environnemental exercé par les constructions pendant des siècles, dans lesquels la structure du bâtiment, son architecture, était le principal agent de médiation entre l'environnement externe et interne ( Hawkes ,1995). Tipnis (2012) affirme que

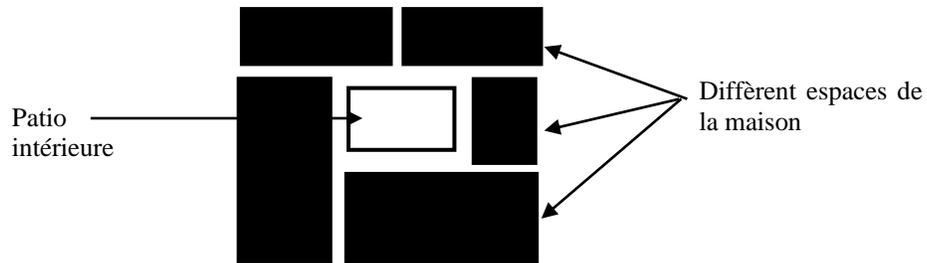
les habitations traditionnelles sont intrinsèquement durables dans leur conception et sont sensibles aux conditions climatiques, culturelles et socio-économiques de la région.

Au fil du temps, l'architecture traditionnelle a évolué afin de refléter et de s'adapter de manière durable aux contextes environnementaux et culturels dans lesquels elle y. Ce qui offre de nombreuses pratiques et techniques originales afin de satisfaire les différents besoins liés au contexte. (Sahebzadeh et al., 2017). Cette approche se démarque clairement de la conception de nombreuses constructions modernes, qui tendent souvent à ignorer les particularités du contexte local. L'architecture traditionnelle montre comment concevoir des espaces intérieurs confortables avec une consommation d'énergie minimale, en tenant compte des conditions climatiques et de l'environnement. (Djeddou, B., et al, 2024)

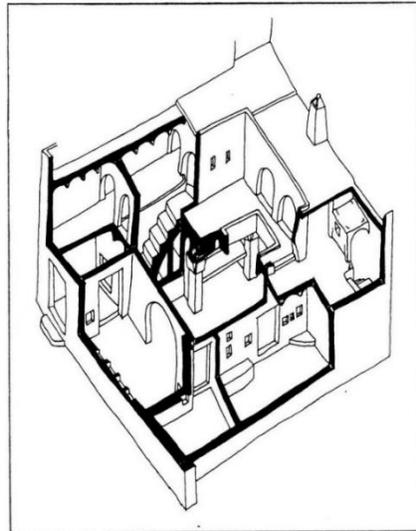
#### **IV.2.3.1. La forme du bâtiment : introvertie**

La cour est un élément qui a été mis en œuvre dans l'architecture traditionnelle de nombreuses cultures non seulement comme un espace extérieur qui fournit de la lumière et de la ventilation au bâtiment, mais aussi comme un espace de vie (Taleghani, M., et al., 2012). De nos jours, les cours sont considérées comme une stratégie passive en termes d'efficacité énergétique des bâtiments (Guo, P., et al., 2022, Lopez-Cabeza, V. P., et al., 2022), étant donné que le microclimat généré dans une cour contrôle la température extérieure, une performance qui réduit les besoins énergétiques des bâtiments en diminuant les pertes d'énergie à travers les surfaces en contact avec l'espace de la cour et, par conséquent, en réduisant la consommation des systèmes de climatisation (Tabesh, T., et al., 2016)

Les cours sont également utilisées depuis longtemps dans l'architecture traditionnelle dans plusieurs régions chaudes et arides à travers le monde. La maison saharienne traditionnelle est caractérisée par l'introversion. Elles ont des cours intérieures au milieu dont les espaces de la maison l'entourent. Elles sont, souvent fermés sur l'extérieur, s'ouvrent sur des patios ou des cours intérieures (Fig.I.6). Dans une région chaude et aride ; cette espace représente une réponse architecturale qui reflète une volonté de préserver le confort des habitants tout en limitant l'exposition aux aléas du climat essentiellement, profitant de l'ombrage et de la ventilation naturelle. Cette disposition favorise également l'intimité qui est un principe de base de la société saharienne. (Fig.I.7)

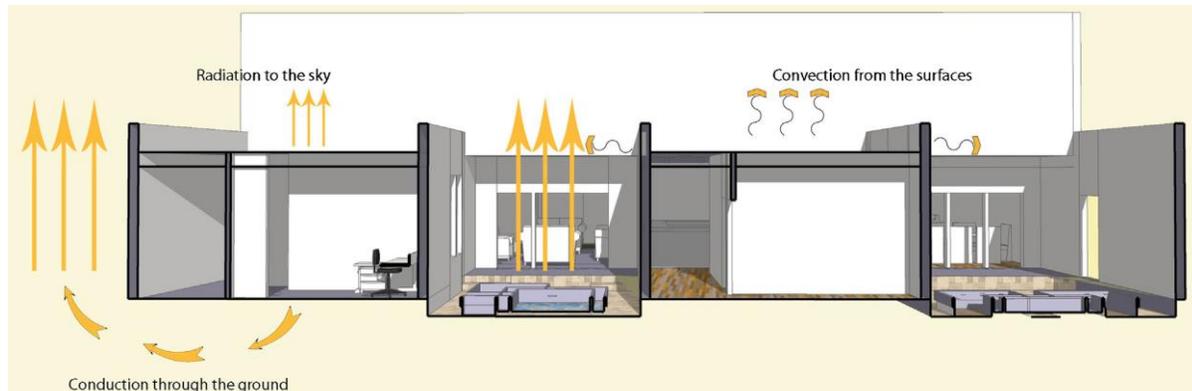


**Figure I.6:** Plan schématisation de la configuration de la maison traditionnelle. (Source : Auteur)



**Figure I.7:** Vue axonométrie d'une maison introvertie à Ghardaïa .(Source : Bousquet, C. , 2002).

Dans une cour, l'air frais de la nuit, est plus dense que l'air chaud environnant, s'accumule et reste confiné dans cet espace. Cela crée des poches d'air froid qui isolent le bâtiment de la chaleur extérieure (Fig. I.8). Pendant la journée, l'air de la cour reste frais, y compris dans les zones exposées au soleil. Si la cour est étroite (sa largeur étant inférieure à sa hauteur), le flux de vent a peu d'impact sur la conservation de cet air frais. L'une des principales raisons de l'existence de bassins d'eau, d'arbres et de plantes dans la plupart des cours de cette région est d'augmenter l'humidité de l'air (ce qui est crucial dans les régions chaudes et sèches) et de rendre les espaces intérieurs plus modérés. (Kalili., et al., 2014)



**Figure I.8:** Analyse des performances thermiques de la cour centrale la nuit. (Source Kelili et al 2014)

Ces caractéristiques, en synergie, révèlent une intelligence urbaine particulière, façonnée par des siècles d'adaptation aux défis du climat aride. Elles illustrent comment l'urbanisme et l'architecture peuvent non seulement répondre aux besoins des habitants, mais aussi valoriser et intégrer les contraintes naturelles dans un cadre urbain durable et fonctionnel.

#### **IV.2.3.2. La Ventilation naturelle**

La ventilation est un autre aspect essentiel de la conception des bâtiments. La ventilation naturelle est une méthode de ventilation qui utilise les forces motrices naturelles pour faire circuler l'air à l'intérieur d'un bâtiment, sans l'utilisation de composants mécaniques ou électriques. (Halderaker, 2016), peut être entraînée par la pression du vent ou par les différences de densité entre l'air intérieur et l'air extérieur (Poddar, A., et al, (2024). Sans dispositifs mécaniques, le système de construction saharien utilise des mécanismes d'énergie passive afin de garantir un confort thermique optimal.(Bodach et al., 2014). Les systèmes de refroidissement passif sont envisagés comme des substituts aux systèmes de ventilation mécanique (Abdallah, 2021). L'intégration de la ventilation naturelle à la conception architecturale, par le biais d'éléments tels que des tours, des atriums et une masse thermique, peut améliorer le confort et le bien-être intérieurs. (Poddar, A., et al, (2024)

Le patio comme espace régulateur thermique de la maison saharienne ancienne permet la ventilation naturelle et par sa position ,entourer des espaces de vie , assure un ombrage permanent et limite l'accès solaire intense en saison estival. Les surfaces de l'enveloppe évacuent la chaleur thermique vers le ciel dégagé pendant la nuit, ce qui contribue au refroidissement de la masse du bâtiment. (Attia, 2012)

#### **IV.2.3.3. Les matériaux de construction :**

Historiquement, les matériaux choisis pour la construction des maisons au Sahara traditionnelle provenaient de la proximité quasi-immédiate du bâtiment. Ces matériaux sont respectueux de l'environnement, par une diminution des coûts en énergie ou en émissions carbone pour l'approvisionnement de la construction ou de la rénovation. Ils ont un impact environnemental moins néfaste, en particulier en ce qui concerne le potentiel de réchauffement climatique.

Un bâtiment saharien ancien est un bâtiment construit par la population locale en utilisant des technologies traditionnelles à partir de matériaux disponibles localement, adaptés au contexte environnemental pour s'adapter aux modes de vie domestiques (Foruzanmehr, A., 2015) ; c'est une description qui est tout à fait conforme à ce que l'on appelle aujourd'hui la durabilité.

Les matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment possèdent une masse thermique qui conserve la chaleur intérieure, limitant ainsi les gains et les pertes thermiques sur toute la surface de l'enveloppe. Ils agissent comme une barrière, empêchant le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur. Les murs épais sont un critère de conception standard de l'architecture traditionnelle des climats chauds et secs. Les murs épais offrent une protection contre la chaleur intérieure. (Akin., et al, 2016, Mazraeh., et al, 2018).

Des recherches basées sur la mesure de la température sur le terrain ont démontré que la forte inertie thermique d'un bâtiment traditionnelle portugais situé dans une région aux étés chauds et secs contribuait au maintien d'une température intérieure presque constante malgré d'importantes fluctuations des températures extérieures tout au long de la journée. (Fernandes, et al 2015).

## **CONCLUSION**

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les liens complexes entre la forme urbaine et le confort thermique dans un contexte climatique chaud et aride. La relation entre la configuration urbaine des espaces construits, et le confort thermique est un champ d'étude crucial où les conditions climatiques accentuent les défis d'adaptation humaine et d'efficacité énergétique .

À travers une analyse des paramètres de la forme urbaine il a été démontré que les choix en matière de planification et de conception peuvent significativement atténuer ou aggraver les effets des conditions climatiques extrêmes.

L'analyse suggèrent que des configurations urbaines adaptées, inspirer de l'architecture traditionnelle et les principes bioclimatique sont ainsi une solution aux problématiques rencontrées par les bâtiments, mais principalement aux enjeux du secteur du confort thermique, permettent de réduire la température ambiante dans les espaces extérieurs et d'optimiser le confort thermique intérieur. Ces éléments montrent également qu'il favorise la réduction de l'impact direct du rayonnement solaire, contribuant ainsi à la création de microclimats plus tempérés au sein même des espaces urbains.

En somme, la forme urbaine ne doit pas seulement être envisagée sous un angle esthétique ou fonctionnel mais doit intégrer des considérations de confort thermique et de durabilité. Les enseignements tirés de cette analyse mettent en avant l'importance de stratégies de conception durable et de choix matériels pour développer des environnements urbains résilients aux conditions climatiques extrêmes.

# CHAPITRE II :

## **Forme Urbaine et Efficacité Energétique**

*“Energy is an essential resource for advancing countries’  
social and economic development ”*

Verichev et al., 2019.

## **INTRODUCTION**

La ville et les bâtiments seront de plus en plus exposés à des vagues de chaleur extrêmes en raison des changements climatiques. Un défi majeur pour le développement durable est l'efficacité énergétique des bâtiments et des espaces urbains, en particulier dans le contexte de transition énergétique et de lutte contre le changement climatique. En raison de la présence de plus de la moitié de la population mondiale dans les villes, la consommation d'énergie en milieu urbain joue un rôle important dans l'impact environnemental mondial. Dans cette optique, la forme urbaine englobant ces divers paramètres à un impact essentiel sur les besoins énergétiques.

L'objectif de l'architecture et de l'urbanisme en matière de problématiques énergétiques et environnementales est de répondre aux demandes des populations tout en protégeant la nature et l'environnement. En conséquence, les bâtiments qui présentent des performances optimales dans leurs fonctions ; minimisent la consommation d'énergie des systèmes actifs pour répondre aux conditions de confort thermique et deviennent des bâtiments économes en énergie. (Mangan, et al., 2020).

Ce chapitre vise à approfondir les liens entre la forme urbaine et l'efficacité énergétique, en mettant en lumière les divers aspects de la conception urbaine et architecturale qui influencent la consommation d'énergie des bâtiments.

Les sections suivantes examineront en détail les principaux effets de la forme urbaine sur l'efficacité énergétique dans différents contextes. Elles présenteront également des études de cas et des recherches, théoriques et empiriques, qui illustrent l'impact de la forme urbaine sur la consommation énergétique dans divers climats et régions géographiques, avec un accent particulier sur les zones à climat chaud et aride.

## **I. L'EFFICACITE ENERGETIQUE A L'ECHELLE URBAINE OU A L'ECHELLE ARCHITECTURAL**

Au cœur de l'explication, l'efficacité énergétique est définie comme un mécanisme essentiel pour limiter les dommages environnementaux causés à notre planète par la consommation d'énergie. (Roaf et Hancock 1992). Peut être considérée comme la première étape vers un processus de conception durable. Toutes les définitions font référence à un bâtiment qui a une meilleure performance énergétique que les exigences standard en matière d'alternatives d'efficacité énergétique des codes du bâtiment. (Gabril, N. 2014)

La population mondiale continue de croître, les villes connaissent une forte urbanisation, entraînant une consommation accrue de ressources. Les zones urbaines contribuent aux trois quarts de la consommation mondiale d'énergie primaire et à environ 60 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (UN-Habitat, 2018). Le parc immobilier joue un rôle central, représentant près de 40 % de la consommation énergétique tout au long de son cycle de vie. Les bâtiments revêtent une importance cruciale en termes d'efficacité énergétique, représentant environ 32 % de la consommation énergétique mondiale et contribuant pour un quart aux émissions de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique (AIE, 2013).

Ces dernières années, différents débats scientifiques sont tenus sur la question énergétique : efficacité, consommation, performance...etc.; et qui ont pour objet principal soit l'étude de la morphologie urbaine, soit le bâtiment. Considérant le bâtiment comme autonome négligent ainsi l'insertion avec son environnement immédiat; c'est-à-dire la prise en compte de l'environnement urbaine immédiat et tantôt même les conditions climatiques locale.

L'efficacité énergétique des bâtiments dépend d'un ensemble de facteurs, incluant non seulement leurs caractéristiques géométriques et thermo-physiques, mais aussi leur contexte environnemental ainsi que les conditions climatiques locales (Mutani et al., 2020 ; Liu et al., 2023). Depuis les années 1960, de nombreuses études sur la performance énergétique des bâtiments ont abouti à la conclusion que l'évaluation d'un bâtiment pris isolément est insuffisante. Par contre, il est essentiel de prendre en compte les interactions et effets de l'environnement immédiat entre les bâtiments d'un quartier pour obtenir des résultats plus

représentatifs et précis dans l'analyse de leur performance énergétique (Stemers, 2003 ; Rodríguez-Álvarez, 2016 ; Sanaieian et al., 2014 ; Liu et al., 2023).

## **II.L'EFFET DU CLIMAT LOCAL SUR LA CONSOMMATION ET LA DEMANDE ENERGETIQUE**

L'architecture est étroitement liée aux variations climatiques (Pajek, et al.2012). Étant donné l'importance de la relation entre l'environnement bâti et l'environnement naturel pour la performance thermo-énergétique des bâtiments (Fernandes, et al. 2020), et conformément à l'affirmation de Priya et al. (2012) selon laquelle tout bon bâtiment doit être en rapport et répondre au climat, il est nécessaire, avant de planifier un bâtiment et de définir des stratégies appropriées, d'analyser le climat local. Différents auteurs mènent leurs études sur un climat spécifique comme point de départ, analysant ensuite les techniques bioclimatiques appropriées (Chenvidyakarn.,2007, Chow., 2010, Lavafpour., et al 2011, Katili., et al 2015, Avendaño-Vera, et al. 2020).

D'une part, les contextes climatiques et les géométries urbaines que l'on trouve dans le monde entier sont pratiquement infinis, ce qui signifie qu'il n'existe pas de solution unique ou de géométrie idéale à suivre pour construire de manière appropriée en fonction du climat (Oke,1988), comme cité dans (Tzikopoulos, et al 2005). En outre, lors de l'analyse de l'architecture et de ses possibilités, il est conseillé de simplifier ces contextes climatiques (da Silva, et al 2015). La catégorisation proposée par Olgyay et Olgyay (1963) les regroupe en quatre principaux types de climats : froid, chaud et sec, chaud et humide et tempéré, comme l'indique le tableau II.1. Outre le climat, ainsi que des facteurs tels que la topographie du terrain, la trajectoire solaire, la présence de zones ombragées, la taille, et les réglementations locales doivent également être pris en compte dans la conception des bâtiments (Tzikopoulos, et al 2005).

Le comportement thermique du climat chaud et sec est très distinctif en raison de fortes fluctuations quotidiennes et saisonnières. Ces conditions sévères poussent l'architecture à trouver des solutions pratiques qui pourraient faire face au climat hostile afin d'offrir un environnement intérieur confortable avec une consommation optimale d'énergie. Pour cette raison, les paramètres de conception pour le climat chaud et sec doivent être évalués pour surmonter les

changements attendus et pour concevoir un bâtiment en harmonie avec les conditions sévères typiques de ce climat (Kocagil, et al.,2015).

**Tableau II.1** : les quatre principaux types de climat proposer par Olgyay. Source : Olgyay , 1963.

<i>Type de climat</i>	<i>Description des principaux caractéristiques</i>
<i>Froid</i>	Climat typique des régions de haute latitude ou de moyenne latitude combinée à une altitude élevée. Les températures sont très basses tout au long de l'année, surtout en hiver, avec un rayonnement solaire faible et de fortes chutes de neige. Les vents sont agressifs, principalement du pôle correspondant à sa latitude.
<i>Chaud et sec</i>	Climat typique des régions continentales proches de l'équateur (zones désertiques), avec une température moyenne annuelle élevée et une amplitude thermique journalière importante. L'humidité y est très faible, le rayonnement solaire intense et direct. Les précipitations sont rares dans les régions chaudes et sèches, ce qui entraîne une végétation clairsemée. Les vents sont chauds et poussiéreux, parfois très agressifs.
<i>Chaud et humide</i>	Climat typique des régions côtières tropicales. Il se caractérise par des températures moyennes annuelles élevées et des amplitudes thermiques journalières et saisonnières réduites. Ces régions ont généralement des niveaux d'humidité élevés, une couverture nuageuse fréquente et de fortes pluies saisonnières. Le rayonnement solaire est intense et généralement diffus. Les vents sont variables et peuvent générer des typhons.
<i>Tempéré</i>	Un type de climat complexe qui, tout au long de l'année, présente des caractéristiques similaires aux trois autres types de climat mais moins intenses. Il a quatre saisons bien définies.

### III. L'ENERGIE ET LA FORME DE LA VILLE

L'utilisation accrue de la production d'énergie distribuée dans les zones urbaines (généralement photovoltaïque montée sur le toit), la croissance de la possession de véhicules électriques et l'introduction potentielle de réseaux intelligents et de micro-réseaux et la possibilité de centrales électriques virtuelles modifient l'impact de l'énergie sur forme bâtie et entre en conflit avec les politiques actuelles de développement plus dense, contenu et compact. Ahmadian, E., et all (2018)

La réduction des distances de déplacement entraîne une réduction de la consommation de carburant et la réduction du rapport surface/volume d'un bâtiment réduit les pertes de chaleur et donc la consommation d'énergie des bâtiments. Combinés, ces deux arguments présentent un cas solide pour introduire des politiques concernant la forme urbaine compacte. Cependant, de nouvelles preuves montrent que ce n'est pas nécessairement le cas et qu'une forme urbaine dispersée peut être plus efficace sur le plan énergétique. Ahmadian, E., et al (2018)

La forme urbaine dispersée peut être plus économe en énergie que la forme compacte selon les résultats d'une étude de Ahmadian, E., et al (2018) , soulignant ainsi que ceci est contre-intuitif mais est soutenu à la fois par la remise en question de la modélisation conventionnelle de la consommation d'énergie des bâtiments ainsi que par des études de cas avec des preuves empiriques. Ils concluent que les politiques sur la forme urbaine devraient être guidées non pas par les technologies existantes mais par les technologies du futur.

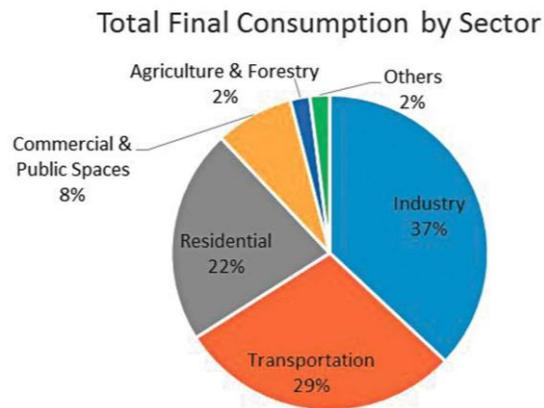
### **III.1. Energie de transports et Formes urbaines**

A. Levy (2005) trouve qu'un important débat sur les formes urbaines du futur et les transports urbains (forme compacte/forme étalée) a été initié à partir des questions, autour de l'enjeu du développement durable, ainsi que sur le problème énergétique et ses conséquences sur le climat. La consommation d'énergie d'une ville dépend à la fois des transports et des bâtiments (Steemers 2003 ; Rickwood, Glazebrook et Searle 2008) en quantités variables, dépendant largement du climat, des technologies énergétiques et de la forme urbaine.

Newman & Kenworthy ont ouvert la voie à un courant promouvant la ville compacte pour diminuer la dépendance automobile et la consommation de pétrole des villes. P. Newman et J. Kenworthy (1989) ont étudié le lien entre la consommation d'énergie et la forme urbaine. Ils ont montré que les villes les plus denses (Asie et Europe) consommaient bien moins d'énergie que les villes étalées (Etats-Unis, Australie). Selon Schaeffer & Sclar, (1975) la forme urbaine est définie par le mode de déplacement. Ils ont défini trois types de villes pour décrire l'évolution historique des formes urbaines selon les modes de transport: La ville piétonne, la ville de transport en commun et la ville automobile. La ville automobile est apparue après la seconde guerre mondiale dans les pays développés qui a permis par la suite un étalement dans l'espace.

Y. Zahavi (1976) considère que la consommation énergétique est dépendante du mode du déplacement au sien de la ville; et que le déplacement via l'automobile est le mode le plus consommateur d'énergie en milieu urbain.

J. Allaire. (2006) considère que dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, le développement urbain des pays industrialisés s'est concentré autour de l'automobile. Elle est devenue le mode de transport exclusif dans les villes américaines et australiennes et le mode de transport dominant dans la majorité des villes européennes. Son évolution a permis la conquête de nouveaux territoires par la ville; en offrant des vitesses plus élevées. Ceci à engendrer une augmentation des distances de déplacement, et est devenue indispensable pour beaucoup de déplacements quotidiens. Par la suite la dépendance envers l'automobile crée une dépendance énergétique et une contribution au réchauffement climatique difficilement réductible. Certains pays en développement construisent actuellement leurs villes.

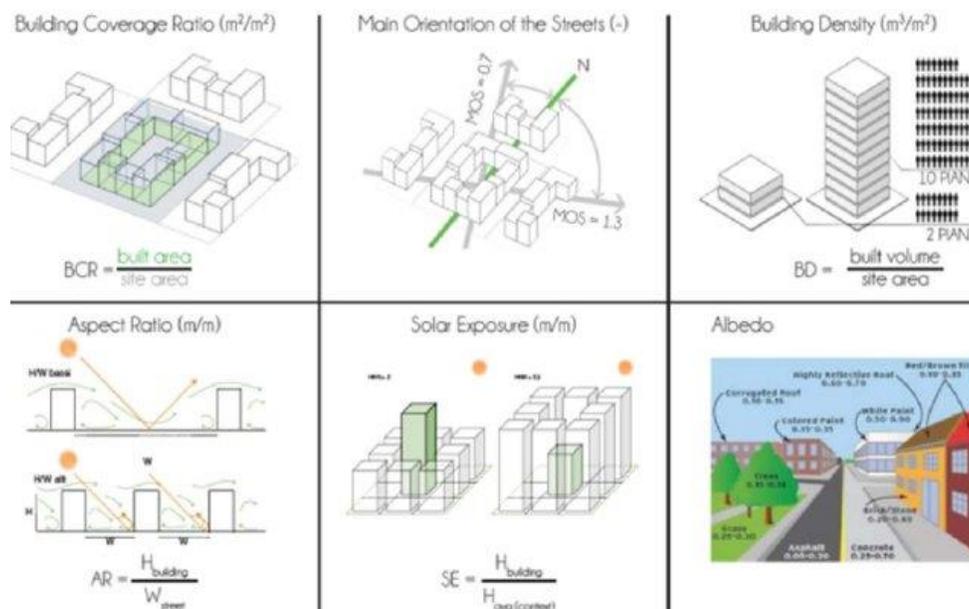


**Figure II.1** : La consommation énergétique final totale par secteur. (Source IEA, World Energy Balances Overview 2017).

La manière dont ces villes sont bâties va procurer la consommation d'énergie dans les transports urbains pour les décennies à venir. Ils confirment que la forte densité héritée est finalement un atout des villes émergentes pour limiter leur dépendance énergétique. Elle permet de freiner l'implantation d'un système automobile. (Fig.II.1)

### III.2. Effet de La forme Urbaine sur l'efficacité Énergétique

Pour décrire et modéliser l'interaction de la forme urbaine avec le climat et l'énergie, les chercheurs (Oke, 1976; Golany, 1996; Sanaieian et al.2014, Jamei et al.2016) soulignent que les paramètres: rapport d'aspect, orientation de la rue, facteur de vue du ciel, échelle locale et de quartier, arbres de rue et parcs urbains doivent être pris en compte. D'autre part les conditions climatiques globales, le quartier et la géométrie du bâtiment, les propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment, les valeurs d'efficacité des systèmes énergétiques et les profils des occupants sont soulignés comme des facteurs importants qui affectent la performance énergétique des bâtiments dans plusieurs travaux de recherches (Mitchell, 2005 ; Ratti et al., 2005 ; Salat, 2009). Selon une étude de Carlo Ratti dans laquelle a démontré que parmi ces cinq facteurs indépendants qui affectent la performance énergétique finale d'un bâtiment, la géométrie des quartiers pouvait entraîner une modification de la consommation d'énergie de plus de 10 % (Baker et Steemers, 2003 ; Curra et al., 2019 ; Ratti et al., 2005). (Fig.II.2)



**Figure II.2:** Les paramètres urbains qui affecte la consommation énergétique. (Source Mutani., et al 2020)

Plusieurs paramètres sont utilisés pour évaluer la corrélation entre la forme urbaine et la performance environnementale (J.Natanian, et al. 2019). Ces paramètres permettent de décrire la distance entre les bâtiments, la densité des bâtiments urbains, la présence de végétation, le canyon urbain, les matériaux et les modes d'utilisation des espaces urbains. (J. Strømman-Andersen et al. 2011)

De son côté Mangan, et al. (2020) confirme que beaucoup d'étude se focalise sur les interactions mutuelles entre les bâtiments et la texture de l'habitat dans un environnement bâti ; l'échelle urbaine plutôt que l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments autonomes, et qui montrent que la performance énergétique du bâtiment est principalement affectée par la texture de quartier et la forme du bâtiment en termes de perte de chaleur et d'accès solaire (Futcher et Mills, 2013 ; Hachem et al., 2011a ; Hachem et al., 2011b ; Ratti et al., 2005 ; Salvati et al., 2017 ; Vartholomaios, 2017).

Arantes, L., et al. (2016) considère que le débat sur la question énergétique des formes urbaines est encore récent; et qu'il est temps de changer l'échelle de réflexion en passant du bâtiment à l'organisation micro-urbaine d'un morceau de ville, et que les travaux sur les relations entre forme urbaine et l'efficacité énergétique soient assez limitées et leur interaction n'a pas été largement prise en compte.

### **III.2.1. Effet de la compacité de la ville sur l'efficacité Énergétique**

Il en découle logiquement qu'une ville compacte tendra à consommer moins d'énergie qu'une ville étalée, les distances de déplacements sont plus courtes (Newman et Kenworthy, 1989 ; Guhathakurta et Williams, 2015). De plus, les bâtiments y consommeront moins d'énergie en raison d'un rapport entre la surface et le volume (S/V) du tissu bâti est réduit (Ewing et Rong, 2008 ; Joiner, 2010 ; Rode et al., 2014).

Les zones urbaines compactes, en particulier pour le développement résidentiel, ont été largement promues (Breheny 1995) en tant que faibles consommateurs d'énergie et cela a été adopté comme critère pour les « villes intelligentes » (Albino, Berardi et Dangelico 2015). En

conséquence il a un impact sur la forme urbaine puisque la compacité nécessite un confinement aux périphéries qui tend à se traduire par des formes bâties de plus grande hauteur.

L'étude de Salvati, A., et al (2017) examine le double effet de la compacité urbaine sur les performances énergétiques des bâtiments dans un climat méditerranéen, à Rome en Italie, à savoir l'augmentation de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU) et la diminution de la disponibilité du rayonnement solaire sur les façades des bâtiments. La demande énergétique d'un appartement a été calculée en faisant varier l'intensité de l'ICU et l'exposition au rayonnement solaire pour différentes textures urbaines. Les résultats montrent des relations robustes entre la demande énergétique et le rapport de couverture du site des bâtiments. Démontrant ainsi que les configurations urbaines compactes sont plus économes en énergie que les configurations urbaines moins denses dans un climat méditerranéen.

Selon Ahmadian et al. (2019), la consommation énergétique est également influencée par des facteurs secondaires tels que la densité d'étalement, les types de bâtiments résidentiels, la proximité des immeubles de grande hauteur, ainsi que la structure urbaine mono- ou polycentrique de la ville.

Selon Lomas, (2010), l'argument contre les bâtiments compacts repose principalement sur deux points. Premièrement, le rapport surface/volume n'est plus un indicateur fiable de la consommation énergétique d'un bâtiment, en raison de l'amélioration des normes d'isolation, des hypothèses biaisées dans les modèles de consommation, et du déplacement de l'usage énergétique vers les appareils électriques. Des études montrent que les parties communes des bâtiments compacts consomment davantage d'énergie, contribuant ainsi à une consommation énergétique totale plus élevée (Finch, Burnett et Knowles, 2010 ; Heinonen et Junnila, 2014). Cette constatation est soutenue par des données empiriques issues de grands échantillons de bâtiments dans des climats variés, chauds et froids (Heinonen et Junnila, 2014 ; Myors, O'Leary et Helstroom, 2005).

Le débat sur la forme urbaine idéale pour une ville durable demeure un sujet complexe et non résolu, malgré les nombreuses recherches menées dans ce domaine. En effet, si certaines études montrent qu'une forme compacte favorise une réduction des déplacements motorisés, une densité énergétique plus faible et une utilisation plus rationnelle des ressources, d'autres travaux

mettent en évidence les défis liés à cette approche. D'autre part, les partisans d'une forme urbaine plus étalée soulignent les bénéfices potentiels en termes d'espace, de confort, et de qualité de l'air, bien que cette configuration soit souvent associée à une consommation énergétique et foncière plus élevée. Ainsi, malgré des avancées notables dans la compréhension de l'impact de la forme urbaine sur la durabilité, il reste difficile de tirer des conclusions universelles applicables à toutes les villes, chaque contexte urbain ayant ses propres spécificités et exigences.

### **III.2.2. Effet de la géométrie urbaine sur l'efficacité Énergétique**

Un point important à considérer dans une analyse significative de la relation entre la texture du quartier et la performance énergétique est le ou les paramètres de conception qui seront utilisés dans l'échelle du quartier. Nault et al. (2015) ont défini les paramètres de conception concernant l'échelle de quartier en trois catégories basées sur : la géométrie, le solaire externe et la géométrie, aussi sur le climat et la géométrie.

**Le premier groupe** basé sur la géométrie comprend des paramètres de conception qui sont calculés en fonction de la texture urbaine et de la morphologie du bâtiment.

**Le deuxième groupe** comprend des paramètres de conception qui tiennent compte du niveau d'exposition solaire des surfaces extérieures du bâtiment en fonction de la géométrie de l'implantation (par exemple, l'irradiation solaire (kWh/m<sup>2</sup>)).

**Le troisième groupe** comprend des paramètres de conception qui tiennent compte des données climatiques et géométriques qui nécessitent principalement des simulations complexes et plus de temps (par exemple, l'autonomie spatiale de la lumière du jour) (Curra et al., 2020; Nault et al. ;2015).

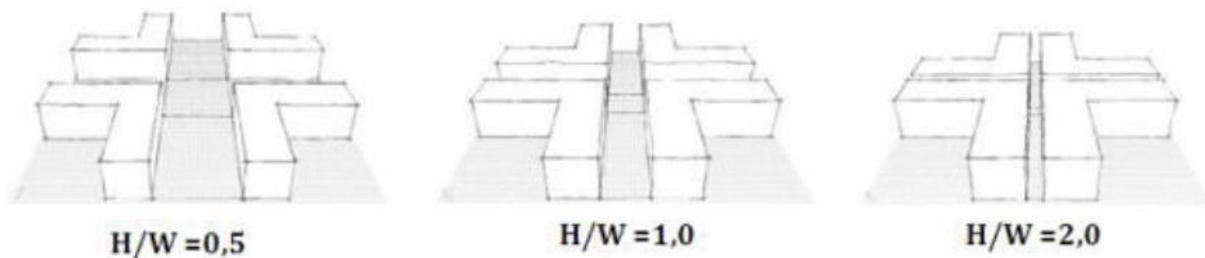
Parmi ces trois groupes, les paramètres de conception basés sur la géométrie peuvent être calculés plus facilement, car les données sont plus accessibles et simples, et les calculs ne nécessitent pas de connaissances spécialisées (Curra et al., 2020).

Les paramètres de conception basés sur la géométrie urbaine examinés les plus courants tel que le rapport d'aspect (H/L) exprimé par le ratio de la hauteur du bâtiment sur

largeur de la rue (Ratti et al., 2005 ; Johansson, 2006 ; Ali-Toudert et Mayer, 2006 ; Strømman-Andersen et Sattrup, 2011 ; Sanaieian et al. , 2014 ; Allegrini et al., 2016 ; Vartholomaios, 2017), la hauteur moyenne des bâtiments (Rode et al., 2014 ; Morganti et al., 2017, Cheng et al., 2020), certain ont discuté l'indice de surface au sol (COS) (Nault et al., 2015 ; Rodríguez-Álvarez, 2016 ; Morganti et al., 2017), et indice d'espace au sol (CES) (Curra et al., 2020 ; Natanian et al., 2019a ; Morganti et al., 2017 ; RodríguezÁlvarez, 2016 ; Rode et al., 2014) , d'autres le rapport surface/volume (Ratti et al., 2005 ; Taleghani et al., 2013 ; Rode et al., 2014 ; Vartholomaios, 2017 Morganti et al., 2017 ; Oh et Kim, 2019).

Ali-Toudert (2009) a étudié un bâtiment dans différentes textures de quartier, en utilisant différentes propriétés de construction dans trois régions climatiques et a déterminé que le refroidissement diminuait avec les canyons de rue profonds. Van Esch et al. (2012) ont constaté que des changements de 5 m dans différentes largeurs de rue procuraient des gains de rayonnement solaire allant jusqu'à 19 % en hiver et 25 % en été dans les régions à climat froid.

En ce sens, le rapport d'aspect, qui est l'un des paramètres géométriques utilisés pour définir simplement les relations entre les bâtiments dans les sections des textures de quartier, a été étudié dans de nombreuses études pour comprendre la relation entre les conceptions de canyons urbains et la consommation d'énergie. (Fig.II.3)



**Figure II.3** : Différent rapport d'aspect (H / L) de rue canyon (Source: Bougiatioti. 2006).

Les effets de la densité de construction, de différentes textures de quartier et de différentes hauteurs de construction a été étudié par Perini et Magliocco (2014) pour évaluer le rôle de l'effet canyon à Milan, Gênes et Rome. Les résultats de l'étude ont démontré que la densité et la hauteur des bâtiments dans une zone urbaine influencent la température potentielle, la température radiante moyenne (MRV) et la distribution du vote moyen prévu (PMV) ; pour la

plupart des cas examinés, une densité plus élevée entraînait des températures plus élevées et la végétation avait des effets de refroidissement plus importants. Mangan, S. D., et al. (2020). Rafiyan, M., et al. ; (2011) ont examiné l'impact de la forme et de la densité des îlots résidentiels sur la consommation d'énergie. Les résultats de leur recherche ont indiqué qu'en modifiant la forme, la densité, l'orientation et la hauteur des immeubles résidentiels, il était possible de réduire la consommation d'énergie d'environ 45%.

Selon une étude menée par Baker et Steemers, une étude de Carlo Ratti a démontré que parmi ces cinq facteurs indépendants qui affectent la performance énergétique finale d'un bâtiment, la géométrie des quartiers pouvait entraîner une modification de la consommation d'énergie de plus de 10 % (Baker et Steemers, 2000 ; Curra et al., 2020 ; Ratti et al., 2005).

### **III.3. L'efficacité énergétique du bâtiment**

Les bâtiments d'aujourd'hui représentent jusqu'à 40 % de la consommation totale d'énergie et 36 % des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. (Xiao, F., 2020). Environ 73 % des études examinées, qui étudiaient directement l'impact du comportement des occupants sur la consommation énergétique des bâtiments, se concentraient sur les bâtiments résidentiels et de bureaux (40 % et 33 %, respectivement). Quelques études ont analysé les bâtiments commerciaux et éducatifs. Ebuy, H. T., et al (2023)

Les bâtiments résidentiels sont particulièrement importants dans ce contexte, car le mode de vie des occupants façonne la demande énergétique. (Panão, M. J. O. , 2024).

L'architecture contemporaine a tendance à s'appuyer sur des dispositifs de contrôle climatique actifs pour assurer le confort thermique à l'intérieur (Manzano-Agugliaro F., 2015), ce qui entraîne une consommation énergétique élevée tout au long de la phase opérationnelle du bâtiment. (Toroxel, J. L.,2024)

La performance énergétique des bâtiments est affectée non seulement par les caractéristiques géométriques et thermo-physiques du bâtiment, mais également par son environnement et les conditions climatiques locales (G. Mutani, V. Todeschi. 2020).

L'adoption de stratégies bioclimatiques dans la conception des bâtiments est la première étape vers la réduction de leurs besoins énergétiques et la minimisation de la dépendance aux systèmes mécaniques de chauffage, de refroidissement et de ventilation (Fernandes, et al.2020, Cabeza, et al.2020).

### **III.3.1. L'effet de la forme des bâtiments sur l'efficacité énergétique**

Les premières recherches sur l'énergie et la forme bâtie (March 1972; Rickaby 1987; Steadman et Brown 1987) ont établi un lien entre la consommation d'énergie des bâtiments et le rapport surface/volume des bâtiments. Dans son argument en faveur de l'intensification urbaine, après plus de 40 ans après le modèle de March (1972), Joiner (2010), suggéré qu'il possible de réduire les pertes de chaleur à travers l'assemblage ou le regroupement des maisons en réduisant ainsi l'enveloppe extérieure de chaque habitation. Une conclusion logique de cette hypothèse est que le logement est plus économe en énergie si sa forme bâtie est compacte et, compte tenu de ses exigences en ventilation naturelle et en lumière du jour, cela signifiera nécessairement que les formes plus verticales (bâtiment de grande hauteur) sont plus économes en énergie que les maisons individuelles. C'était la base des recherches (Rode et al. 2014) sur la relation entre la forme des villes et la demande de chaleur résidentielle. Les résultats semblaient fournir des preuves, ainsi que des recommandations politiques, que les bâtiments de grande hauteur ont une forme optimale en raison de leur rapport surface/volume relativement faible et, par conséquent, des pertes de chaleur. Un autre résultat a également été identifié par Hamilton et al. (2017) sur l'utilisation réelle de l'énergie sur un large échantillon du parc immobilier de Londres (climat tempéré) qui a conclu que les immeubles de grande hauteur sont plus énergivores que les immeubles de faible hauteur, beaucoup d'énergie pourrait être économisée en décourageant les immeubles de grande hauteur et en encourageant les immeubles de faible hauteur à leur place.

Steadman, Evans et Batty (2009) notent qu'il devrait y avoir un seuil maximal pour la profondeur du bâtiment afin d'éviter la ventilation et l'éclairage artificiels qui sont nécessaires une fois que la profondeur des pièces dépasse la zone passive. L'hypothèse selon laquelle la perte de chaleur de l'enveloppe est l'indice de performance énergétique le plus pertinent a prévalu au fil du temps.

Zarghami et al.(2016) ont examiné la relation entre la configuration des plans des bâtiments résidentiels et leur consommation d'énergie dans des climats chauds et secs. Leur recherche a révélé que parmi les formes sans ombre (carré, rectangle et trapèze), un plan carré est meilleur qu'un plan rectangulaire en termes d'efficacité énergétique. Parmi les formes avec ombrage (L, U, H et T), la configuration en L avec un rapport de profondeur de 2 à 3 s'est avérée être la meilleure option en matière d'efficacité énergétique. Les résultats ont également indiqué qu'au cours de la comparaison entre les formes avec et sans ombrage, la configuration en L présentait la plus haute efficacité énergétique

### **III.3.2. L'effet de l'enveloppe du bâtiment sur la consommation énergétique**

Certain chercheur trouve que la performance thermique des bâtiments doit être évaluée au stade de la conception à l'aide d'un modèle de calcul de transfert de chaleur dynamique, en tenant compte de la capacité de stockage de chaleur de l'enveloppe du bâtiment (Manioğlu, et al. ; 2008, Jamal, et al. ; 2023). En moyenne, environ 75 % des pertes et des gains de chaleur se produisent à travers l'enveloppe du bâtiment. (Aydın et al., 2020), une enveloppe de bâtiment (façades et toit) avec de la végétation pourrait réduire considérablement la consommation d'énergie pendant la saison de refroidissement (Jiang et al. , 2023). La conception de l'enveloppe est l'un des paramètres efficaces pour réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort thermique. (Ghorbani et al., 2023).

L'efficacité énergétique d'un bâtiment est affectée considérablement par les matériaux et leur propriétés thermo-physiques de l'enveloppe de ce dernier. (Kazemi, et al., 2023 ; Moein et al., 2023 ; Madandoust, et al., 2018 ;). La réduction de la valeur U des matériaux de l'enveloppe extérieure contribue à améliorer les performances thermiques, notamment en utilisant des matériaux massifs dans l'enveloppe (jusqu'à 39,77 %) (Sözen, et al. 2019).

Les matériaux de construction sont capables, à des degrés divers, d'absorber, de transmettre, de réfléchir, de stocker et d'émettre l'énergie qu'ils reçoivent, qu'elle provienne de sources naturelles ou artificielles. (Toroxel, et al 2024). Les éléments opaques d'un bâtiment

(murs, toitures, planchers) peuvent contribuer au contrôle des gains ou des pertes de chaleur – en fonction de leur isolation thermique – et à l'inertie thermique de la construction Amer, (2006).

L'effet des paramètres l'enveloppe du bâtiment sur les charges thermiques et le vote moyen prédit (PMV) a été examiné par Ghorbani et al., (2023). Plusieurs paramètres de construction ont été examinés dans cette étude tel que la Construction des Murs (WLC) et la Construction des Fenêtres (WID) avec différents coefficients U (transmittance thermique), le Ratio Fenêtre/Mur (WWR), la profondeur de l'Ombre (DSH), et le Nombre d'Ombres (NSH), afin de réduire énergétiquement et améliorer le confort thermique des maisons à cour en Iran. Les résultats indiquent que les valeurs de PMV pour la plupart des zones ont été négativement affectées (diminuées) par WID. L'augmentation du rapport fenêtre/mur de 4,88 % à 10 % a augmenté les charges énergétiques annuelles totales de 2,05 %. (Sözen, et al., 2019).

Étant donné que la perte de chaleur d'un bâtiment est proportionnelle à sa surface et aux propriétés de flux de chaleur des matériaux respectifs (valeurs U), l'optimisation de la forme bâtie s'est concentrée sur la minimisation du rapport entre la surface et le volume résultant en une forme bâtie compacte (Steemers 2003).

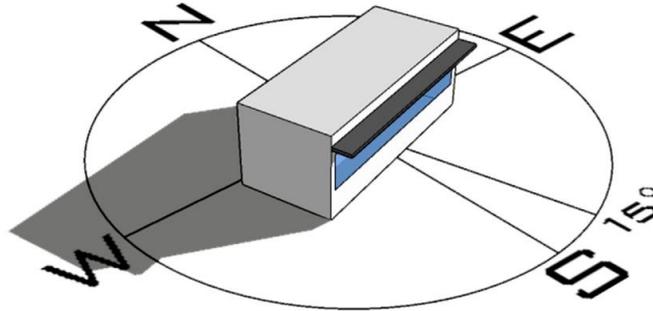
Les propriétés réfléchissantes des matériaux utilisés dans les revêtements de surface de l'enveloppe du bâtiment affectent le flux de chaleur dans l'espace intérieur (Mansouri., et al, 2017, Ali-Toudert ., et al,200).

D'un autre côté les bâtiments traditionnels montrent un grand respect pour leur environnement en utilisant des matériaux et des techniques locaux en tenant pleinement compte des contraintes imposées par le climat. (Coch, 1998).

### **III.3.3. L'effet de l'orientation du bâtiment sur la consommation énergétique**

L'orientation correcte des façades et le dimensionnement correct des surfaces qui recevront les gains solaires sont essentiels pour la performance énergétique d'un bâtiment. (Toroxel, et al 2024). Les bâtiments disposés longitudinalement parallèlement à l'axe est-ouest (Fig.II.4), ce qui signifie que les façades les plus larges font face à l'axe nord-sud, sont mieux alignés avec la trajectoire solaire (Lavafpour, et al, 2011, Vukadinovic, et al, 2019). En été, le rayonnement solaire le plus intense aura un impact sur les façades Est et Ouest, qui, ayant une

surface plus petite, absorberont moins de rayonnement. En même temps, la façade sud (en considérant un bâtiment dans l'hémisphère nord) peut être facilement protégée par des dispositifs d'ombrage, comme des surplombs, car le soleil est à un angle plus élevé. Ces surplombs ne bloquent pas les gains solaires souhaités en hiver en raison de l'angle solaire plus faible.



**Figure II.4:** Orientation idéale d'un bâtiment en fonction de la course solaire tout au long de l'année. (Source : Toroxel, et al, 2024)

Une étude basée sur une simulation dynamique a conclu qu'une forme de bâtiment allongée avec la façade la plus longue orientée vers le sud est la plus favorable pour réduire la consommation d'énergie de chauffage. Pour les mêmes rapports fenêtre/mur (WWR), cette forme est également optimale pour minimiser la consommation d'énergie de refroidissement (Vukadinovic, et al, 2019). Une autre étude (Lavafpour, et al, 2011) suggère qu'un bâtiment orienté à environ  $15^\circ$  à du Sud aurait l'orientation idéale ; par conséquent, les façades Est et Ouest recevraient encore moins de rayonnement solaire pendant l'été, réduisant ainsi le risque de surchauffe

#### **IV. TRAVAUX EXAMINANT LA RELATION ENTRE LA FORME URBAINE ET ARCHITECTURALE SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE**

L'urbanisation offre des exemples d'architecture traditionnelle profondément ancrée et adaptée aux diverses zones climatiques. Cependant, de nouveaux bâtiments ont été érigés selon un modèle standard, sans tenir compte des conditions climatiques locales, ce qui les rend énergivores. Ainsi, un changement radical dans la construction de bâtiment à usage d'habitation est essentiel. Ce changement devrait débiter par la conception de bâtiments à faible

consommation énergétique, capables de répondre aux besoins des utilisateurs tout en minimisant la consommation d'énergie.

Considérant que les parcs immobiliers ont un impact significatif car ils consomment près de 40 % des ressources énergétiques totales tout au long de leur cycle de vie. (Kocagil, et al., 2015), indiquent que la prise en compte des conditions climatiques lors du choix des paramètres de conception; en architecture traditionnelle, est traduite par des milieux intérieurs confortables sans consommation excessive d'énergie.

Il existe de nombreuses études, sur les stratégies climatiques des habitations traditionnelles, la plupart de ces études commentent les propriétés climatiques des maisons traditionnelles mais il leur manque une technique d'évaluation scientifique et des résultats pratiques utilisables dans des applications contemporaines. Pour cette raison, l'évaluation scientifique des conditions de confort est nécessaire. Sinon, les interprétations nostalgiques sont inévitables. Selon Oliver (2006), même dans les pays développés, la manière dont les connaissances et l'expérience traditionnelles peuvent être utilisées pour répondre aux défis du 21<sup>e</sup> siècle n'a jusqu'à présent pas fait l'objet de nombreuses discussions. Sözen, et al (2019)

- Mutani, G.; et al (2020) jugent que le nombre d'études multi-échelles qui ne se concentrent pas uniquement sur les performances énergétiques des bâtiments ou uniquement sur les conditions climatiques extérieures, mais étudient ensemble les conditions énergétiques, économiques et de confort thermique extérieur et développent différentes alternatives pour améliorer ces performances, est insuffisant. Confirme ainsi que la conception de la texture des quartiers affecte de manière significative à la fois la performance énergétique du bâtiment et les conditions de confort thermique extérieur, qui varient selon les différentes régions climatiques.

Pour atteindre cet objectif, les paramètres de conception écoénergétiques doivent être pris en compte lors de la phase de conception en ce qui concerne les conditions environnementales et, en particulier, le climat qui est un facteur déterminant, et qui offre des données adéquates pour développer une conception compatible.

- L'étude d'Ahmadian et al. (2019) analysent la forme bâtie urbaine la plus économe en énergie et la géométrie urbaine optimale selon différents climats pour améliorer les performances

énergétiques des bâtiments. Quatre modèles géométriques de formes urbaines sont développés et des simulations sont réalisées sur des cas d'étude représentant Londres, Singapour, Helsinki et Phoenix, choisis en fonction de leurs caractéristiques climatiques. Les résultats indiquent que Londres a la demande énergétique la plus faible et la meilleure performance énergétique, tandis que Singapour présente la demande énergétique la plus élevée (jusqu'à 219 % supérieure à celle de Londres). Ils concluent qu'une réduction de la distance des bâtiments réduit la demande énergétique où les bâtiments sont dominés par le refroidissement (Singapour et Phoenix), tandis qu'elle augmente où les bâtiments sont dominés par le chauffage (Londres et Helsinki). Par conséquent, l'impact de la distance entre les bâtiments sur la demande énergétique est plus important dans les climats chauds. Ils recommandent d'utiliser la forme bâtie en tunnel pour optimiser l'efficacité énergétique, notamment dans les climats chauds.

- Kocagil, et al., (2015) ont élaboré une recherche qui vise à étudier l'effet de la forme des bâtiments et des textures urbaines sur les charges de chauffage et de refroidissement ; en analysant l'impact des paramètres de conception sur l'efficacité énergétique des maisons traditionnelles de Diyarbakır, prise comme ville représentative de la zone climatique chaude et sèche en Turquie. La performance thermique des formes de bâtiment, qui sont générées à partir de l'architecture traditionnelle, et évaluée dans les textures urbaines définies via des simulations effectuées par Design Builder. Les résultats présentent l'interaction entre la forme du bâtiment, la texture urbaine et les charges énergétiques. Parmi les types de plan, le plan de cour intérieure fournit les charges de chauffage et de refroidissement les plus faibles, tandis que le plan de type L est le plus élevé. Aussi plus la zone ombragée créée par les bâtiments environnants s'agrandit, les charges de refroidissement diminuent et les charges de chauffage augmentent.

- Une autre étude menée par Mangan, et al. ; (2018) ; sur la performance énergétique des bâtiments à l'échelle urbaine, vise à développer un modèle avec lequel, en plus de l'interaction texture-construction urbaine, le confort thermique extérieur également analysé pour concevoir des environnements durables et économes en énergie. L'effet des paramètres de conception des textures urbaines (hauteur du bâtiment / largeur de la rue, direction de la rue et de

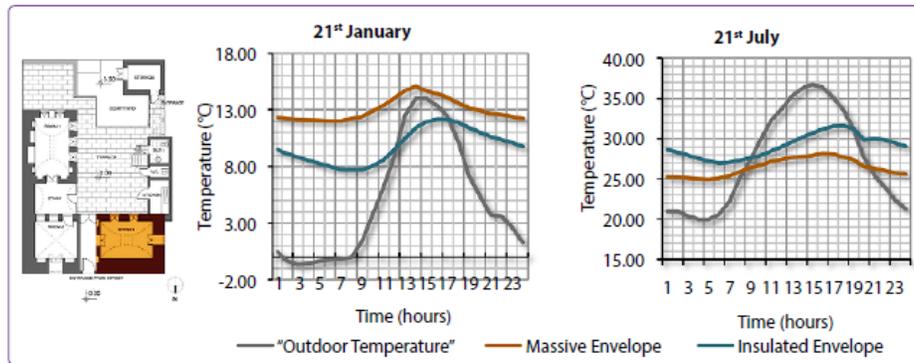
la façade, végétation) a été analysé à l'aide des alternatives définies à cet effet pour Istanbul représentant une région climatique tempérée-humide.

Ils ont conclu que les paramètres de conception, notamment les dispositions, les formes des bâtiments, les enveloppes des bâtiments, ont un impact sur le climat urbain et, qui a son tour, a un impact sur la performance énergétique des bâtiments et sur l'utilisation des espaces ouverts urbains. Par conséquent, la corrélation entre la texture urbaine et la consommation d'énergie des bâtiments souligne un équilibre complexe qui inclut les paramètres climatiques, les canyons et bâtiments urbains.

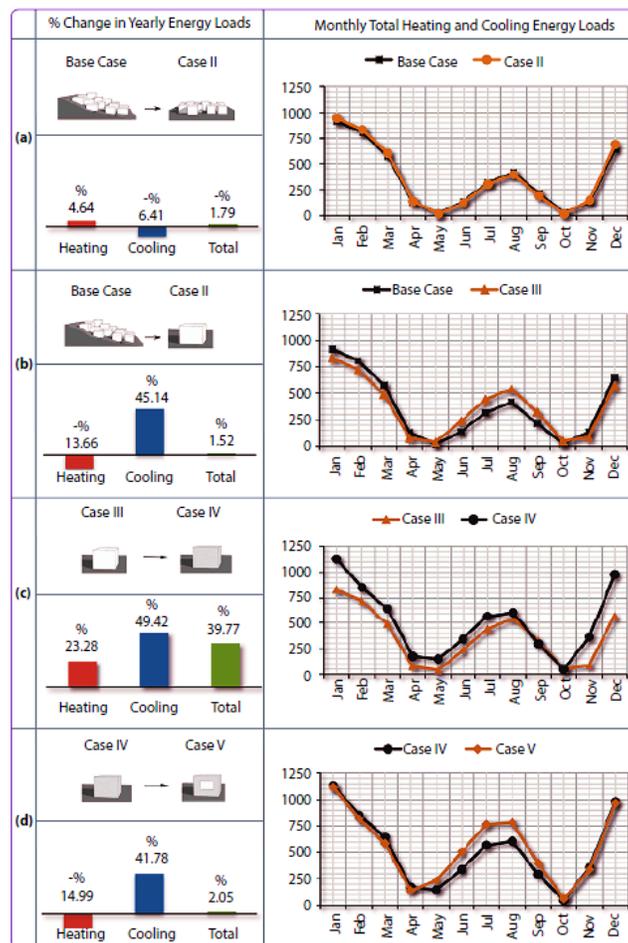
Ils confirment que la texture urbaine est le paramètre le plus important qui affecte la consommation d'énergie à long terme des bâtiments car une texture urbaine continue d'exister pendant de nombreuses années sans aucun changement majeur et affecte la performance des bâtiments qui appartiennent à cette texture urbaine. Cependant, des études similaires utilisant un nombre élevé d'alternatives doivent être menées afin d'avoir une conclusion générale acceptable.

- Les caractéristiques bioclimatiques de la maison vernaculaire en Turquie qui affectant l'efficacité énergétique ont été analysé et évalué par Sözen, I., et al (2019). L'étude confirme que la conception des maisons vernaculaires en fonction du climat détermine la demande d'énergie pour le chauffage et le refroidissement ainsi que le confort thermique dans les espaces intérieurs et extérieurs, vu que le climat est l'un des intrants locaux clés. Dans cette recherche, les maisons vernaculaires de Mardin , une région a climat chaud et aride ; ont été évaluées à différentes échelles, en termes de demande d'énergie annuelle pour le chauffage et le refroidissement pour une année météorologique typique, avec plusieurs paramètres d'évaluation : les paramètres du site, la densité de tissu, des propriétés optiques et thermo-physiques de l'enveloppe du bâtiment. Cinq cas différents avec l'environnant immédiat sont modélisés pour l'évaluation .

Le cas de base représentant le tissu existant a été déterminé comme le cas optimal avec des demandes d'énergie totales minimales, bien que les résultats varient lorsque les demandes de chauffage et de refroidissement sont considérées séparément.



**Figure II.5 :** Répartition horaire de la température de l'air intérieur en salle 3, cas à enveloppes massives et calorifugées (21 janvier et 21 juillet). (Source Sözen.I., et all, 2019)



**Figure II.6:** La variation de la consommation d'énergie annuelle et les charges d'énergie de chauffage et de refroidissement totales mensuelles. (Source Sözen.I., et all, 2019)

Les demandes énergétiques sont fortement affectées par les caractéristiques thermo-physiques mais surtout par l'utilisation de matériaux massifs dans l'enveloppe (jusqu'à 39,77%).(Fig.II.5). Les paramètres d'échelle du site et la densité de tissu modifient l'équilibre des demandes de chauffage et de refroidissement, mais au total ont une influence limitée sur les charges énergétiques totales (1,79% et 1,52%). (Fig.II.6)

L'augmentation du rapport fenêtre / mur de 4,88% à 10% a augmenté les charges énergétiques totales annuelles de 2,05%. Selon les résultats (Fig.II.6), les paramètres d'échelle de tissu comme le site et la densité de tissu ont moins d'impact sur les demandes énergétiques. Par contre les paramètres d'échelle de tissu pourraient être plus importants lorsque les conditions de confort thermique extérieur sont prises en compte.

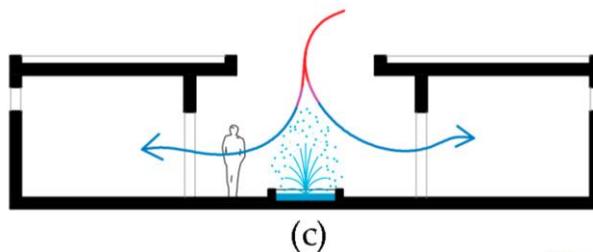
- Mutani, G.; et al (2020) ont élaboré une recherche dont le but était d'examiner la relation entre la forme urbaine et la performance énergétique pour identifier la forme optimale du bâtiment avec une faible consommation d'énergie pour le chauffage des locaux et une productivité élevée de l'énergie solaire sur les toits des bâtiments. L'étude a porté sur six quartiers de Turin (Italie) en analysant la morphologie urbaine et le potentiel solaire, constatent que les paramètres urbains les plus variés sont le BCR (CES) et le BD(COS), le rapport H/W et la période de construction des bâtiments. À partir des simulations énergétiques - réalisées à l'aide du logiciel City Sim Pro- les résultats confirment que la consommation d'énergie a tendance à augmenter avec l'augmentation du S/V (les bâtiments moins compacts consomment plus) et les bâtiments plus anciens consomment plus que les neufs. Concluant que les principaux paramètres qui affectent la performance énergétique et la productivité de l'énergie solaire des bâtiments sont les caractéristiques thermo-physiques, le rapport S / V, l'orientation du bâtiment (BO), le BCR (CES) et le BD (COS); affirment par la suite que le potentiel d'énergie solaire dépend de l'exposition du bâtiment et de la compacité du bâtiment.

- Les stratégies de conception économes en énergie de deux maisons traditionnelle et moderne en Turquie en ont été évalué et comparé par Manioğlu, G., et al. (2008). Les critères de conception tels que la sélection urbaine, la distance entre les bâtiments, l'orientation, l'enveloppe du bâtiment et la forme du bâtiment. Les stratégies de conception à Mardin, a climat

chaud et sec, ont été examinées. Une évaluation thermique simplifiée en utilisant uniquement des données dérivées des mesures, et une enquête sur terrain par questionnaires réalisés en parallèle pour 100 bâtiments. Les résultats obtenus attestent que, le coefficient de transfert thermique de l'enveloppe du bâtiment et la quantité de transfert thermique calculée dans des conditions stables ne sont pas suffisants pour déterminer la performance thermique réelle du bâtiment. La capacité thermique de l'enveloppe du bâtiment doit être prise en compte, car elle joue un rôle essentiel dans la conception économe en énergie.

Ils ont conclu que l'évaluation de la performance thermique des bâtiments devraient se faire au stade de la conception à l'aide d'un modèle dynamique de calcul du transfert de chaleur, avec prise en compte de la capacité de stockage de chaleur de l'enveloppe du bâtiment en particulier dans les régions où le climat continental. Ceci est également confirmé par les résultats des mesures et la perception des utilisateurs dans les questionnaires, qui ont été effectués dans des maisons traditionnelles et modernes.

- En utilisant des mesures sur le terrain dans une villa vernaculaire située dans le sud du Portugal, où le climat est principalement chaud et sec, a montré que la présence d'une cour ombragée par de nombreux arbres et équipée d'une fontaine (Fig.II.7) favorise le refroidissement par évaporation (Fernandes, et al 2015). Cette configuration a eu un impact significatif sur la création d'un microclimat autour du bâtiment, augmentant l'humidité relative de l'air et maintenant des températures plus basses qu'en centre-ville, avec d'environ 9 °C comme écart maximal.



**Figure II.7** : présence de végétation et de l'eau dans une cours d'une maison traditionnelle.(Source : Toroxel, et al 2024)

- L'étude élaborer par Melo, et al (2023) examine et compare la consommation d'électricité dans 3060 bâtiments répartis en six types : résidentiels, éducatifs, bureaux, hôpitaux, hôtels et restaurants, ainsi que commerces de gros et de détail. En analysant les données annuelles d'intensité de consommation énergétique (EUI), l'étude intègre plusieurs facteurs de variation — saisonnier (SVF), journalier (DVF), mensuel (Mf), et horaire (Hf) — pour mieux comprendre les schémas de consommation d'énergie à diverses échelles temporelles. Les résultats révèlent que la consommation d'électricité est moins sensible aux variations saisonnières que d'autres énergies utilisées pour le chauffage et la climatisation. Le profil de consommation énergétique mensuel varie selon le type de bâtiment, avec des pics d'utilisation alternant entre hiver et été. Dans les bâtiments non résidentiels, les pics de consommation se concentrent pendant la journée, tandis que pour les bâtiments résidentiels, ils se décalent en soirée, avec une amplitude journalière plus modérée. Enfin, l'étude souligne les effets de l'électrification sur la variabilité des charges de chauffage, même pour les vecteurs énergétiques non électriques.

## CONCLUSION

Il est essentiel que tous les bâtiments fournissent un environnement intérieur approprié, et ils sont principalement conçus pour atteindre cet objectif, notamment les bâtiments résidentiels. La reproduction morphologique des bâtiments semble impossible, car ils devaient être utilisés dans des conditions culturelles, économiques, sociales et peut-être même climatiques différentes. L'objectif devrait être de comprendre comment ces structures s'adaptent au climat et d'analyser leurs caractéristiques climatiques dans les conditions modernes.

Ce chapitre a mis en évidence le rôle fondamental de la forme urbaine dans la gestion de l'efficacité énergétique des espaces bâtis, particulièrement dans le contexte de la transition vers des villes plus durables et résilientes. À travers une analyse détaillée des liens entre la forme urbaine et les besoins énergétiques des bâtiments, il est apparu que les différents paramètres de la forme urbaine tel que la densité, l'orientation et la disposition des bâtiments influencent significativement la consommation énergétique. Des configurations urbaines bien adaptée à leurs contextes climatiques, par exemple, contribuent à la réduction des besoins en chauffage et en climatisation, surtout dans les climats chauds et arides.

Les études de cas et les recherches présentées ont souligné que certaines configurations urbaines sont plus efficaces énergétiquement que d'autres. Ces résultats offrent des pistes pour l'optimisation de la forme urbaine, en intégrant des pratiques de conception qui minimisent l'empreinte énergétique des bâtiments tout en améliorant le confort thermique des occupants.

Ainsi, les conclusions de ce chapitre mettent en relief la nécessité de repenser l'urbanisme dans une perspective durable, en tenant compte du contexte climatique et géographiques.

Dans ce qui suit, nous allons présenter et justifier le choix de l'approche méthodologique adoptée pour cette étude, afin de répondre aux questions de recherche posées, en tenant compte de la complexité du sujet et de la nécessité d'une compréhension approfondie.

# CHAPITRE III :

## Cas d'Etude

*“La ville est un être vivant que nous avons à étudier dans son passé de façon à pouvoir en discerner le degré d'évolution, un être qui vit sur la terre et de la terre ”*

Marcel Poète

## INTRODUCTION

La transformation des villes et des environnements bâtis en réponse aux défis énergétiques et climatiques actuels est devenue un enjeu crucial dans le domaine de l'urbanisme et de l'architecture. Les formes urbaines influencent non seulement la morphologie des villes, mais aussi leur performance énergétique, leur confort thermique, et leur résilience face aux changements climatiques. Comprendre l'impact de la forme urbaine sur le confort des usagers ainsi que sur l'efficacité énergétique des bâtiments est essentiel pour proposer des solutions durables adaptées aux spécificités locales.

Ce chapitre est dédié à l'étude détaillée du cas d'étude ce qui va nous permettre d'évaluer les liens complexes entre la forme urbaine, le confort et la performance énergétique. Les échantillons de l'étude sont choisis pour illustrer les variations des caractéristiques urbaines et architectural dans un même contexte urbain et climatique, et permettre ainsi une comparaison dans l'étape suivante. Elles constituent une étape clé de cette recherche, car elles offrent des données constitutives pour la présente étude.

La présentation des caractéristiques de la maison traditionnelle au ksar ainsi que l'évolution de l'habitat et la maison contemporaine à Ouargla, ceci vise à fournir un aperçu général du sujet, mettant en lumière l'importance de comprendre l'architecture traditionnelle et les particularités qui la distinguent. Nous aborderons les éléments clés tels que le contexte historique et géographique de la ville de Ouargla, ainsi que les aspects spécifiques de l'architecture, des matériaux de construction et de la disposition des espaces intérieurs.

En effet, ce chapitre établira le cadre pour une exploration approfondie des caractéristiques uniques de l'habitat à Ouargla, et des spécificités de la variation de la forme urbaine dans ce contexte hostile.

## I. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DU CAS D'ETUDE

### I.1. Situation géographique de la ville de Ouargla

L'oasis d'Ouargla est une oasis située au Sud-Est de l'Algérie, au nord du Sahara algérien, exactement à 600kms du littoral algérien et à 850kms de la capitale Alger. Occupant une superficie de 211 980 km<sup>2</sup>, limitée par les wilayas de Biskra et d'El Oued au Nord, d'Illizi et de Tamanrasset au Sud, de Ghardaïa et Djelfa à l'Ouest. (Fig.III.1)

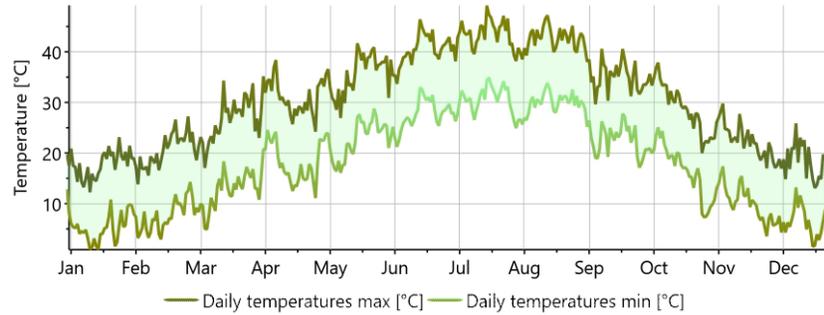
Entourée d'anciens noyaux ksourien oasiens proches, en l'occurrence, Beni Thour, Chott, Aadjaja, Sidi Khouiled, Said Otba et Rouissat, aussi, et relativement plus loin, le Ksar et l'agglomération de N'goussa située à 20 Km au Nord. Ouargla, compte parmi les anciennes et vieilles villes de l'Algérie à vocation agropastorale. Elle présentant la capitale du pétrole avec son à proximité du grand pôle pétrolier de Hassi Massoud, moteur de l'économie nationale Algérien.



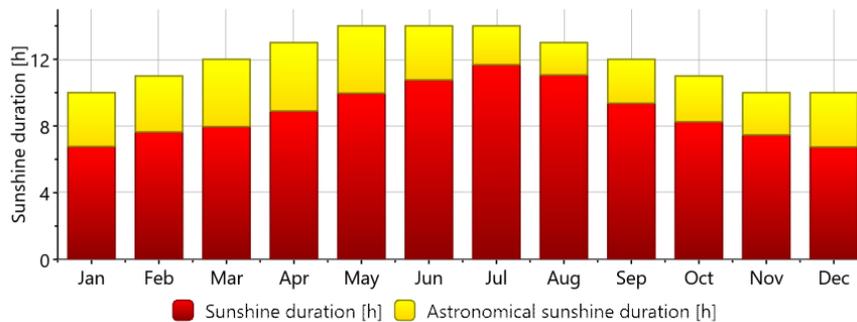
**Figure III.1 :** Localisation de Ouargla en Algérie. (Source: Auteur 2023)

### I.1. Le contexte climatique :

Les conditions climatiques de Ouargla se caractérisent par un climat chaud et aride, typique d'un environnement désertique, avec des précipitations minimales tout au long de l'année. Les températures de l'air sont pratiquement élevées tout au long de l'année, dépassant parfois les 50°C pendant la saison estivale. Un écart de température notable entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre l'hiver et l'été (Fig.III.2). Les niveaux de rayonnement solaire sont constamment élevés tout au long de l'année (Fig.III.3). L'humidité relative dans cette région est exceptionnellement basse, fluctuant entre 15% et 60%.



**Figure III.2 :** températures mensuelles. (Source : METEONORM 2023)



**Figure III.3 :** durée d'ensoleillement (Source : METEONORM 2023)

## I.2. Climat chaud et aride

Les climats chauds et secs se situent entre environ  $15^{\circ}$  et  $35^{\circ}$  de latitude, tant au nord qu'au sud de l'équateur (Koenigsberger et al., 1974; Evans, 1980). Ces climats se caractérisent par des saisons différentes : une longue saison chaude et sèche et une courte saison humide ou fraîche, il y règne une chaleur torride durant la journée alors que les nuits sont fraîches. Durant la saison sèche, les températures diurnes sont élevées, l'humidité est faible et les précipitations sont rares. La température moyenne diurne oscille entre  $32^{\circ}\text{C}$  et  $45^{\circ}\text{C}$ , selon les régions. La pression de vapeur varie entre 7,5 et 15 hPa. En raison du faible taux d'humidité et du ciel dégagé, le rayonnement solaire est accentué, et le refroidissement nocturne est marqué, entraînant des fluctuations importantes de température au cours de la journée, souvent supérieures à  $15^{\circ}\text{C}$ .

## I.3. L'adaptation aux conditions climatiques

La forme urbaine et celle du bâtiment dépendent, dans une large mesure, du climat dans lequel ils s'inscrivent. Construire dans un climat chaud et aride exige une adaptation aux conditions

hostile du climat. Une adaptation qui veut dire l'ensemble des stratégies, initiatives et mesures visant à réduire la vulnérabilité du climat, autrement dit se protéger. Les stratégies d'adaptation complètent les mesures d'atténuation visant à une conception bioclimatique. C'est-à-dire qui fait référence à une architecture qui s'adapte aux caractéristiques spécifiques du site d'implantation, maximisant ainsi les avantages et minimisant les contraintes. L'objectif principal est de créer un confort d'ambiance de manière aussi naturelle que possible, en utilisant des solutions architecturales, les énergies renouvelables disponibles, et en réduisant au minimum le recours à des technologies mécanisées.

## **II. LA CROISSANCE URBAINE DES VILLES SAHARIENNES : UNE VOLONTE POLITIQUE**

La ville saharienne subit une urbanisation excessive qui remet en cause les trois éléments fondamentaux à l'origine de sa fondation : l'eau, la palmeraie et le ksar. Ce processus de transformation de l'oasis (ksar/palmeraie) en ville entraîne la disparition du ksar, entité traditionnelle et originale ayant servi de lieu d'échanges et de pouvoir pour le commerce transsaharien, remplacé par un nouveau modèle urbain lié à l'intégration de la ville au service du pouvoir. La morphologie urbaine évolue en juxtaposant différentes trames de tissus urbains, reflétant les différentes périodes de son développement.

Les oasis perdent graduellement leur rôle de relais, la vocation agricole régresse, et les agglomérations croissent rapidement en raison de l'augmentation naturelle de la population et de l'immigration (nomades et fonctionnaires). La création ou l'amélioration des axes de circulation accentue ce phénomène (Chaouche, 2008).

Cette dynamique accélérée impose aux anciens tissus urbains d'abandonner leurs principes antérieurs au profit d'une législation moderne, entraînant la perte de l'identité de nombreuses villes sous le poids de l'urbanisation standardisée. Le parpaing remplace la brique de toub ou la pierre, les constructions s'élèvent, les localités s'étendent hors du ksar, empiétant souvent sur les jardins de palmeraies (Chaouche, 2007).

La ville saharienne connaît une urbanisation démesurée qui remet en cause le triptyque de base qui a participé à la fondation de cette cité : l'eau, la palmeraie et le ksar. Décrypter le passage de l'oasis (ksar/palmeraie) à la ville. Le ksar, se substitue un nouveau modèle généré par l'intégration de la ville au service du pouvoir (l'interventionnisme de l'Etat) dans lequel, les oasis

perdent graduellement leur rôle de relais, la vocation agricole régresse, la croissance rapide des agglomérations par croît naturel et migratoire (nomades et fonctionnaires) et la création ou l'amélioration d'axes de circulation (Chaouche, 2008)

Cette composition s'est métamorphosée au fil de temps, le bâti a commencé à se détacher de la palmeraie jusqu'à la séparation définitive. Jadis la ville était composée essentiellement de l'espace oisien. Mais de nos jours cette espace constitutif et vital on le trouve plus dans la ville de Ouargla .

### **III.EVOLUTION HISTORIQUE DE LA VILLE DE OUARGLA**

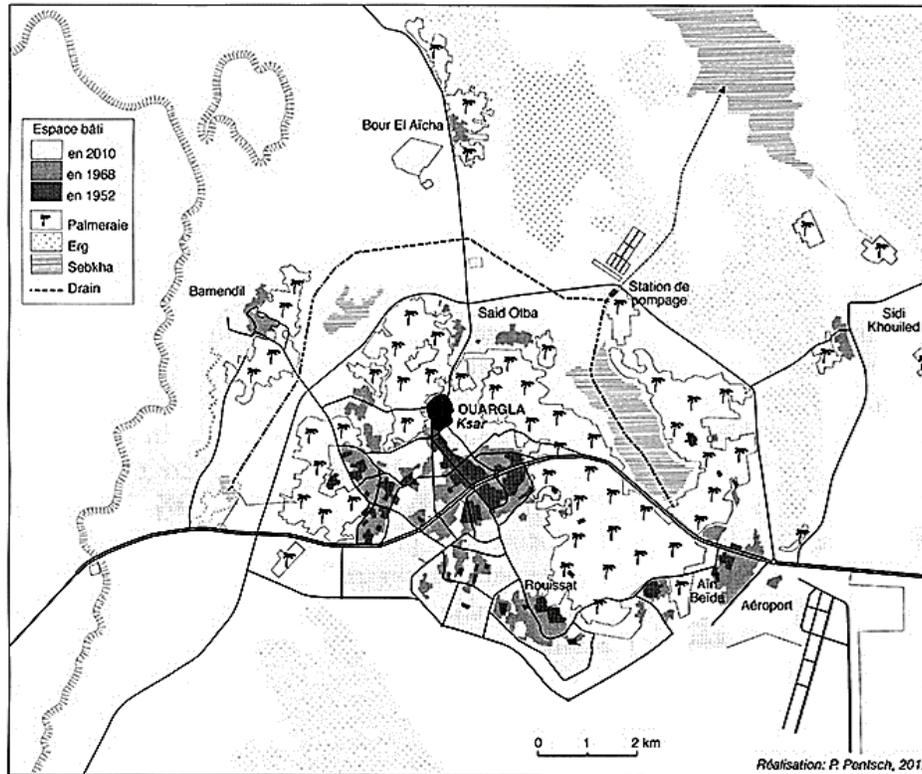
L'Algérie est un pays qui était majoritairement rural avant l'indépendance. Depuis, il s'engage dans un processus d'urbanisation rapide, bien que non achevé, qui génère de nouvelles configurations et devient un aspect dominant des mutations sociétales actuelles. Cette croissance urbaine constante (25% en 1954, 59% en 1998) touche également les régions sahariennes, bien que de manière différente. Les taux de croissance et d'urbanisation y dépassent la moyenne nationale, et la croissance démographique y est plus rapide que dans le reste du pays. Entre 1987 et 1998, la population saharienne est passée de 8% à près de 10% de la population totale algérienne. (Matallah, 2015)

Le taux d'urbanisation qui dépasse celui des villes du Nord impose un rythme de développement urbain qui n'est pas sans conséquence sur l'homogénéité urbaine de la ville.

La ville de Ouargla a connu différentes périodes d'évolution historiques, ou chaque période portait des changements assez importants, la succession des changements certes donnait naissance à un nouveau tissu urbain varié et riche en formes urbaines. Ceci a engendré une morphologie urbaine composée ; d'où chaque époque de l'histoire avait laissé son empreinte. La carte (fig.III.4) présente l'extension du tissu urbain de la ville de Ouargla et la surface des palmeraies qui a rétréci.

Au fil de temps; d'autres tissus contemporains sont apparus suite à la crise de logements, une volonté de créer de nouvelle zone d'habitat en masse, plusieurs programmes de logements collectifs et des lotissements (ZHUNS) planifiés ont été imposés par l'état sans aucune prise en compte la nature de la région les besoins sociaux , les traditions et même des conditions climatiques. Les nouvelles activités et catégories sociales se sont combinées pour assurer une large

recomposition du paysage urbain. Ainsi, la ville, usages et signes, est devenue fonctionnelle et segmentée. L'urbanisme saharien en sort métamorphosé. (Chaouche, 2007)



**Figure III.4 :** L'évolution historique de la ville de Ouargla : 1952, 1968, 2010 (Source: Ali Bensaad 2013)

### III.1. La morphologie de la ville de Ouargla

L'oasis d'Ouargla est un centre de peuplement extrêmement ancien, comme l'atteste des traces d'habitat, d'époque préhistorique. Les nombreux ateliers néolithiques des gisements sur les berges des sebkhas se rattachent à une tradition capsienne.

Comme toute les villes Algérienne le développement du tissu urbain de la ville de Ouargla connu différentes étapes d'évolution urbaine a traves l'histoires. Chaque période portait des changements assez importants. Un développement accéléré a généré un tissu hétérogène, varié et riche en formes urbaines ; d'où chaque époque de l'histoire avait laissé son empreinte.

La ville de Ouargla est née dans système oisien composée d'un ensemble de Ksour . Ce système forme une trilogie entre les éléments composants la ville : palmeraie ; eau et bâti.

La ville est construite en cercles concentriques autour d'un centre historique (Ksar) entouré par la ville moderne. Le Ksar est le premier noyau; représente le tissu traditionnel compacte édifiée en harmonie parfaite avec son environnement naturel, entouré de vaste palmerais et les systèmes d'irrigation 'segua'. Il regroupe les 3 quartiers de Béni Sissine, Béni Brahim et Béni Ouaguine. Durant la période coloniale, les remparts et fossés qui le ceinturaient ont été remplacés par un boulevard périphérique.

En conséquence un tissu est né totalement différent du premier noyau avec des formes urbaines de densité urbaine varie d'un tissu a un autre. Certain peu dense et d'autres relativement disperses ; se présentent sous forme d'habitat collectif. Offrant ainsi une diversité de typologies des constructions, des hauteurs des bâtiments, des orientations et des dimensions des rues, une variété de formes urbaines composant l'ensemble du tissu de la ville.

L'habitat construit au cours du dernier siècle, qui constitue aujourd'hui la majeure partie de la ville, semble s'éloigner des principes patiemment développés au fil des siècles dans les ksour traditionnels. Partout, le matériau de base utilisé est le parpaing, ce qui représente indéniablement une perte de valeur isothermique par rapport à la terre ou à la pierre.

### **III.1.1.Ville Vernaculaire : la ville Ksourienne compacte**

*“Ce qu'on entend par les ksour (singulier ksar) se sont les centres antiques du Sahara algérien situé le long des voies de communication, qui, depuis des millénaires ont permis les échanges entre l'Afrique du nord et la subsaharienne ”.* (Haoui .B.,S)

Ksar, c'est le noyau ancien et centre historique, une pièce maîtresse du patrimoine matériel saharien, représente le noyau social et le repère de la région.

Au cœur de la cité antique, se dresse un ksar, une forteresse au milieu d'une palmeraie. Occupant une position géographique stratégique, le ksar de Ouargla, présente, les traits architecturaux typiquement saharien, inspiré des types de construction existant dans la région d'Oued-Righ et certaines villes islamiques situées dans les régions à forte chaleur.

Le ksar de Ouargla fait partie de l'ensemble des ksour fortifiés (Ouargla, N'goussa, Chott et Addjaja) implantés au milieu de la vallée de l'Oued Mya où les palmiers les entouraient, s'étendant jusqu'à la Sebka. (Saad Soud. W, 2013)

Ce Ksar avait connu une succession de peuplement qui s'est sédentarisées dans la région, du fait qu'il constituait une zone transit pour les voyageurs. Il est le noyau urbain de la ville et l'un des principaux repères urbains historiques de Ouargla ; connu sous le nom de Ouardjelane (ibadite), ou Ouarglène (berbère), le ksar est, sans doute, celui qui est le plus enraciné dans l'histoire du Sahara. Etendu sur 30 hectares, entouré d'une immense palmeraie, comptant plus de 2400 habitations imbriquées dans un schéma concentrique et abritant presque 10 000 habitants, selon le RGPH 2008.

Constitué de bâtisses à l'architecture typique, de zaouïas, venelles, placettes, d'un marché historique aux mille produits du terroir, mais aussi une douzaine de lieux de culte et deux grandes mosquées, l'une malékite du nom de Lalla Malkia, et l'autre ibadite du nom de Lalla Azza, qui symbolisent la paix et la cohabitation sans oublier la maison et la bibliothèque des Pères Blancs.

L'hostilité du climat, l'aridité du milieu de la région, la richesse culturelle et artistique de sa population, le savoir faire la diversification ethnique, les pratiques religieuses et enfin l'importance de l'organisation sociale sont autant de facteurs qui étaient à l'origine de cette production urbaine et architecturale. Ils ont fait de cette entité urbaine l'un des plus grands Ksour en Algérie. Il témoigne non seulement la capacité d'adaptation de l'homme à son milieu naturel le plus hostile, mais aussi du génie populaire qui a façonné toute une ville dans ses moindres détails.

Ces spécificités se manifestent à travers l'originalité de l'organisation urbaine du cadre bâti, l'importance et la forte densité des constructions , soit 67,28 logts /ha , la typologie et la beauté discrète des maisons à ammisidar (patio) , les deux minarets de Lalla Azza et Lalla Malkia, la vaste palmeraie qui l'entoure, l'harmonie des volumes et des terrasses des maisons, les portes du Ksar les ruelles étroites avec leurs niches d'éclairage, passages couverts (Tiskifines) et ses lieux des Djamaa.

La structure urbaine du ksar obéit à deux principaux facteurs. D'une part, la logique d'implantation est déterminée par les contraintes du site, telles que la topographie, l'aridité du climat, la salinité et la remontée des eaux, ainsi que par la nécessité de préserver la palmeraie. D'autre part, elle est régie par les règles définies par l'organisation et la structure sociales et économiques de la population du ksar.

L'ensemble des quartiers est organisé autour d'un boulevard périphérique et d'axes structurants, reliant les différents quartiers aux sept portes du ksar, en passant par les places du

marché et du vieux marché, et structurent les activités commerciales au rez-de-chaussée des maisons.

L'attachement de la population à ses valeurs et à sa structure sociale, ainsi que son intérêt pour les principes d'organisation de la vie communautaire, a permis au ksar de préserver l'originalité de sa structure urbaine malgré les différentes interventions, notamment les grandes destructions de la période coloniale qui ont affecté la Casbah et la place du vieux marché, cœur vivant du ksar.

Les habitats du ksar d'Ouargla continuent à défier le temps et la nature aride de la région et ce, malgré la simplicité des matériaux avec lesquels celui-ci a été édifié il y a près de 10 siècles.

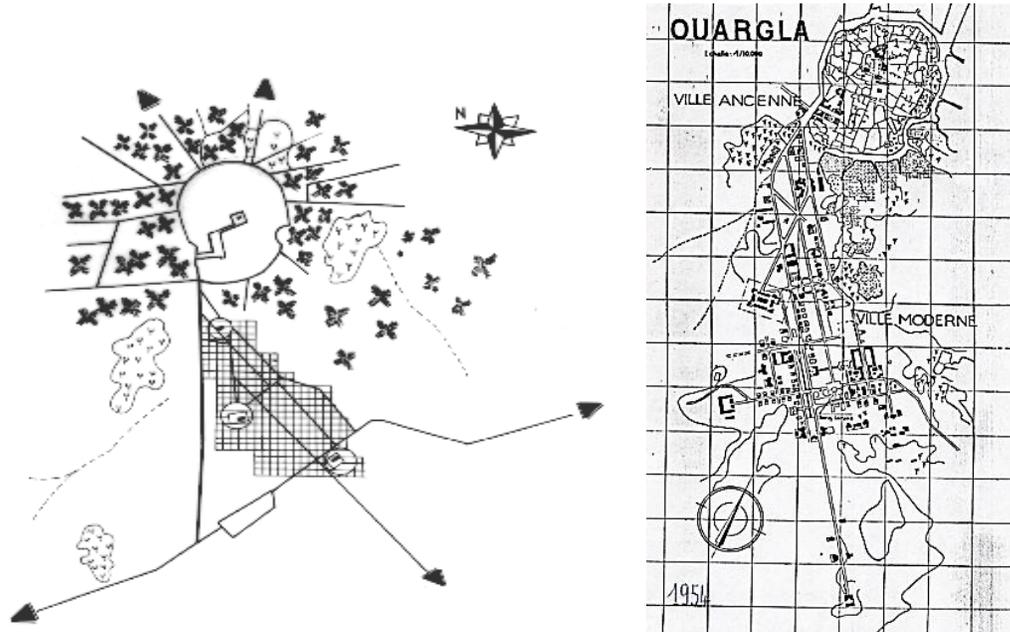
### **III.1.2. Ville coloniales (le triangle militaire)**

À son arrivée à Ouargla en 1927, le colonel Carbillet a initié la construction d'une nouvelle partie de la ville en dehors du ksar ; seuls le bordj Chandez, le bordj Luttaud et le bordj les trois, situés au sud du ksar, existaient. Carbillet conçut alors un projet pour une ville moderne adjacente au ksar, introduisant un nouveau mode de perception de l'espace jusque-là inconnu dans la région et transposant un modèle urbain novateur, distinct de celui du ksar.

L'urbanisme colonial se caractérise par la greffe d'un nouveau tissu à la périphérie de la ville traditionnelle. L'idiologie coloniale sur la ville faisait par un tracé en damier (Fig.5) : une rationalité et une facilité de la mise en œuvre, sous une géométrie rectiligne, de nouvelles rues plus larges que celles des k'sours, un découpage orthogonal à mailles régulières, identiques, carrossables, tout en élevant le degré de l'ouverture des rues, qui opposait à celles de l'ancien tissu.

L'urbanisation de la ville est basée sur l'alignement dans la construction de bâtiments avec une implantation de places, combinant habitat et équipement, dans une trame orthogonale avec un tissu aéré, et de nouveaux modèles architecturaux ; des édifices publics et des immeubles. Héritière de la ville d'administration civile et militaire française des années 1930, la ville nouvelle est bâtie selon une disposition triangulaire (Fig.III.5). Après 1940, son expansion se poursuit, avec une densification notable, notamment à travers la construction de la cité Cillis pour les civils français. Des quartiers de nomades sédentarisés apparaissent alors, répartis selon les appartenances tribales: Said Otba au nord, Mekhedma au sud-ouest et Beni Thour au sud-est.

Pour contrer les problèmes climatiques, le colonel Carbillet a aménagé des espaces verts et des passages piétons en plantant des palmiers, afin d'adoucir l'atmosphère, créer un microclimat agréable et embellir la ville. Il a également intégré la "Perspective directe" qui est clairement visible dans les bâtiments publics d'intérêt, tels que le centre de commandement, le musée et l'église, en les disposant de manière à capter l'attention et à susciter l'intérêt.



**Figure III.5 :** Evolution urbaine de la ville de Ouargla, l'émergence du tissu coloniale (Source : PDAU de Ouargla 2019).

Contrairement aux ensembles traditionnels, la ville coloniale se distingue par la rigueur et la rigidité de ses formes, basées sur des principes géométriques stricts. Elle est organisée autour d'un grand axe et d'un point central, souvent un monument. Elle suit des règles d'ordre et d'unité, utilisant des tracés régulateurs, des symétries, des lignes droites, des angles droits et des proportions précises pour définir ses espaces. La conception rythmée par des répétitions et des alternances crée un contraste entre les espaces exceptionnels et les espaces ordinaires et banal (Sebti, 2011), constituant de véritables modèles prédestinés à l'imitation; tout en jouant sur les effets d'ombre et de lumière.

Après la découverte du pétrole, la ville a évolué rapidement contrairement au ksar. La construction de la route reliant Ouargla à Hassi Messaoud et de nombreux bâtiments modernes et l'augmentation des salaires, réduisant l'intérêt pour l'oasis malgré les progrès en irrigation. Les bédouins nomades se sont installés aux abords de la ville, formant des rassemblements urbains

ouverts et horizontaux appelés Al Diyar. Au début des années 1960, un plan d'urbanisation moderne, connu sous le nom de "fleur de sable" et basé sur les accords d'Athènes, a été élaboré mais non exécuté, à l'exception du quartier "La Cillis", construit pour les civils français avant l'indépendance de l'Algérie en 1962.

### **III.1.3. Ville Moderne : la ville fragmenté (éclatée)**

Avant l'indépendance, le pays était principalement rural. Depuis, il a connu un processus d'urbanisation rapide et inachevé, entraînant de nouvelles configurations urbaines et constitue un facteur majeur des mutations sociétales actuelles.

Le développement urbain accéléré de Ouargla résulte de l'exploitation pétrolière, faisant de cette ville une agglomération récente. La découverte du pétrole a encouragé la sédentarisation des bédouins et attirer la population de s'installer créant ainsi une crise de logement et une hausse de la demande. Pour répondre à ce besoin croissant, des programmes de logements ont été mis en place, soit intégrés dans la trame urbaine existante, soit créés dans le cadre des ZHUN. La ville a grandi à un rythme sans commune mesure avec celui d'une ville saharienne typique, perdant son cachet typique et son identité originelle, et devenant déconnectée de son contexte initial.

En prolongeant la continuité spatiale et temporelle du tissu colonial, les quartiers populaires ou habitats à profondeur historique reprennent les mêmes principes d'alignement, de voisinage et de juxtaposition des maisons, mais avec des différences marquées : une densité très élevée, un alignement sans orthogonalité, des parcelles et îlots de formes variées, et une absence totale d'espaces verts, de places et de placettes. Ces quartiers sont soit informels, soit situés dans des lotissements ne répondant pas aux critères de l'urbanisme, souvent sur des terrains privés.



**Figure III.6 :** Vu du grand boulevard d'habitat collectif et tramway à Ouargla. (Source: Auteur 2023)

L'habitat collectif est le type d'habitation le mieux adapté pour résoudre le problème de logement et atténuer la crise urbaine. Standardisé, il est présent aussi bien au Nord qu'au Sud des villes algériennes, et contribue à recomposer la ville tout en transformant les modes de vie. (Fig.III.6) Les logements collectifs se sont établis comme de nouveaux centres de la vie sociale, intégrant équipements, commerces, et espaces communautaires tels que places, placettes et allées.

Par conséquent, la forme d'habitat diffère considérablement du système ksourien, modifiant le rapport entre l'espace public et l'espace privé. Les modes de vie sont profondément bouleversés, entraînant l'émergence de nouveaux types de voisinages. Ce type d'habitat devient l'élément prédominant de la morphologie urbaine. La trame, composée principalement de barres, remplace les rues, ruelles et impasses, et donne sur des espaces ouverts, tels que des parkings ou des zones vertes.

#### **IV. CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE**

La ville a traversé diverses périodes historiques, chacune apportant des changements significatifs. Ces transformations successives ont donné naissance à un tissu urbain diversifié et riche en formes. Ainsi, la morphologie urbaine actuelle reflète les empreintes laissées par chaque époque. On trouve un mélange de tissu traditionnel, colonial, post-colonial, ainsi que de quartiers populaires spontanés et de ZHUN planifiés par l'État. Notre étude se concentrera sur la diversité de ces différentes formes urbaines, en sélectionnant un échantillon des trois tissus urbains distincts décrits précédemment.

Notre choix sera basé sur la diversité de ces configurations, un échantillon est tiré afin qu'il soit représentatif de l'ensemble des tissus urbains formant la ville de Ouargla.

Cette étude se concentrera sur trois types de tissus urbains, représentant trois modes d'urbanisation distincts et, par conséquent, trois formes urbaines différentes : le tissu vernaculaire compact, le tissu moderne planifié à densité moyenne, et le tissu d'habitat collectif planifié éclaté. Ces trois tissus présentent des paramètres urbains variés, avec des différences notables principalement en termes de densité urbaine.



**Figure III.7 :** Localisation des quartiers choisis pour l'étude (Source: Auteur 2023)

L'échantillon va être tiré de ces tissus urbains, le choix est basé sur trois tissus urbain représentatifs des formes urbaines composant l'ensemble des formes du tissu de la ville.

Les trois tissus urbains sélectionnés représentent trois modes d'urbanisation (Fig.III.7), trois densités urbaines différentes et des caractéristiques différentes: tissu vernaculaire compact ; tissu moderne d'habitat individuelle planifié et tissu moderne d'habitat collectif planifié.

#### **IV.1. Le quartier traditionnel : le Ksar**

Le premier noyau de la ville d'Ouargla ; s'étend sur 30 hectares, se présente comme une entité circulaire compacte avec une forte densité (COTE.M ; 2005). Son tissu urbain est bien adapté au sein de la palmeraie, entouré d'une enceinte encerclée par un fossé de 12 m de largeur qui a été comblé en 1881 et remplacé par un boulevard par la suite. A nos jours Il n'existe que deux pénétrantes mécaniques à l'intérieure du Ksar. Les rues : sont étroites de forme organique, sinueuse et irrégulière s'enchevêtrent à travers la disposition des habitations, dépourvues de

trottoirs, ponctuées de percées interrompues par des voies perpendiculaires. La largeur de voie diminue à l'approche des accès d'habitations, et leur hauteur égale à celle des maisons, elles jouaient le rôle des espaces de circulation de la desserte des maisons, des voies secondaires (ruelles et impasses) desservent les quartiers. (Fig.III.8)



**Figure III.8 :** Plan du quartier d'étude : Ksar (Source : DUAC Ouargla 2020)

Caractérisé par une architecture vernaculaire, abrite des bâtisses typiques composées de trois (03) quartiers résidentiels. En tant que patrimoine national le k'sar de Ouargla ; comme tous les établissements construits au cœur des oasis est un exemple emblématique par l'originalité de son organisation et sa complexité urbaine qui fait de lui un témoignage de l'adaptabilité de l'homme à son environnement naturel le plus hostile, reflète également le génie populaire qui a minutieusement façonné chaque détail de cette ville.

Un réseau d'axes structure le tracé du k'sar en plus du Boulevard périphérique, assurant de ce fait la liaison entre les différents quartiers et les Sept portes du k'sar.

L'harmonie des volumes et des terrasses des maisons , les portes du K'sar les ruelles étroites avec leurs niches d'éclairage , passages couverts (Tiskifines) et ses lieux des Djamaa. (Hafsi.M, 2008)

#### **IV.2. L'agglomération nomade : Quartier Said Otba-1**

S'étale en ordre dispersé prenant l'image de petits Ksour aérés dont chaque Ksar appelé du nom de la tribu qu'elle y occupe (Mekhadma, beniThour, Said Otba...), ce sont de nouveaux quartiers apparus avec le début de la sédentarisation de la population nomades, caractérisés par

une structure lâche et un espace extérieur non planifié, ce tissu a une densité de 110 à 150 hab./ha. (CHABA.M, 2002). Des îlots de formes régulières de diverses dimensions, voies plus larges et ouvertes. Les rues rectilignes avec dimensions variantes mais non structuré, a comparé de la ville traditionnelle.

Des habitations extraverties, et des fenêtres plus grandes, avec un rythme de répétition des éléments de la façade.



**Figure III.9** : Vue sur le quartier S.O-1 (Source : Auteur 2023)

Le lotissement Saïd Otba N°1 se situe au Nord-Est du Ksar (Fig.III.7); d'une distance d'un kilomètre et demi ; entourée par la palmeraie. Considère comme une première extension de l'ancien noyau de la ville de Ouargla, crée pour loger les habitants du ksar après avoir connu une explosion démographique.

Saïd Otba N°1 (S.O-1) est un quartier habiter par la couche moyenne de la société (à revenu moyen) ce qui est reflété par l'image du quartier, ou on remarque que la majorité des constructions sont inachevées. Ses maisons se ressemblent de l'intérieur comme de l'extérieure. (Fig.III.9)

#### **IV.3. L'intervention de l'état ou les ZHUN :La cite des 460 logements collectifs:**

Il s'agit des nouvelles zones urbaines d'habitat, créées pour absorber le manque en matière de logement, des quartiers entiers créés et aménagés par des équipements, des espaces de dépôt ou d'activité, leurs commerces et leurs espaces communautaires et de sociabilité: place, placette, allées,...des immeubles et d'habitat collectif qui se disperse et ne forme qu'exceptionnellement des groupes homogènes des bâtiments de mêmes type (Fig.III.10), de mêmes matériaux et mêmes couleurs sont implantés indépendamment des voies et sans prendre en considération les

particularités de la région (le climat aride de la région) ; (les cités de 360 logs, 450 logs...) l'espace planifié pauvre et non entretenu de ces ZHUN. (CHABA.M, 2002), en conséquence la forme d'habitat est très éloignée du système ksourien ou une modification du rapport entre l'espace public et l'espace privé, les modes de vie sont totalement bousculés, et imposé de nouveaux types de voisinages. Ce type devient l'élément dominant de la morphologie urbaine. La trame constituée à la base de barres supprime la rue, ruelles et impasses et donne sur des vis-à-vis directs ou sur de grands espaces prévus pour servir à des parkings, ou des espaces verts. (Sebti.M, 2011)



**Figure III.10:** POS M'khadema, situation de la Cite 460 Logements Collectifs (Source: DUC 2002)

La cite des 460 logements collectifs situer au centre-ville de Ouargla, au Sud-Ouest du Ksar ; d'une distance d'un kilomètre et demi. L'un des premiers quartiers de logement collectif à Ouargla, après celui de la Cillis ; crée dans le cadre d'un programme national d'habitats collectifs. Un programme de logements types adoptée dans plusieurs villes en Algérie, sans prise en compte des caractéristiques de chacune, on les trouve à Biskra cite des 1000 logements, a M'sila et à Hassi Massoud .

Limité par l'axe mécanique 1<sup>er</sup> Novembre, la RN°49 ; l'axe de tramway du côté de Sud, du côté Est du triangle militaire, sur le côté Nord quartier résidentielle de logements individuels Sidi Amran et Ouest une voie mécanique rue Lahrach Bachir. (Fig.III.10)



**Figure III.11** : Les escapes ouvertes de la cite des 460 Lgts (Source : auteur d'après POS 3B 2002)

Les concepteurs ont totalement négligé l'adaptation au milieu urbain saharien et ignoré les conditions climatiques. L'espacement entre les blocs ne suit aucune logique géométrique : certains blocs sont orientés vers de vastes espaces ouverts, tandis que d'autres font face à d'autres blocs, dans diverses orientations. (Fig.III.11)

La cité est dépourvue de la verdure (Fig.III.12), mis a par quelque palmiers ou arbres dispose aléatoirement et dispatché devant quelques blocs, on peut dire qu'aucune plantation d'arbre se trouve dans les espaces extérieurs.



**Figure III.12** : Les espaces extérieurs de la cite des 460 Lgts. (Source: auteur 2023)

Les façades sont composées principalement d'éléments préfabriqués en béton servant de brise-soleil pour protéger les loggias du rayonnement solaire intense, bien qu'ils soient nécessaires pour atténuer la chaleur, entraînent une répétition des éléments architecturaux en l'absence de diversité dans la composition crée un effet de répétition, donnant à l'esthétique globale une apparence peu dynamique et uniforme, effaçant ainsi l'identité de la ville.

Les logements de la cité des 460 habitations collectives sont principalement construites en béton, avec des murs en blocs de béton, écartant ainsi l'utilisation de matériaux locaux comme la terre et le bois. Cette approche privilégie la modernisation et la standardisation au détriment des techniques et matériaux traditionnelles mieux adaptés au climat et à l'environnement local.

#### **IV.4. Caractéristiques urbaines :**

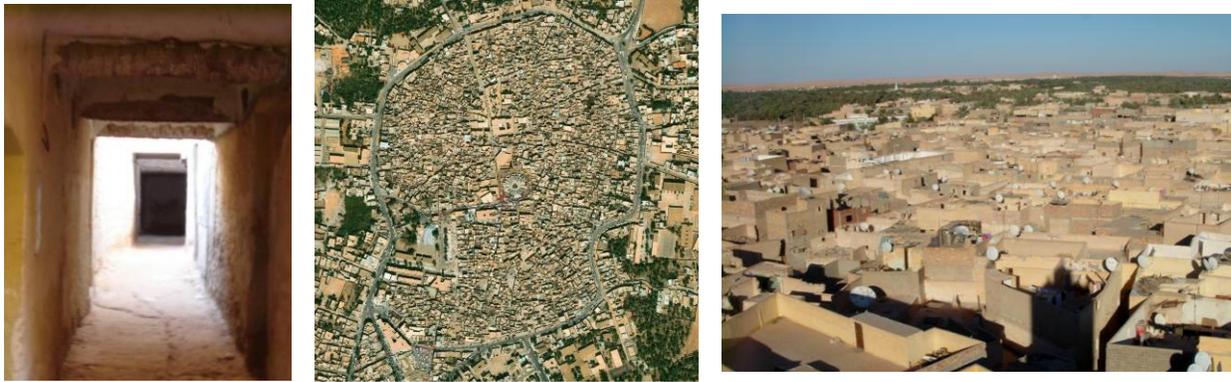
Les tissus urbains sélectionnée pour cette étude présentent chacun des caractéristiques urbaines distinctes et uniques. À l'échelle urbaine, ils se différencient par leur morphologie, notamment en ce qui concerne la densité, la largeur des rues, la hauteur des bâtiments, les espaces entre eux, ainsi que les caractéristiques des voies et la présence ou l'absence des espaces verts. Ces différences mettent en évidence la variation des contextes urbains, soulignant ainsi l'importance de considérer chaque tissu dans sa singularité pour une analyse détaillée.

##### **IV.4.1. Quartier traditionnel**

Sa forme urbaine est caractérisée par un tissu compact et très dense qui est à l'origine de la capacité d'adaptation de l'homme aux conditions climatiques hostile.

Sa structure urbaine se caractérise par une densité du bâti, l'irrégularité et l'étroitesse des tracés (fig.III.13). Les rues sont généralement sinueuses, hiérarchisées et pénètrent la cité en un système complexe de courbes.

Cette étroitesse contribue à limiter l'exposition directe aux rayons solaires intense, en particulier durant la saison estivale.



**Figure III.13** : L'étroitesse d'une ruelle et la densité du Ksar (Source : Auteur 2023)

Les habitations ont une hauteur relativement similaire, composées généralement d'un rez-de-chaussée et d'un seul étage. La largeur des rues est souvent proportionnelle à celle des bâtiments, voire parfois inférieure, ce qui crée un rapport longueur/hauteur des rues ( $H/W \geq 1$ ) égal à un ou supérieur. Cette configuration urbaine permet de maintenir une certaine fraîcheur dans les espaces publics. Grâce à cette disposition du bâti, les habitants peuvent profiter d'utiliser les espaces extérieurs tout au long de la journée, favorisant ainsi les interactions sociales et les activités en plein air même durant les journées chaudes d'été.

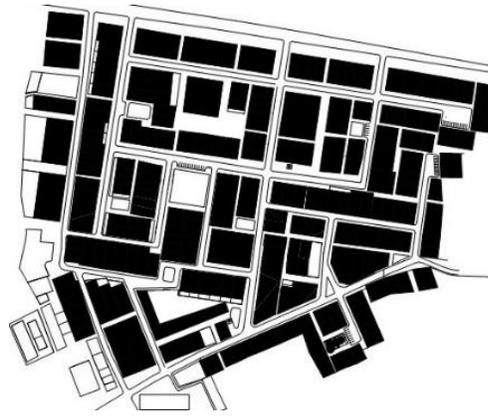
Par ailleurs, la présence de végétation, notamment sous forme de palmeraies qui entourent le Ksar, joue un rôle crucial dans le maintien d'un microclimat rafraîchissant. Cette combinaison d'éléments architecturaux et naturels crée un cadre de vie agréable et adapté au climat.

#### **IV.4.2. Quartier moderne**

Said Otba est un quartier populaire, considéré comme une extension du Ksar. C'est le lotissement de forme plane à base trapézoïdale, caractérisée par une forme urbaine moins compacte que le Ksar, et une géométrie urbaine régulière, quadrillée. Sa forme urbaine est inspirée de celle du Ksar tout en l'adaptant à la vie moderne en intégrant au réseau viarie la circulation mécanique.

Selon le POS (4B) les rues sont hiérarchisées, leurs dimensions varient entre 5m et 8m de largeur (Principale= 8m, secondaire= 7m et tertiaire= 5-6m), avec un rapport de ratio proche de 1 ( $H/L \leq 1$ ). Les rues sont orientées N-S et E-O avec une inclinaison légère de  $9^\circ$  vers l'Est, un seul axe périphérique, sur l'extrémité Sud orienté N E-S O. (Fig.III.14)

Constituer de parcelles de forme de base rectangulaire, d'une surface moyenne approximative varie entre 200m<sup>2</sup> et 300m<sup>2</sup>. Composée d'environ 300 maisons de type individuelle, d'une majorité de deux étage (R+1), d'une hauteur moyenne approximative de 6m. (Fig.III.14)



**Figure III.14 :** Plan du quartier d'étude : SaidOtba-1(S.O-1) (Source : DUAC Ouargla 2020)

Son architecture est très simple primitive. Construites de différents matériaux de constructions, sont à base de parpaing et brique, tandis que la structure des constructions est à base de béton armé de système poteaux poutres.



**Figure III.15 :** Profile des rues du lotissement S.O-1 (Source : auteur Mai 2023)

Les maisons sont d'une composition spatiale très simple, extravertie, contiennent deux à trois façades , qui sont dépourvu d'ornementation ou de traitement architecturale, uniquement des

ouvertures, disposé selon les besoins, porte d'entrées, porte de garage, fenêtres et parfois des balcons. (Fig.III.15, III.16)

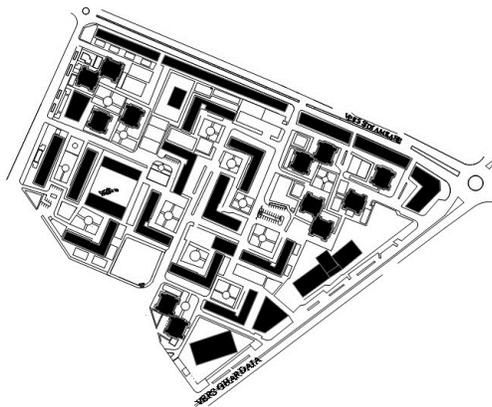
Le quartier est pauvre de la verdure, on ne trouve pratiquement aucune plantation d'arbre au quartier, par contre il est entouré d'une palmeraie.



**Figure III.16** : Vue des rues et façades du quartier S.O-1. (Source: Auteur 2023)

#### IV.4.3. Quartier collectif

La composition urbaine de la cite est fondé sur la normalisation et la standardisation des espaces, et des appartement types. La cité représente une forme plane à base trapézoïdale, caractérisée par une structure urbaine dispersée et sans aucune disposition urbaine logique. (Fig.III.17)



**Figure III.17** : Plan de la Cité 460 Logement collectif. (Source : DUAC Ouargla 2020)

La cité des 460 logements est constituée deux typologies de bâtiments s'élevant sur deux niveaux R+2 et R+3, d'où 10 bâtiments en forme plot où les cages d'escalier desservent 4 logements par palier, et 10 blocs en forme de L, où les cages d'escalier desservent 2 logements par palier.



**Figure III.18 :** Vue des espaces extérieurs de la cité des 460 logements collectifs (Source: Auteur 2023)

La façade urbaine adopte une composition simple et monotone, marquée par une uniformité sans variation ni attrait visuel. Le taux d'ouverture est estimé à 40 %, et des éléments préfabriqués ont été utilisés comme brise-soleil sur les façades, dans le but de réduire l'intensité du rayonnement solaire, principalement en période estivale. (Fig.III.18, III.19)



**Figure III.19 :** Vue des espaces extérieurs et façades de la cité des 460 logements collectifs (Source: Auteur 2023)

## IV.5. Caractéristiques architecturales

Une évaluation plus complexe est menée à l'échelle architecturale, en s'intéressant à des éléments spécifiques tels que le type de bâtiment et les détails de construction. Cela permet, à son tour, une compréhension nuancée des différents détails qui composent les habitations dans la ville de Ouargla.

### IV.5.1. Habitats traditionnels

La maison traditionnelle au Ksar est construite individuelle, construite à base de matériaux locaux ; massifs ; de la brique de toub ou la pierre locale à « timchemt » ( fig.III.20), comme matériau de construction. Dite pierre de Ouargla, utilisée pour bâtir des maisons et des édifices publics, . Ces matériaux ont une capacité à emmagasiner et à restituer la chaleur, maintenant ainsi une température intérieure plus stable, offrant ainsi un environnement intérieur confortable, et leur structure est en bois de tronc de palmiers. La maison au ksar est une maison à patio, une typologie des maisons traditionnelles introverties, et a une terrasse avec « lā'lli ».



**Figure III.20** : Matériaux de construction au Ksar: Toub à base de Timchemt (Source : auteur 2023)

La maison traditionnelle du Ksar de Ouargla est composée de plusieurs espaces, chacun ayant une fonction bien définie. L'entrée principale se fait par la *Taskift* (ou *Skifa*), un espace de transition qui sert comme hall d'entrée. Ce passage mène directement à l'*Amsidar* (également

appelé *Wast Eldar*), considéré comme le cœur de la maison. Cet espace central est le lieu de vie principal où la famille se réunit pour partager des moments et accomplir diverses activités quotidiennes.

En plus de son rôle social, l'*Amsidar* joue également un rôle fonctionnel important en distribuant aux autres pièces de la maison. On y trouve notamment un coin cuisine, un espace de rangement et de stockage, ainsi qu'un escalier menant à l'étage supérieur. À l'étage, la maison dispose d'une terrasse qui sert d'espace principal, ainsi que de deux autres pièces. A la maison on trouve des sanitaires au rez-de-chaussée et à l'étage.

Un espace dédié aux animaux, appelé *Kouri*, se trouve à proximité de l'entrée de la maison, soulignant l'aspect fonctionnel de l'habitat pour les activités agricoles.

L'aération est assurée par une ouverture dans le plafond de l'*Amsidar*, appelée *Rawzna*. Cet élément architectural permet une ventilation naturelle, en assurant la circulation de l'air frais dans toute la maison, notamment au niveau du hall central. Cette conception ingénieuse garantit une fraîcheur agréable à l'intérieur de la maison, même sous des conditions climatiques extrêmes.

#### **IV.5.2. Habitats individuels : planifier – spontané**

La conception des maisons contemporaines individuelle à Ouargla s'inspire largement de l'architecture des maisons traditionnelles, tout en s'adaptant aux besoins modernes des familles. Dans l'ensemble, l'agencement intérieur des maisons actuelles conserve une organisation similaire à celle des demeures ancestrales, avec quelques variations. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs : la taille de la famille, le nombre de personnes qui y vivent, la superficie du terrain disponible, ainsi que les ressources financières des propriétaires.

En générale, une maison au quartier de Said Otba-1 comprend entre quatre et six chambres, une cuisine, et un hall central (*Wast el dar*), qui reste un élément clé de l'habitation a Ouargla, en tant qu'espace de rassemblement et de distribution vers les autres pièces. On y trouve également deux salles de bains, une au rdc et l'autre à l'étage.

Les maisons modernes incluent aussi des éléments pratiques tels qu'un garage, une cour d'aération pour assurer une bonne ventilation naturelle, et une terrasse accessible qui offre un espace extérieur supplémentaire, souvent utilisé pour se détendre ou pour diverses activités en

plein air. Cette conception harmonise tradition et modernité, tout en s'adaptant aux besoins spécifiques des familles contemporaines.

#### **IV.5.3.Habitats collectifs / semi collectif**

L'habitat collectif à Ouargla se matérialise sous forme d'immeubles comportant plusieurs appartements, offrant une alternative à l'habitat individuel.

La cité des 460 logements collectifs, les appartements suivent une organisation standardisée, avec des variations principalement dans le nombre de pièces. Les types d'appartements disponibles vont de deux à trois pièces, avec certaines unités proposant jusqu'à quatre pièces pour s'adapter à la taille et aux besoins des familles.

Chaque appartement présente une disposition fonctionnelle : à l'entrée, un hall qui sert de point central de distribution vers les autres espaces de l'habitation. À proximité du hall, se trouve la cuisine. L'appartement comprend également une salle de bain avec WC séparé.

Les appartements sont équipés de deux balcons, offrant une ouverture sur l'extérieur et permettant de profiter de la lumière naturelle. Ces balcons, en plus de contribuer à la ventilation, constituent des espaces extérieurs privés, utiles pour diverses activités.

## CONCLUSION

Pour conclure ce chapitre consacré à l'étude du cas d'étude : la ville de Ouargla, il apparaît clairement que la forme urbaine et l'évolution de l'habitat dans cette ville saharienne sont le résultat de multiples dynamiques historiques, culturelles, environnementales et sociales. Le modèle traditionnel de l'habitat, fortement influencé par les conditions climatiques arides, a longtemps été marqué par une organisation compacte autour des ksour, avec des habitations en matériaux locaux, favorisant une adaptation optimale aux contraintes naturelles.

Cependant, l'évolution urbaine de Ouargla au fil des décennies montre une rupture progressive avec ces modèles vernaculaires. L'urbanisation contemporaine, notamment sous l'influence des politiques de modernisation et de l'augmentation démographique, a donné lieu à une expansion périphérique et à une transformation des formes urbaines et architecturales. Les nouvelles constructions, souvent non adaptées au contexte climatique, entraînent des défis en termes de durabilité et de confort thermique.

Ainsi, la ville de Ouargla se trouve à un carrefour entre tradition et modernité, où les enjeux de préservation du patrimoine et d'adaptation aux réalités contemporaines se posent avec acuité. L'évolution de la forme urbaine et de l'habitat reflète non seulement les besoins actuels de la population mais aussi les défis auxquels elle devra faire face en matière de développement durable et de résilience climatique.

Ce cas d'étude montre l'importance de repenser la forme urbaine dans les villes sahariennes comme Ouargla, en intégrant les leçons du passé tout en répondant aux exigences du futur.

# CHAPITRE IV:

## **Approche Méthodologique**

*« They did not know it was impossible so they did it. »*

Mark Twain

## INTRODUCTION

Ce chapitre expose le processus de l'étude et le cadre méthodologique adopté, englobant la conception de la recherche et les méthodes employées pour mener à bien les étapes nécessaires afin de répondre aux questions de recherche et d'atteindre les objectifs fixés.

La première section offre un aperçu des travaux de recherche pertinents traitant de sujets connexes, en mettant en évidence les paramètres explorés et les approches adoptées. Les différentes méthodologies utilisées ainsi que les techniques appliquées à chaque étape sont détaillées pour établir une base solide à l'étude. Par la suite, le chapitre décrit le cadre méthodologique spécifique adopté dans cette recherche.

Une approche analytique a été mise en œuvre, combinant une étude détaillée du contexte local et des données climatiques de la ville de Ouargla. Cette démarche a été suivie d'une analyse qualitative comparative portant sur trois tissus urbains aux caractéristiques morphologiques distinctes. Afin d'évaluer l'impact de la forme urbaine sur la performance thermique, une maison représentative a été choisie pour chaque tissu urbain, permettant ainsi une comparaison des performances thermiques des espaces intérieurs de chaque cas étudié. Par ailleurs, les matériaux de construction utilisés et leur impact sur l'efficacité énergétique de chaque bâtiment sont également examinés.

Cette recherche adopte une méthodologie combinant une approche mixte; quantitative et qualitative. Un schéma synthétique présenté, illustre les différentes étapes et le cheminement suivi tout au long de l'étude.

## I. APPROCHE METHODOLOGIQUE

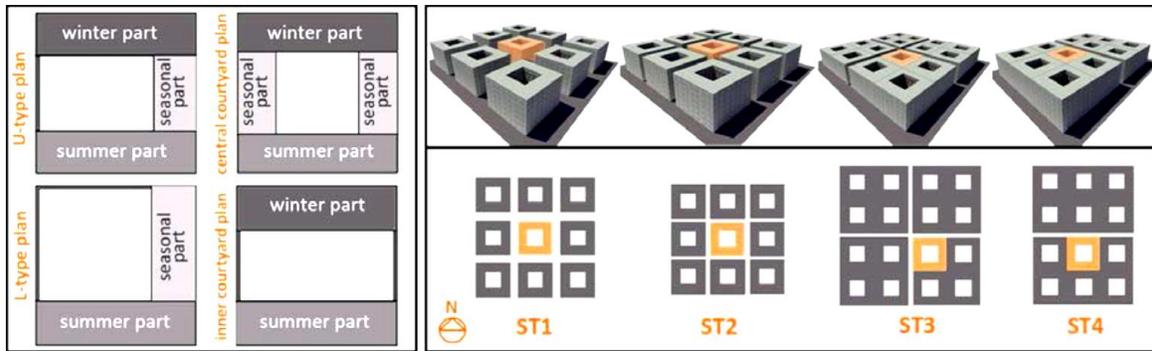
Dans cette section, nous tentant de présenter les approches méthodologiques utilisées dans des travaux phares qui se concentre sur des études de cas qui examine la relation de la forme urbaine et l'efficacité énergétique du cadre bâti . Cette partie on se focalise sur la présentation des méthodes et des approches employées dans les travaux de recherche précédent. Le choix de l'utilisation des méthodes quantitatives et qualitatives adaptées à la question étudiée permet la prise des décisions pour recueillir et analyser les données. Il s'agit de préciser les méthodes de recherche utilisées, de justifier leur pertinence par rapport aux objectifs de l'étude. Ces approches ont été choisies pour approfondir les problématiques liées aux conditions environnementales et à l'efficacité énergétique dans milieu urbain et architectural.

### I.1.Effet de la forme urbaine sur l'efficacité énergétique

Sur la base des caractéristiques des maisons typiques traditionnelles de Diyarbakır, en Turquie, situe dans zone a climat chaud et aride, des alternatives de quartiers ont été développées par Kocagil et al., (2015). Les modèles crée ont été analyser afin d'examiné l'influence des textures des quartiers traditionnels et des formes des bâtiments sur l'efficacité énergétique à l'aide du logiciel de simulation numérique Design Builder. Quatre types de plans ont été définis, en intégrant des zones spécifiques pour chaque saison : un plan en L, un plan en U, un plan avec cour intérieure et un plan avec cour centrale (Fig.1). De plus, l'orientation des plans en L et en U a été optimisée en les simulant dans plusieurs orientations, permettant de sélectionner celles qui minimisent les charges énergétiques.

L'impact du facteur de forme est évalué à l'aide de six rapports surface-volume (S/V) différents : 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90 et 1,00. Pour chaque rapport S/V, toutes les alternatives ont la même hauteur (8 m) et un plan d'étage carré de longueurs identiques.

De ce fait, chaque variante de forme de bâtiment, est simulée comme un bâtiment indépendant (bâtiment de référence) en dehors de l'environnement.



**Figure IV.1** : Plan type et texture d'établissements alternatifs. (Source : Kocagil, et al., 2015)

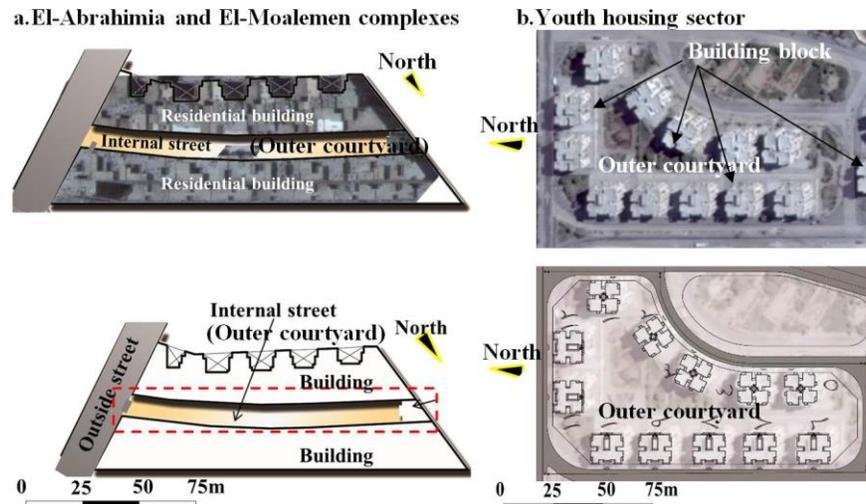
Ensuite, afin d'évaluer l'impact de la largeur des rues et des blocs urbains sur les charges énergétiques, quatre textures des alternatives (ST1, ST2, ST3, ST4) sont développées sur la base de l'environnement existant et chaque alternative de construction est simulée dans ces conditions:

- ST1 et ST2; texture de l'établissement avec respectivement 6 m et 3 m de largeur de rue,
- ST3 et ST4; la texture de l'établissement se composait de blocs respectivement avec quatre bâtiments et six bâtiments (Fig. IV.1).

Pour éliminer les effets thermiques du rayonnement solaire acquis dans différentes directions et pour comparer les charges énergétiques de toutes les alternatives de construction dans les modèles de l'établissement développés dans des conditions égales, on suppose qu'il n'y a pas de fenêtre sur la façade sur rue tandis que le taux de transparence de la façade sur cour est défini à 40 %. La température intérieure de confort est fixée à 21°C pour la période hivernale et à 26°C pour la période estivale. Ainsi, 24 alternatives de bâtiments et 5 textures d'établissement sont présentées et 120 simulations sont réalisées pour étudier toutes les combinaisons possibles.

- L'étude d'Abdallah H. (2015) sur l'influence de la géométrie urbaine sur le confort thermique et la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels, a évalué l'impact de la dimension des espaces sur le confort thermique intérieur, entre les canyons peu profonds ( $H/W = 0,24 - 0,6$ ) dans les logements pour jeunes à New Assiut et des canyons profonds ( $H/W = 4$ ) dans les nouvelles maisons résidentielles d'El-Abrahimia et d'El-Moalemen à Assiout. (Fig.IV.2).

Une comparaison est réalisée entre ces deux configurations en termes de confort thermique, de consommation d'énergie et de qualité de l'air intérieur (QAI) dans un climat chaud et aride.

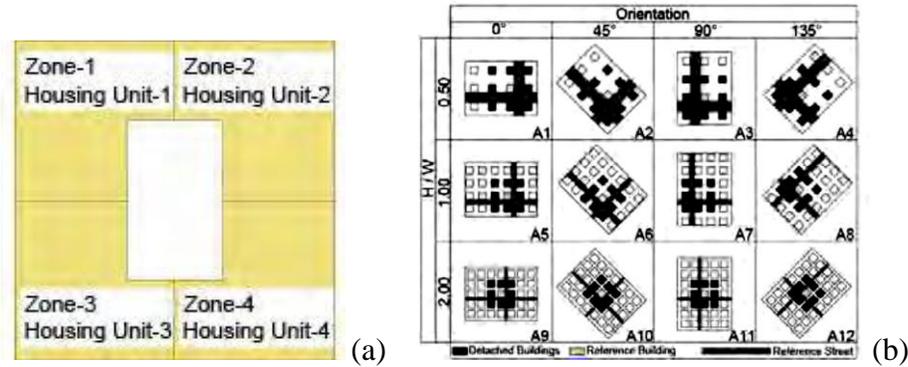


**Figure IV.2:** La géométrie urbaine du complexe de deux bâtiments et l'emplacement de la cour extérieure. (Source Abdallah. A.; 2015)

Les résultats de l'étude ont montré que la demande de refroidissement et la consommation d'énergie diminuaient dans les espaces donnant sur des canyons profonds, grâce à une baisse de température allant jusqu'à 11°C par rapport à l'extérieur, en juillet, le mois le plus chaud de l'année. Dans ces conditions, la température intérieure atteint la limite supérieure de la plage acceptable selon les normes ASHRAE, avec une température maximale de 32,5°C, en utilisant la ventilation naturelle comme stratégie.

- Mangan et al. (2018) ont étudié l'impact de différentes textures urbaine, développées en fonction de paramètres de conception définis sur les conditions de confort thermique extérieur et la consommation énergétique des bâtiments. À cet effet, plusieurs textures ont été développées selon le rapport H/L couramment utilisé :  $H/L = 1,00$  ; 0,50 et 2,00. La largeur des rues pour chaque rapport H/L a été déterminée à partir de l'évaluation d'un immeuble résidentiel de cinq étages, typique des bâtiments résidentiels à Istanbul. Par ailleurs, pour étudier l'influence de l'orientation sur les conditions thermiques extérieures, les variantes de texture urbaine ont été orientées selon les axes N-S, E-O, N-O, S-E et N-O-S-O (fig.2).

Les textures urbaines sont composées de bâtiments individuels répartis sur une zone d'environ 30 000 m<sup>2</sup>, avec un nombre de bâtiments variable selon les alternatives. (Fig. IV.4).



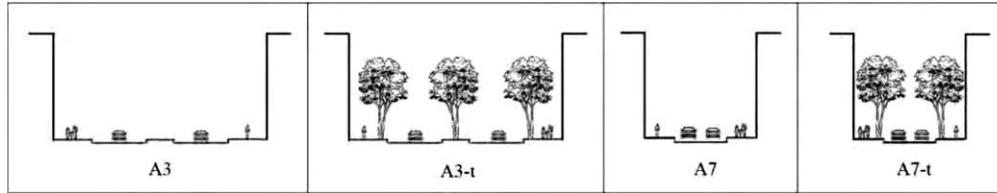
**Figure IV.3** : Plan d'étage du bâtiment de référence (a) et variantes de texture urbaine (b). (Source : Mangan et al. ,2018)

Le logiciel DesignBuilder est utilisé pour calculer la consommation annuelle d'énergie pour le refroidissement, le chauffage et l'éclairage, pour le bâtiment isolé et celui intégré dans diverses textures urbaines.

Les bâtiments étudiés comportent des unités de 100 m<sup>2</sup> avec un rapport S/V de 0,2, une surface totale de 400 m<sup>2</sup> et une hauteur de 15 m, chaque étage ayant quatre unités, chacune étant considérée comme une seule zone climatisée. Les températures de confort sont fixées à 20 °C pour le chauffage et 26 °C pour le refroidissement, adaptées au climat tempéré-humide d'Istanbul. Les valeurs de transfert thermique de l'enveloppe respectent la norme TS 825 (2013) :  $U_{\text{mur}} = 0,57$  W/m<sup>2</sup>K,  $U_{\text{sol}} = 0,53$  W/m<sup>2</sup>K,  $U_{\text{toit}} = 0,38$  W/m<sup>2</sup>K,  $U_{\text{fenêtre}} = 1,40$  W/m<sup>2</sup>K, avec un ratio de transparence de la façade de 30 %.

Une analyse du confort thermique extérieur, à l'état existant et avec l'ajout de végétation, pour les alternatives présentant la plus faible consommation d'énergie globale, à l'aide d'ENVI-Met. Les paramètres  $T_{\text{air}}$ ,  $T_{\text{rm}}$ ,  $V$  et  $PET$  ont été utilisés pour évaluer le confort thermique dans les rues. L'alternative de texture urbaine offrant les meilleurs résultats pour l'efficacité énergétique et le confort thermique extérieur a été identifiée.

L'évaluation, effectuée pour des alternatives orientées à 90° avec des rapports d'aspect de 0,50 et 1,00, couvre une journée type (21 juillet) sur 24 heures. Les améliorations potentielles ont été testées en ajoutant 2 ou 3 rangées d'arbres (fig.IV.3).



**Figure IV.4:** Sections de rues alternatives pour l'évaluation du confort thermique extérieur. (Source Mangan et al. ,2018)

- Mutani et al (2020) ont utilisé un modèle dynamique pour simuler la consommation de chauffage des bâtiments résidentiels, dans l'objectif d'évaluer la relation entre la forme urbaine et la performance énergétique. Le modèle prend en compte les caractéristiques réelles du contexte urbain. Le facteur de vue du ciel SVF , le rapport  $H / L$  , ont été utilisés comme des données d'entrée afin de prendre en compte l'environnement, en calibrant le modèle du bâtiment à l'échelle urbaine. Ce modèle a été appliqué à 13 immeubles résidentiels, situés dans six quartiers représentatifs et typiques de la ville de Turin (Italie). Les variables principales influençant la consommation énergétique, dans cette étude sont les caractéristiques thermo-physiques et le rapport  $S/V$ , ont été étudiées pour des bâtiments avec un rapport  $S/V$  de 0,23 à 0,46  $m^2/m^3$ , construits entre 1919 et 1971.

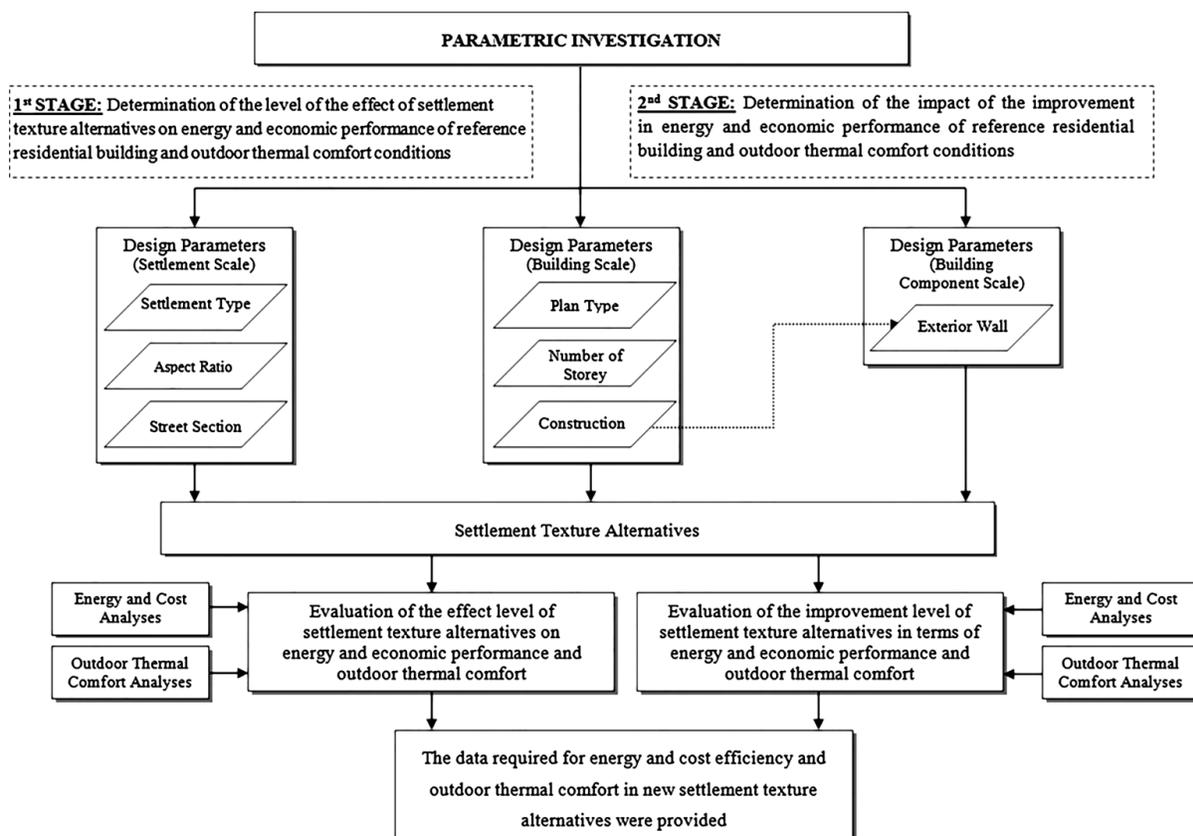
La consommation énergétique simulée pour la saison 2013-14 a été comparée aux mesures réelles. Afin d'évaluer l'effet de la période de construction sur la performance énergétique, la consommation de chauffage a été simulée en ajustant les caractéristiques thermo-physiques pour quatre périodes : 1919-45, 1946-60, 1961-70 et 1971-80. L'étude s'est déroulée en deux étapes principales :

**En premier lieu :** une analyse des caractéristiques du contexte urbain a été effectuée avec le logiciel ArcGIS, en identifiant et calculant six paramètres de forme urbaine (COS, CES, orientation, albédo,  $H/W$ ,  $H/H_{avrege}$ ) et quatre paramètres des bâtiments ( $S/V$ , orientation, surface chauffée/utilisée, et caractéristiques thermo-physiques selon la période de construction) pour chaque parcelle, en se concentrant sur des tissus urbains homogènes de 400x400 mètres et des zones avec des périodes de construction variées.

**Et en second lieu :** une simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel CitySim Pro, permettant d'analyser des variations cohérentes de la forme urbaine et des matériaux extérieurs par rapport à une étude de cas réelle.

• Mangan et al. (2020) ont développé une approche multi-échelle, pour concevoir des quartiers en fonction des données environnementales et climatiques à Istanbul, en climat tempéré-humide. Cette approche visait à évaluer les performances énergétiques et économiques d'un bâtiment résidentiel de référence dans différentes textures de quartier, et à analyser l'impact de ces textures sur le confort thermique extérieur. L'étude a aussi évalué l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment et l'utilisation d'arbres en bordure de rues pour optimiser le confort extérieur. Ainsi, cette méthode pourrait prévenir des erreurs de conception affectent de nombreux habitants et favoriser la création de quartiers urbains durables et performants.

Le modèle d'approche multi-échelle développé à cet effet consistait en un processus de calcul en deux étapes (Fig. IV.5).



**Figure IV.5:** La représentation schématique de l'approche utilisée dans l'étude. (Source Mangan, et al., 2020 )

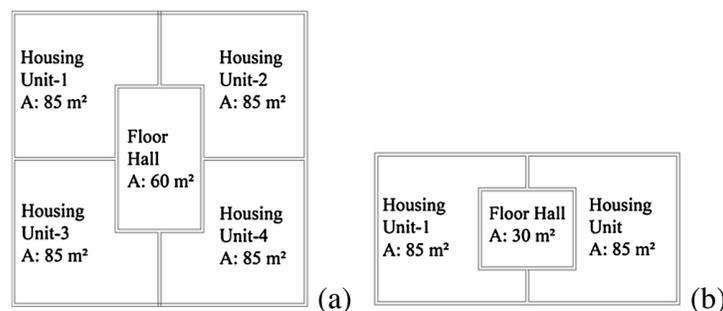
La première étape a consisté à évaluer l'impact de différentes textures de quartier et de paramètres de conception (espaces entre bâtiments, orientation, forme du bâtiment et du quartier) sur les performances énergétiques et économiques d'un bâtiment résidentiel de référence, ainsi que sur le confort thermique extérieur, en comparant ces textures aux conditions existantes.

La deuxième étape visait à déterminer l'effet de l'amélioration des propriétés thermiques du mur extérieur du bâtiment et l'impact des arbres sur le confort thermique dans les rues.

Des modules de 100 m<sup>2</sup> ont été utilisés à l'échelle du bâtiment, avec deux types de plans : un carré (facteur de forme 1,00) et un rectangulaire (facteur de forme 2,00). Quatre hauteurs de bâtiment (3, 5, 10, et 15 étages) avec une hauteur d'étage de 3,00 m ont été évalués.

- Les alternatives de quartiers, d'une superficie de 30 000 m<sup>2</sup>, comprenaient au moins 9 bâtiments résidentiels (3 × 3) avec le bâtiment de référence au centre. . (Fig. IV.6). Ces alternatives ont été créées avec des rapports H/W de 0,5, 1 et 2, en supposant des paramètres de conception identiques pour tous les bâtiments. Le calcul de l'ombre a été effectué pour le 21 janvier, entre 11h et 13h.

Les résultats de l'analyse énergétique et des coûts montrent qu'à Istanbul, la consommation d'énergie pour le chauffage, en raison de la période de chauffage plus longue que celle de refroidissement, représente une part plus importante de la consommation totale d'énergie et des coûts énergétiques. Le rapport H/W est le paramètre le plus influent sur le confort thermique extérieur, avec un H/W de 2 offrant les meilleures conditions de confort thermique en été.



**Figure IV.6:** Planification de deux alternatives avec un plan d'étage carré (a) et un plan d'étage rectangulaire (b). (Source Mangan, et al., 2020 )

## I.2. Évaluation des paramètres affectant l'efficacité énergétique des maisons traditionnelles

• Pour évaluer l'efficacité énergétique de l'habitat vernaculaire à Mardin, Turquie, une maison typique a été choisie comme cas d'étude. Ce modèle de base inclut son environnement immédiat et la pente du terrain. La maison à deux étages, orientée au sud, possède une entrée à chaque niveau et présente une variété d'espaces fermés, semi-ouverts et ouverts à chaque étage. D'autres variantes ont été créées pour évaluer divers paramètres d'efficacité énergétique. (Fig. IV.7).



**Figure IV.7:** à gauche : La maison sélectionnée avec l'environnement immédiat. A droite : Le plan du premier étage de la maison sélectionnée. (Source : Sözen.I, et all ,2019).

Le cas réel est modélisé avec DesignBuilder en tenant compte la pente du terrain, la densité urbaine, la masse thermique et le rapport fenêtre/mur. Cinq modèles, y compris le cas de base, sont créés pour évaluer l'impact de chaque paramètre sur les charges annuelles de chauffage et de refroidissement.

La maison est modélisée en détail, tandis que les bâtiments environnants sont simplifiés en volumes fermés pour refléter leur effet sur le microclimat. La topographie du site est prise en compte pour tous les bâtiments. Le rez-de-chaussée inoccupé est exclu des calculs, et le deuxième étage est modélisé en détail, tenant compte des matériaux, des fenêtres et des variations d'épaisseur des murs. (Tab.IV.1)

**Tableau IV.1:** Propriétés physiques et thermiques des murs massifs et conventionnels modélisés. (Source Sözen.I., et all. ,2019)

MASSIVE WALL		CONVENTIONAL WALL	
Materials	Thickness	Materials	Thickness
Cut Mardin Stone	300 mm	Plaster	30 mm
Crushed Mardin Stone	400 mm	Medium weight concrete	120 mm
Cut Mardin Stone	300 mm	EPS thermal insulation	60 mm
		Plaster	30 mm
Total Thickness	1000mm	Total thickness	240 mm
U Value	0.70 W/m <sup>2</sup> K	U Value	0.53 W/m <sup>2</sup> K
Internal Heat Capacity	272.58 KJ/m <sup>2</sup> K	Internal Heat Capacity	53.22 KJ/m <sup>2</sup> K

Cinq modèles sont comparés au cas de base pour évaluer différents paramètres. Le cas II, représentant un terrain plat, examine l'impact de la pente; le cas III modélise la maison comme un bâtiment isolé; le cas IV utilise des murs conventionnels isolés pour évaluer l'impact de l'inertie thermique par rapport à une enveloppe massive; enfin, le cas V, un bâtiment isolé avec des murs isolés et un rapport fenêtre/mur de 10%, est comparé au cas IV, qui a un ratio de 4,88%. La demande en énergie pour le refroidissement et le chauffage est résumée dans le tableau IV.2.

**Tableau IV.2:** charges annuelles de chauffage, de refroidissement et d'énergie totales pour tous les cas. (Source Sözen.I., et all. ,2019)

	BASE CASE: Actual Settlement	CASE II: Flat Terrain	CASE III: Single Building	CASE IV: S.B. Conv. Walls	CASE V: S.B & C.W. & 10% WWR
					
Heating Load (kWh)	3214,15	3363,27	2774,96	4146,4	3955,93
Cooling Load (kWh)	1119,17	1047,43	1624,37	2002,52	2761,25
Total (kWh)	4333,32	4410,7	4399,33	6148,92	6717,18

- Dans une autre étude de Sözen.I., et all. (2019), examine le tissu urbain vernaculaire de Mardin dans un climat chaud et sec, en développant une méthodologie applicable à d'autres régions similaires. L'évaluation se concentre sur les caractéristiques bioclimatiques et l'efficacité énergétique du tissu existant, en utilisant des simulations énergétiques pour analyser les bâtiments. À partir des résultats préliminaires et d'une analyse qualitative du tissu, une méthodologie est proposée pour évaluer l'impact des paramètres de conception sur le confort thermique dans

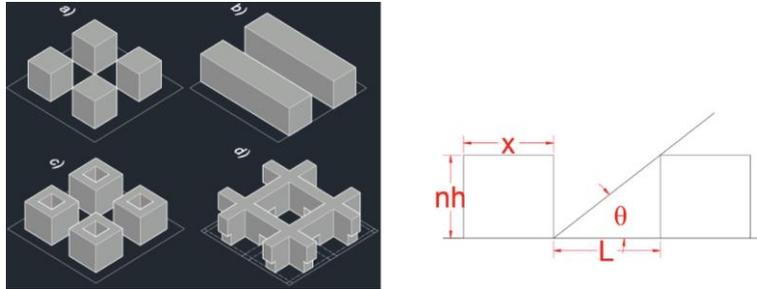
différents espaces. Les modèles de cas étudiés sont basés sur le tissu vernaculaire et testés pour le stress thermique en extérieur le 21 juillet, en pleine saison estivale.

Les paramètres de conception évalués incluent pour les rues : la forme (H/W de 1, 2 et 4), l'orientation (E-O, N-S, SE-NO, SO-NE), le canyon asymétrique et l'ajout de galeries. Pour les cours, les paramètres sont : le ratio de plan (W/L de 1/1, 1/2, 2/1), les ouvertures, l'usage de l'eyvan (orienté vers E, O et S), les matériaux de chaussée (béton, granit, herbe), ainsi que l'ajout d'arbres et d'une fontaine. Les résultats de l'analyse de confort thermique extérieur sont ensuite interprétés pour leurs effets sur le confort thermique intérieur. À ce stade, les principaux paramètres géométriques étudiés sont le rapport H/L, l'orientation des rues et le ratio de plan des cours. Des recommandations sont formulées en fonction des paramètres favorisant ou nuisant au confort thermique intérieur et extérieur.

L'évaluation repose sur des simulations numériques avec des méthodes de calcul distinctes pour les espaces intérieurs et extérieurs. L'étude utilise des outils de calcul thermique pour les bâtiments ainsi qu'une analyse détaillée du microclimat extérieur, qui est plus complexe et nécessite davantage de paramètres et de temps de calcul. Les évaluations sont effectuées via un modèle de simulation 3D du microclimat utilisant ENVI-met (Buse, 2018).

- L'étude de Ahmadian E., et al.,(2019) explore l'influence du climat sur la performance énergétique des bâtiments résidentiels en relation avec les formes urbaines et la géométrie de l'environnement bâti. Elle vise à identifier les configurations urbaines les plus durables sur le plan énergétique et adaptées à différents climats. Quatre formes bâties urbaines sont modélisées, et une méthode de simulation est appliquée pour analyser quatre villes représentatives de divers climats : Londres, Singapour, Helsinki et Phoenix. Trois paramètres géométriques sont étudiés : l'angle de coupure ( $\theta$ ), la profondeur du plan ( $x$ ) et le nombre d'étages ( $n$ ). (Fig.IV.8).

L'indicateur d'équité énergétique (EE) est utilisé pour présenter les résultats. L'étude montre que dans les climats chauds, comme Singapour et Phoenix, une réduction de la distance entre les bâtiments diminue la demande énergétique de 6 % à 56 %. En revanche, dans les climats froids, tels que Londres et Helsinki, cette même réduction augmente la demande énergétique de 2 % à 16,5 %. Par conséquent, l'impact de la distance entre les bâtiments sur la demande énergétique des bâtiments est plus important dans les climats chauds.



**Figure IV.8:** Formes bâties urbaines génériques à pavillon, b terrasse, c cour et d tunnel-cour (à gauche), section montrant l'angle de coupure (à droite). (Source : Ahmadian E., et al.,2019)

Le logiciel CitySim est utilisé pour analyser la performance énergétique de modèles géométriques de bâtiments. Les simulations s'appuient sur des plans théoriques composés de grilles de 5 x 5 bâtiments identiques, où seule la performance énergétique du bâtiment central est évaluée afin de réduire les effets de bord. Les variables géométriques sont modifiées à chaque simulation pour déterminer leur impact sur la performance énergétique, et ce processus est répété pour chaque étude de cas en intégrant des données climatiques spécifiques. Afin de comparer les configurations géométriques, plusieurs paramètres restent constants : matériaux de construction, isolation, taux d'infiltration (0,5 ACH), rapport de vitrage (40 %), densité d'occupation (35 m<sup>2</sup>/personne) et températures de consigne (20 °C pour le chauffage et 24 °C pour le refroidissement). Les valeurs U des murs et du toit sont de 0,18 et 0,13 W/m<sup>2</sup>K respectivement. La période de chauffage et de refroidissement est également incluse dans les simulations. 216 simulations sont réalisées pour chaque cas; en explorant différentes configurations géométriques. Ces configurations combinent des variations de trois paramètres : le nombre d'étages (de 1 à 30), l'angle de coupure (25°, 45° et 65°) et la profondeur du bâtiment (de 6 à 60 m par incréments de 6 m).

D'après la littérature examinée, différentes méthodes et approches ont été appliquées, dans différents contextes climatiques et géographique. Ils ont prouvé que les conditions climatiques ont un impact significatif sur la performance énergétique du bâtiment et le confort thermique de l'occupant. Afin d'atteindre le confort thermique en été dans des régions à climat chaud et sec, les occupants font recours au moyen de refroidissement mécanique ce qui contribue à une consommation accrue de l'énergie électrique. Les recherches consultées dans la littérature se

concentre sur le volet de la diminution de la consommation énergétique du secteur résidentiel vu qu'il est le plus grand consommateur d'énergie.

Notre recherche se focalise sur contexte climatique chaud et sec, ou la demande énergétique est importante, et uniquement quelques recherches ont abordé ce sujet en mettant l'accent sur le bâtiment pris isolément sans prendre l'effet du contexte urbain, ainsi que l'impact de quelques paramètres architecturaux.

## II. ELABORATION DU MODELE D'ANALYSE

L'évaluation globale de la performance énergétique d'un bâtiment est fondamentale pour détecter les inefficacités énergétiques, constituant ainsi la base pour des décisions éclairées en matière d'amélioration de cette performance (Li et al., 2020). Par ailleurs, la quantification et la compréhension des besoins énergétiques sont essentielles pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments (Melo et al., 2023).

L'examen de la littérature indique que la majorité des recherches se focalisent sur l'étude de l'impact des formes de bâtiment et urbaines, sur la consommation d'énergie et le confort thermique dans différents climats en se penchant principalement sur l'estimation quantitative. En revanche, elles négligent l'aspect qualitatif, ce qui est considéré comme une lacune dans la méthodologie de l'étude de l'évaluation énergétique à l'échelle urbaine, et nécessitait davantage d'investigations. Dans le cadre de cette étude, notre contribution consistera en une approche mixte, permettant ainsi une évaluation à la fois quantitative et qualitative du confort thermique et de la consommation énergétique, une dimension qui n'a été rarement abordée précédemment.

Cette étude vise à combler cette lacune en proposant une approche comparative permettant d'examiner la forme urbaine et son effet sur la consommation énergétique afin d'identifier la forme urbaine la plus efficace en matière de consommation énergétique.

Par conséquent, la question de recherche est ancrée dans l'évaluation de l'efficacité des paramètres de géométrie urbaine en termes de performance énergétique et de conditions de confort thermique extérieur.

La figure IV.9 propose une schématisation des étapes de la méthodologie adoptée pour cette étude. Commencant par une analyse urbaine afin de dégager les principales formes urbaines qui

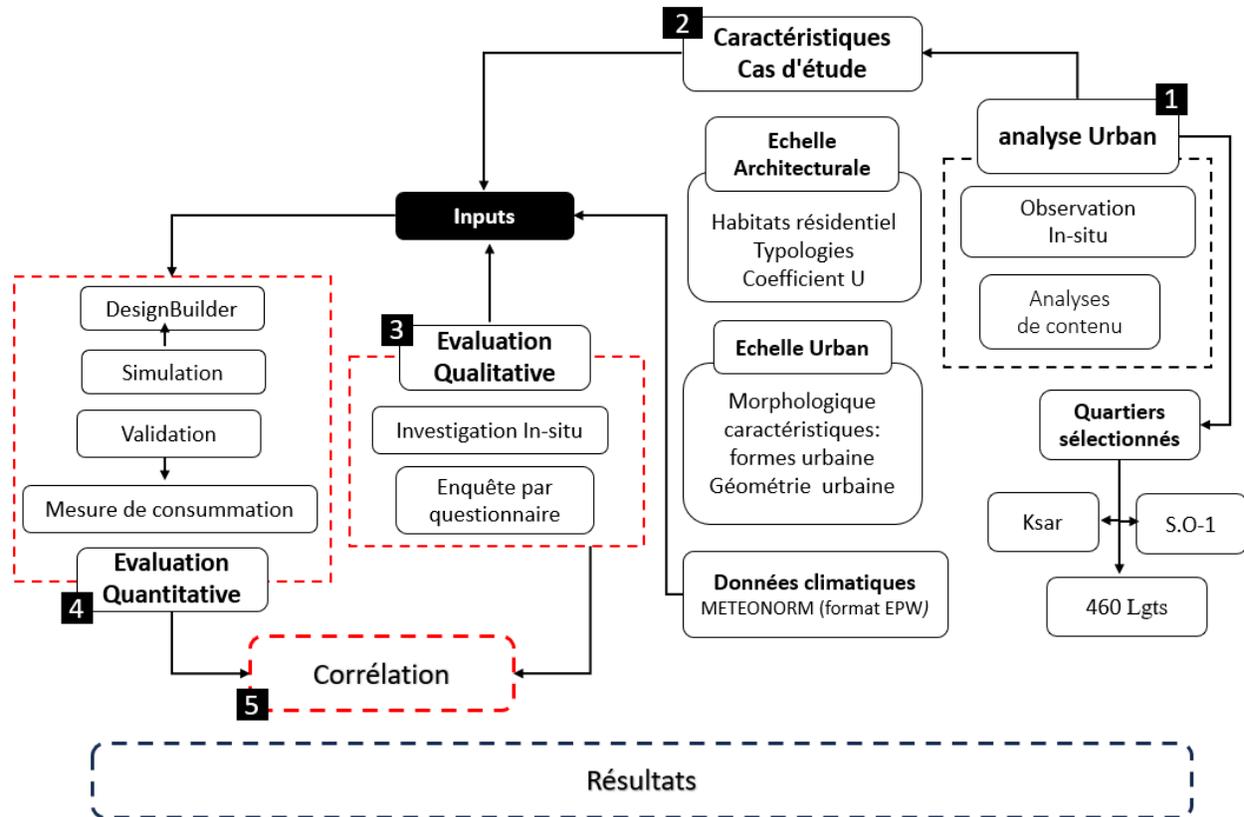
compose l'ensemble de la ville de Ouargla , afin de sélectionner par la suite les formes urbaines les plus représentatif du tissu de la ville. Comme deuxième étape de travail ; les caractéristiques sur les deux échelles urbaine et architecturale sont par la suite identifiées des trois quartiers choisis pour l'étude.

Pour l'évaluation qualitative une enquête sur terrain par questionnaire s'est déroulé afin de collecter les informations nécessaires pour déterminer les appréciations et les comportements des utilisateurs des espaces extérieurs et leurs habitations des quartiers d'étude.

Sur la base des données collecté du terrain (caractéristiques urbaines et architecturales, l'évaluation qualitative) et les données climatiques de la ville de Ouargla , qui sont considérer comme inputs, une évaluation quantitative de la consommation de l'énergie électrique pour le refroidissement mécanique en été, a été accompli à l'aide d'une simulation numérique avec le logiciel Design Builder.

Les résultats de l'évaluation quantitative ont été valider par les données réelles de la consommation d'énergie électrique , obtenue des relevés des compteurs de consommation des domiciles par les services de Sonelgaz.

La corrélation des résultats de l'évaluation qualitative et celle quantitative nous a permet d'évaluer la relation entre les paramètres de la forme urbaine et les caractéristiques architecturales de l'habitation et la consommation énergétique et le confort thermique des occupants en plain saison estivale à Ouargla , représentant un climat chaud et aride.



**Figure IV.9 :** Schéma de la méthodologie de travail. (Source : Auteur)

## II.1. Enquête in-situ par Questionnaire

L'un des principaux objectifs de nos jours lorsqu'on parle de confort thermique – et ce depuis les origines du domaine – est d'évaluer avec précision le confort thermique perçu associé à un certain ensemble de conditions, qui sont généralement liées à la situation microclimatique, à la perception personnelle ou à l'influence de l'environnement urbain, en particulier lorsqu'il s'agit de l'environnement extérieur. (Rodríguez-Gallego, J. et al., 2024)

L'impact du comportement des occupants sur les bâtiments est un domaine de recherche en pleine croissance à la lumière de la nécessité de relever les défis du changement climatique. De nombreuses études ont examiné l'effet des occupants sur la consommation énergétique des bâtiments. Le comportement énergétique actif et passif des occupants (y compris l'ouverture des fenêtres, des stores, le réglage des paramètres HVAC, etc.) n'est pas entièrement pris en compte par les outils d'analyse énergétique actuels. Par conséquent, il existe un besoin naturel de modèles

énergétiques, de chercheurs et de concepteurs pour améliorer l'évaluation de la consommation énergétique des bâtiments en prenant en compte le comportement énergétique des occupants. Le principal défi est la nature complexe et dynamique du comportement énergétique des résidents, qui est influencé par divers facteurs internes et externes, individuels et contextuels. Par conséquent, les motivations et les raisons des occupants, ainsi que les multiples facteurs qui influencent leur décision d'interagir avec les systèmes du bâtiment, ainsi que l'impact de leurs actions sur la consommation énergétique totale des bâtiments, devraient être étudiés dans une approche multidisciplinaire pour inclure les raisons issues des perspectives sociologiques, psychologiques, économiques, d'ingénierie et de conception. Ebuy, H. T., et al (2023)

L'enquête in situ consiste à étudier directement sur le terrain les conditions réelles et de collecté les données qualitatives et même quantitatives sur le sujet d'étude. D'après Claude Allegre la recherche sur le terrain apporte de nombreuses informations sur la réalité. De plus, l'investigation in situ permet de dévoiler clairement le fond des choses, ce qui nous permet de comprendre notre hypothèse de manière confirmative ou infirmative.

Dans cette étude l'enquête in situ afin d'avoir des données quantitatives et de traiter de manière directe ; sur le terrain ; le confort thermique et la consommation d'énergie des bâtiments en prenant en considération les conditions réelles et les comportements des occupants. Elle offre la possibilité de saisir comment les utilisateurs ajustent leurs actions afin de contrôler la température intérieure et maximiser leur confort.

L'intérêt n'est pas seulement de collecter leurs perceptions du confort dans les espaces intérieurs, mais également de saisir en détail leurs comportements en ce qui concerne la gestion thermique au quotidien. Les interactions entre le comportement des occupants et les caractéristiques thermiques des bâtiments sont également prises en considération dans l'analyse, ainsi que les diverses stratégies mises en place pour maximiser le confort. De plus, ces éléments sont étudiés dans trois quartiers différents, ce qui permet d'évaluer l'impact du contexte environnemental et des dynamiques propres à chaque quartier sur les solutions de confort thermique. Afin d'atteindre l'objectif de cette investigation nous utilisons l'enquête post-occupation, essentiellement en période de pique de chaleur. Pour analyser la fréquence de satisfaction au sein des quartiers, des statistiques descriptives ont été utilisées.

### **II.1.1. Objectif du Questionnaire :**

L'évaluation du confort thermique extérieur a été abordée par diverses méthodes, notamment la simulation numérique (Berkovic et al., 2012), les évaluations ou mesures basées sur des enquêtes et l'exploration de nouveaux modèles (Coccolo et al., 2016). D'après Gossauer et Wagner (2007) la question du confort a toujours été examinée à travers des entretiens/interactions avec des personnes afin d'inclure des votes objectifs et de les corrélés avec les paramètres climatiques mesurés et a également utilisé les normes disponibles pour le confort thermique qui se sont longtemps exclusivement basées sur des tests en laboratoire. De manière générale, les réponses des occupants ont tendance à être extrêmement utiles car ils savent ce qu'il faut rechercher dans un bâtiment comme amélioration (Cohen et al, 2001).

Dans la présente étude, l'un des principaux objectifs était d'obtenir et de comprendre un aperçu général de la satisfaction thermique et de la consommation énergétique essentiellement au cours de la saison estival. Le questionnaire a fourni deux types de données : qualitatives et quantitatives. Les données qualitatives ont révélé la perception des participants de la situation existante et décrit les différentes difficultés auxquelles ils sont confrontés. D'autre part, les données quantitatives utilisaient des valeurs numériques pour fournir une image détaillée de la vie intérieure et extérieurs des participants.

### **II.1.2. Zone d'enquête : Population ciblé de l'étude**

L'enquête in situ a ciblé le Ksar l'anciens noyau de Ouargla et deux autres tissus contemporains, le premier est un tissu composé de maisons individuelles et le second de logements de type collectifs. À cet égard, un échantillon représentatif de personnes vit dans des ces trois quartiers ont été sélectionné. Les personnes interrogées ont reçu les questionnaires (en arabe) au début de la saison estival ; en Mai 2023.

Globalement, plus de 60 questionnaires aux occupants de chaque quartier ont été distribué au Ksar, Said Otba (S.O-1) et à la cite des 460 logements (460 Lgt).

L'objectif est d'évaluer la consommation énergétique des occupants essentiellement pour la saison estivale ainsi que les comportements des résidents ont été questionné, d'autres questions générales sur leur bien-être et le confort des usagers. Pour plus de détails sur le questionnaire, veuillez consulter l'annexe 1.

### **II.1.3. Période de l'enquête**

Le choix de la période de l'étude est une tâche cruciale pour la crédibilité des résultats de notre étude. Ouargla est une ville saharienne par excellence, la saison estivale est très longue a comparé de la saison hivernale ; ou les habitants souffrent de l'hostilité du climat, ce qui est claire sur les données climatologiques de la région, mais aussi cela sera par la suite confirmé par les interrogés. C'est la raison pour laquelle l'étude s'est focalisée sur la période estivale. Dans cette optique le questionnaire a été conduit au début de la saison afin de mettre les habitants dans la situation et avoir par la suite des réponses plausibles.

Les personnes interrogées ont reçu les questionnaires au début de la saison estival ; en Mai 2023, chacun dans son quartier.

### **II.1.4. Structure du Questionnaire :**

Le questionnaire était divisé en plusieurs parties : des questions sur les détails personnels par exemple, (âge, quartier d'appartenance, etc.), le confort résidentiel, les attributs du bâtiment et les conditions thermiques intérieures et extérieures et les questions sur la consommation énergétique. Cette dernière section couvrait les points de vue des participants sur l'utilisation du refroidissement mécanique pour un foyer durant la période estivale, par rapport à chaque type de maison et ses caractéristiques. De plus, les participants ont été interrogés sur les espaces extérieures et leurs utilisations durant la période estivale (voir annexe 1). Le questionnaire comportait 29 questions structurées en quatre parties principales :

- La première partie couvrait des informations générales sur les répondants, par ex. adresse, sexe, âge.
- La deuxième partie comprenait les points de vue des occupants sur la qualité thermique de leurs maisons, leurs quartiers et les moyens de refroidissement utilisé, ainsi que l'importance de refroidissement mécanique.
- La troisième partie est liée aux périodes de refroidissement, saisonnière et journalière pour chaque type de maison dans chacun des quartiers.
- La dernière partie a recueilli des descriptives liés au type de maison, sa configuration` et au nombre de pièces et leurs dispositions...etc.

D'un autre coté le questionnaire est composé de questions fermées et d'autres ouvertes :

1. Le premier type de questions fermées
  - ✓ Dichotomiques nécessitant des réponses par « Oui » ou « Non ».
  - ✓ À choix multiples par une seule ou plusieurs réponses.
2. La deuxième série comprenait des questions ouvertes à réponse courte pour mieux décrire la situation sous forme de commentaires supplémentaires, d'autre a réponse élaborée afin de décrire leurs habitations et cela nous a permis par la suite de créer les prototypes pour la simulation numérique.
3. Le dernier type de question, c'est des questions piège afin de vérifier les réponses déjà données par les répondants quant à leurs sérieux.

#### **II.1.5. Procédure et stratégie de collecte de données**

Il était essentiel de traduire le questionnaire conçu en arabe, la langue maternelle que tout le monde maîtrise, afin de faciliter au répondants sa compréhension, avant qu'il ne soit distribué aux ménages des trois quartiers. Une rencontre avec les responsables de l'association du Ksar de Ouargla a été organisée, au sein de leur siège, décrivant l'objectif et le contenu du questionnaire afin de faciliter l'accès au Ksar, la communication avec les résidents et les préparer pour le travail sur terrain, cela a permis aussi de le transmettre et le distribué aux répondants sélectionnés afin de le remplir.

#### **II.1.6. Sélection et échantillonnage**

Réalisée auprès des résidents des trois quartiers sélectionnés pour l'étude afin d'évaluer les sentiments subjectifs concernant le confort thermique extérieur, la consommation énergétique des ménages et leurs effets sur l'environnement extérieur. Le questionnaire comprenait 23 questions et a été distribué en mai 2023, sur un échantillon d'environ 60 personnes pour chaque quartier. Les différentes catégories d'âge ont été interrogées, les plus de 18 ans, mais les hommes étaient plus nombreux que les femmes. L'enquête s'adressait uniquement aux personnes vivant dans ces quartiers (elle s'est déroulée à l'intérieur de ces quartiers) et avant de commencer on demande aux personnes si elles y vivaient.

### **II.1.7. Méthodes d'analyse :**

Pour évaluer la satisfaction des utilisateurs à l'égard de l'environnement thermique, ils ont à fournir une évaluation personnelle sur une échelle de cinq points, indiquant leurs sentiments en choisissant parmi des alternatives telles que « Froid », « Normal », « Légèrement chaud », « Chaud » et « Très chaud ». L'échelle d'importance allait de « pas important » à « très important », facilitant ainsi une évaluation qualitative qui pouvait être comparée aux résultats quantitatifs de la simulation numérique.

En premier lieu un codage des questions a été élaboré pour faciliter l'analyse des réponses obtenues. Pour connaître le degré de satisfaction des personnes interrogées, une échelle a été établie à des fins de codage comme indiqué en annexe 1.

Le logiciel Excel Microsoft a été utilisé pour l'analyse, avec des techniques non paramétriques appliquées pour les données avec des interprétations non numériques, utilisées pour les interprétations numériques. L'analyse a pris en compte un certain nombre de facteurs, comme discuté ci-dessous.

### **II.2.Simulation numérique :**

En tant que moyen efficace d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, la simulation assistée par ordinateur des performances des bâtiments a été appliquée tout au long du cycle de vie du bâtiment, y compris la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance.

Depuis l'apparition de la technologie de simulation assistée par ordinateur dans les années 1960, de nombreux logiciels de simulation de bâtiments ont été développés à travers le monde (Yan et al., 2008).

Lors de la 4e conférence ASIM2018, qui s'est tenue à Hong Kong, des échanges sur les nouvelles avancées en simulation des performances ont eu lieu à travers des présentations et des ateliers. Après une évaluation approfondie, des travaux abordant des sujets variés, ont regroupés en trois catégories : évaluation des performances, contrôle et opérations, ainsi que modélisation basée sur les données et apprentissage automatique. Il a également constaté le grand potentiel de la technologie de simulation des performances des bâtiments pour résoudre les problèmes complexes des nouveaux systèmes énergétiques liés aux bâtiments. (Xiao, F. ; 2020).

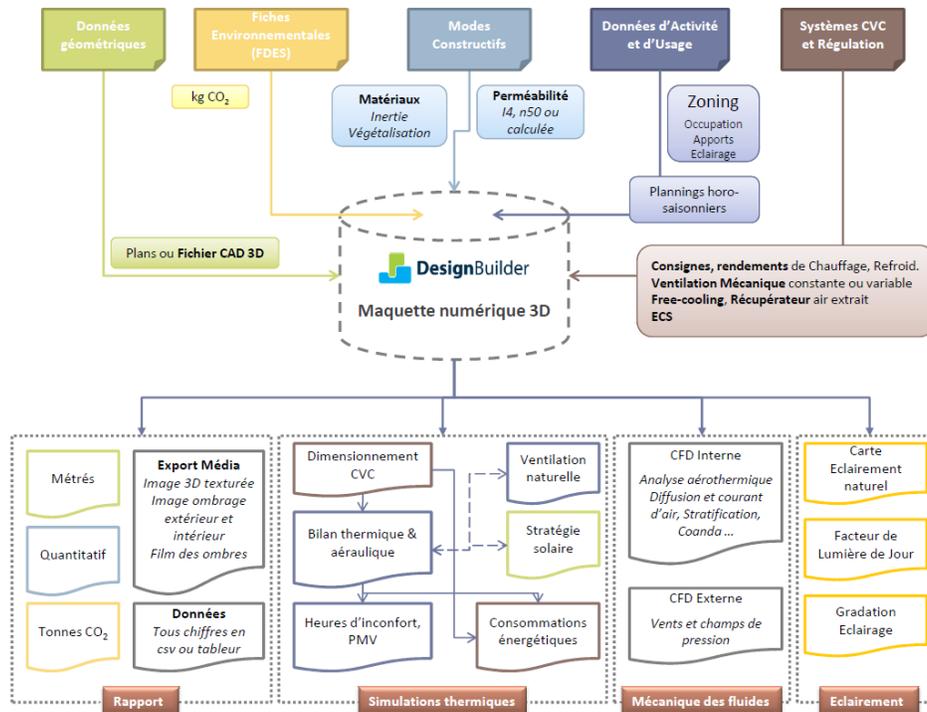
Dans leurs étude Toroxel, J. L., et al (2024) présentant une synthèse de l'état de l'art sur les technologies de chauffage et de refroidissement solaires passifs basées sur l'architecture bioclimatique et vernaculaire, ont conclu que des logiciels de simulation numérique qui sont largement utilisés, tels qu'EnergyPlus , DesignBuilder et TRNSYS , ont démontré leur fiabilité dans l'évaluation des systèmes thermo-énergétiques des bâtiments. Ces outils sont fréquemment utilisés en conjonction avec les mesure in-situ ou en utilisant des modèles prototypes physiques à des fins de calibrage.

D'après les travaux de recherches examiner dans la littérature, il révèle que la plupart des recherches se concentrent sur l'utilisation de simulations numériques pour l'évaluation quantitatives de la consommation énergétique à l'échelle urbaine et architecturale.

Dans cette optique nous allons opter le choix de la simulation paramétrique via par le logiciel de simulation dynamique DesignBuilder.

### **II.2.1. Présentation du logiciel DesignBuilder**

DesignBuilder est un logiciel de simulation dynamique, possédant une interface graphique reposant sur le moteur de calcul EnergyPlus. Offrant de nombreuses fonctionnalités, destiné aux architectes, ingénieurs et concepteurs de bâtiments afin de modéliser différents types de bâtiments pour différents objectifs. Il permet de produire un large éventail de sorties (Fig.IV10) et de rapports pour comparer les performances des différentes variantes de conception, tout en optimisant le bâtiment à chaque étape du processus en fonction des objectifs définis par l'utilisateur. Ils offrent la possibilité de modéliser des bâtiments complexes avec un investissement minimal en temps et en effort, grâce notamment à l'importation de données issues des plateformes BIM et CAD, accélérant ainsi la saisie des informations nécessaires. De plus, ces outils permettent de générer des rendus visuels impressionnants, sous forme d'images ou de vidéos, et simplifient l'analyse thermique à l'aide de moteurs performants comme EnergyPlus. (Jean M, 2023).



**Figure IV.10:** Flux de travail du logiciel DesignBuilder. (Source: <https://www.batisim.net/55-designbuilder.html> )

## II.2.2. Collecte des données

Le processus d'évaluation thermique et énergétique des bâtiments nécessite différents types de données qui doivent être recueillies et sélectionnées sur terrain et en laboratoires.

Ce processus nécessite la collecte de données primaires allant des observations sur terrain, des documents graphiques de la ville et plus précisément des quartiers d'études, et des relevés de consommation d'énergie réelle des bâtiments, des fichiers météorologiques de la ville, etc. l'accessibilité aux quartiers d'étude et aux occupants et avec leurs accords de collaborer pour une enquête par questionnaire.

Au cours de notre étude, pour la partie expérimentale, nous avons eu recours à des POS des quartiers sélectionner pour l'étude, qui ont été retirés de la direction de l'urbanisme et de la construction (DLEP) de Ouargla. Ceci nous a permis d'établir une lecture urbaine et sélectionner les tissus les plus appropriés à l'étude. Ensuite une observation sur terrain pour avoir une vue globale sur les quartiers sélectionnés et observer les comportements des occupants et leurs utilisations des espaces extérieurs. Ce qui nous a aidé à collecter le maximum d'information sur

les habitations, leurs gabarits et leurs conceptions. L'enquête par questionnaire nous a aidé à collecter les informations nécessaires pour construire le modèle 3D pour la simulation numérique.

### **II.2.3. Protocole de simulation numérique**

L'étude implique une analyse comparative de trois tissus urbains, chacun distingué par des caractéristiques uniques, à deux niveaux d'examen. L'examen initial se fait à l'échelle urbaine et comprend une évaluation des caractéristiques générales de l'environnement bâti telles que la densité urbaine, la morphologie des bâtiments, les espaces entre les bâtiments et les détails des rues. Une évaluation plus complexe est menée à l'échelle architecturale, en approfondissant des éléments spécifiques tels que le type de bâtiment et les détails de construction. En adoptant cette approche comparative globale qui couvre à la fois les échelles urbaine et architecturale, nous visons à améliorer notre compréhension de la manière dont ces caractéristiques influencent de manière complexe la qualité thermique des espaces extérieurs. Cela permet à son tour une compréhension nuancée des effets que ces tissus urbains exercent sur la consommation d'énergie des bâtiments.

### **II.2.4. Les données d'entrée :**

Le processus de la simulation de la performance énergétique d'un bâtiment avec le logiciel DesignBuilder nécessite plusieurs données d'entrée (les inputs). Les données nécessaires pour cette étude sont présentées dans les sections suivantes.

#### **II.2.4.1. Période de l'étude**

Notre étude se concentre sur la consommation énergétique du secteur résidentiel, dans la ville de Ouargla, qui représente un climat chaud et aride. Connu par une saison estivale très chaude et qui plus long que la saison hivernale, ceci sera confirmé par la suite par les résidents via l'enquête sur terrain. Cette étude se concentre sur l'évaluation du confort thermique et de la consommation énergétique de la saison estivale. Sur la base des résultats de l'enquête in-situ les gens considèrent que la saison estivale s'étale sur cinq mois les plus durs à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre

A cet effet nous nous focalisant cette recherche sur la saison estivale ou la consommation énergétique atteint son maximum, et connu une augmentation sans retour.

#### II.2.4.2. Données climatiques

Le fichier climatique est l'une des principaux inputs pour la simulation par le logiciel DesignBuilder, qui prend en compte les conditions climatiques de la zone d'étude. Les données climatiques spécifiques à Ouargla, caractérisée par un climat chaud et aride, proviennent de la base de données météorologiques internationale METEONORM (2023) au format (EPW), qui contient tous les paramètres des données climatiques (températures, humidité du vent, irradiation solaire.). Meteonorm contient les données de 10 ans moyennes pour chaque emplacement ainsi que leurs fichiers d'horizon (Meteonorm.com). Par la suite les données nécessaires pour caractériser le site de l'étude : la latitude du site, sa longitude sont générés à partir de ce fichier et transmis directement à EnergyPlus.

#### II.2.4.3. Caractéristiques physiques :

Le logiciel DesignBuilder (EnergyPlus) permet la construction du modèle virtuel 3D du bâtiment d'étude. La construction du modèle 3D, Comme donnée d'entrée nécessaire pour la simulation ; exige plusieurs paramètres et caractéristiques physique du bâtiment et de son environnement immédiat.

##### II.2.4.3.1.Echelle urbaine :

La forme urbaine, considérée comme un paramètre essentiel, est exprimée par la densité du tissu, la géométrie urbaine représentée par le rapport H/W (fig.IV.11) et l'orientation du tissu urbain. Dans cette étude, trois formes urbaines distinctes sont intentionnellement choisies dans leur état actuel, en préservant leurs orientations, leurs configurations urbaines et la géométrie des rues (Tableau IV.3).



**Figure IV.11:** Profils des rues des quartiers d'étude. (Source : Auteur)

**Tableau IV.3:** Détails des caractéristiques urbaine du cas d'étude . (Source : Auteur)

	<i>H(m)</i>	<i>L(m)</i>	<i>H/L</i>	<i>Orientation</i>
<i>Ksar</i>	6	4	1.05	S/E
<i>S.O-1</i>	6	8	0.75	N/S
<i>460 Lgts</i>	12	25	0.48	S/E

#### II.2.4.3.2.Échelle architecturale :

L'étude se concentre sur la configuration de la cellule d'étude et de l'enveloppe du bâtiment, où la valeur du coefficient U est le paramètre clé, déterminé par l'épaisseur et la composition de l'enveloppe. Trois maisons typiques virtuelles représentatives, chacune représentant une maison dans un tissu spécifique, sont choisies avec des caractéristiques réelles qui sont dégagées de plusieurs étapes de travail (document graphiques , observation in-situ et des résultats de l'enquête) (voir tableau IV.3). En particulier, l'enveloppe de chaque bâtiment reflète fidèlement les matériaux utilisés sur place, en conservant la valeur du coefficient U des matériaux et l'épaisseur de l'enveloppe. (Tableau IV.4).

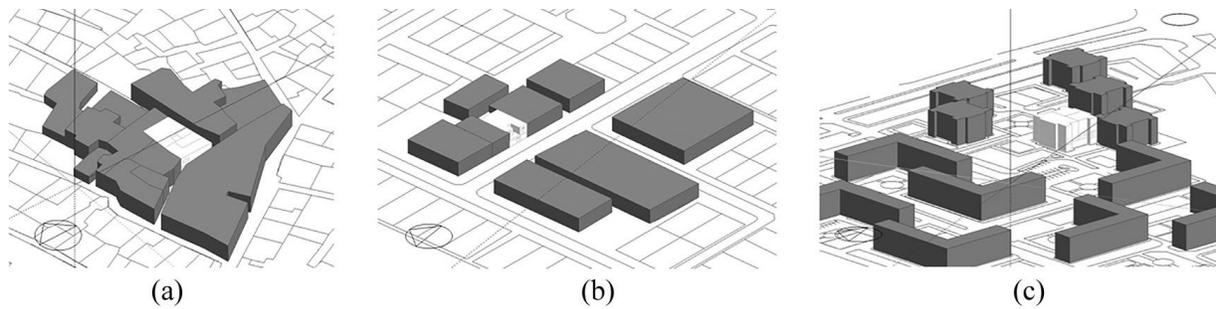
Chaque maison sélectionnée est modélisée en détail et les bâtiments environnants sont saisis comme des volumes fermés car ils n'affectent que le microclimat extérieur. (Sözen.I, et al.,2019)

**Tableau IV.4 :** Détails des maisons typiques pour chaque cas d'étude. (Source : Auteur)

	<i>Style</i>	<i>Type de maison</i>	<i>N.P</i>	<i>N.E</i>	<i>Surface(m<sup>2</sup>)</i>
<i>Ksar</i>	Traditionnel	Individuel	5	R+1	361
<i>S.O-1</i>	Moderne	Individuel	6	R+1	250
<i>460 Lgts</i>	Moderne	Collectif	3	1	85

Sachant que :

N.P : Nombre de pièces par logement, N.E : Nombre d'étage , Lgts : logements collectifs.



**Figure IV.12:** Modèles numériques des trois quartiers: Ksar (a), S.O-1 (b), 460 Lgts (c). (Source : Auteur)

Les trois modèles numériques représentatifs (Fig.IV.12), chacun représentant un quartier de Ouargla avec des caractéristiques urbaines et architecturales distinctes (Tableau IV.3 et IV.4), ont été modélisés et simulés pour la période estivale. La simulation évalue le confort thermique et calcule l'énergie électrique consommée et les besoins totaux en énergie électrique pendant les cinq mois les plus chauds de l'année. Ces calculs sont basés sur les résultats d'enquêtes obtenues auprès des occupants de ces quartiers. La simulation traite les bâtiments résidentiels dans des tissus urbains sélectionnés comme des zones indépendantes dans les critères de zonage (Mangan et al., 2020). De plus, les réflexions des bâtiments environnants sont prises en compte dans les calculs.

La température de confort intérieure doit être fixée à 26 °C pendant toute la saison estivale, et le nombre de climatiseurs dans chaque logement a été déterminé sur la base de l'enquête de terrain: deux (02) climatiseurs pour la maison traditionnelle, et trois (03) pour la maison contemporaine dans le quartier S.O-1 et l'appartement dans les 460 logements collectifs.

L'heure de mise en marche de l'appareil de refroidissement est la même pour tous les ménages : pendant la nuit de 20h à 7h et pendant la sieste de midi à 17h, elle a été extraite de l'enquête. Les logements sont considérés comme inoccupée ; identique et constante pour chaque cas donc n'influence pas les résultats de chaque cas. Les charges énergétiques sont présentées en unités de kilowattheures (kWh).

#### II.2.4.3.3.La sélection des bâtiments référence

Afin d'atteindre les objectifs de notre étude nous avons choisi des maisons types qui représentent les caractéristiques des maisons de chaque quartier. En premier lieu nous avons une maison traditionnelle située tissu ancien Ksar, avec un plan typique et une configuration

traditionnelle qui est toujours en bon état et nous avons eu l'accessibilité au dossier graphique. La maison est d'une taille moyenne, vue que y a une variation de surfaces, contient de façades (au coin de la rue). Pour le quartier des 460 Lgts ; des logements collectifs ont des plans et des configurations typiques (un seul plan reproduit dans tout le quartier) donc le choix était facile, nous avons opté pour un étage au milieu de l'immeuble pour évitant de dernier étage exposé au rayonnement solaire et au alias du climat et le rez-de-chaussée qui ne profite pas de l'ensoleillement.

Au tissu de Saïd Otba-1 le quartier d'extension de la ville, ses maisons sont d'une architecture contemporaine ; et ne tiennent pas compte des conditions climatiques de la ville ; le choix n'était pas facile, une grande variation des configurations des maisons.

Au cours de l'enquête et parmi les questions posées, nous avons demandé où résidents de décrire leurs maisons et sa composition. Le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau IV.5), ceci nous a permis de proposer un plan type représentatif des maisons du quartier Saïd Otba-1.

La variation des caractéristiques sur les deux échelles urbaine et architecturale permet la comparaison entre trois variantes sélectionnées pour l'étude et souligner l'importance de la prise en considération des conditions climatiques lors de la conception et l'environnement immédiat vu son effet sur la qualité thermique des bâtiments résidentiels.

### **II.3. Le relevé de la consommation réelle d'énergie électrique des quartiers d'étude**

Pour évaluer la consommation d'énergie électrique durant la saison estivale pour des habitations à caractéristiques architecturales différentes et un environnement urbain distinct dans le contexte climatique de la ville de Ouargla, chaud et aride, une seconde étape de travail empirique et des mesures relevées du terrain, nous avons eu recours au relevé de la consommation réelle. Pour obtenir les données nécessaires, une demande a été adressée aux services concernés, service de la Société nationale de distribution l'électricité et du gaz (Sonelgaz<sup>1</sup>) pour avoir acquérir la consommation d'énergie électrique réelle des habitations des quartiers en question, de la période d'étude.

---

<sup>1</sup> Sonelgaz est un groupe énergétique industriel algérien spécialisé dans la production, la distribution et la commercialisation de l'électricité.

**Tableau IV.5** : la composition spatiale des maisons au quartier S.O-1. (Source : Auteur)

Maison	N-Etage	N-Chambre	Cuisine	SDB	Garage	Cour	Terrasse	Matériaux
1	2	5	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing
2	1	4	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
3	1	3	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing
4	2	6	√	√	x	x	√	Ciment+ parpaing
5	2	5	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
6	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
7	2	8	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
8	2	6	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing
9	1	5	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
10	2	6	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
11	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
12	2	5	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
13	2	6	√	√	x	x	√	Ciment+ parpaing
14	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
15	2	6	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
16	1	5	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
17	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
18	2	7	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing+ pierre
19	2	5	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing
20	2	6	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing + brik
21	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
22	2	7	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing
23	2	6	√	√	√	x	√	Ciment+ parpaing+ brik
24	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
25	1	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
26	2	5	√	√	x	√	√	Ciment+ parpaing
27	2	4	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
28	2	6	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
29	1	3	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing+ brik
30	2	5	√	√	√	√	√	Ciment+ parpaing

#### II.4.La validation par les données de consommation énergétique réelle

La validation des résultats obtenus du modèle de simulation est impérative afin de garantir leurs fiabilités. Ceci nécessite une comparaison des valeurs de la consommation d'énergie d'électricité obtenue de la simulation par DesignBuilder avec celle réels recueillis par des relevés des compteurs d'électricité des habitations évaluer.

Comme une première étape ; il est primordial de dessiner un graphique de données contenant les valeurs relevées de la consommation réelle et simulées. Cette étape aide à s'assurer que les consommations réelles fournies par les services de Sonelgaz concordent avec les résultats obtenus de la simulation numérique.

Ensuite une seconde étape essentielle c'est celle de la calibration, elle vise à calculer le pourcentage d'erreur entre les données simulées et les données réelles des relevés des compteurs des habitations pendant la période concernée.

#### **II.4.1. La méthode de la calibration**

La calibration joue un rôle essentiel en garantissant la précision du modèle et en repérant les différences significatives entre les valeurs simulées et les données réelles. La divergence entre les valeurs des valeurs simulées et celles enregistrées réelles a été déterminée de manière générale par un pourcentage de différence simple entre ces valeurs. (Amraoui, 2021).

D'après Maile et al., (2012) pour calibrer correctement les modèles de simulation, la marge d'erreur ne doit pas dépasser 5% par rapport aux données réels de la période de l'étude la saison estivale.

Une approche de calibration manuelle par une équation (Eq.1 )mathématique a été employée par le calcul du pourcentage d'erreur. (Hussain et al., 2012 ; Humphreys et al., 2002 ; Benchekroun et al., 2019). Le pourcentage d'erreur est calculé pour vérifier la fiabilité des résultats de simulation de manière simplifiée.

$$\text{Pourcentage d'Erreur(\%)} = \left| \frac{\text{Valeur mesuré} - \text{Valeur Simulé}}{\text{Valeur mesuré}} \right| \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

#### **II.4.2. La corrélation**

L'analyse bivariée, représentée par une matrice de corrélation avec le  $\hat{\rho}$  de Spearman comme coefficient choisi, indique la relation entre la consommation d'énergie électrique et les sensations perçues. Cette corrélation permet d'expliquer la relation entre la quantité d'énergie électrique consommée pour le refroidissement, la satisfaction thermique des personnes interrogées et la demande totale d'énergie électrique pour le refroidissement, ainsi que l'importance de la climatisation à l'intérieur des maisons dans les trois quartiers examinés.

## CONCLUSION

De nombreuses études contiennent des méthodes détaillées, notamment des études de cas et des expériences utilisant des enquêtes avant et après l'occupation avec une variété de données qualitatives et quantitatives, la surveillance des résidents (à l'aide de capteurs ou d'observations), des mesures sur terrain, des questionnaires et des simulations.

Les résultats de ces études ont contribué à une meilleure compréhension de l'influence des caractéristiques des occupants sur le confort et la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels. Cependant, les résultats n'ont pas encore apporté d'améliorations significatives dans la prédiction du comportement énergétique des occupants des bâtiments. En particulier, la traduction et l'intégration des résultats de ces études pour réduire l'écart entre la consommation énergétique estimée et réelle des bâtiments résidentiels, ainsi que la transposition des outils de simulation énergétique aux bâtiments ont été des défis de recherche majeurs dans ce domaine. Ebuy, H. T., et al (2023). En outre, des études futures sur la relation entre les différentes caractéristiques énergétiques des occupants sont nécessaires, ce qui créera des hypothèses plus réalistes pour les prévisions énergétiques des bâtiments. Ebuy, H. T., et al (2023)

Ce chapitre décrit les méthodes d'enquête utilisées aux études de terrain. Premièrement, l'étude a tenté d'obtenir une image complète de ce que les gens ressentent à propos de leur confort thermique dans leurs habitations et aux espaces extérieurs de leur quartiers, via une enquête sur terrain sur le confort thermique et l'utilisation des moyens mécanique pour refroidir les espaces intérieurs ; deuxièmement, l'efficacité énergétique des habitations existantes dans les quartiers sélectionnées pour l'étude, dans un climat chaud et aride de Ouargla a été recueillie grâce à des enquêtes post-occupation ; et troisièmement, la simulation numérique des habitations a été utilisée pour essayer d'évaluer la consommation énergétique des bâtiments d'étude et leurs se comporteront au cours de la saison estival .

# CHAPITRE V :

## **Enquête in-situ Questionnaire**

*“L’intérêt principal de l’enquête par questionnaire est de rassembler une grande quantité d’informations, aussi bien factuelles que subjectives, auprès d’un nombre important d’individus”*

Isabelle Parizot

## INTRODUCTION

Trois quartiers résidentiels de la ville de Ouargla ont été choisis comme lieu d'enquête dans cette étude. L'un est considéré comme le premier noyau de la ville de Ouargla ; le Ksar une entité compacte et massive, le second est le quartier auto-construite de Said Otba-1 avec un tissu moins compact parmi les premiers quartiers de lotissement auto-construit à Ouargla. Le dernier est un quartier d'habitat collectifs, la cité des 460 logements collectifs, standardisé ; composé d'un tissu fragmenté ; et de grands espaces entre les bâtiments.

L'enquête in-situ est une première étape de travail, après l'analyse de développement urbain de la ville de Ouargla et l'échantillonnage, elle est menée à l'aide d'une technique d'enquête par questionnaire in-situ semi-directif.

Dans ce chapitre, il s'agira donc de relater le déroulement de cette enquête, défendre le choix de la période de l'enquête, la population ciblée. Les interrogés vont nous expliquer leurs utilisations des espaces intérieurs et extérieurs de leurs quartiers pendant la saison estivale ; leurs comportements et surtout leurs consommations de l'énergie électrique, ceci en vue de qualifier leur utilisation en été ainsi que d'évaluer leurs états de consommation et celui de leurs habitations.

En premier, il s'agit d'identifier les espaces les plus utilisés à l'intérieur et les endroits les plus fréquentés à l'extérieur ; au quartier s'il y a lieu ; par la suite caractériser leurs qualités grâce aux indicateurs proposés.

Finalement, une interprétation des données recueillies sera également élaborée en fonction de leurs caractéristiques de même qu'en référence à certaines recommandations issues de la revue bibliographique.

## **I. ENQUETE PAR QUESTIONNAIRE :**

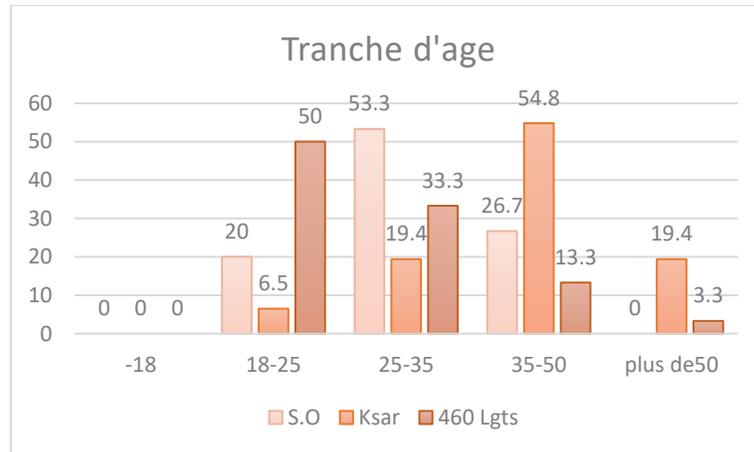
Une enquête in-situ a été menée aux trois quartiers de Ouargla sélectionnés à savoir : le Ksar le premier noyau de la ville, le lotissement Saïd Otba-1 comme quartier auto-construit et la cité des 460 logements collectifs. L'enquête a été réalisée auprès des résidents **résidant** de ces quartiers. Le formulaire de questionnaire (voir annexe 1) est construit en langue française et a été traduit en langue arabe afin que tous les occupants, quel que soit leur niveau d'instruction, puissent le comprendre. De plus, lors de l'enquête, toutes les parties du formulaire de questionnaire ont été expliquées aux participants ainsi que l'importance de leur implication dans ce travail. Essentiellement, l'enquête s'est concentrée sur l'identification du point de vue des occupants qui tentent de faire face aux conditions météorologiques extrêmes et chaudes en comprenant et en tenant compte du comportement humain autour de l'utilisation du bâtiment et de la consommation énergétique.

## **II. ANALYSE DESCRIPTIVE :**

L'analyse ci-dessous est basée sur 60 questionnaires sélectionnés pour chaque quartier (au total 180 questionnaires pris en considération) :

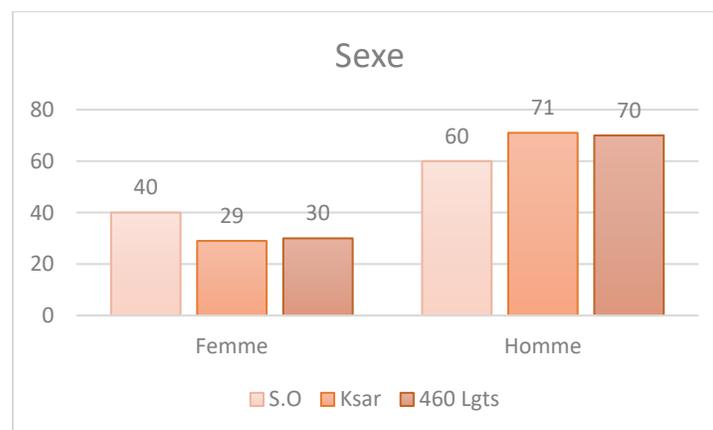
### **II.1. Le nombre et le genre**

La figure V.1 montre les tranches d'âges des répondants dans les trois quartiers. Ils sont classés en trois catégories distinctes entre 18 ans et 50 ans. Le quartier qui contient la population la plus âgée est le Ksar avec un pourcentage de 54.8% entre 35 ans et 50 ans et de 19.4 % de la tranche de plus de 50 ans, tandis que cette dernière représente 0% pour le quartier S.O-1 et une minorité à la cité des 460 Lgts avec 3.3%. Plus de la moitié des participants (53.3 %) du lotissement de S.O-1 sont de la tranche d'âge entre 25ans et 35 ans ; par ailleurs les répondants de la cité des 460 Lgts ont été les plus jeunes répondants d'une majorité entre 18 ans et 25 ans pourcentage de 50%. Aucun répondant dans les trois quartiers avait moins de 18 ans.



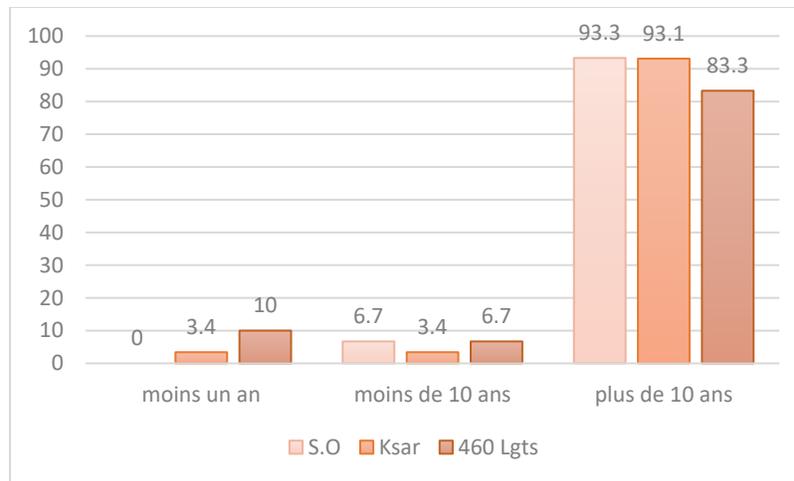
**Figure V.1:** Distribution âge des personnes interrogées dans les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023)

En termes de sexe, le pourcentage de hommes était plus élevé que celui des femmes (Fig.V.2) dans les trois quartiers et y avait une différence significative entre les deux sexes. Globalement, la population masculine été majoritaire d'un pourcentage proche pour les trois quartiers : 71% et 70% dans les deux quartiers le Ksar et les 460 Lgts respectivement, et 60% pour le lotissement S.O-1 par contre un pourcentage moyen pour la catégorie féminine dans les différents quartiers : 29%, 40% et 30% pour le Ksar, S.O-1 et les 460 Lgts respectivement.



**Figure V.2:** Distribution sexe des personnes interrogées dans les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023)

Les personnes interrogées de ces trois quartiers y habitent depuis plus de 10 années (Fig.V.3), ce qui leurs fait une bonne connaissance de l'environnements.



**Figure V.3:** Nombre d'années vécu dans les quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).

## II.2. Analyse de l'environnement thermique :

L'objectif de cette étude est l'environnement thermique, pour un premier temps, nous avons demandé la sensation thermique, ensuite sur l'importance et les différents usages du refroidissement mécanique afin de rafraîchir le milieu intérieur, en demandant une évaluation personnelle selon une échelle de cinq points afin d'avoir une évaluation qualitative comparable avec les résultats quantitatifs de la simulation numérique et celle des relevés de compteurs de consommation énergétique réelle.

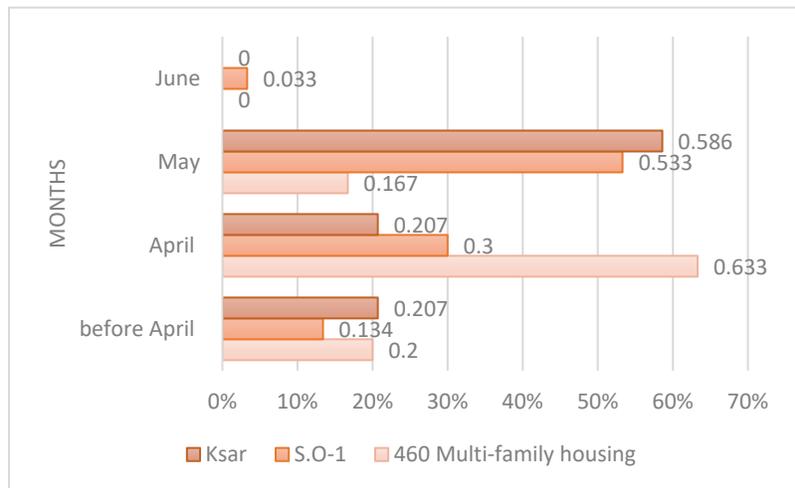
Le questionnaire a été élaboré afin d'étudier les sensations thermiques, le confort et la consommation énergétique pendant la saison estivale dans la ville de Ouargla situé dans une région aride à climat chaud et sec. L'objectif principal de ce questionnaire est de comparer le comportement des habitants au cours de la journée d'été dans une période de pique de chaleur des trois quartiers sélectionnés et qui ont des caractéristiques thermo-physiques différentes.

Les personnes ont répondu au questionnaire en considérant trois intervalles – matin, midi et après-midi – ; cela a aidé à comprendre la perception thermique des gens et l'utilisation des climatiseur comme moyen de refroidissement artificiel et mécanique tout au long de la journée. Tous les répondants de cette étude ont été supposés être à l'état d'équilibre, et les résultats sont basés sur cela.

Les résultats sont discutés et présentés dans les sous-sections suivantes :

### II.2.1. Le début de la saison estivale :

Afin de définir la saison estivale et la période de notre enquête, nous avons interrogé les habitants des zones étudiées sur leur perception de la durée de l'été. Nous leur avons demandé de nous indiquer à quel mois ils estiment que l'été commencé et quand, selon eux, il se termine. Cela nous a permis de mieux cerner et délimiter la période estivale pour notre étude.



**Figure V.4:** Début de la saison estival dans les différents quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).

D'après leurs réponses (fig.V.4), il ressort un consensus selon lequel l'été débuté au mois d'avril, lorsque les journées sont déjà assez chaudes, et se termine à la fin du mois d'octobre, période durant laquelle le recours au refroidissement mécanique reste nécessaire.

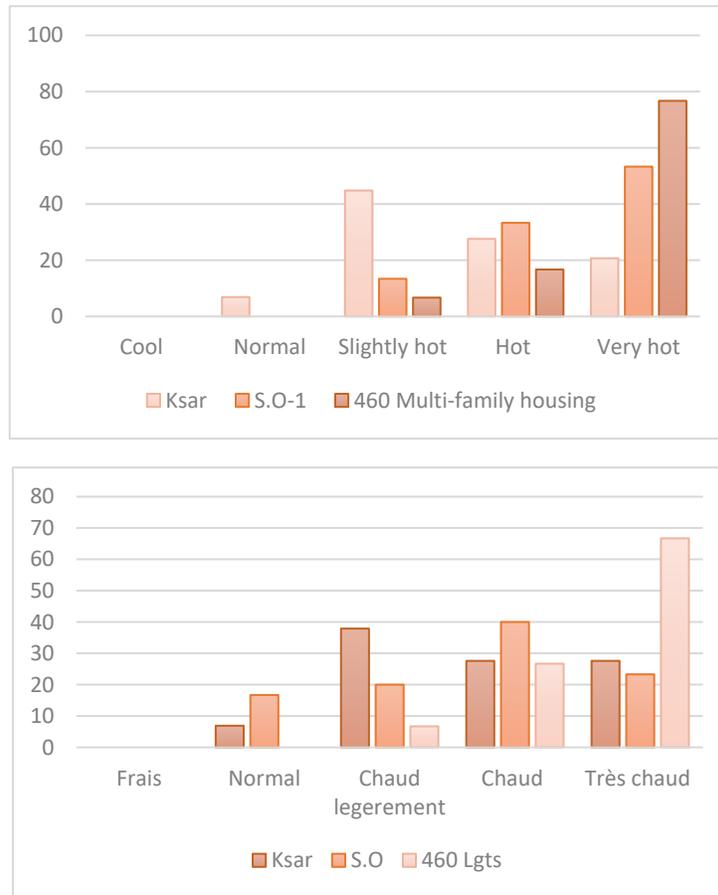
### II.2.2. Les sensations thermiques à l'intérieur et à l'extérieur :

La figure V.5 ci-dessus représente les sensations thermiques des personnes interrogés des trois quartiers à l'intérieure des habitations (en haut) et aux espaces extérieur (en bas) de leurs quartiers durant la saison estivale.

Aux espaces extérieurs la majorité des répondants des deux quartiers S.O-1 et la cite des 460 Lgts trouvent qu'ils faisaient très chaud avec des pourcentages de 53.3% et 66,7% contre

27.6 % au Ksar, alors que 37% des interrogées du Ksar le considèrent légèrement chaud en plein été. Aucun des répondants des trois quartiers les trouvent frais à l'intérieure et a l'extérieure.

Au sein des résidences ; au Ksar, la catégorie qui estime qu'il fait légèrement chaud est la plus importante, représentant 38% des résidences, tandis que le reste se situe entre chaud et très chaud avec 27,6% des résidences.

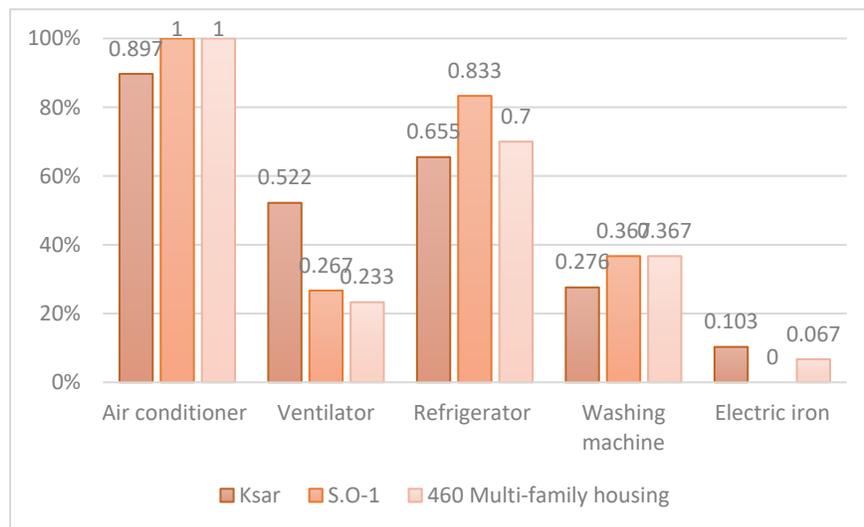


**Figure V. 5:** Sensation thermique à l'extérieur et à l'intérieur. (Source : Auteur Mai 2023).

C'est à la cité 460 Lgts, la population qui représente le pourcentage le plus élevé, estiment que leurs appartements sont très chauds en été, tandis que ceux du Ksar, qui représente le pourcentage le plus élevé, estiment que leurs maisons sont légèrement chaudes. Dans le lotissement S.O-1, 40% des résidents estiment qu'ils sont chauds.

### II.3. Analyse de la consommation énergétique

Après avoir interrogé les participants sur les appareils électroménagers les plus utilisés chez eux, en particulier pendant l'été, il est apparu que la majorité d'entre eux considèrent le refroidissement mécanique via un appareil électrique tel que le climatiseur (fig.V.6) est considéré comme l'appareil le plus utilisé durant la saison chaude. Dans les climats chauds et arides, le refroidissement mécanique est indispensable en été, ce qui explique la forte demande pour les climatiseurs, et par conséquent la consommation d'énergie électrique.

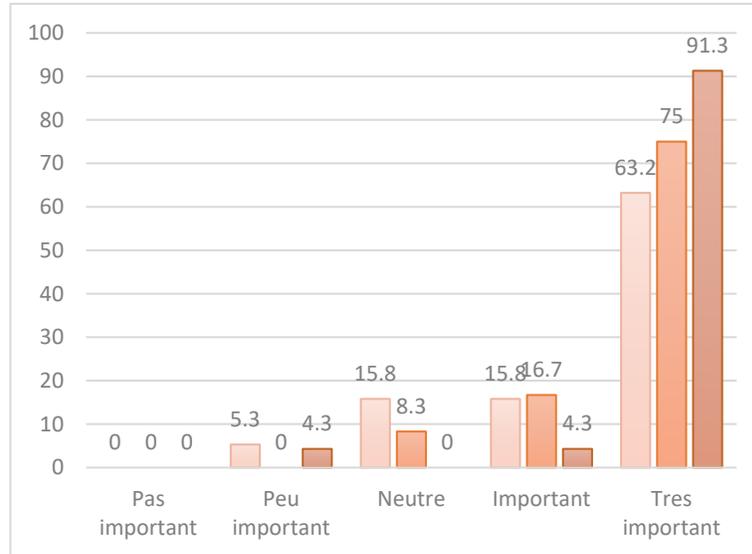


**Figure V.6:** l'électroménager les plus utilisé en été. (Source : Auteur Mai 2023).

#### II.3.1. L'importance de l'utilisation des climatiseurs pour refroidissement intérieur

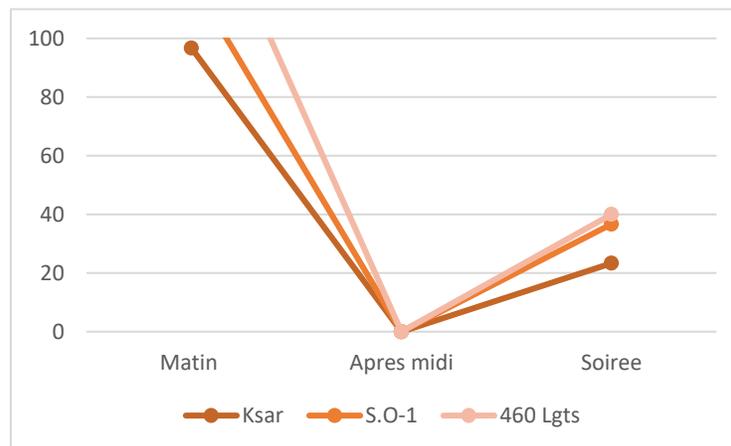
La Figure V.7 illustre que, dans les trois quartiers étudiés, la climatisation est un équipement indispensable de refroidissement mécanique et très important durant l'été tout au long de la journée, avec des pourcentages variables : 91,3% à son niveau le plus élevé pour la cité des 460 Lgts, 75% pour le lotissement S.O-1 et 63,2% pour le Ksar, ce dernier ayant le pourcentage le plus bas mais néanmoins significatif, soulignant l'importance du refroidissement mécanique dans les trois quartiers.

A la cites des 460 Lgts, au S.O-1 et même au Ksar l'ensemble des répondants (100 %) mise en marche les climatiseurs comme moyen de refroidissement mécanique pour rafraîchir le climat durant l'après-midi ; le moment de la sieste et de repos, mais aussi l'heure de pique de chaleur.



**Figure V.7:** L'importance de l'utilisation du climatiseur pour le refroidissement. (Source : Auteur Mai 2023).

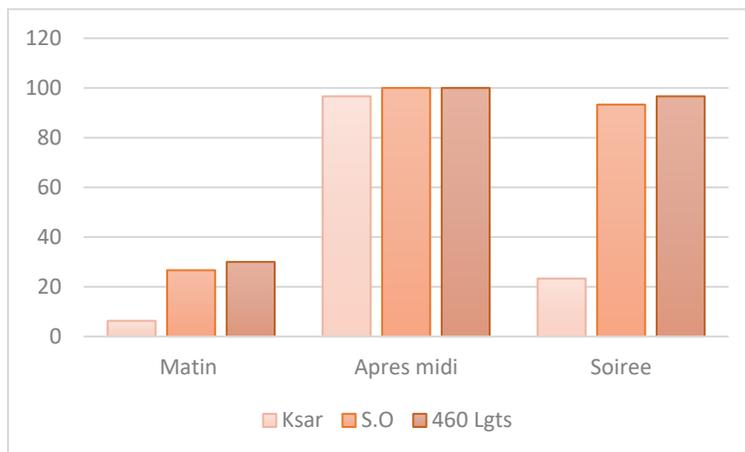
Le graphique V.8 démontre l'importance de l'utilisation du climatiseur pour le refroidissement mécanique au cours de la journée.



**Figure V.8:** Le moment de la journée d'éteindre le climatiseur. (Source : Auteur Mai 2023).

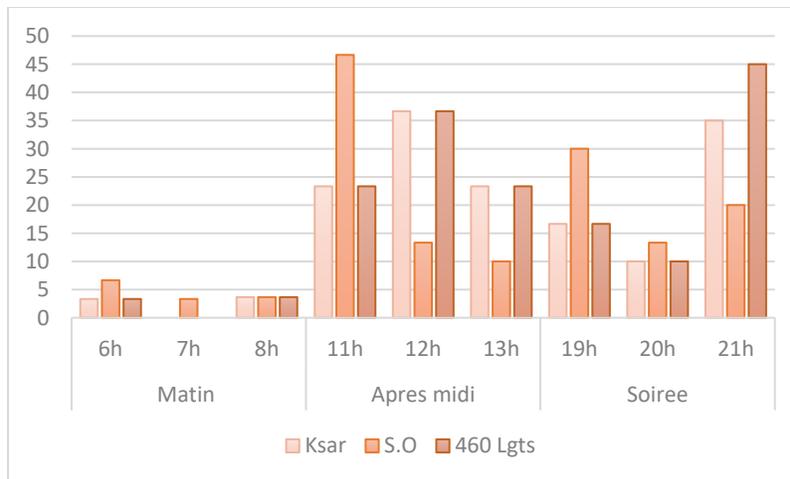
Il est évident que, dans l'après-midi, au moment du pic de chaleur, le recours à un moyen de refroidissement mécanique, tel que l'activation du climatiseur, est indispensable dans tous les quartiers ou personne ne peut rester sans l'utiliser. En revanche, la majorité des habitants éteignent le climatiseur le matin. Quant à la soirée, l'usage du refroidissement mécanique varie d'un foyer à l'autre.

Au début de la journée les gens sortent pour des obligations et pour certaines femme faire les tâches ménagère quotidiennes (Fig.V.9), ce qui fait éteignent les climatiseurs ; il en résulte que pendant la matinée un faible pourcentage, moins de 30%, des personnes utilisent le refroidissement mécanique pour les quartiers des 460 Lgts et S.O-1, tandis qu'au Ksar une minorité qui l'utilise, ce qui confirme leurs satisfactions au conditions thermiques pendant la matinée et que le climat à l'intérieur est globalement acceptable.



**Figure V.9:** Moment de la journée de refroidissement mécanique des trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).

Entre 11h et 13h tout le monde allume le climatiseur, bien que chaque quartier représente des caractéristiques urbaines et architecturales différentes mais leurs habitants confirment que c'est un moyen indispensable pendant la saison estivale afin de réduire la température intérieure.(Fig.V.10)



**Figure V.10:** Heures de la journée de refroidissement mécanique des trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).

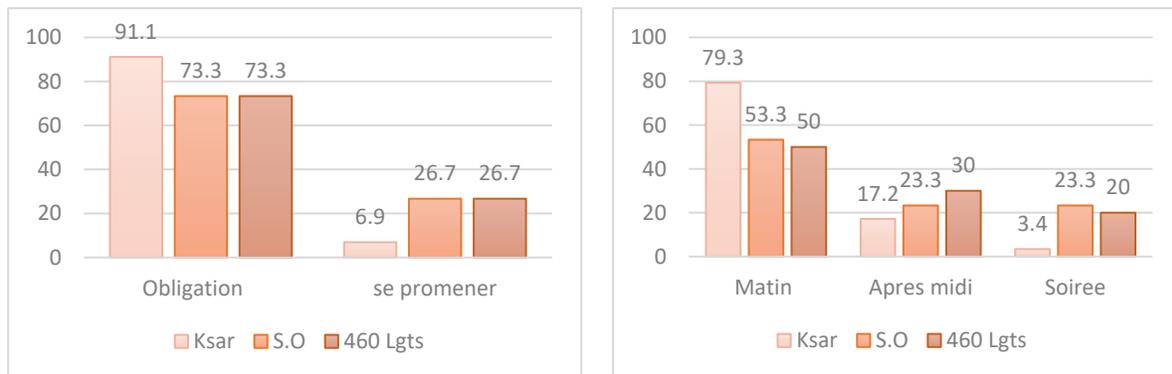
En fin de journée et à partir de 21h la majorité des répondants re-allument leurs climatiseurs ; pratiquement la totalité des habitants pour la cité des 460 Lgts et du lotissement S.O-1 (96.66% et 93.33%) respectivement, mais les résultats sont assez différentes pour le Ksar ; uniquement 23.33% ; vu que ses habitants dorment toujours à la terrasse.

Quoique l'heure de mise en marche varie d'un quartier à un autre, le pourcentage le plus élevé est celui de la cité des 460 Lgts, et le plus tôt à le mettre active ; comparé aux autres quartiers, par contre celui du Ksar représente le pourcentage le plus bas et l'heure la plus tard, ceci explique les conditions thermiques les plus favorables aux habitations du Ksar par rapport aux habitations des autres quartiers. (Fig.V.9 et V.10)

### II.3.2. L'utilisation des espaces extérieurs et l'effet de la forme urbaine

La figure V.11 nous montre les moments et les raisons de sortir à Ouargla en période d'été, essentiellement les gens interrogés des trois quartiers sélectionnés. La majorité des répondants choisissent la matinée avec des pourcentages de 91.1%, 73.3% et 73.3% successivement pour le Ksar, S.O-1 et la cité 460 Lgts, cela pour des raisons d'obligations dont 79.3% 53.3% 50%

respectivement, ceci est en raison de températures très élevées à l'extérieur et au manque d'endroits adaptés aux conditions climatiques hostiles durant la période d'été.

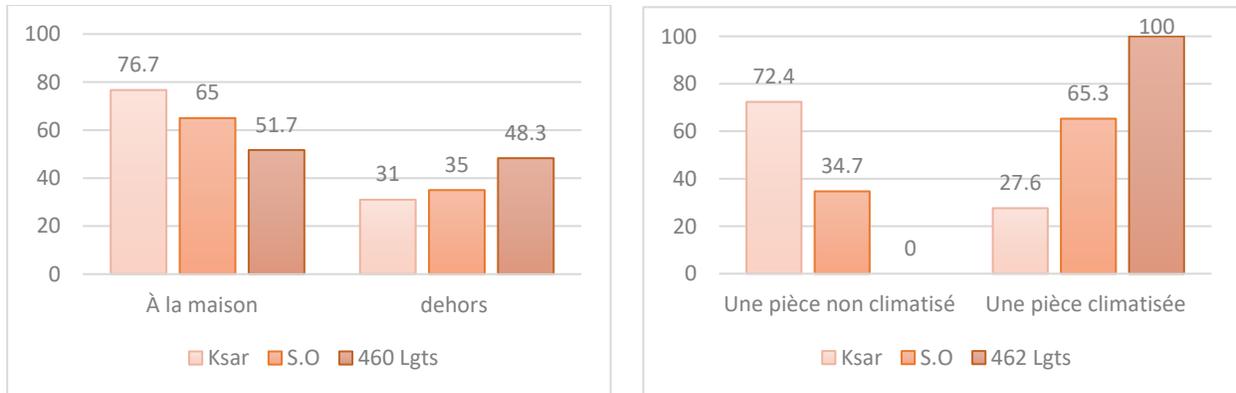


**Figure V.11:** Raison et moment de sortir pour les trois quartiers. (Source : Auteur Mai 2023).

Notant que l'échelle de sensation adoptée est Frais =1, normal=2, chaud légèrement=3, chaud=4 et très chaud=5. Dans les figures, nous analysons la distribution des votes de satisfaction et de préférences en fonction des votes de sensation thermique qui sont présentés précédemment par les votes d'évaluation thermique. Tandis que l'échelle de jugement de l'importance choisie est pas important =1, peu important=2, neutre=3, important=4, très important=5.

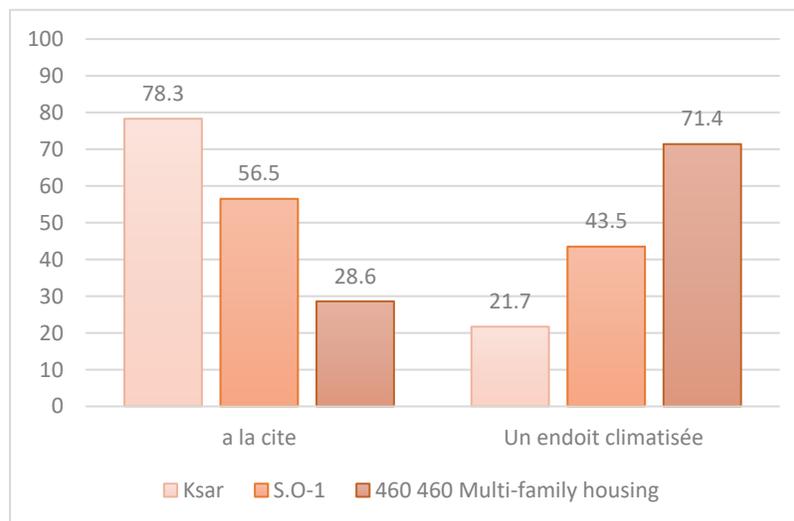
### II.3.3. Fréquentation des espaces extérieurs

Les graphiques ci-contre (V.12, V.13) indiquent que les personnes interrogées passent peu de temps à l'extérieur, principalement en raison d'obligations. La figure V.12; démontre que la majorité de temps est passée dans des espaces clos et climatisés, mis à part les interrogés vivant au Ksar, sortent et profitent de la fraîcheur des espaces extérieurs de leur quartier; représentant le pourcentage le plus élevé 72.4% à comparer à ceux des deux autres quartiers, d'où un pourcentage de 34.7% pour le lotissement S.O-1 qui fait la moitié de celle du Ksar et 0% pour la cité des 460 Lgts qui même à l'extérieur passe toute leur journée dans des endroits climatisés soit à l'intérieur de leurs appartements ou au quartier.



**Figure V.12:** A gauche espace le plus fréquenté par les habitants des trois quartiers. A droite qualité de l'espace fréquenté a la maison. (Source : Auteur Mai 2023).

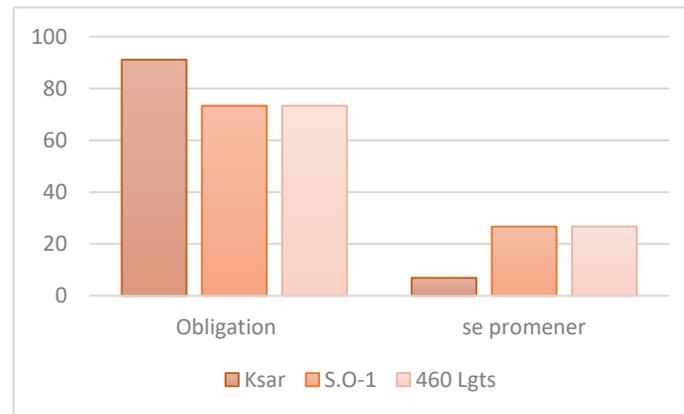
Les habitants du lotissement S.O-1 interrogés passent 65% de leur journée à la maison entre espace climatisé et aux espaces extérieurs du quartier non climatisé 56.5% ont répondu par espace non climatisé a la cité. (Fig.V.13)



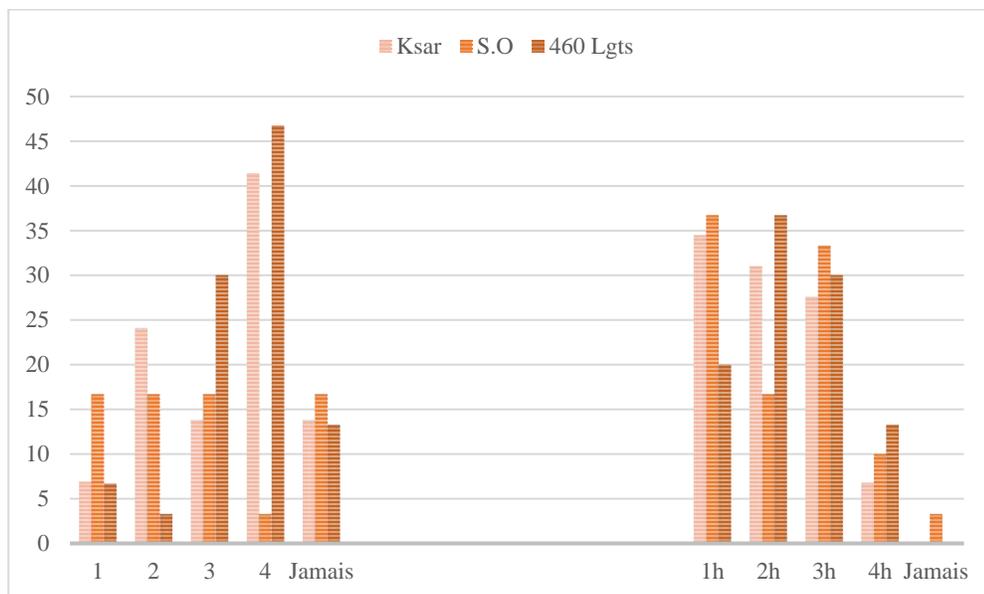
**Figure V.13:** Espace extérieur fréquenté par les habitants climatisé ou non. (Source : Auteur Mai 2023).

Vu les températures très élevés à l'extérieur et le manque d'endroits adapté au climat chaud et sec, ainsi que les moyens de rafraîchissement, les répondants (Fig.V.14) préfèrent sortir pour

des obligations uniquement, ou resté à la maison dans une pièce climatisé et trouvent que le climat est insupportable en été ce qui explique leurs utilisations des espaces intérieurs et extérieurs.



**Figure V.14** : Les raisons de sortie des habitants en été. (Source : Auteur Mai 2023).



**Figure V.15**: Nombre de fois de fréquentations des espaces extérieurs et le temps passé à l'extérieur. (Source : Auteur Mai 2023).

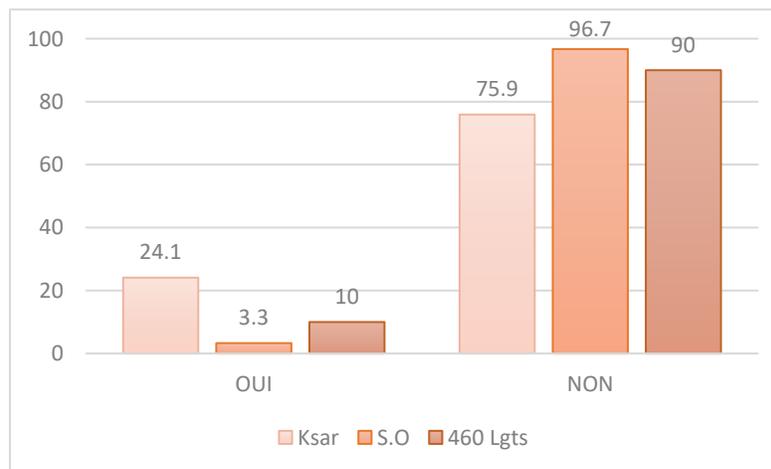
La fréquentation des espaces extérieurs diffèrents d'un quartier a un autre. Les personnes habitants le quartier S.O-1 sont ceux qui fréquentent le moins les espaces extérieurs de leurs quartiers. Par contre au Ksar ; les gens sortent plusieurs fois, ils passent plus de temps à l'extérieur de leurs maisons (Fig.V.15). La fraîcheur des espaces extérieurs fournis par l'ombrage crée par les

constructions et la densité du tissu urbain du Ksar ; empêche le rayonnement solaire intense de pénétrer les espaces extérieurs, et leurs permet de sortir et profiter de l'air frais la palmeraie qui l'entoure , qui joue aussi un rôle important de rafraîchissement des espaces extérieurs du quartier et par conséquent l'intérieur des maisons. Par contre a la cité des 460 Lgts les blocs sont très espacé ; on trouve de grandes surfaces en asphalte ce qui augmente la chaleur et laisse les rayons solaires intense de pénétrer et l'extérieur et l'intérieur des appartements. D'autre part le manque de verdure et d'espace vers a la cité est un autre facteur qui favorise l'intensité de la chaleur.

### II.3.4. La satisfaction thermique dans les espaces extérieure :

Le graphe V.16 représente le degré de satisfaction des habitants interrogé des trois échantillons de l'étude. Globalement a la cité des 460 Lgts et le lotissement S.O-1 les personnes interrogées ne sont pas satisfaites thermiquement des espaces extérieurs de leurs quartiers avec un pourcentage très élevé, 90% et 96.7% respectivement.

Les habitants du Ksar aussi ne sont pas satisfaites mais avec un pourcentage beaucoup plus bas par rapport aux autres sites, les personnes qui ont répondu par oui représentent une bonne partie de la population interrogée avec un pourcentage de 75.6%.



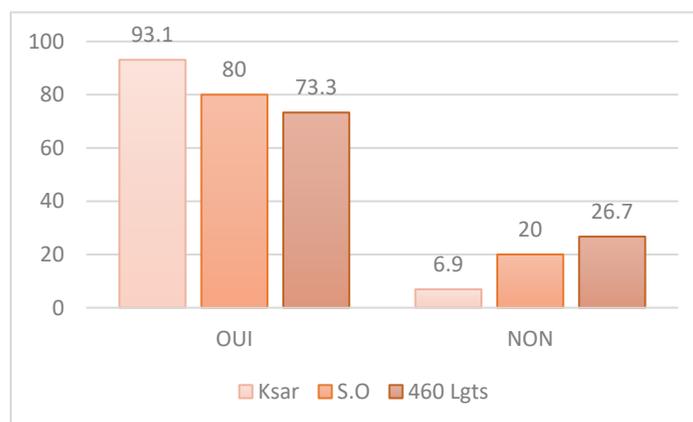
**Figure V.16:** Satisfaction thermique des espaces extérieurs. (Source : Auteur Mai 2023).

Une minorité négligeable qui est satisfaite des conditions thermiques extérieur dans les deux quartiers S.O-1 et 460 Lgts. (Fig.V.16) Par contre le tiers des répondants du Ksar est

satisfaits, ce qui est expliqué par la différence de la qualité des espaces extérieurs et leurs caractéristiques qui favorisent ou non l'utilisation de ces espaces. Le Ksar avec sa forme urbaine compacte, des rues et les ruelles étroites qui empêche la pénétration du rayonnement solaire intense aux espaces et par conséquent moins de chaleur au quartier ce qui favorise les conditions thermiques au Ksar contrairement aux autres quartiers. Un autre facteur important c'est la présence de la palmeraie autour du Ksar qui joue un rôle de rafraîchissement et d'améliorations des conditions thermique des espaces extérieurs et par conséquent les conditions intérieures.

### II.3.5. L'effet des climatiseurs sur les conditions thermiques extérieur

De manière générale les personnes interrogés des trois quartiers sont conscientes des effets du climatiseur sur le microclimat et trouvent qu'ils augmentent les températures ambiantes extérieur et par conséquent celle de intérieures. La figure V.17 présente les votes des individus interrogés ; uniquement 6.9% des résidents du ksar qui ont répondu par Non, contre 20 au quartier S.O-1 et 26.7% à la cite des 460 Lgts qui représente une minorité des répondants.



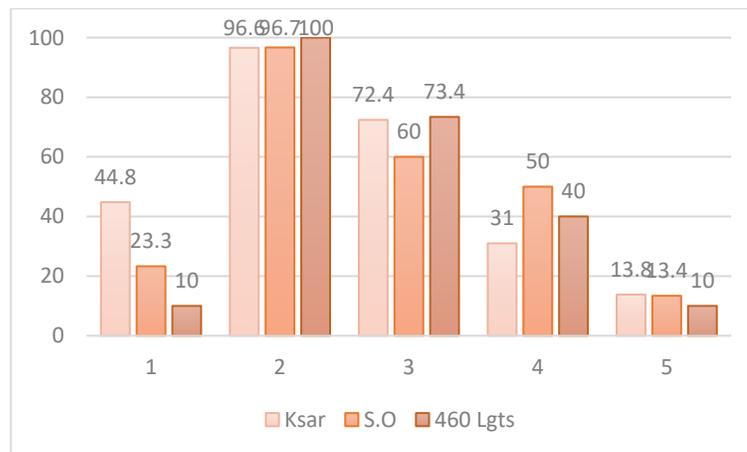
**Figure V.17:** L'effet des climatiseurs sur le réchauffement extérieur. (Source : Auteur Mai 2023).

### II.3.6. Les propositions d'amélioration des conditions thermique extérieures

Afin d'améliorer les conditions thermiques des espaces extérieures, nous avons proposé au répondants une série de facteurs qui aide à l'atténuation des températures extérieures. Les

participants pouvaient choisir différents éléments qu'ils jugent essentiels pour améliorer leur confort en plein air.

La figure ci-dessous (Fig.V.18) présente les choix des habitants qui ont participé à l'enquête. L'intérêt majeur a été porté à la plantation des arbres, 100% pour la cite des 460 Lgts, 96.7% pour les deux autres quartiers. En second lieu, l'ajout de plans d'eau dans les espaces extérieurs est jugé très important par les personnes interrogées, avec des résultats similaires dans les trois quartiers. 72.4% pour le Ksar, la cite 460 Lgts, et 60% pour le lotissement S.O-1. L'ombre joue un rôle très important dans l'atténuation des températures aux espaces extérieurs.



**Figure V.18** facteurs aident a baissé les températures extérieures. (Source : Auteur Mai 2023).

D'un autre cotes les interrogées refusent de minimiser l'utilisation de la climatisation mécanique pour les trois quartiers malgré les pourcentages différents des votes.

Au ksar le pourcentage élevé à comparer aux autre quartiers, 45% qui trouvent qu'il est nécessaire de minimiser l'utilisation des climatiseurs, alors que pour le lotissement S.O-1 uniquement 23.3% qui l'ont choisi, par contre une minorité de 10% qui fait partie de la cite des 460Lgts a choisi de minimiser l'utilisation des climatiseurs.

Sachant que les codes utilisés sur le graph représentent les propositions comme suit :

- Minimisez l'utilisation des climatiseurs = 1
- Planté des arbres = 2
- Mettre des plans d'eau = 3
- Augmentez la quantité d'ombre = 4
- Augmentez le courant d'air = 5

Les résultats de ce questionnaire confirment que, lors des périodes de forte chaleur estivale, les maisons traditionnelles réussissent à maintenir un climat intérieur plus frais que les habitations contemporaines ou les immeubles d'appartements. En outre, il ressort que les quartiers historiques plus à l'abri de la chaleur, offrent ainsi une meilleure protection contre la chaleur, grâce à leurs formes urbaines et ces caractéristiques, telles que leurs géométries, la végétation ainsi que des espaces ombragés. Ces éléments contribuent à rendre ces espaces plus confortables pendant les périodes de chaleur intense.

## CONCLUSION

D'après les résultats de l'enquête in-situ, les habitations des deux quartiers : le lotissement Saïd Otba-1 et la cité des 460 Lgts ; sont extrêmement chauds en été, alors que les anciennes maisons du Ksar sont plus confortables en été et moins chaude. Sans refroidissement mécanique en été, ces maisons ; ne peuvent offrir un cadre de vie confortable. Néanmoins, sur la base des entretiens menés, tous les répondants ont estimé que les maisons traditionnelles de la vieille ville ; du ksar de Ouargla étaient plus agréables tout au long de l'été. D'autre part, au Ksar les gens peuvent utiliser les espaces extérieurs du Ksar " skifa " , aussi les places extérieures comme les rues et les ruelles ainsi que les impasses afin de se réunir et se rencontrer pendant les soirées et les après-midis des journées d'été, alors qu'aux autre quartiers il est pratiquement impossible d'utiliser les espaces extérieurs de leurs quartiers.

Dans la partie suivante, une étude comparative détaillée entre trois maisons de différentes typologies chacune dans son l'environnement immédiat du quartier en été. Cette étape permet de mettre en évidence les écarts en termes de confort thermique et de consommation énergétique compte tenu des climatiques extérieurs ; visant à guider les architectes et concepteurs futurs à l'optimisation de l'implantation des bâtiments.

Les données recueillies à partir de l'étude sur terrain seront utilisées pour aider à créer des modèles numériques dans son ensemble. Dans ce chapitre, les données de trois types d'échantillons de tissus urbain, et trois maisons type qui ont été sélectionné comme cas d'études, dont chacune représente des caractéristiques architecturales et urbaines différentes ; ayant des caractéristiques socioéconomiques similaires, sont examinées.

# CHAPITRE VI :

## **Investigation et Application du Modèle**

## **INTRODUCTION**

Ce chapitre explore la problématique de la consommation énergétique et du confort thermique en se concentrant sur les caractéristiques du milieu urbain et des bâtiments résidentiels de la ville de Ouargla. L'objectif principal est de comprendre les paramètres qui influencent la consommation énergétique pendant la saison estivale, où les températures sont extrêmement élevées, tout en évaluant le niveau de confort thermique des occupants.

L'évaluation détaillée de la consommation énergétique des habitations ainsi qu'à l'analyse des paramètres influençant le confort thermique des occupants par une simulation numérique avec le logiciel DesignBuilder durant la saison estivale. Les modèles virtuels représentatifs construits aident à comprendre dans quelle mesure les caractéristiques des bâtiments, telles que les matériaux de construction, et les paramètres urbains exprimés par le rapport largeur hauteur des bâtiments, impactent la demande énergétique et les conditions de confort dans les bâtiments à usage résidentiels.

L'étude vise à fournir une évaluation paramétrique pour identifier des solutions adaptées à ce contexte climatique hostile, en vue d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels et de promouvoir des conditions de vie plus confortables pour les habitants, tout en réduisant l'impact environnemental.

De plus, cette partie cherche à discuter les corrélations entre différents paramètres de la forme bâtie sur les deux échelles et la consommation énergétique et la satisfaction des occupants pour dégager des recommandations qui pourraient orienter vers des solutions adaptées aux spécificités du climat saharien. Cette analyse constitue une étape essentielle pour proposer des améliorations en termes de conception durable et de performance énergétique, tout en tenant compte des contraintes locales et des attentes des habitants.

## **I. EXPERIMENTATION ET SIMULATION NUMERIQUE**

Afin d'évaluer la consommation d'énergie d'électricité, trois maisons dans trois formes urbaines différentes qui ont été sélectionnées pour l'étude ; un modèle virtuel représentatif a été développé et simulés par le logiciel DesignBuilder (EnergyPlus); pour chaque forme urbaine. Les modèles 3D développés ont été simplifiés et tiennent en compte les réflexions des surfaces des enveloppes des bâtiments environnants (Fig. VI.1, VI.2, VI.3), des caractéristiques de la géométrie urbaine qui diffèrent pour chaque quartier et des ombres extérieures. Les caractéristiques des modèles représentatifs ont été présentés de manière détaillée dans le chapitre IV.

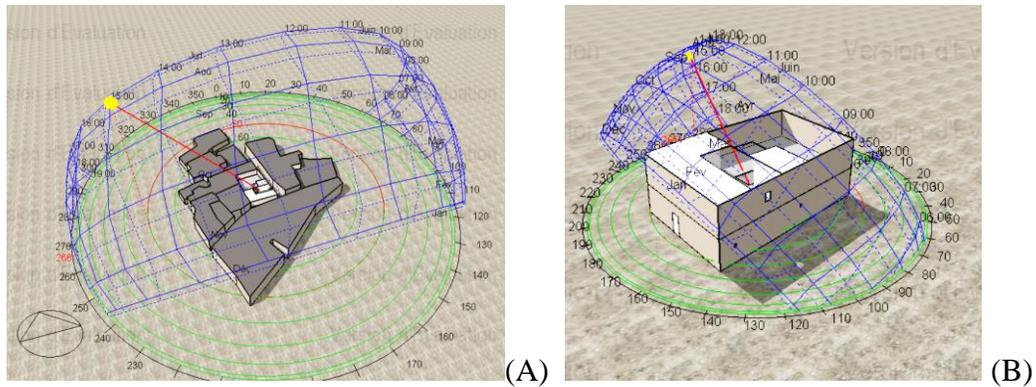
Cela nous permettra de comparer les performances des différents modèles en termes de charges de refroidissement durant la saison estivale.

## **II. RESULTATS ET DISCUSSIONS**

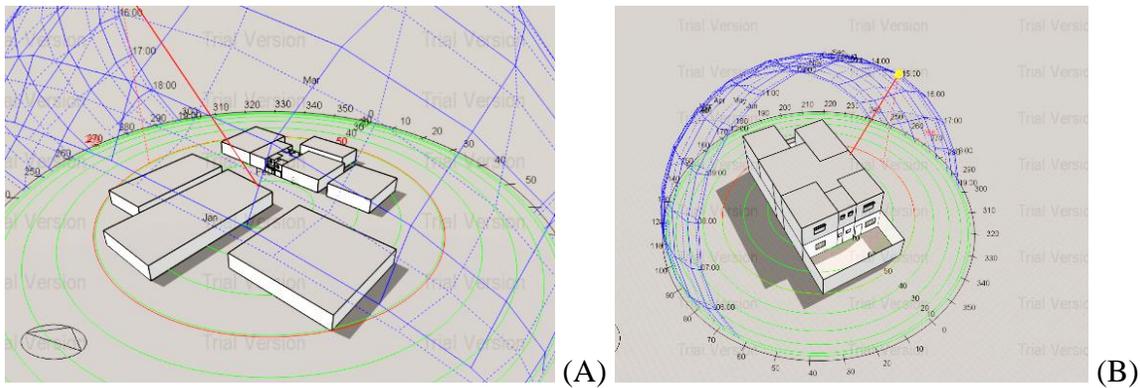
Notre investigation vise à analyser l'impact de la forme urbaine sur le confort thermique des occupants et la consommation énergétique. L'évaluation du confort thermique et de la consommation et la demande énergétique liée au refroidissement des espaces durant la saison estivale dans la région chaude et aride de la ville de Ouargla s'est effectuée sur deux étapes et chacune en deux phases, appliquée sur les trois quartiers sélectionnés pour l'étude auparavant à savoir : Ksar , quartier S.O-1 et la cite des 460 Lgts.

- Comme une première étape, la simulation numérique nous a permis l'évaluation du confort thermique au niveau des trois quartiers.

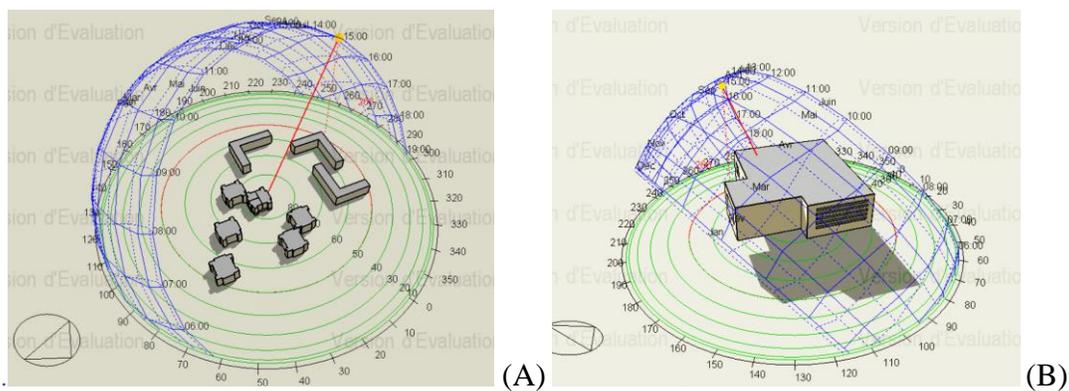
- La seconde étape s'est déroulée en deux phases. Dans un premier temps, nous avons évalué la consommation énergétique et la demande totale en énergie pour le refroidissement, en tenant compte de l'environnement bâti urbain propre à chaque quartier dans son état réel. Ensuite, lors de la deuxième phase, les maisons ont été considérées comme isolées, sans inclure l'environnement bâti urbain (Fig. VI.1, VI.2, VI.3). Cette approche permet d'analyser l'impact de la forme urbaine sur le confort thermique et la consommation énergétique du bâtiment.



**Figure VI.1** Présentation du modèle 3D du l’ancienne ville Ksar (A) maison avec environnement urbain, (B) maison isolée.



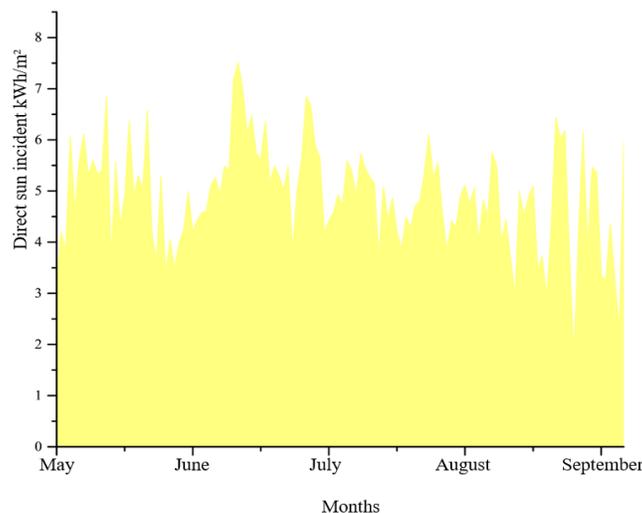
**Figure VI.2** : Présentation du modèle 3D du quartier Said Otba-1: (A) avec environnement urbain, (B) bâtiment isolé.



**Figure VI.3:** Présentation du modèle 3D de la cité 460 Lgts: (A) apparemment avec environnement urbain, (B) apparemment isolé.

### II.1. L'intensité de l'énergie solaire

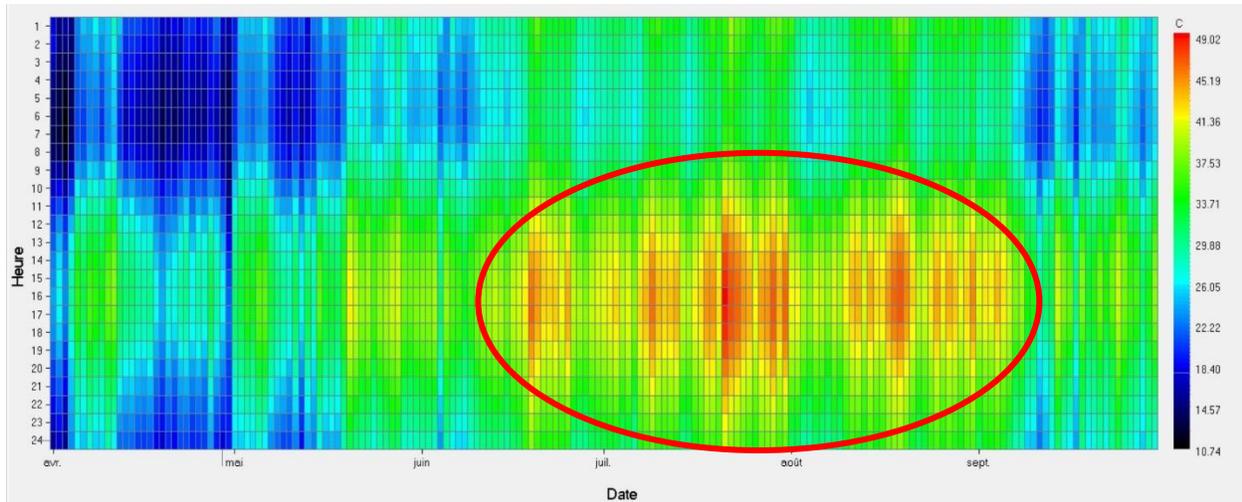
La ville de Ouargla connaît une abondance d'énergie solaire incidente, toute au long de l'année mais en particulier pendant la saison estivale. Ceci est clairement représenté sur le graph (Fig.VI.4), démontrant une augmentation substantielle de l'énergie solaire incidente tout au long de la journée d'été, avec un pic notable entre juin et juillet. L'augmentation significative de l'énergie solaire correspond au pic de chaleur observé pendant cette période, ceci explique ainsi l'augmentation des températures durant les mois de la saison estivale. En juillet, le rayonnement solaire direct incident dépasse  $7 \text{ kWh/m}^2$  par jour, ce qui entraîne une hausse des températures tout au long de la journée, tendance qui se poursuit pendant les mois de la saison.



**Figures VI.4:** Quantité d'énergie solaire directe reçu dans la ville de Ouargla en  $\text{kWh/m}^2$ .

### II.2.Effet de la forme urbaine sur le confort thermique du bâtiment résidentiel

La figure VI.5 présente la variation des températures à l'extérieur durant la saison estivale à Ouargla selon le fichier climatique obtenu de la base de données Meteonorm ; utiliser comme input pour la simulation numérique . La zone encadrée en rouge représente la période de pic de chaleur, ou les températures sont à leurs maximum. La période de pic s'étale entre la mi-Juin jusqu'à la mi- Septembre. Durant toute la journée les températures sont très élevées allant jusqu'à plus de  $49\text{C}^\circ$  comme moyenne de la journée, ceci entre 9 heure du matin jusqu'au 22h du soir , à l'exception de quelques heures ou quelques journées.



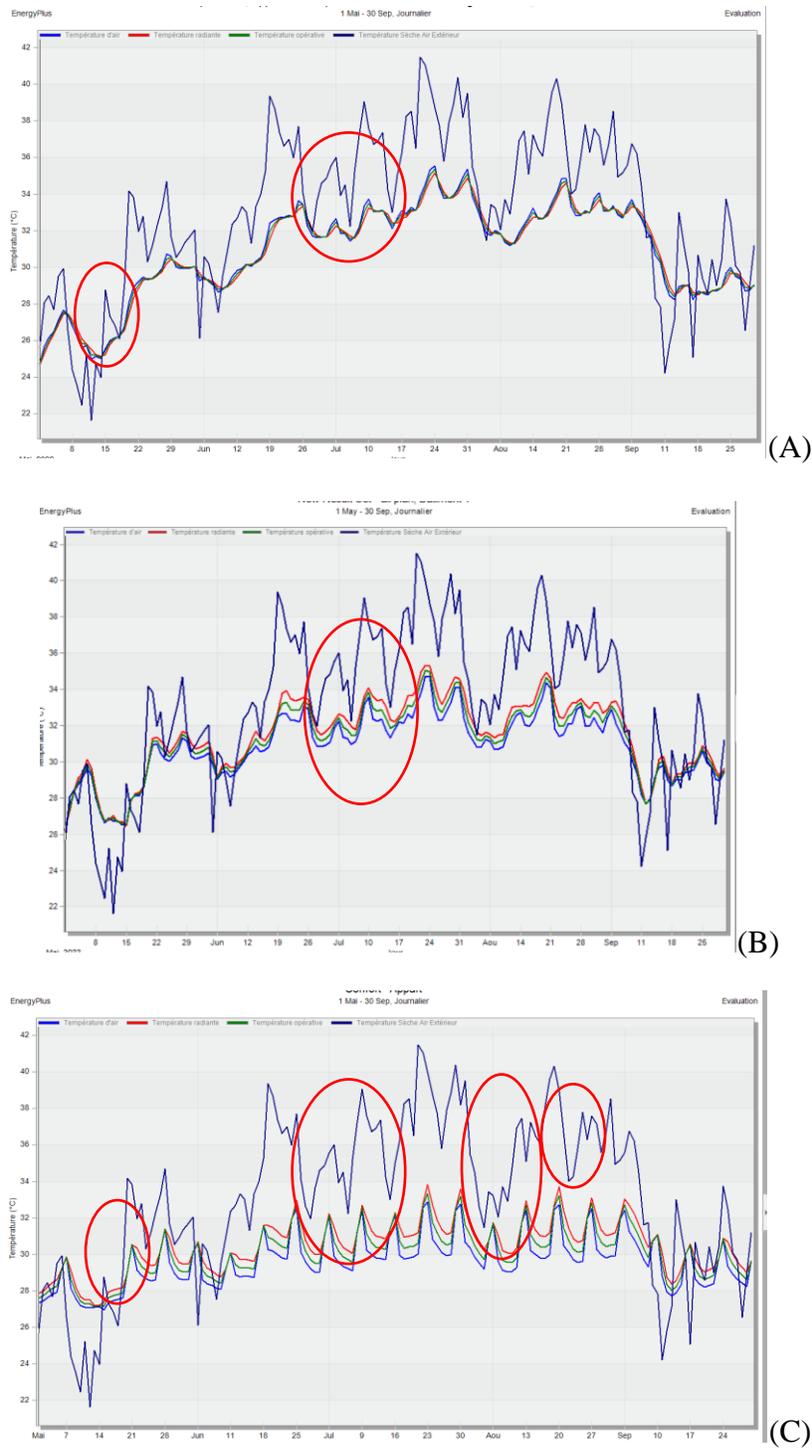
**Figure VI.5:** Variations des températures de l'air durant la période de pic.

La variation quotidienne des températures de l'air dans les trois quartiers de l'étude est illustrée dans la figure VI.6. Le quartier Ksar présente un tissu traditionnel très dense et compact, tandis que le quartier Saïd Otba-1 présente une densité moyenne, et la cité compte 460 Lgts collectifs un tissu dispersé.

La figure VI.6 (C) ; illustre clairement la variation des températures au quartier des 460 logements collectifs. Pendant les cinq mois de l'été les températures s'accroissent ; et durant la période de Juin à Août, ils deviennent supérieurs aux températures radiante et sèche, avec un pic au mois de Juillet qui dépasse les 42C° comme une moyenne journalière.

Au quartier S.O-1 (Fig.VI.6 (B)) les températures sont moins élevées et s'approchent aux températures sèches et radiante à plusieurs moments. Contrairement aux deux autres cas ; au Ksar (FigVI.6. (A)), les températures sont les plus basses par rapport aux autres quartiers, la variation se manifeste entre la fin du mois de juin et la mi-août. À la fin de la saison, les températures diminuent considérablement dans les trois quartiers. Malgré les différences et les disparités observées dans les trois quartiers, les températures demeurent extrêmement élevées pour les trois cas.

Les différences de température dans les trois quartiers sont attribuables aux densités urbaines variées de chaque cas, ce qui explique l'impact de la forme urbaine sur le confort thermique extérieur à l'échelle urbaine. En revanche, les matériaux de construction utilisés ont un impact sur la fluctuation des températures à l'échelle de l'architecture.



**Figure VI.6 :** Variations journalière des températures de l'aire pour les trois cas avec l'environnement bâti urbain. Cas : Ksar (A), S.O-1(B), 460 Lgts (C)

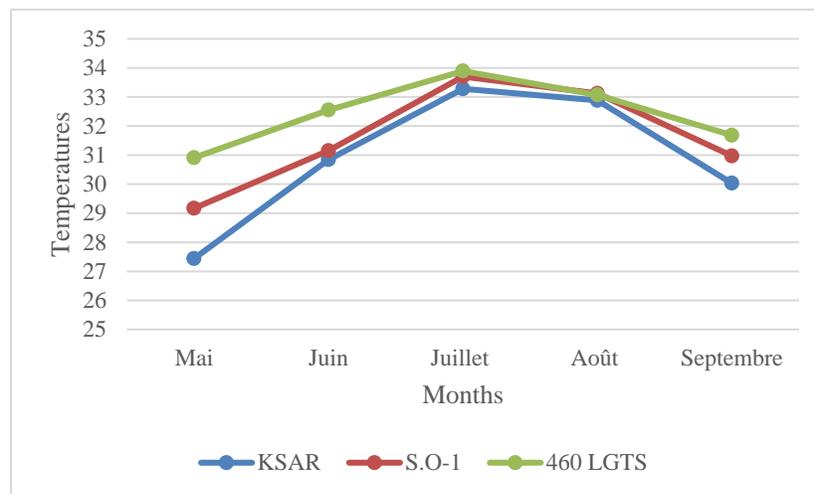
### II.3.Évaluation du confort thermique du bâtiment résidentiel

Dans une région chaude est aride, la période de l'année la plus critique c'est bien la saison estivale en raison des températures extrêmement élevées à l'extérieur. Le graphe VI.7 ci-dessous ainsi que le tableau VI.1, présentent les variations de la moyenne mensuelle des températures extérieures dans les trois quartiers de l'étude durant les cinq mois de l'été considère pour l'étude.

**Tableau VI.1:** Variation des températures de l'air dans les trois quartiers de l'étude.

MOIS	KSAR	S.O-1	460 LGTS
Mai	27.44	29.17	30.91
Juin	30.84	31.15	32.55
Juillet	33.28	33.70	33.89
Août	32.88	33.12	33.07
Septembre	30.03	30.97	31.08

Aux trois quartiers simuler ; les températures les plus basses sont enregistrées durant le mois de Mai ; par contre les plus élevées de la saison en Juillet et Août et en septembre ; les températures commencent a baissé. Le Ksar enregistre la température la plus basse, tandis que la cité des 460 Lgts collectifs enregistre températures les plus haute.

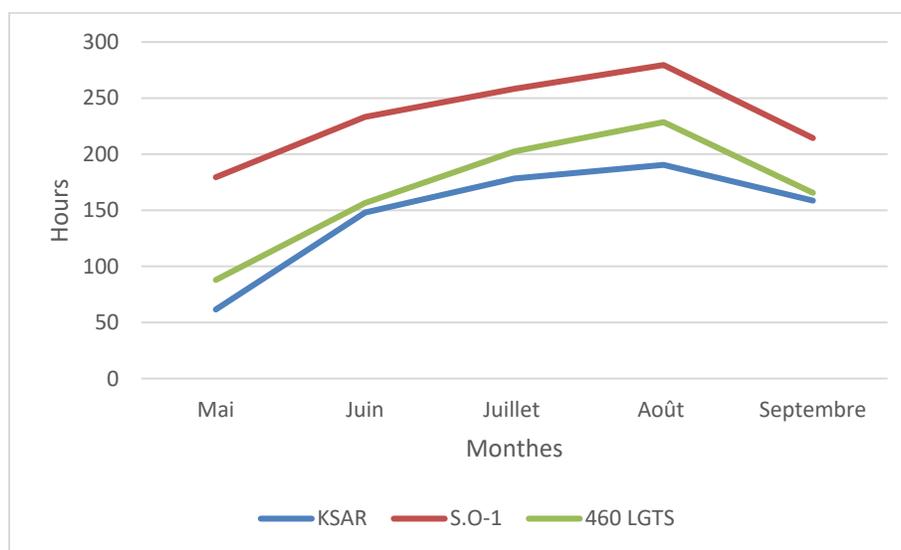


**Figure VI.7:** Variations des températures durant la saison estivale aux quartiers d'étude.

**Tableau VI.2:** Nombre d'heures d'inconfort pour chaque quartier de l'étude.

MOIS	KSAR	S.O-1	460 LGTS
Mai	61.54	179.44	87.91
Juin	147.94	233.17	156.49
Juillet	178.32	258.34	202.40
Août	190.45	279.51	228.57
Septembre	158.66	214.35	165.52

Le tableau VI.2 présente les heures d'inconfort pour les trois cas de l'étude , et l'écart est présenté sur le graphe VI.8.

**Figure VI.8:** Comparaison du nombre d'heures d'inconforts pour les trois cas d'étude.

Le quartier S.O-1 présente l'écart le plus important pour le nombre d'heures d'inconfort, en mois de Août il atteint les 280h /mois, par contre au Ksar le nombre d'heures n'atteint même pas les 200h , un écart très important. Le quartier des logement collectifs constitue la situation moyenne mais reste très importante, ceci est en raison des températures très élevée durant la saison estivale.

Les trois quartiers représentent des formes urbaines différentes avec des paramètres urbains varier , le rapport H/L est pris comme clé dans cette étude, aussi les habitations de caractéristiques différentes essentiellement les matériaux de construction, ces différences expliquent les écarts dans résultats de la simulation c'est-à-dire prouvent l'effets des caractéristiques de la forme urbaine sur le confort thermique dans un climat chaud et aride.

#### **II.4.Effet de la forme urbaine sur la consommation d'énergie électrique pour le refroidissement**

Les cas modélisés sont simulés pour la saison estivale, en tenant compte des cinq mois les plus chauds de la saison, de Mai à Septembre. Les charges électriques pour le refroidissement et la demande totale de refroidissement pour chaque cas sont calculées. Les charges énergétiques mensuelles sont utilisées pour créer des graphiques de comparaison.

L'accès solaire aux habitations augmente avec l'élargissement des rues et diminue avec le rétrécissement des rues ; l'impact de la géométrie urbaine (effet du rapport H/W), de sorte que la consommation d'énergie de refroidissement et la demande de refroidissement augmentent simultanément.

En comparant la demande totale de refroidissement ainsi que la consommation d'énergie pour le refroidissement des cas étudiés dans lesquels des maisons typiques dans différentes formes urbaines ; les résultats affichés varient en fonction de la variation de la forme urbaine et des caractéristiques des maisons. La consommation électrique mensuelle estimée des trois maisons typiques dans les trois quartiers d'étude est présentée en kWh dans le tableau suivant :

**Tableau VI.3:** L'énergie électrique mensuelle consommée durant les cinq mois pour les trois maisons types.

<b>MOIS</b>	<b>KSAR</b>	<b>S.O-1</b>	<b>460 LGTS</b>
Mai	123.18	587.59	520.98
Juin	539.68	983.72	705.16
Juillet	871.10	1486.39	978.18
Août	808.81	1319.01	942.09
Septembre	421.31	818.91	663.74
<b>Total</b>	<b>2764.09</b>	<b>5195.62</b>	<b>3810.14</b>

La consommation d'énergie pour le refroidissement pendant l'été est présentée dans la figure VI.9 et le tableau VI.3.

La figure révèle une initiation de la demande de refroidissement à partir du mois de Mai, atteignant son maximum en Juillet, le mois le plus chaud de l'année, suivi d'une baisse progressive jusqu'en Septembre. En Juillet, les valeurs de consommation atteignent leur maximum pour les trois cas, malgré les caractéristiques distinctes à l'échelle urbaine et architecturale.

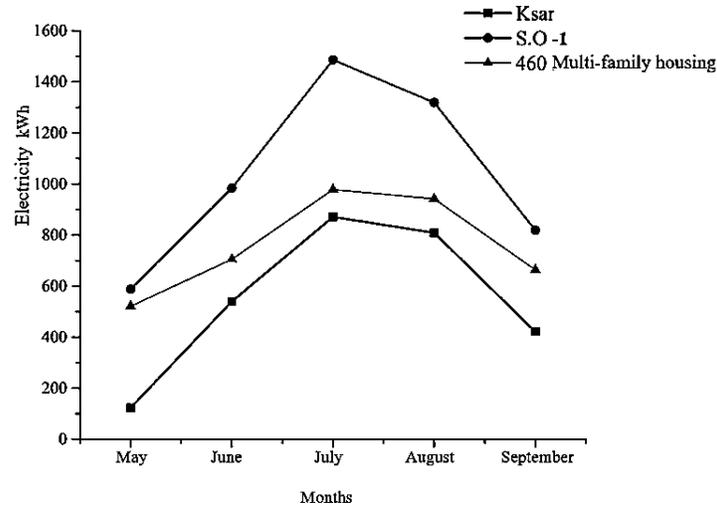
La comparaison de la consommation mensuelle d'électricité pour le refroidissement et de la demande totale d'énergie pour le refroidissement se fait sur deux échelles urbaine et architecturale, sont illustrée sur la figure VI.9 et VI.10.

#### **II.4.1. Echelle urbaine :**

Dans le premier scénario, le Ksar présente une maison traditionnelle au sein de son tissu urbain compact et dense, présentant un rapport H/L de 1,5. Cette configuration offre une protection aux maisons, réduisant l'exposition au rayonnement solaire intense pendant l'été. Par conséquent, le gain solaire est minimisé, ce qui entraîne une diminution de la demande de refroidissement et des charges énergétiques pour le refroidissement tout au long de la période estivale. Cela explique que la maison traditionnelle présente la plus faible consommation d'énergie électrique pour le refroidissement parmi les trois maisons étudiées.

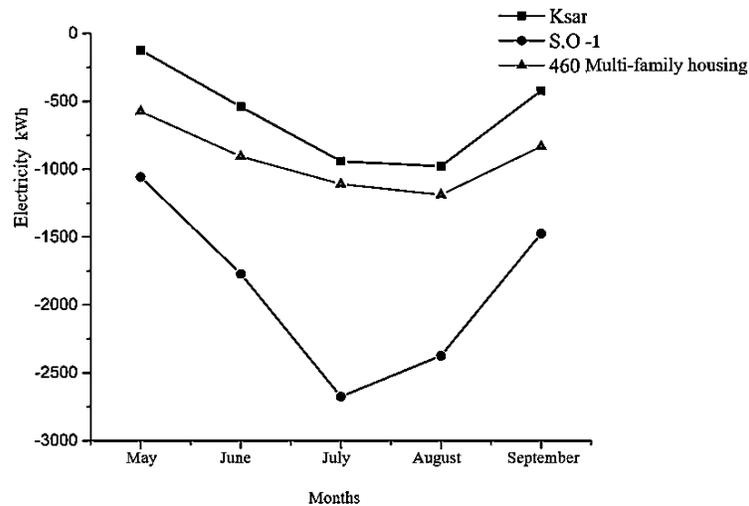
Pour le cas de l'appartement situé dans un immeuble de logements` collectif, le tissu urbain présente une disposition dispersée, avec de grandes distances entre les bâtiments avec un rapport H/L de 0,48. Cette configuration réduit l'impact des ombres projetées par les bâtiments environnants, ce qui augmente à son tour l'exposition au rayonnement solaire. En conséquence, la demande de refroidissement augmente, ce qui entraîne une augmentation de l'énergie nécessaire pour le refroidissement ; de plus, la quantité d'électricité consommée pour le refroidissement de l'appartement dans les 460 logements collectif est supérieure à celle de la maison traditionnelle.

Au quartier S.O-1, le tissu urbain est de densité modérée, avec des espaces plus grands entre les logements et des rues plus larges que la hauteur des maisons (rapport H/L = 0,75). Ce facteur contribue à l'exposition importante des maisons au rayonnement solaire intense pendant la saison estivale. La Figure.VI.9 indique une forte demande de refroidissement pendant les mois de pic de chaleur, ainsi qu'une consommation d'énergie électrique significativement plus élevée par rapport aux deux autres cas.



**Figure VI.9:** Consommation d'électricité pour le refroidissement (kWh)

Étant donné que la distance entre les immeubles de logements collectifs est très grande et que les rues sont très larges, on observe une différence dans la consommation d'énergie et la demande de refroidissement total. Cependant, en raison de l'étroitesse des rues dans le cas de Ksar, sa forme urbaine est la plus compacte avec le rapport H/L le plus élevé ; la zone est bien ombragée les journées d'été, moins exposée au rayonnement solaire intense, la consommation d'énergie électrique et la demande totale de refroidissement sont les plus faibles, confirmant l'impact de la forme urbaine sur la consommation d'énergie et la demande totale de refroidissement.



**Figure VI.10:** Besoin total d'électricité pour le refroidissement (kWh)

### **II.4.2. Echelle architecturale :**

La maison moderne du quartier S.O-1, construite avec des murs conventionnels en briques et mortier de ciment avec isolation par lame d'air, d'une épaisseur de 30 cm et une valeur U de  $1,087 \text{ W/m}^2\text{k}$ , démontre la plus grande consommation d'énergie pour le refroidissement. Elle atteint à 1486,39 kWh, ce qui entraîne la demande totale de refroidissement la plus élevée parmi les trois cas, dépassant 2675,49 kWh pour le seul mois de juillet. Sur l'ensemble de la saison, il faut un total de 9352,124 kWh pour maintenir le confort thermique de toute la maison. Cette valeur est particulièrement élevée, dépassant les autres cas simulés.

En revanche, la maison traditionnelle du Ksar, caractérisée par des murs en terre massifs et du mortier de timchmt, d'une épaisseur de 50 cm, et la valeur U la plus basse de  $0,445 \text{ W/m}^2\text{k}$ , présente la plus faible consommation d'énergie pour le refroidissement tout au long de l'été. En juillet, la maison traditionnelle consomme 871,10 kWh, ce qui est le plus bas des trois cas pour ce mois, contribuant à une demande totale de refroidissement de 978,19 kWh pour la saison. La demande totale de refroidissement en période de pic de chaleur n'atteint même pas 1000 kWh, ce qui représente environ un tiers de la demande totale de refroidissement de la maison contemporaine dans le S.O-1.

Le troisième scénario, l'appartement dans l'immeuble du quartier des 460 logements collectifs, avec des murs en béton plus minces de 25 cm et la valeur U la plus élevée de  $1,602 \text{ W/m}^2\text{k}$ , consomme une quantité considérable d'énergie électrique pour le refroidissement pendant l'été par rapport à la maison traditionnelle. Elle atteint 978,18 kWh, ce qui entraîne une demande totale de refroidissement de 1188,702 kWh pour juillet et un total de 4611,67 kWh pour toute la saison. Cette valeur représente la moitié de la demande totale d'énergie pour le refroidissement de la maison moderne S.O-1.

Il est évident qu'une variation de la consommation énergétique existe entre les trois types de quartiers étudiés, variation qui peut être attribuée à des facteurs influençant les performances énergétiques à deux échelles distinctes :

- L'échelle urbaine : la géométrie urbaine exprimée par le rapport H/W
- L'échelle architecturale : l'enveloppe du bâtiment exprimée par la valeur U des matériaux de construction et l'épaisseur des murs de l'enveloppe.

L'évaluation des performances énergétiques d'un bâtiment est étroitement liée à son environnement urbain et à sa conception urbaine, qui est défini dans cette par la forme urbaine, et à l'enveloppe architecturale, qui détermine l'efficacité énergétique de chaque bâtiment. Une approche globale, prenant en considération ces deux aspects, permettrait d'approfondir la compréhension et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

## **II.5.Évaluation de la consommation énergétique du bâtiment résidentiel isolé**

Dans cette partie nous allons discuter les résultats de la simulation numérique de la consommation énergétique prédite pour les habitations types dans les quartiers d'étude , sans la prise en considération de l'environnement urbain bâti. Cette partie a pour objectif d'évaluer la consommation énergétique des maisons isolé de leurs environnement urbain ; afin de démontrer l'effet de la forme urbaine sur la consommation énergétique des habitations résidentielles dans un climat chaud et aride de la ville de Ouargla, durant les cinq mois de la saison estival.

Les graphes ci-dessous, représentent l'énergie électrique consommée par les maisons type aux quartiers d'études à Ouargla, et l'énergie électrique totale nécessaire pour le refroidissement de ces maisons sans prise en considération de l'environnement urbain bâti.

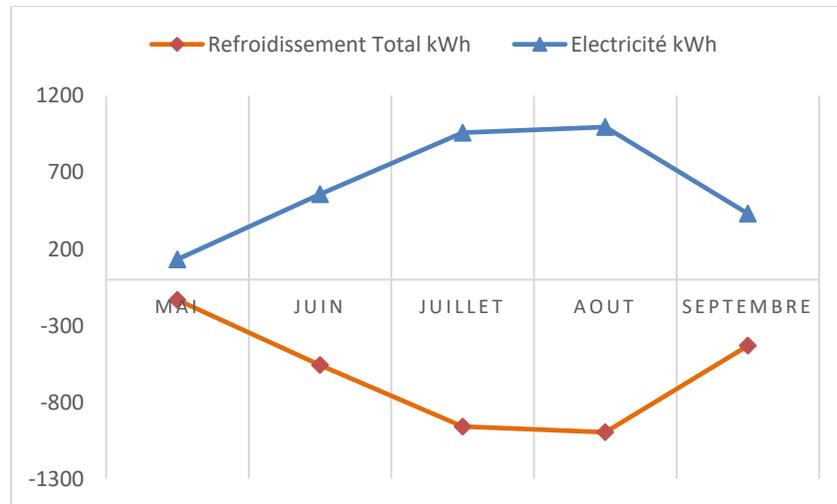
### **II.5.1. Quartier traditionnel Ksar**

Le tableau VI.4 et le graphe VI.11 illustrent la consommation d'énergie électrique ainsi que les besoins énergétiques pour le refroidissement total d'une maison type située au quartier traditionnel Ksar à Ouargla pendant les cinq mois d'été. Ces valeurs correspondent au cas de la maison qui est considérée comme isolée, c'est-à-dire sans tenir compte de l'environnement urbain bâti lors de la simulation numérique.

**Tableau VI.4:** Besoin en énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de la maison au quartier traditionnel Ksar isolé.

	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Electricité	132.42	557.58	959.31	996.19	430.99
Refroidissement	-132.42	-557.58	-959.31	-996.19	-430.99

Nous constatons une consommation d'énergie électrique élevée enregistrée durant l'été pour la maison type au Ksar, sans atteindre un refroidissement total. En Juillet et Août, la consommation minimale s'élève aux environs de 1000 kWh. Du même pour la demande énergétique pour un refroidissement totale de la maison ; les besoins énergétiques atteignent les 1000 kWh en période de pic, reflétant une exigence énergétique considérable pour assurer le refroidissement total de la maison.



**Figure VI.11:** Consommation et besoins d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans la maison type au Ksar.

Les courbes sur le graphe VI.11 présentent la variation énergétique pour la maison au Ksar ; celle en bleu illustre l'augmentation de la consommation énergétique au cours les cinq mois de l'été. Nous constatons une stabilisation entre Juillet et Août avec une consommation très élevée, marqué par un pic durant toute cette période , lorsque les températures atteignent des niveaux notables.

Les besoins énergétiques pour le refroidissement total de la maison type au Ksar sont présentés sur la courbe orange. La demande énergétique commence à augmenter dès le mois de Mai avec la hausse des températures, atteignant son maximum en Juillet et Août, pendant la période de pic de chaleur. Elle commence à diminuer à la fin du mois d'Août, lorsque les températures commence a baissé. En Septembre, bien que la demande énergétique diminue en raison de la baisse des températures, la consommation reste néanmoins notable.

### II.5.1.1. Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement

Le tableau VI.5 et le graphe VI.12 illustrent la comparaison des valeurs d'énergie électrique consommée pour le refroidissement de la maison type au Ksar, en considérant deux cas : la maison isolée et la maison insérée dans sa forme urbaine bâti.

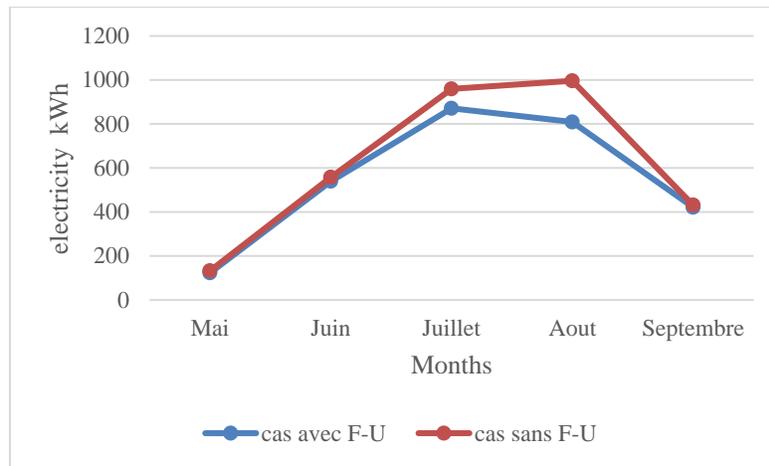
**Tableau VI.5:** Evaluation de l'électricité consommer pour le refroidissement de la maison au Ksar dans les deux cas dans sa forme urbaine et isolé.

	<i>Elect- Conso avec F-U- kWh</i>	<i>Elect- Conso sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	123.18	132.42	9.24
<i>Juin</i>	539.68	557.58	17.90
<i>Juillet</i>	871.10	959.31	88.21
<i>Aout</i>	808.81	996.19	187.38
<i>Septembre</i>	421.31	430.99	9.68

Le graphe VI.12 compare les variations des quantités d'énergie électrique consommées pour le refroidissement de la maison typique au Ksar pour deux configurations : celle qui est intégrée à son environnement urbain bâti et celle considérée comme isolée, sans l'effet de la forme urbaine.

La maison consomme davantage d'énergie électrique lorsqu'elle est considérée comme isolée. L'écart de consommation est modéré, atteignant un maximum d'environ 187 kWh et un minimum de plus de 9 kWh lors de la saison estival. Bien que cette différence soit relativement faible, même en l'absence de l'environnement urbain bâti, notamment en début et en fin de saison (mois de mai et septembre).

La maison du ksar est caractérisée par une enveloppe bâti massive, qui a contribué à contrôler la consommation énergétique de la maison. Les résultats de la comparaison soulignent l'effet de l'enveloppe massive . Cette enveloppe garantit le maintien d'une ambiance thermique considérablement stable. Aussi l'influence de la forme urbaine sur la consommation énergétique dans un climat chaud et aride par l'effet d'ombrage et la protection contre l'accès du rayonnement solaire intense.



**Figure VI.12:** L'énergie électrique consommée par la maison type (Ksar) des deux cas.

### II.5.1.2. Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total

Les variations des quantités d'énergie électrique consommées pour le refroidissement de la maison typique au Ksar pendant la saison estivale sont illustrées dans le graphe VI.13, qui compare deux configurations: celle qui est insérée dans son environnement urbain bâti et celle qui est considérée comme isolée.

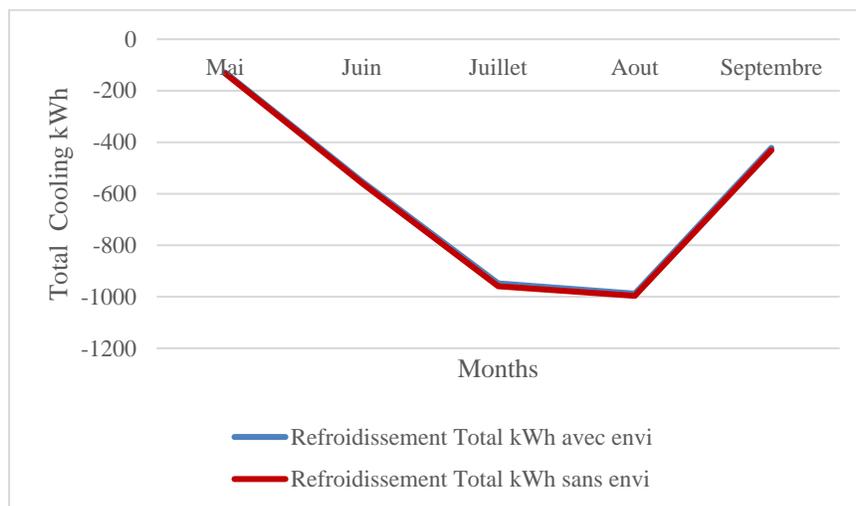
**Tableau VI.6:** Les besoins en énergie électrique pour le refroidissement totale de l'appartement avec l'environnement bâti et isolé.

	<i>Refroi- total avec F-U- kWh</i>	<i>Refroi- total sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	-128.66	-132.42	3.76
<i>Juin</i>	-550.91	-557.58	6.67
<i>Juillet</i>	-948.25	-959.31	11.06
<i>Aout</i>	-987.75	-996.19	8.44
<i>Septembre</i>	-422.02	-430.99	8.97

Les résultats présentés sur le tableau VI.6 indiquent un faible écart de la demande énergétique pour le refroidissement total pour la maison type au Ksar toute au long de la saison estivale, ce qui a fait que les courbes sont superposées. Cette demande baisse vers la fin de la saison.

L'énergie électrique demander pour le refroidissement total pour le cas de la maison isolé est pratiquement identique à celle du cas évaluer avec prise en considération de la forme urbaine.

Cette constatation reflète l'effet de l'enveloppe bâti de la maison du Ksar qui lui offre une bonne isolation thermique même en l'absence de l'environnement urbain bâti.



**Figure VI.13:** L'énergie demander pour le refroidissement total de la maison type au Ksar avec la forme urbaine et le cas isolé.

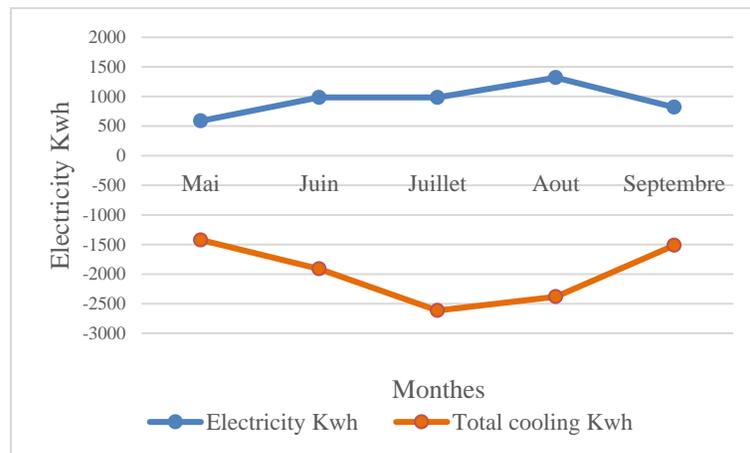
### II.5.2. Quartier de Saïd Otba-1

L'énergie électrique consommé ainsi que l'énergie nécessaire pour le refroidissement total d'une maison type au quartier S.O-1 à Ouargla durant les cinq mois d'été considéré pour l'étude sont illustré sur le graph VI.14, et le tableau VI.7, ces valeurs représente l'évaluation énergétique de la maison dans les cas : isolé et avec son environnement urbain bâti lors de la simulation numérique.

**Tableau VI.7:** Demande d'énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de la maison au quartier S.O-1 isolé

	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Electricité	596.42	1034.84	1508.03	1385.11	836.02
Refroidissement	-1423.26	-1911.67	-2615.61	-2381.80	-1513.86

Une consommation électrique significative est observée durant l'été, sans parvenir à un refroidissement total de la maison type au quartier S.O-1. En juillet et août, la consommation minimale atteint les 1000 kWh, tandis que la demande énergétique pour un refroidissement total dépasse 2500 kWh en période de pic fin d'arriver un refroidissement total de toute la maison, qui est une valeur très importante.



**Figure VI.14:** Consommation et besoin d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans la maison (S.O-1).

La courbe en bleu sur le graphe VI.14 illustre que la consommation d'énergie augmente au cours des cinq mois de l'été, une stabilisation entre Juin et Juillet, ensuite une augmentation nette commence en Juillet marqué par un pic entre juillet et août, lorsque les températures atteignent des niveaux très élevés. Cette augmentation est constatée en l'absence de l'environnement urbain de la maison lors de l'évaluation.

La courbe orange représente l'énergie électrique requise pour le refroidissement total de la maison type au quartier S.O-1, sans tenir compte de l'environnement urbain bâti. Elle montre que la demande énergétique augmente progressivement avec la hausse des températures à partir du mois de Mai, et commence à augmenter en mois de Juin avec l'augmentation des températures, atteignant un niveau élevé en juillet durant la période de pic de chaleur et commence à baisser en Août, où la chaleur commence à baisser. En septembre, malgré une baisse des températures et une diminution de la demande énergétique, la consommation reste néanmoins significative.

### II.5.2.1. Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement

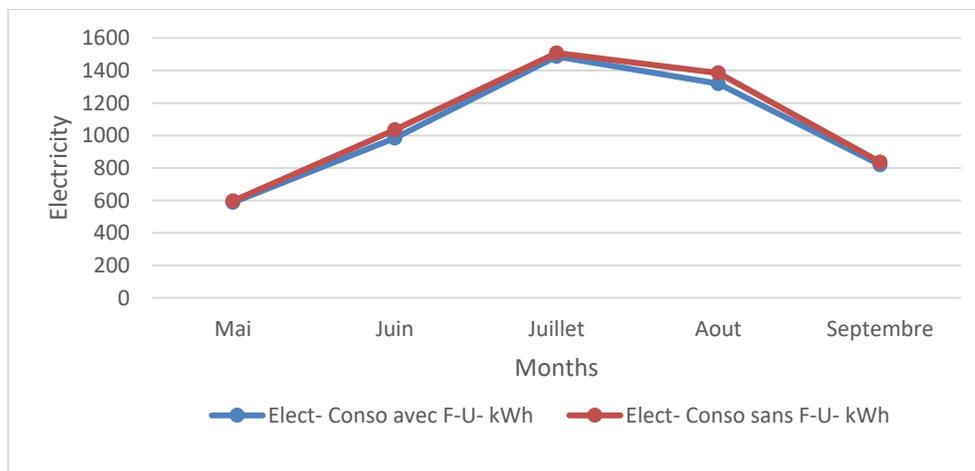
Le tableau VI.8 et le graphe VI.15 représentent la différence entre les valeurs de l'énergie électrique consommé pour le refroidissement de la maison type au quartier Saïd Otba-1 pour le cas de la maison isolé et le cas de la maison dans son forme urbaine bâti.

**Tableau VI.8:** Evaluation de la différence de l'électricité consommer pour le refroidissement de la maison au quartier S.O-1 dans sa forme urbaine et isolé.

	<i>Elect- Conso avec F-U- kWh</i>	<i>Elect- Conso sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	587.59	596.42	8.83
<i>Juin</i>	983.72	1034.84	51.12
<i>Juillet</i>	1486.38	1508.03	21. 38
<i>Aout</i>	1319.01	1385.11	66.1
<i>Septembre</i>	818.91	836.02	17.11

Le graphe VI.15 met en évidence la différence des quantités d'énergie électrique consommée pour le refroidissement de la maison type dans le quartier S.O-1 durant la saison estivale, en comparant deux configurations : lorsqu'elle est intégrée dans sa forme urbaine et celle considérée comme isolée, sans l'effet de la forme urbaine.

La maison consomme davantage d'énergie électrique lorsqu'elle est considérée comme isolée. L'écart de consommation reste modéré, atteignant un maximum d'environ 66 kWh et un minimum de 8 kWh. Bien que cette différence soit relativement faible, même en l'absence de l'environnement urbain bâti, notamment en début et en fin de saison (mois de mai et septembre), elle souligne l'impact de la forme urbaine et son effet sur la consommation énergétique dans un climat chaud et aride.



**Figure VI.15:** L'énergie électrique consommée par la maison type (S.O-1) avec et sans environnement urbain bâti.

### II.5.2.2. Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total

Selon le graphique VI.16 la comparaison de la demande d'énergie pour le refroidissement total de la maison type au quartier S.O-1 varie dans les deux cas son état intégré : avec environnement urbain bâti et le cas isolé.

**Tableau VI.9:** La demande de l'énergie électrique pour le refroidissement totale de la maison au quartier S.O-1 avec l'environnement et sans environnement bâti.

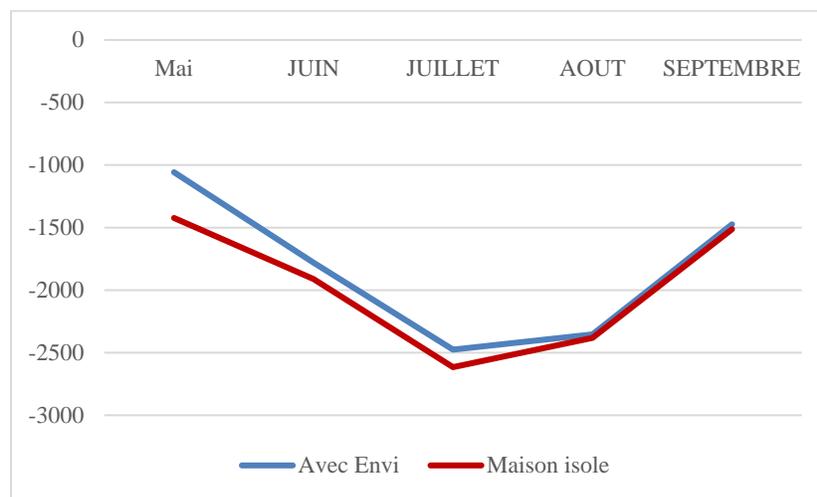
	<i>Refroi- total avec F-U- kWh</i>	<i>Refroi- total sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	-1057.66	-1423.26	-365.60
<i>Juin</i>	-1780.69	-1911.67	-130.98
<i>Juillet</i>	-2475.49	-2615.61	-140.12
<i>Aout</i>	-2354.23	-2381.80	-27.57
<i>Septembre</i>	-1474.04	-1513.86	-39.81

Les résultats présentés sur le tableau VI.9 indiquent un écart notable de la demande énergétique pour le refroidissement total au quartier S.O-1 notamment au début de la saison estivale, mais qui baisse vers la fin de la saison, essentiellement pour le cas isolé.

L'énergie électrique demandée pour le refroidissement total pour le cas de la maison isolée est supérieure à la demande de l'électricité pour le cas évalué avec prise en considération de la forme urbaine. Cet écart dépasse 140 kWh au minimum et atteint les 360 kWh pendant les périodes

de pic de chaleur. Mais connaît une baisse progressivement en fin de saison ; avec des écarts qui ne dépassent pas les 27 kWh en fin de saison.

Il est clair que la demande pour le refroidissement total augmente en absence de l'environnement urbain bâti. Malgré la forme urbaine dispersée au quartier S.O-1 et les matériaux utilisés de faible valeur U, la consommation croissante en l'absence de l'environnement bâti urbain met en évidence l'effet de la forme urbaine sur les besoins en électricité pour le refroidissement total du bâtiment avec la hausse des températures dans une zone à climat chaud et aride.



**Figure VI.16:** L'énergie demandée pour le refroidissement total de la maison type au quartier S.O-1 avec et sans la forme urbaine.

### II.5.3. Quartier des 460 logements collectifs

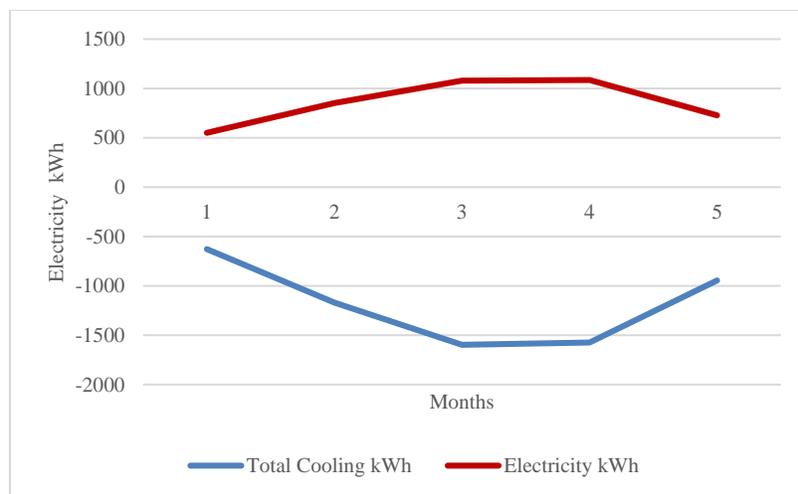
Le tableau VI.10 et le graph VI.17 représentent l'énergie électrique consommée par un appartement type au quartier des 460 Lgts à Ouargla durant les cinq mois d'été considéré pour l'étude, et l'énergie électrique demandée pour le refroidissement total de l'appartement isolé, c'est-à-dire l'appartement a été considéré seul sans les bâtiments et les logements qui l'entourent lors de la simulation numérique.

**Tableau VI.10** : Demande d'énergie pour le refroidissement total et l'électricité mensuelle consommée de l'appartement au quartier des 460 Lgts isolé

	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Electricité	550.37	851.10	1079.71	1085.37	726.87
Refroidissement	-627.88	-1169.20	-1597.19	-1574.38	-945.58

Sur le graphe VI.17 la courbe en orange montre l'augmentation de la consommation énergétique durant la saison estivale essentielles entre Juillet et Août ; en période de pic de chaleur ou les températures sont très élevé, et en l'absence de l'effet de l'environnement urbain bâti immédiat.

La courbe en bleu présente l'énergie électrique demander pour le refroidissement total de l'appartement type (460 Lgts collectifs) isolé. La courbe montre qu'en période de pic de chaleur la demande énergétique commence a augmenté avec la hausse des températures en Mai et s'accroît considérablement en Juillet et Août, et commence à baisser avec la baisse des températures en mois de Septembre , malgré que la consommation énergétique reste significative en ce mois.



**Figure VI.17:** Consommation et besoin d'électricité pour le refroidissement total (KWh) durant la saison estivale dans l'appartement (460 Lgts).

### II.5.3.1. Evaluation de l'énergie l'électricité consommer pour le refroidissement

Le tableau VI.11 et le graphe VI.18 compare l'énergie électrique consommé pour le refroidissement de l'appartement du quartier 460 Lgts , et compare la différence pour les deux cas ; l'appartement inséré dans son environnement urbain bâti et l'appartement isolé .

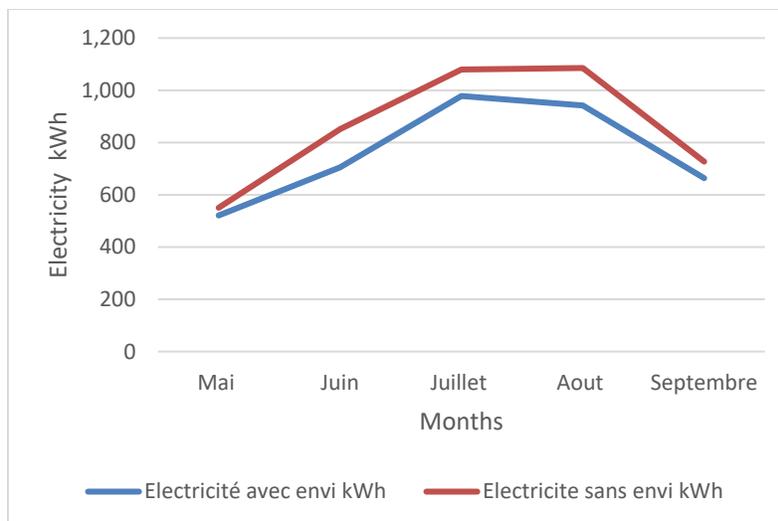
**Tableau VI.11:** Evaluation de la différence de l'électricité consommer pour le refroidissement de l'appartement dans sa forme urbaine et isolé.

	<i>Elect- Conso avec F-U- kWh</i>	<i>Elect- Conso sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	520.98	550.37	29.39
<i>Juin</i>	705.16	851.10	145.94
<i>Juillet</i>	978.18	1079.71	101.53
<i>Aout</i>	942.09	1085.37	143.28
<i>Septembre</i>	663.74	726.87	63.13

Le graphe VI.18 met en évidence une différence significative dans la quantité d'énergie électrique consommée pour le refroidissement de l'appartement type (460 logements) pour les deux cas de l'appartement.

L'appartement consomme davantage d'énergie électrique lorsqu'il est considéré sans l'environnement urbain. L'écart de consommation est clair sur le graphe ci-dessous, la courbe représentée en orange dépasse celle en bleu de loi. les quantité de l'énergie consommé dépasse 29 kWh au minimum et atteint jusqu'à 143 kWh lors des périodes de forte chaleur.

L'appartement dans le cas isole est expose au alias du climat sur cinq façades ce qui augmente les échanges et le transfert de chaleur avec l'environnement extérieurs et affecte la demande énergétique. Celle augmentation qui est dû à l'absence de l'environnement bâti illustre l'influence de la forme urbaine et son effet sur la consommation énergétiques de l'appartement en été dans un climat chaud et aride.



**Figure VI.18 :** L'énergie électrique consommée par l'appartement type (460 Lgts) avec et sans environnement urbain bâti.

### II.5.3.2. Evaluation de besoin l'électricité pour le refroidissement total

Selon les résultats obtenus de la simulation ; la demande d'énergie pour le refroidissement total de l'appartement type de la cité des 460 Lgts collectif dépend de l'état de son environnement urbain.

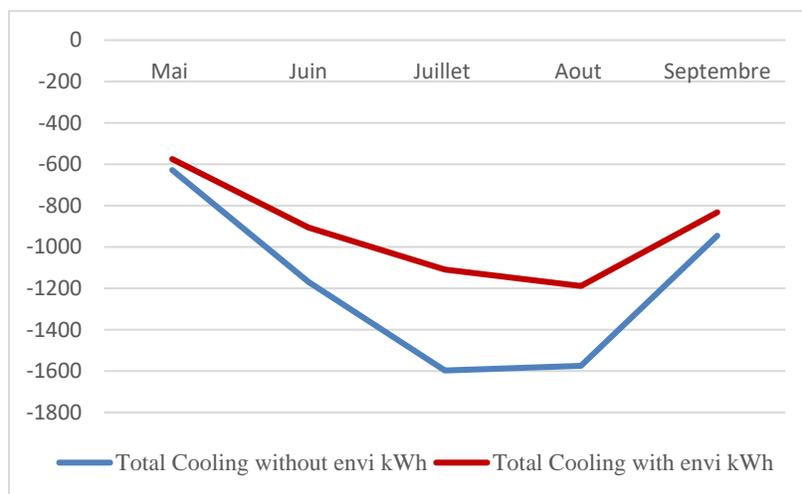
Le graphe VI.19 et le tableau VI.12 représentent la demande énergétique pour le refroidissement total de l'appartement pour les deux cas : insérée dans son environnement urbain bâti et le cas de l'appartement isolé.

**Tableau VI.12:** Les besoins de l'énergie électrique pour le refroidissement totale de l'appartement avec l'environnement et sans environnement bâti.

	<i>Refroi- total avec F-U- kWh</i>	<i>Refroi- total sans F-U- kWh</i>	<i>Différence - kWh</i>
<i>Mai</i>	-574.94	-627.88	52.93
<i>Juin</i>	-906.51	-1169.20	262.69
<i>Juillet</i>	-1109.56	-1597.19	487.62
<i>Aout</i>	-1188.70	-1574.38	385.68
<i>Septembre</i>	-831.94	-945.58	113.64

Les résultats présentés indiquent un écart notable la demande énergétique pour le refroidissement total de l'appartement type pendant l'été, essentiellement pour le cas de l'appartement pris isolé de son environnement bâti urbain.

L'énergie électrique demandée pour le refroidissement total de l'appartement sans tenir compte de la forme urbaine est supérieure à la demande de l'électricité pour le cas évalué avec prise en considération de l'environnement urbain lors de la simulation numérique.



**Figure VI.19:** L'énergie demandée pour le refroidissement totale de l'appartement type avec et sans la forme urbaine.

Les courbes représentées sur le graphique VI.19 montrent que la consommation énergétique pour le cas isolé dépasse de loin celle du cas simulé dans l'environnement urbain. Cet écart dépasse les 52 kWh au minimum et atteint les 480 kWh pendant les périodes de pic de chaleur. Il est clair que la demande pour le refroidissement total augmente en absence de l'environnement bâti urbain. La consommation croissante en l'absence de l'environnement bâti urbain met en évidence l'effet de la forme urbaine sur les besoins en électricité pour le refroidissement total de l'appartement avec la hausse des températures dans une zone à climat chaud et aride.

Il apparaît clairement qu'il y a une différence de confort thermique et de consommation énergétique entre les trois types de quartiers étudiés, une différence qui peut être attribuée à des facteurs qui impactent les performances énergétiques à deux échelles différentes :

### **1. Échelle urbaine**

La géométrie urbaine, notamment le rapport hauteur/largeur (H/L), influence l'exposition intense au rayonnement solaire dans un climat chaud et aride. Un rapport H/W élevé augmentant l'ombrage et par conséquent diminuer la demande en de refroidissement. Inversement, un rapport faible diminue l'ombrage, mais accroît les risques de surchauffe en été et accentue la consommation et la demande énergétique.

### **2. Échelle architecturale :**

L'enveloppe des bâtiments joue un rôle clé dans les échanges thermiques. La performance énergétique dépend de la conductivité thermique des matériaux (valeur U) et de l'épaisseur des murs. Des matériaux à faible valeur U et des murs épais réduisent les besoins en climatisation en période de surchauffe dans un climat chaud et aride en stabilisant la température intérieure.

Une approche intégrée tenant compte de ces deux échelles est essentielle pour mieux comprendre et optimiser la consommation énergétique dans les quartiers et assurer un confort thermique optimal dans un tel climat.

## **III. LA VALIDATION DES RESULTATS**

Pour valider les résultats de simulation, la consommation énergétique de la saison estivale représentative de chaque maison dans chaque quartier réel et simulé est utilisée afin d'évaluer l'écart entre les valeurs ensuite calculer le pourcentage d'erreur. Et pour calibrer correctement les modèles de simulation, une équation mathématique est utilisée pour les calculs de taux d'erreur, et la marge d'erreur ne doit pas dépasser 5% (Maile et al., 2012).

Ensuite, nous allons comparer les données de consommation énergétique réelles avec les données simulées utilisant des graphes. Les données de la consommation réelle issues des relevés des compteurs des maisons ont été obtenues auprès des services de la société de distribution d'électricité Sonelgaz à Ouargla<sup>1</sup>. (Tableau VI.13)

---

<sup>1</sup> Acronyme de Société nationale de l'électricité et du gaz, est un groupe industriel énergétique algérien (Voir annexe 3)

**Tableau VI.13:** Les données réelles de la consommation énergétique pour chaque quartier.

	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Septembre</i>
<i>Ksar</i>	127.5	553.2	884.2	830.6	435.2
<i>S.O-1</i>	610.51	1019.13	1544.35	1374.41	852.49
<i>460 LGTS</i>	530.36	727.73	1003.61	980.72	672.37

### III.1. Calcul de pourcentage d'erreurs

L'équation (Eq.1) présenté ci-dessous est utiliser pour calculer le pourcentage d'erreur. La consommation d'énergie électrique moyenne des modèles représentatifs ; pendant la saison estivale pour chaque maison de chaque quartier est présenté sur le tableau VI.14. Ensuite une évaluation de pourcentage d'erreur mensuelle est calculée et présenté sur les graphes dans la partie suivante.

$$\text{Pourcentage d'erreur (\%)} = \left| \frac{\text{Valeur Mesuré} - \text{Valeur Simulé}}{\text{Valeur Mesuré}} \right| \times 100 \quad (1)$$

### III.2. La validation des résultats de la consommation d'énergie électrique

D'après les résultats obtenus des calculs sur le tableau VI.14, les valeurs réelles de la consommation énergétique et celle obtenu de la simulation numérique , le pourcentage d'erreur ne dépasse pas 5% , ce qui valide les résultats de la simulation numérique .

**Tableau VI.14:** Calcul du pourcentage d'erreur mensuel.

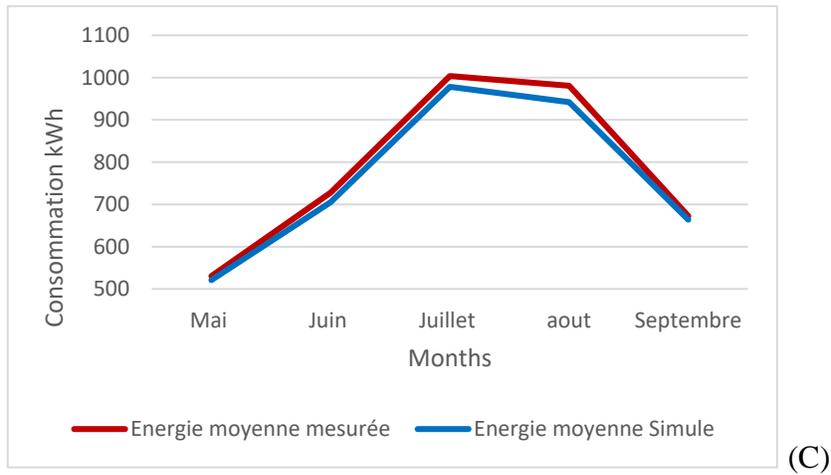
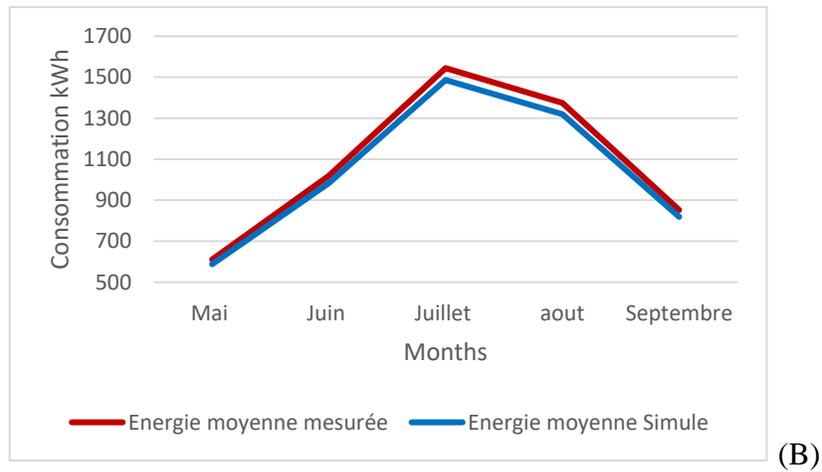
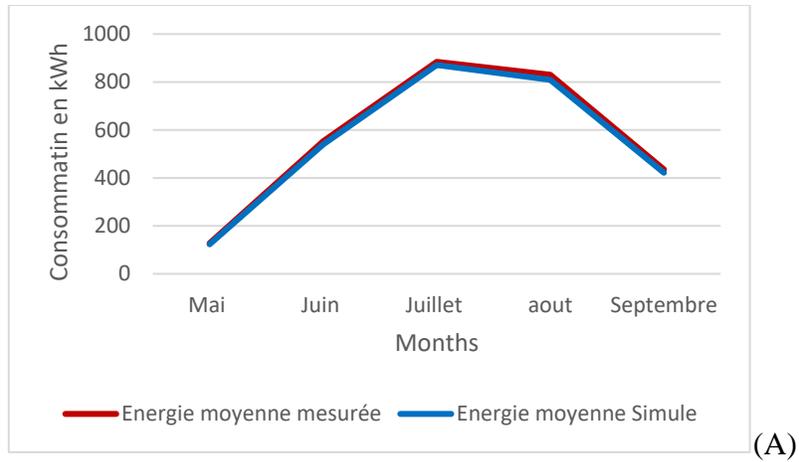
	Energie moyenne mesurée	Energie moyenne Simule	Erreur (%)
<i>KSAR</i>	2841.72	2764.09	2.7
<i>S.O-1</i>	5409.05	5195.62	3.95
<i>460 LGTS</i>	3911.30	3810.14	2.59

Après avoir calculer le pourcentage d'erreur des valeurs de la consommation globale de la saison pour chaque cas de l'étude, nous avons calculer le pourcentage d'erreur des valeurs mensuelles pour chaque cas simuler. Les résultats sont présentés sur les tableaux VI.15 et le graphe VI.20.

Les valeurs réelles sont proches des valeurs simulées comme le montre le tableau VI.15, où le pourcentage d'erreur pour les trois cas ne dépasse pas 5%, ainsi que les graphes VI.20 sont supère posé ce qui valide les résultats obtenus de la simulation numérique via le logiciel DesignBuilder.

**Tableau VI.15:** Calcule de pourcentage d'erreur mensuelle pour les trois cas d'étude.

	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>
	<b><i>Ksar</i></b>				
<i>Energie moyenne mesurée</i>	127.5	553.2	884.2	830.6	435.2
<i>Energie moyenne Simule</i>	123.18	539.68	871.1	808.81	421.31
<i>Erreur (%)</i>	3.5	2.5	1.5	2.7	3.3
	<b><i>S.O-1</i></b>				
<i>Energie moyenne mesurée</i>	610.51	1019.13	1544.35	1374.41	852.49
<i>Energie moyenne Simule</i>	587.59	983.72	1486.38	1319.01	818.91
<i>Erreur (%)</i>	3.9	3.6	3.9	4.2	4.1
	<b><i>460 LGTS</i></b>				
<i>Energie moyenne mesurée</i>	530.36	727.73	1003.61	980.72	672.37
<i>Energie moyenne Simule</i>	520.98	705.16	978.18	942.09	663.74
<i>Erreur (%)</i>	1.8	3.2	2.6	4.1	1.3



**Figure VI.20:** Pourcentage d'erreur pour les trois cas : Ksar(A), S.O-1 (B), 460 lgts (C)

#### **IV. CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES**

Une analyse bivariée, illustrée par une matrice de corrélation, fait appel à l'utilisation du coefficient de Spearman, connu sous le nom de « Rhô de Spearman ». Cette technique statistique est particulièrement adaptée pour analyser la relation entre deux variables, en identifiant des tendances et des modèles dans les données. Contrairement à la corrélation de Pearson, qui mesure la relation linéaire entre des variables quantitatives, le Rhô de Spearman est basé sur les rangs des données, ce qui le rend plus robuste face aux valeurs aberrantes et aux distributions non linéaires.

La corrélation de Spearman évalue l'association entre les ordres de rang des variables. Par exemple, si une variable augmente systématiquement lorsque l'autre augmente, elles auront une corrélation positive élevée. À l'inverse, si une augmentation de l'une correspond systématiquement à une diminution de l'autre, elles présenteront une corrélation négative élevée.

Les coefficients de corrélation obtenus varient entre -1 et +1 :

- **-1** indique une relation négative parfaite, où les rangs des variables sont exactement inversés.
- **+1** représente une relation positive parfaite, où les rangs des variables augmentent ou diminuent simultanément dans le même ordre.
- **0** signifie l'absence d'association, suggérant qu'il n'existe pas de lien monotone entre les deux variables.

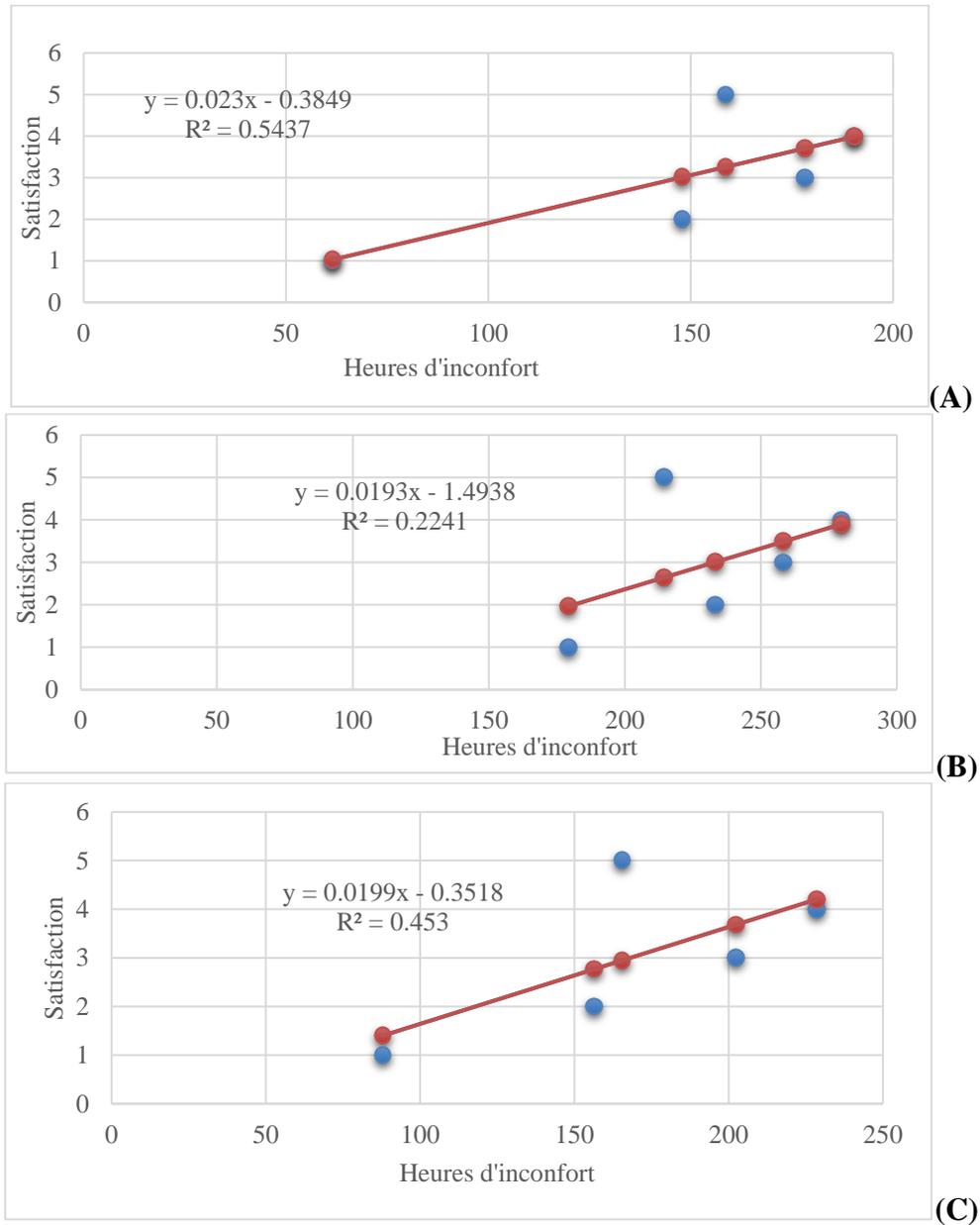
La matrice de corrélation permet de visualiser ces relations pour un ensemble de variables, facilitant l'identification des liens significatifs et leur interprétation dans un cadre analytique.

Dans la partie suivante, nous examinerons le lien entre le confort thermique et la satisfaction des habitants comme première étape, puis nous aborderons la question de la consommation d'énergie et de leur contentement face à la perception thermique dans les espaces extérieurs de leur quartier.

##### **IV.1. Le confort thermique**

Les résultats obtenus sont présentés sous la forme de régressions linéaires dans les graphes ci-dessous (Fig. VI.21) qui mettent en évidence une corrélation positive dans les trois cas étudiés :

le tissu traditionnel, contemporain et la cité des logements collectifs. Cette corrélation reflète la relation entre les heures d'inconfort thermique et le niveau de satisfaction des occupants vis-à-vis des conditions thermiques intérieures.



**Figure VI.21:** Corrélation entre la satisfaction thermique et les heures d'inconfort dans les trois cités de l'étude : Ksar (A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C).

- **Pour le quartier du Ksar** : Le coefficient  $r^2=0.54$  indique une corrélation positive modérée ( $0.5 < r^2 < 1$ ). Cela signifie que les heures d'inconfort thermique expliquent de manière significative le ressenti des occupants quant aux conditions thermiques et leurs satisfactions quant aux conditions thermiques intérieures .

- **Pour le quartier S.O-1** : Le coefficient  $r^2=0.22$  indique une corrélation positive faible ( $0 < r^2 < 0.50$ ). Bien que la relation entre les heures d'inconfort et la satisfaction thermique soit toujours présente, elle est moins marquée. Ce résultat suggère que d'autres facteurs pourraient également influencer la perception thermique des occupants dans ce quartier, tels que les habitudes, les équipements de climatisation ou la ventilation naturelle.

- **Pour la cité des 460 logements** : Le coefficient  $r^2=0.45$  révèle également une corrélation positive, bien qu'inférieure à 0.5. Cela témoigne d'une relation modérée entre les heures d'inconfort et le ressenti des occupants, confirmant que ces derniers éprouvent un certain degré d'insatisfaction vis-à-vis des conditions thermiques. Toutefois, la corrélation relativement plus forte par rapport au quartier S.O-1 indique que l'inconfort thermique y joue un rôle plus déterminant.

En conclusion, ces résultats confirment l'existence d'une corrélation positive entre les heures d'inconfort thermique et la satisfaction des occupants concernant les conditions thermiques intérieures, avec des niveaux d'intensité variables selon les quartiers. Dans les cas où  $r^2$  est inférieur à 0.5 (S.O-1 et 460 logements), bien que la corrélation soit plus faible, elle reste significative et met en évidence un ressenti global d'insatisfaction des occupants. Ces variations entre quartiers soulignent l'importance de prendre en compte les spécificités climatiques de la région, urbaines et architecturales afin d'améliorer les conditions thermiques dans un climat chaud et aride .

#### **IV.2. La consommation énergétique**

Les graphiques présentés ci-dessous (Fig. VI.21 et VI.22) illustrent les corrélations entre la satisfaction des résidents des trois types de quartiers étudiés et la consommation énergétique de leurs habitations. Ces relations sont représentées à l'aide de régressions linéaires, qui mettent en évidence des corrélations positives dans les trois cas.

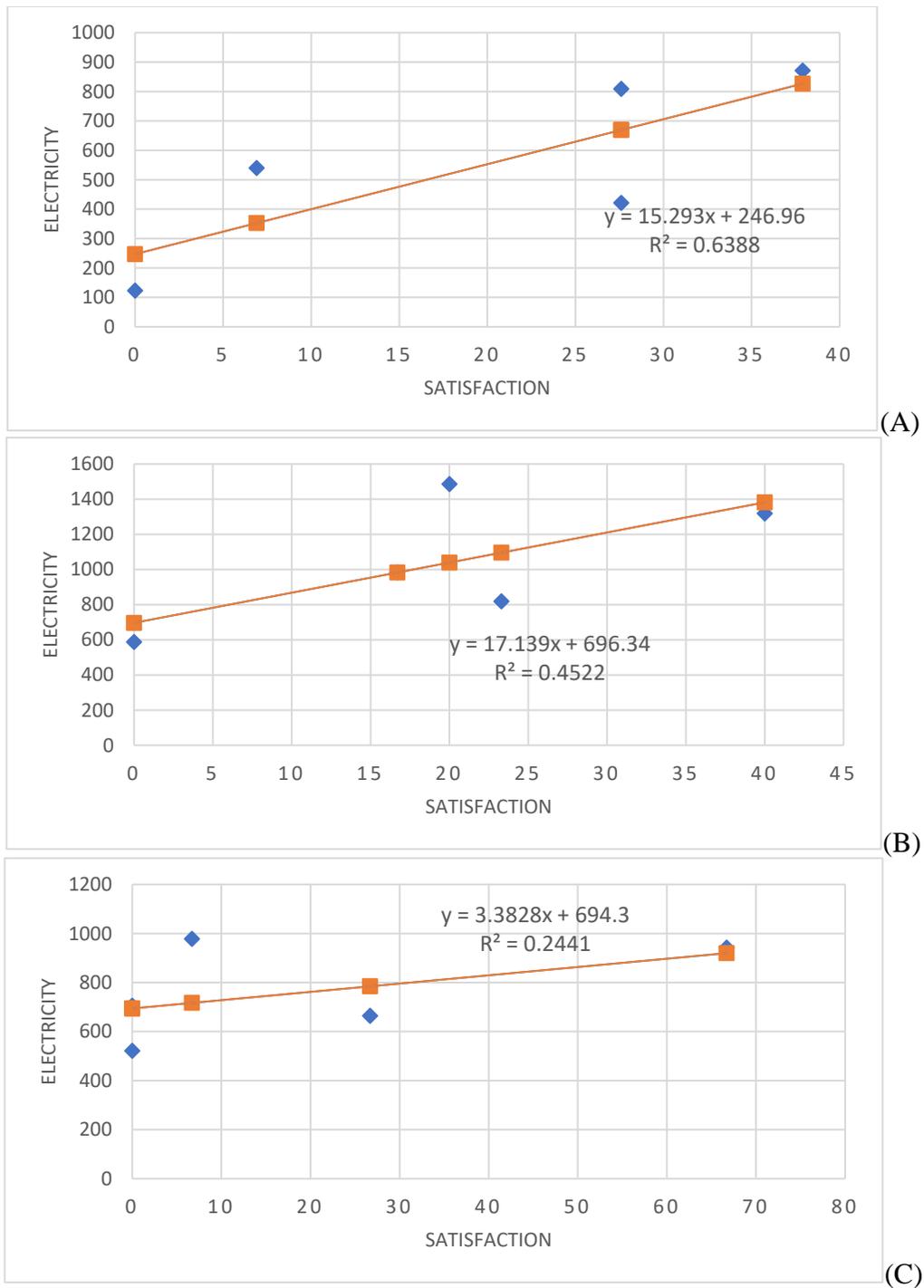
- **Pour le Ksar (tissu traditionnel)** : Le coefficient  $r^2=0.63$  indique une corrélation positive modérée à forte ( $0.5 < r^2 < 1$ ).

- **Pour le quartier contemporain (S.O-1)** : Avec un coefficient  $r^2=0.45$ , la corrélation positive est moins marquée, bien que toujours significative ( $0 < r^2 < 0.50$ ).

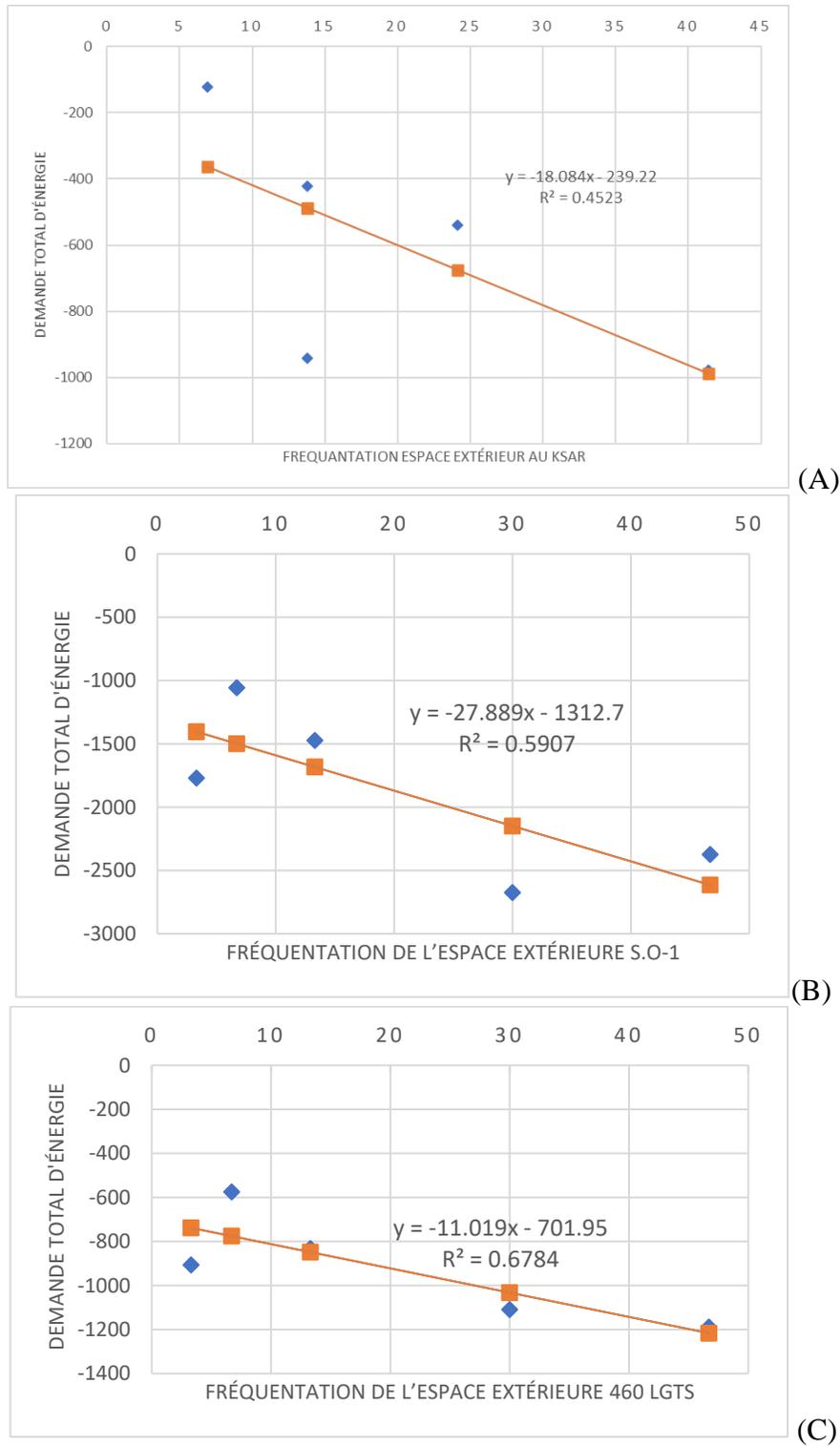
- **Pour la cité des logements collectifs (460 Lgts)** : Le coefficient  $r^2=0.24$  indique une corrélation positive faible ( $0 < r^2 < 0.50$ ).

Cela signifie que la satisfaction thermique extérieure des occupants est étroitement liée à leur consommation d'énergie électrique. Plus ils perçoivent les conditions thermiques extérieures comme inconfortables, plus leur consommation énergétique augmente, notamment pour le refroidissement intérieur. Ce qui confirme que les conditions thermiques extérieures influent sur leur consommation d'énergie.

Ces résultats reflètent la forte dépendance aux équipements modernes de régulation thermique. Les régressions linéaires révèlent une tendance commune : plus les résidents sont insatisfaits des conditions thermiques extérieures, plus leur consommation d'énergie électrique pour le refroidissement intérieur augmente. Ces données soulignent enfin l'importance d'une conception urbaine et architecturale, visant à améliorer le confort thermique tout en limitant l'impact énergétique.



**Figure VI.22:** Corrélation entre la consommation d'énergie électrique pour le refroidissement et la satisfaction des conditions thermique intérieur pour les trois cités de l'étude Ksar(A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C).



**Figure VI.23:** Corrélation entre les besoins d'énergie électrique pour le refroidissement totales et la fréquentation des espaces extérieur pour les trois cités de l'étude Ksar(A), S.O-1 (B) et 460 Lgts (C).

D'un autre côté la corrélation entre la fréquentation des espaces extérieurs au différent quartiers et la demande d'énergie électrique pour le refroidissement total, représente une corrélation positive supérieur à 0.5 pour les deux quartiers S.O-1 avec  $r^2=0.59$  et la cite des 460 Lgts avec  $r^2=0.67$  ( $0.5 < r^2 < 1$ ) par contre au Ksar le coefficient  $r^2=0.45$  qui est légèrement inférieur à 0.5, ceci signifie que le taux de fréquentation des espaces extérieurs au différents quartier diminue d'un quartier a un autre en période estivale. On remarque que moins les gens fréquentent les espaces extérieurs de leurs quartiers plus leurs demandes au refroidissement total augmente. Ceci confirme aussi la différence de demande d'un quartier a un autre, qui s'explique par la qualité thermique des espaces extérieurs de chaque quartier.

A travers la lecture des graphes ci-dessous et les équations de régression indiqués qu'il est bien clair que le confort thermique, la consommation d'énergie électrique représentent des corrélations positive avec les sensations perçue, il permet d'expliquer la relation entre la quantité d'énergie électrique consommé pour le refroidissement et la satisfaction ainsi que le confort thermique des sujets interrogés, aussi la demande des besoins total en énergie électrique pour le refroidissement et l'importance de la climatisation à l'intérieur des maisons dans les trois quartiers examiné.

Le résultat obtenu a traves cette enquête confirme que la perception des utilisateurs des quartiers évaluer envers leurs consommations d'énergie électrique, c'est-à-dire ; les gens habitants les immeubles collectifs en tendance à consommer plus d'énergies électrique en été que dans les autres quartiers, d'autant plus que dans le quartier traditionnel qui est considéré comme le moins énergivore.

## CONCLUSION

Cette dernière partie de l'investigation nous avons abordé le volet de l'évaluation quantitatif des paramètre affectant le confort thermique des bâtiments résidentiels dans la ville de Ouargla caractérise par climat chaud et aride. Cela nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques énergétiques et thermiques des bâtiments résidentielles à Ouargla, une région où le climat saharien est exigeant. Deux axes principaux ont été abordés lors de l'analyse :

**1. Évaluation de la consommation énergétique durant la saison estivale :** Les résultats montrent une consommation énergétique accrue due principalement à l'utilisation intensive de systèmes de refroidissement mécanique pour contrer les températures élevées, ou ces dernières augmente de manière significative essentiellement durant la journée, ce qui va de soit avec la consommation énergétique. Les caractéristiques des bâtiments, notamment leur environnement urbain , jouent un rôle déterminant dans la consommation énergétique.

**2. Evaluation du confort thermique :** l'évaluation du confort thermique a révélé qu'il est souvent compromis dans les bâtiments étudiés. Les matériaux de construction utilisés, l'exposition des façades des habitations tout au long de la journée longue d'été et l'absence de mesures passives pour atténuer les effets de la chaleur sont les principaux facteurs qui contribuent à cette situation.

**3. Corrélation entre les paramètres étudiés :** Une corrélation a été établie entre plusieurs paramètres, tels que les caractéristiques les besoins en climatisation et la consommation énergétique ainsi que le confort thermique pour différentes formes urbaine et architecturales. Ces interactions soulignent l'importance d'une approche intégrée dans la conception des bâtiments pour minimiser les consommations énergétiques tout en améliorant le confort thermique des occupants.

En conclusion, cette étude met en évidence la nécessité d'adopter des stratégies de conception adaptées au climat saharien, sur les deux échelles architecturales telles que l'utilisation de matériaux à haute performance thermique, et des solutions passives comme la végétalisation ou les protections solaires, et urbaine telle que la forme urbaine par sa géométrie et l'importance qu'elle apporte, entre autres l'ombrage. Ces mesures contribueraient non seulement à réduire la consommation énergétique, mais aussi à améliorer significativement le confort thermique des habitants, en particulier durant la saison estivale.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION

Le discours sur l'efficacité énergétique des bâtiments et la forme urbaine a pris une importance primordiale. Par ailleurs le secteur résidentiel se distingue comme le premier consommateur d'énergie électrique, notamment dans un contexte d'urbanisation mondiale accélérée. En outre les paramètres régissant la conception urbaine et architecturale exercent une profonde influence sur le climat urbain, impactant ainsi la performance énergétique des bâtiments et l'utilisation des espaces urbains extérieurs.

La forme urbaine est considérée comme un paramètre clé modérateur des conditions climatiques urbaines. Ainsi l'agencement des bâtiments influence l'accès solaire, impactant à la fois les espaces extérieurs et intérieurs. De plus une forme urbaine inadapté aux conditions climatique de la région peut entraîner un inconfort thermique intérieur, augmentant ainsi la demande en énergie pour le refroidissement en été ou le chauffage en hiver.

Dans les pays émergents, tels que l'Algérie, le développement des normes et réglementations en matière d'efficacité énergétique et de gestion thermique des bâtiments reste encore très limité voire inexistant. Cette lacune se traduit par une absence de prise en compte systématique de la performance thermique des bâtiments lors des phases de conception et de construction. En conséquence, ces bâtiments sont dépendants aux systèmes mécaniques de chauffage et refroidissement d'air, afin de garantir une ambiance thermique confortable à l'intérieur. Cette dépendance a un impact significatif sur la consommation énergétique globale, accentuant les défis environnementaux.

Cette étude s'appuie sur une approche développée pour évaluer comparativement la relation complexe entre la forme urbaine et la consommation énergétique des bâtiments. Cette évaluation est menée en mettant l'accent sur les paramètres de conception à la fois à l'échelle architecturale et urbaine, intégrant respectivement les paramètres du bâtiment et de la forme urbaine.

Pendant la période estivale dans la ville de Ouargla, caractérisé par un climat chaud et aride, la consommation d'énergie pour le refroidissement constitue une proportion importante de la consommation énergétique globale. Les résultats de cette étude nous permettent d'identifier le tissu urbain le plus approprié pour un environnement urbain aussi aride pour atteindre une efficacité énergétique optimale. De plus, nous identifions les paramètres de conception qui

exercer l'influence la plus significative sur la consommation d'énergie dans ce contexte. L'étude met l'accent sur l'évaluation de la demande de refroidissement pendant l'été.

Une approche intégrée, qui considère à la fois l'échelle du bâtiment et l'échelle urbaine, est essentielle pour minimiser la consommation énergétique dans les quartiers de la ville de Ouargla. Après une analyse urbaine des tissus qui compose la ville, trois formes urbaines se sont distinguées composant l'ensemble de la ville ; de chaque forme un tissu a été sélectionné comme tissu représentatif ; un tissu très dense : le ksar comme noyau initial de la ville, un tissu de densité modérée : quartier Said Otba-1 comme tissu auto-construit, et un tissu dispersé : cité des 460 Logements collectif. En tenant compte des interactions entre la conception des bâtiments et l'environnement urbain, cette approche permet d'améliorer la gestion thermique à la fois à l'échelle individuelle du bâtiment et au niveau du quartier. Cela garantit non seulement une réduction de la consommation énergétique, mais aussi un confort thermique optimal pour les occupants, en particulier dans les régions soumises à des conditions climatiques extrêmes.

Les résultats éclairent l'impact de la forme urbaine sur la charge énergétique de refroidissement et la demande totale d'énergie de refroidissement. Plus précisément, la consommation d'énergie présente une corrélation avec la forme urbaine, où les tissus plus denses sont corrélés à des besoins énergétiques plus faibles, tandis que les tissus plus dispersés et aérés (densité modérée à faible) coïncident avec des besoins énergétiques de refroidissement des ménages plus élevés. Les résultats de cette étude fournissent des lignes directrices essentielles pour les efforts de recherche à venir visant à améliorer le confort thermique extérieur et la performance énergétique dans un environnement aride. Par conséquent, ces connaissances contribuent au développement de conceptions de quartiers urbains plus durables, favorisant une compréhension plus approfondie du lien entre la forme urbaine et l'efficacité énergétique.

Pour remédier à ce problème, il est impératif d'introduire des réglementations strictes qui encouragent l'intégration de solutions de conception bioclimatique et essentiellement inspire de l'architecture traditionnelle, dans le secteur du bâtiment. Cela inclut l'obligation d'utiliser des matériaux à haute performance thermique, l'incitation à adopter des orientations architecturales favorables, ainsi que la promotion de technologies adaptées aux climats locaux. Ces mesures contribueraient non seulement à réduire la dépendance aux systèmes énergivores, mais

également à améliorer le confort thermique des occupants tout en rendant les bâtiments plus durables et respectueux de l'environnement.

## **RECOMMANDATION**

Les résultats de cette recherche ont été utilisés pour élaborer un ensemble de recommandations visant à orienter la conception des bâtiments résidentiels tout en tenant compte de l'environnement urbain dans des contextes à climat chaud et sec. Ces recommandations visent globalement à améliorer le confort thermique des occupants tout en minimisant la consommation énergétique des bâtiments. Ces recommandations peuvent être attribuées à des paramètres sur les deux échelles distinctes :

### **A l'échelle urbaine :**

La forme urbaine, en particulier géométrie urbaine exprimée par le rapport hauteur/largeur (H/L), joue un rôle déterminant dans l'exposition des surfaces urbaines au rayonnement solaire, notamment dans les climats chauds et arides. Il est donc nécessaire d'augmenter l'ombrage des espaces urbains par un rapport H/L élevé, caractérisé par des bâtiments plus hauts par rapport à la largeur des rues. Cette configuration limite l'exposition directe des surfaces au rayonnement solaire, réduisant ainsi les besoins en refroidissement des bâtiments et contribuant à une meilleure efficacité énergétique.

### **A l'échelle architecturale :**

L'enveloppe des bâtiments constitue un élément fondamental dans la gestion des échanges thermiques, influençant directement les performances énergétiques des bâtiments. La performance thermique d'un bâtiment dépend en grande partie de la conductivité thermique des matériaux utilisés, mesurée par la valeur U, ainsi que de l'épaisseur des murs. Dans un climat chaud et aride, il est fondamental de choisir avec soin les matériaux et l'épaisseurs des murs des constructions, choisissant des matériaux à faible valeur U, qui présentent une conductivité thermique réduite, ainsi que des murs plus épais, agissent comme des barrières thermiques efficaces. Ces caractéristiques permettent de limiter les pertes de chaleur en hiver et de réduire

les gains thermiques en été. Ceci contribue à stabiliser la température intérieure du bâtiment, et réduit les besoins en climatisation pendant les périodes de surchauffe.

## **LIMITES DE LA RECHERCHE**

Bien que les résultats obtenus soient pertinents, le déroulement de cette recherche a été restreint par le manque de certains moyens, considéré comme une contrainte majeure, il convient de souligner plusieurs limites ; à savoir :

L'étude s'est limitée uniquement sur une seule habitation dans chaque quartier qui est une limite du logiciel utilisé. Il serait utile d'étendre l'étude à tous les bâtiments de la ville de Ouargla et d'évaluer la consommation et le confort thermique.

L'étude paramétrique s'est focalise uniquement sur la valeur U de l'enveloppe du bâtiment a l'échelle architecturale. Il est donc nécessaire d'étudier d'autres paramètres tels que la taille des fenêtres, le type de vitrage, l'orientation des fenêtres.

A l'échelle urbaine le travail s'est limité au ration H/L, alors qu'il existe plusieurs paramètres qui peuvent modifier la qualité thermique des espaces et sa consommation énergétique.

Ce travail c'est limiter à une maison type essentielle pour l'habitat individuelle alors qu'il existe nombre illimité d'exemples et une variété de typologie à investir à examiner.

L'étude s'est focalisée sur l'état réel des habitations type évaluer , Il serait intéressant d'examiner les stratégies passive et de les intégrer pour améliorer la qualité thermique des logements et minimiser la consommation énergétique .

La consommation énergétique s'est limitée uniquement à l'électricité pour le refroidissement en été , il serait important d'élargir l'étude aux autres sources et facteurs de consommation énergétique telle que l'éclairage et le gaz et cela durant toute l'année.

Un obstacle majeur était dû au manque d'instruments de mesure permettant d'enregistrer des valeurs sur de longues périodes (jours, mois, années) afin de bien évaluer le confort thermique et son effet sur la consommation énergétique du bâtiment résidentiel. Celle-ci aurait pu être plus intéressante si les instruments de mesure étaient disponibles, tel que recommandé dans la littérature.

## **PISTE DE FUTURE RECHERCHE :**

Les futurs efforts de recherche se pencheront sur l'évaluation de paramètres supplémentaires à l'échelle urbaine, englobant le confort thermique extérieur et l'impact de la végétation sur l'atténuation des températures extérieures.

- L'optimisation de la forme urbaine adaptée au contexte climatique avec un bâtiment résidentiel a des paramètres qui s'adapte aux conditions climatiques spécifique de la ville de Ouargla (climat chaud et aride) ainsi que la vie sociale et culturelles de la région, sera un objectif de nos recherches futures.

- L'ajout de la végétation comme paramètre dans les nouveaux quartiers pour améliorer le confort thermique intérieure et diminuer la consommation énergétique et par conséquence le confort extérieur

L'étude a été porté uniquement sur l'enveloppe du bâtiment , il serait utile d'utiliser d'autre paramètre telle que la taille des fenêtres.

- L'étude a pris un seul bâtiment simuler dans son contexte, la taille du quartier et le nombre des bâtiments n'a pas été pris en considération, l'effet de réflexion des bâtiment environnement uniquement a été pris en considération

- L'étude actuelle se concentre sur une maison type , or que les logements contemporains diffèrent par leur taille leur orientation leur forme .... Le nombre d'exemples à investir et d'autres types de bâtiments résidentiels à examiner pourraient également être envisagé dans des recherches futures.

- L'étude n'a examiné que le comportement thermique de l'orientation nord-sud des logements pris comme cas d'étude, cependant, il est nécessaire de prendre en considération toutes les orientations pour disposer d'un grand panorama du comportement thermique de l'enveloppe.

- Des techniques de recherche alternatives, telles que les mesures in situ, seront intégrées.

## BIBLIOGRAPHIE

**Abdallah**, A. S. H. (2015). The influence of urban geometry on thermal comfort and energy consumption in residential building of hot arid climate, Assiut, Egypt. *Procedia Engineering*, 121, 158-166.

**Abdallah**, A. S. H. (2021). Passive air cooling system and solar water heater with Phase Change Material for low energy buildings in hot arid climate. *Energy and Buildings*, 239, 110854.

**Achour-Younsi**, S., & Kharrat, F. (2016). Outdoor thermal comfort: impact of the geometry of an urban street canyon in a Mediterranean subtropical climate—case study Tunis, Tunisia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 689-700.

**Adolphe**, L. (2001). A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and planning B: planning and design*, 28(2), 183-200.

**Aflaki**, A., Mahyuddin, N., Mahmoud, Z. A. C., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and buildings*, 101, 153-162.

**Ahmadian**, E., Byrd, H., Sodagar, B., Matthewman, S., Kenney, C., & Mills, G. (2019). Energy and the form of cities: the counterintuitive impact of disruptive technologies. *Architectural science review*, 62(2), 145-151.

**Ahmadian**, E., Sodagar, B., Mills, G., & Bingham, C. (2019, November). Correlation of urban built form, density and energy performance. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1343, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

**Akın**, C. T., Bekleyen, A., & Yıldırım, M. (2016). Preservation initiatives for the truncated pyramid-shaped traditional houses of Siirt, Turkey. *Frontiers of Architectural Research*, 5(3), 360-370.

**Al-hagla**, K. S., & El-sayad, Z. T. (2019). Using simulation methods to investigate the impact of urban form on human comfort. Case study: Coast of Baltim, North Coast, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 273-282.

**Ali-Toudert**, F. (2009, June). Energy efficiency of urban buildings: significance of urban geometry, building construction and climate conditions. In *The Seventh International Conference on Urban Climate* (Vol. 29).

**Ali-Toudert**, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and environment*, 41(2), 94-108.

**Ali-Toudert**, F., Djenane, M., Bensalem, R., & Mayer, H. (2005). Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate research*, 28(3), 243-256.

**Allaire**, J. (2006). Choisir son mode de ville: formes urbaines et transports dans les villes émergentes. *Cahiers de global chance*, (21), 66-70.

**Allegrini, J., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2016).** Impact of radiation exchange between buildings in urban street canyons on space cooling demands of buildings. *Energy and Buildings*, 127, 1074-1084.

**Amer, E. H. (2006).** Passive options for solar cooling of buildings in arid areas. *Energy*, 31(8-9), 1332-1344.

**Anderson, W. P., Kanaroglou, P. S., & Miller, E. J. (1996).** Urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy. *Urban studies*, 33(1), 7-35.

**Andreou, E. (2014).** The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63, 587-596.

**Andreou, E., & Axarli, K. (2012).** Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment. Experimental investigation and parametric analysis. *Renewable Energy*, 43, 354-363.

**Anna-Maria, V. (2009).** Evaluation of a sustainable Greek vernacular settlement and its landscape: Architectural typology and building physics. *Building and Environment*, 44(6), 1095-1106.

**Arantes, L., Marry, S., Baverel, O., & Quenard, D. (2016).** Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

**Arnfield, A.J. (2003).** Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1): p. 1-26.

**Avenidaño-Vera, C., Martinez-Soto, A., & Marincioni, V. (2020).** Determination of optimal thermal inertia of building materials for housing in different Chilean climate zones. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110031.

**Aydin, D., & Mihlayanlar, E. (2020).** A case study on the impact of building envelope on energy efficiency in high-rise residential buildings. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 13(1), 5-18.

**Baran, M., Yıldırım, M., & Yılmaz, A. (2011).** Evaluation of ecological design strategies in traditional houses in Diyarbakir, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 609-619.

**Baris, M. E., Sahin, S., & Yazgan, M. E. (2009).** The contribution of trees and green spaces to the urban climate: The case of Ankara. *African Journal of Agricultural Research*, 4(9), 791-800.

**Belguidoum, S. (2002).** Urbanisation et urbanité au Sahara. *Méditerranée: revue géographique des pays méditerranéens*, 99, 53-64.

**Benchekroun, M., Chergui, S., Ruggiero, F., & Di Turi, S. (2020).** Indoor Microclimate Conditions and the impact of transformations on hygrothermal comfort in the old ottoman houses in Algiers. *International Journal of Architectural Heritage*.

**Bencherif, M. C. (2008).** Touggourt ou la dynamique d'une ville aux sept ksour. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 9-18.

- Berkovic, S., Yezioro, A., & Bitan, A.** (2012). Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186.
- Bodach, S., Lang, W., & Hamhaber, J.** (2014). Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. *Energy and Buildings*, 81, 227-242.
- Bonan, G. B.** (1997). Effects of land use on the climate of the United States. *Climatic Change*, 37(3), 449-486.
- Bouillot, J.** (2008). Climatic design of vernacular housing in different provinces of China. *Journal of environmental management*, 87(2), 287-299.
- Boukhabl, M., & Alkam, D.** (2012). Impact of vegetation on thermal conditions outside, Thermal modeling of urban microclimate, Case study: the street of the republic, Biskra. *Energy Procedia*, 18, 73-84.
- Bourbia, F., & Awbi, H. B.** (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: Part 1: Air and surface temperature measurements. *Renewable energy*, 29(2), 249-262.
- Bourbia, F., & Boucheriba, F.** (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi-arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2), 343-347.
- Bousquet, C.** (2002). L'habitat mozabite au M'Zab. In P. R. Baduel (éd.), *Habitat, État, société au Maghreb* (1-). CNRS Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.815>. (Consulter en ligne le 29/10/2024 à 10h30)
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S.** (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.
- Bragança, L., Mateus, R., & Koukkari, H.** (2010). Building sustainability assessment. *Sustainability*, 2(7), 2010-2023.
- Cabeza, L. F., & Chàfer, M.** (2020). Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: A systematic review. *Energy and Buildings*, 219, 110009.
- Cañas, I., & Martín, S.** (2004). Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and environment*, 39(12), 1477-1495.
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stefanizzi, P.** (2013). Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello. *Building and Environment*, 59, 590-598.
- Carmelieta, J., Kubilayb, A., Ferrara, A., & Deromec, D.** (2020). The physics of the outdoor urban climate. Scientific Committee, 105.
- Chaba, M.** (2002). Une vieille cité devenue métropole: Ouargla (Note). *Méditerranée*, 99(3), 103-106.
- Chenvidyakarn, T.** (2007). Passive design for thermal comfort in hot humid climates. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 5(1), 1-28.
- Chow, T. T., Li, C., & Lin, Z.** (2010). Innovative solar windows for cooling-demand climate. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(2), 212-220.

**Coccolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J. L., & Pearlmutter, D. (2016).** Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Urban Climate*, 18, 33-57.

**Coch, H. (1998).** —Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2(1-2), 67-87.

**Côte, M. (Ed.). (2005).** La ville et le désert: le Bas-Sahara algérien. Karthala Éditions.

**Crank, P. J., Middel, A., Wagner, M., Hoots, D., Smith, M., & Brazel, A. (2020).** Validation of seasonal mean radiant temperature simulations in hot arid urban climates. *Science of the Total Environment*, 749, 141392.

**Curra, E., Cecere, C., Helena, C., Morganti, M., & Salvati, A. (2019).** Energy Behavior of Compact Urban Fabric (chapter 9.2. Energy Efficiency in Building Renovation). In *Handbook of Energy Efficiency in Buildings. A Life Cycle Approach* (pp. 714-740). Butterworth-Heinemann.

**da Silva, J. J. C., & Sirgado, J. (2015).** Arquitetura Vernácula, Arquitetura Bioclimática e Eficiência Energética. *Contributos da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade do ambiente construído*, 9.

**Desa, U. N. (2014).** World urbanization prospects, the 2011 revision. *Population Division, department of economic and social affairs, United Nations Secretariat*.

**Djeddou, B., Daich, S., & Femmam, A. (2024).** The impact of urban form on the energy efficiency of residential buildings in a hot climate. Case study: Ouargla city. *Journal of Building Physics*, 17442591241289579.

**Du, X., Bokel, R., & van den Dobbelen, A. (2014).** Building microclimate and summer thermal comfort in free-running buildings with diverse spaces: A Chinese vernacular house case. *Building and Environment*, 82, 215-227.

**Ebuy, H. T., Bril El Haouzi, H., Benelmir, R., & Pannequin, R. (2023).** Occupant Behavior Impact on Building Sustainability Performance: A Literature Review. *Sustainability*, 15(3), 2440.

**Ergün, R., & Bekleyen, A. (2024).** An architectural taxonomic proposal for passive design strategies used in traditional architecture of areas with hot and dry climates. *Journal of Engineering Research*.

**Escourrou, G. (1980).** Climat et environnement, Paris, Masson

**Escourrou, G. (1991).** Le climat et la ville. *Nathan University Editions, Paris*.

**Ewing, R., & Rong, F. (2008).** The impact of urban form on US residential energy use. *Housing policy debate*, 19(1), 1-30.

**Fernandes, J., Malheiro, R., Castro, M. D. F., Gervásio, H., Silva, S. M., & Mateus, R. (2020).** Thermal performance and comfort condition analysis in a vernacular building with a glazed balcony. *Energies*, 13(3), 624.

**Fernandes, J., Mateus, R., Bragança, L., & Correia da Silva, J. J. (2015).** Portuguese vernacular architecture: The contribution of vernacular materials and design approaches for sustainable construction. *Architectural Science Review*, 58(4), 324-336.

**Finch, G., Burnett, E., Knowles, W., & Eng, P.** (2010, April). Energy consumption in mid- and high-rise residential buildings in British Columbia. In *Building Enclosure Science & Technology (BEST2) Conference* (pp. 1-16).

**Foruzanmehr, A.** (2015). People's perception of the loggia: A vernacular passive cooling system in Iranian architecture. *Sustainable cities and society, 19*, 61-67.

**Foruzanmehr, A., & Nicol, F.** (2008, July). Towards new approaches for integrating vernacular passive-cooling systems into modern buildings in warm-dry climates of Iran. In *Proceeding of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge, Windsor, London*.

**Futcher, J. A., & Mills, G.** (2013). The role of urban form as an energy management parameter. *Energy Policy, 53*, 218-228

**Ghorbani Naeini, H., Norouziasas, A., Piraei, F., Kazemi, M., Kazemi, M., & Hamdy, M.** (2023). Impact of building envelope parameters on occupants' thermal comfort and energy use in courtyard houses. *Architectural Engineering and Design Management, 1-27*.

**Givoni, B.** (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, 25(3)*, 289-299.

**Golany, G. S.** (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment, 30(3)*, 455-465.

**Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R.** (1991). An evapotranspiration-interception model for urban areas. *Water resources research, 27(7)*, 1739-1755.

**Guesmi, H., Soussi, M., Abbassi, F., Adili, A., & Dehmani, L.** (2024). Energy efficiency of ecological buildings in Tunisia: Natural fiber composites and passive strategies impact. *Journal of Building Physics, 17442591241246053*.

**Guhathakurta, S., & Williams, E.** (2015). Impact of urban form on energy use in central city and suburban neighborhoods: lessons from the phoenix metropolitan region. *Energy Procedia, 75*, 2928-2933.

**Guo, P., Ding, C., Guo, Z., Liu, T., & Lyu, T.** (2022). Coupling CFD simulation and field experiments in summer to prove Feng Shui optimizes courtyard wind environments: A case study of Prince Kung's mansion in Beijing. *Buildings, 12(5)*, 629.

**Hachem, C., Athienitis, A., & Fazio, P.** (2011). Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs. *Energy and Buildings, 43(9)*, 2262-2273.

**Hachem, C., Athienitis, A., & Fazio, P.** (2011). Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units. *Solar Energy, 85(9)*, 1864-1877.

**Hamilton, I., Evans, S., Steadman, P., Godoy-Shimizu, D., Donn, M., Shayesteh, H., & Moreno, G.** (2017). The energy implications of building tall cities. *Energy Procedia, 122*, 493-498.

**Hamin, E. M., & Gurrán, N.** (2009). Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the US and Australia. *Habitat international, 33(3)*, 238-245.

**Haoui, S.** (2009). Le ksar de Timimoun, Typologie architecturale des édifices majeurs (kasbas) et mineurs (habitations). *Revue Mediterranea, La Citta Storica, Université de Calabre*, 2(2), pp. 42-47.

**Hassan, A. M., ELMokadem, A. A., Megahed, N. A., & Eleinen, O. M. A.** (2020). Urban morphology as a passive strategy in promoting outdoor air quality. *Journal of Building Engineering*, 29, 101204.

**Heinonen, J., & Junnila, S.** (2014). Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland. *Energy and buildings*, 76, 295-303.

**Huang, Y.** (2010). *Methodology of climatic design of urban district for buildings energy efficiency* (Doctoral dissertation, Ecole Centrale de Nantes).

**Humphreys, M. A., & Nicol, J. F.** (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and buildings*, 34(6), 667-684.

**Hurlimann, A., Moosavi, S., & Browne, G. R.** (2021). Urban planning policy must do more to integrate climate change adaptation and mitigation actions. *Land Use Policy*, 101, 105188.

**Hussain, S., & Oosthuizen, P. H.** (2012). Validation of numerical modeling of conditions in an atrium space with a hybrid ventilation system. *Building and Environment*, 52, 152-161.

**Ifeoma, A. J., & Akande, I.** (2021). Impact of Building Orientation on Building Performance. *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol*, 6, 16.

**Jalali, Z., Shamseldin, A. Y., & Ghaffarianhoseini, A.** (2024). Urban microclimate impacts on residential building energy demand in Auckland, New Zealand: A climate change perspective. *Urban Climate*, 53, 101808.

**Jamal, B., El Moutaouakil, L., Boukendil, M., Abdelbaki, A., & Zrikem, Z.** (2023). Numerical analysis of combined heat transfers through concrete hollow bricks in a hot climate of Morocco. *Journal of Building Physics*, 47(2), 230-246.

**Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y.** (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002-1017.

**Jiang, C., Zhou, Y., Li, K., & Wei, D.** (2023). Impact of green roof and green facade on building thermal performance and carbon sequestration in subtropical climate of China. *Journal of Building Physics*, 46(5), 602-629.

**Johansson, E.** (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and environment*, 41(10), 1326-1338.

**Joiner, D.** (2010). Sustainable Urban Behaviour. In *New Zealand Sustainable Building Conference SB10*.

**Katili, A. R., Boukhanouf, R., & Wilson, R.** (2015, August). Space cooling in buildings in hot and humid climates—a review of the effect of humidity on the applicability of existing

cooling techniques. In *14th International Conference on Sustainable Energy Technologies* (Vol. 3, p. 90).

**Kazemi, M., Rahif, R., Courard, L., & Attia, S. (2023).** Sensitivity analysis and weather condition effects on hygrothermal performance of green roof models characterized by recycled and artificial materials' properties. *Building and Environment*, 237, 110327.

**Kebaili, A. (2015).** La Ville Saharienne En Algérie Entre Mutations Et Stratégies D'intervention « Cas D'Ouargla ».

**Kenworthy J., Laube F., Barter P., Raad T. Poboan C. Guia B. (2000)** An international sourcebook of automobile dependence in cities, 1960-1990. Boulder, USA, University Press of Colorado, 2000.

**Khalili, M., & Amindeldar, S. (2014).** Traditional solutions in low energy buildings of hot-arid regions of Iran. *Sustainable Cities and Society*, 13, 171-181.

**Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021).** Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of the Total Environment*, 779, 146389.

**Kocagil, I. E., & Oral, G. K. (2015).** The effect of building form and settlement texture on energy efficiency for hot dry climate zone in Turkey. *Energy Procedia*, 78, 1835-1840.

**Kondo, A., Ueno, M., Kaga, A., & Yamaguchi, K. (2001).** The influence of urban canopy configuration on urban albedo. *Boundary-Layer Meteorology*, 100, 225-242.

**Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020).** A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *Science of the Total Environment*, 742, 140092.

**Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019).** A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337-353.

**Lavafpour, Y., & Surat, M. (2011).** Passive low energy architecture in hot and dry climate. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(8), 757-765.

**Lee, S., & Lee, B. (2014).** The influence of urban form on GHG emissions in the US household sector. *Energy policy*, 68, 534-549.

**Levy, A. (1993).** Le système résidentiel urbain et son fonctionnement socio-sémiotique: connotations sociales de l'espace et styles de vie. *Espaces et sociétés* (Paris, France), 73(2), 99-116.

**Levy, A. (1996).** Crise et dysfonctionnements de la ville de l'âge démocratique, l'urbanisme en question. In *Villes en projets* (pp. 1991-199). Maison des sciences de l'homme d'Aquitaine.

**Lévy, A. (2005).** Formes urbaines et significations: revisiter la morphologie urbaine. *Espaces et sociétés*, 122(3), 25-48.

**Li, H., Hong, T., Lee, S. H., & Sofos, M. (2020).** System-level key performance indicators for building performance evaluation. *Energy and Buildings*, 209, 109703.

**Lin, P., Gou, Z., Lau, S. S. Y., & Qin, H. (2017).** The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: A literature review. *Energies*, 10(12), 2151.

- Lindsey, R., & Dahlman, L. (2020).** Climate change: Global temperature. *Climate. gov*, 16.
- Lomas, K. J. (2010).** Carbon reduction in existing buildings: a transdisciplinary approach.
- Lopez-Cabeza, V. P., & Agarwal, A. (2022).** Sustainable strategies for improving passive survivability of the traditional Pol House in Ahmedabad, India. *Building and Environment*, 207, 108503.
- Lotfabadi, P., & Hançer, P. (2019).** 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(13), 3582.
- Madandoust, R., Bazkijaei, Z. F. Z., & Kazemi, M. (2018).** Factor influencing point load tests on concrete. *Asian Journal of Civil Engineering*, 19, 937-947.
- Mangan, S. D., Oral, G. K., Sozen, I., & Kocagil, I. E. (2020).** Evaluation of settlement textures in terms of building energy, economic performance, and outdoor thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102110.
- Mangan, S. D., Sozen, I., Oral, G. K., & Kocagil, I. E. (2018).** Effect of Urban Texture on Building Energy Performance.
- Manioğlu, G., & Yılmaz, Z. (2008).** Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey. *Building and Environment*, 43(7), 1301-1309.
- Mansouri, O., Belarbi, R., & Bourbia, F. (2017).** Albedo effect of external surfaces on the energy loads and thermal comfort in buildings. *Energy procedia*, 139, 571-577.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015).** Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and sustainable energy reviews*, 49, 736-755.
- March, L. (1972).** Elementary models of built forms. *Urban space and structures*, 55-96.
- Mazouz, S., & Zerouala, M. S. (1999).** The derivation and re-use of vernacular urban space concepts. *Architectural Science Review*, 42(1), 3-13.
- Mazraeh, H. M., & Pazhouhanfar, M. (2018).** Effects of vernacular architecture structure on urban sustainability case study: Qeshm Island, Iran. *Frontiers of architectural research*, 7(1), 11-24.
- Meir, I. A., & Roaf, S. C. (2002).** Thermal comfort–thermal mass: housing in hot dry climates. *Indoor Air*, 2002, 1050-1055.
- Melo, F. C., da Graça, G. C., & Panão, M. J. O. (2023).** A review of annual, monthly, and hourly electricity use in buildings. *Energy and Buildings*, 293, 113201.
- Mercer, E. (1975).** English vernacular houses: a study of traditional farmhouses and cottages. Volume 50 , Issue 199-200 , pp. 250 – 251.
- Mitchell, G. (2005).** Urban development, form and energy use in buildings: A review for the solutions project. *EPSRC SUE SOLUTIONS Consortium*.
- Moein, M. M., Saradar, A., Rahmati, K., Rezakhani, Y., Ashkan, S. A., & Karakouzian, M. (2023).** Reliability analysis and experimental investigation of impact resistance of concrete

reinforced with polyolefin fiber in different shapes, lengths, and doses. *Journal of Building Engineering*, 69, 106262.

**Mohammed A.** & all(2016). The Effect of Urban Geometry on the Microclimate in Hot-Arid Climates: A Case Study of Riyadh, Saudi Arabia. *PLEA*, volume 2 p. 1029-1036

**Monteiro, R.,** Ferreira, J. C., & Antunes, P. (2020). Green infrastructure planning principles: An integrated literature review. *Land*, 9(12), 525.

**Moonen, P.,** Defraeye, T., Dorer, V., Blocken, B., & Carmeliet, J. (2012). Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. *Frontiers of Architectural Research*, 1(3), 197-228.

**Morganti, M.,** Salvati, A., Coch, H., & Cecere, C. (2017). Urban morphology indicators for solar energy analysis. *Energy Procedia*, 134, 807-814.

**Moroni, S.** (2016). Urban density after Jane Jacobs: the crucial role of diversity and emergence. *City, Territory and Architecture*, 3, 1-8.

**Mutani, G.,** & Todeschi, V. (2020). Building energy modeling at neighborhood scale. *Energy Efficiency*, 13(7), 1353-1386.

**Mutani, G.,** Carozza, M., Todeschi, V., & Rolando, A. (2020, November). Urban-Scale Energy Models: relationship between urban form and energy performance. In *2020 IEEE 3rd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)* (pp. 000185-000190). IEEE.

**Myors, P.,** O'Leary, R., & Helstroom, R. (2005). Multi-unit residential buildings energy & peak demand study. *Energy News*, 23(4), 113-116.

**Narimani Abar, S.,** Schulwitz, M., & Faulstich, M. (2023). The Impact of Urban Form and Density on Residential Energy Use: A Systematic Review. *Sustainability*, 15(22), 15685.

**Natanian, J.,** Aleksandrowicz, O., & Auer, T. (2019). A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts. *Applied Energy*, 254, 113637.

**Nault, E.,** Peronato, G., Rey, E., & Andersen, M. (2015). Review and critical analysis of early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs. *Building and environment*, 92, 679-691.

**Nejat, P.,** Jomehzadeh, F., Taheri, M. M., Gohari, M., & Majid, M. Z. A. (2015). A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable and sustainable energy reviews*, 43, 843-862.

**Newell, R.,** Raimi, D., Villanueva, S., & Prest, B. (2021). Global energy outlook 2021: Pathways from Paris. *Resources for the Future*, 8, 39.

**Newman P.** and Kenworthy J. (1989) *Cities and Automobile Dependence*. An international Sourcebook, Gower Technical, Sidney.

**Ng, E.** (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities–air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and environment*, 44(7), 1478-1488.

- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003).** Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and buildings*, 35(1), 95-101.
- Oh, M., & Kim, Y. (2019).** Identifying urban geometric types as energy performance patterns. *Energy for Sustainable Development*, 48, 115-129.
- Oikonomou, A., & Bougiatioti, F. (2011).** Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment*, 46(3), 669-689.
- Oke, T. R. (1976).** The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277
- Oke, T. R. (1981).** Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1(3), 237-254
- Oke, T. R. (1988).** Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11(1-3), 103-113.
- Oke, T. R. (1989).** The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 324(1223), 335-349.
- Pajek, L., & Košir, M. (2021).** Exploring climate-change impacts on energy efficiency and overheating vulnerability of bioclimatic residential buildings under central European climate. *Sustainability*, 13(12), 6791.
- Panão, M. J. O. (2024).** Energy Ratings as Drivers of Energy Sufficiency in Residential Buildings: A Comprehensive Review and Future Directions. *Energy and Buildings*, 114583.
- Perini, K., & Magliocco, A. (2014).** Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495-506.
- Petralli, M., Massetti, L., Brandani, G., & Orlandini, S. (2014).** Urban planning indicators: useful tools to measure the effect of urbanization and vegetation on summer air temperatures. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1236-1244.
- Pigeon, G., Lemonsu, A., Masson, V., & Hidalgo, J. (2008).** De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville. *La Météorologie*, (62), PP-39.
- Poddar, A., Balani, A., & Jaiswal, H. (2024).** Optimizing Residential Building Orientation: "A Model-Based Approach to Improve Comfort and Efficiency". *International Research Journal on Advanced Engineering and Management (IRJAEM)*.
- Priya, R. S., Sundarraja, M. C., Radhakrishnan, S., & Vijayalakshmi, L. (2012).** Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India—a qualitative and quantitative analysis. *Energy and Buildings*, 49, 50-61.
- Rafiyan, M., Fath Jalali, A., & Dadashpoor, H. (2011).** Evaluating the effect of building form and density on urban energy consumption (case study: Hashtgerd new town). *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 4(6), 107-116.
- Ramezani, B., Yehkohan, F. M., & Shafaghati, M. (2013).** Assessing and feasibility of climatic comfort in Bandar-e Anzali by effective temperature model and evans.

**Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K.** (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and buildings*, 37(7), 762-776.

**Rickaby, P. A.** (1987). An approach to the assessment of the energy efficiency of urban built form. *Energy and Urban Built Form*, 43-61.

**Rickwood, P., Glazebrook, G., & Searle, G.** (2008). Urban structure and energy—a review. *Urban policy and research*, 26(1), 57-81.

**Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U.** (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, 20(1), 120-128.

**Roaf, S., & Hancock, M.** (1992). *Energy efficient building: A Design Guide*. Blackwell Science Ltd.

**Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., & Schofield, J.** (2014). Cities and energy: urban morphology and residential heat-energy demand. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 138-162.

**Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., Nouri, A. S., & Matzarakis, A.** (2021). Assessing the influence of street configurations on human thermal conditions in open balconies in the Mediterranean climate. *Urban Climate*, 40, 100975.

**Rodríguez-Álvarez, J.** (2016). Urban Energy Index for Buildings (UEIB): A new method to evaluate the effect of urban form on buildings' energy demand. *Landscape and Urban Planning*, 148, 170-187.

**Rodríguez-Gallego, J. A., Diz-Mellado, E., Chacón, T., Rebollo, C. G. M., & Rivera-Gómez, C.** (2024). Pedestrians' urban thermal comfort: A machine learning assessment through transect walks.

**Roncayolo, M.** (1996). *Les grammaires d'une ville: essai sur la genèse des structures urbaines à Marseille*.

**Rose, L., Horrison, E., & Venkatachalam, L. J.** (2011). Influence of built form on the thermal comfort of outdoor urban spaces. In *The 5th International Conference of the International Forum of Urbanism (IFoU)*.

**Sahebzadeh, S., Heidari, A., Kamelnia, H., & Baghbani, A.** (2017). Sustainability features of Iran's vernacular architecture: A comparative study between the architecture of hot-arid and hot-arid-windy regions. *Sustainability*, 9(5), 749.

**Salat, S.** (2009). Energy loads, CO2 emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behaviour. *Building Research & Information*, 37(5-6), 598-609.

**Salman, A. M., & Saleem, Y. M.** (2021). The effect of Urban Heat Island mitigation strategies on outdoor human thermal comfort in the city of Baghdad. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 838-856.

**Salvati, A., Coch, H., & Morganti, M.** (2017). Effects of urban compactness on the building energy performance in Mediterranean climate. *Energy Procedia*, 122, 499-504.

**Salvati, A.,** Kolokotroni, M., Kotopouleas, A., Watkins, R., Giridharan, R., & Nikolopoulou, M. (2022). Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates. *Building and Environment*, 207, 108459.

**Sanaieian, H.,** Tenpierik, M., Van Den Linden, K., Seraj, F. M., & Shemrani, S. M. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551-560.

**Schaeffer, K. H., & Sclar, E.** (1975). *Access for all: transportation and urban growth*. Columbia University Press.

**Seto, K. C., & Shepherd, J. M.** (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95.

**Singh, M. K.,** Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2010). Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and environment*, 45(2), 320-329.

**Singh, M. K.,** Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2011). Solar passive features in vernacular architecture of North-East India. *Solar Energy*, 85(9).

**Sola, A.,** Corchero, C., Salom, J., & Sanmarti, M. (2020). Multi-domain urban-scale energy modelling tools: A review. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101872.

**Sözen, I., & Oral, G. K.** (2019). Evaluation of Parameters Affecting Energy Efficiency of Vernacular Mardin Houses: A Case Study. *Megaron*, 14(1).

**Sözen, M. Ş., & Gedik, G. Z.** (2007). Evaluation of traditional architecture in terms of building physics: old Diyarbakir houses. *Building and Environment*, 42(4), 1810-1816.

**Steadman, P.,** and F. Brown. (1987). "Estimating the Exposed Surface Area of the Domestic Stock." In *Energy and Urban Built Form*, 113–131. London: Butterworth-Heinemann.

**Steadman, P.,** S. Evans, and M. Batty. (2009). "Wall Area, Volume and Plan Depth in the Building Stock." *Building Research & Information* 37: 455–467.

**Stemmers, K.** (2003). "Energy and the City: Density, Buildings and Transport." *Energy and Buildings* 35: 3–14.

**Strømman-Andersen, J., & Sattrup, P. A.** (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and buildings*, 43(8).

**Tabesh, T., & Sertyesilisik, B.** (2016). An investigation into energy performance with the integrated usage of a courtyard and atrium. *Buildings*, 6(2), 21.

**Taha, H.,** Akbari, H., Rosenfeld, A., & Huang, J. (1988). Residential cooling loads and the urban heat island—the effects of albedo. *Building and environment*, 23(4), 271-283.

**Taha, H.,** Douglas, S., & Haney, J. (1997). Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation. *Energy and Buildings*, 25(2), 169-177.

**Taher, T.D, M. S.,** Bayat, S., & Zojaji, N. (2022). The effect of building plan form on thermal comfort in the traditional residential patterns of the hot and dry climate of Qom. *Heritage Science*, 10(1), 185.

**Taleb, D., & Abu-Hijleh, B.** (2013). Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. *Renewable energy*, *50*, 747-762.

**Taleghani, M., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A.** (2012). Environmental impact of courtyards—A review and comparison of residential courtyard buildings in different climates. *Journal of Green Building*, *7*(2), 113-136.

**Taleghani, M., Tenpierik, M., Van Den Dobbelsteen, A., & De Dear, R.** (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. *Energy and Buildings*, *67*, 166-175.

**Tania Sharmin, Koen Steemers.,** (2016). Responsiveness Of Microclimate Simulation Tool In Recognising Diversity In Urban Geometry. PLEA, volume 1 p. 02-09

**Tipnis, A.** (2012). *Vernacular traditions: Contemporary architecture*. The Energy and Resources Institute (TERI).

**Tiziana, C., & Marianna, C.** (2013). Representation, identity and sustainable design in the urban texture. In *EAEA-11 Conference* (pp. 43-50).

**Todhunter, P. E.** (1990). Microclimatic variations attributable to urban-canyon asymmetry and orientation. *Physical geography*, *11*(2), 131-141.

**Tong, S., Wong, N. H., Tan, C. L., Jusuf, S. K., Ignatius, M., & Tan, E.** (2017). Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. *Solar Energy*, *155*, 212-223.

**Toroxel, J. L., & Silva, S. M.** (2024). A Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies Based on Bioclimatic and Vernacular Architecture. *Energies*, *17*(5), 1006.

**Tzikopoulos, A. F., Karatza, M. C., & Paravantis, J. A.** (2005). Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and buildings*, *37*(5), 529-544.

**Van Esch, M. M. E., Looman, R. H. J., & de Bruin-Hordijk, G. J.** (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, *47*, 189-200.

**Vartholomaios, A.** (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustainable cities and society*, *28*, 135-145.

**Verichev, K., Zamorano, M., & Carpio, M.** (2019). Assessing the applicability of various climatic zoning methods for building construction: Case study from the extreme southern part of Chile. *Building and Environment*, *160*, 106165.

**Vukadinovic, A., Radosavljević, J., Đorđević, A., & Petrović, N.** (2019). Effects of the geometry of residential buildings with a sunspace on their energy performance. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 105-118.

**Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, T., & Leonhart, R.** (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and buildings*, *39*(7), 758-769.

**Wang, Q., Peng, L. L., Jiang, W., Yin, S., Feng, N., & Yao, L. (2024).** Urban form affects the cool island effect of urban greenery via building shadows. *Building and Environment, 254*, 111398.

**Wang, Y., Akbari, H., & Chen, B. (2016).** Urban geometry and environmental urban policy development. *Procedia Engineering, 169*, 308-315.

**Widera, B. (2016).** Biomimetic and bioclimatic approach to contemporary architectural design on the example of CSET building. *Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, Albena, Bulgaria, 2*.

**Wong, N. H., & Chen, Y. (2008).** *Tropical urban heat islands: climate, buildings and greenery*. Routledge.

**Xiao, F. (2020).** Building performance modeling and simulation. *Science and Technology for the Built Environment, 26(1)*, 1–2.

**Yang, F., Lau, S. S., & Qian, F. (2010).** Summertime heat island intensities in three high-rise housing quarters in inner-city Shanghai China: Building layout, density and greenery. *Building and environment, 45(1)*, 115-134.ok

**Yekang Ko., (2013).** Urban form and residential energy use: A review of design principles and empirical findings. *Journal of Planning Literature* · November 2013. p. 327-351.

**Zahavi, Y. A. K. (1976)** Travel Characteristics in Cities of Developing and Developed Countries (Staff Working Paper No. 230), World Bank.

**Zarghami, E., Jahanbakhsh, H., & Tahanian, A. (2016).** Investigate relationship between the form of residential buildings and energy consumption in hot and dry climates in Semnan City. *Iran J Energy., 18(4)*, 63-76.

## Livres et Ouvrages

**Angers, M. (2014).** *IPMSH: Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines*. Les éditions CEC.

**Baker, N., & Steemers, K. (2003).** *Energy and environment in architecture: a technical design guide*. Taylor & Francis.

**Castex, J., Céleste, P., & Panerai, P. (1980).** *Lecture d'une ville : Versailles, Paris*. Edition Le Moniteur.

**Cohen, R., Standeven, M., Bordass, B., & Leaman, A. (2001).** Assessing building performance in use 1: the Probe process. *Building Research & Information, 29(2)*, 85-102.

**Edwards, B. (Ed.). (2006).** *Courtyard housing: past, present and future*. Taylor & Francis.

**Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012).** *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge.

**Evans, M. (1980).** *Housing, climate and comfort* (New York). John Wiley & Sons, Inc.

**Grafmeyer, Y., & Joseph, I.** (1984). *L'école de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine* (p. 378). Aubier.

**Hawkes, D.** (1995). *The environmental tradition: studies in the architecture of environment*. Taylor & Francis.

**Koenigsberger, O. H., Ingersoll, T. G., Mayhew, A., & Szokolay, S. V.** (1974). *Manual of tropical housing and building.*[By] *Otto H. Koenigsberger, TG Ingersoll, Alan Mayhew, SV Szokolay*. Longman.

**Lynch, K.** (1960). The image of the environment. The image of the city, 11, 1-13.

**Olgyay, V.** Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, 1st ed.; Princeton University Press: Princeton, NJ,USA, 1963.

**ONU-Habitat.** (2018). L'état des villes africaines 2018 : La géographie de l'investissement africain.

**Panerai, P., & Langé, J.** (2001). *Formes urbaines, tissus urbains: essai de bibliographie raisonnée 1940-2000*. Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction.

**Parizot, I.** (2012). 5–L'enquête par questionnaire. In *L'enquête sociologique* (pp. 93-113). Presses Universitaires de France.

**Pinon, P.** (1994). Composition urbaine I, II. Paris, dau-stu.

**Ragette, F.** (2003). *Traditional domestic architecture of the Arab region*. Edition Axel Menges.

**Santamouris, M.** (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*; James & James: London, UK.

**Santamouris, M., & Kolokotsa, D.** (Eds.). (2016). *Urban climate mitigation techniques*. Routledge.

**Serge Salat.** 2011. "Les villes et les formes sur l'urbanisme durable". CSTB laboratoire des morphologies urbaines.

## Thèses et Mémoires

**Amraoui, K.** (2021). *Pour une optimisation des potentialités environnementales de l'enveloppe architecturale dans le contexte des zones chaudes et arides: Cas des bâtiments résidentiels* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider–Biskra).

**Attia, S.** (2012). A tool for design decision making: zero energy residential buildings in hot humid climates. Presses université de Louvain. (Thèse de doctorat)

**Chaouche-Bencherif, M.** (2007). *La micro-urbanisation et la ville-oasis, une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable. Cas du Bas-Sahara*. (PhD Diss, Université Mentouri).

**Djeddou, B.** (2016). *L'impact de la configuration urbaine sur l'exploitation du gisement solaire. Cas de la ville de Biskra* (Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider-Biskra).

**Gabril, N.** (2014). *Thermal comfort and building design strategies for low energy houses in Libya: Lessons from the vernacular architecture* (Doctoral dissertation, University of Westminster).

**Gabril, N.** Thermal Comfort and Building Design Strategies for Low Energy Houses in Libya: Lessons from the vernacular architecture. 2014. *University of Westminster*. (Doctoral dissertation).

**Halderaker, I. D.** (2016). *Design and Energy Analysis of Natural and Hybrid Ventilation Strategies for Norwegian Office Buildings* (Master's thesis, NTNU).

**Matallah, M. E.** (2015). *L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur-Cas d'étude ville de Tolga*. (Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider-Biskra).

**Radha, C.** (2018). Sustainable renovation of residential Buildings in Subtropical Climate Zon. *Architectural Engineering programme of UNIVERSITY OF PECS*.

**Saad Saoud.W.**(2013). *La société saharienne entre l'interet de l'habitat collectif et l'appartenance au traditionnel*. (Mémoire de magistère. Université Lhadj Lakhder Batna).

**SEBTI, M., & ALKAMA, D.** (2011). Le ksar entre adaptation bioclimatique et transformation au Bas Sahara. *Cas d'étude: ksar d'Ouargla. Mémoire de Magistère en architecture. Option: établissements humains en milieux arides et semi arides*. (Mémoire de magistère. Université de Biskra).

**Sözen, İ.** (2019). *An approach to the evaluation of vernacular settlements in hot dry climate in terms of thermal comfort: The case of Mardin* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

## Webographie

[www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)[accessd 05.2023]

**UN-Habitat**,<<https://www.un.org/fr/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>>[accessd 05.02.2023]

**IEA** (2013). World energy outlook. International Energy Agency<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2013>.

**IEA.** (2021) World Energy Outlook 2021. Available online: [www.iea.org/weo](http://www.iea.org/weo) (consulter le 05 06 2023).

**IEA.** (2014.) Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics. Available online: <https://www.iea.org/termsandconditionsuseandcopyright/> (consulter le 02 07 2023).

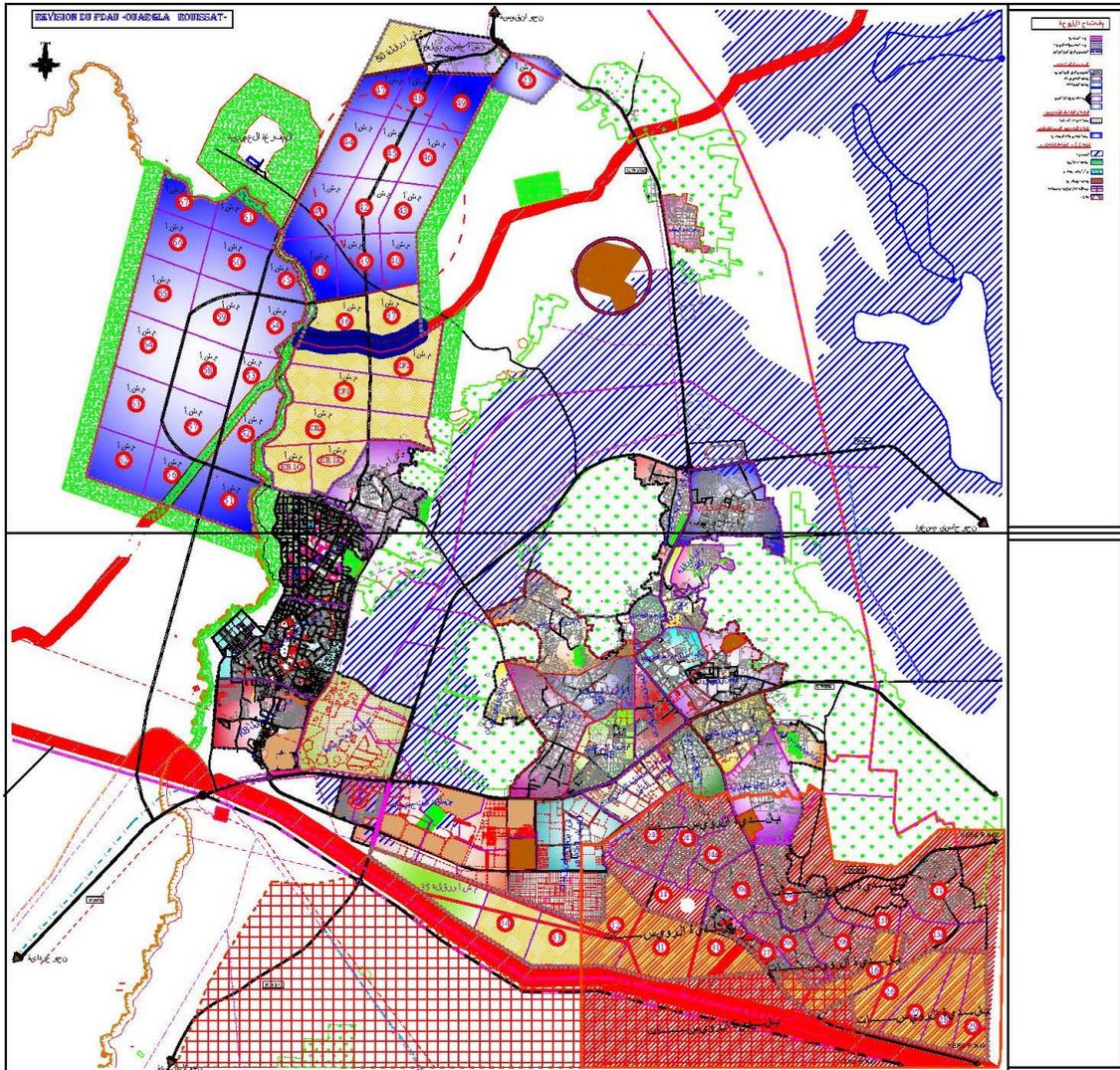
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sonelgaz> consulter le 02 07 2023

<https://www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous> consulter le 02 07 2023

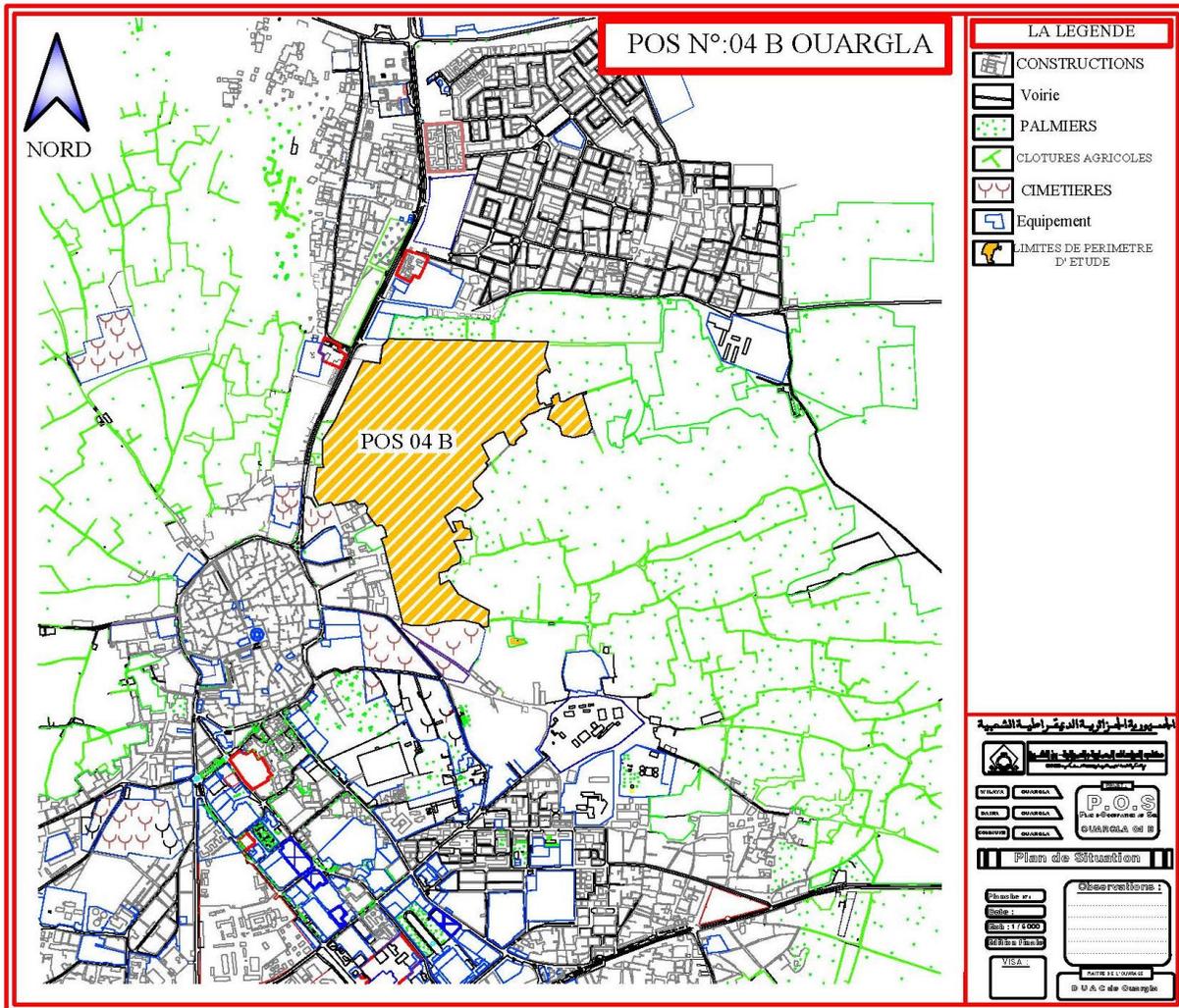
# ANNEEXES

Annexe N° 1 : POS

Catre des différents POS de la ville de Ouargla



POS du Ksar + Said Otba 1





## Annexe N° 2 : Le questionnaire

Dans le cadre d'un travail de recherche universitaire (thèse de doctorat), je mène cette enquête dans le but de connaître vos impressions, émotions et avis concernant les environnements extérieur et intérieur dans votre quartier.

Veillez donc, s'il vous plaît, répondre aux questions qui vous sont posées dans les pages qui suivent. Vos réponses demeureront confidentielles.

**Veillez choisir une seule réponse svp**

Date :    /    /2023

**Ce questionnaire est destiné aux habitants du quartier Ksar, Said OTBA; Cité Mékhedma 460 Lgts Ex ZHUN**

---

**Vous êtes :**     Homme                       Femme

**Age :**     moins de 18ans     entre de 18et 25ans     entre 25et 35 ans     entre 35 et 50 ans     plus de 50ans

**1. Depuis quand vous habitez le quartier ?**

Moins d'un an             Moins de 10 ans             Plus de 10 ans

**2. Comment trouvez-vous votre quartier en été ?**

Frais Légèrement     frais     Normal     Légèrement chaud     Chaud     Très chaud

**3. Comment trouvez-vous votre habitation en été ?**

Frais Légèrement     frais     Normal     Légèrement chaud     Chaud     Très chaud

**4. Quel mois commence l'été pour vous**

Avril             Mai             Juin             Autre (précisez).....

**5. Quel type d'électroménager que vous utilisez le plus en été ?**

Climatiseur     Ventilateur     Réfrigérateur     Machine a lavé     Fer à repasser

**6. Dormez-vous dans la terrasse**

Oui             Non



- Une pièce climatisée

**18. Si dehors ou ?**

- A côté de chez vous (au quartier a l'extérieure : rue ; placette ... )
- Un endroit fermé climatisé (cafétéria, ...)

**19. Combien de fois par jours tu fréquentes l'espace extérieure de de votre quartier en été?**

- 1             2             3             4     Jamais

**20. Combien de temps par jours tu passes à l'espace extérieure de votre quartier en été?**

- 1h             2h             3h             4h     plus précisez svp.....

**21. Est-ce que vous êtes thermiquement satisfaisant dans les espaces extérieurs en été?**

- Oui             Non

**22. Comment trouvez- vous les espaces extérieurs de votre quartier en été?**

- Frai     Légèrement frai     Normal     Légèrement chaud     Chaud     Très chaud

**23. Pensez-vous que l'utilisation des climatiseurs a un effet sur l'augmentation de la température extérieure**

- Oui             Non

**24. Comment peut-on baisser ces températures extérieures?**

- Minimisez l'utilisation des climatiseurs
- Planté des arbres
- Mettre des plans d'eau
- Augmentez la quantité d'ombre
- Augmentez le courant d'air
- Autre ; proposez .....

**25. Décrivez-nous votre maison (habitation) en quelques lignes :**

.....

.....

.....

.....

## استمارة معلومات

دراسة ميدانية حول استهلاك الطاقة للتبريد في الصيف وتأثيراتها على الراحة الحرارية الخارجية.  
مدينة ورقلة

كجزء من عمل بحثي في إطار التحضير لأطروحة الدكتوراه علوم في الهندسة المعمارية بجامعة محمد خيضر بسكرة ، نقوم بإجراء هذا الاستبيان لمعرفة انطباعاتك وعواطفك وأرائك فيما يتعلق بالبيئات الخارجية والداخلية في حيكم. لذا يرجى منكم الإجابة على الأسئلة المطروحة عليك في ما يلي. ستبقى إجاباتك سرية.

الجنس :  ذكر  أنثى

الفئة العمرية:  تحت 18 سنة  بين 18 و25 سنة  بين 25 و35 سنة  بين 35 و50 سنة  فوق 50 سنة

في اي حي تسكن :  القصر  سعيد عتبة  حي 460 مسكن المخادمة

1. منذ متي تسكن الحي:  اقل من سنة  اقل من 10 سنوات  اكثر من 10 سنوات

2. كيف تجد حيك في فصل الصيف؟

ساخن جدا  ساخن  نوعا ما ساخن  عادي  نوعا ما بارد  بارد

3. كيف تجد بيتك في فصل الصيف؟

ساخن جدا  ساخن  نوعا ما ساخن  عادي  نوعا ما بارد  بارد

4. في اي شهر يبدأ فصل الصيف بالنسبة لك؟

قبل شهر أبريل  شهر أبريل  شهر ماي  اخر (حدد الشهر).....

5. ما نوع الاجهزة الكهرو منزلية الاكثر استعمالنا في فصل الصيف ؟

مروحة تبريد  مكيف هواء  ثلاجة  غسالة  مكواة  اخر (حدد).....

6. هل تنام في السطح ؟

نعم  لا

7. هل تنام من غير مكيف هواء ؟

نعم  لا

إن كانت اجابتك لا:

8. ما مدى اهمية وجود مكيف هواء في المنزل بالنسبة لك ؟

غير مهم 1 2 3 4 5  
مهم جدا

## 9. متى تشعلون المكيف ؟

في الصباح  وقت الظهيرة  في الليل

## 10. كم عدد المكيفات في منزلكم

واحد (01)  اثنان (02)  ثلاثة (03)  اكثر حدد من فضلك.....

## 11. في اي ساعة تشعل مكيف في بيتك ؟

في الصباح:  السادسة صباحا (06سا)  السابعة صباحا (07سا)  الثامنة صباحا (08سا)  اخر حدد من فضلك.....

عند الظهر:  الحادية عشر ظهرا (11سا)  الثانية عشر ظهرا (12سا)  الثالثة عشر ظهرا (13سا)  اخر حدد من فضلك.....

في الليل:  السابعة مساء (19سا)  الثامنة مساء (20سا)  التاسعة مساء (21سا)  اخر حدد من فضلك.....

## 12. متى تطفى المكيف ؟

في الصباح  وقت الظهيرة  في المساء/ في السهرة

## 13. في اي ساعة تطفى مكيف في بيتك ؟

في الصباح:  السادسة صباحا (06سا)  السابعة صباحا (07سا)  الثامنة صباحا (08سا)  اخر حدد من فضلك.....

عند الظهر:  الحادية عشر ظهرا (11سا)  الثانية عشر ظهرا (12سا)  الثالثة عشر ظهرا (13سا)  اخر حدد من فضلك.....

في الليل:  السابعة مساء (19سا)  الثامنة مساء (20سا)  التاسعة مساء (21سا)  اخر حدد من فضلك.....

## 14. في الصيف في اي وقت من اليوم تخرج ؟

في الصباح  في المساء  في السهرة

## 15. لماذا

للضرورة (للعمل , قضاء حاجيات , مواعيد ..... )  للتنزه

## 16. اين تقضي معظم وقتك في الصيف ؟

في المنزل  خارج المنزل

## 17. ان كان في المنزل اين ؟

مكان مكيف  مكان غير مكيف

## 18. ان كان في خارج المنزل اين ؟

في حيك (في الخارج: ساحة عمومية, الشارع....)  مكان مغلق و مكيف (مقهى أو قاعة شاي ....)

## 19. كم من مرة في اليوم ترتاد الفضاء (ساحة عمومية, الشارع....) الخارجي لحيك في فصل الصيف ؟

1  2  3  4  ايدا

20. كم تقضي من الوقت في اليوم في الفضاء (ساحة عمومية, الشارع....) الخارجي لحيك في فصل الصيف؟

1 سا  2 سا  3سا  4 سا  أكثر حدد من فضلك .....

21. هل انت راض حراريا في المساحات الخارجية في فصل الصيف؟

نعم  لا

22. كيف تجد المساحات الخارجية لحيك في فصل الصيف؟

ساخن جدا  ساخن  ساخن نوعا ما  عادي  بارد نوعا ما  بارد

23. هل تعتقد ان استعمال المكيفات يؤثر على ارتفاع درجة الحرارة الخارجية؟

نعم  لا

24. في رأيك كيف يمكن خفض درجات الحرارة الخارجية؟

- رش الماء على الارض
- التشجير واستعمال المساحات الخضراء
- التقليل من استعمال المكيفات
- استعمال المساحات المائية
- زيارة كمية الظل
- زيادة التدفق الهواء
- اخر اقترح من فضلك.....

25. هل يمكنك وصف تركيبة منزلك؟

---



---



---



---

**Annexe N° 3****Sonelgaz :**

Acronyme de Société nationale de l'électricité et du gaz, est un groupe industriel énergétique algérien, spécialisé dans la production, la distribution et la commercialisation d'électricité et de l'achat, le transport, la distribution et la commercialisation de gaz naturel. Son siège social est situé à Alger<sup>1</sup>.

Sonelgaz est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie. Créée en 1969, Sonelgaz, œuvre depuis un demi-siècle au service du citoyen algérien en lui apportant cette source énergétique essentielle à la vie quotidienne.<sup>2</sup>

Sonelgaz est le premier producteur et fournisseur d'électricité et le premier distributeur de gaz en Algérie. Il fournit l'électricité à 10 millions de clients et le gaz à 6 millions.

---

<sup>1</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sonelgaz>

<sup>2</sup> <https://www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous>