

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

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : 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 LMD en Architecture**

**Option : Architecture, environnement et patrimoine**

**Étude et amélioration des performances  
climatiques de l'enveloppe architecturale en  
milieux chauds et arides. Cas de l'architecture  
domestique autoproduite à Biskra**

Présentée par :  
**LATRECHE Sihem**

Soutenue publiquement le : **24 juillet 2019**

**Devant le jury composé de :**

Dr. ALKAMA Djamel	Professeur	Président	Université de Guelma
Dr. SRITI Leila	Maitre de Conférences 'A'	Rapporteur	Université de Biskra
Dr. MOUMMI Abdelhafid	Professeur	Examinateur	Université de Biskra
Dr. HAMOUDA Abida	Maitre de Conférences 'A'	Examinatrice	Université de Batna

**Année Universitaire 2018-2019**

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail, à*

*Ma mère et mon père*

*A mes sœurs et mes frères*

*A mes amis, mes collègues*

*A tous ceux qui me sont chers...*

*Sihem*

# *Remerciements*

Je remercie Dieu de m'avoir donné la volonté et le courage nécessaires pour achever cette thèse.

Mes sincères remerciements à ma directrice de thèse **Dr. SRITI Leila** pour sa modestie et ses conseils précis et judicieux qui m'ont permis de réaliser ce travail de recherche.

Je présente aussi mes remerciements aux membres du jury qui ont pris sur leur temps et ont accepté de lire et d'évaluer mon travail et d'apporter leurs remarques et orientations enrichissantes. Un grand merci pour le Prof. ALKAMA Djamel de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury, ainsi qu'au Dr. HAMOUDA Abida et au Prof. MOUMMI Abdelhafidh d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens aussi à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, spécialement, Mme Magri Djenane Sahar, Mr Belakehal Azeddine, Mme Hamel Khalissa, Mr Boulanoir Kamel (paix à son âme).

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont encouragée et ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, mes derniers remerciements vont à ma famille et mes amis, merci pour votre patience et votre soutien.

Merci à Toutes et à Tous.

## Résumé

Depuis qu'il est sur terre, l'homme a essayé de s'adapter au climat (s'en protéger ou en profiter) ; d'abord, pour améliorer son confort et, plus tard, pour économiser l'énergie et préserver les ressources naturelles. Aujourd'hui, la pratique architecturale est à l'aube d'une révolution qui se veut plus respectueuse de l'environnement et plus sage dans l'exploitation des ressources énergétiques. L'Algérie, à l'instar des autres pays, s'est engagée dans cette voie, et le cheval de bataille semble être le secteur résidentiel qui représente le premier secteur consommateur d'énergie électrique au niveau national. La situation est certainement plus alarmante dans le sud du pays où le confort thermique des occupants est soumis à des paramètres climatiques extérieurs particulièrement rudes durant la saison chaude.

La ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride illustre le malaise et l'inconfort thermique caractérisant la production architecturale contemporaine en Algérie, et l'ampleur du phénomène est, particulièrement, visible dans le secteur de l'habitat. En effet, depuis l'indépendance, le cadre bâti résidentiel produit dans cette ville est parfaitement indifférent aux conditions climatiques, ce qui pousse les habitants à se tourner vers des moyens mécaniques pour assurer un certain niveau de confort dont le coût est chaque année plus élevé. Comme remède à cette situation, il semblerait que l'enveloppe architecturale si elle est optimisée, pourrait contribuer efficacement à améliorer le confort thermique intérieur tout en réduisant la consommation énergétique. Pour vérifier cette assertion, la présente recherche entreprend, dans un premier temps, d'analyser le cadre bâti résidentiel autoproduit à Biskra en vue de relever ses caractéristiques, ensuite, elle propose les moyens d'améliorer sa performance climatique (thermique) tout en préservant l'essentiel de ses spécificités.

La méthodologie de travail retenue est basée sur deux approches. La première est plutôt prospective **qualitative** fondée sur la réalisation d'un ensemble de relevés d'habitations autoproduites à Biskra. Les maisons ont été choisies dans plusieurs lotissements planifiés. Des fiches-relevés ont servi à la description systématiquement du corpus de l'étude. Celui-ci regroupe une centaine d'habitations individuelles

contemporaines autoproduites. Une analyse typo-morphologique a été ensuite réalisée sur la base des fiches-relevés où furent consignées les principales caractéristiques de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite en lotissement. Le logiciel Statistica a été exploité afin de dégager, d'abord, les caractéristiques les plus récurrentes du cadre bâti étudié (l'orientation, les matériaux de construction, le ratio d'ouverture, ...etc.), ensuite, pour relever les spécificités architecturales propres à l'enveloppe de l'habitation autoproduite en lotissement et, enfin, pour estimer leurs influences sur le confort thermique résultant.

La deuxième approche retenue est **quantitative**. Elle a servi à quantifier ce qui a été relevé de manière empirique dans la phase précédente. Dans cet objectif, deux techniques de recherche ont été appliquées: la prise de mesure in situ et la simulation. Les mesures in situ ont été effectuées durant les deux périodes : estivale et hivernale en utilisant l'instrument de mesure Testo et un thermomètre infrarouge. Les mesures in situ ont servi à étudier l'influence des caractéristiques architecturales et constructives de l'enveloppe sur le confort thermique. Celui-ci a été évalué à travers plusieurs paramètres, notamment : la température ambiante et surfacique, la vitesse de l'air et l'humidité relative. De son côté, la simulation thermique réalisée avec le logiciel Trnsys17 a porté sur les éléments propres à l'enveloppe afin de mesurer leur niveau de performance vis-à-vis du confort thermique et tenter ensuite leur optimisation.

A son issue, la recherche a démontré qu'en agissant de manière adéquate sur les caractéristiques architecturales et constructives de l'enveloppe, il devient possible, à la fois, d'améliorer les conditions d'adaptabilité climatique de l'habitation autoproduite à Biskra que d'assurer à ses occupants un confort thermique favorable.

**Mots clés :**

Architecture domestique, Enveloppe architecturale ; Performances climatiques; Confort thermique ; Milieux chauds et arides ; Cadre bâti autoproduit ; Biskra.

## **Abstract**

Since the existence of human on Earth, man has tried to adapt to the climate (to protect himself or take advantage) First, to improve its comfort and, later, to save energy and preserve natural resources. Today, architectural practice knew of a revolution that is more environmentally friendly and wiser in the exploitation of energy resources. Algeria, like other countries, has embarked on this path, and started in this path to be the residential sector which represents the first electricity-consuming sector at the national level. The situation is certainly more alarming in the South of the country where the thermal comfort of the occupants is subjected to particularly harsh external climatic parameters during the warm season.

The city of Biskra, is characterized by a hot and arid climate, illustrates the uneasiness and thermal discomfort characteristic of contemporary architectural production in Algeria, and the magnitude of the phenomenon is particularly visible in the habitat sector. Indeed, since independence the local residential building environment produced in this city is completely indifferent to climatic conditions, which causes the inhabitants to turn to mechanical means to ensure a certain level of comfort whose cost is higher every year. As a remedy to this situation, it would appear that the architectural envelope if optimized, could contribute effectively to improve the thermal comfort inside while reducing energy consumption. . To verify this assertion, the present research undertakes, as a first step, to analyse the self-produced residential frame in Biskra in order to identify its characteristics, and then proposes ways to improve its climatic performance (thermal) while preserving most of its specificities.

The working methodology chosen is based on two approaches. The first is rather prospective qualitative based on the completion of a set surveys of self-produced housing in Biskra. The houses were selected in several planned subdivisions. Record sheets were used to systematically describe the corpus of the study. It comprises about 100 self-produced contemporary individual dwellings. A typo-morphological analysis was then carried out on the basis of the survey sheets in which the main characteristics of the

architectural envelope of the housing self-produced in subdivision. The Statistica software was exploited in order to identify, first, the most recurrent characteristics of the built frame studied (orientation, construction materials, opening ratio, ... etc.), then, to identify the architectural specificities of the self-produced housing envelope and, finally, to estimate their influences on the resulting thermal comfort.

The second approach is quantitative. It was used to quantify what was identified empirically in the previous phase. In this objective, two research techniques have been applied: in situ measuring and simulation. In situ measurements were. In situ measurements were performed during both periods: Summer and winter using the Testo measuring instrument and an infrared thermometer. In situ measurements were used to study the influence of architectural and constructive characteristics of the envelope on thermal comfort. This has been evaluated through several parameters, including: ambient and surface temperature, air velocity and relative humidity. For its part, the thermal simulation carried out with the TRNSYS17 software has focused on the elements specific to the envelope in order to measure their level of performance with respect to thermal comfort and then attempt their optimization.

At its conclusion, research has shown that by acting adequately on the architectural and constructive characteristics of the envelope, it becomes possible, at the same time, to improve the climatic adaptability conditions of the self-produced housing in Biskra to provide its occupants with favorable thermal comfort.

## **Key words**

Domestic Architecture, architectural envelope; Climate performance; Thermal comfort; Hot and arid environments; Self-product housing; Biskra.

## ملخص

منذ وجود الانسان على سطح الأرض حاول التكيف مع المحيط الذي يعيش فيه عن طريق الاستفادة منه أو الحماية. أولاً، من أجل تحسين راحته ومن أجل خفض الاستهلاك الطاقوي وحماية الموارد الطبيعية. فاليوم عرفت الممارسات المعمارية ثورة تهدف الى احترام المحيط والاستغلال الحكيم للموارد الطاقوية، فالجزائر على غرار الدول الأخرى انطلقت في هذا الطريق بحيث أن القطاع السكني في الجزائر يعتبر أول مستهلك للطاقة الكهربائية على المستوى الوطني ومن المؤكد أن الوضع يشكل أكثر خطورة في جنوب البلاد حيث أن الراحة الحرارية للسكان تخضع الى معايير مناخية خارجية قاسية خاصة خلال فصل الصيف.

فمدينة بسكرة التي تتميز بمناخ حار وجاف، ظهر فيها الانزعاج وعدم الراحة الحرارية التي تتميز بها العمارة المعاصرة في الجزائر، وبروز هذه الظاهرة يتجلى واضحاً في القطاع السكني. في الواقع، منذ الاستقلال عرفت المباني السكنية المحلية في هذه المدينة تغيراً واضحاً بحيث أنها لم تأخذ بعين الاعتبار الشروط المناخية التي تتميز بها المنطقة الذي نتج عنه لجوء السكان للوسائل الميكانيكية من أجل ضمان مستوى معين من الراحة الحرارية التي تكلف كل عام أكثر من سابقه. كعلاج لهذه الوضعية، إذا قمنا بتحسين خصائص الغلاف الخارجي للمساكن يمكنها أن تساهم بشكل فعال في تحسين الراحة الحرارية الداخلية مع الحد من استهلاك الطاقة. من أجل التحقق من هذه النظرية، كخطوة أولى قمنا بتحليل المباني السكنية المحلية المبنية في مدينة بسكرة من أجل استخراج الخصائص التي تتميز بها، بعدها قمنا باقتراحات من أجل تحسين الأداء المناخي (الحراري) مع الحفاظ على خصائصها الأساسية.

تستند منهجية البحث المختارة على نهجين. الأول يرتكز على المنظور النوعي فهو يستند على مجموعة من المساكن المرفوعة معمارياً بمدينة بسكرة، تم اختيار هذه المساكن في العديد من التجمعات السكنية المنظمة. بعدها قمنا باستخدام ورقة بيانات من أجل الوصف بشكل منظم لعينات الدراسة، التي تتكون من مجموعة معتبرة من المساكن الفردية المعاصرة. بعد ذلك قمنا بإجراء تحليل نمطي ومورفولوجي بالاستناد الى أوراق البيانات، حيث تم تسجيل جميع خصائص الغلاف المعماري



لهذه المساكن. لقد قمنا أيضا باستغلال البرنامج الإحصائي Statistica من أجل استخراج الخصائص الأكثر تكرارا لهذه المساكن المدروسة (التوجيه، مواد البناء، نسبة الفتحات... الخ) بعدها، قمنا برفع الخصائص المعمارية المحددة لغللاف المباني السكنية، وأخيرا من أجل تقدير تأثيراتها على الراحة الحرارية الناتجة.

المنهج الثاني المختار هو الكمي، وقد استخدم من أجل قياس ما تم تحديده في المرحلة السابقة، للوصول الى هذا الهدف تم تطبيق أسلوبين للبحث. أخذ القياسات في الموقع و اجراء محاكاة حرارية. تم أخذ القياسات خلال فترتين الصيفية والشتوية باستخدام أدوات للقياس، نتائج هذه القياسات استخدمت من أجل دراسة تأثير خصائص الغلاف المعماري على الراحة الحرارية للسكان وذلك عن طريق قياس عدة معايير درجة حرارة الهواء والأسطح وسرعة الهواء والرطوبة. من جهة أخرى قمنا بإجراء محاكاة الديناميكية الحرارية TRNSYS17 على العناصر الأساسية المكونة للغللاف من أجل قياس مستوى أدائها من الناحية الحرارية ومن ثم محاولة تحسينها.

في النهاية لقد أظهرت الأبحاث بأن الاختيار الأمثل للخصائص المعمارية المكونة للغللاف الخارجي تأثر بشكل ملحوظ على تحسين الشروط المناخية للمساكن الفردية وعلى توفير الراحة الحرارية الملائمة للسكان.

### الكلمات المفتاحية

العمارة السكنية، الغلاف المعماري، الأداء المناخي، الراحة الحرارية، الإطار السكني المحلي، المناخ الحار والجاف، بسكرة.

## Table des matières

Résumés.....	i
Table des matières.....	vii
Liste des figures .....	xiv
Liste des tableaux.....	xv
Productions scientifiques.....	xvii

### CHAPITRE INTRODUCTIF

1. Introduction.....	1
2. Problématique de la recherche .....	4
3. Hypothèses.....	6
4. Objectifs à atteindre .....	7
5. Etat de l'art .....	7
6. Méthodologie .....	13
7. Structure de la thèse .....	13

### PREMIÈRE PARTIE :

#### DEVELOPPEMENT THEORIQUE

### CHAPITRE I : Performance et adaptation des bâtiments aux conditions climatiques chaudes et arides

I.1. Introduction .....	17
I.2. Définition du climat .....	17
I.3. Classification des climats dans le monde .....	18
I.4. Déterminer la situation et l'indice de l'aridité dans les régions chaudes et arides ....	20
I.5. Présentation des zones climatiques en Algérie.....	21
I.6 Les caractéristiques climatiques des régions chaudes et arides.....	24
I.6.1. Les rayonnements solaires.....	25
I.6.2. La température de l'air .....	25
I.6.3. L'écoulement du vent .....	26

I.6.4. Humidité de l'air .....	26
I.6.5. Les Précipitations .....	26
I.6.6. Le ciel .....	27
I.7. Définition de l'architecture bioclimatique .....	27
I. 8. Les principes de conception architecturale dans les zones arides .....	28
I.8.1. Paramètres relatifs à l'échelle urbaine.....	28
I.8.1.1. La forme urbaine .....	28
I.8.1.2. L'ombre urbaine .....	28
I.8.1.3. Refroidissement par évaporation.....	30
I.8.1.4. Couverture du sol .....	31
I.8.1.5. Végétation .....	31
I.8.2. Paramètres relatifs à l'échelle architecturale .....	33
I.8.2.1. L'implantation .....	33
I.8.2.2. Effet de l'orientation.....	34
I.8.2.4. Le choix des matériaux .....	36
I.8.2.5. L'inertie thermique .....	38
I.8.2.6. Captage solaire à travers les surfaces extérieures de l'enveloppe.....	38
I.8.2.7. Entrées solaires par les ouvertures .....	39
I.8.2.8. Organisation spatiale et occupation des espaces .....	41
I.8.2.9. Les éléments d'ombrage architecturaux .....	44
I.8.2.10. Ventilation naturelle .....	46
I.8.2.11. Autres dispositifs de refroidissement passif.....	48
I.9. L'architecture vernaculaire.....	50
I.10. Conclusion .....	53
<b>CHAPITRE II : L'enveloppe architecturale et son fonctionnement thermique.....</b>	<b>54</b>
II.1 Introduction .....	54
II.2 Définition de l'enveloppe architecturale .....	54
II.3 Système structurel et constructif dans l'habitat contemporain.....	57
II.3.1 L'infrastructure.....	58
II.3.2 La superstructure .....	58
II.4 Les éléments constructifs de l'enveloppe .....	59
II.4.1 Les parois opaque : les murs .....	59

II.4.2 Les parois opaques : les toitures .....	60
II.4.2.1 Toiture plate.....	60
II.4.2.2 Toiture incliné .....	61
II.4.3 Les parois transparentes : les fenêtres.....	61
II.5 L'aspect thermique dans le bâtiment .....	63
II.5.1 Notion de confort thermique .....	63
II.5.2 Comportement thermique des parois .....	63
II.5.2.1 Les parois opaques .....	64
II.5.2.2 Les parois transparentes .....	64
II.6 Mode de transfert de chaleur dans le bâtiment.....	65
II.6.1 La conduction thermique.....	65
II.6.2 La convection thermique .....	65
II.6.3 Le rayonnement .....	65
II.7 Les propriétés thermo-physiques des matériaux .....	66
II.7.1 La conductivité thermique ( $\lambda$ ).....	66
II.7.2 La résistance thermique R .....	67
II.7.3 La capacité thermique ( $\rho C$ ) .....	67
II.7.4 Diffusivité thermique .....	68
II.7.5 Effusivité thermique.....	68
II.8 L'effet thermique des matériaux de construction.....	69
II.8.1 Pont thermique.....	69
II.8.2 L'inertie thermique.....	70
II.8.3 Compacité et facteur de forme.....	72
II.8.4 Déperdition thermique de l'enveloppe.....	74
II.9 Conclusion.....	75
<b>CHAPITRE III : Cadre bâti résidentiel autoproduit à Biskra.....</b>	<b>77</b>
III.1 Introduction.....	77
III.2 Présentation du contexte de l'étude.....	78
III.2.1 Situation géographique de la ville de Biskra.....	78
III.2.2 Analyse des données climatiques de la ville de Biskra .....	78
III.2.2.1 La température.....	78
III.2.2.2 Les vents dominants .....	79
III.2.2.3 L'humidité relative.....	79

III.1.2.4 Les précipitations.....	80
III.3 Analyse bioclimatique de la ville de Biskra .....	80
III.3.1 Déterminer la zone de surchauffe (isotherme de Biskra) .....	80
III.3.2 Diagramme de Givoni appliqué aux données climatiques de Biskra .....	82
III. 3.3 Tables de Mahony pour analyser les données climatiques de Biskra.....	83
III. 3.4 Recommandations pour une conception adaptée au contexte climatique de Biskra.....	84
III.4 L’habitat en question .....	85
III.4.1 Notions d’habitat et d’habitation .....	85
III.4.2 Typologie de l’habitat .....	86
III.4.2.1 Classification selon le type d’occupation.....	86
a. Habitat individuel.....	86
b. Habitat collectif.....	86
III.4.2.1 Classification selon l’implantation.....	87
a. Habitat urbain .....	87
III.5 L’habitat à Biskra : typologie diachronique .....	88
III.5.1 Le noyau ancien (habitat traditionnel) .....	89
III.5.2 L’habitat colonial.....	92
III.5.3 Les quartiers populaires spontanés (le tissu résidentiel auto-construit non planifié).....	94
III.5.4 Les lotissements planifiés : habitat individuel dans les ZHUN et les extensions récentes .....	97
III.5.5 L’habitat individuel autoproduit contemporain.....	101
III.6 Conclusion .....	104

## **DEUXIÈME PARTIE :**

### **ANALYSE ET AMELIORATION DES PERFORMANCES**

#### **CLIMATIQUES DE L’HABITAT AUTOPRODUITE**

### **CHAPITRE IV : Caractérisation morphologique et matérielle de l’enveloppe architecturale de l’habitation autoproduite à Biskra ..... 105**

IV.1 Introduction.....	105
IV.2 Approche typo-morphologique : fondements méthodologiques .....	106

IV.2.1 Définition du corpus .....	107
IV.2.2 Le classement préalable .....	108
IV.2.3 Élaboration des types.....	109
IV.2.4 Typologie .....	109
IV.3 Collecte de données.....	110
IV.3.1 Définition du corpus de l'étude.....	110
IV.3.2 Constitution du corpus : l'enquête.....	110
IV.3.3 Les outils de l'enquête .....	112
IV.3.3.1 Le relevé architectural comme moyen de collecte de données.....	112
IV.3.3.2 Utilisation des dossiers de régulation d'un état existant .....	113
IV.3.3.3 La fiche-relevé .....	114
IV.3.4 Résultats de l'enquête .....	115
IV.4 Traitement des données avec le logiciel Statistica.....	117
IV.4.1 Codage de la fiche-relevée.....	117
IV.4.2 L'utilisation du logiciel Statistica .....	118
IV.4.3 Les matrices typo-morphologiques .....	120
IV.5 Analyse et interprétations des résultats .....	121
IV.5.1 Caractéristiques de la parcelle bâtie .....	121
IV.5.2 Caractéristique de l'enveloppe .....	123
IV.5.2.1 Au niveau des ouvertures (fenêtres et portes).....	123
IV.5.2.2 Au niveau des surfaces opaques verticales : les murs .....	124
IV.5.2.3 Au niveau des surfaces opaques horizontales : la toiture .....	127
IV.6 Conclusion .....	128
<b>CHAPITRE V : Évaluation empirique quantitative de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe.....</b>	<b>130</b>
V.1 Introduction.....	130
V.2 Rappel de la visée de la recherche et choix des cas d'étude.....	131
V.3 Notion de confort thermique adaptatif : cas du climat chaud et aride.....	134
V.4 Détermination du confort adaptatif de la ville de Biskra.....	136
V.5 Définir les paramètres de mesure du confort thermique.....	138
V.5.1. La température de l'air ambiant (Ta).....	138
V.5.2. La température de surface (Ts).....	139
V.5.3. L'humidité relative % (HR) .....	139

V.5.4. La vitesse de l'air (m/s).....	140
V.6 Protocole de la prise de mesures .....	141
V.6.1 L'appareillage de l'expérimentation : les instruments de mesure .....	141
V.6.2 Sélection de la période des prises de mesures.....	142
V.6.3 Déroulement de la campagne de mesures .....	143
V.7 Présentation et interprétation des résultats pour la période estivale.....	145
V.7.1 Étude de la température de l'air ambiant (Ta).....	146
V.7.2 Étude de la température surfacique (Ts) .....	148
V.7.3 Étude de l'humidité relative et la vitesse de l'air .....	149
V.8 Présentation et interprétation des résultats pour la période hivernale .....	152
V.9 Comparaison entre les résultats des mesures in situ et ceux obtenus par simulation numérique.....	155
V.10 Conclusion .....	157
<b>CHAPITRE VI : Optimisation de la performance thermique de l'enveloppe par simulation paramétrique.....</b>	<b>160</b>
VI.1 Introduction.....	160
VI.2 Rappel des caractéristiques matérielles de l'enveloppe des habitations autoproduites à Biskra.....	161
VI.3 Étude par simulation paramétrique de la performance thermique de l'enveloppe architecturale.....	164
VI.3.1 Présentation du logiciel de simulation TRNSYS 17 .....	165
VI.3.1.1 <i>Présentation du module multizone « Type 56 »</i> .....	165
VI.3.2 Les étapes de la simulation .....	166
VI.3.3 Élaboration du modèle virtuel.....	167
VI.3.4 Caractérisation physique des éléments de l'enveloppe et détermination des cas d'étude : les scénarios de simulation.....	169
VI.3.4.1 <i>Les murs</i> .....	169
VI.3.4.2 <i>Les toitures</i> .....	170
VI.3.4.3 <i>Les surfaces transparentes (les fenêtres)</i> .....	171
VI.3.4.4 <i>Type de Vitrage</i> .....	172
VI.3.4.5 <i>Protections solaires</i> .....	174
<i>a/ Protection solaire horizontale</i> .....	175
<i>b/ Protection solaire verticale</i> .....	175
<i>c/ Conception des brises soleil adaptés au climat de Biskra</i> .....	177

VI.3.4.6 <i>La couleur extérieure</i> .....	178
VI.3.5. Amélioration de la performance thermique de l'enveloppe .....	180
VI.3.5.1 <i>Isolation thermique des parois opaques</i> .....	181
<i>a/ Isolation thermique par l'extérieur</i> .....	181
<i>b/ Isolation thermique par l'intérieur</i> .....	182
VI.3.6 Amélioration du fonctionnement thermique de la toiture.....	184
VI.4 Simulation paramétrique et amélioration de la performance thermique des variantes de base .....	185
VI.4.1 Impact des dimensions des fenêtres (ratio d'ouverture) sur la performance thermique de l'enveloppe .....	186
VI.4.2 Impact du type de vitrage sur la performance thermique de l'enveloppe.....	189
VI.4.3 Impact des protections solaires sur la performance thermique de l'enveloppe .....	191
VI.4.4 Impact de la couleur extérieure sur la performance thermique de l'enveloppe .....	194
VI.4.5 Impact de l'isolation thermique des murs sur la performance de l'enveloppe .....	197
VI.4.6 Optimisation thermique de la toiture .....	200
VI.5 Vers une optimisation de la performance thermique de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite à Biskra .....	202
VI.6 Conclusion .....	205
 <b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	
1. Introduction.....	208
2. Synthèse sur le déroulement de la recherche .....	209
3. Principaux résultats .....	210
4. Recommandations pour une enveloppe thermiquement performante.....	212
4.1 À travers les parois opaques.....	212
4.2 À travers les ouvertures.....	213
5. Les limites de la recherche .....	214
6. Perspectives et pistes de recherche futures.....	215
 <b>Bibliographie</b> .....	217
<b>Annexes</b> .....	226
Annexe A .....	226
Annexe B .....	228
Annexe C .....	231
Annexe D .....	236



## Liste des figures

<b>Figure 1.1:</b> Carte du monde avec les différentes zones climatiques chaudes. (Source : Liébard et De Herde, 2005).....	19
<b>Figure 1.2:</b> Carte mondiale des zones arides. (Source : <a href="http://www.suds-en-ligne.ird.fr">www.suds-en-ligne.ird.fr</a> , 2018) ...	21
<b>Figure 1.3:</b> Classification du climat en Algérie. (Source : Mazouz, 2004).....	21
<b>Figure 1.4:</b> Les zones climatiques d'été et de l'hiver en Algérie. (Source : Mokhtari, 2008) .....	24
<b>Figure 1.5:</b> Carte du monde présentant l'intensité du rayonnement solaire.....	25
<b>Figure 1.6:</b> Variation de la vitesse du vent, selon l'altitude et la nature du sol.....	26
<b>Figure 1.7:</b> Les trois éléments de l'architecture bioclimatique. (Source : <a href="http://www.fr.wikipedia.org">www.fr.wikipedia.org</a> , 2018) .....	27
<b>Figure 1.8:</b> Forme urbaine en zone aride, ici vue aérienne de la ville de Beni Izguen. (Source : <a href="http://www.maison-monde.com">www.maison-monde.com</a> , 2017).....	28
<b>Figure 1.9:</b> Rues ombragées des ksour. (Source : Bencherif et al, 2013) .....	29
<b>Figure 1.10:</b> Les techniques d'évaporation utilisées. (Source : Liébard et De Herde, 2005). .....	30
<b>Figure 1.11:</b> L'impact de la nature de la couverture du sol sur la température ambiante. (Source : Gut et al ,1993) .....	31
<b>Figure 1.12:</b> Arbres sélectionnés et leurs facteurs de refroidissement. (Source : Gut et al, 1993).....	32
<b>Figure 1.13:</b> Espace vert de la rue (Source : Gut et al ,1993) .....	33
<b>Figure 1.14:</b> La conception de l'habitat vernaculaire dans différentes zones climatiques (Source : <a href="http://www.wikipedia.org/">www.wikipedia.org/</a> , 2017).....	34
<b>Figure 1.15:</b> Analyse climatique d'un site. (Source : Chatelet et al. 1998) .....	34
<b>Figure 1.16:</b> Influence de l'orientation sur les températures d'air intérieur. (Source : Givoni, 1978).....	35
<b>Figure 1.17:</b> L'effet de la taille de l'ouverture sur la température de l'air. (Source : Magri, 2006) .....	36
<b>Figure 1.18:</b> Propriétés radiatives des principaux matériaux. (Source : Givoni, 1978).....	37
<b>Figure 1.19:</b> Effet de l'inertie thermique jour et nuit (Source : Izard 1993).....	38

<b>Figure 1.20:</b> Vue sur un ksar au Sud du Maroc, montrant la compacité des groupements, les dimensions et l'emplacement des ouvertures. (Source : Zeroual, 2006) .....	41
<b>Figure 1.21:</b> Wast Dār d'el Qadi, à Boukaïs, dans la wilaya de Béchar (2005) . (Source : <a href="http://www.pierreseche.com">www.pierreseche.com</a> ,2018) .....	41
<b>Figure 1.22:</b> Maison dans le ksar de Taghit. (Source : <a href="http://www.pierreseche.com">www.pierreseche.com</a> , 2018) .....	42
<b>Figure 1.23:</b> Intérieur de la maison Beit de Suheimi (Caire). (Source :Liébard et De Herde, 2005) .....	42
<b>Figure 1.24:</b> Nomadisme vertical saisonnier à Baghdad. (Source : Bennadji, 1999).....	43
<b>Figure 1.25:</b> Nomadisme horizontal saisonnier à Damas et Diyarbakir. (Source : Bennadji, 1999) .....	43
<b>Figure 1.26:</b> Coupe schématique : le nomadisme quotidien de l'été (Source : Morgan, 2018) .....	44
<b>Figure 1.27:</b> Des éléments horizontaux, exclusivement pour l'ombre.....	44
<b>Figure 1.28:</b> L'ombre dans un patio magrébin.....	45
<b>Figure 1.29:</b> Demeure Rais Hamidou, Alger. (Source: Bencherif et Chaouch, 2013) .....	45
Figure 1.30: Exemple d'un mur végétalisé avec une plante de lierre grimpant (Source : ( <a href="http://www.serlienne.com/mur_vegetalise.php">http://www.serlienne.com/mur_vegetalise.php</a> , 2017) .....	45
<b>Figure 1.31:</b> Ombrage par la forme de construction. (Source : Gut et Ackerknecht, 1993). .....	46
<b>Figure 1.32:</b> Occultation fixe par auvent, maison à Sidi Boussaid en Tunisie. (Source : <a href="http://www.hortense-et-jules-edouard.over-blog.com/">www.hortense-et-jules-edouard.over-blog.com/</a> .....	46
<b>Figure 1.33:</b> Ventilation par l'effet de cheminé. (Source : Chatelet et al., 1998) .....	47
<b>Figure 1.34:</b> Ventilation naturelle transversale. (Source : Mazari, 2012).....	48
<b>Figure 1.35:</b> Système d'évaporation de l'eau par un courant d'air. (Source : Chatelet et al, 1998) .....	48
<b>Figure 1.36:</b> Fonctionnement d'une tour à vent en été (Source : <a href="http://www.detailsdarchitecture.com">www.detailsdarchitecture.com</a> ) .....	49
<b>Figure 1.37:</b> Orifice d'aération au sommet d'une coupole. (Source : Plemenka, 2010).....	49
<b>Figure 1.38:</b> Capteur d'air éloigné de la maison (50 m), traversant un tunnel humidifié depuis le sol (Source : Plemenka, 2010) .....	50
<b>Figure 1.39:</b> Capteur d'air combiné avec une rivière souterraine. ....	50
<b>Figure 1.40:</b> L'influence du climat sur la forme de la maison. (Source : Brown, 1985)....	50
<b>Figure 1.41:</b> El Atteuf, vallée du Mzab. (Source : <a href="http://www.yannarthusbertrand2.org">www.yannarthusbertrand2.org</a> , 2017) ..	51

<b>Figure 1.42:</b> L’habitat traditionnel à Oued Souf. (Source : <a href="http://www.yannarthusbertrand2.org">www.yannarthusbertrand2.org</a> , 2017) .....	51
<b>Figure 2.1. :</b> L’enveloppe extérieure subit de nombreuses agressions du climat local et de l’environnement. (Source : Hauglustaine, 2006).....	56
<b>Figure 2.2:</b> Les exigences et fonctions d’une enveloppe. (Source : Benharra, 2016).....	57
<b>Figure 2.3:</b> Semelle d’une habitation en cours de réalisation. (Source : Auteur, 2016) .....	58
<b>Figure 2.4:</b> Structure type poteaux poutres d’un habitat individuel (Source : Auteur, 2016) .....	59
<b>Figure 2.5:</b> Exemples d’habitations individuelles autoproduites à Biskra. ....	60
<b>Figure 2.6:</b> Exemple détaillé d’une dalle non accessible et accessible en béton armé. (Source : Auteur ,2016).....	60
<b>Figure 2.7:</b> Exemples d’habitations individuelles autoproduites à Biskra, avec toiture inclinée en charpente de bois (Source : Auteur, 2016) .....	61
<b>Figure 2.8:</b> Éléments constitutifs d’une fenêtre. (Source : Merzeg, 2010) .....	62
<b>Figure 2.9:</b> Mode de transfert de chaleur à travers une paroi. ....	66
<b>Figure 2.10:</b> Les valeurs de la conductivité thermique pour quelques matériaux. ....	67
<b>Figure 2.11:</b> Positions des principaux ponts thermiques. (Source : Merzeg, 2010). ....	70
<b>Figure 2.12:</b> Comparaison des réactions d’un local à inertie forte et d’un local à inertie faible face aux apports solaires. (Source : Liébard et De Herde, 2005) .....	71
<b>Figure 2.13:</b> Temps de déphasage de divers matériaux de construction en fonction de leur épaisseur et quantité de chaleur accumulée pour des épaisseurs types. ....	71
<b>Figure 2.14:</b> Déphasage et amortissement d’une onde de chaleur à travers un matériau homogène. (Source : Boulfani, 2010) .....	72
<b>Figure 2.15:</b> Relation entre compacité et consommation de chauffage : analyse comparée de quatorze morphologies de bâtiments. (Source : Arantes, 2016) .....	73
<b>Figure 2.16:</b> La compacité varie suivant la forme, la taille et le mode de contact des volumes construits. (Source : Liébard et De Herde, 2005). ....	74
<b>Figure 2.17:</b> Les déperditions thermiques dans le bâtiment. (Source : <a href="http://www.calculeo.fr">www.calculeo.fr</a> , 2017) .....	75
<b>Figure 3.1:</b> Situation de la wilaya de Biskra. (Source : Google Earth, 2018) .....	78
<b>Figure 3.2:</b> Données des températures mensuelles en 2016. (Source : <a href="http://www.infoclimat.fr">www.infoclimat.fr</a> ) .....	79
<b>Figure 3.3:</b> Données des précipitations mensuelles en 2016. (Source : <a href="http://www.wunderground.com">www.wunderground.com</a> .) .....	80

<b>Figure 3.5:</b> Détermination de la zone de surchauffe de Biskra.....	81
<b>Figure 3.6:</b> Diagramme de Givoni pour Biskra. (Source : Auteur, 2017).....	82
<b>Figure 3.7:</b> Exemple d’habitat individuel à Biskra. (Source : Auteur, 2016).....	86
<b>Figure 3.8:</b> Exemple d’habitat collectif ; cité 830 logements à Biskra. (Source : Auteur, 2016) .....	87
<b>Figure 3.9:</b> Quartier populaire urbain Star Mlouk Biskra. (Source : Google earth, 2017)	87
<b>Figure 3.10:</b> Croquis de maisons rurales représentatives de certaines régions de l’Algérie. (Source : Laouar, 2008).....	88
<b>Figure 3.11:</b> Typologie du tissu urbain à Biskra. (Source : Auteur, 2017).....	89
<b>Figure 3.12:</b> La ville de Biskra en 1863 et l’habitat des sept villages de l’époque précoloniale. (Source : Laouar, 2008).....	90
<b>Figure 3.13:</b> Tissu traditionnel quartier M’cid, .....	90
<b>Figure 3.14:</b> Une maison typique du vieux Biskra. (Source : Sriti, 2013).....	91
<b>Figure 3.15:</b> Le «damier colonial» et ses extensions, quartier de la Gare. ....	92
<b>Figure 3.16:</b> Maisons datant de l’époque coloniale, l’expression architecturale. ....	93
<b>Figure 3.17:</b> Exemple d’une maison datant de l’époque coloniale. ....	94
<b>Figure 3.19:</b> Exemple de façades dans les quartiers populaires. ....	95
<b>Figure 3.20:</b> Exemple d’une maison dans un quartier populaire non planifié.....	96
<b>Figure 3.21:</b> Lotissements planifiés à Biskra, quartier El Alia (à droite) et ZHUN ouest (à gauche). (Source : Google Earth, 2017).....	98
<b>Figure 3.22:</b> Exemple d’un tissu en lotissement, ici le quartier Béni Morah. (Source : Google earth, 2017) .....	98
<b>Figure 3.23:</b> Exemple d’une maison de lotissement. (Source : Sriti, 2013).....	99
<b>Figure 3.24:</b> Expression architecturale de la maison en lotissement, extraversion et décorations. (Source : Sriti, 2013). ....	100
<b>Figure 3.25:</b> Système constructif basé sur l'utilisation du béton dans les lotissements planifiés. (Source : Auteur, 2017).....	101
<b>Figure 3.26:</b> Localisation du tissu résidentiel contemporain à Biskra. (Source : Sriti, 2013) .....	102
<b>Figure 3.28:</b> Exemple d’un habitat individuel contemporain. (Source : Sriti, 2013).....	103
<b>Figure 3.29:</b> Expression architecturale des façades contemporaines .....	103
<b>Figure 4.1:</b> Le terrain d’étude : lotissements planifiés faisant partie de l’extension Est de Biskra (quartier El Alia). (Source : Google earth, 2017) .....	112
<b>Figure 4.2:</b> Exemple d’un relevé (dessin à main levée des plans et élévation). ....	113

<b>Figure 4.3:</b> Exemple de documents graphiques scannés d'un dossier de régulation de la situation d'une maison. (Source : Auteur, 2016).....	114
<b>Figure 4.4:</b> Exemple de fiche-relevé d'une maison du corpus. (Source : Auteur 2016)...	116
<b>Figure 4.5:</b> Exemple de codage d'une rubrique dans la fiche relevé. ....	117
<b>Figure 4.6:</b> Exemple de feuille de données du logiciel Statistica. (Source : Auteur, 2016) .....	118
<b>Figure 4.7:</b> Exemples de tables de fréquences obtenues avec Statistica pour deux variables : [Nombre de Niveaux] et [Relation avec l'espace public]. (Source : Auteur, 2016) .....	120
<b>Figure 4.10:</b> Façade peu ouverte sur l'extérieur .....	124
<b>Figure 4.12:</b> Menuiserie en bois des fenêtres .....	124
<b>Figure 4.13:</b> Utilisation des portes extérieures en métal. (Source : Auteur, 2016).....	124
<b>Figure 4.11:</b> Protection de fenêtre par un rideau et persienne (Source : Auteur, 2016) ...	124
<b>Figure 4.14:</b> Un exemple d'habitation construite avec un système de portique et des murs en maçonnerie mixte de brique et parpaing creux. (Source : Auteur, 2016).....	125
<b>Figure 4.15:</b> Exemples d'éléments saillants en façade. (Source : Auteur, 2016).....	126
<b>Figure 4.16:</b> Présentation deux types de dalles, réalisés à Biskra l'un avec un hourdi en béton et l'autre en brique. (Source : Auteur, 2016) .....	127
<b>Figure 4.17:</b> La hauteur du parapet de la terrasse avec l'ombre projetée.....	128
<b>Figure 4.18:</b> Terrasse accessible avec un revêtement en carrelage. (Source : Auteur, 2016) .....	128
<b>Figure 5.1:</b> Matériaux utilisés au niveau de l'enveloppe dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra. (Source : Auteur, 2016) .....	132
<b>Figure 5.2:</b> Représentation des vecteurs de transfert de chaleur entre l'homme et son environnement. (Source : Adrien, 2011).....	134
<b>Figure 5.3:</b> La température du confort en fonction de la température extérieure selon deux types de bâtiments : climatisés et non climatisés. (Source : Moujalled ,2007).....	136
<b>Figure 5.4.:</b> La zone de confort adaptatif dans la ville de Biskra selon la température moyenne extérieure mensuelle en 2017. ....	137
<b>Figure 5.5:</b> La température de confort dépend de la température de l'air et la température de parois (surface). (Source : Liébard et De Herde , 2005) .....	139
<b>Figure 5.6:</b> Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide. ....	140
<b>Figure 5.7:</b> Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen. D'après Fanger (Source : Liébard et DeHerde 2005).....	141

<b>Figure 5.8:</b> Appareils de mesures : le Testo 480 et le thermomètre infrarouge "Cason-Ca 380". (Source : Auteur, 2016).....	142
<b>Figure 5.9:</b> La température moyenne journalière de Biskra dans la période estivale et hivernale (2006-2015) (Source : <a href="https://www.wunderground.com">https://www.wunderground.com</a> ).....	143
<b>Figure 5.10:</b> Positions des points de mesure au niveau de la pièce. (Source : Auteur, 2016) .....	144
<b>Figure 5.11:</b> Présentation des résultats des températures mesurées et simulées.....	156
<b>Figure 6.1:</b> Apparence des maisons autoproduites en lotissements (Source : Auteur, 2016) .....	162
<b>Figure 6.2:</b> Interface graphique du logiciel TRNSYS 17 .....	165
<b>Figure 6.3:</b> Le modèle virtuel (Source : Auteur, 2017).....	168
<b>Figure 6.4:</b> Plans typiques d'une habitation autoproduite à Biskra (Source : Auteur, 2016) .....	168
<b>Figure 6.5:</b> Détail d'un plancher en béton armé avec poutrelles et hourdis (plancher à corps creux) .....	171
<b>Figure 6.6:</b> Performance thermique et type de vitrage. (Source : Liébard et De Herde, 2005) .....	172
<b>Figure 6.7:</b> Transmission thermique de la chaleur à travers le vitrage. ....	173
<b>Figure 6.9:</b> Ombrage d'une protection horizontale en Hiver et en Été.....	175
<b>Figure 6.8:</b> Profil d'ombre d'une protection solaire horizontal (Source : <a href="https://www.energieplus.com">https://www.energieplus.com</a> ) .....	175
<b>Figure 6.10 :</b> Profil d'ombre protection solaire verticale perpendiculaire à la façade et inclinée (Source : Énergie plus consulté 8-6-2018).....	176
<b>Figure 6.11:</b> Présentation de la zone de surchauffe dessinée sur le diagramme solaire de Biskra. (Source : Auteur, 2017).....	177
<b>Figure 6.12:</b> Coefficient d'absorption pour différent matériaux et différentes couleurs (Source : Liébard et De Herde, 2005) .....	179
<b>Figure 6.13:</b> Schéma des possibilités d'isolation dans une maison individuelle. (Source : <a href="http://www.architecteo.com">www.architecteo.com</a> ) .....	181
<b>Figure 6.14:</b> Détail d'isolation par l'extérieur d'une paroi verticale .....	182
<b>Figure 6.15:</b> Panneau d'isolation par l'intérieur recouvert par un enduit (Source : Merzeg, 2010) .....	182
<b>Figure 6.16:</b> Isolations d'un plancher sur une zone non chauffée .....	184

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1:</b> Indices de Martonne (1923). (Source :Medjelekh, 2006).....	20
<b>Tableau 1.2:</b> Caractéristiques des zones climatiques en Algérie. (Source : Mazouz, 2004) .....	22
<b>Tableau 1.3:</b> Apports calorifiques sur une paroi selon son orientation. (Source : Benhalilou, 2008).....	35
<b>Tableau 1.4:</b> Gains de chaleur par divers types de verres. (Source : Givoni, 1978) .....	40
<b>Tableau 1.5:</b> Stratégies de conception vernaculaire dans un climat chaud et aride.....	52
<b>Tableau 3.1:</b> Données des moyennes mensuelles des températures, période (2002-2016). (Source : <a href="https://www.wunderground.com">https://www.wunderground.com</a> .) .....	79
<b>Tableau 3.2:</b> La vitesse moyenne mensuelle des vents de Biskra période (2002-2016). (Source : <a href="https://www.wunderground.com">https://www.wunderground.com</a> .) .....	79
<b>Tableau 3.3:</b> Données des moyennes mensuelles de l’humidité relative période (2002- 2016) (Source : <a href="https://www.wunderground.com">https://www.wunderground.com</a> .) .....	80
<b>Tableau 4.1:</b> Les critères de sélection des unités du corpus d’étude. (Source : Auteur, 2016) .....	111
<b>Tableau 5.1:</b> Les matériaux de construction les plus utilisés et les types de parois courantes dans l’habitat individuel autoproduit à Biskra. (Source : Auteur, 2016) .....	133
<b>Tableau 5.2:</b> La température moyenne mensuelle de Biskra. (Source <a href="http://www.weather.com">www. weather.com</a> ) .....	137
<b>Tableau 5.4:</b> Répartitions et caractéristiques des 15 variantes de pièces étudiées. ....	145
<b>Tableau 5.5:</b> Synthèse des valeurs des températures de l’air (Ta) et surfacique (Ts), mesurées in situ durant la période estivale dans des pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants. (Source : Auteur, 2016).....	146
<b>Tableau 5.6:</b> Exemples de résultats des mesures in situ (période estivale) de l’humidité relative et la vitesse de l’air dans des pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants. ....	150
<b>Tableau 5.7:</b> Exemples de résultats des mesures in situ (période hivernale) des quatre paramètres de confort hygrothermique dans pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants. ....	152
<b>Tableau 6.1:</b> Les cinq types de murs de façades les plus utilisés. ....	167

<b>Tableau 6.2:</b> Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction (Source : DTR C 3.2. 1997) .....	169
<b>Tableau 6.3:</b> Détails des murs les plus courants à Biskra. (Source : Auteur,2016) .....	170
<b>Tableau 6.4:</b> Type des toitures les plus courants à Biskra. (Source : Auteur, 2017).....	171
<b>Tableau 6.5:</b> Présentation des différents ratios d’ouverture testés (Source : Auteur ,2017) .....	172
<b>Tableau 6.6:</b> Présentation les différents types de vitrages testés. (Source : Auteur ,2017) .....	173
<b>Tableau 6.7:</b> Pourcentage d’ombrage des protections solaires adaptées à Biskra selon l’orientation. (Source : Auteur, 2017).....	178
<b>Tableau 6.8 :</b> L’effet de la couleur sur l’absorption thermique (Source : Izard, 1993).....	179
<b>Tableau 6.9 :</b> Présentation des différentes couleurs extérieures testées (Source : Auteur ,2017)..	181
<b>Tableau 6.10 :</b> Synthèse critères de sélection d’un mode d’isolation des murs(Source : Haddam, 2015).....	183
<b>Tableau 6.11 :</b> Isolation thermique des murs extérieurs par du polystyrène (Source : Auteur ,2017).....	185
<b>Tableau 6.12:</b> Les solutions proposées pour améliorer la performance thermique de la toiture. (Source : Auteur, 2017).....	185
<b>Tableau 6.13:</b> Le modèle de référence et les variantes de base générées selon les caractéristiques de l’enveloppe les plus récurrentes dans la réalité. (Source : Auteur, 2017) .....	186
<b>Tableau 6.14 :</b> Températures ambiantes obtenues par variation des dimensions de la fenêtre (ratio d’ouverture) en fonction de l’orientation. (Source : Auteur, 2017).....	187
<b>Tableau 6.15:</b> Comparaison entre le fonctionnement thermique des quatre variantes de base en testant plusieurs alternatives de vitrages selon l’orientation. (Source : Auteur, 2017) .....	189
<b>Tableau 6.16:</b> L’impact des quatre variantes de protections solaires sur la température ambiante selon l’orientation. (Source : Auteur, 2017).....	191
<b>Tableau 6.17:</b> Comparaison entre l’impact sur le fonctionnement thermique de l’enveloppe de différentes couleurs extérieures et en fonction de l’orientation. ....	194
<b>Tableau 6.18:</b> Présentation l’effet de l’isolation thermique des murs sur la température intérieure en fonction de l’orientation. (Source : Auteur, 2017) .....	197
<b>Tableau 6.19:</b> Présentation des alternatives d’optimisation thermique de la toiture .....	200



# **Chapitre Introductif**

## ***CHAPITRE INTRODUCTIF***

### **1. Introduction**

Depuis son apparition sur terre, l'homme a essayé d'améliorer son habitat pour s'offrir une protection contre les facteurs climatique et assurer son bien-être et confort avec les moyens qui étaient à sa disposition. Cette recherche de la protection et du confort a porté sur tous les composants du bâtiment, mais c'est surtout l'enveloppe, qui par l'évolution de son traitement architectural, témoigne du rude combat mené par l'homme pour améliorer son habitation. C'est, en effet, la première barrière de protection contre les variations climatiques extérieures. Généralement, elle se compose de deux types de parois : les parois opaques (murs et toiture) et les parois transparentes (fenêtres). Les caractéristiques de conception de l'enveloppe affectent fortement le confort thermique des occupants, ainsi que la consommation énergétique du bâtiment (Heiselberg, 2009). Les choix constructifs relatifs aux éléments structurels, notamment, les murs, la toiture et les ouvertures sont, en outre, considérés comme des paramètres déterminants dans les échanges thermiques qui s'opèrent entre le bâtiment et son environnement (Salem, 2007).

Au cours des dernières années, le monde a connu un grand développement dans plusieurs domaines et particulièrement le domaine de la construction et de l'architecture. Aujourd'hui, la pratique architecturale est à l'aube d'une révolution qui se veut plus respectueuse de l'environnement et plus sage dans l'exploitation des ressources énergétiques. L'architecte est appelé à créer une harmonie entre la construction, le confort des occupants et le respect de l'environnement. Cet objectif nécessite le recours à des stratégies conceptuelles et des procédés passifs qui permettent de réduire la consommation énergétique et d'assurer un climat confortable pour les occupants des locaux avec une humidité contrôlée, une

température agréable et un éclairage naturel optimal. Cette approche relève de la conception bioclimatique qui se fonde sur l'environnement physique et les exigences du confort humain comme éléments de conception des bâtiments. Une construction est dite bioclimatique ; quand sa conception architecturale vise à utiliser les éléments favorables du climat et de l'environnement en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique (Bellara, 2005).

Ainsi, dans n'importe quelle région du monde, il est possible de concevoir des bâtiments selon des principes bioclimatiques, et ainsi, de réduire les besoins de chauffage et de climatisation (M'sellem, 2007). En appliquant les principes de l'architecture bioclimatique, le concepteur assure un bien-être physique aux occupants d'une manière naturelle à travers l'utilisation des solutions architecturales qui permettent de contrôler les conditions climatiques extérieures défavorables. La réalisation du confort thermique intérieur est importante et, en même temps, le recours aux systèmes mécaniques soit pour la climatisation ou le chauffage, est limité.

Le climat dans les régions chaudes et arides se caractérise par des gisements solaire et lumineux très importants, ce qui provoque une situation d'inconfort. En effet, dans ces régions, le problème de surchauffe provoqué par un rayonnement solaire intense et des températures ambiantes élevées, se pose avec acuité, durant la période estivale surtout si l'on admet que les besoins de chauffage en hiver sont faibles, par rapport à ceux nécessaires au refroidissement en été (Givoni, 1998).

Assurer le confort thermique dans un bâtiment durant toute l'année dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe (toiture et parois verticales), lequel est tributaire des matériaux de construction ainsi que des caractéristiques architecturales (Hamdani, 2016). La quantité des gains thermiques reçus par les composants de l'enveloppe est divisée comme suit : la toiture est responsable de 70.62% des gains de chaleur, les quatre façades 27.11% et les fenêtres de 2.27% (Necib, 2016). La majorité du temps cette enveloppe renferme des points de déperdition (ponts thermiques) et constitue une source d'inconfort dans toutes les saisons à cause des échanges thermiques importants qui s'effectuent à son niveau. Un traitement judicieux des parois de l'enveloppe en fonction des conditions climatiques chaudes et arides (choix des matériaux de construction à forte inertie thermique pour les murs et la toiture, réduction des dimensions des fenêtres, protections solaires,...etc.) permet de garantir un confort optimal à l'intérieur du bâtiment, même si les conditions extérieures sont défavorables (Magri, 2006).

La qualité de la construction dans le secteur de l'habitat est un élément essentiel d'un cadre de vie agréable et une exigence sociale fondamentale. Cependant, l'approche quantitative adoptée par le secteur public à l'indépendance et, la production de masse de l'habitat pour répondre à une demande croissante causée par une démographie galopante et un exode rural inquiétant, a entraîné la production d'un cadre bâti résidentiel démunie des conditions minimales d'habitabilité (Alkama, 1996). D'après Sriti (1996) l'évolution des conditions techno-économiques qui entourent le projet, l'apparition de nouveaux matériaux et l'introduction de nouvelles techniques, ont fait reculer les solutions traditionnelles et le savoir-faire qui s'y rattache. Paradoxalement, l'évolution des techniques et des procédés de construction, s'est surtout faite au détriment des performances climatiques (thermiques) du cadre bâti. Les exemples qui illustrent cette situation ne manquent pas : choix aléatoire de l'orientation des bâtiments, tendance à l'extraversion avec des ouvertures surdimensionnées, absence de protections solaires, inadaptation du choix des matériaux de construction,... et la liste est longue. Nul besoin de préciser que la question du confort du bâtiment se pose, aujourd'hui, avec acuité en Algérie et dans ce domaine un retard considérable a été accumulé.

Influencé par le contexte international, les décideurs algériens se sont rendu compte de la gravité de la situation et de la nécessité d'y remédier. De leur côté, les académiciens et chercheurs ont multiplié leurs études, mais, celles-ci sont d'envergure assez limitée sur le terrain. Par ailleurs, elles ont souvent abordé la question du confort en ignorant les conditions propres au contexte algérien à savoir; les conditions environnementales, mais également sociales, économiques, techniques dans lesquelles se fait la production du cadre bâti (Sriti, 1996). Les emprunts aux expériences d'outre-mer sont alors, prépondérants telles que le montrent les expériences développées pour étudier les possibilités d'utilisation de l'énergie solaire (village solaire intégré de Bousaada) ou visant à tester l'introduction de certains dispositifs de l'architecture solaire: mur trombe, serres,... etc. (prototypes de maisons réalisées dans le sud du pays dans le cadre de la coopération CNERIB/Université de Lund...). Mais une telle approche et les résultats qu'elle implique, peut-elle réellement être efficace?

Qu'en est-il de l'habitat populaire (vernaculaire), cette architecture qui s'est distinguée dans le passé par ses aspects bioclimatiques par excellence ? Au fait, le génie populaire qui avait, depuis les temps les plus reculés, servi à parfaire un cadre bâti performant et adapté aux exigences de ces occupants, n'a malheureusement pas, résisté à l'épreuve du temps. Il dut notamment subir, sans vraiment les assimiler, des influences exogènes se rapportant, en

général, au monde occidental et aux valeurs qu'il véhicule: le mythe de la modernité, les courants hygiénistes, l'industrialisation. Ces facteurs eurent une grande influence sur la manière de concevoir et de produire l'espace dans les pays développés et un peu plus tard dans les pays moins développés. L'Algérie illustre ce phénomène dans toute sa complexité. En effet, la production de l'habitat privé contemporain en Algérie est, aujourd'hui, indifférente aux contraintes de l'environnement. Les propriétaires (auto-promoteurs) se sont érigés en concepteurs et ne voient pas l'utilité de faire appel aux services de l'architecte. Très souvent, ils construisent leurs maisons à leur manière, selon leurs moyens financiers, leur besoin d'espace et leurs aspirations sociales, le confort thermique est, quant à lui, délégué à des appareils de climatisation mécanique. Un nouveau cadre bâti résidentiel s'est répandu qui ne prend en considération ni la qualité, ni la durabilité et encore moins l'adaptation de l'espace produit avec son contexte physique.

La présente recherche vise, dans une première étape, à approfondir la connaissance sur les conditions actuelles de la production du cadre bâti résidentiel par les habitants auto-promoteurs et de faire un diagnostic sur les caractéristiques liées à son adaptabilité climatique. Dans une deuxième étape, il s'agira de proposer les moyens d'améliorer la performance de cette architecture résidentielle du point de vue du confort thermique en focalisant sur les spécificités matérielles de l'enveloppe.

## **2. Problématique de la recherche**

À partir des années 90 marquées par l'avènement de la notion de durabilité (sustainability), la pratique architecturale a subi de grandes transformations. Aujourd'hui, l'« art de bâtir » se veut plus respectueux de l'environnement et plus sage dans l'exploitation des ressources énergétiques. Pour une conception des bâtiments qui soit soucieuse de son contexte, l'architecte est appelé à composer avec le climat selon un ensemble de paramètres (soleil, vent, pluie,...etc.). Ces derniers permettent de créer un environnement confortable, notamment, dans un climat chaud et aride où l'intensité des radiations solaires participe à déterminer la forme des bâtiments et dicte les caractéristiques matérielles de l'enveloppe extérieure.

Après l'indépendance, l'Algérie a connu une croissance démographique sans précédent; ce qui a provoqué une révolution remarquable dans le domaine de la construction, notamment dans le secteur résidentiel. En effet, pour absorber la demande croissante en logements, l'État a tenté de trouver des solutions d'urgence en favorisant la construction rapide et en grande

quantité aussi bien dans le cadre des ZHUN (secteur étatique) que par la création des lotissements communaux (secteur privé). Selon Alkama (1996) : « (...) 83% des habitants questionnés préfèrent quitter leurs habitations pour s'installer dans des lotissements, ou à défaut démolir et reconstruire leurs habitations en matériaux à base de béton armé qu'ils considèrent comme signe de richesse et de modernité ».

Malheureusement, cette production massive de logements est passée à côté des spécificités du contexte climatique diversifié, négligeant et faisant peu de cas des solutions ancestrales développées par des générations pour améliorer leurs habitats, ainsi : « Pour faire face à cette crise croissante du logement, on a dû trouver des solutions rapides et pas très coûteuses. Des modèles étrangers se sont généralisés sur tout le territoire algérien, inappropriés, au contexte culturel, social et climatique du pays » (Ould-Henia, 2003). Cette rupture entre le cadre bâti et son environnement s'est manifestée dans la production d'un habitat dépourvu des conditions minimales de confort. On a cru pouvoir résoudre cette situation par le recours à la climatisation artificielle, mais simultanément, cela a entraîné une exploitation abusive et irrationnelle des ressources énergétiques.

Aujourd'hui, la consommation énergétique en Algérie, connaît une croissance alarmante. D'après l'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), la consommation énergétique globale en Algérie a atteint 17 millions de Tep en 2005 (Ministère de l'énergie et des mines, 2005). Selon la même source, cette consommation a presque doublé en 2012 pour atteindre 30 millions de Tep. En fait, cette augmentation de la consommation est proportionnelle à la croissance démographique puisqu'en 2005, la population qui comptait 32,906 millions d'habitants, consommait en moyenne 0,694 Tep/hab, alors qu'en 2012, un accroissement de la population qui atteint 37,9 millions d'habitants a provoqué une augmentation de la consommation énergétique de l'ordre de 0,750 Tep/hab. A titre d'exemple, la consommation électrique du secteur résidentiel en Algérie, représente 38% de la consommation totale d'électricité en 2005 et augmente en 2012 jusqu'à 40%, cette consommation est essentiellement destinée à couvrir les besoins d'éclairage artificiel, chauffage et surtout la climatisation pour le refroidissement en été dans les climats chaud et aride.

La ville de Biskra qui se caractérise par un climat chaud et aride, illustre l'ampleur de ce phénomène. Depuis l'indépendance, le cadre bâti produit dans cette ville ne répond plus aux conditions climatiques très rudes de la saison estivale, ce qui pousse les habitants à se tourner vers les moyens mécaniques pour assurer un certain niveau de confort dont le coût est chaque

année plus élevée. Et c'est pour diminuer cette consommation énergétique et assurer un confort climatique optimal qu'il faut agir sur la conception architecturale.

Le confort thermique dans un bâtiment dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe soumise aux contraintes climatiques. L'enveloppe extérieure du bâtiment est la première barrière de protection et se compose de deux types de parois : les parois opaques (murs et toiture) et les parois transparentes (fenêtres). Un traitement judicieux des parois de l'enveloppe en fonction des conditions climatiques chaudes et arides (choix des matériaux de construction à forte inertie thermique pour les murs et la toiture, réduction des dimensions des fenêtres, protections solaires,...etc.) permet de garantir un confort optimal à l'intérieur du bâtiment, même si les conditions extérieures sont défavorables (Magri, 2006).

A travers l'habitat individuel autoproduit à Biskra et les caractéristiques matérielles de l'enveloppe, cette recherche tente de répondre à un certain nombre de questions, notamment :

- Comment améliorer la performance climatique de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, tout en préservant l'essentiel de ses spécificités ?
- Quelles sont les stratégies à appliquer au niveau de l'enveloppe architecturale du bâtiment pour améliorer ses performances climatiques dans un contexte climatique chaud et aride ?

### **3. Hypothèses**

L'homme a toujours essayé de créer des conditions favorables pour son confort et ses activités et se protéger contre les effets indésirables de la nature. L'architecture bioclimatique, à travers l'utilisation des éléments climatiques locaux et par le recours à des moyens architecturaux simples et appropriés, peut créer une ambiance confortable à l'intérieur de l'espace habité.

La présente recherche porte sur la ville de Biskra où prédomine un climat chaud et aride caractérisé un été torride et un hiver doux, un gisement solaire et lumineux important avec un taux d'humidité annuel relativement faible et des températures estivales très élevées. Compte tenu de ces caractéristiques climatiques, le cadre bâti produit à Biskra pose des problèmes liés aux conditions de confort thermique généré à l'intérieur des espaces. Or, en intégrant des stratégies passives appropriées dans la conception des bâtiments résidentiels, il est possible d'améliorer sensiblement leur performance climatique et donc d'éviter ou du moins de minimiser le phénomène de surchauffe, tout en réduisant la consommation

énergétique et l'impact du bâtiment sur son environnement extérieur. Partant de cette assertion, nous émettons les hypothèses suivantes :

- 1- Nous pensons que des stratégies passives appliquées à la conception de l'enveloppe dans un contexte climatique chaud aride, pourraient répondre aux exigences de confort thermique de l'habitat individuel autoproduit.
- 2- Un choix adéquat de matériaux employés au niveau de l'enveloppe de l'habitation autoproduite à Biskra, permettrait d'optimiser la performance climatique de ce type d'habitat.

#### **4. Objectifs à atteindre**

Dans les régions climatiques chaudes et arides, le problème du confort thermique s'impose comme un facteur principal à prendre en considération durant la conception des bâtiments. Généralement, il s'agit d'optimiser l'adaptabilité climatique des habitations par l'amélioration du comportement thermique de la construction. Dans cette approche, les propriétés formelles et matérielles de l'enveloppe sont déterminantes pour faire face à la surchauffe d'été.

En agissant sur les caractéristiques de l'enveloppe, la présente recherche vise à améliorer la performance climatique de l'habitat individuel autoproduit à Biskra pour assurer un niveau de confort thermique acceptable à l'intérieur des habitations. Ceci constitue l'objectif principal à atteindre, cependant, l'étude tentera également de :

- connaître l'impact des éléments de l'enveloppe sur la température intérieure quand un bâtiment est soumis aux conditions d'un climat chaud et aride ;
- définir les caractéristiques architecturales de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, pouvant être utilisées pour améliorer son adaptabilité climatique ;
- élaborer des recommandations qui peuvent être utilisées dans la conception d'un cadre bâti résidentiel assurant de bonnes conditions de confort thermique relativement à un climat chaud et aride.

#### **5. État de l'Art**

Avant de commencer à étudier le comportement thermique de l'enveloppe architecturale dans l'habitat autoproduite à Biskra, il convient de donner un aperçu sur les travaux les plus pertinents qui pourraient enrichir la présente recherche soient par leurs objets ou approches.



L'objectif de cette partie est, donc, d'effectuer une synthèse sur les travaux réalisés sur le thème de l'amélioration de la performance thermique et de la rationalisation de la consommation énergétique de l'habitat individuel à travers le traitement de l'enveloppe ; une attention particulière est portée au contexte climatique des régions chaudes et arides.

À ce titre, une abondante bibliographie a été produite à travers des travaux de recherche qui se sont intéressés à l'impact des paramètres liés à l'enveloppe architecturale sur le confort thermique des occupants. Parmi ces études, on retiendra les travaux menés par Matari et Mahi (2013), Kadri et Mokhtari (2011), Fezzioui, Droui, Benyamine et Larbi (2008),...etc. À noter que la présente revue de la littérature porte principalement sur les recherches qui ont été faites dans les régions climatiques chaudes et arides.

En 2008, Mokhtari, Brahimi et Benziada ont étudié la relation entre la conception architecturale et le confort thermique dans les zones chaudes et arides en prenant comme cas d'étude la ville de Béchar. L'objectif de l'étude était d'arriver à proposer les grands principes (ou stratégies passives) qui pourraient guider les concepteurs pour créer des locaux sains, confortables et moins consommateurs d'énergie. À l'issue d'un travail de simulation thermique effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS, les résultats obtenus ont montré que le parpaing est un mauvais isolant et qu'il devait être remplacé par la brique rouge plus performante sur le plan des transferts de chaleur. Le choix de l'orientation a également été étudié ; il est apparu que les orientations Nord et au Sud assurent une faible consommation par rapport aux orientations Est et Ouest. Au même titre, l'utilisation des protections solaires horizontales fixes du côté Sud, s'est avérée très efficace.

Kadri et Mokhtari (2011) ont effectué une recherche intitulée «Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment» afin d'améliorer ses performances. Cette étude a contribué à définir les meilleurs procédés pour améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie d'une manière passive dans des bâtiments existants à travers la réhabilitation thermique des éléments qui constituent l'enveloppe. Deux approches analytiques ont été utilisées ; d'abord, le calcul des déperditions thermiques du bâtiment de référence, et ensuite, une analyse thermique par simulation pour tester l'effet des éléments constituant l'enveloppe avant et après la réhabilitation. Les résultats obtenus ont montré que les déperditions par transmission calculées sont supérieures aux déperditions de référence, cela signifie que la consommation d'énergie est maximale et que le confort thermique n'est pas assuré. Le bâtiment n'est pas conforme aux normes et il nécessite une réhabilitation. Dans cette perspective, des dispositifs visant à corriger les faiblesses constatées, notamment,

à travers le remplacement du simple vitrage par un vitrage-double et l'isolation des parois verticales et horizontales de l'enveloppe par l'extérieur afin de supprimer les déperditions à travers les ponts thermiques. Après avoir introduit ces corrections, les déperditions à travers l'enveloppe traitée sont devenues nettement inférieures à celles du cas de référence. Finalement, cette étude a mis en évidence l'impact de l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sur la réduction des déperditions thermiques. Ces deux paramètres sont une barrière aux pertes thermiques et constituent, de fait, des solutions parmi les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques.

Par ailleurs Matari et Mahi (2013) ont mené des expérimentations pour évaluer l'effet du type de matériaux de construction sur la consommation énergétique dans une maison individuelle sous les conditions climatiques chaudes et arides, à l'aide logiciel de simulation EnergiePlus V7. Les résultats obtenus révèlent que les murs en adobe et ceux en double-parois de brique, ont des comportements thermiques presque similaires et ont permis de réaliser une température intérieure acceptable par rapport aux parois en parpaing. Concernant la consommation énergétique pour le chauffage, il est apparu que les murs en double parois permettent de réduire la dépense énergétique de plus de 90% par rapport à celle d'un mur simple en parpaing, simultanément, la réduction pour la climatisation est de l'ordre de 100%. Dans le même registre, les murs en adobe de 70cm et ceux en double-parois de brique permettent de réaliser des résultats presque similaires soit pour la consommation énergétique en chauffage ou celle pour la climatisation. Finalement, un mauvais choix du matériau constituant l'enveloppe du bâtiment peut entraîner à long terme des surcoûts pour assurer le confort thermique des utilisateurs aussi bien pour la période estivale qu'hivernale.

Pour leur part, Fezzioui et al. (2008) ont examiné l'influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique dans le sud algérien. L'objectif de l'investigation est d'étudier l'effet des composants de l'enveloppe (les murs, les toitures et les fenêtres) sur sa demande énergétique afin d'arriver à définir un niveau de confort favorable pour les occupants avec une consommation énergétique réduite. Une étude quantitative basée sur une simulation numérique à l'aide du logiciel TRNSYS a été effectuée sur une maison multizone avec les données météorologiques de la ville de Béchar et Tamanrasset. Les résultats ont montré que l'isolation thermique des parois donnait de bons résultats durant la journée et que l'orientation du bâtiment (Est - Ouest) augmentait le besoin de refroidissement de l'ordre de 2%, et provoquait des surchauffes en été, d'où la nécessité de diminuer la taille des ouvertures sur ces façades. Par ailleurs, les protections solaires

doivent être bien dimensionnées et l'emploi d'un double vitrage à la place d'un simple vitrage donne des résultats aussi importants que ceux relatifs à la réduction des dimensions des ouvertures. Finalement, cette étude a eu le mérite de définir un ensemble de recommandations concernant la construction de l'enveloppe qui soit climatiquement performante et adaptée au contexte du sud algérien.

Medjelakh et Abdou (2008) ont effectué une recherche intitulée : « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment ». Le contenu de cette recherche s'appuie sur une investigation (mesure in situ) portant sur des maisons réalisées à deux époques différentes (coloniale et contemporaine) dans le but d'évaluer l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique et le confort thermique des habitants. Une validation des résultats par le logiciel TRNSYS V14 a, également, été effectuée. Les deux paramètres -température et de humidité relative- ont été retenus pour évaluer les conditions de confort thermique durant la période estivale et hivernale. Les résultats ont démontré que l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région est à l'origine de la réalisation du confort hygrothermique et de la consommation réduite de l'énergie. Par ailleurs, la réalisation des maisons avec des matériaux à fort inertie thermique assure l'équilibre thermique simultanément pour les deux saisons (Été et Hiver).

Deux autres chercheurs, en l'occurrence, Semahi et Djebri (2013) ont proposé un outil (sous forme de recommandations) pour aider les architectes à concevoir des bâtiments performants sur les plans du confort thermique et de la consommation énergétique. Cet outil sert à assister les concepteurs durant les étapes de la conception architecturale pour leur permettre d'intégrer harmonieusement leurs bâtiments aux différentes conditions climatiques des régions chaudes. Le travail d'investigation a pris la ville de Béchar comme cas d'étude ; une analyse des données climatiques de cette ville a été effectuée ce qui a permis de proposer les dispositifs architecturaux et les stratégies de conception bioclimatiques à utiliser dès la première phase de la conception architecturale, aussi bien au niveau environnemental (implantation, orientation, forme urbaine,...etc.) ; qu'au niveau architectural (plan, organisation intérieure, ouvertures, protections solaires, matériaux de construction,...etc.). Finalement, en l'absence d'une réglementation thermique en Algérie, l'outil proposé par les chercheurs permet de répondre à un besoin réel exprimé par les architectes vis-à-vis des solutions à apporter pour assurer des conditions acceptables de confort thermique dans le sud du pays.

Plus récemment, Necib, Belakroum et Belakroum (2016) se sont, également, intéressés à l'amélioration de l'isolation thermique des habitations dans les régions chaudes et arides. Leur étude porte sur l'optimisation de l'isolation thermique de l'enveloppe (toitures, murs) pour réduire la consommation excessive de l'énergie électrique et assurer le confort thermique à l'intérieur des locaux pendant la période estivale. Leur approche est expérimentale à partir d'une comparaison entre les résultats générés par simulation et ceux mesurés in situ. Une isolation thermique de la toiture par le liège ou le gravier a été proposée, également l'isolation des murs par le polystyrène avec différente épaisseur a été étudiée. Les résultats ont montré que la toiture était responsable de 70.62% du gain thermique global, 27.11% était le gain reçu par les quatre murs et 2.27% celui transmis par les fenêtres. Une isolation combinée de la toiture et des murs avec du liège et du polystyrène de 5cm d'épaisseur, peut réduire jusqu'à 59.09% le gain thermique global et une réduction jusqu'à 69.96% peut être réalisée pour une épaisseur de 10cm. Cette réduction influe directement sur la consommation de l'énergie électrique pour la climatisation.

Une autre étude mérite d'être citée, celle de Benradouane et Benyoucef (2008) qui a porté sur « La fenêtre et son rôle dans la conception des maisons bioclimatiques ». Dans ce travail, les auteurs se sont intéressés à la fenêtre comme élément important qui compose l'enveloppe du bâtiment et qui contribue considérablement à assurer le confort thermique et visuel à l'intérieur du local. Cette étude a conseillé d'orienter les fenêtres (et les façades) vers les directions favorables soient : Sud, Sud-est et Sud-ouest. De même, il est préférable d'utiliser les menuiseries en bois ou en PVC (vue leurs meilleures performances) et de choisir un double vitrage avec une lame d'air de 12mm qui augmente de 10% la résistance thermique de la fenêtre.

Parmi les chercheurs qui se sont intéressés à la ville de Biskra, il est à signaler le travail de Alkama (1995) dans le cadre d'une thèse intitulée : « Analyse typologique de l'habitat cas de Biskra ». Cette étude a établi une classification typologique et une caractérisation de l'habitat existant à Biskra ; l'auteur a également retracé l'évolution du cadre bâti résidentiel à travers l'évolution urbaine de cette ville. Le travail en question est composé de trois volets essentiels. Le premier donne un aperçu critique du développement de l'habitat en Algérie. Le deuxième volet présente le contexte d'analyse avec ses différentes composantes, physique et socio-économique, les mutations et l'évolution de l'habitat à travers l'analyse de la croissance urbaine de la ville de Biskra. Enfin, le troisième volet l'analyse typomorphologique et les caractéristique de chaque type d'habitat.

De son côté Sriti (1996), dans le cadre d'une thèse intitulée «Potentialités architecturales et bioclimatiques de l'habitat auto-construit. Cas d'une ville du Sud : Biskra », a effectué une étude visant à analyser le cadre résidentiel autoproduit (auto-construit) à Biskra et de mettre en évidence ses caractéristiques morphologiques ainsi que ses potentialités bioclimatiques. L'objectif du travail était d'évaluer jusqu'à quel degré ce type d'habitat qui, représente une incarnation contemporaine du vernaculaire, était adapté à son contexte climatique et, par la suite, tenter d'améliorer ses éventuelles performances bioclimatiques tout en respectant l'essentiel de ses spécificités. L'étude s'est intéressée à identifier les dispositifs et stratégies passives intégrés à ce type d'habitat, dans le cas de leur existence, puis de tester les moyens d'améliorer la performance thermique de l'architecture populaire domestique sans perturber ses "aspects" populaires. L'investigation a usé de deux approches complémentaires : 1) une analyse qualitative qui a établi, a priori l'intégration climatique de l'habitation autoproduite en lotissement à travers une analyse typo- morphologique sur un corpus important des maisons ; et 2) une analyse quantitative pour valider les appréciations qualitatives à l'aide du logiciel Quick V3. Les résultats obtenus ont montré que les conditions thermique mesurées à l'intérieur des maisons étaient proches ou à l'intérieur des limites acceptables de confort. Les tests de simulation ont permis d'optimiser les potentialités thermiques de l'habitat étudié. Finalement, une somme de recommandations a été proposée aux acteurs chargés de promouvoir un cadre bâti résidentiel favorable aux occupants dans un climat chaud et aride et relativement au contexte algérien.

Cette revue de la littérature sur les concepts clé de la recherche, bien que non exhaustive, montre clairement l'influence des éléments de l'enveloppe sur le confort thermique et la consommation énergétique du bâtiment. À cet égard, il est important de rappeler que le rôle de la protection contre les rayonnements solaires en Été et la réduction des déperditions thermiques en Hiver, est conditionné par le choix adéquat des matériaux et une bonne conception de l'enveloppe architecturale.

En général, la plupart des études s'accordent sur la nécessité d'un choix judicieux des matériaux qui constituent l'enveloppe du bâtiment ; c'est, en effet, une condition *sine qua non* pour assurer un niveau de confort acceptable pour les occupants. Par ailleurs, elles confirment que la performance thermique des bâtiments est déterminée par la qualité thermique des éléments qui composent l'enveloppe.

## 6. Méthodologie

Pour atteindre les objectifs de la présente recherche, concernant l'amélioration de l'enveloppe des habitations autoproduites à Biskra, l'étude s'est échelonnée selon deux (02) phases principales. Dans **la première phase**, un soubassement théorique a été élaboré. Celui-ci relève l'état des savoirs et des connaissances sur le sujet et sert de levier à la recherche. Il s'agissait, précisément, de définir les différents concepts et notions-clés liés à la caractérisation de l'enveloppe architecturale dans le contexte climatique chaud et aride. Une rétrospective définissant le contexte et modalités et mécanismes de production du cadre bâti résidentiel en Algérie et de l'habitat autoproduit à Biskra, a également été effectuée.

La **deuxième phase** est analytique, elle est basée sur deux approches ; la première est une **approche qualitative** fondée essentiellement sur un travail de terrain sous forme d'observations, de relevés architecturaux et de prise de photos, sur un corpus important de maisons autoproduites dans le cadre des lotissements planifiés à Biskra. Ce travail préliminaire a débouché sur une classification typologique et le choix des types les plus répandus (quantitativement majoritaires) devant faire l'objet d'une évaluation du point de vue du confort thermique. Cette partie de l'analyse a permis de relever les caractéristiques de l'enveloppe, les plus récurrentes. La deuxième est une **approche quantitative** consacrée à l'expérimentation, d'abord, sous forme de mesures in situ (températures, humidité ...) effectuées sur un corpus comprenant quinze (15) unités (pièces ou chambres) générées à partir de cinq (05) cas de figures représentatifs des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans la ville de Biskra. Le recueil des données hygrothermiques s'est déroulé pendant la saison estivale et la saison hivernale. Une simulation thermique a, ensuite, été effectuée à l'aide de logiciel TRANSYS 17 afin d'optimiser les attributs matériels de l'enveloppe selon différentes orientations. Dans cette dernière partie de la recherche, la variabilité dans les conditions de mesures et la possibilité d'effectuer des études paramétriques ciblées en isolant l'influence de chaque élément, ont été exploités.

## 7. Structure de la thèse

La présente thèse se présente en deux parties et six chapitres. **La première partie** est consacré au développement théorique qui se divise en trois chapitres dédiés chacun à une notion-clé du thème de recherche, à savoir : l'adaptation climatique, l'enveloppe architecturale des bâtiments dans les régions chaudes et arides et enfin l'architecture domestique à Biskra. **La deuxième partie** est analytique, elle s'étale sur trois chapitres qui,

d'abord, décrivent le contexte et le corpus de l'étude, ensuite, expliquent le protocole de la prise de mesures, la simulation et l'interprétation des résultats.

La thèse se structure de la manière suivante :

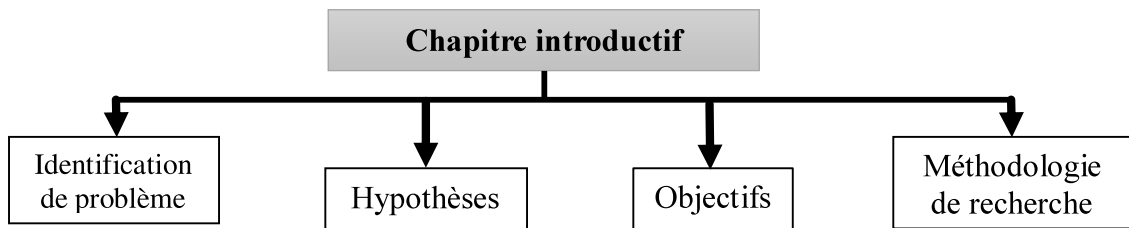
- **Un chapitre introductif** comporte une introduction générale centrée sur le contexte de l'étude, suivie par la formulation des questions de la recherche et des hypothèses, les objectifs de l'étude, et enfin la présentation du cadre méthodologique.
- **Le premier chapitre** est consacré à la présentation de l'architecture climatique dans un contexte chaud et aride. Il présente les différents paramètres influençant la performance climatique des bâtiments et identifie les principes de conception architecturale adaptés aux régions à climat chaud aride.
- **Le deuxième chapitre** s'intéresse aux différentes composantes de l'enveloppe d'un bâtiment et leurs caractéristiques. Il présente le comportement thermique des éléments constructif et met en exergue leur impact sur le confort thermique. Les différents paramètres influant sur la conception de l'enveloppe architecturale dans un climat aride sont également définis.
- **Le troisième chapitre** présente le cas d'étude ; une description du contexte géographique et des données climatiques de Biskra est effectuée ainsi qu'une analyse de son évolution à travers l'histoire. L'habitat autoproduit est appréhendé à travers les caractéristiques propres à la production de l'architecture domestique populaire dans les lotissements planifiés. Plusieurs traits inhérents à cet habitat sont identifiés.
- **Le quatrième chapitre** est consacré à l'analyse typologique de l'enveloppe (toiture et murs) et à la caractérisation de ses composantes (matériaux, surfaces vitrée...). Pour réaliser cette partie, un corpus composé de plus d'une centaine d'habitations individuelles contemporaines autoproduites, a été collecté. Des fiches-relevés mettant en exergue les propriétés formelles et matérielles de l'enveloppe, ont servi à décrire systématiquement toutes les unités du corpus. Les données recueillies à l'aide des fiches-relevés ont été traitées avec le logiciel STATISTICA ; des comptages ont été effectués afin de dégager les caractéristiques les plus récurrentes de l'enveloppe.
- **Le cinquième chapitre** concerne l'étude in situ du comportement thermique des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans la ville de Biskra. Des mesures de températures intérieures et extérieures, de l'humidité relative, de la vitesse de l'air et des températures de surface ont été enregistrées à l'aide de l'instrument TESTO 480 et d'un thermomètre infrarouge. Ce travail a permis d'évaluer

l'impact des matériaux de construction sur le confort thermique des occupants dans la réalité puis des simulations à l'aide de logiciel TRNSYS 17, ont servi à comparer les résultats obtenus sur terrain (mesure in situ) et ceux simulés.

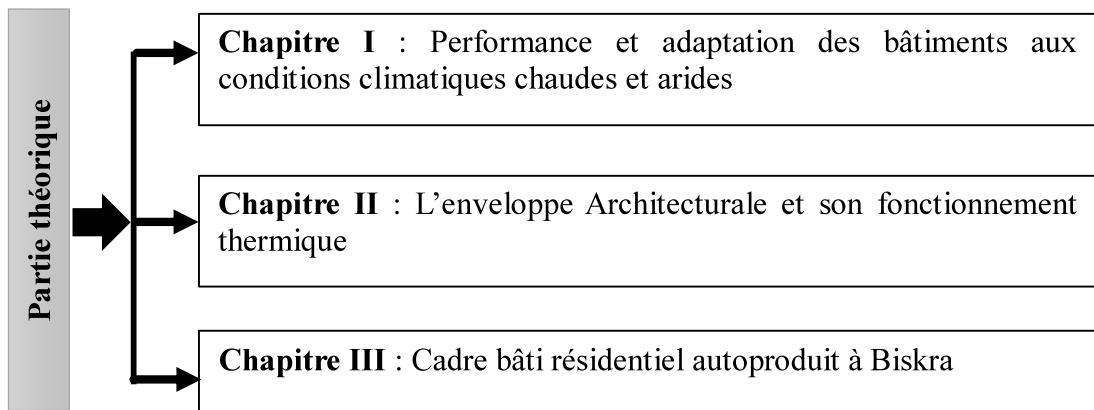
- **Le sixième chapitre** présente le travail de simulation thermique effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS 17 en vue de l'amélioration de la performance thermique de l'enveloppe. Les tests d'optimisation ont porté sur les éléments propres à l'enveloppe architecturale : toiture, taille des fenêtres, type de vitrage, protection solaire, couleur extérieure et isolation.
- **La conclusion générale** donne, enfin, les principaux aboutissements de la recherche. Ce chapitre récapitule les résultats obtenus et présente les possibilités de leur généralisation en formulant un ensemble de recommandations. Celles-ci portent sur l'amélioration de l'enveloppe et pourraient être exploitées dans la perspective de concevoir des habitations assurant un confort thermique minimal pour le plus grand nombre relativement au contexte climatique du sud algérien.

La structure du mémoire est présentée selon le schéma ci-contre.

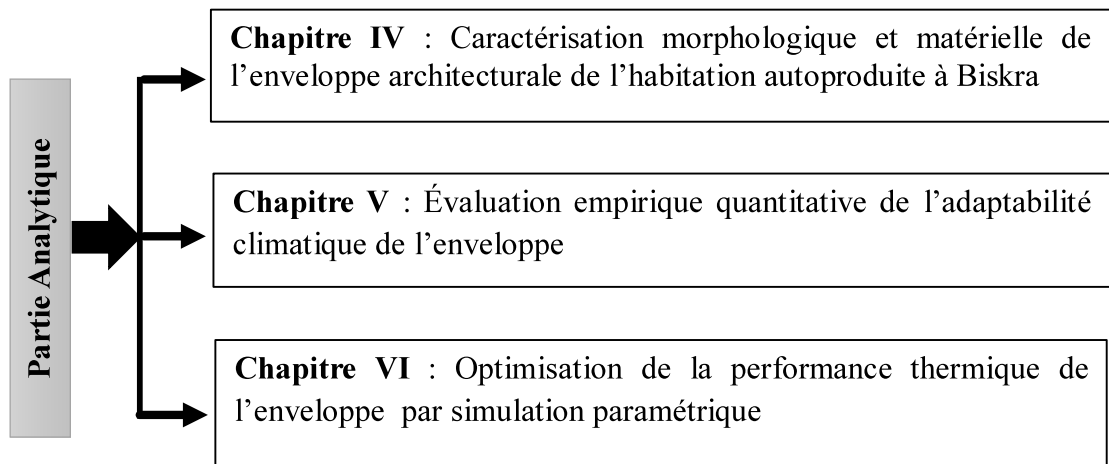




**Première partie : Développement théorique**



**Deuxième partie : Analyse et amélioration des performances climatiques de l'habitat autoproduite**



**Conclusion générale**

**PREMIÈRE PARTIE :**  
**DÉVELOPPEMENT THEORIQUE**

# CHAPITRE I : Performance et adaptation des bâtiments aux conditions climatiques chaudes et arides

## I.1. Introduction

« Le climat est la principale donnée de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains » (Claire et al. 1982). L'homme depuis son existence sur terre a, toujours, été à la recherche d'un abri pour se protéger contre les conditions climatiques extrêmes de l'environnement. Il s'agissait là d'une question de survie. Plus tard, ce besoin s'est développé et l'homme ne se contentait plus de l'abri, il cherchait plutôt à garantir son confort à travers des bâtiments de plus en plus complexes et sophistiqués.

Dans le premier chapitre de cette thèse, il s'agit d'abord de mettre en évidence la notion de climat à travers la définition des facteurs et caractéristiques climatiques ainsi que la classification des climats dans le monde. Après on s'arrêtera sur les contraintes climatiques dans les régions chaudes et arides qu'on abordera à partir des éléments propres au climat c'est-à-dire la température, l'humidité de l'air, les précipitations, l'ensoleillement et les vents dominants. Les exigences conceptuelles qui doivent assurer l'adaptabilité climatique des bâtiments relativement au contexte des zones chaudes et arides, seront également présentées.

Les différents principes de conception dans les climats chauds et arides seront traités aussi bien à l'échelle urbaine (forme et morphologie urbaine, végétation, ...etc.) qu'architecturale (implantation, orientation, matériaux, distribution des espaces, ...etc.).

## I.2. Définition du climat

Les définitions données à la notion de climat sont nombreuses. Ainsi, le dictionnaire Petit Larousse définit « le climat » comme l'ensemble des phénomènes météorologiques qui

caractérisent l'atmosphère (température, pression ...etc.) et son évolution en un lieu donné. Selon Bellara (2005), le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains. Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaires et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps. De son côté, Ben Houhou (2012) a défini le climat comme l'ensemble des conditions atmosphériques régnant à un endroit et à un temps donnés. Le climat peut être défini comme l'intégration temporelle de conditions atmosphériques, caractéristiques de certaines locations géographiques.

Selon Givoni (1978), le climat d'une région est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Par ailleurs, selon Bardou (1978) cité par Magri (2006), le climat est prédéfini par les phénomènes thermodynamiques liés à l'alternance des jours et des nuits et au cycle atmosphériques annuel qui engendre un certain nombre de modifications au sein de l'atmosphère : mouvement, échauffement, condensation, transformation énergétique...etc.

D'après Sriti (2013), le climat est un facteur physique tributaire des caractéristiques de l'environnement géographique. Considérant que le rôle prioritaire de l'architecture est de procurer un abri, notamment, par le contrôle de l'environnement, ce contrôle concerne les facteurs climatiques (température, humidité, vent, pluie...etc.), la lumière, et le son. Il consiste à mettre en relation le bâtiment et le milieu physique, et s'exerce sur plusieurs niveaux : à l'échelle urbaine, par rapport aux caractéristiques architecturales et constructives du bâtiment et même dans l'usage (Sriti, 2013).

### **I.3. Classification des climats dans le monde**

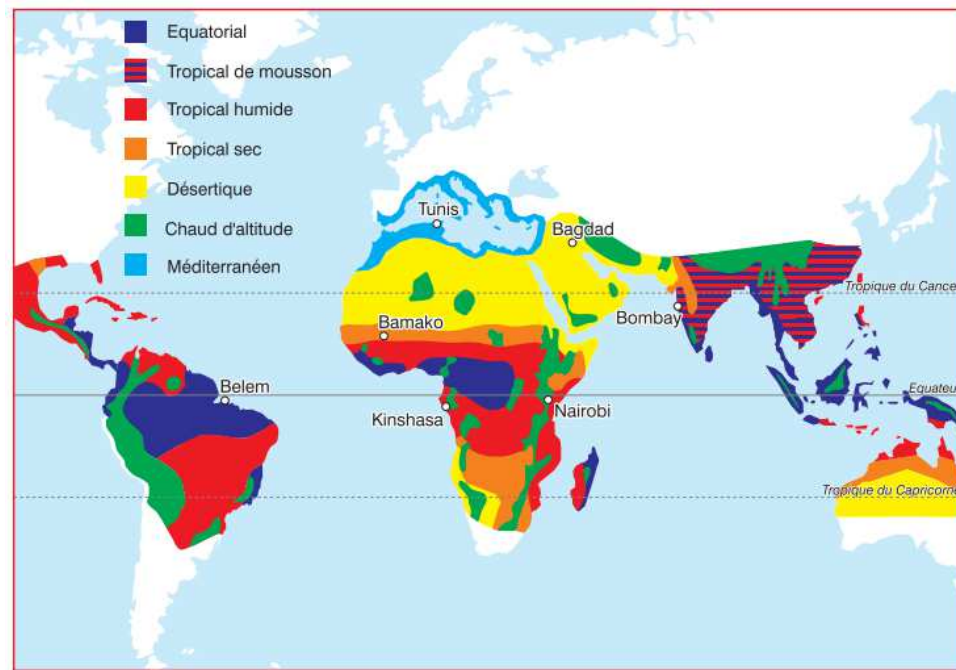
D'après Liébard et De Herde (2005) ainsi que Ben Houhou (2012), il est possible de classer le climat en fonction de la température et de l'humidité. Pour le premier facteur qui fait prévaloir la température, quatre catégories de climats peuvent être distinguées (Figure 1.1) :

- **Les climats froids** : où le problème principal est le manque de chaleur et une dissipation thermique excessive pour la majeure partie de l'année. Les températures moyennes annuelles sont inférieures à 10C°.
- **Les climats (modérés) tempérés** : il y a une variation saisonnière entre le manque de chaleur et les surchauffes, mais ni l'un ni l'autre n'est très grave. Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 10 et 20C°.

- **Les climats chaud-secs** : le problème principal est la surchauffe, l'air est sec. Il y a habituellement une grande variation journalière de la température (de jour-nuit). Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 20 et 30C°.
- **Les climats chaud-humides**, où la surchauffe n'est pas aussi grande que dans des secteurs chaud-secs, mais elle est aggravée par le taux de l'humidité très élevé, limitant le potentiel d'évaporation. La variation journalière de la température est petite. Les températures moyennes annuelles sont supérieures à 30C°.

Pour le deuxième facteur qui relève de l'humidité, deux catégories sont à retenir :

- **Climats secs** : pour une humidité relative inférieure à 55%.
- **Climats humides** : pour une humidité relative supérieure à 55%.



**Figure 1.1** : Carte du monde avec les différentes zones climatiques chaudes. (Source : Liébard et De Herde, 2005)

Pour ce qui est des régions climatiques chaudes, et en faisant prévaloir les critères de classement précédents, plusieurs zones climatiques peuvent être définies:

- **Climat équatorial**, qui se caractérise par une très forte humidité, des précipitations élevées, des températures chaudes et une faible amplitude thermique.
- **Climat tropical humide**, qui se caractérise par une saison chaude des températures supérieures de 18C°, avec de fortes précipitations et une saison sèche plus froide.

- **Climat tropical sec**, qui se caractérise par trois saisons : une saison chaude et sèche, une saison très chaude et une saison chaude accompagnée de pluies. L'amplitude thermique entre le jour et la nuit est supérieure à 5°C.
- **Climat désertique**, qui se distingue par une période chaude à très chaude et une période froide. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants, les précipitations sont rares avec un total annuel inférieur à 250 mm.

#### **I.4. Déterminer la situation et l'indice de l'aridité dans les régions chaudes et arides**

Selon Givoni (1978), les climats chauds arides se rencontrent dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie Centrale et Occidentale, d'Amérique du Nord-Ouest et du Sud, et dans l'Australie Centrale et Occidentale (Figure 1.2). Les conditions d'aridité sont provoquées par les vents alizés qui soufflent du Sud-Ouest et du Nord-Ouest en direction de l'Équateur. Ces vents se déchargent de la plus grande partie de leur vapeur d'eau au-dessus de vastes zones continentales.

L'Algérie étant située dans le Nord du continent africain et du fait de son ouverture sur la mer Méditerranée, présente différents types de climats ; ainsi, un climat méditerranéen caractérise le Nord du pays, alors que dans le Sud est couvert par le climat chaud et aride et le climat chaud et semi-aride. Selon Mokhtari (2008) les régions à climat aride sont celles où les valeurs de l'indice d'aridité sont comprises entre 5 et 10. La formule de Martonne permet de calculer l'indice d'aridité et de classier le climat en fonction de la valeur IDM (Tableau 1.1) (Medjelekh, 2006) :

$$\text{IDM} : \text{Indice d'aridité} = P / T + 10$$

**P** : Pluviométrie annuelle ou mensuelle ; **T** : Température moyenne annuelle ou mensuelle.

**Tableau 1.1** : Indices de Martonne (1923). (Source :Medjelekh, 2006)

<b>Valeur de l'indice</b>	<b>Type de climat</b>
0 < IDM < 5	Hyper aride
5 < IDM < 10	Aride
10 < IDM < 20	Semi-aride
20 < IDM < 30	Semi humide
30 < IDM < 55	Humide

Cette aridité est caractérisée par certains éléments climatiques importants influent sur la conception urbaine en général et architecturale en particulier et influent aussi sur le confort humain.

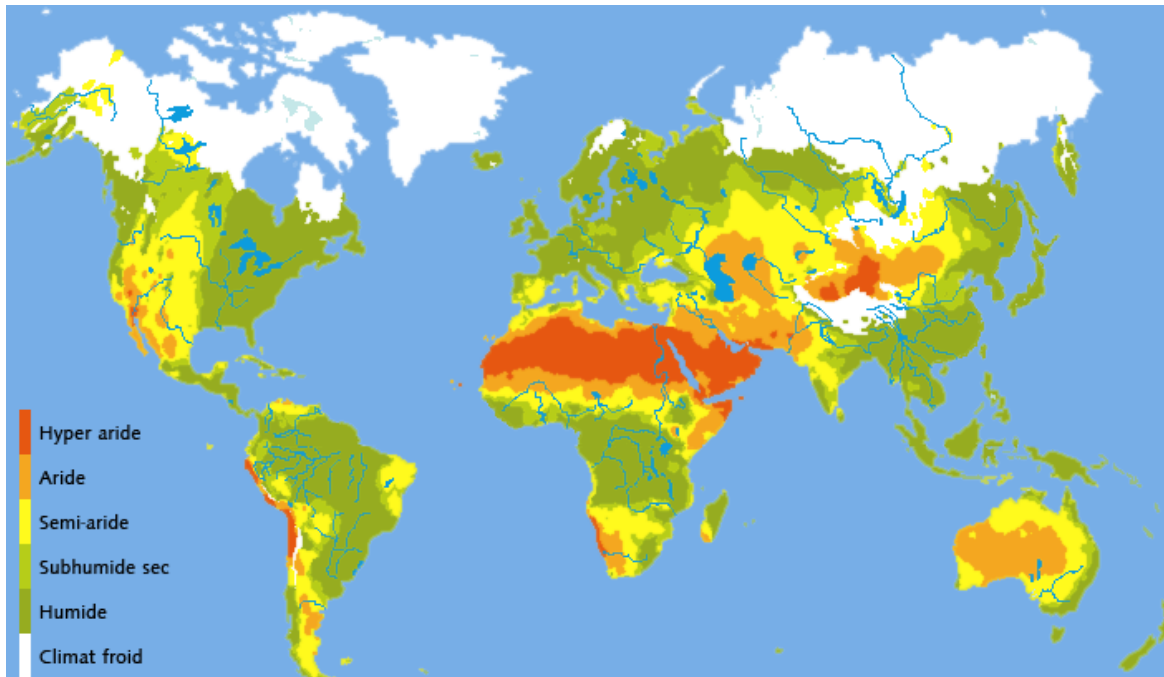


Figure 1.2 : Carte mondiale des zones arides. (Source :www.suds-en-ligne.ird.fr, 2018)

### I.5. Présentation des zones climatiques en Algérie

L'Algérie présente une diversité de zones climatiques ; elle est comprise entre 18° et 38° de latitude du Nord 9° et 12° de longitude d'Ouest vers l'Est. Elle couvre une superficie de 2.381.741km<sup>2</sup>, avec une distance de 1500km entre le Nord et le Sud et de 2 000km entre l'Est et l'Ouest. D'après Mazouz (2004) le climat en Algérie se subdivise en quatre catégories principales (Figure 1.3) (Tableau. 1.2) :

1. **Zone A** : Littoral marin
2. **Zone B** : Arrière littoral montagne
3. **Zone C** : Hauts plateaux
4. **Zone D** : Présaharien et saharien.

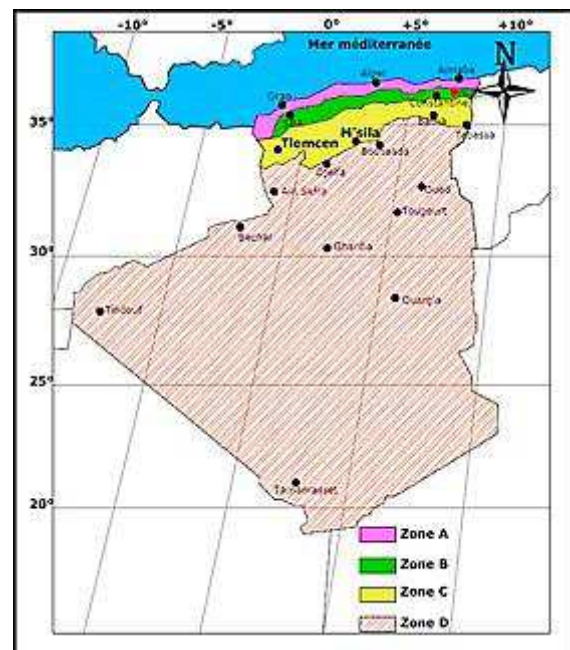


Figure 1.3 : Classification du climat en Algérie. (Source : Mazouz, 2004)

- **Zone A: Le littoral marin** jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.
- **Zone B : Le climat de l'arrière littoral montagne** est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.
- **Zone C : le climat des hauts plateaux** est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.
- **Zone D : Le climat Présaharien ou saharien** est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de Siroco (Medjelekh, 2006).

**Tableau 1.2 :** Caractéristiques des zones climatiques en Algérie. (Source : Mazouz, 2004)

<b>Zone A : littoral marin</b>	
<b>Localisation</b>	Latitude : entre la limite supérieure de 35°N à l'ouest à 37°25N à l'est La limite inférieure de 35°15 à l'ouest à 37° 35 à l'est,
<b>Variations saisonnières</b>	spectre climatique varié de chauds étés avec soleil abondants et peu de pluies et des hivers modérés,
<b>Températures</b>	20 à 25 °C
<b>Précipitations</b>	assez pluvieux de 500 mm,
<b>Humidité</b>	peu élevée,
<b>Vents</b>	modérés, nord à nord-ouest en hiver
<b>Zone B : Arrière littoral montagne</b>	
<b>Localisation</b>	Latitude : entre la limite supérieure de 35°10 N à l'ouest à 37°35N à l'est La limite inférieure de 35°25 à l'ouest à 36° 25 à l'est,
<b>Variations saisonnières</b>	avec des hivers plus frais.



<b>Zone C : Hauts plateaux</b>	
<b>Localisation</b>	Latitude : entre la limite supérieure de 35°25N à l'ouest à 36°25N à l'est La limite inférieure de 34°50 à l'ouest à 35° à l'est,
<b>Température</b>	supérieure à 30°C. Ecart important (15-18). En hiver, les températures tombent en dessous de 0,
<b>Précipitations</b>	environ 300mm mais très variable,
<b>Humidité</b>	peu élevée,
<b>Conditions célestes et rayonnement</b>	ciel clair avec des périodes de nuage léger. Rayonnement diffus modéré, des nuages et rayonnement réfléchi par le sol de modéré à élevé,
<b>Vents</b>	Essentiellement de direction ouest. Tendent à être forts débutant en fin de matinée atteignent le maximum dans l'après-midi. Nuits calmes.
<b>Zone D : Pré-Sahara et Sahara</b>	
<b>Localisation</b>	Latitude : entre la limite supérieure de 34°50N à l'ouest à 35°N à l'est. La limite inférieure de 19° à l'est et à l'ouest,
<b>Variations saisonnières</b>	02 saisons, chaudes et froides.
<b>Température</b>	T°Moy, Max : 45°C et entre 20-30°C en hiver, variation saisonnière de 20°C. L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids,
<b>Précipitations</b>	Pluies rares, torrentielles par moments,
<b>Humidité</b>	réduite entre moins 20% après midi à plus de 40% la nuit,
<b>Conditions célestes et rayonnement</b>	ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents de sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après-midis. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol,
<b>Végétation</b>	extrêmement clairsemée,
<b>Vents</b>	généralement locaux.

Plus de 85 % de la surface totale de l'Algérie est caractérisée par un climat chaud et sec, subdivisée en trois zones climatiques d'été (E3, E4 et E5) et une zone climatique d'hiver (divisée à son tour en trois sous zones H3a, H3b et H3c). Toutes ces régions subissent l'influence de l'altitude (Figure 1.4) (Mokhtari, 2008).

- La zone E3 (Présaharien et Tassili), les étés y sont très chauds et très secs,
- La zone E4 du Sahara, correspondant à des étés plus pénibles que ceux de E3,

- La zone E5 du Tanezrouft est la plus chaude en Algérie,
- La zone H3a (Présaharien), d'altitude comprise entre 500 et 1000 mètres, est caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour,
- La zone H3b (Sahara), d'altitude comprise entre 200 et 500 mètres, les hivers y sont moins froids que ceux de la zone H3a,
- La zone H3c (Hoggar), d'altitude supérieure à 500 mètres, avec des hivers rigoureux analogues à ceux de la zone H3a, mais qui persistent même durant le jour.

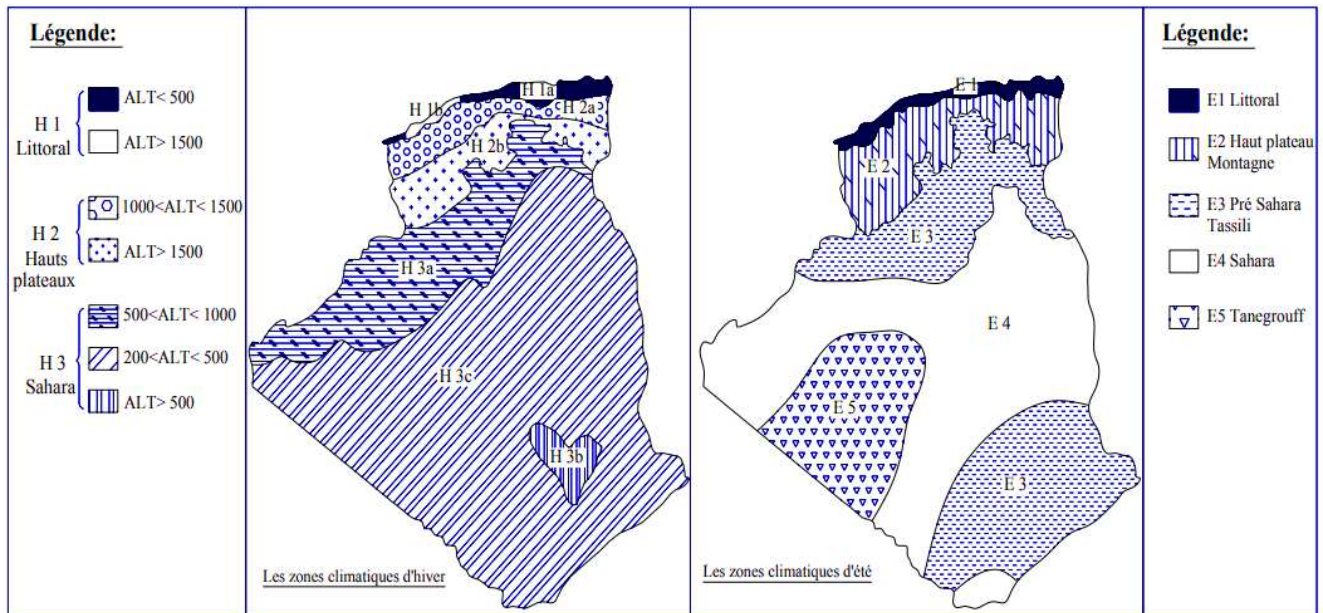


Figure 1.4: Les zones climatiques d'été et de l'hiver en Algérie. (Source : Mokhtari, 2008)

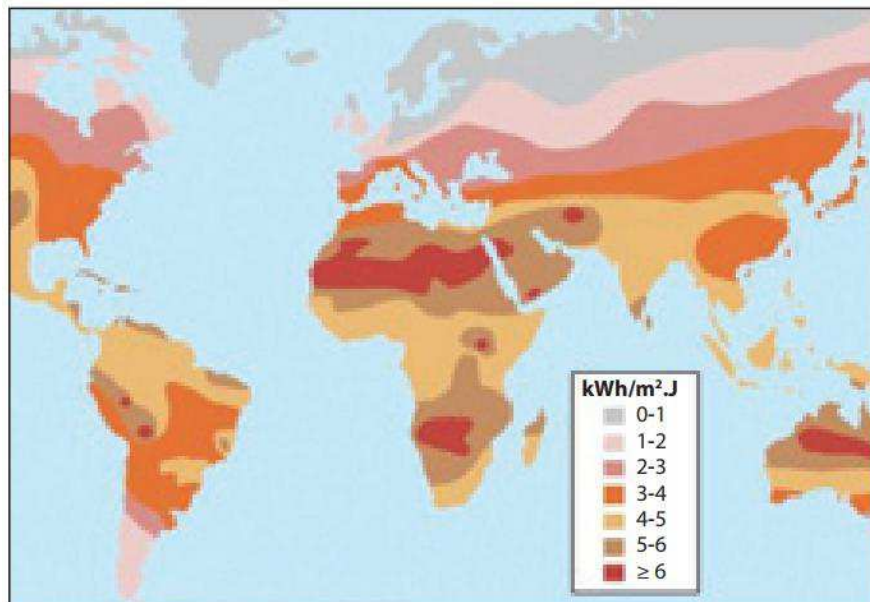
## I.6 Les caractéristiques climatiques des régions chaudes et arides

Dans les dernières décennies les architectes ont orienté leur pratique vers de nouveaux modes de construction fondés sur l'aspect climatique de chaque région et leurs caractéristiques climatiques. Par conséquent, ils doivent prendre en considération lors d'une conception (architecturale ou urbanistique) les principaux paramètres climatiques qui sont principalement : la température de l'air, l'humidité, les vents, les pluies et le rayonnement solaire. Pour les besoins de la présente étude, il est nécessaire de s'arrêter sur les caractéristiques climatiques des régions chaudes et arides qu'on va essayer de cerner et de préciser.

### I.6.1. Les rayonnements solaires

Les régions chaudes et arides sont situées généralement entre les latitudes 20°-25° au Nord et au Sud de l'équateur et largement entre 15°-30° Nord et Sud. D'après Izard (1985) cité par Zeroual (2006), la radiation solaire dans les régions chaudes et arides est le facteur le plus important, ce dernier influe sur le confort thermique et par conséquent sur la conception architecturale et urbaine dans ces régions.

Le rayonnement solaire direct est très intense il est supérieur à 800 W/m<sup>2</sup> ou 900 W/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale (Figure 1.5), et il est en outre augmenté par le rayonnement réfléchi par les surfaces arides et de couleur claire voisine (Magri, 2006). En Algérie l'intensité de radiation solaire peut atteindre 900w/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale.



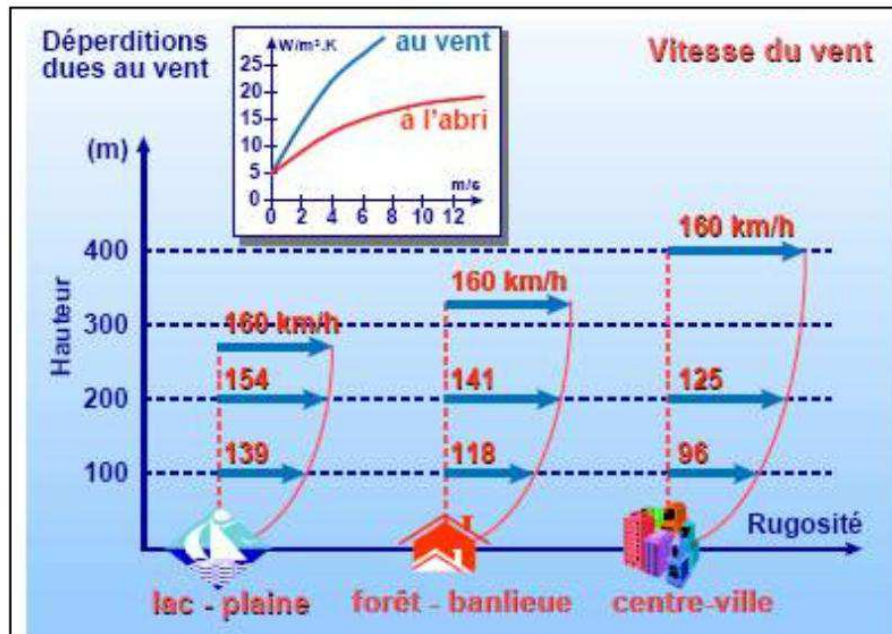
**Figure 1.5** : Carte du monde présentant l'intensité du rayonnement solaire.  
(Source : Liébard et De Herde, 2005).

### I.6.2. La température de l'air

Dans un climat aride, il existe d'importantes amplitudes diurnes des températures de l'air, si l'on prend l'exemple d'une journée d'été, les températures peuvent atteindre pendant les jours 40 à 50 C° à l'ombre et vont de 15 à 25 C°, la nuit. Et la température de surface peut atteindre 70 C° à cause du rayonnement solaire qui intercepte le sol et qui réchauffe le milieu. En plus des amplitudes diurnes, les amplitudes annuelles sont également importantes. La différence de température de l'air peut provoquer une différence de pression et un déplacement de l'air.

### I.6.3. L'écoulement du vent

Les vents du climat aride ont la particularité d'augmenter progressivement, et cela au cours de la journée. Généralement sont faibles le matin et atteignent leur maximum l'après-midi. Les vents chauds dominant sous ces climats et sont chargées de poussières ou de sable (Zemmouri, 2005). La Figure 1.6 ci-dessous donne les variations de la vitesse du vent selon l'altitude et la nature du sol.



**Figure 1.6 :** Variation de la vitesse du vent, selon l'altitude et la nature du sol.  
(Source : Liébard et De Herde, 2005).

### I.6.4. Humidité de l'air

Selon Givoni (1978) cité par Magri (2006), la capacité de l'air à contenir la vapeur d'eau augmente progressivement avec sa température qui est donc le principal facteur déterminant. Lorsque l'air contenant une quantité donnée de vapeur d'eau se refroidit, sa capacité à contenir l'humidité se réduit et son humidité relative augmente jusqu'à devenir saturant. Dans les climats chauds et arides caractérisés par une très faible humidité relative, allant de 10 à 50%.

### I.6.5. Les Précipitations

La rareté des pluies est la principale caractéristique des climats chauds et secs, ainsi les pluies sont rares et atteignent 200 mm/an au maximum et parfois nul, à l'exception d'orages pouvant se produire dans ces régions. Il peut être important de capter l'eau de pluie et de l'empêcher de s'évaporer (Zemmouri, 2005).

### I.6.6. Le ciel

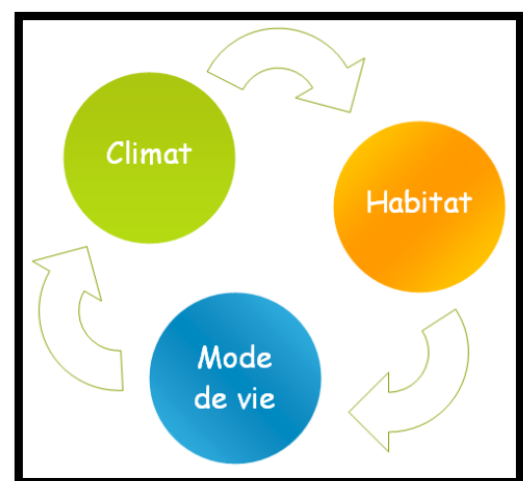
Le ciel est sans nuage pendant la plus grande partie de l'année, mais les brumes et les tempêtes de poussières sont fréquentes causées par des courants convectifs dus à l'échauffement intense de l'air à proximité du sol. Elles se produisent surtout l'après-midi (Magri, 2006).

### I.7. Définition de l'architecture bioclimatique

Olgay a utilisé le terme « bioclimatique » pour la première fois en 1953 pour définir l'architecture qui répond à son environnement climatique en vue de réaliser le confort pour les occupants grâce à des décisions de conception appropriées (Gaouas, 2011).

Selon la fédération française du bâtiment FFB<sup>1</sup> (2010) la conception bioclimatique d'un bâtiment vise à optimiser l'utilisation des apports solaires et de la circulation naturelle de l'air, limitant ainsi le recours au chauffage et à la climatisation. Elle valorise les avantages du terrain ; l'orientation du bâtiment, l'orientation des pièces, les surfaces vitrées, l'inertie du bâtiment (FFB, 2010).

Donc l'architecture bioclimatique est principalement basée sur l'utilisation des potentialités locales de la région (orientation optimale, une implantation intelligente, un choix judicieux des matériaux qui profite de leurs potentialités et propriétés thermiques ...etc.). L'approche bioclimatique en architecture tente de recréer un climat intérieur respectant le confort, les besoins et le mode de vie des occupants tout en s'adaptant aux variations climatiques extérieures de l'environnement. Elle vise à produire une symbiose entre l'homme et son milieu physique (Figure 1.7).



**Figure 1.7:** Les trois éléments de l'architecture bioclimatique. (Source : [www.fr.wikipedia.org](http://www.fr.wikipedia.org), 2018)

<sup>1</sup>FFB (2010). « Les 100 mots de la construction durable. Fédération Française Du Bâtiment [http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede\\_N00/FFB\\_PUBLICATION\\_3349/82733ad3-e92a-4b7a-8452-c0889c7144e4/PJ/100\\_mots\\_de\\_la\\_construction\\_durable.pdf](http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede_N00/FFB_PUBLICATION_3349/82733ad3-e92a-4b7a-8452-c0889c7144e4/PJ/100_mots_de_la_construction_durable.pdf).

## I. 8. Les principes de conception architecturale dans les zones arides

Cette partie est consacrée à la présentation des principes de conception relatifs aux milieux bâtis chauds et arides. Il s'agit d'établir l'effet des paramètres conceptuels sur les conditions climatiques à l'intérieur des bâtiments.

### I.8.1. Paramètres relatifs à l'échelle urbaine

#### I.8.1.1. La forme urbaine

L'échelle urbaine est le premier niveau d'adaptation au climat. Dans les régions chaudes et arides, la forme urbaine caractérisée par sa compacité sert à contrôler les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire car ce type de climat nécessite une protection optimale contre le rayonnement solaire et évite au maximum les vis-à-vis dans un souci d'intimité. La structure urbaine se distingue aussi par son arborescence, la continuité des ruelles et la présence des impasses étroites qui créent de l'ombre (Figure 1.8). Ces paramètres permettent de modérer le microclimat urbain de la ville et améliorent les conditions pour les bâtiments et leurs habitants (Magri, 2006).

Cette compacité de la forme urbaine est un trait marquant des villes maghrébines comme le cas des casbahs et des ksour en Algérie, au Maroc, en Tunisie. La forme urbaine de ce type d'habitat est très adaptée aux conditions climatiques sahariennes le ksar reste la forme la mieux adaptée au climat saharien (Akchiche, 2011).

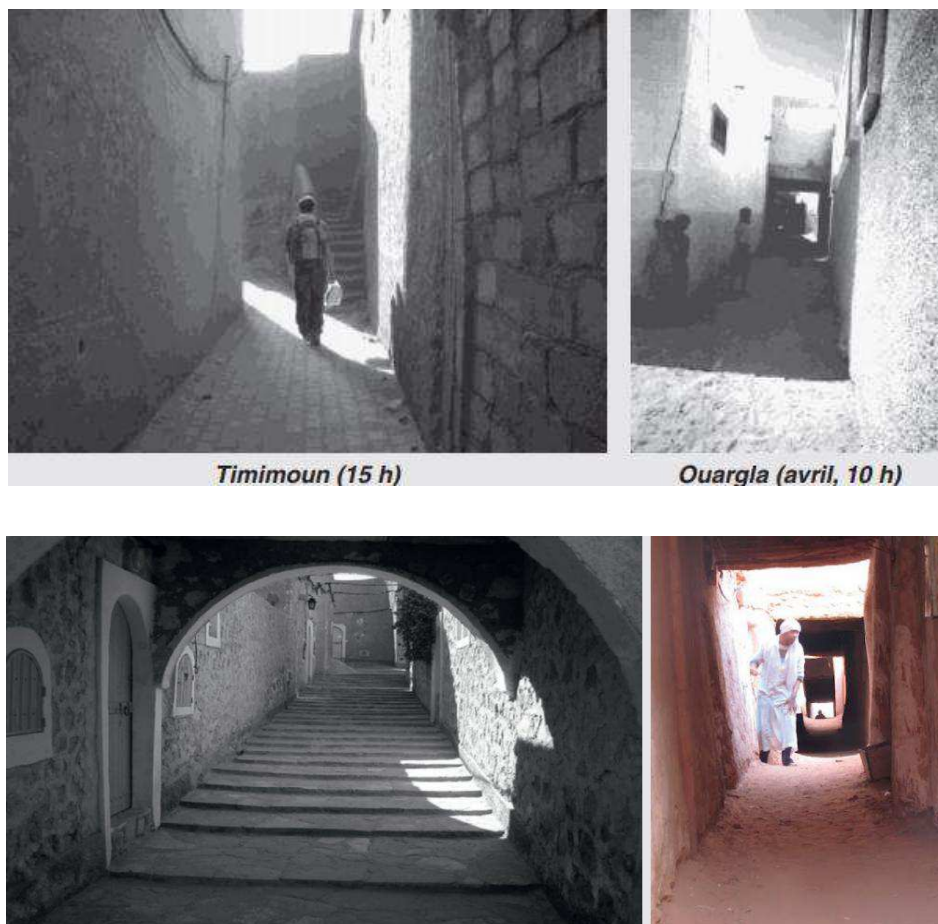


**Figure 1.8:** Forme urbaine en zone aride, ici vue aérienne de la ville de Beni Izguen. (Source : [www.maison-monde.com](http://www.maison-monde.com),2017)

#### I.8.1.2. L'ombre urbaine

Dans les climats chauds et arides, les bâtiments doivent procurer un minimum de chaleur dans la période estivale et un maximum dans la période hivernale. A l'échelle urbaine, la

première exigence est assurée par la compacité du tissu urbain qui minimise l'exposition aux radiations solaires en été. D'après Bennadji (1999), « *la forme urbaine, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, ils peuvent également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que ces rapports entre largeur des rues et hauteur des constructions sont des stratégies utilisées aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents chauds d'été et ceux froids de l'hiver* ». De leur côté Bencherif et Chaouch (2013) ont démontré que le tissu urbain dans les régions sahariennes est caractérisé par une grande compacité, verticale et horizontale, qui expose une surface minimale au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. Les ruelles, longues et sinueuses, sont ombragées presque toute la journée (Figure 1.9).



**Figure 1.9** : Rues ombragées des ksour. (Source : Bencherif et al, 2013)

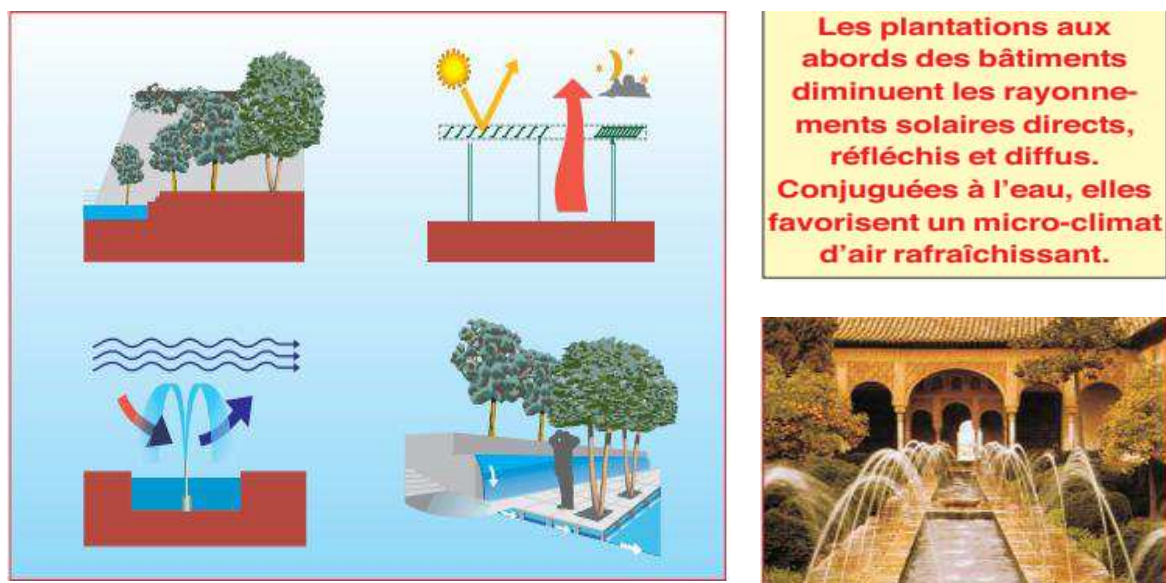
Les ruelles sont longues et sinueuses, protégées par les encorbellements des pièces de l'étage, ce qui permet de minimiser ainsi les durées d'ensoleillement des façades et empêche le vent de chasser l'air frais accumulé la nuit. Suivant leurs orientations, les rues

étroites peuvent offrir de l'ombre sur une durée plus ou moins longue de la journée. Pour des causes impératives où l'ombre se fait rare, les passages couverts constituent des relais, les piétons peuvent alors s'y recueillir avant de poursuivre leur chemin sous un soleil torride (Bennadji, 1999).

### *1.8.1.3. Refroidissement par évaporation*

Selon Liébard et De Herde (2005) dans les climats chauds et secs, l'évapotranspiration du sol peut participer au rafraîchissement de l'air ambiant (Figures 1.10). Il est donc recommandé d'intégrer la végétation dans les zones bâties pour améliorer l'environnement immédiat de chaque construction. De son côté Zitouni (1996) cité par Zeroual (2006) affirme que l'augmentation du taux de l'humidité dans l'air résultant de l'évaporation de l'eau, la couche végétale, les bassins et les fontaines artificielles peuvent améliorer la sensation thermique en minimisant la chaleur sèche par une sensation de fraîcheur agréable pour l'ambiance intérieure.

L'obtention de la fraîcheur est le résultat de l'échange couplé entre l'air en circulation et l'eau en contact direct avec ce dernier. L'eau en circulation constante à l'intérieur d'un dispositif atteint une température d'équilibre égale à la température humide de l'air introduit (Figures 1.10). Le transfert de chaleur et de masse entre l'eau et l'air abaisse la température sèche de l'air et augmente le taux d'humidité.



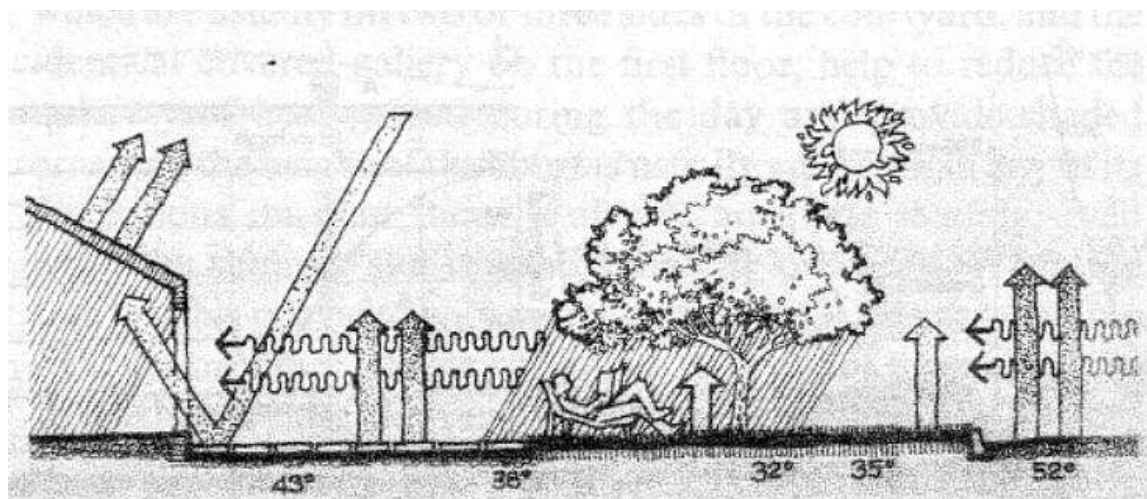
**Figure 1.10 :** Les techniques d'évaporation utilisées. (Source : Liébard et De Herde, 2005).



#### 1.8.1.4. Couverture du sol

La texture et la nature des sols déterminent une partie de l'ambiance extérieure autour des bâtiments et présentent également sur leur ambiance intérieure. Selon l'auteur Liébard et De Herde (2005) le sol est capable d'absorber une partie du rayonnement incident et réfléchir le reste ; le rayonnement absorbé participant au réchauffement du sol lui-même. En milieu urbain, caractérisé par un coefficient d'absorption élevé de l'ordre de 0.8, les constructions et surtout les infrastructures routières constituent un formidable réservoir de chaleur, en été, une surface goudronnée peut atteindre une température supérieure à 80°C à cause de sa couleur foncée et de son horizontalité. (Liébard et De Herde ,2005).

Donc la nature de la couverture du sol autour du bâtiment a un important impact sur la température ambiante à l'échelle de l'espace habité. Cette température peut-être plus élevée ou plus basse que la température moyenne du site (Figure 1.11).



**Figure 1.11:** L'impact de la nature de la couverture du sol sur la température ambiante. (Source : Gut et al ,1993)

#### 1.8.1.5. Végétation

En plus de ses atouts esthétiques, la végétation est considérée comme une stratégie de thermorégulation à l'échelle du tissu urbain grâce à son rôle de protection solaire par la création de l'ombre et ses propriétés d'humidification et d'évaporation. Ainsi, elle favorise le rafraîchissement de l'air et permet aussi de diminuer la température intérieure dans les zones ombragées par la réduction de l'influence de la radiation solaire sur les surfaces, également elle atténue la forte vitesse du vent à l'échelle de la ville.

Dans les zones chaudes et arides, il est conseillé d'utiliser des arbres adaptés aux conditions climatiques locales, tel que les arbres à feuilles caduques offrant l'ombre

maximale pendant l'été et permettant le rayonnement solaire en hiver. Selon Gut et al (1993) l'utilisation de la végétation pour l'aménagement des paysages a beaucoup d'avantages :

- Elle améliore le microclimat à l'extérieur et à l'intérieur ;
- Elle protège contre les vents chauds et poussiéreux dans les régions arides,
- La transpiration des feuilles contribue à abaisser les températures ;
- Sa nuance abaisse les températures de jour et l'émission de chaleur la nuit est également réduite, entraînant ainsi des températures plus équilibrées ;
- Elle équilibre l'humidité. Pendant les précipitations, une grande partie de l'eau libre est absorbée et pendant les périodes sèches, l'eau est évaporée.

Un autre facteur qui peut aider dans la sélection de l'arbre droit est son "facteur de refroidissement". Lors de la mesure de l'intensité du rayonnement à l'ombre d'un arbre, l'efficacité des différentes espèces varie. La Figure 1.12 illustre l'intensité du rayonnement par rapport aux conditions non ombragées.

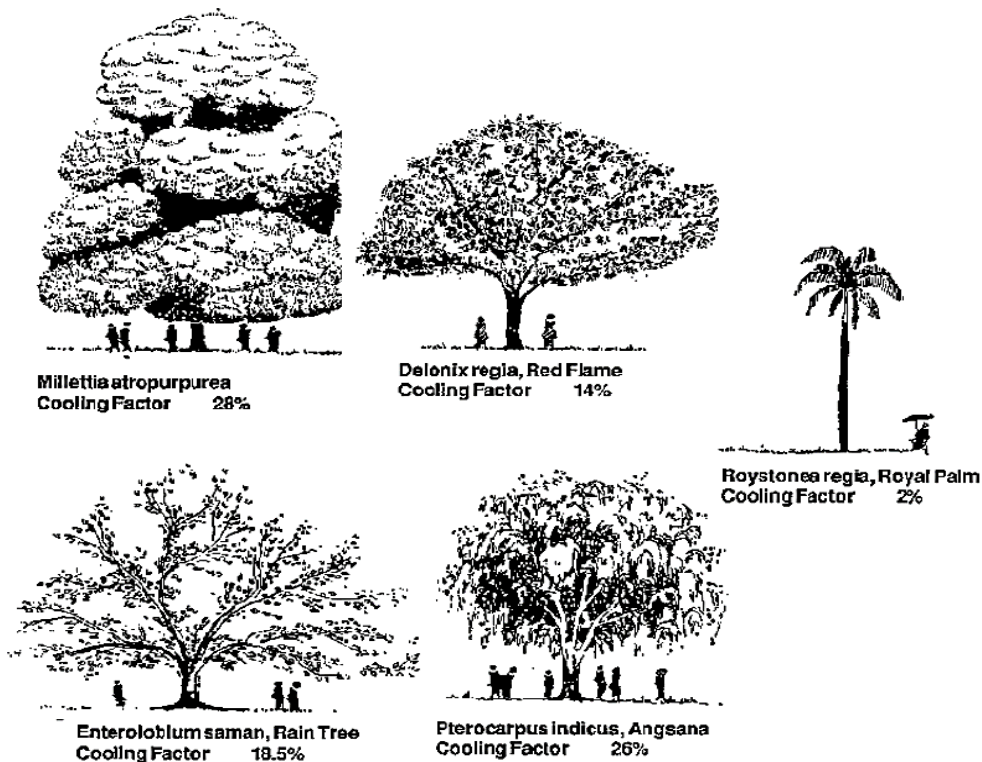
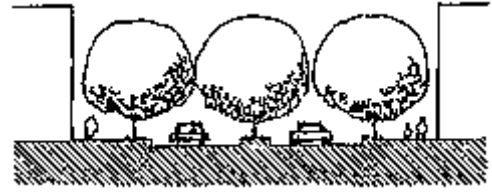


Figure 1.12 : Arbres sélectionnés et leurs facteurs de refroidissement. (Source :Gut et al,1993)

L'utilisation de végétation dans les rues et l'aménagement des espaces extérieurs avec des arbres et des haies améliorent considérablement le microclimat et la qualité de vie. (Figure 1.13)



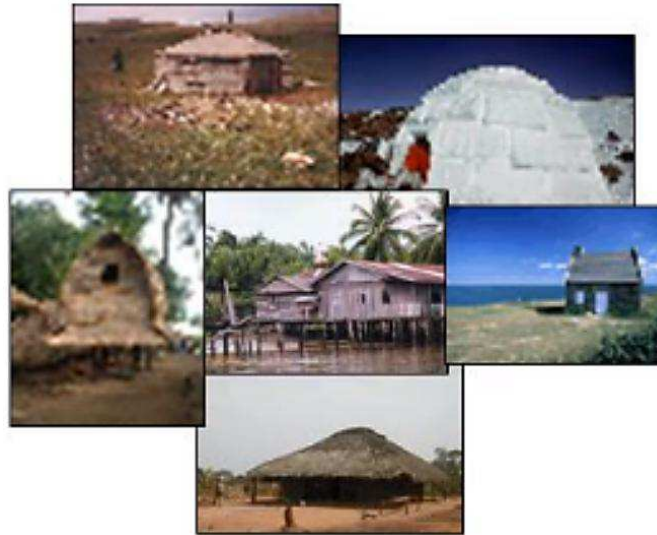
**Figure 1.13** :Espace vert de la rue  
(Source :Gut et al ,1993)

## **I.8.2. Paramètres relatifs à l'échelle architecturale**

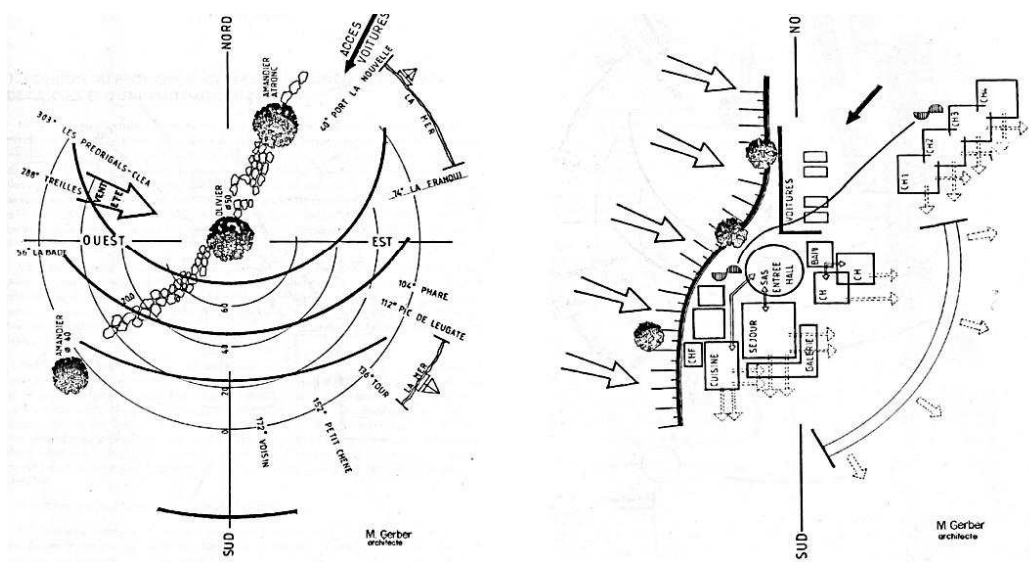
### ***I.8.2.1. L'implantation***

L'intégration du bâtiment dans son environnement est le premier concept qu'on doit prendre en considération dans la conception architecturale et ce, du fait de son influence directe sur le confort thermique intérieur. De ce point de vue, il est important pour l'architecte d'avoir des informations sur le terrain (plat ou en pente, les vents dominants, la quantité de radiations solaires incidentes, les masques dus aux bâtiments voisins, la présence des arbres ...etc.).

D'après Mokhtari (2008), le choix du site d'implantation est le premier facteur garantissant une conception architecturale thermiquement performante bien qu'il n'affecte ni les températures ni les humidités, mais il a un effet non négligeable sur le vent, la pluie et le rayonnement solaire. Et selon Chatelet et al (1998), le site et l'environnement influent sur le type des constructions (Figure 1.14) et le concepteur doit toujours chercher à exploiter les potentialités de l'environnement par une analyse du site et savoir les interactions entre le bâtiment et son environnement le relief (l'azimut de la pente conditionne fortement les paramètres du microclimat ...), le contexte urbain (la forme urbaine va modifier l'ensoleillement disponible et la pression du vent sur les façades...), le type de terrain (inertie, humidité, albédo du sol ...), la végétation (effet sur l'humidité et la vitesse de l'air ...) et le vent (source de ventilation...) (Figure 1.15).



**Figure 1.14:** La conception de l'habitat vernaculaire dans différentes zones climatiques (Source : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org),2017)



**Figure 1.15 :** Analyse climatique d'un site. (Source : Chatelet et al. 1998)

### 1.8.2.2. Effet de l'orientation

Un autre paramètre qui influe sur les conditions de confort à l'intérieur d'un bâtiment c'est l'orientation des façades. Un choix approprié de l'orientation dès la première phase de la conception, influe sur la création des conditions de confort pour les occupants et garantit la performance thermique et énergétique d'un bâtiment.

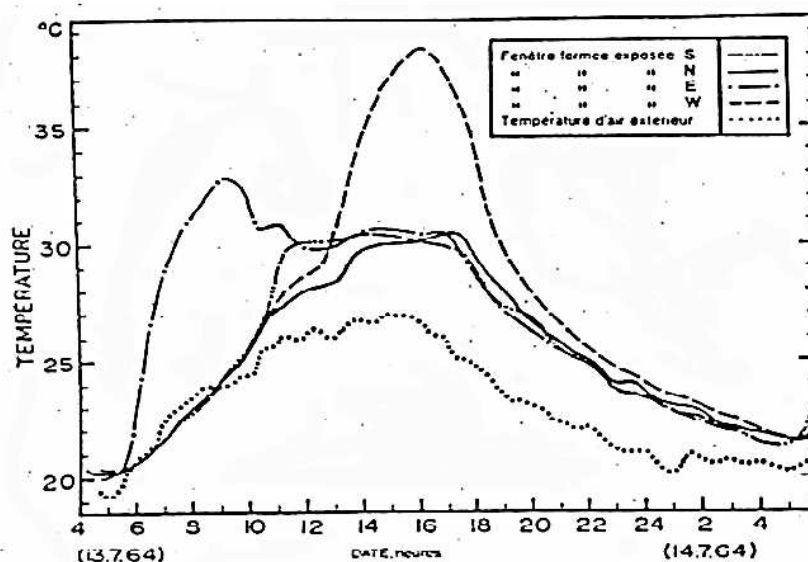
D'après Bloch-Laine (1979) cité par Benhalilou (2008), l'orientation des façades est le paramètre clé des interactions visuelles, thermiques et acoustiques. Cependant au niveau

thermique, cela se traduit par l'ensoleillement disponible, la pression du vent et l'humidité de l'air ; tout cela gère simultanément le rôle que joue la façade. Le niveau du rayonnement sur un mur est sensiblement plus élevé dans une direction et moindre dans l'autre, ce qui signifie que les conditions de protection sont importantes, et en particulier là où il y a des fenêtres « il n'en reste pas moins qu'une bonne orientation des baies vitrées est un choix essentiel pour faire des économies d'énergie ».

**Tableau 1.3 :** Apports calorifiques sur une paroi selon son orientation. (Source : Benhalilou, 2008)

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Toiture
13%	31%	44%	36%	21%	36%	44%	37%	96%

Selon Givoni (1978), les ouvertures affectent l'ambiance intérieure des bâtiments, particulièrement dans les régions chaudes ; une orientation peut permettre d'obtenir des températures plus basses, tandis qu'une autre permettrait d'aboutir à des vitesses d'air intérieures plus élevées. Le graphe ci-dessous (Figure 1.16) montre l'effet de l'orientation sur les températures de l'air. Les expositions Ouest et Est sont à éviter, lorsque les rayons du soleil sont forts, il est préférable d'avoir une exposition vers le Sud.

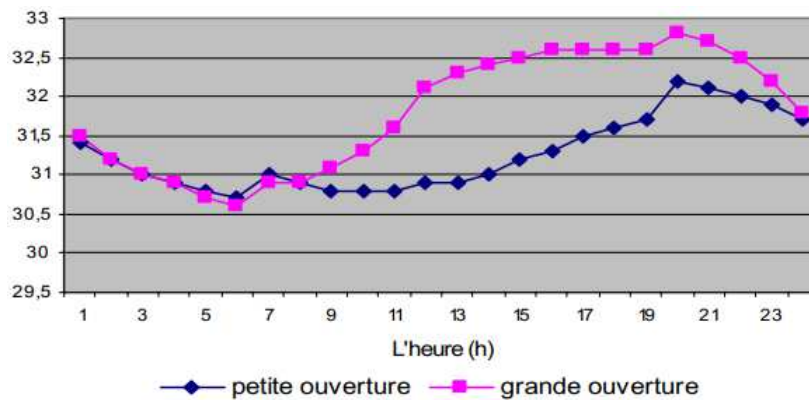


**Figure 1.16 :** Influence de l'orientation sur les températures d'air intérieur. (Source : Givoni, 1978)

### 1.8.2.3. La taille des ouvertures

Le ratio d'ouverture (surface des ouvertures par rapport à la surface de la façade) est un élément très important dans la conception bioclimatique des bâtiments, car la taille des fenêtres détermine la quantité de la lumière naturelle, contrôle les rayonnements solaires de

l'extérieur vers l'intérieur et assure la ventilation naturelle. La fenêtre a également plusieurs fonctions conflictuelles qui peuvent être exploitées afin de rendre un environnement confortable pour ses occupants. La taille des fenêtres détermine également l'infiltration de l'air à travers les fenêtres, plus la fenêtre est grande plus les gains solaires sont importants ce qui augmente la température de l'air ambiant intérieur. D'après Magri (2006) les dimensions des ouvertures déterminent la quantité d'énergie qui pénètre dans le local sous forme de rayonnement solaire. Elle détermine également le débit de changement d'air. La figure ci-dessous (Figure 1.17) présente l'effet de la taille de l'ouverture sur la température de l'air. Dans les régions chaudes et arides, il est recommandé d'éviter les grandes ouvertures et de construire avec une taille de fenêtre réduite pour diminuer la pénétration des rayonnements solaires directs qui provoquent l'augmentation de la température intérieure.



**Figure 1.17 :** L'effet de la taille de l'ouverture sur la température de l'air. (Source : Magri, 2006)

#### *1.8.2.4. Le choix des matériaux*

Les matériaux de construction qui constituent l'enveloppe des bâtiments, créent une barrière entre l'extérieur et l'intérieur qui protège les occupants contre les facteurs climatiques tels que le froid, la chaleur, le vent, la pluie, la neige ....etc. En outre, l'enveloppe matérielle contrôle les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement. Généralement l'enveloppe se compose de deux types de parois : les parois opaques verticales et horizontales (murs et toitures) et les parties transparentes (ouvertures).

La performance thermique de l'enveloppe dépend de l'épaisseur des parois qui la constituent et des propriétés thermo-physiques des matériaux qui la composent (notamment : la résistance thermique et la capacité calorifique). Selon Givoni (1978), les propriétés des matériaux qui affectent le bilan des échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur des

bâtiments et qui conditionnent ainsi l'ambiance thermique intérieure et le confort des occupants sont (Figure 1.18):

- La conductivité thermique, résistance et conductance.
- Les caractéristiques de surface vis-à-vis du rayonnement : facteurs d'absorption, de réflexion et d'émission.
- Le coefficient de convection de surface.
- La capacité calorifique.
- La transparence aux rayonnements de différentes longueurs d'onde.

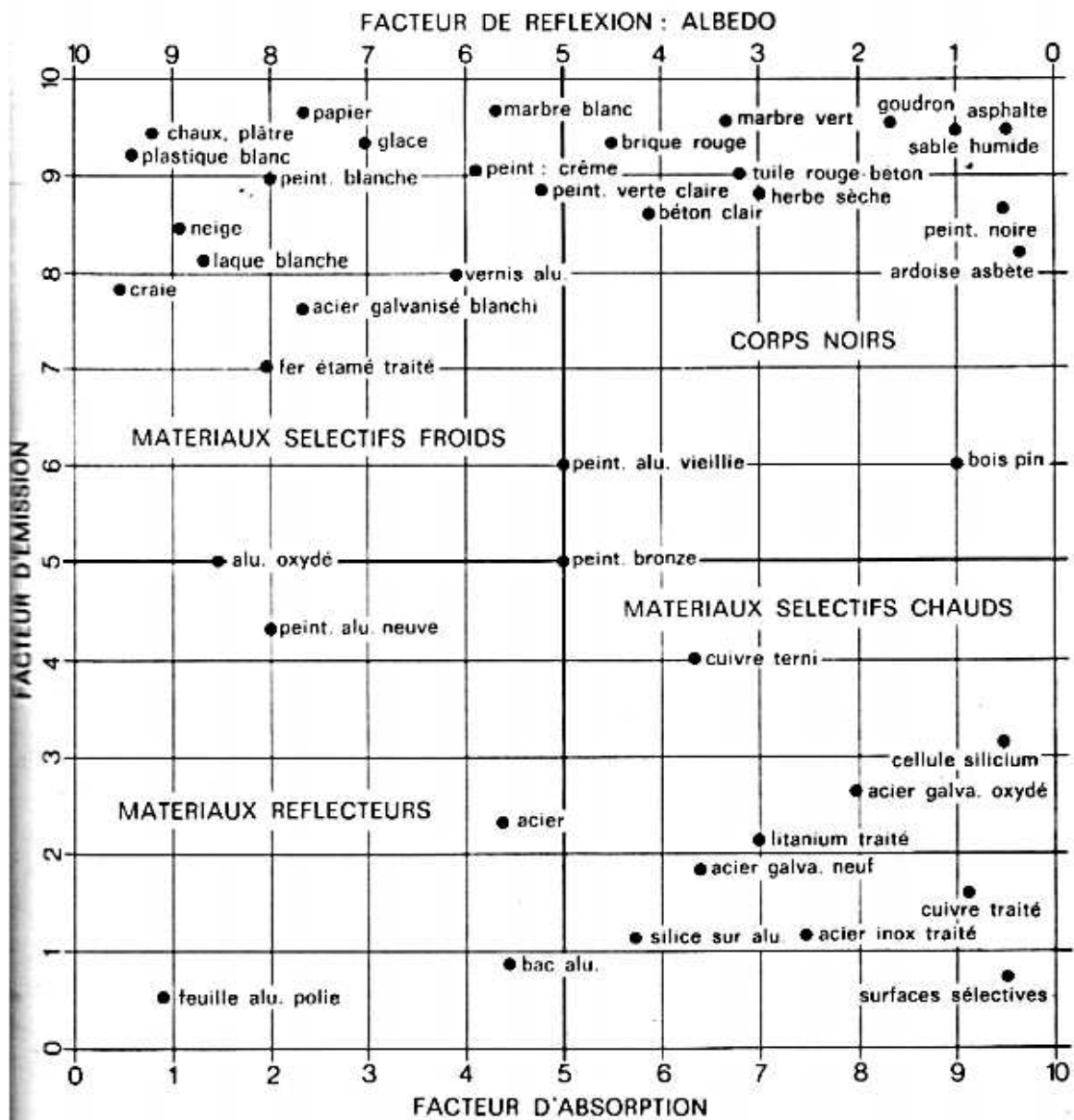


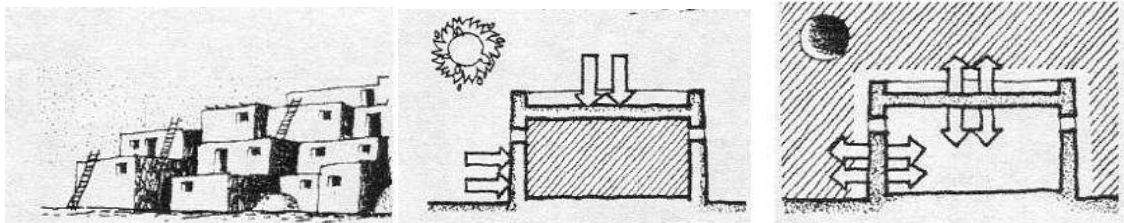
Figure 1.18 : Propriétés radiatives des principaux matériaux. (Source : Givoni, 1978)

### 1.8.2.5. L'inertie thermique

D'après Liébard et De Herde (2005), lorsque les rayons du soleil frappent une paroi opaque, une partie de l'énergie rayonnée est absorbée, le reste est réfléchi. Un flux de chaleur s'établit alors entre la face externe et la face interne de la paroi. Au cours de la traversée de la paroi considérée, le flux de chaleur est à la fois ralenti et affaibli par la résistance que lui oppose celle-ci. Le maximum de température atteint sur la face extérieure n'est pas immédiatement senti sur la face intérieure de la paroi. Le temps de déphasage est en fonction de l'épaisseur ainsi que de la conductivité thermique des matériaux.

Le déphasage de la chaleur et l'amortissement avant d'atteindre l'intérieur sont les deux critères qui caractérisent l'inertie thermique. Le retard de transmission à travers la façade et la toiture est évalué de telle sorte que la chaleur n'atteigne l'intérieur que tardivement : le soir au moment où la température de l'air extérieur se rafraîchit et que le bâtiment peut se refroidir par la ventilation naturelle. Des matériaux lourds comme : le béton, la terre, la brique pleine... etc., présente cette forme de comportement thermique. La Figure 1.19 illustre l'effet des parois opaques compactes avec peu d'ouverture sur l'inertie thermique de bâtiments (Izard, 1993).

- La chaleur est stockée durant la journée l'intérieur est plus frais que l'extérieur
- La nuit la chaleur est restituée à l'intérieur.



**Figure 1.19** : Effet de l'inertie thermique jour et nuit (Source : Izard 1993)

### 1.8.2.6. Captage solaire à travers les surfaces extérieures de l'enveloppe

L'enveloppe d'un bâtiment reçoit une quantité de rayonnement solaire très importante. Cette énergie se déplace dans les composantes des parois pour s'introduire à l'intérieur de l'espace et participer à l'augmentation de la température de l'espace habitable. L'importance de ce phénomène physique et la sévérité du problème dépend de l'altitude, l'heure, le jour et le mois, ainsi que des dimensions et la géométrie des parois de l'enveloppe et de l'orientation (Est, Ouest, Sud, Nord, horizontal, incliné, courbé...etc.).



Les surfaces verticales **Est** et **Ouest** reçoivent plus d'énergie solaire par rapport aux surfaces **Nord** et **Sud** mais les surfaces horizontales reçoivent le maximum par rapport à toutes les surfaces du fait que les rayons solaires, surtout à midi, sont presque perpendiculaires aux plans horizontaux. Les parois sous l'ombre reçoivent moins de chaleur que les parois exposées au soleil, mais cela n'empêche que le transfert de chaleur par conduction de l'extérieur vers l'intérieur augmente aussi la température interne (Zeroual, 2006).

Pour atténuer l'augmentation de la température intérieure dans la période estivale, il faut diminuer les échanges de l'air entre l'extérieur et l'intérieur du local, s'opposer à l'apport de chaleur par le rayonnement à travers les fenêtres et empêcher les parois et les plafonds exposés au soleil de se réchauffer durant la journée.

Également, la couleur des façades extérieures influe sur la transmission de la chaleur à l'intérieur des pièces. Dans les régions chaudes et arides, les couleurs claires participent à la protection solaire des bâtiments contre les rayons solaires par réflexion. Quand la couleur de la surface extérieure est sombre, l'accumulation de la chaleur absorbée est favorisée, donc l'élévation de la température à l'intérieur de l'espace.

Ainsi la réalisation des bâtiments isolants, et la construction à plusieurs niveaux de telle sorte qu'il n'y ait qu'une toiture à traiter (la toiture du dernier étage) permettent d'améliorer le fonctionnement thermique des parois. Selon Liébard et De Herde (2005) un entretien permanent des façades extérieures contre les moisissures, les salissures et le vieillissement naturel permet de conserver sa qualité protectrice contre l'effet de la surchauffe en été.

#### ***1.8.2.7. Entrées solaires par les ouvertures***

Dans les régions chaudes, les entrées solaires par les ouvertures doivent être réduites à l'extrême. Les ouvertures doivent être dimensionnées en prenant en considération le rayonnement solaire intense propre au climat chaud et aride. Pour éviter la pénétration du rayonnement solaire à travers les ouvertures et le problème de surchauffe qui en résulte, il est nécessaire de répondre aux exigences suivantes :

- Réduire la taille des ouvertures qui ne doivent dépasser le nécessaire pour l'éclairage naturel que pour des raisons de refroidissement.
- Orienter le bâtiment Nord/Sud et éviter le plus possible d'exposer les ouvertures vers l'Est et l'Ouest. Les radiations solaires incidentes sur les parois verticales dans ces

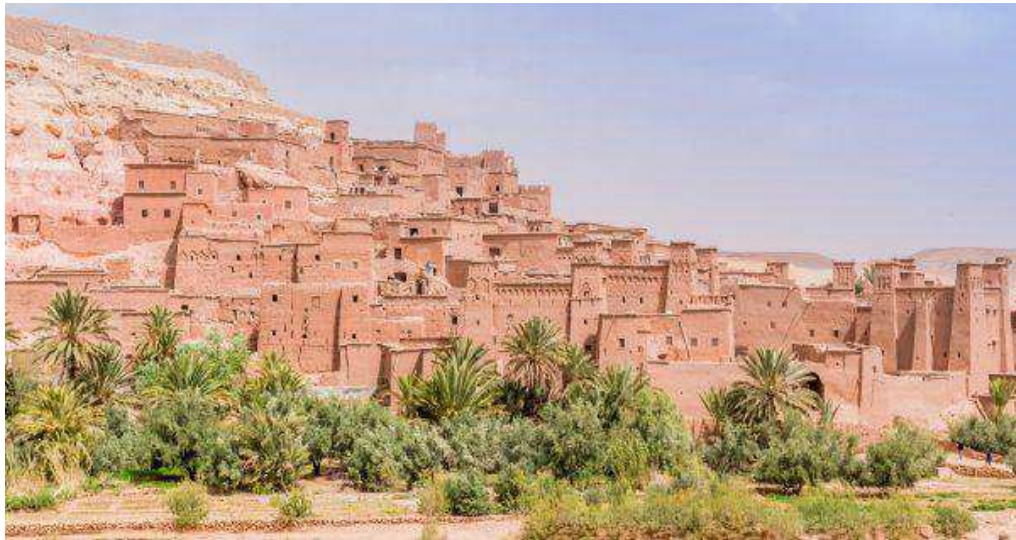
deux directions sont nettement supérieures à celles qui atteignent les parties verticales Nord et Sud.

- Les ouvertures inclinées reçoivent une quantité d'énergie solaire supérieure à celle reçue par les ouvertures verticales, et par conséquent, elles devraient être interdites surtout dans l'orientation proche de l'horizontale.
- Toujours protéger les ouvertures contre les radiations solaires directes par des protections solaires fixes ou mobiles pour éviter le problème de surchauffe et l'éblouissement.
- Opter pour des types de vitrage performant. Le type de vitrage influe sur la transmission des gains de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment (Tableau 1.4)

**Tableau 1.4 :**Gains de chaleur par divers types de verres. (Source : Givoni, 1978)

<b>Types de verres</b>	<b>Transmission directe</b>	<b>Gain dû au rayonnement absorbé</b>	<b>Total</b>
verre clair	74	9	836
verre à fenêtre	85	3	88
verre absorbant (lumière chaleur)	20	25	45
verre gris	30	30	60
verre laqué	38	17	55

D'après Zeroual (2006), les murs de façades dans les climats chauds et arides sont presque aveugles et les ouvertures quand elles existent sont de taille réduite ; leur fonction se limite à l'aération et la ventilation et généralement elles sont disposées à des hauteurs de mur de 1.80 m jusqu'à 2.20m (Figure 1.20). « *La réduction des ouvertures permettra de diminuer les transferts thermiques par conduction, rayonnement et infiltration d'air, quelles que soient leur positions. Cependant, l'ouverture présente une résistance thermique inférieure à celle des murs pleins, ce qui a donc d'effet d'augmenter le coefficient de gains de chaleur. Il est donc nécessaire de minimiser ces surfaces surtout dans les régions chaudes parce qu'elles présentent une source de chaleur difficile à contrôler* » (Zeroual, 2006).



**Figure 1.20** : Vue sur un ksar au Sud du Maroc, montrant la compacité des groupements, les dimensions et l'emplacement des ouvertures. (Source : Zeroual, 2006)

### ***1.8.2.8. Organisation spatiale et occupation des espaces***

#### ***a. Séparation des espaces à forte production de chaleur***

Dans la conception de l'habitat dans les régions chaudes et arides il faut séparer les espaces à forte production de la chaleur interne, par exemple l'intégration de la cuisine au séjour (cuisine américaine) n'est pas raisonnable, la situation de la cuisine extérieure à l'ombre peut être bien plus rationnelle (Figure 1.21). Ainsi les pièces techniques doivent être séparées des pièces de vie dans la maison. Et la présence des espaces intermédiaires couverts/ouverts sous forme de galeries à arcades, orientées généralement vers le sud, pour profiter de la chaleur ambiante en hiver et se protéger des rayons presque verticaux en été, est fortement recommandée (Figure 1.22).



**Figure 1.21**: Wast Dār d'el Qadi, à Boukais, dans la wilaya de Béchar (2005) . (Source : [www.pierreseche.com](http://www.pierreseche.com), 2018)

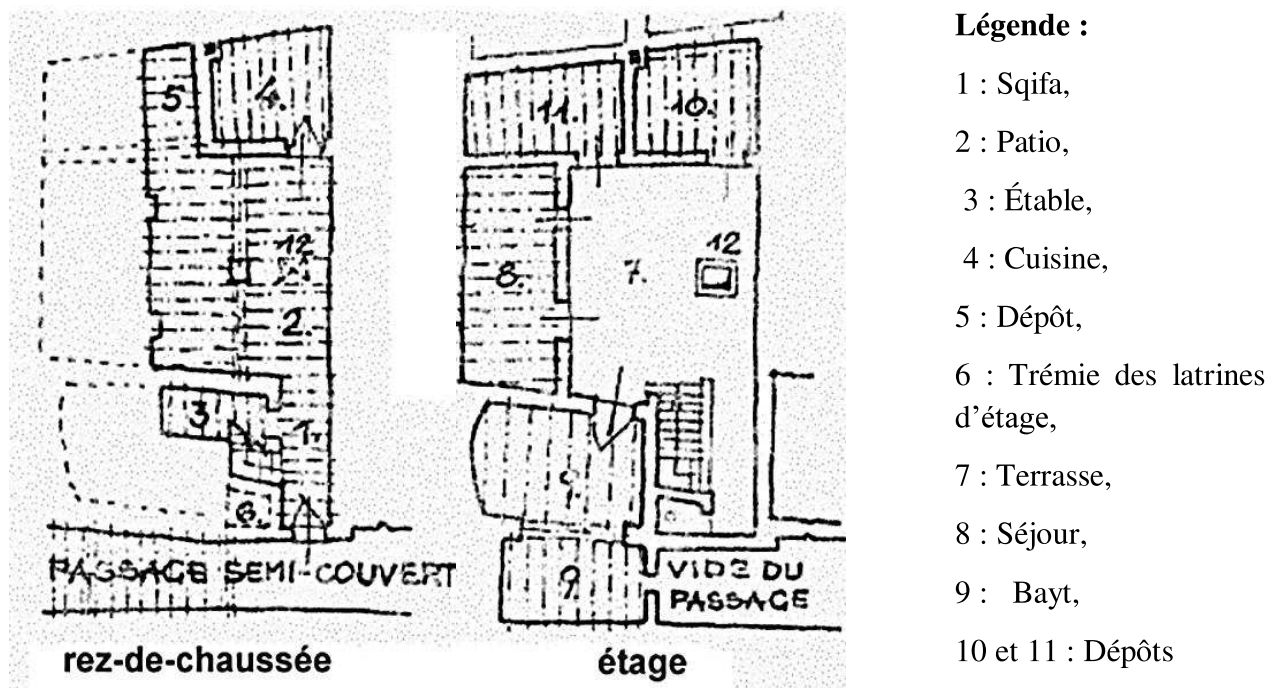


Figure 1.22: Maison dans le ksar de Taghit. (Source : www.pierreseche.com, 2018)

### b. Nomadisme

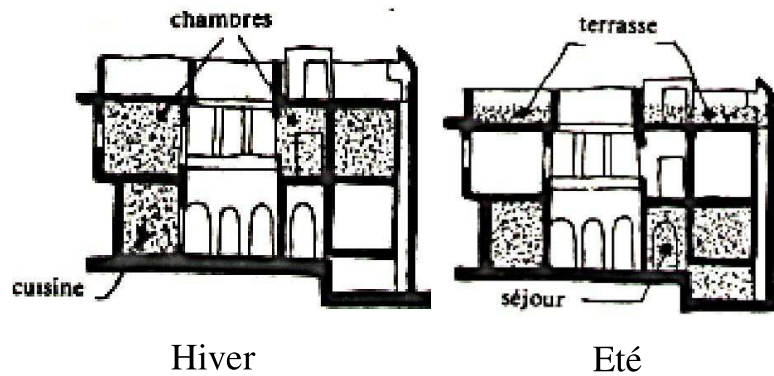
On appelle nomadisme le déplacement des habitants à l'intérieur du bâtiment, que ce soit vers les pièces les plus chaudes ou les pièces les plus froides. Le nomadisme peut être quotidien ou saisonnier. Il s'agit dans les deux cas d'une recherche de confort. Cette transition est essentiellement adaptée aux climats à forte amplitude thermique journalière ou saisonnière (Figure 1.23).



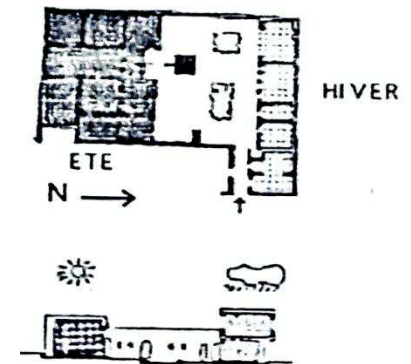
Figure 1.23 : Intérieur de la maison Beit de Suheimi (Caire). (Source : Liébard et De Herde, 2005)

Dans le cas d'un **nomadisme saisonnier**, certaines pièces ne seront occupées qu'une période de l'année. Leur affectation dépend de leur orientation au rayonnement solaire et de leur position respective par rapport à l'ensemble du bâtiment. Il existe deux types de nomadisme saisonnier vertical et horizontal

- **Nomadisme vertical saisonnier** : Dans les zones arides où l'on construit en hauteur, le rez-de-chaussée et a fortiori la cave, naturellement plus humide et moins ou pas soumis au rayonnement solaire, sont plus frais que les étages, d'où le choix d'affectation des espaces d'hiver et d'été (Figure 1.24).
- **Nomadisme horizontal saisonnier** : Dans les zones arides où la forme de l'habitat est horizontale, les appartements d'hiver et d'été sont adossés au même étage, l'un ouvrant au Nord et l'autre au Sud (Figure 1.25).

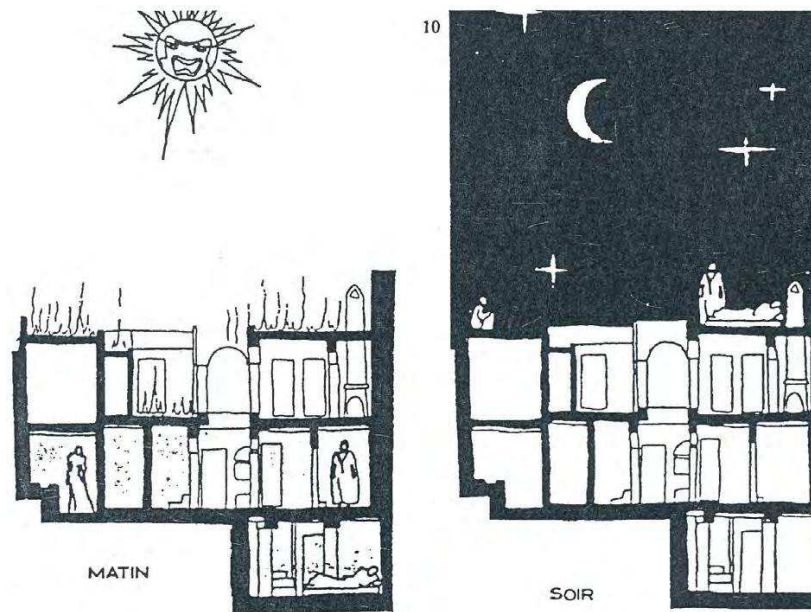


**Figure 1.24** :Nomadisme vertical saisonnier à Bagdad. (Source : Bennadji, 1999)



**Figure 1.25** :Nomadisme horizontal saisonnier à Damas et Diyarbakir. (Source : Bennadji, 1999)

Pour ce qui est du **nomadisme quotidienne** interne, celui-ci consiste à habiter divers niveaux d'une maison en cours de journée ; ainsi à Bagdad, les habitants passent une partie de la journée au RDC en été, prennent leur repas sous la galerie, mais font leur sieste dans la cave plus fraîche, le jour, et dorment sur la terrasse, la nuit, aérée et protégée des regards voisins par des murs élevés (Figure 1.26). Cet usage de la terrasse est, du reste, général dans les pays chauds et secs (sud algérien) et il est relatif aux inerties de la maison.



**Figure 1.26** : Coupe schématique : le nomadisme quotidien de l'été (Source : Morgan, 2018)

### 1.8.2.9. Les éléments d'ombrage architecturaux

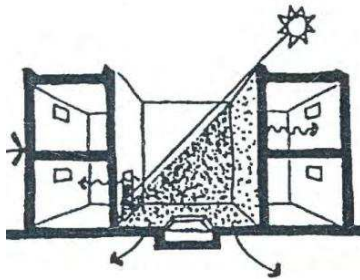
Plusieurs éléments architectoniques participent à la création d'un ombrage additif sur la façade. On peut citer les dispositifs suivant :

- **Création de l'ombre par des éléments de façade** : Les décrochements et les éléments saillants dans les façades assurant l'ombre, que ce soit horizontal ou vertical (balcon, débord de toiture, moucharabieh, encorbellement de chambre, auvent...etc.) (Figure 1.27).

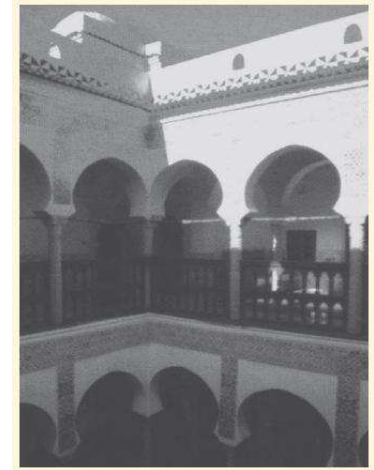


**Figure 1.27** : Des éléments horizontaux, exclusivement pour l'ombre. (Source : [www.maisonsaine.ca/](http://www.maisonsaine.ca/), 2018).

- **L'utilisation des patios** dans les régions arides permet de limiter les surfaces exposées par leurs murs mitoyens. D'après Bencherif et Chaouch (2013) la maison à patio est toujours à l'ombre en été, car la hauteur du patio est supérieure à sa longueur (Figure 1.28 et 1.29). La majorité des patios au Sahara sont orientés NE-SW et SE-NW. Ces directions à 45 degrés sont optimales pour produire de l'ombre en été, tout en permettant l'ensoleillement en hiver.

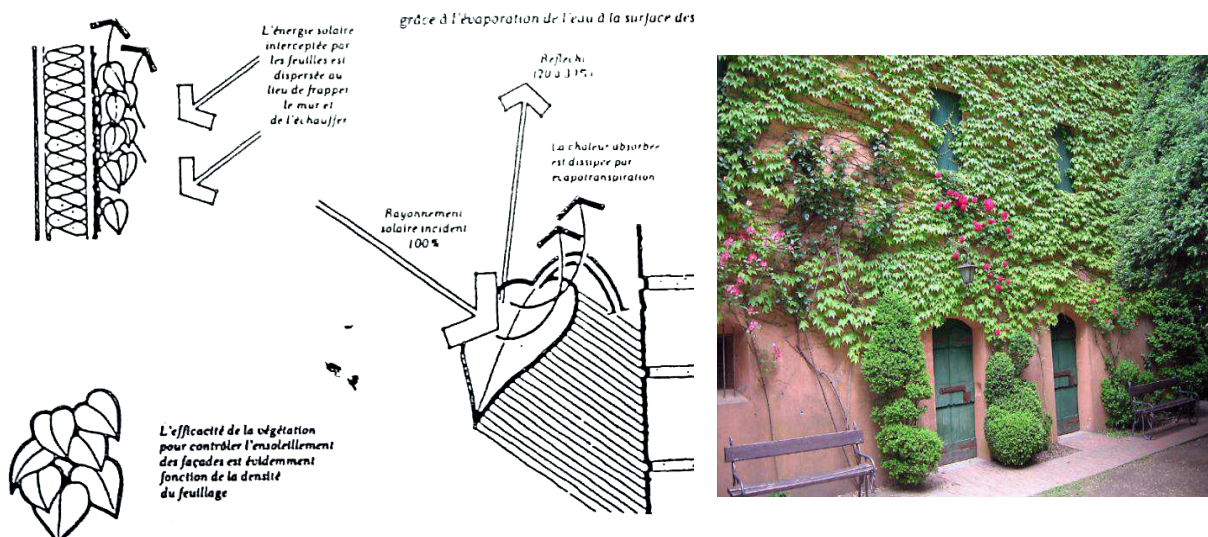


**Figure 1.28:** L'ombre dans un patio magrébin.  
(Source : Morgan, 2018)



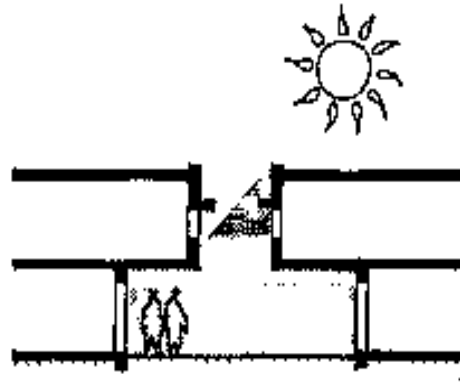
**Figure 1.29 :** Demeure Rais Hamidou, Alger. (Source: Bencherif et Chaouch, 2013)

- Le recours à **l'utilisation de la végétation** comme dispositif de création de l'ombre permet de favoriser le rafraîchissement de l'air et protège les façades et les toitures contre les gains solaires. Par exemple les plantes de lierre grimpant sont des moyens de climatisation très utiles quand elles sont placées à proximité de l'enveloppe d'un bâtiment. La température de la surface des murs protégés du soleil sera abaissée et par voie de conséquence, moins de chaleur sera transmise vers l'intérieur (Figure 1.30).



**Figure 1.30 :** Exemple d'un mur végétalisé avec une plante de lierre grimpant (Source : [http://www.serlienne.com/mur\\_vegetalise.php](http://www.serlienne.com/mur_vegetalise.php), 2017)

- L'ombre peut être fournie par **la forme du bâtiment lui-même** ; par exemple, par des étages supérieurs ou des arcades en cantilever. Dans les climats arides chauds, l'ombrage peut également être fourni en plaçant des bâtiments étroitement ensemble, quand d'autres facteurs (circulation, hygiène, lumière du jour) le permettent (Gut et Ackerknecht, 1993).



**Figure 1.31:**Ombrage par la forme de construction. (Source : Gut et Ackerknecht, 1993).

- Les **occultations fixes** sont utilisées pour ombrager les ouvertures et ceci essentiellement pour de longues périodes (saison de surchauffe).en auvent, en vis-à-vis, ou en flanc, ces derniers ont une influence considérable dans la diminution des radiations solaires incidentes sur une façade (Figure 1.32).



**Figure 1.32 :** Occultation fixe par auvent, maison à Sidi Boussaid en Tunisie. (Source : [www.hortense-et-jules-edouard.over-blog.com/](http://www.hortense-et-jules-edouard.over-blog.com/))

#### ***1.8.2.10. Ventilation naturelle***

D'après Givoni (1978), la ventilation naturelle influe sur la sensation de confort intérieure : *«L'air possède une très faible capacité thermique. Lorsque le bâtiment est ventilé, l'air pénétrant dans l'espace intérieur est à la température extérieure d'origine. Mais, en traversant cet espace, il se mélange avec l'air intérieur, et il échange de la chaleur avec les surfaces intérieures en fonction du gradient de température intérieure- extérieure»* (Givoni, 1978).

Selon Izard (1993), la ventilation naturelle contribue à :

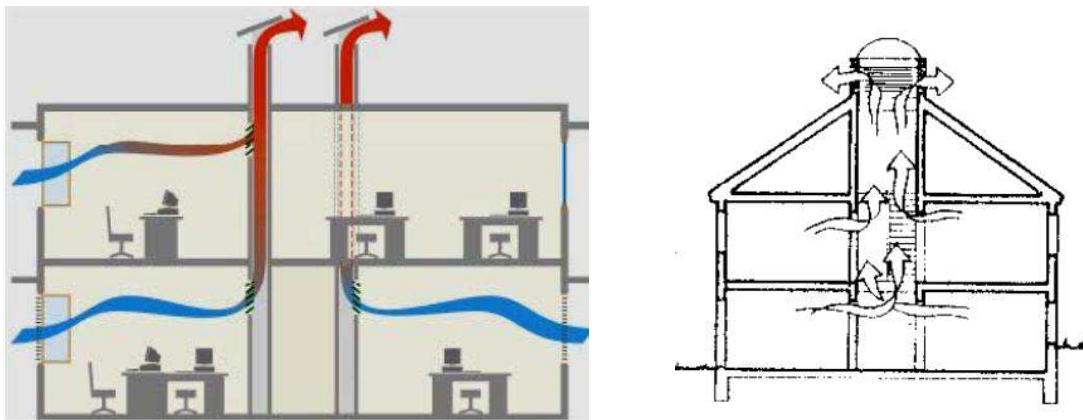
- Évacuer les surchauffes dues aux apports solaires ou internes instantanés.
- Décharger thermiquement la masse du bâtiment surtout la nuit, afin de diminuer les températures diurnes.



- Améliorer la sensation de confort thermique.

Il y a deux types de ventilation dans les bâtiments ; celle due à l'effet de cheminé ou l'effet thermosiphon et celle provoquée par la pression du vent.

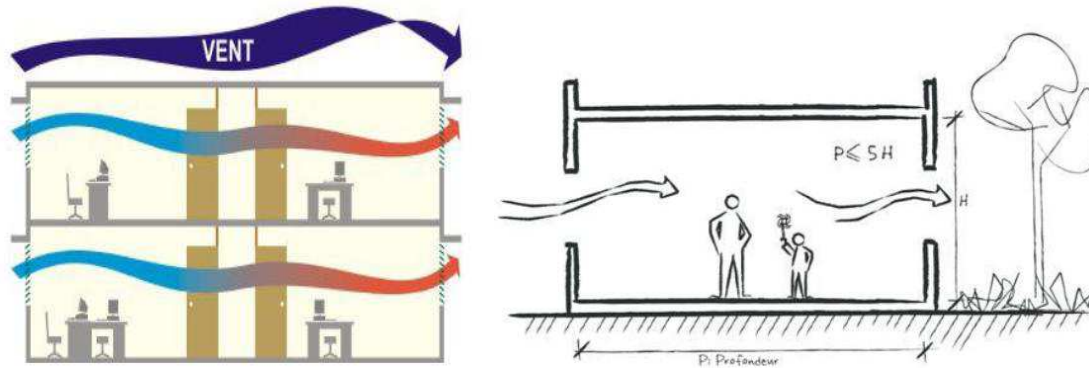
**a) L'effet de cheminé :** la différence de densité entre l'air chaud et l'air froid crée un mouvement d'air ascendant. Lorsque l'air chaud (plus léger) s'élève naturellement à l'intérieur d'un bâtiment et si la température intérieure est supérieure à celle de l'extérieur, il se produit un courant d'air, l'emplacement des ouvertures doit être dans deux zones, les ouvertures basses aspirent l'air extérieur et les ouverture hautes expulsent vers l'extérieur l'air chaud (Figure 1.33).



**Figure 1.33:** Ventilation par l'effet de cheminé. (Source : Chatelet et al., 1998)

**b) La ventilation transversale générée par l'effet du vent :** l'exploitation de l'effet du vent pour provoquer une ventilation transversale de l'espace intérieur, commence par l'analyse du site (la direction de vent, sa vitesse et les brises de vent dominant...etc.). Ces données serviront pour orienter le bâtiment dans la bonne direction et bénéficier des avantages du site. Selon Givoni (1978), la ventilation transversale est la meilleure stratégie de la ventilation naturelle. Il s'agit d'un passage de l'air à travers deux ouvertures sur deux façades opposées dont une est disposée dans une zone de surpression alors que l'autre est dans une zone de dépression.

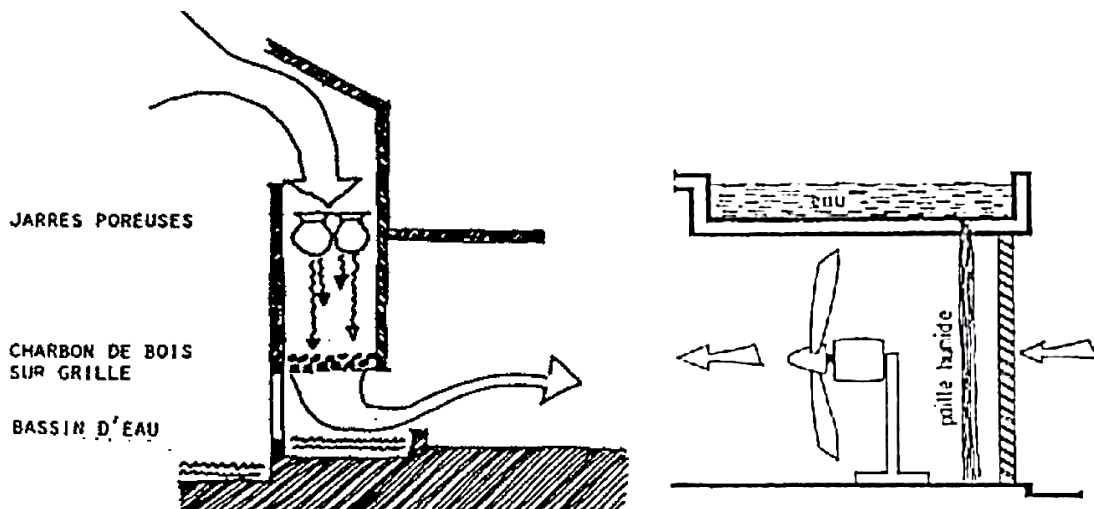
D'après Mazari (2012) la prise en considération de la position et les dimensions des ouvertures influe sur le déplacement de l'air. La ventilation traversant un local doit réunir deux conditions : la première est que le local comporte deux ouvertures, et la deuxième est que celles-ci soient sur deux façades opposées du local (Figure 1.34).



**Figure 1.34** : Ventilation naturelle transversale. (Source : Mazari, 2012)

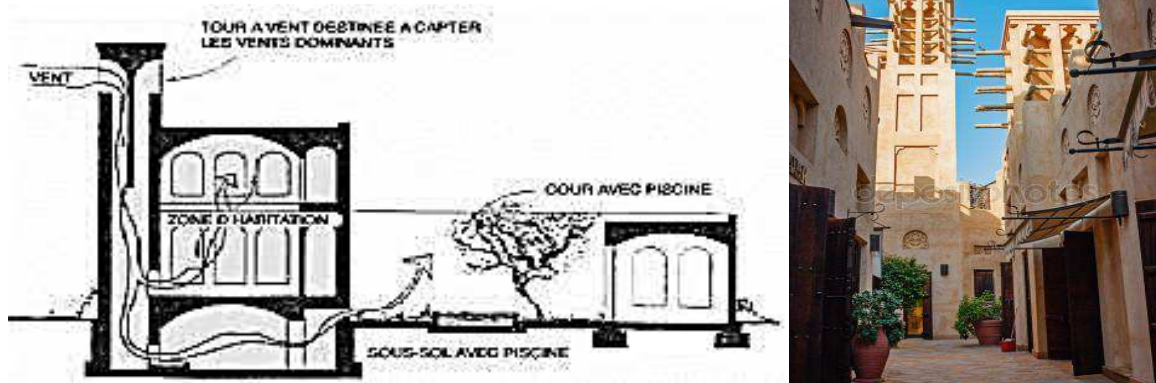
### *1.8.2.11. Autres dispositifs de refroidissement passif*

Dans l'architecture vernaculaire des régions climatiques chaudes et arides, le refroidissement était assuré par plusieurs dispositifs qui relèvent des stratégies passives. C'est le cas du rafraîchissement par humidification de l'air grâce à une « **jarre poreuse** » placée dans le canal d'un bassin d'eau situé en contrebas (Figure 1.35). Des charbons de bois humidifiés posés sur une grille, filtrent et rafraichissent également l'air qui entre en bas de la pièce.



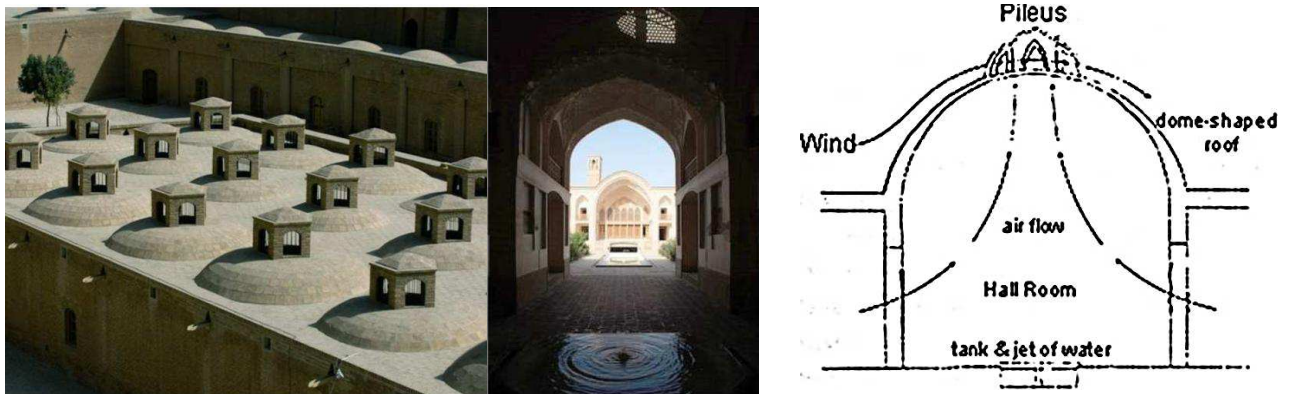
**Figure 1.35** :Système d'évaporation de l'eau par un courant d'air. (Source : Chatelet et al, 1998)

C'est également le cas des capteurs ou tours à vent (encore appelé malkaf ou badjir selon les régions). À partir de ce dispositif, l'air frais est capté puis acheminé par une ouverture se trouvant dans le capteur surplombant la toiture, cet air traverse le bâtiment et s'échappe par les portes et fenêtres. Quand la température de l'air entrant dans le capteur rejoint celle de l'air ambiant, le courant descendant s'arrête, le capteur recommence à fonctionner comme une cheminée, par aspiration ou dépression (Figure 1.36).



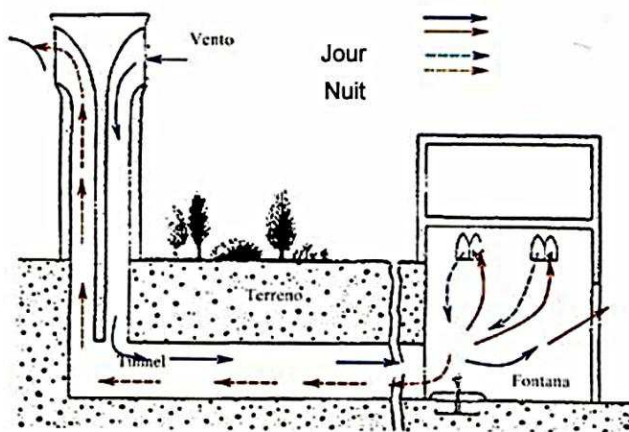
**Figure 1.36** : Fonctionnement d'une tour à vent en été (Source : [www.detailsdarchitecture.com](http://www.detailsdarchitecture.com))

Un orifice d'aération au sommet d'une coupole se pratique dans les régions poussiéreuses. La vitesse du courant d'air extérieur est augmentée en passant au-dessus de la surface courbe de la coupole. La différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur aspire l'air chaud accumulé au sommet de la voute. Le bassin dans la pièce refroidit l'air par effet d'évaporation (Figure 1.37).

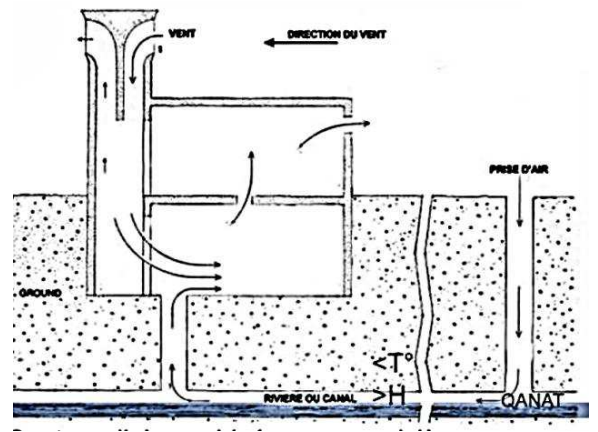


**Figure 1.37**: Orifice d'aération au sommet d'une coupole. (Source : Plemenka, 2010)

Les capteurs d'air peuvent être éloignés de la maison s'ils sont reliés avec le sous-sol par un tunnel et la végétation implantée sur le sol au-dessus du tunnel. Quand on arrose la terre, l'eau s'infiltré jusqu'au tunnel, l'air est ainsi rafraîchi par humidification. Une fontaine à la sortie du tunnel, au sous-sol de la maison, apporte un rafraîchissement supplémentaire (Figure 1.38) (Figure 1.39).



**Figure 1.38 :** Capteur d'air éloigné de la maison (50 m), traversant un tunnel humidifié depuis le sol  
(Source : Plemenka, 2010)

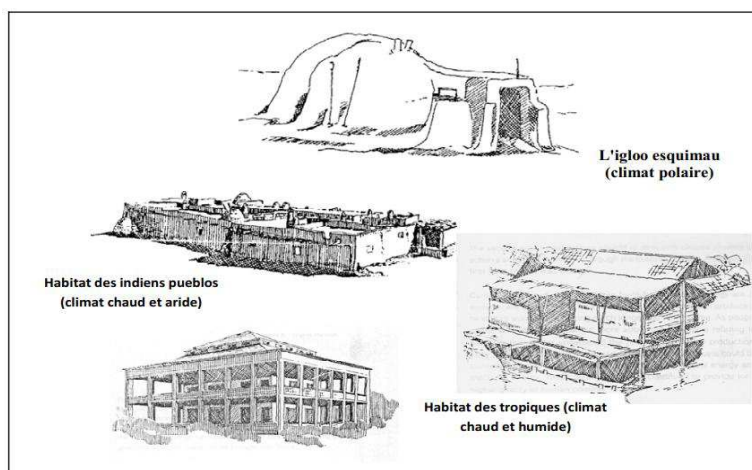


**Figure 1.39:** Capteur d'air combiné avec une rivière souterraine.  
(Source : Plemenka, 2010)

## I.9. L'architecture vernaculaire

D'après Guindani et Doepper (1990) cité par Ferradji (2017), l'architecture vernaculaire est une architecture sans architectes, spontanée, indigène, rurale ; primitive et anonyme. Elle relève de la culture populaire constructive et du savoir-faire de l'habitant qui réalise, sa propre maison sans avoir à passer par un spécialiste. C'est une architecture hautement climatique qui représente l'adaptation de l'habitat et du mode de vie des habitants à leur environnement physique. Et de fait, elle est une médiation passive entre les forces extérieures du milieu naturel et leur confort (Guindani et Doepper, 1990).

Par exemple les igloos esquimaux illustrent l'habitat typique des régions glaciales, les maisons construites en terre sont une réponse parfaite au climat rude des régions désertique et dans les régions tropicales chaudes et humides, la construction des maisons en roseaux, sur des pilotis avec de grande ouverture assure et favorise l'aération naturelle indispensable dans ce type de climats humides (Figure 1.40).

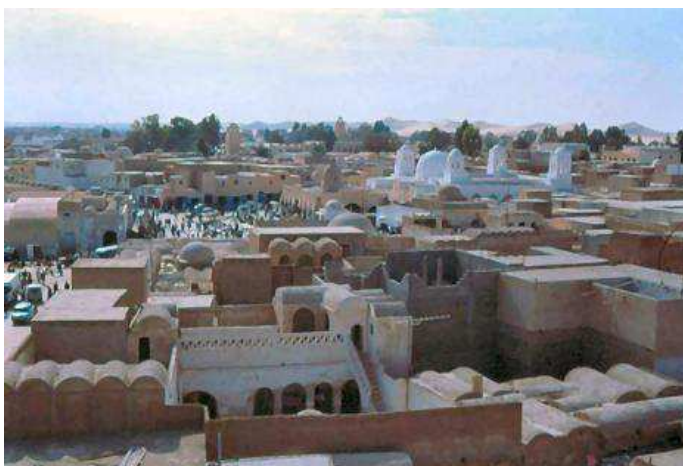


**Figure 1.40:**  
L'influence du climat sur la forme de la maison. (Source : Brown, 1985).

En Algérie, l'architecture vernaculaire est caractérisée par sa richesse et diversité et présente autant de variantes qu'il y a de régions climatiques. À titre d'exemple, dans la région du M'Zab (présahara) la « maison à patio » correspond à l'habitat typique du climat désertique. L'habitation mozabite s'organise autour d'un patio sur lequel s'ouvrent les différentes pièces, cette organisation sert à préserver l'intimité et à se protéger contre la rudesse du climat. À l'échelle urbaine, les maisons sont construites autour d'une mosquée fortifiée qui résulte d'un tissu urbain très dense, l'utilisation des couleurs claires au niveau des revêtements extérieurs et les terrasses font que l'agglomération présente un aspect chromatique unique (Figure 1.41). Une autre architecture domestique vernaculaire saharienne typique se retrouve dans la région d'Oued Souf connu pour l'utilisation des coupoles et des voutes, ici également, la compacité du tissu urbain est de rigueur ainsi que les maisons à patio (Figure 1.42).



**Figure 1.41** :El Atteuf, vallée du Mzab. (Source : [www.yannarthusbertrand2.org](http://www.yannarthusbertrand2.org), 2017)



**Figure 1.42** :L'habitat traditionnel à Oued Souf. (Source : [www.yannarthusbertrand2.org](http://www.yannarthusbertrand2.org), 2017)

L'architecture domestique vernaculaire est une architecture qui s'adapte aux contraintes physiques, sociales et culturelles. C'est une architecture populaire par excellence qui se fonde sur des solutions architecturales adaptées aux données de l'environnement physique et social. Le tableau suivant résume les facteurs climatiques et les solutions spatiales et techniques des constructions vernaculaires qui se rapportent au climat chaud et sec (Tableau 1.5).

**Tableau 1.5:** Stratégies de conception vernaculaire dans un climat chaud et aride.  
(Source : Plemenka, 2010)

<b>Facteurs climatiques Champ d'application</b>	<b>Ensoleillement</b>	<b>Température de l'air</b>	<b>Humidité relative</b>	<b>Mouvements d'air</b>
<b>Implantation Groupement</b>	- Orientation N/S - Groupement compact - Recherche de l'Ombre - troglodytisme et semi-troglodytisme - Nomadisme	- Orientation N/S - Groupement compact - Recherche de l'Ombre - troglodytisme et semi-troglodytisme - Nomadisme	- Recherche de sources naturelles ou artificielles - oasis	- Masques anti poussière
<b>Forme</b>	- Forme compacte - Voûtes et coupoles - Toit plat	- Forme compacte - Voûtes et coupoles - Toit plat		
<b>Partition spatiale</b>	- puits de lumière, patio - intérieur spacieux et haut - nomadisme journalier - espace de transition, galerie	- puits de lumière, patio - intérieur spacieux et haut - nomadisme journalier - espace de transition, galerie	- patio et cour intérieur avec végétation - citernes	
<b>Enveloppe horizontale Matérialisation</b>	- capacité d'accumuler la chaleur - couleur claire - élimination air chaud - Matériaux massif	- capacité d'accumuler la chaleur - couleur claire - élimination air chaud - Matériaux massif		- Orifices d'aspiration d'air chaud
<b>Enveloppe verticale Matérialisation</b>	- capacité d'accumuler la chaleur - petites ouvertures - ouverture occultées (brise-soleil) - auvents - Matériaux massif	- capacité d'accumuler la chaleur - petites ouvertures - ouverture occultées (brise-soleil) - Matériaux massif		Recherche des brises nocturnes - orifices de ventilation
<b>Dispositifs particulière</b>	- moucharabieh, claustra			Cheminée de ventilation (badgir), malkaf

## **I.10. Conclusion**

L'adaptation d'un bâtiment à son environnement physique immédiat est la première mesure à prendre par le concepteur pour assurer l'intégration climatique du cadre bâti et la rationalisation de la consommation énergétique.

Dans ce premier chapitre, les notions élémentaires de l'environnement physique, notamment, le climat et les facteurs climatiques (la température de l'air, les rayonnements solaires ...etc.), ont été présentées. Les caractéristiques climatiques des régions chaudes et arides ont également été abordées, et leur relation à la conception architecturale a été mise en exergue.

Après avoir rappelé les contraintes de conception climatique dans les régions chaudes et aride, une partie importante du chapitre a été consacrée aux principes de conception des bâtiments et aux stratégies d'adaptation climatique valables dans les régions chaudes et arides, aussi bien, à l'échelle urbaine (couverture du sol, refroidissement par évaporation, forme urbaine ...etc.) qu'à l'échelle architecturale (effet de l'orientation, protection solaire, matériaux, inertie thermique...etc.). L'influence de ces paramètres pour l'obtention de confort thermique intérieur a, aussi, été évoquée.

Les stratégies bioclimatiques retenues, sont inspirées de l'architecture vernaculaire locale. Celle-ci a été secrétée par le génie populaire et a été développée et transmise de génération en génération. Cette architecture qui découle d'une adaptation harmonieuse de l'habitat à l'environnement physique est une médiation passive entre les forces extérieures du milieu naturel, le confort de l'habitant et le cadre bâti. D'après le développement théorique effectué dans cette partie de notre recherche, il s'avère essentiel de prendre en compte les caractéristiques du climat lors du processus de conception.

Pour sa part, le chapitre suivant est consacré à l'enveloppe architecturale, à ses composants et éléments et à leurs caractéristiques. L'effet thermique des matériaux de construction sur le confort des occupants, sera également traité.

# CHAPITRE II : L'enveloppe architecturale et son fonctionnement thermique

## II.1 Introduction

L'enveloppe architecturale d'un bâtiment est l'élément constructif qui sépare le volume intérieur de l'environnement extérieur. De fait, les caractéristiques matérielles de cet élément influent sur les échanges de chaleur qui se produisent à son niveau, et à leur tour, ces échanges affectent les besoins de chauffage et de rafraîchissement du bâtiment. L'enveloppe correspond, donc, aux faces du bâtiment, en contact avec les diverses sollicitations climatiques extérieur ; la façade représente plus de 70% de la surface exposée. Le but principal d'une enveloppe performante est de réduire la transmission la chaleur à l'intérieur en été et de limiter les déperditions calorifiques en hiver.

A travers ce chapitre, il sera question de définir les caractéristiques matérielles et formelles de l'enveloppe architecturale puis de présenter les différentes propriétés thermo-physique des matériaux de construction qui constituent cet élément. Le mode de transfert de la chaleur à travers les parois opaques (conduction, convection, rayonnement) sera également traité. Le chapitre inclut aussi un rappel des différents effets thermiques des matériaux de construction de l'enveloppe (pont thermique, l'inertie thermique, déphasage...etc.) sur la performance thermique du bâtiment.

## II.2 Définition de l'enveloppe architecturale

L'enveloppe d'un bâtiment est l'ensemble des parois verticales et horizontales ou inclinées, séparant le volume protégé du bâtiment contre les conditions extérieures défavorables. L'enveloppe d'un bâtiment est définie par les dictionnaires comme étant la pièce qui protège



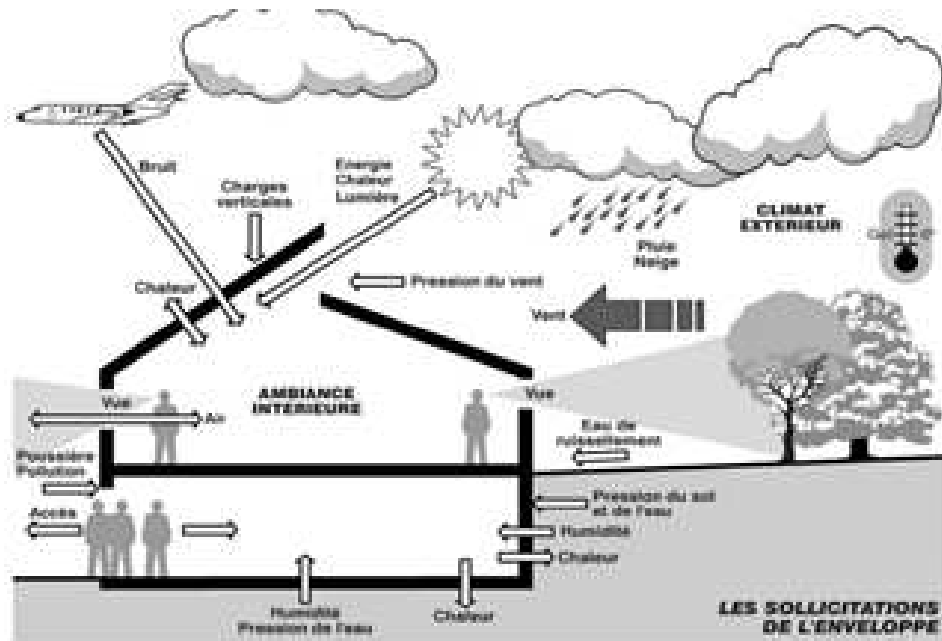
une autre pièce de l'extérieur. Elle porte plusieurs définitions selon le domaine d'application concerné (Herant, 2004). Ainsi, elle est l'interface d'un bâtiment, la zone de liaison, l'espace de transition entre les différents milieux. Il est difficile de la définir car chaque domaine lui donne sa propre définition.

L'enveloppe du bâtiment se présente selon différents aspects :

- Pour le thermicien, c'est une zone de transition entre une ambiance intérieure et un environnement extérieur.
- Pour l'architecte, c'est une surface de contact entre le bâtiment et l'urbanisme.
- Pour l'ingénieur, c'est le point de liaison entre des composants passifs et des systèmes actifs.
- Pour le chef de projet c'est l'objet sur lequel il va coordonner les interventions de différents corps de métier.
- Pour le législateur, c'est un des éléments caractéristiques du bâtiment pour lequel il cherchera à rapprocher le plus possible les technologies performantes disponibles et des exigences réglementaires généralisables.
- Pour l'occupant enfin, ces parois qui l'entourent sont des éléments de confort thermique et visuel et constituent un facteur d'esthétique de son bâtiment.

Bermstein et al. (1997) définissent l'enveloppe comme étant « ... une sorte de peau séparant l'extérieur de l'intérieur d'un bâtiment. L'enveloppe exprime l'apparence d'un ouvrage et communique avec son environnement ». De son côté Kouici (1999) considère que l'enveloppe d'un volume architectural est un : « ensemble de surfaces de séparation des espaces intérieurs du volume et l'espace extérieur (murs, toiture, coupole....). On dit également peau par analogie à la peau d'un corps qui enrobe le squelette et la chair comme l'enveloppe enrobe l'ossature et toute la construction d'un édifice » (Kouici, 1999).

Enfin, l'enveloppe du bâtiment est un lieu de jonction entre des facteurs multiples, elle est faite de façades, toiture et tous les éléments qui apparaissent à l'extérieur du bâtiment : la face extérieure d'un bâtiment ou ensemble de faces que l'on voit globalement de l'extérieur. L'enveloppe joue un rôle très important dans le bâtiment pour assurer l'intimité aux occupants et pour créer un climat sain et confortable dans le but de minimiser la consommation énergétique (Figure. 2.1).



**Figure 2.1 :** L'enveloppe extérieure subit de nombreuses agressions du climat local et de l'environnement. (Source : Hauglustaine, 2006)

L'enveloppe d'un bâtiment se compose de pleins et de vides, de vitrages, des protections solaires, ...etc. Ces éléments ont un contact direct avec le rayonnement solaire de l'extérieur. À l'intérieur, ils assurent un éclairage, une vue et parfois provoquent un éblouissement. En outre, grâce à ses composants, l'enveloppe doit faire face à la température de l'air extérieur ; la raison d'installation d'une isolation thermique, des fenêtres et des protections solaires. Il est possible aussi de placer des masses d'accumulation pour assurer une température ambiante à l'intérieur du local par temps froid.

Pour sa part, la façade d'un bâtiment est responsable de la qualité de l'air à l'intérieur de la pièce par l'aération à partir de la fenêtre et les appareils qui lui sont intégrés. Elle assure, également, une protection phonique et une autre de convection due respectivement à des sources phoniques et des vents. Ceci est, notamment, relevé par Oral et al. (2004) qui précisent que les fonctions principales de l'enveloppe du bâtiment en ce qui concerne les facteurs environnementaux physiques (chaleur, lumière, son) sont conçues pour assurer :

Le confort thermique en contrôlant l'influence des éléments climatiques.

Le confort lumineux en contrôlant la lumière naturelle.

Le confort acoustique en réduisant le bruit à un niveau acceptable. (Oral et al.2004)

Le schéma ci-dessous (Figure 2.2) explique à quoi une façade doit faire face (Benharra, 2016).

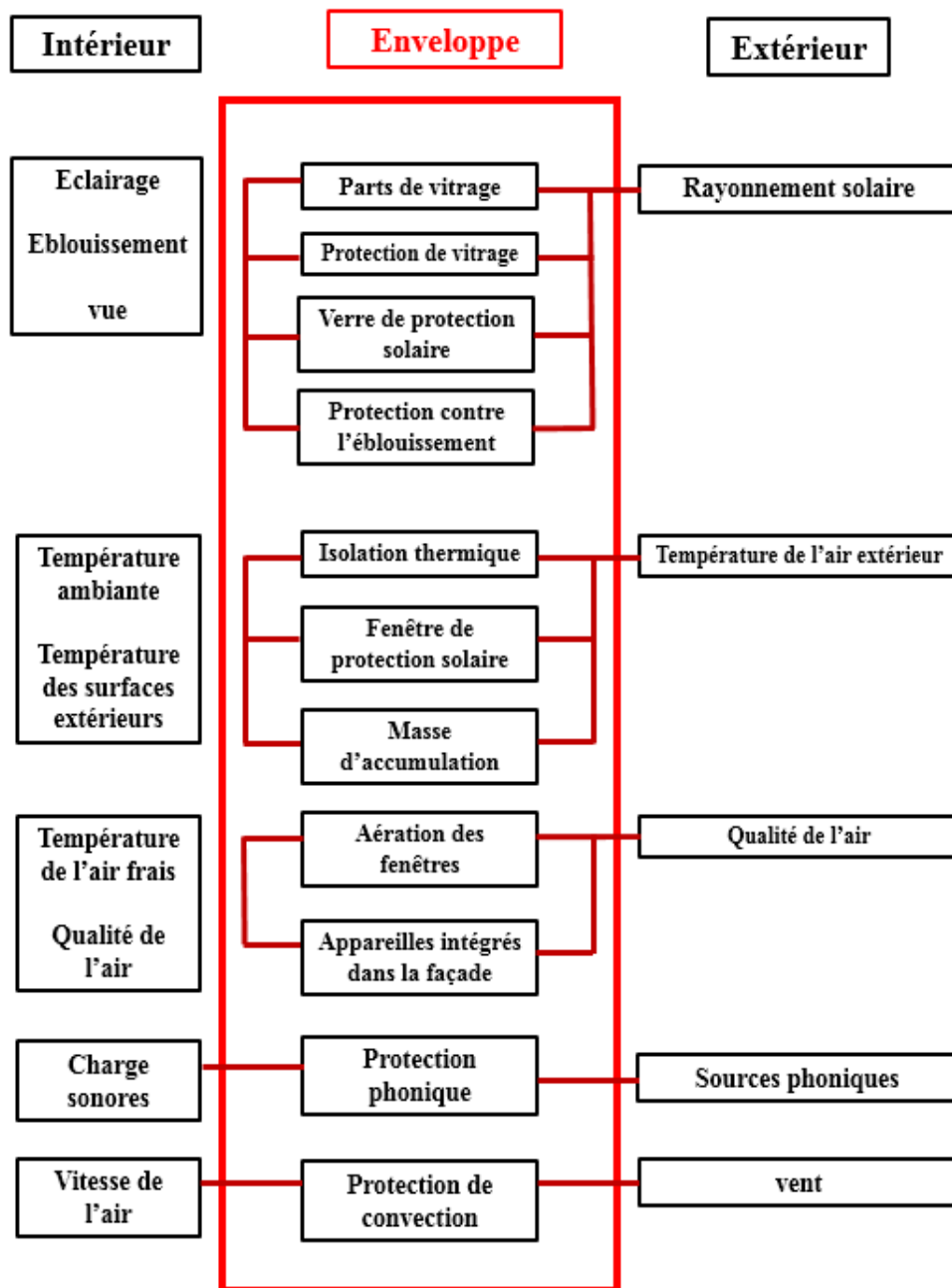


Figure 2.2 : Les exigences et fonctions d'une enveloppe. (Source : Benharra, 2016).

### II.3 Système structurel et constructif dans l'habitat contemporain

Les constructions contemporaines à usage d'habitation de type courant en Algérie sont principalement constituées d'une structure à ossature en portique en béton armé (poteau-poutre) et d'une enveloppe composée par des murs de remplissages en maçonnerie (brique,

parpaing) et d'ouvertures. La couverture peut-être une toiture en pente ou bien un plancher terrasse ; des planchers intermédiaires en dalle à corps creux et un plancher bas en béton armé (dalle flottante), complètent le squelette structurel d'une habitation ordinaire. La structure, bien entendu, est composée de l'infrastructure et de la superstructure.

### II.3.1 L'infrastructure

L'infrastructure est composée essentiellement des fondations de l'ouvrage ainsi que d'éventuels niveaux enterrés. Elle assure le transit des efforts venant de la partie aérienne du projet (superstructure) vers les éléments de fondations. Généralement dans l'habitat individuel, le propriétaire opte pour des fondations de type semelle isolée. Par contre, dans l'habitat collectif plusieurs facteurs déterminent le type de fondation: la hauteur de l'immeuble, les différentes charges et actions et aussi la portance du sol ; ainsi des fondations avec semelles isolées ou radiers sont utilisées (Merzeg, 2010).



**Figure 2.3 :** Semelle d'une habitation en cours de réalisation. (Source : Auteur, 2016)

### II.3.2 La superstructure

Dans le monde de la construction, la superstructure d'un bâtiment regroupe l'ensemble des organes situés au-dessus de terre et composant l'ouvrage, c'est-à-dire avec une ossature en béton armé et jonction par un poteau-poutre et un remplissage en brique creux ou parpaing (Figure 2.4). Ce système constructif est presque le même dans tous le territoire algérien et avec l'utilisation des même matériaux de construction.



**Figure 2.4 :** Structure type poteaux poutres d'un habitat individuel (Source : Auteur, 2016)

## **II.4 Les éléments constructifs de l'enveloppe**

Deux parties essentielles composent l'enveloppe d'un bâtiment d'habitation se sont : les parois opaques (murs, toitures) et les parois transparentes (fenêtre).

### **II.4.1 Les parois opaque : les murs**

Selon Flusser (1999) « Le mur est un archétype le plus simple, et tous les espaces seront réalisés à partir des murs. Ils sont les éléments fondamentaux d'une construction, ils restent là car la raison pour laquelle sa forme et sa nature devraient être le sujet de l'expérimentation intense et diverse dans cette décennie moderne». D'après Nguyen (1997) : « Le mur est un élément architectural vertical pour créer des espaces d'une maison, il est également une structure porteuse principale de la maison». De son côté, Unwin (2000) affirme que « Le mur encadre notre existence, il identifie les territoires de notre vie, il nous fournit l'abri et l'intimité ; il supporte le toit de notre maison et il protège nos fortunes et garde dehors les étrangers... et nous l'utilisons de différentes manières ».

En Algérie, les parois extérieures opaques de l'habitat individuel récent sont des murs hétérogènes appelés communément maçonnerie. Ces murs sont construits avec des matériaux courants en brique creuses ou parpaing creux.

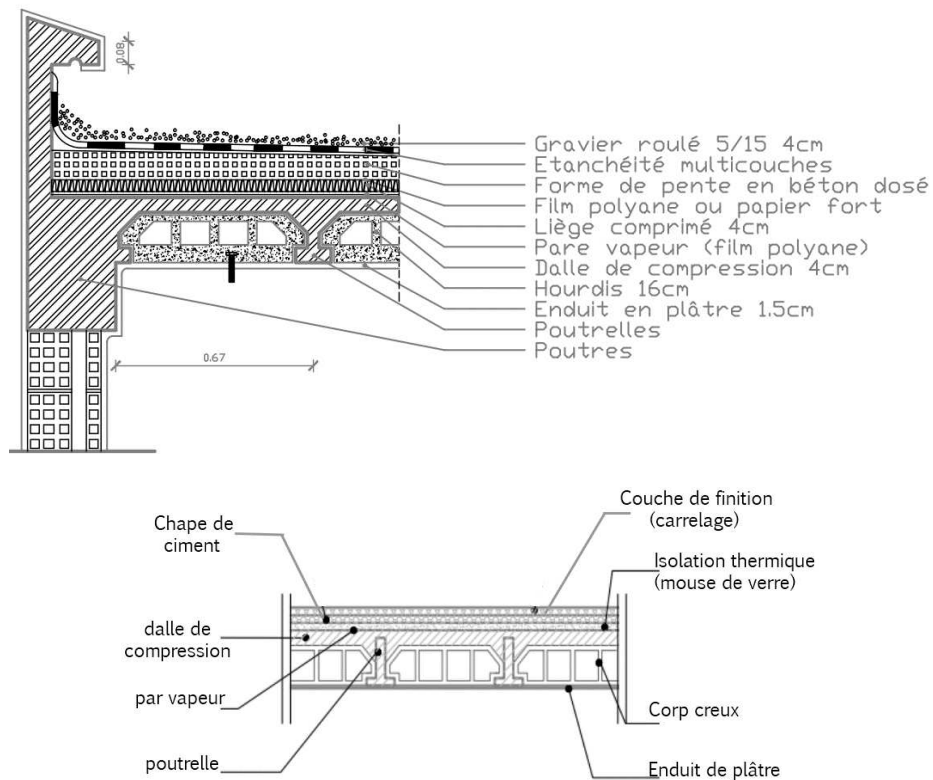


**Figure 2.5** : Exemples d'habitations individuelles autoproduites à Biskra.  
(Source : Auteur, 2016)

## II.4.2 Les parois opaques : les toitures

### II.4.2.1 Toiture plate

La dalle est une plaque horizontale en béton d'une surface pouvant être très importante. On l'appelle aussi plancher en béton armé. (Figure 2.6). La réalisation des toitures plates dépend de leur utilisation : elles peuvent être accessibles ou inaccessibles.



**Figure 2.6** : Exemple détail d'une dalle non accessible et accessible en béton armé.  
(Source : Auteur, 2016)

### **II.4.2.2 Toiture inclinée**

D'après Merzeg (2010) les toitures inclinées sont des couvertures réalisées en système de charpente en bois (madriers, chevrons, liteaux...) couvert de tuiles mécaniques associées à un faux plafond généralement en roseaux, plâtre et solives en bois (Figure 2.7). Il se peut que la charpente soit posée directement sur un plancher (à corps creux ou dalle pleine), remplaçant ainsi le faux plafond, méthode plus onéreuse, mais parfois préférée pour éviter les problèmes d'étanchéité et d'entretien (Merzeg, 2010).

Une structure en béton armé (poteaux et poutres inclinées) remplace parfois la structure de madriers en bois. Ainsi les tuiles sont posées sur un lit de liteaux et de chevrons lui-même posé sur les poutres en béton armé.



**Figure 2.7 :**Exemples d'habitations individuelles autoproduites à Biskra, avec toiture inclinée en charpente de bois (Source : Auteur, 2016)

### **II.4.3 Les parois transparentes : les fenêtres**

D'après Fourra (2007), les fenêtres, porte fenêtre et baies sont considérées comme des paramètres essentiels lors de la conception d'un bâtiment. Leur rôle principal est d'assurer le confort visuel et thermique des occupants. Les vitrages sont responsables des pertes thermiques, mais ils peuvent aussi être le point de passage d'un important apport solaire en hiver. Une bonne conception des ouvertures doit donc tenir compte de certains paramètres, comme la taille de la fenêtre, le type de vitrage, l'orientation, le type de protection solaire associée...etc.

Les ouvertures et les fenêtres jouent un rôle important dans les relations de l'occupant d'un bâtiment avec son environnement. En effet, elles établissent le contact entre l'extérieur et l'intérieur et permettent ainsi d'améliorer le bien-être de l'occupant (Liébard et

De Herde, 2005). De son côté Yamani (1994) définit la fenêtre en tant qu'ouvrage placé dans une baie. Elle comporte une partie fixe appelée dormant et des parties ouvrantes en glace ou vitrées appelées châssis, servant essentiellement à l'éclairage et l'aération d'un local (Yamani, 1994) (Figure 2.8). Ce type de paroi est composé comme suit :

La structure (cadre de fenêtre) ; le cadre, ou châssis, d'une fenêtre est constitué de deux éléments. Généralement ils sont fabriqués en bois mais d'autres matériaux commencent à concurrencer le bois tel que l'aluminium et le PVC

- ✓ D'un cadre « **dormant** » : cadre **fixé** sur le mur composé d'une traverse haute et d'une traverse basse.
- ✓ D'un cadre « **ouvrant** », vantail ou encore battant : partie de la fenêtre qui est **mobile**.

Le vitrage

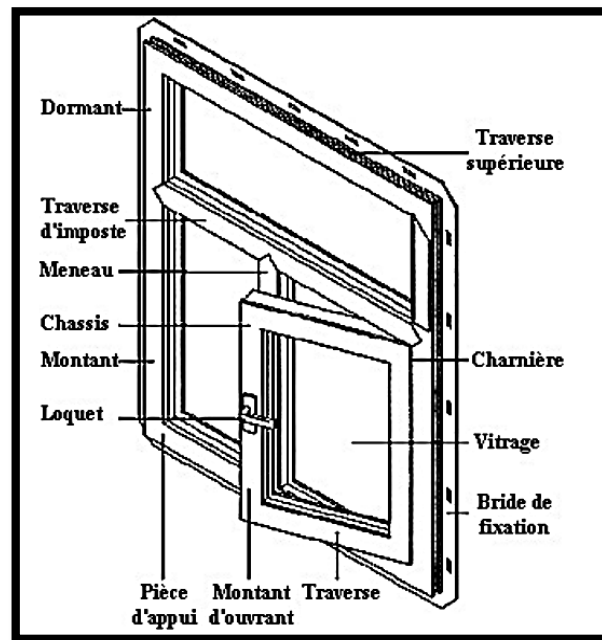


Figure 2.8 :Éléments constitutifs d'une fenêtre. (Source : Merzeg, 2010)

Dans l'habitat contemporain produit actuellement en Algérie, il est courant de voir utilisation d'un vitrage simple et clair d'une épaisseur de 3 à 4 mm, ignorant le fait que les apports dus à l'ensoleillement des vitrages sont de loin les plus importants, pouvant représenter 50 à 80% des charges totales des locaux climatisés (Bougriou, 2000).



## II.5 L'aspect thermique dans le bâtiment

### II.5.1 Notion de confort thermique

La notion du confort thermique désigne des interactions entre l'occupant et son environnement, et exprime aussi un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique, plusieurs définitions sont données pour définir le confort thermique.

D'après la norme ISO 7730, <sup>2</sup>« il y a situation de confort thermique si deux conditions sont satisfaites : le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ses mécanismes autorégulateurs ne soient trop sollicités ». L'agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat A.N.A.H<sup>3</sup> en France, a défini le confort comme une situation, ou un état où la personne est sensée : «Ne pas avoir trop froid, ne pas avoir trop chaud, ne pas sentir de courants d'air gênant : ainsi pourrait-on essayer de définir le confort thermique. Il est plus aisé d'essayer de le définir en précisant ce qui crée l'inconfort qu'en voulant définir des critères de confort» (ANAH, 2004).

Liébard et De Herde (2005) ont définis le confort thermique comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Ce qui permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail. Selon Barkouk (2017) l'état de confort de l'habitant envers l'environnement thermique dépend de l'interaction entre de multiples facteurs physiques, physiologiques et psychologiques. De toutes ces définitions, on retiendra que la notion de confort est relativement subjective et difficile à cerner du fait que c'est une caractéristique intimement liée à la complexité de l'être humain.

### II.5.2 Comportement thermique des parois

Connaitre le comportement thermique des matériaux de construction qui constitue l'enveloppe est nécessaire pour assurer le confort thermique des bâtiments. En effet, lorsque l'enveloppe extérieure du bâtiment est soumise aux variations climatiques, les parois, selon leurs composantes matérielles, sont la première protection du volume intérieur contre la chaleur et le froid. Il y a deux types de parois -opaques et transparentes- qui permettent de transmettre la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur.

---

<sup>2</sup>ISO 7730, Organisation internationale de normalisation. Ambiances thermiques

<sup>3</sup>ANAH. (2004) Agence National *pour l'amélioration de l'Habitat (ANAH)*. Fiche technique confort thermique. Paris, 2004.

### **II.5.2.1 Les parois opaques**

La quantité d'énergie transmise par les parois opaques est relativement importante, en outre, elle est fonction de l'orientation. Lorsque des parois opaques séparent deux ambiances intérieures et extérieures de température différentes, il se produit un flux de chaleur entre les deux ambiances (de la plus chaude vers la plus froide). Par conséquent, les surfaces doivent être traitées contre les déperditions de chaleur en hiver et contre le gain de chaleur en été.

D'après Bellara (2005), l'énergie solaire tombant sur une surface sous forme de rayonnement (rayons incident) va jouer deux rôles : une partie va échauffer la masse de l'élément considéré et une autre partie va traverser la paroi et se transmettre à l'intérieur par conduction. La quantité d'énergie transmise par une paroi est proportionnelle à sa conductance, cependant la chaleur absorbée est stockée dans le matériau qui dépend de sa capacité calorifique, et du déphasage qui influe sur le délai de transmission du flux de l'extérieur vers l'intérieur.

### **II.5.2.2 Les parois transparentes**

Les ouvertures jouent un rôle très important dans la création de confort thermique à l'intérieur des bâtiments selon leur taille et orientation. Les surfaces vitrées se caractérisent par une résistance thermique faible et une transmission totale vis-à-vis des rayonnements solaires, ce qui conduit à des surchauffes en été et des refroidissements en hiver. Selon Mazari (2012), le type de vitrage influe sur la transmission des rayonnements solaires selon les caractéristiques suivantes :

- Les vitrages clairs sont connus pour leur haute capacité à laisser pénétrer la lumière et le rayonnement solaire.
- Les vitrages absorbants sont teintés et permettent au verre de diminuer la fraction transmise du rayonnement solaire au profit de la fraction absorbée. Ils réduisent sensiblement la lumière et l'énergie transmise.
- Les vitrages réfléchissants sont caractérisés par la présence d'une très fine couche métallique réfléchissante et transparente, qui accroît la part du rayonnement solaire réfléchi et diminue donc la fraction transmise. Ils sont surtout utilisés dans les bâtiments tertiaires. Leur objectif est de limiter l'éblouissement et les surchauffes en été.

## **II.6 Mode de transfert de chaleur dans le bâtiment**

Le transfert de chaleur dans un bâtiment, s'effectue entre deux espaces de température différente ; le déplacement de chaleur passe du milieu chaud vers celui froid. Ce déplacement est à la base de quatre modes d'échange thermique : la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation.

### **II.6.1 La conduction thermique**

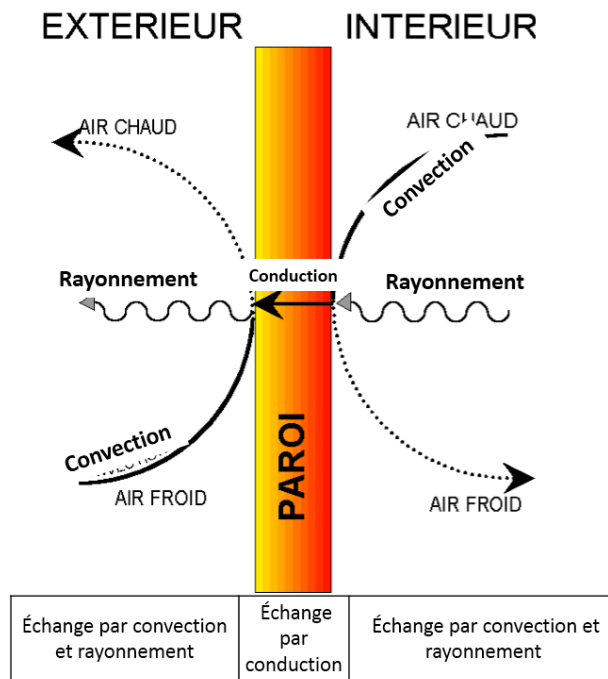
La conduction thermique est un mode de transmission de chaleur à travers les parois opaques, le déplacement d'énergie s'effectue sous forme d'ondes et à l'intérieur d'un même matériau (objet solide). Ce déplacement s'opère dans un temps qui est propre au matériau et qui est indiqué par sa conductivité thermique. L'inverse de la conductivité est la résistance thermique d'un corps (Magri, 2006).

### **II.6.2 La convection thermique**

La convection est un phénomène se produisant entre une différence de température (fluide d'air) et une surface de paroi ou un corps en contact avec lui, sans déplacement de matière (Figure 2.9). Le fluide et la surface de paroi échangent de la chaleur de telle sorte qu'une densité de flux est transmise dans le sens de la plus haute température vers la plus basse et dépend aussi de la vitesse de l'air (Lavigne, 1994).

### **II.6.3 Le rayonnement**

Le transfert de chaleur par rayonnement dépend des caractéristiques de la surface des parois et celle de l'environnement qui lui fait face. Ainsi il s'agit d'un mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Le flux radiatif échangé par le corps correspond à la différence entre le rayonnement émis par celui-ci et le rayonnement reçu de son environnement (parois). Si le rayonnement reçu par le corps est supérieur à sa propre émission, le corps se réchauffe, il se refroidit dans le cas inverse. En effet, une paroi froide absorbe la chaleur du corps, alors qu'un mur exposé au soleil toute la journée transmet sa chaleur le soir sans même le toucher (Figure 2.9) (Merzeg, 2010).



**Figure 2.9** : Mode de transfert de chaleur à travers une paroi.  
(Source : [www.stiperret.free.fr](http://www.stiperret.free.fr), 2018)

## II.7 Les propriétés thermo-physiques des matériaux

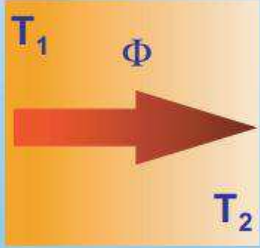
Les matériaux se caractérisent par des performances thermiques particulières tenant à leur structure et à leur masse qui leur permettent de gérer différemment les apports calorifiques. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction seront prises en compte dans la conception des enveloppes des bâtiments.

### II.7.1 La conductivité thermique ( $\lambda$ )

La conductivité thermique est la propriété qu'ont les matériaux de transmettre la chaleur par conduction. Symbolisée par le coefficient  $\lambda$  (lambda), elle est exprimée en watt par mètre Celsius ( $W/m^{\circ}C$ ) plus  $\lambda$  est grand, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant thermiquement (Courgey, 2007).

La figure 2.10 ci-dessous, montre les valeurs de la conductivité thermique pour quelques matériaux du bâtiment, les valeurs  $\lambda$  sont en condition sèche et en condition humide (Liébard et De Herde, 2005). Les valeurs de la conductivité thermique des matériaux sont influencées par son poids, sa teneur en eau, la taille de ses pores d'air, la nature du solide.

	sec	hum.		Conductivité thermique $\lambda$ des matériaux en W/m.K
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane	
	0,040		laine minérale, liège	
	0,058		vermiculite	
	0,065		perlite	
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs	
	0,12	0,13	résineux	
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1 000 kg/m <sup>3</sup>	
	0,54	0,75	briques 1 000-1 600 kg/m <sup>3</sup>	
	0,90	1,1	briques 1 600-2 100 kg/m <sup>3</sup>	
Verre	1,0	1,0		
Béton armé	1,7	2,2		
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre	
	2,91	3,49	granit, marbres	
Métaux		45	acier	
		203	aluminium	
		384	cuiivre	



**Figure 2.10** : Les valeurs de la conductivité thermique pour quelques matériaux.  
(Source : Liébard et De Herde 2005).

### II.7.2 La résistance thermique R

La résistance thermique (R) est l'inverse de la conductivité thermique ( $1/\lambda$ ) du matériau. La résistance thermique (R) mesure combien un matériau « résiste » à la perte de chaleur. Plus R est grande, plus le matériau est isolant. La résistance thermique d'un matériau dépend de son épaisseur et aussi de sa conductivité thermique ( $R = e / \lambda$ ) (Merzeg, 2010).

**R** = résistance thermique exprimée en m<sup>2</sup>.K/W

**e** = épaisseur du matériau exprimée en mètre m

**$\lambda$**  = lambda en W/(m.k)

### II.7.3 La capacité thermique ( $\rho C$ )

La capacité thermique d'un matériau désigne son aptitude à stocker de la chaleur. Symbolisée  $\rho C$ , elle est exprimée en watt heure par mètre cube Kelvin (Wh/m<sup>3</sup>.K) (Courgey et al, 2007). Plus la capacité thermique d'un matériau est grande, plus ce matériau sera capable d'emmagasiner et de restituer de la chaleur en hiver, ou une fraîcheur en été. Elle dépend de trois paramètres qui sont la conductivité thermique du matériau ( $\lambda$ ), la chaleur

spécifique du matériau et la densité ou masse volumique du matériau. Elle s'exprime en Wh/m<sup>3</sup>.K.

Plus la capacité thermique est élevée, plus le matériau stocke de la chaleur. En général, les matériaux les plus denses offrent une plus grande capacité thermique, alors que les isolants ont souvent une capacité thermique faible : l'essentiel est alors de trouver le bon compromis entre pouvoir isolant et inertie.

#### II.7.4 Diffusivité thermique

La diffusivité thermique **exprime la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation de température**. C'est la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction dans un corps. Elle s'exprime en m<sup>2</sup>/heure. Plus la diffusivité est élevée, plus le matériau s'échauffe et se refroidit rapidement et l'inverse plus la diffusivité thermique est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau et donc, plus le temps entre le moment où la chaleur parvient sur une face d'un mur et le moment où elle atteindra l'autre face est importante. On parle également de déphasage qui est un paramètre essentiel dans l'amélioration du confort d'été d'une habitation.

La diffusivité est directement liée à la conductivité thermique, la capacité thermique ainsi qu'à la masse volumique d'un matériau

$d$ : diffusivité en m<sup>2</sup>/h

$\lambda$  : conductivité thermique en W/m.°C

$\rho$ : masse volumique en kg/m<sup>3</sup>

$c$  : chaleur spécifique en kJ/kg.°C.

$$d = \frac{\lambda}{\rho * c}$$

#### II.7.5 Effusivité thermique

À la différence de la diffusivité thermique qui décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau, l'effusivité décrit **la rapidité avec laquelle un matériau absorbe les calories**, elle s'exprime en W.S/m<sup>2</sup>.C°. **Plus l'effusivité est grande, plus la chaleur interne à la pièce sera absorbée rapidement par le mur et donc, plus l'élévation de température dans le local sera limité**. Dans la conception d'une paroi, ce paramètre permet de choisir la qualité du revêtement en fonction du climat et la fonction de la pièce.

Donc, l'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par :

$$Ef = \sqrt{\lambda * \rho * c}$$

$\lambda$ : Conductivité thermique du matériau (en W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

$\rho$  : La masse volumique du matériau (en kg m<sup>-3</sup>)

$C$  : Capacité thermique massique du matériau (en J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

La conductance thermique  $K$  ou facteur de transmission

Ce coefficient indique la propriété d'une paroi qui conduit la chaleur sur une surface (mur ou toiture) unitaire et une unité de différence de température de l'air de part et d'autre de la paroi. **Plus le coefficient est grand plus la chaleur transmise est grande.** (Bellara, 2005)

$$K \text{ (w/m}^2 \text{ C}^\circ) = \lambda / e = 1 / R$$

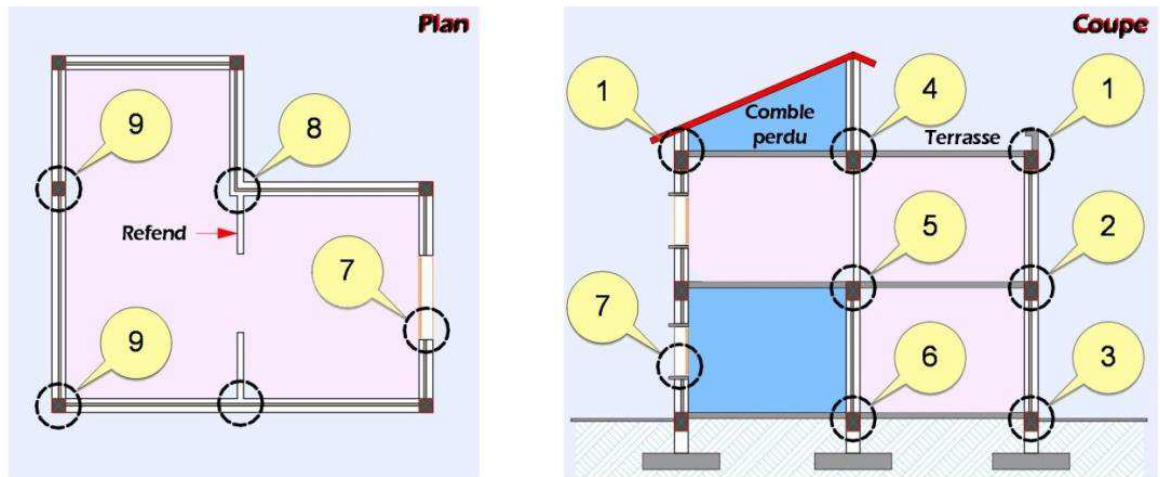
$\lambda$  = conductivité (w/m C<sup>°</sup>)       $e$  = épaisseur de la paroi (m)

## II.8 L'effet thermique des matériaux de construction

### II.8.1 Pont thermique

Les ponts thermiques sont les parties de l'enveloppe d'un bâtiment où la résistance thermique est affaiblie de façon sensible. Outre les problèmes de tassement des isolants ou de faiblesses dues à une mauvaise pose, les ponts thermiques se retrouvent généralement à la jonction de différentes parois : entre deux façades, entre mur et dalle, à l'entourage des menuiseries extérieures...etc. (Courgey et al, 2007).

Liebard et De Herde (2005), considèrent les ponts thermiques comme des défauts dans la conception et ou dans la réalisation de l'enveloppe isolante, et sont responsables de problèmes d'inconfort, de consommations supplémentaires et de dégradations éventuelles dans la construction (Figure 2.11). Ainsi, le pont thermique est une rupture totale ou partielle de l'isolation. Dans cet endroit de la construction, le flux de chaleur  $y$  est particulièrement dense : il n'est plus perpendiculaire à la surface des murs (flux surfacique) mais concentré (Liebard et De Herde, 2005).



Légende	
repères 1, 2, et 3	Murs et planchers hauts, intermédiaires et bas
repères 4, 5 et 6	Refends et planchers hauts et bas
repère 7	Baies et ouvertures
repère 8	Refends et murs
repère 9	Murs et éléments de structure

**Figure 2.11** : Positions des principaux ponts thermiques. (Source : Merzeg, 2010).

**II.8.2 L'inertie thermique** D'après Courgey et al (2007), l'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une paroi représente son aptitude à stocker de la chaleur. Pour un bâtiment, elle s'exprime généralement par l'appartenance à une classe d'inertie (de très faible à très forte) ; plus l'inertie est forte, plus la paroi (ou le bâtiment) est capable de stocker de la chaleur ou de restituer une fraîcheur. Elle s'exprime en  $(Wh/m^2.K)$ . De son côté, Merzeg (2010) considère que les matériaux à forte inertie thermique dit « lourds » ont un double rôle : stocker la chaleur en hiver et amortir les surchauffes en été.

L'inertie d'un bâtiment dépend, notamment, de la capacité thermique  $Q_s$  des matériaux qui le composent et de leur résistance  $R$ . La masse des matériaux permet de maintenir la fraîcheur le jour en été et de restituer de la chaleur la nuit en hiver. Le retard des variations internes par rapport aux variations externes est appelé **déphasage** et s'exprime en heures (Figure 2.12) (Merzeg, 2010).



S1 : représente l'évolution dans le temps de l'apport solaire

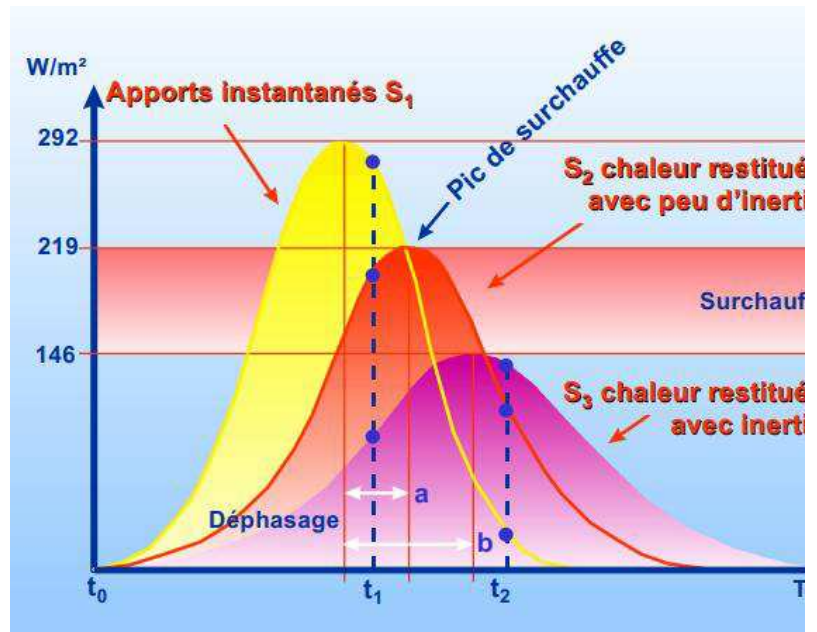
S2 : représente la réponse dans le temps du local à faible inertie

S3 : celle du local à fort inertie

t1 : les rayonnements solaire direct est intense

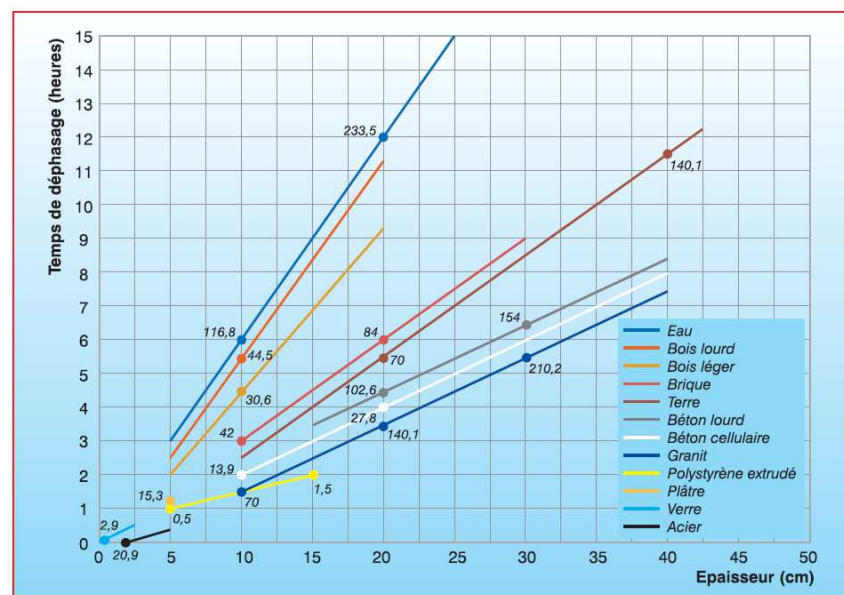
t2 : les rayonnements solaire direct est faible

avec une inertie forte, il n'est pas de surchauffe et l'on bénéficie d'une réserve de chaleur pour les heures sans soleil.



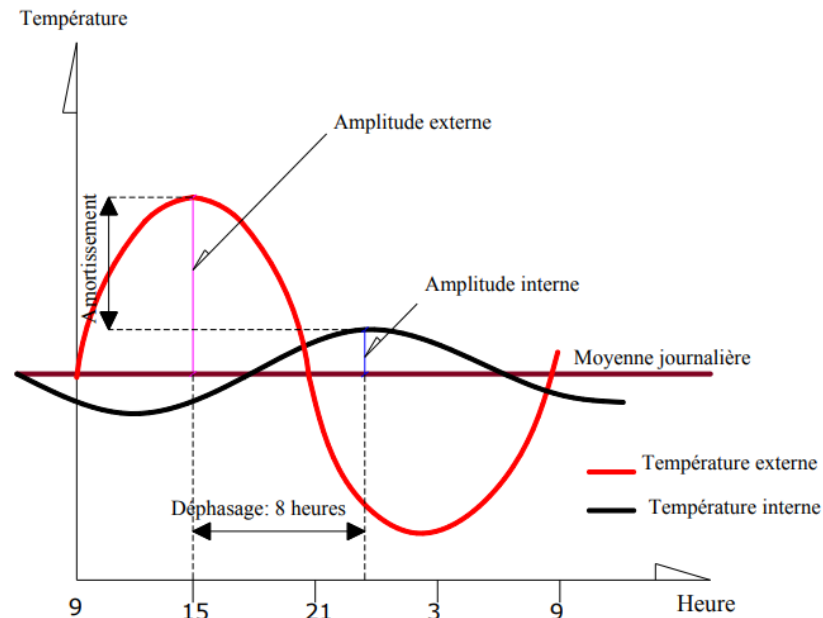
**Figure 2.12 :** Comparaison des réactions d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible face aux apports solaires. (Source : Liébard et De Herde, 2005)

D'après Liébard et De Herde (2005), l'inertie thermique d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et en différer la restitution après un certain temps : c'est le temps de **déphasage** qui dépend de l'épaisseur ainsi que de la conductivité thermique des matériaux (Figure 2.13). Donc le déphasage exprime le temps entre le moment de l'amplitude de l'onde thermique extérieure et celui de l'onde thermique transmise.



**Figure 2.13 :** Temps de déphasage de divers matériaux de construction en fonction de leur épaisseur et quantité de chaleur accumulée pour des épaisseurs types. (Source : Liébard. et De Herde, 2005)

La Figure 2.14 illustre l'effet de l'inertie thermique en terme de décalage entre l'évolution de la température intérieure et celle extérieure. Le décalage est de huit (8) heures, et l'amplitude de la courbe de température interne est trois fois moins que celle externe. De ce fait, ce matériau joue un rôle important sur le déphasage et l'amortissement de l'onde thermique (Boulfani, 2010).



**Figure 2.14 :** Déphasage et amortissement d'une onde de chaleur à travers un matériau homogène. (Source : Boulfani, 2010)

Le temps de déphasage de la chaleur lors de sa pénétration vers l'intérieur du bâtiment est le concept le plus intéressant surtout dans les régions chaudes et aride. Les matériaux de construction de bonne inertie thermique ont la capacité de stocker la chaleur durant la journée dans l'enveloppe et de l'évacuer la nuit, grâce à la fraîcheur de l'air nocturne. Ce mécanisme est très efficace en cas de ventilation nocturne renforcée et d'inertie assez forte par l'application de l'isolation de côté extérieur de l'enveloppe ce qui permet l'augmentation du temps de déphasage. Ainsi il peut assurer la réalisation d'un confort acceptable jour et nuit l'été et éviter le recours à la climatisation dans les bâtiments résidentiels.

### II.8.3 Compacité et facteur de forme

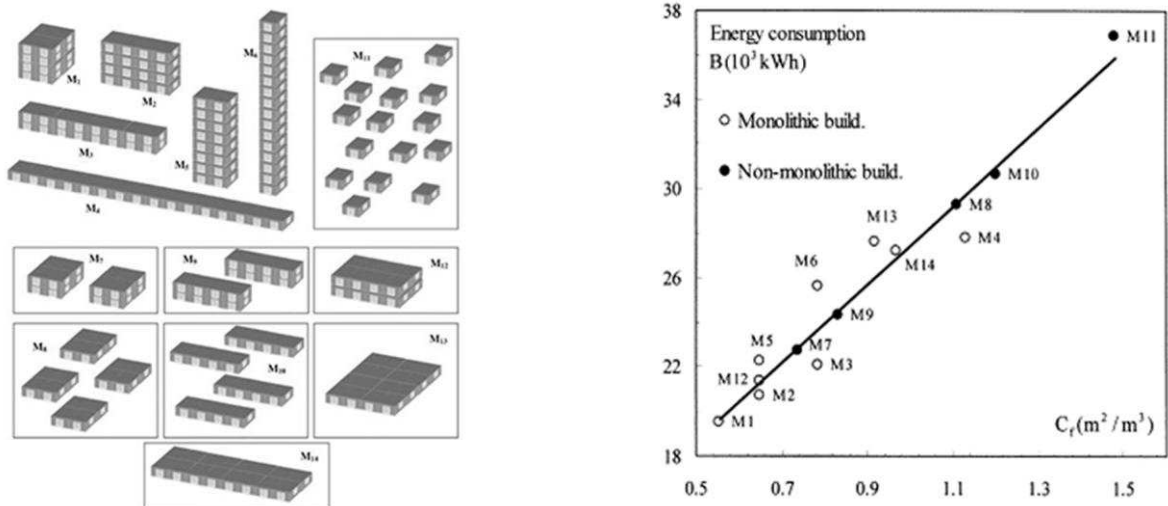
La superficie de l'enveloppe d'un bâtiment est un facteur important dans ses échanges avec l'environnement. La compacité est un critère important pour réduire la consommation énergétique et assurer le confort thermique lorsque les déperditions thermiques du logement se font par renouvellement d'air et à travers l'enveloppe. La compacité est mesurée par un

coefficient de forme (Cf) qui est le rapport entre la surface de l'enveloppe S en m<sup>2</sup> et le volume habitable Vh en m<sup>3</sup> :  $Cf = S / Vh$ . Selon Zeroual (2006) la forme, la géométrie et les dimensions du bâtiment ont un impact important sur sa performance thermique.

De ce point de vue, et compte tenu des caractéristiques climatiques de zones chaudes et arides, il est recommandé de construire :

- Des enveloppes massives dans le but d'augmenter la compacité du volume et minimiser les surfaces d'échange thermique.
- Des parallélépipèdes allongées dans l'axe Est- Ouest, afin d'orienter les façades les plus réduites vers les directions Est et Ouest.
- Comme le rayonnement solaire d'été est beaucoup plus important sur une surface horizontale que sur une surface verticale, il est avantageux de diminuer les surfaces de la toiture et d'augmenter la hauteur de la construction (plusieurs étages sont préférables).

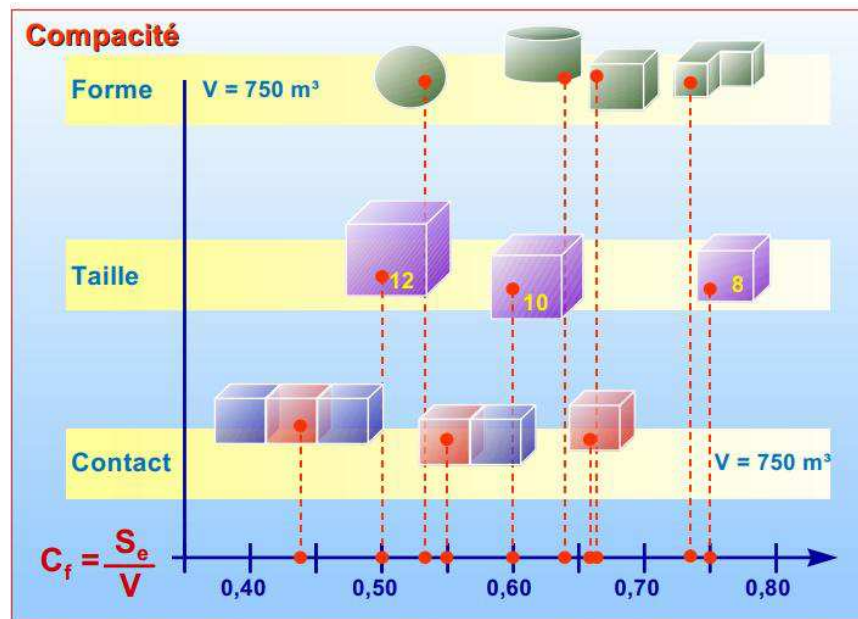
De ce fait, la forme optimale d'une construction est celle qui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et de gagner un maximum de fraîcheur en été par la diminution des gains solaires (Figure 2.15).



**Figure 2.15 :** Relation entre compacité et consommation de chauffage : analyse comparée de quatorze morphologies de bâtiments. (Source : Arantes, 2016)

D'après Liébard et De Herde (2005), plusieurs facteurs sont pris en considération lors de l'évaluation thermique d'un bâtiment, ce qui fait de la compacité un critère intéressant mais difficile à appliquer. On peut, à partir d'une analyse géométrique, comparer la variation

de la compacité par rapport à la forme, la taille et la proximité d'autres volumes (Figure 2.16).

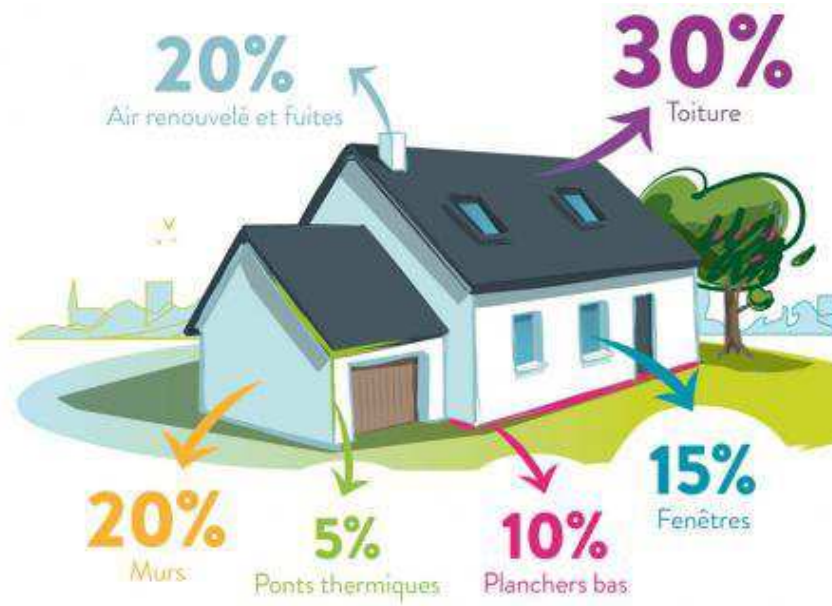


**Figure 2.16** : La compacité varie suivant la forme, la taille et le mode de contact des volumes construits. (Source : Liébard et De Herde, 2005).

**Les formes** les plus compactes sont les formes sphériques qui ont un faible  $C_f$ . Ainsi **la taille** de l'enveloppe influence directement sur la compacité du bâtiment. Pour une forme définie, une augmentation de la taille entraîne automatiquement un faible  $C_f$ , et donc une forme plus compacte. Egalement **le mode de contact** entre volumes influence également la compacité. Pour le même volume, on remarque que pour le cas des maisons mitoyennes le  $C_f$  est plus faible par rapport à celui d'un pavillon, car les murs mitoyens sont disposés entre deux espaces chauffés et ne seront pas considérés comme des surfaces déperditives.

#### II.8.4 Déperdition thermique de l'enveloppe

Généralement toutes les surfaces de l'enveloppe d'un bâtiment représentent des points de dissipations thermiques, les déperditions de chaleur varient, selon leur configuration et leur niveau d'isolation. D'après Ben Houhou (2012) estime le pourcentage de perte de la chaleur au niveau de chaque élément de l'enveloppe comme suite : le toit 30%, les fenêtres 13%, les murs 25%, le sol 7%, les ponts thermiques 5% et le renouvellement d'air 20%. Les déperditions thermiques les plus importantes sont localisées au niveau de la toiture et les murs, ces endroits sont à isoler en priorité (Figure 2.17).



**Figure 2.17** : Les déperditions thermiques dans le bâtiment. (Source : [www.calculo.fr](http://www.calculo.fr), 2017)

Selon Liébard et De Herde (2005), les déperditions thermiques sont dues aux infiltrations d'air à travers l'enveloppe, causées par des défauts de conception et de réalisation. Ces derniers sont considérés comme la première source de refroidissement (en hiver) des bâtiments. Pour lutter contre ces pertes de chaleur, la seule solution disponible est l'isolation thermique des parois opaques et transparentes.

Les déperditions thermiques des bâtiments dans le climat chaud et aride sont causées par la différence de température entre l'ambiance intérieure et les conditions extérieures torrides durant la saison chaude. Ces déperditions s'opèrent dans leur majorité à travers l'enveloppe, et à leur tour, elles affectent les besoins de rafraîchissement du bâtiment. Il est donc impératif que les caractéristiques formelles et matérielles de cet élément soient choisies dans le but de réduire les échanges de chaleur qui se produisent à son niveau.

## II.9 Conclusion

Dans les régions climatiques chaudes et arides, l'énergie solaire est une source d'inconfort qui provoque une surchauffe gênante pendant l'été. L'enveloppe correspond aux faces du bâtiment, en contact avec les diverses sollicitations climatiques extérieur ; c'est à son niveau que s'effectuent les échanges thermiques avec le milieu extérieur. Le but principal d'une enveloppe performante énergétiquement et thermiquement est de réduire la transmission de la chaleur à l'intérieur en été et de limiter les déperditions calorifiques en hiver. Ceci est possible grâce à une conception architecturale optimale de l'enveloppe vis-à-vis des

conditions climatiques estivales. Les composantes matérielles et formelles de l'enveloppe doivent maintenir une température intérieure confortable et uniforme pour les occupants sous des variations climatiques extrêmes.

Ce chapitre a été consacré à la présentation des éléments de conceptions de l'enveloppe architecturale intervenant dans la réalisation des conditions de confort thermique intérieure sous un climat chaud et aride. Le choix judicieux des matériaux de construction (propriété thermo-physique) des éléments opaques et transparent composant l'enveloppe, permet de protéger les occupants contre les conditions climatiques difficiles (radiations solaires, vent...).

Le chapitre suivant va porter sur l'habitat individuel autoproduit à Biskra. L'objectif du chapitre est de faire une lecture architecturale typo-morphologique de cette forme de production du cadre bâti et ainsi identifier ses caractéristiques de conception et ses conditions de réalisation.

## CHAPITRE III : Cadre bâti résidentiel autoproduit à Biskra

### III.1 Introduction

Le besoin d'habiter est une nécessité pour l'homme depuis son existence sur terre. Au fil du temps, la conception de l'habitat a connu des changements radicaux sous l'effet de plusieurs facteurs notamment l'avènement de nouveaux matériaux et techniques de construction ainsi que l'évolution des modes de vies. Aujourd'hui, on assiste à l'apparition de formes et modèles d'habitat nouveaux ; la réalisation du cadre bâti résidentiel ne répond plus uniquement au besoin fondamental de l'abri, elle tient compte, aussi, d'autres aspects subjectifs voire existentiels des occupants (esthétique, appareil, représentation, appartenance culturelle et sociale). La nécessité d'assurer un certain niveau de confort hygrothermique intérieur, s'est également érigé en exigence incontournable.

Le présent chapitre commence par une présentation de la ville de Biskra: situation géographique, évolution urbaine, données climatique et enfin, analyse bioclimatique selon les outils d'aide à la décision usuels (diagramme de Givoni, tables de Mahoney,...). Cette partie du chapitre, permettra de caractériser le contexte physique du cadre de l'étude, elle fournira également les principales recommandations architecturales adaptées au climat chaud et aride de Biskra. La deuxième partie du chapitre est consacré à l'habitat. Quelques définitions relatives à l'architecture résidentielle, seront données et une lecture typomorphologique de l'habitat contemporain autoproduit à Biskra, sera faite, avec une présentation de ses principales caractéristiques matérielles et architecturales.

## III.2 Présentation du contexte de l'étude

### III.2.1 Situation géographique de la ville de Biskra

La ville de Biskra est située à 470 Km au Sud-Est de l'Algérie à une latitude de  $34,80^{\circ}$  Nord et une longitude de  $5,73^{\circ}$  Est ; elle occupe une superficie de 21 671 Km<sup>2</sup> (Figure 3.1). Elle est située à une altitude moyenne de 87 m et voit sa topographie diminuer progressivement du Nord vers le Sud.

Biskra appartient à une région classée aride où prédomine un climat chaud et sec avec des hivers froids et des étés chauds. Elle se caractérise par un ciel clair et ensoleillé presque pendant toute l'année, de grandes amplitudes de température saisonnières et journalières (jusqu'à  $10^{\circ}\text{C}$ ) et une importante quantité de rayonnement solaire.



**Figure 3.1** : Situation de la wilaya de Biskra. (Source : Google Earth, 2018)

Les limites administratives du territoire de Biskra sont :

- La wilaya de Batna : au Nord.
- La wilaya de Djelfa : au Sud-Ouest.
- La wilaya d'El Oued : au Sud.
- La wilaya de Khenchela : au Nord-Est

### III.2.2 Analyse des données climatiques de la ville de Biskra

La ville de Biskra est située au Nord du Sahara algérien (aux portes du désert) ; elle est classée dans la zone climatique chaude et aride. Ses paramètres climatiques se définissent comme suit :

#### III.2.2.1 La température

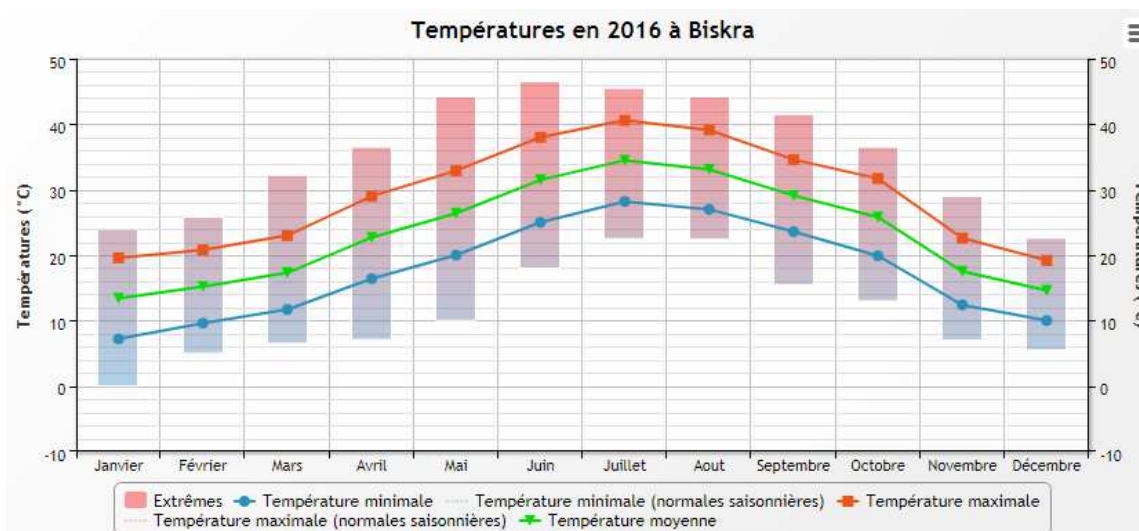
La température moyenne annuelle de la wilaya de Biskra est de  $23^{\circ}\text{C}$  (Tableau 3.1), le mois le plus chaud est Juillet avec une température maximale de l'ordre de  $42^{\circ}\text{C}$  et le



mois le plus froid est Janvier durant lequel la température minimale descend à 7 °C (Figure 3.2).

**Tableau 3.1 :** Données des moyennes mensuelles des températures, période (2002-2016).  
(Source : <https://www.wunderground.com>.)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Temp moy	12	13,21	17,11	21,36	25,95	30,89	34,46	33,82	28,87	23,79	17,01	12,67	22,59



**Figure 3.2 :** Données des températures mensuelles en 2016. (Source : [www.infoclimat.fr](http://www.infoclimat.fr))

### III.2.2.2 Les vents dominants

En Été, les vents dominants sont chauds et sec et soufflent du Sud-Ouest. Au Printemps, les vents sont fréquemment chargés de sable. À l’opposé, les vents froids d’hiver soufflent du Nord-Ouest à une vitesse de l’ordre de 11 à 16 km/h. La vitesse maximale des vents s’observe au mois d’Avril atteignant 16,58 km/h, par contre la vitesse minimale est de 10km/h au mois d’Août (Tableau 3.2).

**Tableau 3.2 :** La vitesse moyenne mensuelle des vents de Biskra période (2002-2016).  
(Source : <https://www.wunderground.com>.)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Vent km/h	11	13,13	16,13	16,18	16,58	14,68	12,18	10,29	12,53	9,59	10,55	12,59	12,96

### III.2.2.3 L’humidité relative

L’humidité relative de l’air illustrée dans le tableau 3.3, indique que les mois les plus humides sont Janvier, Février, Mars, Septembre, Octobre, Novembre et Décembre avec

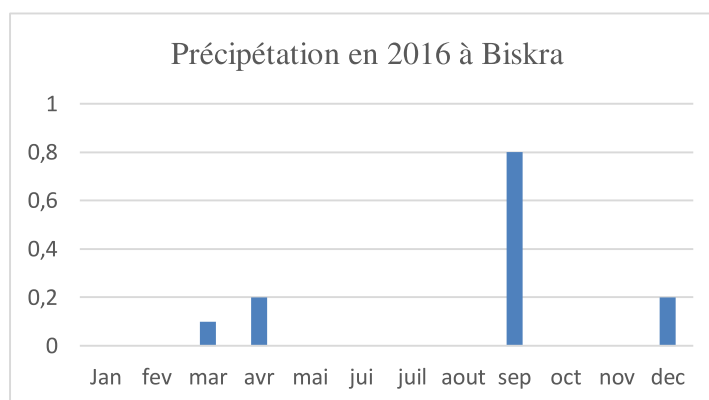
un taux d'humidité entre 40% et 60%. L'humidité la plus faible est enregistrée en Juillet avec un taux de 26.50%. Alors que l'humidité moyenne annuelle est de l'ordre de 42.45 %.

**Tableau 3.3 :** Données des moyennes mensuelles de l'humidité relative période (2002-2016) (Source : <https://www.wunderground.com>.)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
HR (%)	58	49,54	43,51	39,62	33,19	28,43	26,50	29,31	40,21	46,20	54,27	60,61	42,45

#### III.1.2.4 Les précipitations

D'une façon générale, les pluies à Biskra restent rares, mal réparties et accusent un caractère torrentiel et orageux. Les valeurs relatives à la précipitation (Figure 3.3), indiquent que le taux de sécheresse le plus élevé survient durant la période estivale (Mai, Juin, Juillet, Aout), alors que de faibles pluies sont enregistrées durant le mois de Mars de l'ordre de 0.1mm. Le maximum de précipitations jusqu'à 0.8mm est atteint au mois de septembre, et la moyenne annuelle est d'environ 0.10mm /an.



**Figure 3.3 :** Données des précipitations mensuelles en 2016. (Source : [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com).)

### III.3 Analyse bioclimatique de la ville de Biskra

#### III.3.1 Déterminer la zone de surchauffe (isotherme de Biskra)

Olgay, cité par Givoni (1978) indique que la période de surchauffe est définie à partir de 21°C pour la latitude 40 degré Nord, ceci, pourra constituer une base de travail. L'utilisation du diagramme psychométrique indique une zone de confort comprise entre 20°C et 24 °C ; ce qui permet de définir des périodes de froid et de surchauffe, ainsi que les besoins d'ensoleillement.

Pour déterminer la zone de surchauffe de Biskra, on doit premièrement tracer des traits reliant les températures maximales et minimales mensuelles sur le calculateur des températures horaires (Figure 3.4). L'intersection de ces lignes avec le quadrillage du calculateur, donne des températures pour chaque heure. Sur la base de ces tracés, on remplit les cases du tableau isotherme (matrice) et on délimite la zone de surchauffe laquelle va inclure toutes les cases où la température est supérieure à 28°C (Figure 3.5).

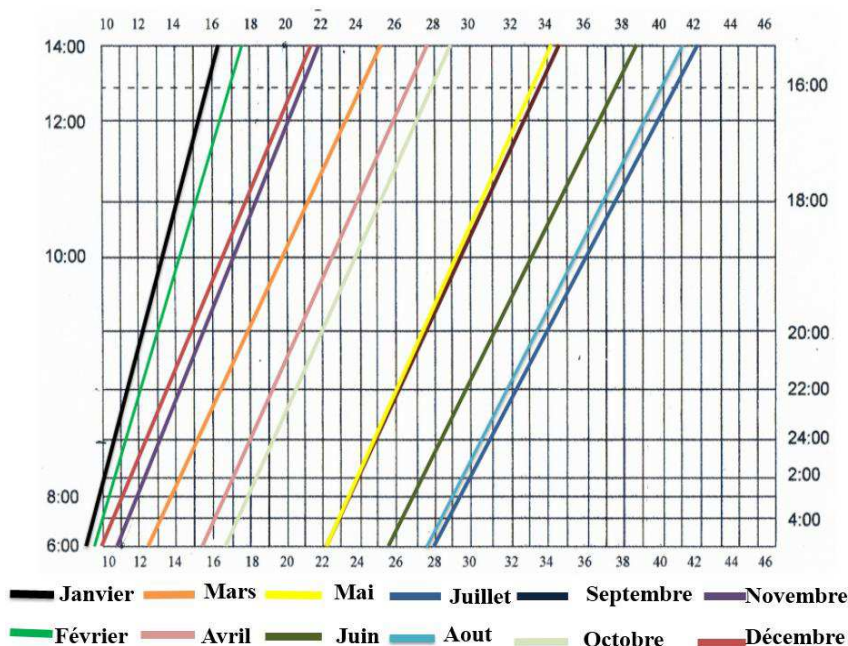


Figure 3.4 : Calculateur de température heure par heure de Biskra.  
(Source : Auteur, 2017)



Figure 3.5 : Détermination de la zone de surchauffe de Biskra.  
(Source : Auteur, 2017)

### III.3.2 Diagramme de Givoni appliqué aux données climatiques de Biskra

Givoni a élaboré en 1963 un diagramme psychrométrique qui exploite les caractéristiques climatiques d'une région, notamment, l'humidité et la température de l'air maximale et minimal pour évaluer la sensation thermique et le confort des occupants. D'après Barkouk (2017), l'objectif principal du diagramme de Givoni est de déterminer les conditions hygrothermiques à l'intérieur des bâtiments qui permettent aux concepteurs de choisir les meilleures stratégies (chauffage et de refroidissement) pour améliorer le confort des occupants (Berkouk, 2017).

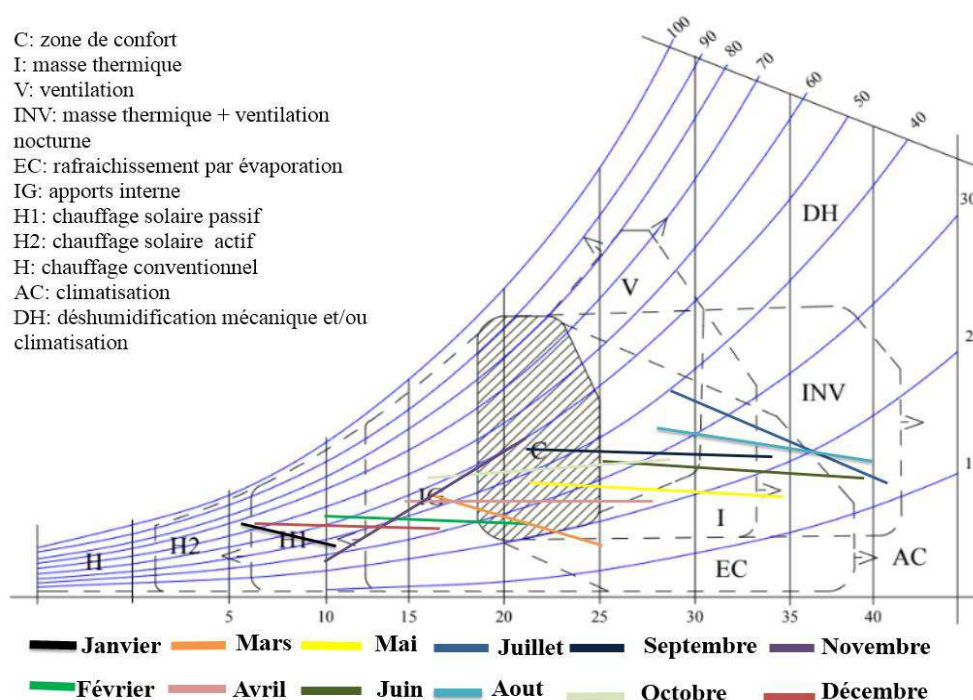


Figure 3.6 :Diagramme de Givoni pour Biskra. (Source : Auteur, 2017)

D'après l'analyse du diagramme (Figure 3.6), il apparaît que la majorité des mois (matérialisés par des segments) ne sont pas dans la zone de confort. Les mois d'hiver ; Janvier, Février et Décembre se localisent dans les zones (H1, H2 et IG) un chauffage solaire passif ou actif, apports interne sont nécessaire (favoriser le chauffage par pénétration des apports du soleil en hiver à l'intérieur des locaux, utilisation des matériaux appropriés pour diminuer déperdition de la chaleur). Il y a une petite zone appartenant à la saison d'hiver qui nécessite un chauffage actif (H2). Ces mois caractérisés par des jours les plus courts et des températures plus basses ainsi qu'une humidité relative de l'air prolongée car les basses températures ralentissent l'évaporation.

La saison d'été, pour sa part, est située dans la zone de refroidissement passif du

diagramme (à droite de la zone de confort) et où les stratégies recommandées sont une ventilation naturelle nocturne et une forte inertie thermique pour réduire la surchauffe. La lecture du diagramme de Givoni relatif à Biskra (Figure 3.6) montre qu'il y a une période durant les mois de Juillet et d'Août qui nécessite un refroidissement actif (AC) ; autrement dit, le confort ne peut être atteint sans climatisation artificielle. Sinon, toute la période estivale est marquée par des températures très élevées, c'est également la période de l'année où le soleil reste le plus longtemps dans le ciel, pour ces raisons, la stratégie passive à appliquer est une forte inertie thermique des matériaux de construction accompagnée d'une ventilation nocturne (INV).

La saison du printemps est représentée par les mois les plus proches de la zone de confort, les stratégies exigées appartiennent aux zones (IG, C, I) qui nécessitent une forte inertie thermique et le captage des apports internes.

La saison de l'automne, représentée par les mois de Septembre, Octobre et Novembre, est une période relativement confortable. Les stratégies à appliquer se localisent dans les zones (C, V, I). Ainsi, le mois de Septembre exige une ventilation (V) et une inertie thermique (I), le mois d'Octobre figure dans la zone (IG) et nécessite des apports internes (IG) ; enfin, pour atteindre des conditions de confort durant le mois de Novembre, il est nécessaire d'assurer un chauffage solaire passif et des apports internes.

### **III. 3.3 Tables de Mahony pour analyser les données climatiques de Biskra**

L'application de la méthode de Mahony est basée sur les facteurs climatiques suivants : la température mensuelle, température moyenne annuelle, l'humidité relative et la pluviométrie, ainsi que la notion de confort diurne et nocturne. On utilise cette méthode pour proposer un certain nombre de recommandations aussi bien urbaines qu'architecturales.

Après le diagnostique des données climatiques de la ville de Biskra effectué à partir des tables de Mahony (Voir l'annexe A), il est possible de donner un certain nombre de recommandations pour aider les architectes à réaliser des bâtiments qui soient adaptés à leur contexte climatique (Biskra). Ainsi :

- l'orientation du bâtiment doit se faire suivant un axe longitudinal Est-Ouest afin de diminuer l'exposition au soleil ;
- la compacité au niveau du plan de masse doit être recherchée par le recours à des rues étroites ce qui favorise l'ombrage à l'échelle urbaine et la protection solaire

mutuelle des façades. Au niveau de la masse bâtie, l'organisation intravertie autour d'une cour intérieure va de paire avec la compacité.

- Le ratio d'ouverture moyenne doit être de l'ordre de 25% à 40% de la surface des murs.
- Une ventilation transversale est à assurer quand  $T_{ext}$  est inférieure à  $T_{int}$ .
- Prévoir des terrasses accessibles pour dormir à la belle étoile en exploitant les écarts de températures entre le jour et la nuit et l'abaissement de température nocturne.
- Assurer une forte inertie thermique dans les toitures ainsi que les murs extérieurs avec un temps de déphasage supérieur à 8h.

### **III. 3.4 Recommandations pour une conception adaptée au contexte climatique de Biskra**

Biskra étant caractérisée par une longue période de surchauffe qui provoque une situation d'inconfort dans la majeure partie de l'année, les bâtiments doivent être conçus selon les exigences d'Été, celles de l'Hiver étant satisfaites de facto. C'est en effet, ce qu'affirme Givoni (1998), selon lequel assurer le confort hygrothermique sous un climat chaud et aride exige que les bâtiments soient adaptés aux conditions d'Été et cela partant du principe que les exigences d'hiver seront satisfaites pour un bâtiment où le confort est assuré en été. En appliquant des solutions passives, il est possible d'atteindre des conditions de confort acceptables durant la période estivale et de réduire la dépendance vis-à-vis de la climatisation artificielle.

À ce titre, le diagramme psychométrique de Givoni et les tables de Mahony, fournissent des orientations utiles, simples et à la portée des architectes soucieux d'inscrire leur production architecturale dans une démarche conceptuelle respectueuse de son contexte. Pour Biskra, les stratégies à retenir sont : l'implantation du bâtiment suivant un axe longitudinal Est-Ouest, l'orientation optimale est Nord-Sud, les orientations Est et Ouest sont à proscrire, la compacité du bâtiment est à encourager, faire un choix judicieux de matériaux de bonne inertie thermique, utiliser la ventilation nocturne pour refroidir la masse bâtie, minimiser les gains solaires à travers la toiture, assurer l'ombrage à l'échelle urbaine, veiller à la protection solaire des ouvertures et opter pour des ratios d'ouvertures de l'ordre de 25% à 40%.

### III.4 L'habitat en question

#### III.4.1 Notions d'habitat et d'habitation

Selon le dictionnaire encyclopédique Larousse (2016) l'habitat est « une partie de l'environnement définie par un ensemble de facteurs physiques, et dans laquelle vit un individu, une population, une espèce ou un groupe d'espèces ». D'après Laouar (2008) le terme *habitation* « est un lieu où on habite : domicile, demeure, logement, maison » ; l'unité habitable représentée par l'habitation ou le logement s'inscrit dans l'habitat et est considérée comme l'une de ses composantes.

De son côté, l'encyclopédie Universalis (2002) donne cette définition de l'habitat : «L'habitat n'est pas qu'un toit-abri, foyer ou logis, mais un ensemble socialement organisé. Il permet à l'homme de satisfaire ses besoins physiologiques, spirituels et affectifs ; il le protège des éléments hostiles et étrangers. Il lui assure son épanouissement vital. L'habitat intègre la vie individuelle et familiale dans les manifestations de la vie sociale et collective.»

Selon De Lauwe cité par Laouar (2008) «l'habitation est, surtout dans les civilisations traditionnelles, une construction qui abrite un groupe familial plus ou moins étendu. Une habitation peut comprendre plusieurs cases ou maisons. Elle est une unité spatiale correspondant à une unité sociale. Cette construction qui reflète, [...] la structure de la famille au sens large, se situe dans l'ensemble de l'habitat qui comprend toutes les implantations humaines d'une société dans un cadre spatial déterminé » (De Lauwe, 1975).

Pour Sriti (2013), l'habitation désigne le cadre matériel servant de sphère d'appropriation personnelle à l'homme. C'est l'environnement immédiat et privé d'un individu ou d'une famille. Elle est un lieu et un cadre, englobant les actes et les émotions vécues en ce lieu.

En complément à cette définition, Ekambi-Schmidt (1986), considère que l'habitation est caractérisée par l'opposition entre un aspect « dénotatif » et un aspect « esthétique ». L'aspect dénotatif est réductible à la fonction de l'habitat, celle de loger des êtres, de les protéger contre les nuisances naturelles, matérielles ou humaines, de faire avec des outils appropriés certains gestes quotidiens de la vie. Ainsi, les différentes pièces qui composent un logement sont le plus souvent définies par référence à leur fonction. Il est d'usage de dire par exemple : la cuisine « c'est pour » préparer les repas ; le salon « c'est pour recevoir », c'est-à-dire que c'est un espace assigné, fait pour quelque chose.

L'aspect esthétique, quant à lui, recouvre la dimension architecturale extérieure et intérieure, et inclut l'aménagement de l'espace créé en fonction de l'affectivité personnelle des habitants. Autrement dit, les facteurs de personnalisation qui permettent à l'habitant de se créer un micro-univers familial.

### III.4.2 Typologie de l'habitat

#### III.4.2.1 Classification selon le type d'occupation

##### a. Habitat individuel

L'habitat individuel désigne une maison, une villa, un pavillon ou bien toute autre forme d'habitation qui est destinée à être habitée par une seule famille (Zeghichi, 2014). Ce type d'habitat est le mode le plus courant dans les zones rurales. Dans les villes, il se présente selon deux ou trois façades avec mitoyenneté ou quatre façades pour une maison isolée. Ce type d'habitat est caractérisé par une hauteur et une largeur remarquable au niveau de la façade et avec des espaces non bâtis comme jardin, véranda, cour...etc. Ainsi avec une superficie moyenne de 120m<sup>2</sup>, généralement le nombre de niveau ne dépasse pas 3 étages (Figure 3.7).



**Figure 3.7** :Exemple d'habitat individuel à Biskra. (Source : Auteur, 2016)

##### b. Habitat collectif

L'habitat collectif est apparu après la deuxième guerre mondiale pour résoudre le problème de la forte demande de logements et la volonté des pouvoirs publics de réaliser le maximum d'abris à courte durée et à moindre coût.



En Algérie, l'habitat collectif s'est imposé en tant que forme d'urbanisation officielle prônée par le secteur public dès l'indépendance et le lancement des grands programmes de logements. Ce type d'habitat s'est surtout répandu dans les zones urbaines, son unité de base est l'immeuble de plusieurs étages pouvant dépasser R+4 et comportant un ensemble d'habitations appelées appartements. L'immeuble collectif avec ses différentes typologies offre aux locataires des espaces collectifs et semi-collectifs à utilisation commune (espace vert, aire de jeu, espace de stationnement, cage d'escalier, ascenseurs...etc.) (Figure 3.8).



**Figure 3.8** : Exemple d'habitat collectif ; cité 830 logements à Biskra. (Source : Auteur, 2016)

#### ***III.4.2.1 Classification selon l'implantation***

##### ***a. Habitat urbain***

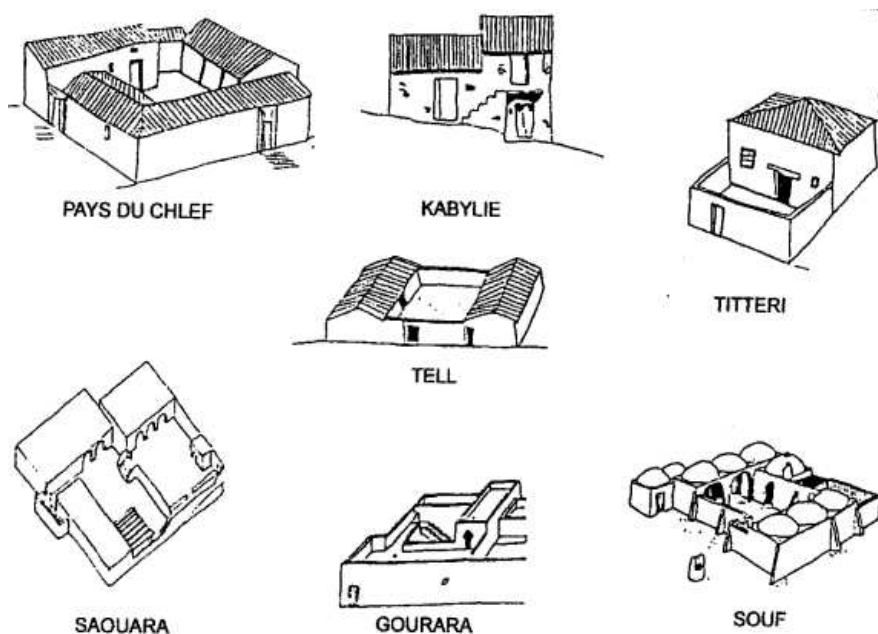
Un habitat urbain est composé d'habitations situées dans une zone urbaine. De fait, il s'oppose à l'habitat rural. Il se présente sous forme d'agglomérations plus ou moins grandes installées dans les zones urbaines. Il est caractérisé par sa grande densité qui peut devenir une source de malaise pour les habitants à cause du taux de stress élevé (Figure 3.9) (Zeghichi.2014).



**Figure 3.9** : Quartier populaire urbain Star Mlouk Biskra. (Source : Google earth, 2017)

***b. habitat rural***

L'habitat rural est caractérisé par des logements individuels situés dans la campagne, et souvent localisé dans le milieu agricole. Généralement, l'agglomération rurale est gérée par lois tribales, les habitants préfèrent vivre en groupes familiaux et définir leurs propres limites territoriales (Figure 3.10).



**Figure 3.10** : Croquis de maisons rurales représentatives de certaines régions de l'Algérie.  
(Source : Laouar, 2008)

**III.5 L'habitat à Biskra : typologie diachronique**

L'habitat avec ces différentes typologies illustre de manière éloquentes l'évolution de la ville et la matérialisation de sa forme urbaine. L'image urbaine que reflète actuellement la ville de Biskra constitue la synthèse des étapes successives de son développement historique. Son tissu urbain se prête aisément à une lecture chronologique et on peut notamment y déceler (Figure 3.11) :

- le noyau ancien
- l'habitat colonial
- les quartiers populaires spontanés
- habitat individuel dans les lotissements planifiés (ZHUN et extensions récentes)
- habitat collectif et semi-collectif (ZHUN et extensions récentes)

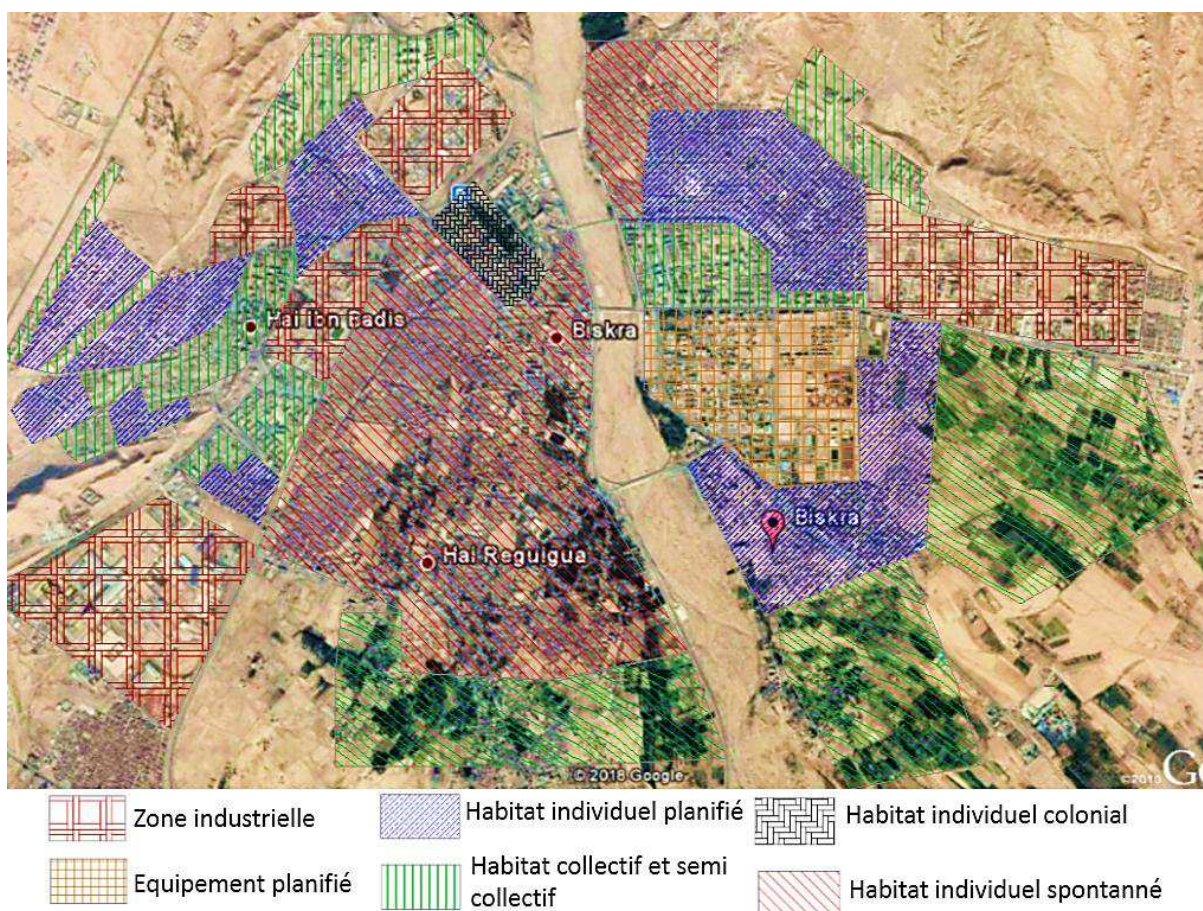
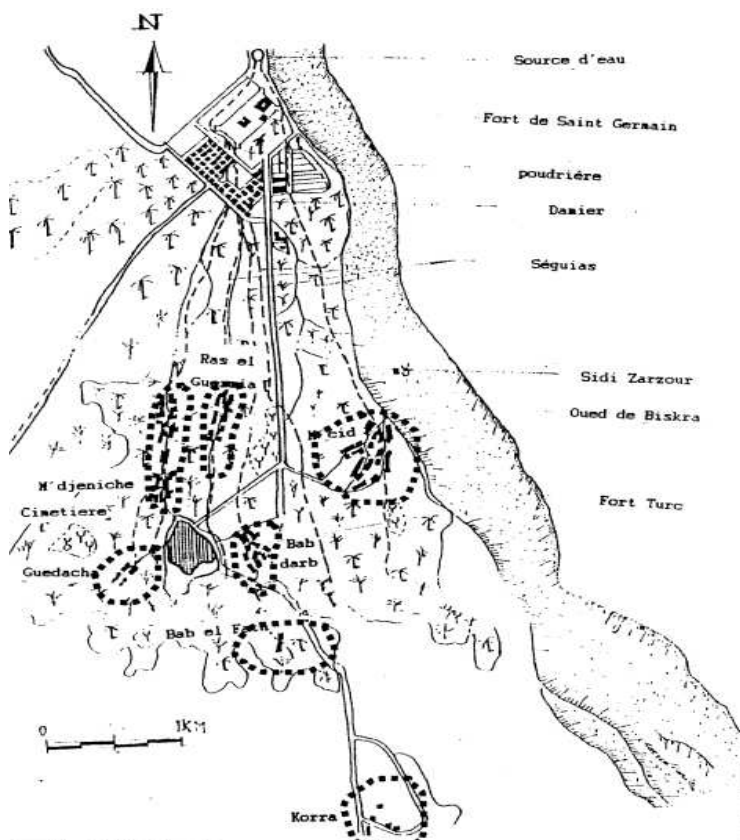


Figure 3.11 : Typologie du tissu urbain à Biskra. (Source : Auteur, 2017)

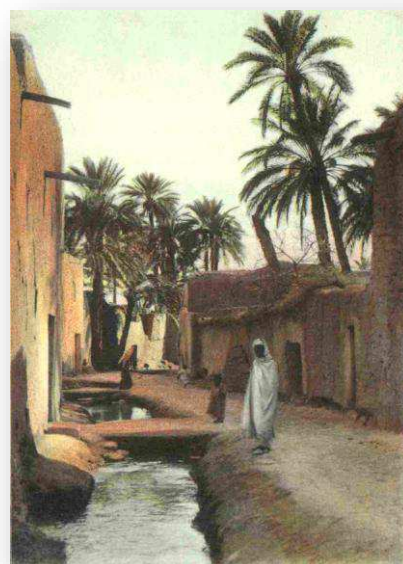
### III.5.1 Le noyau ancien (habitat traditionnel)

D'après Sriti (2013) le tissu résidentiel traditionnel à Biskra se concentre dans le noyau ancien ou «vieux Biskra», sa création remonte à l'époque arabo-musulmane, puis il a évolué durant la période turque. A l'origine, il correspondait à sept (07) villages éparpillés dans la palmeraie (Figure 3.12). Ceux-ci prirent naissance après l'éclatement de l'agglomération initiale, suite à une épidémie de peste qui frappa la ville vers 1740. Aujourd'hui les sept villages existent toujours. Ils sont situés au sud de la ville actuelle et correspondent aux quartiers : Medjeniche, Ras el Guerria, M'cid, Gueddacha, Bab el Feth, Bab el Derb et Korra. Ils se sont développés le long des séguias, dans la direction Nord/Sud. Ces quartiers sont disséminés dans la palmeraie, et beaucoup de constructions illicites s'y sont greffées accentuant leur état de délabrement.



**Figure 3.12 :** La ville de Biskra en 1863 et l'habitat des sept villages de l'époque précoloniale. (Source : Laouar, 2008)

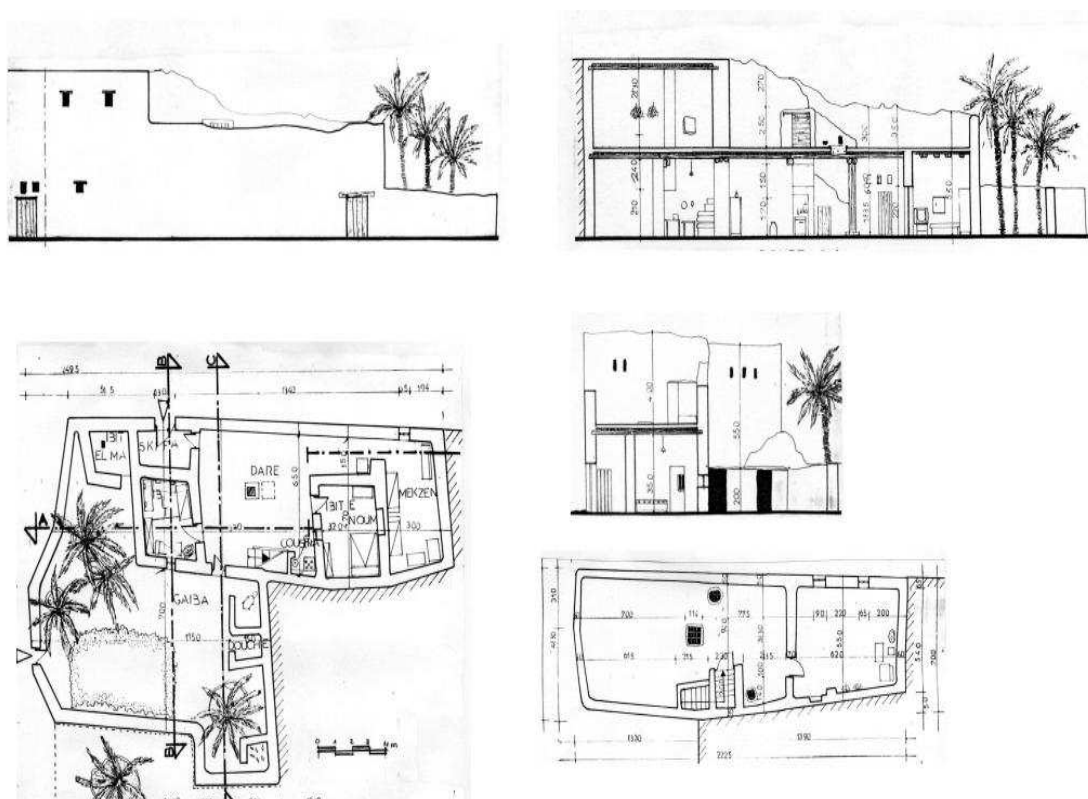
Le tissu traditionnel à Biskra est caractérisé par une forte compacité à l'échelle urbaine avec des ruelles étroites et un gabarit relativement bas, les hauteurs des maisons ne dépassant pas R+1 (Figure 3.13).



**Figure 3.13 :** Tissu traditionnel quartier M'cid, (à gauche Source : GoogleEarth, 2017 ; à droite Source : www.delacampe.net ).

Les parcelles sont de surfaces réduites variant entre 50m<sup>2</sup> à 150m<sup>2</sup>. L'enveloppe bâtie est compacte et massive du fait de l'utilisation des matériaux lourds à forte inertie thermique principalement le toub (terre crue) et la pierre. Les murs extérieurs des maisons sont percés par de petites ouvertures placées dans le haut de la façade pour évacuer l'air chaud et vicié. L'espace habité est structuré autour d'un hall central appelé (*Ouast eddar*) où se déroulent la plupart des activités quotidiennes cet espace sert également à distribuer les chambres (*beit* ; pl. *biout*) qui l'entourent.

Chaque maison est prolongée d'un jardin-potager (*ghaba*) où sont cultivés, à des fins de consommation domestique, fruits, légumes et bien entendu, quelques palmiers dattiers. Les maisons du vieux Biskra étaient également dotées de terrasses accessibles contenant 1 ou 2 pièces (*mekhzen*) toujours bordées de murs d'acrotère. Durant la période estivale, ces terrasses servaient pour dormir à la belle étoile (Figure 3.14).



**Figure 3.14** : Une maison typique du vieux Biskra. (Source : Sriti, 2013).

Selon Sriti (1996) la présence du « *Ouast eddar* » encore appelé « *Dar* » dans les maisons traditionnelles, par sa position de volume central, offrait aussi des avantages du point de vue du confort d'Été. En effet, il était entouré par les différentes pièces de la maison ce qui faisait du *Dar* l'espace le mieux protégé contre les variations de la température

extérieure. En outre, il ne donnait sur l'extérieur que par une petite ouverture percée dans le plafond (*rawzna*). Pendant la saison chaude, celle-ci est recouverte durant le jour, pour se protéger de la chaleur et du soleil puis découverte la nuit pour permettre à la fraîcheur de pénétrer. A cela s'ajoute l'effet rafraîchissant d'un courant d'air qui s'installe entre le puits de lumière (*rawzna*), la porte d'entrée et la porte du jardin qu'on laisse généralement ouvertes, un courant d'air rafraichissant venant du jardin chassait l'air chaud qui, par effet thermo-siphon, était évacué par la *rawzna*.

Enfin, d'autres traits bioclimatiques méritent d'être cités: matériaux de grande inertie thermique mur et toiture épais, façade sur rue généralement ombrée du fait de la compacité de l'organisation urbaine, orientation optimale...etc. Toutes ces caractéristiques confirment, si besoin est, la haute performance climatique de la maison traditionnelle.

### III.5.2 L'habitat colonial

Ce type d'habitat est une création coloniale qui remonte à 1855. Cette date correspond à la création du « damier colonial », au Nord de la ville actuelle pour accueillir la colonisation civile française. Morphologiquement, le damier colonial est constitué d'un ensemble d'îlots disposés suivant une trame en échiquier (orthogonale) dans la direction des remparts du Fort Saint Germain (Figure 3.15). La forme dominante des îlots (le bloc courant) se présente sous forme d'un carré de 30 mètres de côté (40m à proximité du cercle militaire), sur lequel s'ouvrent des maisons individuelles (4 à 5 par côté) de deux niveaux. En raison de l'étroitesse des parcelles, les maisons donnent par l'arrière sur des cours ou des jardins qui occupent le centre de l'îlot.



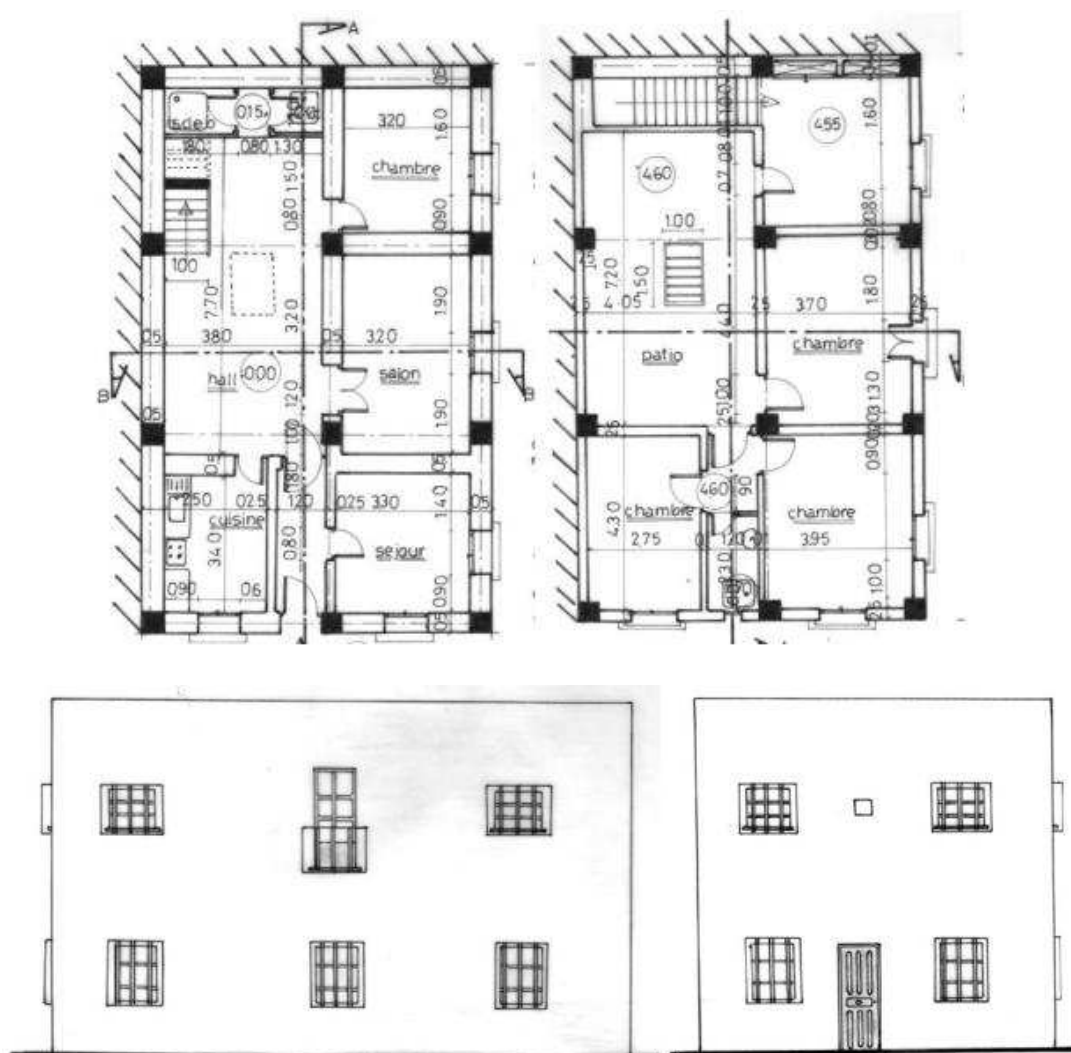
**Figure 3.15 :** Le «damier colonial» et ses extensions, quartier de la Gare.  
(Source : Google Earth, 2017)

Les maisons du Damier sont de type européen (par opposition au type traditionnel). Elles sont caractérisées par de grandes ouvertures sur l'extérieur et des toits en pente. Elles s'ouvrent de plain-pied sur la rue (Figure 3.16). Au niveau des blocs courants (la première implantation coloniale), les façades obéissent à une composition symétrique. Les décors bien que modestes (toit en tuiles bordé de génoises ou d'une corniche en redent de briques, soubassement en pierre taillées, traitement d'angle, traitement de l'entrée, encadrement des ouvertures en pierre, carreaux de faïence ou moulure de plâtre, balcons en fer forgé,...) contribuent à attribuer à ces maisons un aspect coquet. Les maisons de l'extension rurale sont par contre dépourvues de toutes décorations, les façades sont homogènes et leur traitement est rudimentaire. Celles de la zone du marché, à la différence des précédentes, sont assez hétéroclites ; on y trouve des balcons ouvragés en bois ou en fer forgé parfois même des moucharabiehs, mais les décorations y sont également rares.



**Figure 3.16** :Maisons datant de l'époque coloniale, l'expression architecturale.  
(Source : Auteur)

La figure (3.17) montre un exemple d'une habitation coloniale marquée par l'utilisation d'un couloir. L'apparition de structures typologiques jusque là inconnues est la preuve que l'architecture domestique était en phase de changement. Sans aller jusqu'à subir une véritable mutation, celle-ci se diversifiait en incorporant d'abord puis en assimilant par l'usage les formes exogènes introduites par les nouveaux arrivants (les colons). Il en est ainsi de l'organisation à couloir qui n'existait pas avant la période coloniale, de même que les façades à vérandas. Un autre fait marquant est l'apparition des cours attenantes (arrière ou latérale) (Figure 3.17).



**Figure 3.17** :Exemple d'une maison datant de l'époque coloniale.  
(Source : Sriti, 2013)

### III.5.3 Les quartiers populaires spontanés (le tissu résidentiel auto-construit non planifié)

Selon Alkama (1995), la crise de logement en Algérie, la croissance démographique et le retard de réalisation des logements ont contribué à l'apparition d'un type d'habitat informel, construit par les propriétaires selon leurs besoins, leurs aspirations et leurs ressources financières. À Biskra, ce type d'habitat correspond aux extensions qui se sont produites spontanément, au fur et à mesure du développement de l'agglomération vers le Sud et vers l'Est et qui tendaient, globalement, à combler l'espace interstitiel séparant les deux fronts bâtis de la ville : le Damier et le noyau traditionnel.



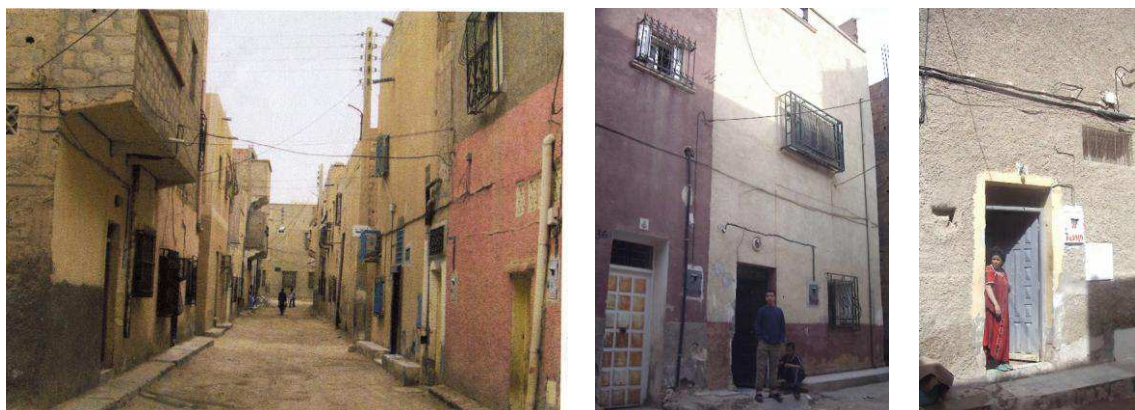
Bien qu'ayant fait leur apparition à l'époque coloniale, ces extensions se développèrent anarchiquement après l'indépendance, avec, à partir des années 70, l'éclatement des quartiers Moustapha Ben Ramdane (Star Mlouk ) vers le Sud et le Sud/Ouest et Chatenier vers le Sud est vers l'Est (M'Salah ) (Figure 3.18).



**Figure 3.18 :** Exemple de quartiers populaires spontanés, ici le quartier Star Mlouk

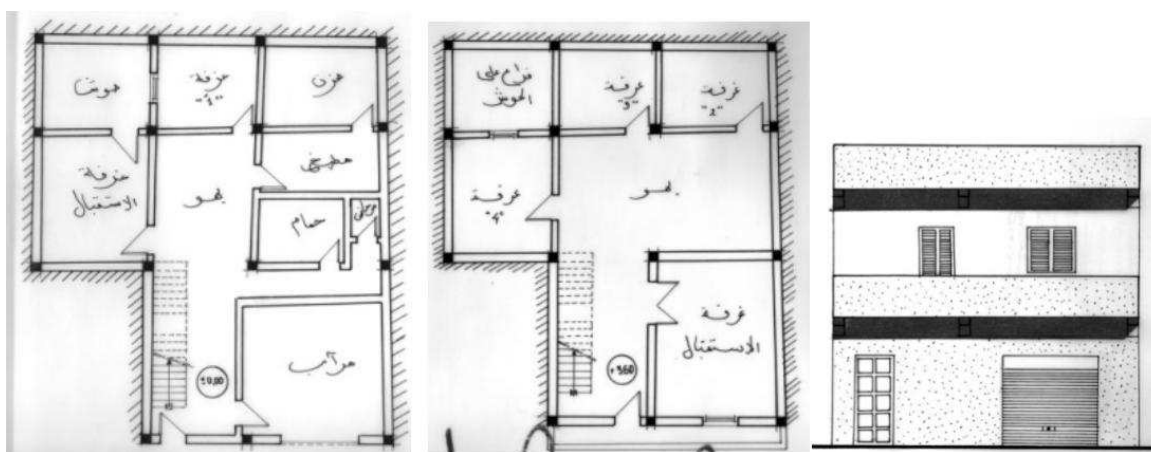
Aujourd'hui, les extensions regroupent les quartiers les plus denses de la ville. Ces quartiers sont implantées, le plus souvent, en dehors de toute logique à la faveur de la disponibilité d'un sol constructible et parfois même au dépend des terres agricoles -cas des constructions illicites qui profilèrent à l'intérieur des palmeraies.

D'après Laouar (2008) les habitants des quartiers populaires, s'attachent encore à leur passé et à leurs traditions. Ceci se manifeste par les pratiques et l'appropriation des espaces qui se réfèrent au type d'habitat traditionnel construit à l'époque précoloniale. Dans le même registre et selon Sriti (2013), la typologie dominante de cet habitat populaire spontané trahit ses filiations avec l'habitat traditionnel; les parcelles sont étroites et profondes et accueillent des constructions peu élevées de deux à trois niveaux) (Figure 3.19).



**Figure 3.19 :**Exemple de façades dans les quartiers populaires.  
(Source : Sriti, 2013)

Au niveau de la cellule résidentielle, les références implicites au modèles traditionnel sont également fortes, toutefois, la maison populaire néo-coloniale n'en est pas moins urbaine (Agli, 1988). Cette dernière, contrairement à la maison de la palmeraie, ne possède plus tout à fait la même organisation; la chicane (*skiffa*) interdisant la vue directe vers l'intérieur a disparu faisant place à un couloir qui débouche sur la cour (*ouast-eddar*). Certains espaces ont, par ailleurs, disparu comme l'étable et le jardin-potager, alors que d'autres ont fait leur apparition : cuisine, sanitaire, salon. D'autre part, la façade n'est plus aveugle, elle s'ouvre au contraire sur l'extérieur par de petites ouvertures et ses tendances vers la symétrie se confirment. Enfin, prélude à un nouveau type d'ordonnement de l'espace domestique, les pièces sont de moins en moins polyvalentes et tendent à être affectées à des usages spécifiques (Figure 3.20).



**Figure 3.20 :**Exemple d'une maison dans un quartier populaire non planifié.  
(Source : Sriti, 2013)

Du point de vue de l'aspect constructif, dans un premier temps (les années 60), la maison des quartiers populaires se réalisait en matériaux locaux : briques de terre pour les murs et madriers pour le plancher ; certaines améliorations ont néanmoins été introduites, notamment, l'utilisation de revêtements à l'intérieur de la maison et à l'extérieur, l'étanchéité de la toiture...etc. En 1969, des pluies diluviennes et la crue de l'Oued provoqua la destruction d'un nombre important d'habitations en terre. A partir de cette date, un net recul de l'utilisation du système constructif traditionnel était enregistré, auquel on préférait, désormais, les matériaux nouveaux – agglomérés de béton, ciment et béton armé- qui étaient considérés comme plus résistants. Petit à petit les modes de construction à base de terre furent délaissées à la faveur du ciment et du béton armé qui s'érigèrent définitivement en matériaux de construction exclusifs et absolus.

### **III.5.4 Les lotissements planifiés : habitat individuel dans les ZHUN et les extensions récentes**

Selon Saidouni (2000), les lotissements sont l'ensemble des lots ou parcelles déterminés par la division d'un lot ou d'une parcelle initiale. Le lotissement est une redistribution du droit de propriété et donc des droits de construire. De leur côté, Merlin et Choay (2009), définissent les lotissements dans leur «Dictionnaire de l'Urbanisme et de l'Aménagement» en tant que « division d'une propriété en vue de l'implantation de bâtiments ayant pour objet sur une période de moins de 10 ans de porter à plus de deux le nombre des parcelles constructibles, cependant les opérations qui ressortissent à une autre procédure (AFU autorisés, ZAC zone d'aménagement concerté, restauration immobilière, résorption de l'habitat l'insalubre ...etc.) sont exclus du champs du lotissement»

Pour sa part, Kehal (2006) a défini le lotissement comme une opération ayant pour but la division en lots par parcellaire ou morcellement, d'une ou plusieurs propriétés foncières en vue de toute construction et ce quel que soit l'usage ; de ce point de vue, « le lotissement est une procédure d'urbanisme qui permet la création d'un tissu urbain par viabilisation, morcellement et dotation de droit de construire des parcelles de terrain, intégrées dans les réserves foncières communales ».

D'après Laouar (2008), suite à l'institution des programmes nationaux de ZHUN (zone d'habitat urbaine nouvelle) par les pouvoirs publics, les lotissements planifiés apparurent dans les années 70, avec pour principal objectif, de mettre fin à des transactions et des occupations illicites du foncier. Ils sont régis par des textes juridico-techniques, parmi lesquelles : la loi des réserves foncières, et les permis de lotir et de construire. Ces textes étaient en outre destinés à réglementer l'aménagement et la construction dans les zones urbaines intégrées dans le périmètre dit à urbaniser lequel était soumis au plan directeur d'aménagement urbain (PDAU) et au plan d'occupation des sols (POS). Ces outils supposaient la création simultanée de logements (soient en collectif, semi collectif ou individuel), d'équipements et d'infrastructure.

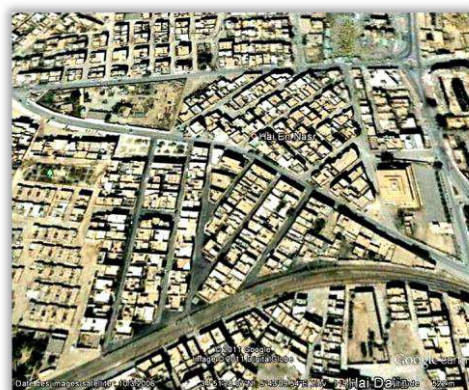
En 1974, soit à la suite de sa promotion en chef lien de wilaya, Biskra bénéficia d'un programme de deux (02) ZHUN, devant s'implanter, l'une à l'Est de la ville (soient les lotissements A, B, C et D pour El Allia ainsi que les lotissements et coopératives le long de la route de Chetma) et l'autre à l'Ouest, au delà de voire ferrée (lotissements de Hai Saada, coopérative immobilière Ridha Houhou, coopérative Alzir Bachir...etc). Les deux ZHUN

en question représentaient un vaste programme de logements urbains dits "intégrés", c'est à dire destinés à combler fois les besoins en logements et en équipements. Ce programme fut lancé en 1977; il devait comporter de l'habitat collectif (secteur public) et de l'habitat individuel (production privée). Les logements urbains (maisons individuelles), devaient se réaliser en "autoconstruction" dans le cadre de lotissements communaux, cependant, la plus grande part du programme relevait du secteur public et devait se réaliser sous forme d'immeubles collectifs (Figure 3.21).



**Figure 3.21** : Lotissements planifiés à Biskra, quartier El Alia (à droite) et ZHUN ouest (à gauche). (Source : Google Earth, 2017).

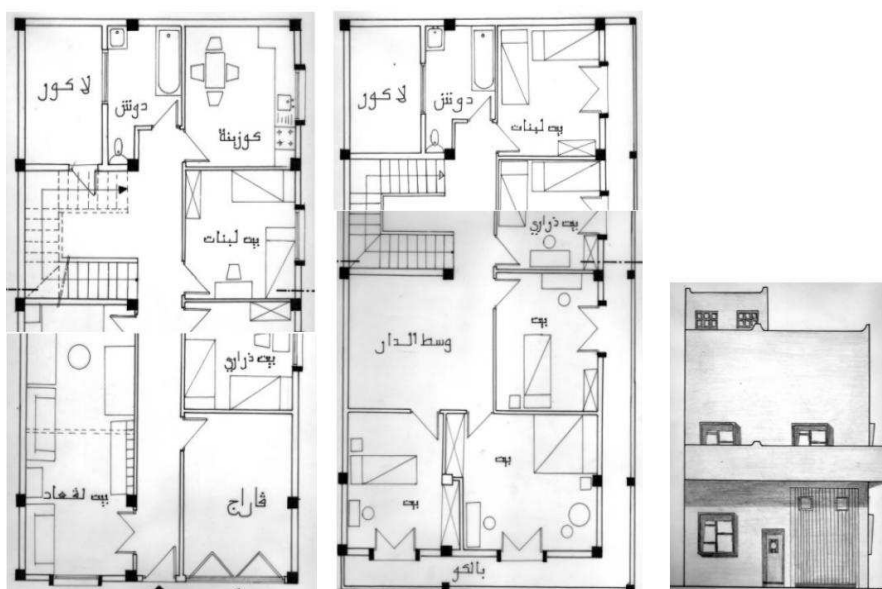
L'aménagement d'un lotissement suppose au préalable l'existence d'un plan de lotissement. Une fois que ce plan est approuvé, le permis de lotir est délivré et le découpage du terrain d'assiette peut être lancé. L'unité de base de ce découpage est le lot ou la parcelle. C'est relativement à celle-ci que les initiatives individuelles auront à s'exprimer. Le tracé au sol des parcelles leur donne une forme généralement régulière, carrée ou rectangulaire, mais les parcelles allongées (rectangulaires) sont les plus courantes. La surface des lots peut varier de 150m<sup>2</sup> à plus de 300m<sup>2</sup> (Figure 3.22).



**Figure 3.22** : Exemple d'un tissu en lotissement, ici le quartier Béni Morah. (Source : Google earth, 2017)

Pour la réalisation du cadre bâti résidentiel individuel relevant de l'initiative privée, il semblerait que depuis approximativement la deuxième décennie de l'indépendance, l'autoconstruction ne soit plus de mise (Sriti, 2013). Dans les lotissements, et même dans les extensions des quartiers populaires, les propriétaires construisent, rarement, leur logement eux même. Ils sont plutôt « autopromoteurs » ou « autoproducteurs », dans le sens où ils gèrent le processus d'édification de leur habitat. Quant aux travaux de construction, proprement dits, ils sont généralement confiés à un maître maçon (tâcheron), qui peut intervenir seul ou dans le cadre d'une petite équipe de manœuvres qu'il chapeaute. Le propriétaire, pour sa part, se contente de superviser la réalisation : (recherche et achète les matériaux de construction, contrôle et parfois dirige les travaux...) et s'il arrive qu'il participe, effectivement, à la réalisation de sa future habitation, cela ne concerne, en général, que des aménagements mineurs (Figure 3.23).

La maison en lotissement peut se construire d'une seule traite ou alors par étapes successives. Dans les deux cas, les travaux de construction doivent, selon la loi, s'effectuer dans un délai de trois ans. Mais, sur le terrain cette dernière disposition réglementaire n'est que rarement respectée. Les autoproducteurs ne s'en formalisent pas et la durée de réalisation reste en réalité, une donnée extrêmement variable d'une maison à l'autre.



**Figure 3.23** : Exemple d'une maison de lotissement. (Source : Sriti, 2013)

Le rythme progressif de l'édification de la maison en lotissement relève, généralement, d'un procédé d'ajustement de l'espace habitable aux besoins et aux moyens de

la famille. A ce titre, l'achèvement des travaux n'est pas indispensable à l'occupation de la maison. Souvent le propriétaire et sa famille prennent possession des lieux dès la réalisation du gros œuvre et de l'enveloppe extérieure, l'espace intérieur n'étant alors que sommairement divisé par quelques cloisons. Le reste des travaux suivront par la suite en fonction de la réalisation des économies personnelles. Mais le plus souvent, les travaux entrepris dans la maison, après son occupation, visent plus à adapter l'espace domestique à la croissance de la famille. Dans ce cas, l'extension de l'espace habitable se fait horizontalement et peut induire un réaménagement intérieur, une occupation totale ou partielle des espaces de réserves (cour, véranda). Mais il peut également s'agir d'une surélévation (construction à l'étage); l'extension est alors verticale. Enfin, on pourrait ajouter que cette « élasticité » de l'espace domestique en lotissements qui lui permet de s'adapter aux réalités sociales (famille nombreuse ou élargie) et économiques, s'oppose à la rigidité inhérente à l'appartement collectif. Cette qualité n'est, du reste, pas étrange à sa popularité.

La plupart des constructions, surtout, celles qui font partie des plus anciens lotissements se sont volontiers passées de la véranda en s'ouvrant de plain pied sur la rue. Néanmoins, cette ouverture reste modérée; le contact avec l'espace public est favorisé, mais « la façade conserve son rôle de rempart de la vie domestique » (Bousquet; 1983, p.222). Les ouvertures sont de petites dimensions, placées en hauteur occultées par différents dispositifs (persiennes toujours fermés, treillis en bois, moustiquaire, rideaux épais...). Dans le cas où la véranda est maintenue, les murs de clôtures sont maçonnés et hauts. Les décrochements sont rares, sauf en ce qui concerne les encorbellements, par contre, fréquents (balcons, loggias, volumes saillants de pièces en étage...) (Figure 3.24).



**Figure 3.24** :Expression architecturale de la maison en lotissement, extraversion et décorations. (Source : Sriti, 2013).

Le balcon se déployant le long de la façade, semble être, le thème principal de la maison en lotissement des années 80. Faut-il y voir le référent à un habitat urbain extraverti ou tout simplement un gain d'espace, dans la mesure où le balcon débord sur l'espace public ? Les fers en attente, caractéristiques d'un espace architectural évolutif, constituent un autre élément de distinction des façades de ce type d'habitat, de même que le garage, omniprésent, prélude à l'insertion d'une activité à caractère lucratif. Le traitement architectural est, quant à lui, assez rudimentaire ; il se résume à une ornementation à base de moulure de plâtre sous forme de frises ou de motifs géométriques plaqués à même le mur. Le garde corps du balcon peut également recevoir un traitement de claustras ou de balustres.

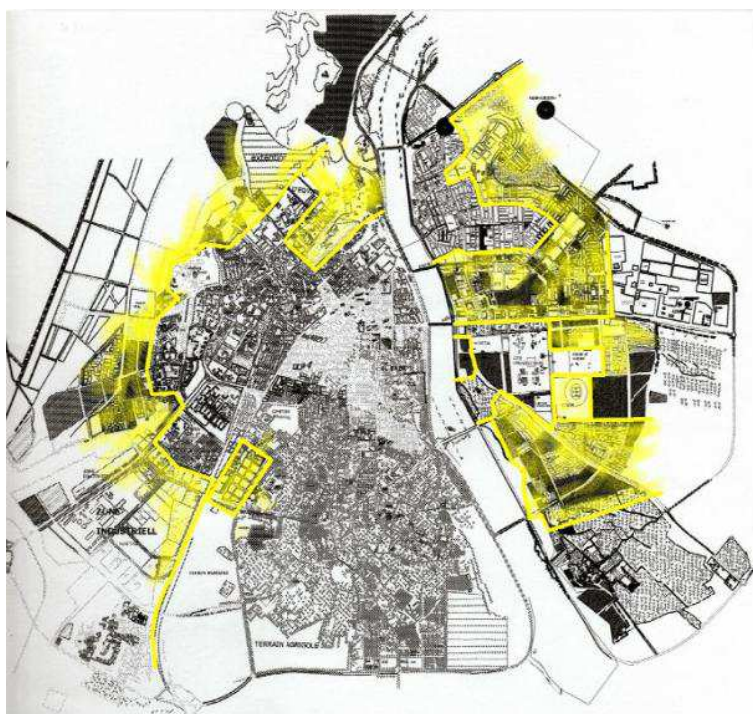
La production du cadre bâti résidentiel en lotissement est largement basée sur l'utilisation du béton : béton armé pour l'ossature (poteau-poutre, dalle) agglomérées de béton (parpaing plein et creux) pour l'édification des murs et les cloisons, hourdis pour les planchers...etc. En général, l'emploi quasi-systématique du béton dans la construction n'est pas étranger à la valeur de signe de modernité que lui attribue les autopromoteurs par opposition aux matériaux locaux à base de terre (brique de terre traditionnellement utilisée, B.T.S...) souvent jugés déclassant socialement (Figure 3.25).



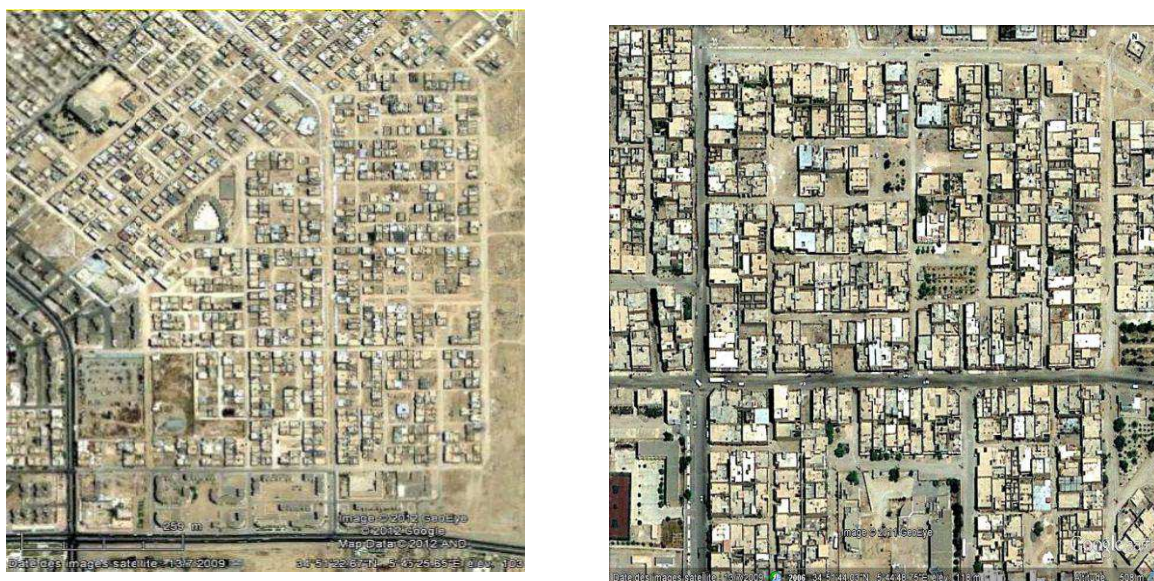
**Figure 3.25** :Système constructif basé sur l'utilisation du béton dans les lotissements planifiés. (Source : Auteur, 2017).

### **III.5.5 L'habitat individuel autoproduit contemporain**

Les caractéristiques urbaines des tissus résidentiels produits ces dernières décennies sont semblables à celles développées à partir des années 80. La période actuelle est, en effet, marquée par la densification des lotissements et coopératives existants, sans oublier les nouvelles zones d'habitat aménagées à la périphérie de l'agglomération au prolongement des ZHUN Est et Ouest (Figure 3.26 et Figure 3.27).



**Figure 3.26** :Localisation du tissu résidentiel contemporain à Biskra. (Source : Sriti, 2013)

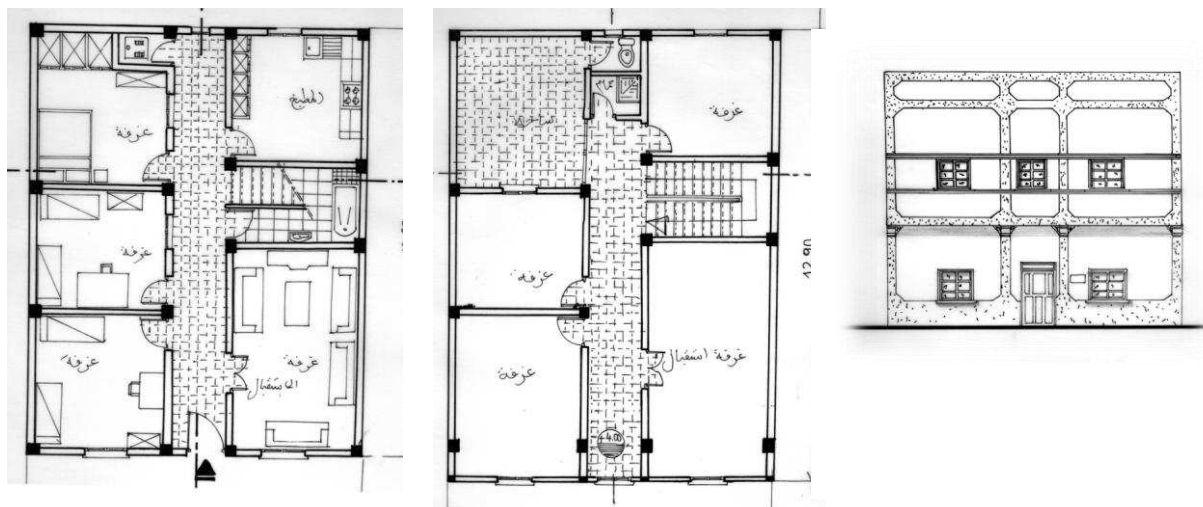


**Figure 3.27** :Exemples de lotissements planifiés contemporains, ici le quartier Allia Nord. (Source : Google earth, 2016)

Les types de logements produits, dans le cadre des réalisations contemporaines sont majoritairement dominés par l’habitat collectif (social ou promotionnel) et la maison individuelle unifamiliale. Architecturalement, cette dernière offre plusieurs points de similitude avec la maison en lotissement des années 80 (modalités de production, système



constructif, caractère évolutif), mais elle s'en distingue au niveau de l'apparence extérieure (Figure 3.28).



**Figure 3.28** : Exemple d'un habitat individuel contemporain. (Source : Sriti, 2013)

La façade de la maison individuelle contemporaine apparaît sous forme d'un amalgame d'éléments de styles divers (mauresque, classique, moderne...) et les reliefs du volume (balcons, véranda, corniches, acrotères, cage d'escalier, encadrement des portes et fenêtres) sont autant de systèmes d'ornementation architecturale. Les matériaux utilisés sont très variés, au point, où souvent sur une même façade, se côtoient la brique pleine, la pierre de taille, le fer forgé, la tuile, le marbre, la mosaïque, des colonnes de plâtres, et bien d'autres éléments arborés uniquement dans le but de confirmer la façade dans son rôle d'objet de distinction sociale (Figure 3.29).



**Figure 3.29** : Expression architecturale des façades contemporaines

### **III.6 Conclusion**

Ce chapitre a identifié le contexte de l'étude, il a, également, caractérisé l'habitat individuel relativement à ce contexte.

Pour commencer, la ville de Biskra a été appréhendée à travers sa situation géographique et administrative. Ensuite, ses données climatiques ont été présentées ; et enfin, une analyse bioclimatique selon les outils d'aide à la décision usuels (diagramme de Givoni, tables de Mahoney,...) a été effectuée. Cette partie du chapitre, a permis de caractériser le contexte physique du cadre de l'étude, elle a, également, fourni les principales recommandations architecturales adaptées au climat chaud et aride de Biskra.

La deuxième partie du chapitre a été consacrée à l'habitat. Quelques définitions relatives à l'architecture résidentielle, ont été données et une lecture chronologique rétrospective de l'habitat individuel à Biskra, a été faite. Cette étude a reconstitué le processus historique de l'évolution de l'architecture résidentielle relativement au cadre de l'étude. Les types d'habitats représentatifs de chaque période de l'évolution urbaine de la ville, ont été dévoilés.

A ce stade de la recherche, les différents types d'habitat individuels présents, sont identifiés, classés, comparés et replacés dans une chronologie d'ensemble qui saisit la structure de leur évolution. Les traits généraux de cadre bâti résidentiel autoproduit ont été mis en exergue. Il s'agit, à présent, de compléter ce travail en procédant à une analyse centrée sur les caractéristiques proprement architecturales et matérielles de l'enveloppe de l'habitation autoproduite en lotissement. Il est donc nécessaire de procéder à une lecture purement architecturale de cet élément devant permettre d'identifier ses traits morphologiques et ses caractéristiques matérielles.

Dans le chapitre suivant, les traits méthodiques propres à cette analyse, sont fournis. Leur application sur terrain et les résultats obtenus après analyse sont également présentés.

**DEUXIÈME PARTIE :**  
**ANALYSE ET AMELIORATION DES**  
**PERFORMANCES CLIMATIQUES DE**  
**L'HABITAT AUTOPRODUITE**

# CHAPITRE IV : Caractérisation morphologique et matérielle de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite à Biskra

## IV.1 Introduction

Le confort thermique dans un bâtiment dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe soumise aux contraintes climatiques. L'enveloppe extérieure du bâtiment est la première barrière de protection et se compose de deux types de parois : les parois opaques (murs et toiture) et les parois transparentes (fenêtres). Un traitement judicieux des parois de l'enveloppe en fonction des conditions climatiques chaudes et arides permet de garantir un confort optimal à l'intérieur du bâtiment, même si les conditions extérieures sont défavorables.

Compte tenu de ces caractéristiques climatiques, le cadre bâti produit à Biskra pose des problèmes liés aux conditions de confort thermique généré à l'intérieur des espaces. Or, en intégrant des stratégies passives appropriées dans la conception de l'enveloppe des bâtiments résidentiels, il est possible d'améliorer sensiblement leur performance climatique

Ce chapitre présente le travail consacré à l'analyse typologique du cadre bâti résidentiel en lotissement selon des critères liés à la nature de l'enveloppe (toiture et murs) du point de vue forme et matériaux. Les critères sélectionnés devaient en outre avoir un impact sur le comportement thermique de l'enveloppe et les conditions de confort généré à l'intérieur des espaces. L'analyse permettra, ainsi, de relever les caractéristiques architecturales et matérielles les plus récurrentes de l'enveloppe et de ses composantes (matériaux, surfaces vitrées...).

## IV.2 Approche typo-morphologique : fondements méthodologiques

La typo-morphologie est une méthode d'analyse apparue dans l'école d'architecture italienne des années 60 (Muratori et al., 1966). Il s'agit d'une combinaison entre l'étude de la **morphologie urbaine** et celle de la **typologie architecturale** ; elle est de fait à la jonction de deux disciplines qui sont l'architecture et l'urbanisme. La typo-morphologie aborde la forme urbaine par les types d'édifices qui la composent et leur distribution dans la trame viaire. Plus précisément, cela consiste à penser en termes de rapports la forme urbaine (trame viaire, parcellaires, limites, etc.) et la typologie c'est-à-dire les types de construction (position du bâti dans la parcelle, distribution interne,... etc.).

L'analyse typo-morphologique a pour objectifs :

- de faire une évaluation critique de la forme des tissus et des organismes urbains,
- de définir des mesures de contrôle des transformations du cadre bâti et d'encadrement des projets d'intervention,
- de caractériser la forme urbaine comme une entité dynamique et continuellement changeante.

En outre, la typo-morphologie permet d'analyser la forme urbaine à différentes échelles, de même qu'elle révèle la relation dialectique qui existe entre le cadre bâti, ses producteurs et ses habitants (culture). C'est, finalement, une «histoire opérationnelle de la forme urbaine», une archive de la production d'un cadre bâti (connaissance).

La typologie est fondamentalement comparative dans sa démarche. « Seule la méthode comparative peut retrouver ou faire retrouver l'identité de l'objet d'étude qui se distingue, de lui même, par rapport aux autres objets » soulignent Irani- Behbehani et Mahrouf (1987, p. 98).

De fait, l'analyse typologique commence par mettre les objets de même espèce en rapport de similitude et de dissimilitude pour retracer les caractères pertinents de chaque objet. Elle mesurera, ensuite, comment chaque objet concret procède par variation sur le type, éventuellement par croisement de deux types, et ayant ordonné l'ensemble, elle mettra en évidence la logique des variations, les lois de passage d'un type à l'autre.

Cependant, tout rapport entre les objets constituant le corpus de l'étude ne peut réellement s'envisager sans faire prévaloir certaines *hypothèses de classement*. Ces hypothèses ou encore ces *critères d'analyse* permettront de classer une multitude de cas

réels différents en un nombre limité de catégories ou de types. La typologie est d'ailleurs souvent définie comme un classement de données selon un ou plusieurs critères significatifs. Un intérêt particulier devra donc être porté à la manière dont ils seront choisis; le choix des critères constitue, de fait, le point le plus délicat de l'analyse (Panerai, 1980).

Il faut aussi signaler que les critères de classement peuvent être indépendants ou dépendants, ils pourront éventuellement être hiérarchisés, ordonnés ou pas, qualifiables ou non. Ils varient selon la nature des objets étudiés, les visés de l'étude et la ou les échelles de l'observation, mais dans tous les cas, ils devront rester pertinents. Malheureusement, il n'existe pas de règles préétablies pouvant attester de la pertinence des critères d'un classement typologique, de même qu'il n'existe pas de méthode immuable pouvant générer une typologie.

Certains auteurs ont, tout de même, proposé des indications générales pouvant s'appliquer à différentes formes de typologie (différentes selon le niveau d'analyse choisi). C'est, notamment, le cas de Panerai (1980) dont l'approche didactique par excellence, appréhende le processus typologique à travers quatre phases principales :

- La définition du corpus
- Le classement préalable
- L'élaboration des types
- La typologie

#### **IV.2.1 Définition du corpus**

Dans cette première phase, il s'agit de définir clairement ce que l'on veut étudier (l'objet de l'étude). Cette définition reste évidemment tributaire du questionnement de la recherche, mais d'emblée, deux opérations doivent être effectuées : d'une part, mettre en évidence le choix du niveau d'étude<sup>4</sup>, et d'autre part, déterminer la zone d'étude.

Par ailleurs, Panerai insiste sur la nécessité d'articuler la typologie sur plusieurs niveaux de lectures, et notamment de relever les relations qu'entretient un niveau étudié avec le niveau immédiatement supérieur. Cette tentative d'articulation est un moyen de

---

<sup>4</sup> Selon PANERAI (1980), une typologie peut se faire suivant plusieurs niveaux :

- parties d'un bâtiment (façade, ouvertures, ...),
- bâtiment,
- parcelles bâties,
- groupement de parcelles ( îlot par exemple).

relativiser l'arbitraire de certains découpages réducteurs mais indispensables pour progresser.

La définition du corpus exige également la délimitation de la **zone d'étude**. Celle-ci dépend du problème posé et des moyens d'investigation disponibles (temps, personnes...): la zone d'étude peut être un quartier, une ville, plusieurs villes, etc. Il sera, également, question de choisir entre une analyse exhaustive ou une analyse représentative par échantillon.

#### **IV.2.2 Le classement préalable**

La deuxième phase concerne le classement préalable ou le *pré-classement*. Sur la base d'un inventaire préalablement constitué, il s'agira dans cette phase de se livrer à un questionnement méthodique des objets étudiés.

Ce questionnement méthodique est empirique; il procède par observation. Les objets étudiés y sont décrits de façon à mettre en évidence les propriétés qui les distinguent ce qui permettra d'établir des critères. Plusieurs moyens peuvent être utilisés: notations, croquis, photos, relevés antérieurs; ces différents outils peuvent aider à stimuler l'observation. « Dès que le nombre d'objets est un peu élevé, cet inventaire (observation) a toute chance de devenir systématique: on posera chaque fois les mêmes interrogations au risque de faire de cette opération un travail fastidieux, selon les réponses, on verra apparaître des ressemblances, des parentés, ou des différences. Sans y avoir pris garde, on manipule déjà des critères [...]. » (Panerai; 1999, p. 129).

A noter également, que ce questionnement méthodique peut prendre la forme d'une grille de critères<sup>5</sup> lesquels seront établis à l'avance et choisis en fonction: des objectifs de l'étude, de la ou des échelles de l'observation et de la nature des objets à étudier (Guerroudj, 1991; Guindani, 1990; Panerai, 1980). Une grille de critères aura ainsi l'avantage d'orienter le questionnement, de le focaliser, sur les aspects jugés les plus pertinents pour l'étude.

A partir des réponses aux différents critères retenus, un premier classement peut être établi. Des regroupements par *familles* d'objets qui offrent les mêmes réponses à une série de critères sont effectués. L'élaboration des hypothèses de classement et leurs réajustement se font alors, simultanément au classement lui-même par approximations successives.

---

<sup>5</sup> Si le but de l'analyse logico-empirique est d'établir des critères, cette technique n'est évidemment plus valable. Panerai envisage ce cas, et montre comment l'analyse logico-empirique "le classement préalable" permet de déterminer des critères de classement dans le cas de l'analyse urbaine d'un tissu. (Panerai. 1980; voir pp. 73-108)

Il est, notamment, procédé à une sorte de va-et-vient entre données et d'hypothèses au sein d'un même groupe d'objets.

Les critères seront revus et affinés jusqu'à arriver à classer les objets suivant les différentes familles. Mais tout comme ces familles ne sont pas encore des types, ce classement n'est pas une typologie, « il constitue un premier groupement qui va permettre d'élaborer les types » (Panerai; 1980, p. 100).

### **IV.2.3 Élaboration des types**

Un type sera construit sur la base des propriétés communes, des objets au sein d'une même famille, l'ensemble des propriétés non communes marquent les variations sur le type.

Il peut arriver qu'un objet rende compte avec fidélité de toutes les propriétés caractérisant le type. Cet objet sera nommé *exemple-type* et sa description est recommandée pour illustrer le type dégagé, vu que celui-ci est une construction abstraite<sup>6</sup>. Enfin, cet exemple-type constituera par excellence une référence utile pour la compréhension des autres bâtiments.

### **IV.2.4 Typologie**

La phase précédente, bien qu'ayant permis de repérer et de construire des types reconnaissables par un ensemble de traits caractéristiques pouvant éventuellement être illustrés par la description d'exemples types, ne constitue pas encore un « outil » d'analyse efficace de l'ensemble du corpus.

Elle devra être complétée par la mise en place d'un système globale, cohérent où s'articuleront l'ensemble des types dégagés précédemment. Ce système, rendant compte de l'ensemble de types et des relations que ces derniers entretiennent entre eux, constitue une typologie.

Une typologie dûment construite devra, finalement, mettre en évidence les règles : croisements, adjonctions, modifications qui lient les types entre eux et, qui font que certains types se déduisent d'autres. Elle cherchera, également, à expliquer la manière dont les types se déforment et jusqu'où peut aller le jeu des variations sans altérer le type, etc. (Panerai, 1999).

---

<sup>6</sup> Il s'agira alors de mettre en évidence les bâtiments particulièrement exemplaires où se concrétisent toutes les propriétés d'une catégorie plus vaste.



Les types bâtis sont doublement déterminés par une culture et par une localisation, la typologie pourra tenter d'expliquer « ce qui fait la reconnaissance sociale du type (consacré), qui lui confèrent cette évidence qui est à la base du consensus, ou au contraire constater leur disparition » (Panerai ; 1999, p. 132).

### **IV.3 Collecte de données**

#### **IV.3.1 Définition du corpus de l'étude**

Daniel Pinson dont les travaux dans le domaine de l'architecture domestique et la typologie font notoriété, affirme que la nature de l'objet étudié détermine les méthodes et les outils de son appréhension (Pinson ,1992). Cette réflexion de Pinson va servir de point de départ pour la définition du corpus qui fondera l'analyse typo-morphologique de l'objet de l'étude.

En effet, considérant que la présente recherche porte sur la caractérisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe dans l'architecture domestique autoproduite à Biskra ; il est, donc, nécessaire de procéder à une lecture purement architecturale de cet élément devant permettre d'identifier ses traits morphologiques et ses caractéristiques matérielles.

Pour ce faire et en appliquant les étapes de l'analyse typologique comme définie précédemment, le premier travail à faire sera de définir le corpus de l'étude. Celui-ci sera constitué par un ensemble d'unités d'habitations autoproduites en lotissement et réalisées dans la ville de Biskra. Les éléments du corpus sont donc des bâtiments à usage d'habitation de type maisons individuelles unifamiliales produites par les habitants pour leur propre usage. Précisément, le niveau d'analyse qui sera focalisé est l'enveloppe soit la partie du bâtiment définie par la toiture et les murs extérieurs. Les éléments du corpus seront sélectionnés en fonction de deux critères : 1) les maisons doivent faire partie des lotissements communaux planifiés et 2) les maisons doivent avoir été construites à partir des années 90 à Biskra.

#### **IV.3.2 Constitution du corpus : l'enquête**

Considérant la visée de la présente étude, en l'occurrence, évaluer et optimiser les caractéristiques environnementales de l'enveloppe des habitations individuelles autoproduites à Biskra, il fallait disposer d'un corpus de maisons représentant cette forme de production architecturale. Le terrain d'étude devant nous fournir les unités du corpus, a

été circonscrit aux zones urbaines relevant de l'extension Est de la ville de Biskra, soit le quartier El-Alia.

En effet, les types de logements produits dans le cadre de cette extension sont majoritairement dominés par l'habitat de type maison individuelle unifamiliale. En outre, l'aire d'étude choisie a l'avantage de regrouper des lotissements et coopératives relativement récents, réalisés à partir des années 90. Le tableau 4.1 présente les critères de sélection des éléments du corpus d'étude.

**Tableau 4.1** : Les critères de sélection des unités du corpus d'étude. (Source : Auteur, 2016)

Période de création du lotissement	À partir de 1990 jusqu' à nos jours
Caractéristique urbanistique	Trame régulière
Caractéristique architecturale	Architecture contemporaine : maisons extraverties, présence de saillies en façades, ornements, ...
Mode de production	Autoproduction, autopromotion
Mode d'urbanisation	Planifié (plans réalisés dans DUCH, CADAT ,...)
Statut juridique	Constructions réglementées
Réalisation	Construction en matériaux nouveaux
Situation par rapport à la ville	Les extensions de la ville de Biskra

Le terrain d'étude, ainsi, défini et circonscrit au quartier El-Alia (Figure. 4.1) ; il fallait à présent réunir un corpus de maisons représentant un éventail architectural varié et fournissant les caractéristiques de l'enveloppe, les plus récurrentes, du tissu résidentiel autoproduit à Biskra. Pour ce faire, une stratégie de collecte de données a été élaborée; elle est présentée dans la partie suivante. Elle définit les outils de l'enquête et décrit sa procédure. Les principaux résultats auxquels elle a abouti, sont également présentés.



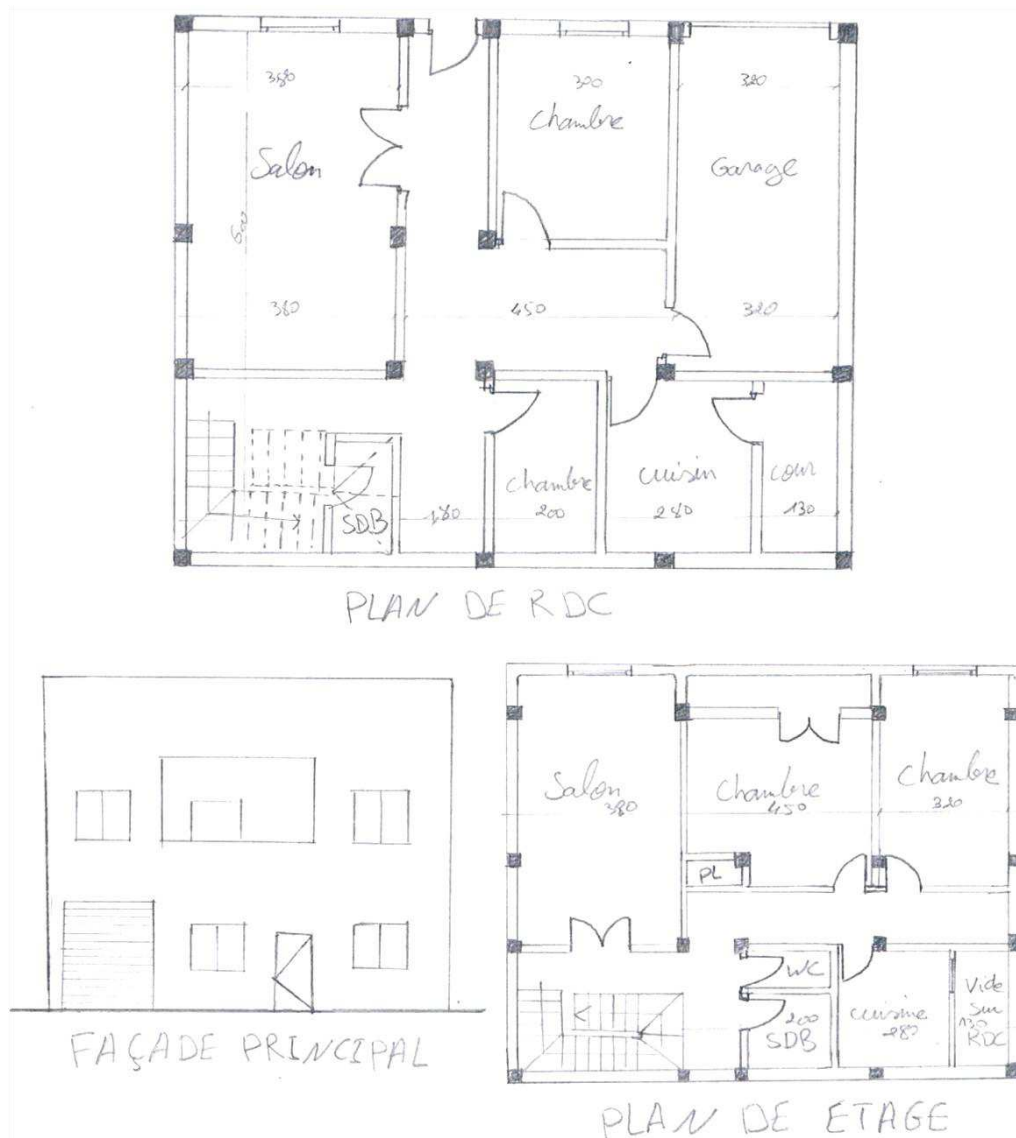
**Figure 4.1** :Le terrain d'étude : lotissements planifiés faisant partie de l'extension Est de Biskra (quartier El Alia). (Source : Google earth, 2017)

### **IV.3.3 Les outils de l'enquête**

Dans la méthode utilisée pour appréhender les caractéristiques matérielles de l'enveloppe de l'habitation autoproduite, le relevé architectural a été préconisé comme moyen de collecte de données. Dans une large mesure, la matière première de l'analyse sera, ainsi, constituée de relevés. Ceux-ci doivent bien évidemment être fournis par l'enquête de façon à permettre la construction de l'échantillon selon les critères précédemment définis (Tableau.4.1).

#### ***IV.3.3.1 Le relevé architectural comme moyen de collecte de données***

Le relevé architectural reste un outil indispensable quand il s'agit de procéder à l'étude d'un cadre bâti d'une caractérisation matérielle devant déboucher sur un classement typologique. D'après Sriti (2013), de nombreuses études focalisées sur l'analyse des formes urbaines ou architecturales y ont eu recours. Il est impossible de les citer exhaustivement, mais on peut, à titre d'exemple en mentionner quelques-unes, particulièrement, celles qui relèvent d'auteurs francophones comme l'étude faite par Duprat et Paulin (1986) dans leur analyse des chalets du massif des Bornes, ou celle réalisée par Santelli (1983) sur les médinas de Tunisie et du Maroc ou encore celle entreprise par Lancret (1998) pour décrire la maison balinaise. Compte tenu des avantages du relevé architectural en tant que moyen devant permettre un recueil consistant d'informations sur l'enveloppe, la matière première de l'analyse sera, ainsi, constituée de relevés sous forme de dessins architecturaux (plans, élévations), détails, photos, ...etc. (Figure.4.2).



**Figure 4.2** :Exemple d'un relevé (dessin à main levée des plans et élévation).  
(Source : Auteur 2016)

#### ***IV.3.3.2 Utilisation des dossiers de régulation d'un état existant***

Depuis le début de l'enquête, il était question de recourir à ce type de dossiers relatifs à la régulation de la situation des bâtiments à usage d'habitation. Ces dossiers fournissent des relevés de l'état des lieux (la loi exigeait cette disposition pour le cas d'une construction qui porterait sur un état existant), d'où leur intérêt pour l'enquête. Tenant compte des difficultés rencontrées sur terrain, il a été décidé de saisir cette opportunité et d'exploiter ce type de dossiers pour réunir un ensemble supplémentaire de relevés d'habitations existantes (Figure.4.3).

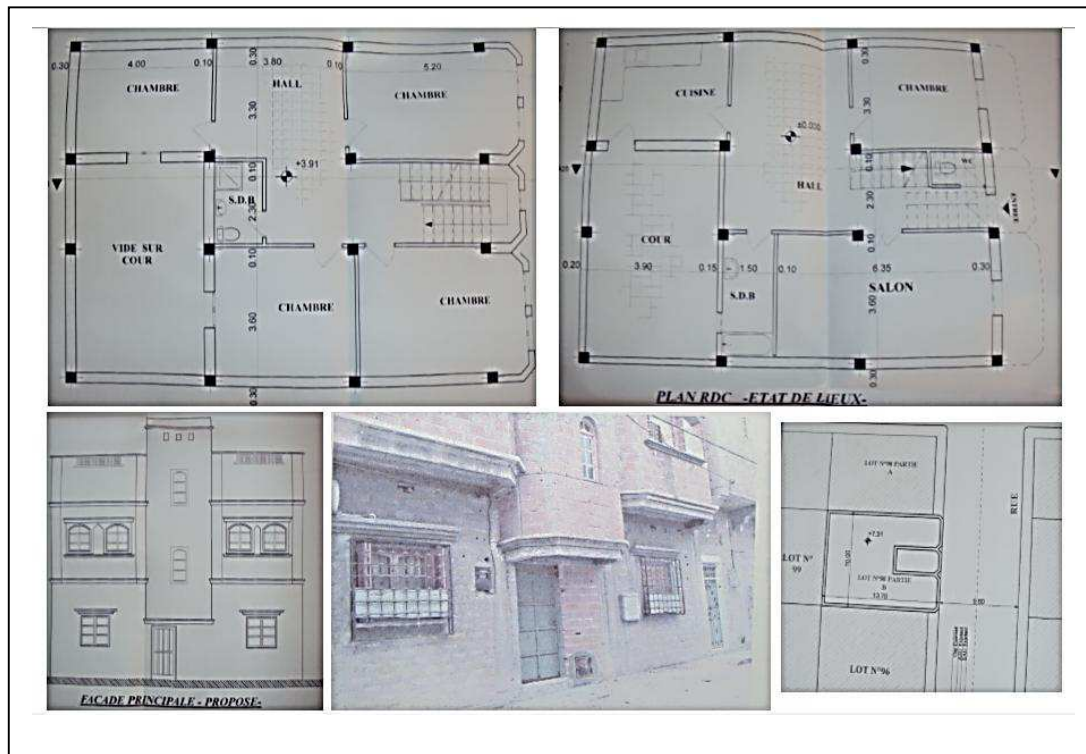


Figure 4.3 : Exemple de documents graphiques scannés d'un dossier de régulation de la situation d'une maison. (Source : Auteur, 2016)

#### IV.3.3.3 La fiche-relevé

En plus des relevés architecturaux qui représentent la matière première de l'analyse, la *fiche-relevé* a, également, été utilisée comme outil d'investigation complémentaire. La *fiche-relevé* synthétise les principales caractéristiques du relevé suivant des thèmes prédéfinis et en fonction des hypothèses à vérifier. Elle a été confectionnée en privilégiant les traits descriptifs matériels et architecturaux de l'enveloppe. Une première fiche a été élaborée, elle se structurait selon trois (03) rubriques principales:

1. **Identification du relevé.** Cette rubrique donne des informations générales sur la maison (situation par rapport à la ville –quartier-, date de réalisation, étapes de réalisation, état d'achèvement, usage -résidentiel et autre-, système constructif...).
2. **Caractérisation de la parcelle bâtie.** Celle-ci relève les modalités d'insertion urbaine de la maison (hauteur exprimée en nombre de niveaux, relation de la parcelle à l'espace public, orientation de la parcelle relativement à l'espace public, desserte, mitoyenneté, forme de la parcelle, surface de la parcelle,...).
3. **Caractérisation de l'enveloppe.** Cette dernière rubrique est subdivisée en trois sous-rubriques (1- les ouvertures : fenêtres et portes, 2- les surfaces opaques verticales : murs, 3- les surfaces opaques horizontales : la toiture) ; elle décrit

minutieusement les éléments de l'enveloppe de la maison considérée (taille des fenêtres, type de vitrage, type de protection solaire, système constructif, matériaux de construction, texture extérieure, teinte extérieure, présence d'éléments saillants,...etc.).

Les différentes rubriques et sous-rubriques ont été présentées sous forme de tableaux de paramètres relevant les modalités d'occurrence du critère descriptif considéré. Pour faciliter l'opération du report des informations sur les fiches, un système de codage iconique a été élaboré. Dans ce système, chaque paramètre pouvant être illustré, a été représenté par une icône qui met en exergue le trait descriptif considéré. Une première fiche fut testée sur six (06) maisons, ce qui a permis de relever certaines de ses insuffisances. Cette vérification de la fiche-relevée a finalement, débouché sur sa version finale dont une copie vierge peut être consultée en Annexe B.

La fiche-relevée a principalement servi de support dans le cadre de l'évaluation qualitative et quantitative de l'intégration climatique de l'enveloppe. Au total 42 paramètres organisés en 4 rubriques reportent les principaux traits descriptifs de l'enveloppe de chaque maison analysée. La fiche-relevé a, ainsi, permis une description méthodique et systématique de tous les relevés des maisons analysées (Figure.4.4).

#### **IV.3.4 Résultats de l'enquête**

L'enquête a fourni un corpus à l'étude. Celui-ci est constitué par 115 relevés architecturaux d'habitations individuelles produites dans des lotissements contemporaines (El Alia, Diar Intisar, Diar Saada...etc.); 100 relevés ont été collectés grâce aux dossiers de régulation de situation et 15 ont été effectués sur terrain.

Sur la base des relevés réunis, et parfois en recourant à des observations sur terrain, les fiches-relevé ont été complétées (voir l'exemple présenté Figure.4.4). Relevés et fiches-relevé ont, ensuite, été systématiquement analysés en vue d'établir un classement typologique.

## CHAPITRE IV : Caractérisation morphologique et matérielle de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite à Biskra

Analyse de l'enveloppe architecturale de l'habitat individuel

Identification de la maison				
N° de l'affiche: 29		code: m2ph		
Quartier: Babouza (Ghab)		Nom de propriétaire:		
Usage:	Habitation <input checked="" type="checkbox"/>	Habitation + commerce <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>	
Caractérisation de la parcelle bâti				
Nombre des Niveaux	RDC <input type="checkbox"/>	R+1 <input checked="" type="checkbox"/>	R+2 <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Orientation de la parcelle/espace public	Nord / Sud <input type="checkbox"/>	Est / Ouest <input checked="" type="checkbox"/>	Nord Est / Sud Ouest <input type="checkbox"/>	Nord Ouest / Sud Est <input type="checkbox"/>
Relation à l'espace public	Plain pied <input checked="" type="checkbox"/>	Avec véranda <input type="checkbox"/>	Mixte <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Mitoyenneté	Sans <input type="checkbox"/>	Unique <input type="checkbox"/>	Double <input checked="" type="checkbox"/>	triple <input type="checkbox"/>
forme de la parcelle	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Surface de la parcelle	< 100m²	100m² ≤ SP ≤ 250m² <input checked="" type="checkbox"/>	> 250m²	
Garage/Commerce	Sans	Avec 16 <input checked="" type="checkbox"/>		
Caractérisation de l'enveloppe				
Les Ouverture				
Dimension des fenêtres courante	S ≤ 1.10m²	1.1 ≤ SF ≤ 1.5 <input checked="" type="checkbox"/>	≥ 1.5m²	Préciser .....
Nombre des fenêtres /façade	Façade Sud N=	Façade Nord N=	Façade Est N= 3	Façade Ouest N=
Type de vitrage	Simple <input checked="" type="checkbox"/>	Double <input type="checkbox"/>	Triple <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Protections solaire fixe	Horizontale <input type="checkbox"/>	Verticale <input type="checkbox"/>	mixte <input type="checkbox"/>	Autre Sans <input checked="" type="checkbox"/>
Protection solaire mobile	Rideau <input checked="" type="checkbox"/>	Store <input type="checkbox"/>	Persienne <input checked="" type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>

type	Matériaux			Dimension			Nombre	Protection précisée
	bois	métal	Autre	< 1m	1m ≤ L.P ≤ 1.5m	> 1.5		
Porte	Porte principal		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>
	Porte fenêtre	<input checked="" type="checkbox"/>						1 red
	Porte garage		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Type de porte	Porte un seul battant <input type="checkbox"/>		Porte deux battants <input checked="" type="checkbox"/>		Porte fenêtre <input type="checkbox"/>		Porte garage <input checked="" type="checkbox"/>
	Avec imposte	sans	Avec imposte	Sans	Avec imposte	sans	Avec imposte	sans
Les surfaces opaques verticale : Les murs								
forme constructive	Mur porteur <input type="checkbox"/>		Système portique <input checked="" type="checkbox"/>		Mixte <input type="checkbox"/>		Autre <input type="checkbox"/>	
de mur	Simple <input checked="" type="checkbox"/>		Double Avec lame d'air <input type="checkbox"/>		Double Avec isolation <input type="checkbox"/>		Autre <input type="checkbox"/>	
isolant	Simple		E= P C		AS Brique		<input type="checkbox"/>	
	Double		Paroi ext		E1=		<input type="checkbox"/>	
			Couche intermédiaire		E2=		<input type="checkbox"/>	
			Paroi int		E3=		<input type="checkbox"/>	
niveau de traction	Parpaing <input checked="" type="checkbox"/>		Brique <input checked="" type="checkbox"/>		Terre <input type="checkbox"/>		Autre <input type="checkbox"/>	
	creux <input checked="" type="checkbox"/>		Plein <input type="checkbox"/>		creux <input checked="" type="checkbox"/>		Pleine <input type="checkbox"/>	
teintement des murs	sans <input type="checkbox"/>		Avec <input checked="" type="checkbox"/>		Marbre /Faus pierre		faillance	
texture	Lisse <input type="checkbox"/>		rugueuse <input checked="" type="checkbox"/>					
couleur de peinture	Sans <input type="checkbox"/>		Claire <input checked="" type="checkbox"/>		Sombre .....			
apport plein et vide	Moins de 15% <input type="checkbox"/>		Entre 15 et 17% <input checked="" type="checkbox"/>		Plus de 17% <input type="checkbox"/>			
éléments saillants de façade	Balcon <input checked="" type="checkbox"/>		Loggia <input type="checkbox"/>		Chambre <input checked="" type="checkbox"/>		Avance de toiture <input type="checkbox"/>	
finition intérieur	Enduit Plâtre <input type="checkbox"/>		Enduit mortier <input type="checkbox"/>		Faillance <input type="checkbox"/>		Autre <input type="checkbox"/>	

	Fenêtre	Balcon	Garage
Façade sur la rue 1 <input checked="" type="checkbox"/>	RDC	F= 1	B= /
	1 <sup>er</sup> étage	F= 2	B= 1
	2 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
	3 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
Façade sur la rue 2	RDC	F= /	B= /
	1 <sup>er</sup> étage	F= /	B= /
	2 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
	3 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
Façade sur la rue 3	RDC	F= /	B= /
	1 <sup>er</sup> étage	F= /	B= /
	2 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
	3 <sup>ème</sup> étage	F= /	B= /
Les surfaces opaques horizontale : La toiture			
Forme de toiture	Plat <input checked="" type="checkbox"/>	En pente <input type="checkbox"/>	
Accessible	Oui <input checked="" type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>	
Type de toiture	Dalle plein <input type="checkbox"/>	Corps creux <input checked="" type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Epaisseur de la dalle extérieur	20cm <input checked="" type="checkbox"/>	25cm <input type="checkbox"/>	30cm <input type="checkbox"/>
Faux plafond	sans <input type="checkbox"/>	Avec <input checked="" type="checkbox"/>	
Enduit int	Plâtre F= <input checked="" type="checkbox"/>	Ciment F= <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>
Par vapeur	sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec Précise .....	
Isolation thermique	sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec Précise .....	
chape de ciment	sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec E= .....	
Carrelage	sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec E= .....	
étanchéité	sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec E= .....	
Protection de la toiture	Sans <input checked="" type="checkbox"/>	Avec .....	
Couleur	sans	Avec	

**Figure 4.4 :**Exemple de fiche-relevé d'une maison du corpus. (Source : Auteur 2016)

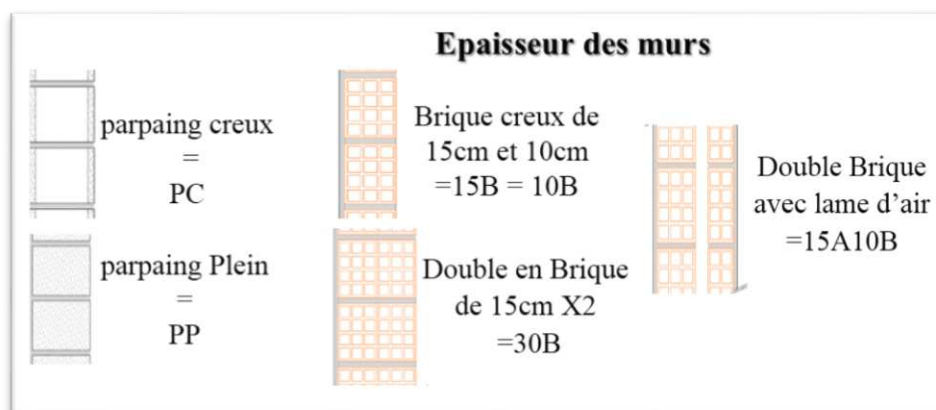
## IV.4 Traitement des données avec le logiciel Statistica

À ce stade de l'analyse, un corpus comptant 115 relevés de maisons est constitué. Chaque unité de ce corpus est décrite moyennant une fiche-relevé donnant des indications descriptives sur chaque maison traitée, et présentant en détail les caractéristiques architecturales et matérielles de l'enveloppe. Une photocopie du relevé scanné et réduit (plans, façades, photos) accompagne chaque fiche-relevé.

### IV.4.1 Codage de la fiche-relevée

Une analyse comparative entre les fiches-relevé a été effectuée, sur la base du corpus constitué. Cette comparaison a permis d'élaborer une *fiche-relevée synthétique codée* (voir Annexe C). Cette fiche de synthèse reprend la structure générale de la fiche-relevé analytique avec ses trois rubriques.

Les critères contenus dans chaque rubrique sont présentés dans les différentes possibilités de leurs variations tel qu'il ressort de l'analyse comparative entre fiches-relevé. Chaque variation du critère considéré est désignée par un code *alphabétique* ou *alphanumérique*. Par ailleurs, et quand le critère le permet, le code est renforcé par une représentation iconique. A titre d'exemple dans la rubrique « Les surfaces opaques verticales : les murs » le critère « Épaisseur des murs » présente cinq variations codées comme suit (Figure 4.5):



**Figure 4.5 :** Exemple de codage d'une rubrique dans la fiche relevé.  
(Source : Auteur, 2016)

Ainsi, la fiche-relevé de Synthèse relève les variations des critères de description des unités du corpus et les identifie par un code. Elle servira de clé de lecture lors des analyses statistiques dont fera l'objet le corpus de l'étude.



#### IV.4.2 L'utilisation du logiciel Statistica

Le programme informatique *Statistica*<sup>7</sup> a été utilisé pour effectuer les analyses statistiques. Le codage était une condition préalable à l'exploitation de ce programme. Les critères descriptifs – soit au total 42 items- relevant les variations de chaque paramètre mentionné dans les différentes rubriques et sous-rubriques, ont été codés. Par la suite, les 42 items codés (variables), ont été reportés pour l'ensemble du corpus dans un fichier « *feuille de donnée* » du logiciel (Figure 4.6). Cette opération permet d'instruire les caractéristiques propres à chaque maison et son enveloppe dans un langage reconnaissable par le logiciel.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	situation	N affiche	usage	Niveaux	Orientatio n	Relation esp public	Mitoyenn eté	Forme de parcelle	S de prcelle	Garage, c omm	Dimensio n de l'ent	N de fenet/ façade	type de vitrage	protectio n fixe	protection mobile	matériaux P principale	matériau P balcon	Matériaux P garage	dimensio n Principal	dimensio n bal		
1	A	1	H	R2	N/S	Mode	Triple	long	2SP	avec2G	2SF	10S	Simple	Horiz	Spas T	Métal	Bois	Métal	2LP	11		
2	A	2	H	R3	NO/SE	Plain pied	Double	transv	2SP	avec2G	2SF	5S/E 4N/O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	1LP	21		
3	A	3	H	R2	NO/SE	Plain pied	Triple	long	1SP	avec1G	2SF	3SE	Simple	Horiz	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
4	A	4	H	R1	NO/SE	Plain pied	Triple	long	1SP	avec1G	1SF	3SE	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	11		
5	A	5	HC	R2	NO/SE	Plain pied	Double	carre	1SP	avec2G	2SF	4SE	Simple	Horiz	Spas T	Métal		Métal	2LP			
6	A	6	HC	R1	E/O	Mode	Double	long	2SP	avec3G	2SF	4O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	1LP	21		
7	A	7	HC	R2	E/O	Plain pied	Double	long	2SP	avec3G	1SF	2E2O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
8	A	8	H	R3	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec2G	2SF	4O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
9	A	9	HC	R1	NO/SE		Triple	long	1SP	avec1G	2SF	3N/O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP			
10	A	10	HC	R1	NO/SE	Plain pied	Triple	long	2SP	avec1G	2SF	2SE	Simple	S	Réseau	Métal	Bois	Métal	2LP			11
11	A	11	HC	R1	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec2G	2SF	2 E	Simple	Horiz	Spas T	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
12	A	12	H	R1	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec1G	1SF	1O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
13	A	13	H	R2	N/S	Plain pied	Triple	long	2SP	avec2G	2SF	4S	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
14	A	14	HC	R2	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec2G	2SF	3 E	Simple	S	Spas T	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
15	A	15	H	R2	N/S	Plain pied	Triple	long	2SP	avec3G	2SF	4S 4N	Simple	Horiz	Rd+Pers	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
16	A	16	H	R1	E/O	Plain pied	Triple	transv	2SP	avec1G	2SF	3S	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
17	A	17	HC	R1	NO/SE	Plain pied	Triple	long	2SP	avec1G	2SF	1SE	Simple	Horiz	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
18	A	18	H	R1	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec1G	2SF	4O	Simple	S	Persienne	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
19	A	19	HC	R	NE/SO	Plain pied	Double	transv	2SP	avec2G	2SF	1S	Simple	S	Persienne	Métal		Métal	2LP			
20	A	20	H	R1	NE/SO	Mode	Triple	long	2SP	avec1G	2SF	2SE	Simple	S	Spas T	Métal		Métal	2LP			
21	A	21	HC	R3	E/O	Plain pied	Double	transv	2SP	avec1G	2SF	6S6E	Simple	Horiz	Spas T	Métal	Bois	Métal	2LP	21		
22	A	22	H	R1	E/O	Plain pied	Triple	long	2SP	avec1G	2SF	3 E	Simple	S	Spas T	Métal		Métal	2LP			

Figure 4.6 : Exemple de feuille de données du logiciel Statistica. (Source : Auteur, 2016)

Toutes les unités d'habitation sont ainsi méthodiquement décrites dans une feuille de données de Statistica, ce qui permettra d'effectuer des classements en fonction des paramètres saisis pour chaque maison. Les opérations statistiques effectuées par rapport aux paramètres jugés les plus pertinents pour l'analyse mettent en exergue les points communs qui existent entre les maisons et permettent de proposer des classements typologiques.

Dans Statistica les unités analysées sont appelées *observations* et les paramètres ou critères d'analyse sont des *variables*. Le tableau à double entrée (feuille de données) qui présente la totalité du corpus est ainsi organisé en 42 Variables « les colonnes » et 115 Observations « les lignes ». **L'entrée en colonne** du tableau énumère les **observations**, c'est-

<sup>7</sup> Statistica (2003). Logiciel de statistique développé par StatSoft.

à-dire les 115 relevés de maisons désignés chacun par le code alpha-numérique qui lui a été affecté dans la fiche-relevé correspondante ; alors que **l'entrée en ligne** présente les **variables** autrement dit les critères descriptifs extraits de la fiche-relevé.

Les variables mentionnées pour chaque habitation, reprennent systématiquement les données enregistrées dans les fiches-relevés, ainsi :

- Les trois (3) premières variables [1 à 3] relèvent les données liées à « l'identification du relevé » les informations concernent : le code du relevé, la situation par rapport à la ville, l'usage de l'habitation résidentiel ou résidentiel avec commerce et autre.
- La rubrique « Caractéristiques de la parcelle bâtie » est décrite à travers un ensemble de sept (7) variables [4 à 10] qui fournissent les informations suivantes : nombre de niveaux ; orientation de la parcelle/espace public ; relation avec l'espace public ; mitoyenneté ; forme de la parcelle ; surface de la parcelle et la présence de garage.

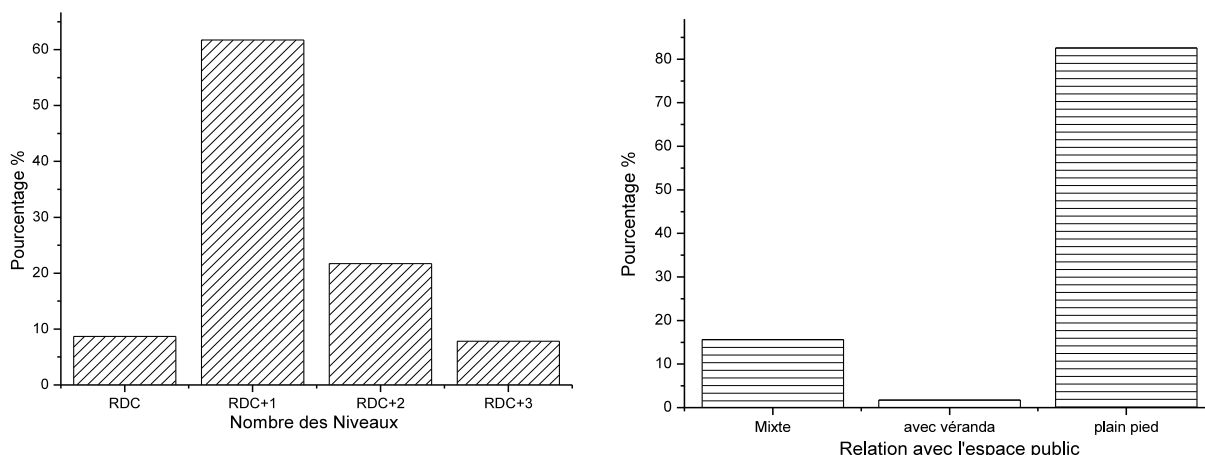
Le dernier groupe de variables [11 à 42] est consacré à la rubrique « Caractéristiques de l'enveloppe » et ses trois sous-rubriques. Les 32 variables relèvent les traits matériels et formels des éléments de l'enveloppe. Ainsi :

- neuf (09) variables décrivent « les ouvertures » ; à savoir pour **les fenêtres** : dimension des fenêtres courantes, nombre de fenêtres par façade, type de vitrage et des protections solaires fixes ou mobiles/intérieures ou extérieures. Et pour **les portes** : les matériaux et dimensions des portes, type de portes : principale, porte-fenêtre, porte de garage, et pour chaque type les dimensions et le matériau et enfin forme de la porte (un seul battant, deux battants,...) et présence ou pas d'imposte ;
- dix (10) variables décrivent « les surfaces opaques verticales :les murs » à travers les items : Système constructif, Type de mur, Épaisseur, Matériaux de construction, Revêtement des murs, Texture, Couleur de peinture ....etc. ;
- enfin, les treize (13) dernières variables décrivent « les surfaces opaques horizontales : la toiture » à partir des informations suivantes : Forme de toiture, épaisseur de la dalle extérieure, présence de faux plafond....etc.

#### IV.4.3 Les matrices typo-morphologiques

L'enregistrement de toutes les informations concernant les unités du corpus de l'étude et la saisie de leurs traits descriptifs dans un même tableau a permis d'avoir une base de données qu'il s'agit maintenant d'exploiter. Avec le module « *statistiques Elémentaires* de Statistica », des tests de tris à plat (table de fréquences<sup>8</sup>) ont été effectués. Il s'agissait notamment de voir les fréquences d'occurrence des modalités de certaines variables et partant de mettre en évidence les traits descriptifs, architecturaux et matériels caractérisant «l'enveloppe de l'habitation individuelle autoproduite à Biskra». La Figure 4.7 présente un exemple de tableaux de fréquence effectuée pour visualiser la distribution de deux variables.

Variables (items)	Modalités possibles	Nbre d'unités	%(115)
Nombre de Niveaux	RDC	10	8,69
	RDC+1	71	61,73
	RDC+2	25	21,71
	RDC+3	9	7,82
Relation à l'espace public	Mixte	18	15,65
	avec véranda	2	1,73
	plain-pied	95	82,6



**Figure 4.7 :**Exemples de tables de fréquences obtenues avec Statistica pour deux variables : [Nombre de Niveaux] et [Relation avec l'espace public]. (Source : Auteur, 2016)

<sup>8</sup> Les tables de fréquences ou tris à plat représentent une méthode simple pour analyser des données catégorielles (nominales). Elles sont souvent utilisées, lors de la phase exploratoire de l'analyse pour visualiser la manière dont les différentes modalités sont distribuées dans l'échantillon (StatSof, 2003).

## **IV.5 Analyse et interprétations des résultats**

Cette partie de l'étude se propose de faire la synthèse des dispositifs de conception de l'enveloppe dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra. Précisément, il sera question de distinguer morphologiquement et matériellement les différents types d'enveloppes telles qu'elles sont réalisées par les propriétaires « auto-promoteurs » à Biskra. Ce travail d'investigation préalable permettra, par la suite, d'évaluer qualitativement et quantitativement les modalités de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe architecturale selon les conditions de sa conception et réalisation dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra. L'analyse est fondée sur les données de la fiche-relevé de synthèse (Annexe C) et sur les résultats des tests effectués avec Statistica, notamment, les tables de fréquences ou tris à plat.

### **IV.5.1 Caractéristiques de la parcelle bâtie**

Généralement, la réalisation d'une maison dans le cadre de l'habitat individuel autoproduit à Biskra dépend de plusieurs paramètres, notamment : l'implantation/situation du lot ; les dimensions et la configuration de la parcelle,...etc. Cependant, le paramètre le plus influent sur la conception de la maison et la qualité architecturale de la mise en œuvre, relève certainement des moyens financiers investis par le propriétaire.

A partir de l'analyse effectuée en amont et des résultats obtenus (voir Fiche de synthèse en Annexe C), les caractéristiques les plus récurrentes de la parcelle bâtie, sont les suivantes :

- L'étude ayant porté sur un corpus important d'habitations en lotissements réalisés à Biskra, a révélé que la hauteur dominante de la majorité des habitations individuelles variaient entre RDC+1+T et RDC+2+T. Il est rare aujourd'hui de trouver des habitations individuelles occupant uniquement le rez-de-chaussée.
- Les parcelles allongées (rectangulaires) sont les plus courantes, la surface des lots peut varier de 100m<sup>2</sup> à 250m<sup>2</sup> (Figure 4.8).
- Les parcelles des lotissements sont de formes géométriques régulières : rectangulaire, carrée et parfois trapézoïde. L'habitat des lotissements est, en effet, morphologiquement marqué par sa rigidité. Celle-ci lui est transmise par la trame urbaine fortement géométrisée (orthogonale) qui structure le parcellaire (Figure 4.8).

- La présence des garages au niveau du rez-de-chaussée des habitations, est une caractéristique récurrente. En apparence, le garage est prévu pour stationner la voiture, mais le plus souvent, il est considéré comme un local de commerce potentiel.
- L'habitat en lotissements est compact. Les parcelles sont généralement groupées par mitoyenneté sous forme de double ou triple voisinage. C'est un moyen pour augmenter la performance thermique de la maison par limitation des surfaces de l'enveloppe en contact avec l'extérieur (Figure 4.9). Le coefficient de forme est réduit de même que l'exposition aux rigueurs du climat ; ce qui se répercute favorablement sur les conditions de confort thermique intérieur.
- Dans un groupement par mitoyenneté, les parcelles ne peuvent pas être occupées en entier; des espaces extérieurs ouverts semi-privés doivent être prévus dans le but de ménager l'aération et l'éclairage. La maison en lotissement offre un large éventail de ce type d'espaces « intermédiaires » tels que cours latérales et arrières, patios et vérandas. L'effet thermique de ces espaces se mesure à l'ombre qu'ils projettent sur les parois qui les entourent et sur le sol. Cette ombre est d'autant plus importante que ces espaces sont profonds (hauteur) et de surface réduite.
- Cette forme de groupement suppose, également, un certain degré de compacité au niveau du prospect de la rue (H/L). Celui-ci se traduit notamment par l'effet de l'ombre que se porte mutuellement les constructions voisines.
- Les parcelles des lotissements sont occupées partiellement. La présence des cours latérale et arrière comme deuxième façade (intérieure) assurent un effet de protection solaire à travers l'ombre projetée sur les murs et le sol.



**Figure 4.8** : La forme des parcelles rectangulaire. (Source : Google Earth, 2016)



**Figure 4.9** : Association des parcelles par mitoyenneté (Source : Auteur, 2016)

### **IV.5.2 Caractéristique de l'enveloppe**

Les parois de l'enveloppe constituent la peau du bâtiment, c'est à travers elle qu'une partie non négligeable de l'échange thermique se produit. L'analyse effectuée sur la base des fiches-relevés et les résultats des tests effectués avec Statistica, ont permis de faire ressortir les caractéristiques morphologiques et matérielles récurrentes des composants de l'enveloppe (ouvertures, murs et toiture), telles qu'elles se présentent dans l'habitat individuel contemporain à Biskra. On retiendra, notamment, les traits suivants:

#### ***IV.5.2.1 Au niveau des ouvertures (fenêtres et portes)***

- Les façades sont peu ouvertes sur l'extérieur. Les fenêtres sont de dimensions moyennes ou réduites (de 1m<sup>2</sup> à 1,20m<sup>2</sup>) ; et dans le cas d'une façade qui donne de plain-pied sur la rue, elles sont peu nombreuses et de dimensions encore plus réduites (Figure 4.10).
- Bien que la réduction de la taille des ouvertures soit dictée par des exigences socioculturelles (intimité, introversion, ...), cette caractéristique influe favorablement sur l'adaptabilité climatique de l'enveloppe et compte parmi les stratégies favorisant un confort thermique optimal dans les régions chaudes et arides.
- Les fenêtres sont généralement protégées contre les radiations solaires. Les dispositifs de protection les plus utilisés peuvent être mobiles comme les volets et persiennes placés de façon à permettre le passage de la lumière à travers les interstices; ou encore les rideaux qui sont un dispositif d'occultation interne que l'habitant peut adapter aux différentes conditions climatiques, mais son efficacité est inférieure à celle des protections extérieures qui s'opposent à l'entrée des radiations directes (Figure 4.11). En contre partie, les protections fixes (brise-soleils, auvents, claustras, ...) sont peu utilisées.
- L'orientation des ouvertures est aléatoire, les fenêtres sont placées dans les murs au gré des besoins en aération et éclairage des espaces quelque soit l'orientation. C'est donc l'implantation de la parcelle bâti qui contrôle l'orientation des fenêtres.
- Généralement, les portes principales et les garages sont fabriqués en métal alors que les portes au niveau des balcons sont en bois (Figure 4.12).
- Le simple vitrage est pratiquement le seul type de vitrage utilisé pour les fenêtres et les portes-fenêtres. Dernièrement, le verre teinté et le verre réfléchissant sont également employés.



**Figure 4.10** : Façade peu ouverte sur l'extérieur  
(Source : Auteur, 2016)



**Figure 4.11** : Protection de fenêtre par un rideau et persienne  
(Source : Auteur, 2016)



**Figure 4.12** : Menuiserie en bois des fenêtres  
(Source : Auteur, 2016)



**Figure 4.13** : Utilisation des portes extérieures en métal. (Source : Auteur, 2016)

#### *IV.5.2.2 Au niveau des surfaces opaques verticales : les murs*

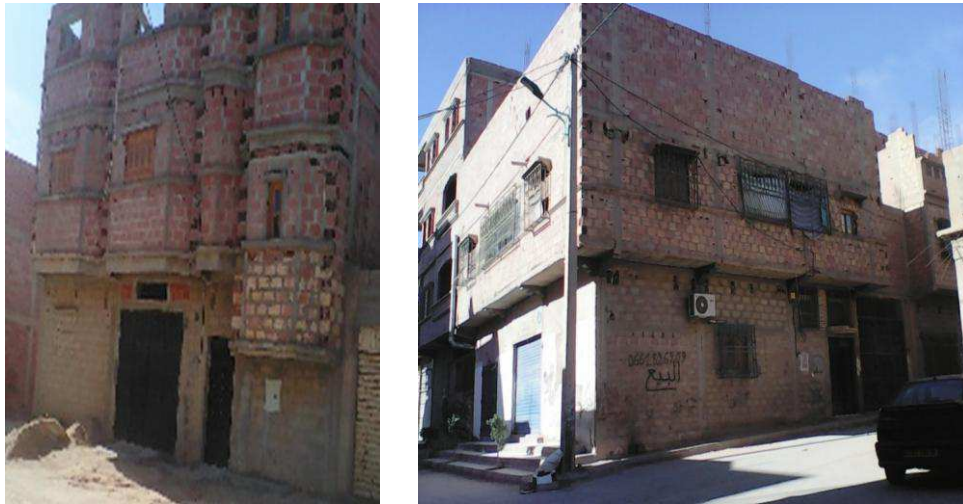
- Il existe une grande diversité dans le traitement architectural des parois verticales extérieures (façades). Chaque propriétaire construit sa maison selon ses moyens et son goût indépendamment de ses voisins et en l'absence d'un style architectural commun qui serait imposé par le cahier de charge.

- L'apparence extérieure des maisons analysées, est marquée par le traitement modeste de l'enveloppe et la dominance du revêtement extérieur à base de mortier de ciment.
- L'utilisation des matériaux et des techniques de construction dites modernes tels que parpaing, chaînages, planchers de poutrelles et hourdis,...etc. est prépondérante. Le système constructif utilisé est l'ossature (poteau-poutre) en béton armé.
- Pour la maçonnerie, les habitants auto-producteurs de leurs logements emploient les matériaux disponibles sur le marché, notamment, le parpaing creux et plein et la brique creuse de 15 et 10cm. D'ailleurs, il n'est pas rare de trouver sur une même façade deux matériaux de construction pour l'édification des murs : par exemple le parpaing creux ou plein est utilisé au rez de chaussée et la brique de 15cm en mur simple ou en double parois s'emploie à l'étage (Figure 4.14). Les éléments saillants sont multiples (balcons, loggias, terrasses, chambres en encorbellements et cages d'escalier). Ces éléments peuvent être assimilés à des masques d'occultation et constituent un moyen très efficace pour ombrager les murs et les ouvertures (Figure 4.15).



**Figure 4.14 :**Un exemple d'habitation construite avec un système de portique et des murs en maçonnerie mixte de brique et parpaing creux. (Source : Auteur, 2016)





**Figure 4.15** :Exemples d'éléments saillants en façade. (Source : Auteur, 2016)

- Très souvent, les habitants n'exploitent pas les balcons. Ces derniers sont couverts par des rideaux sous prétexte d'intimité (Figure 4.15).
- En règle générale, la majorité des façades urbaines autoproduites à Biskra sont non achevées. Le revêtement extérieur et la peinture font défaut (Figure 4.14).
- Dans le cas où les propriétaires finissent leurs maisons, ils préfèrent peindre les parois extérieures avec des couleurs claires, et souvent ils emploient un revêtement avec une texture rugueuse. Ce qui est en soi très favorable pour réduire la quantité de rayonnement solaire reçue par les matériaux et, ainsi, minimiser la pénétration du flux de chaleur.
- L'étude a permis, de relever la dominance statistique des maisons à deux niveaux (RDC +1). Or l'existence d'une surélévation ou plus par rapport au rez- de- chaussée suppose la présence d'au moins un plancher intermédiaire. Ce qui d'un point de vue thermique représente une « inertie utile », autrement dit une masse thermique supplémentaire capable d'absorber une partie importante de la chaleur induite par les apports internes (Izard, 1993). En outre, un plancher intermédiaire n'est pas exposé au rayonnement solaire, il ne subit pas de sur-échauffement et sa capacité de stocker la chaleur est généralement très élevée. La plupart des maisons en lotissement jouissent ainsi d'un avantage thermique supplémentaire vis à vis de maisons qui offrent le même volume habitable mais qui ne comportent qu'un seul niveau.
- La présence de murs mitoyens réduit le nombre de parois exposées au rayonnement solaire incident. L'avantage thermique de ce dernier aspect est optimal quand la

mitoyenneté se fait par rapport aux parois Est et Ouest. Cela dit, faute d'une bonne orientation, cette disposition n'est généralement pas respectée; la protection des parois Est et Ouest est alors, souvent, problématique.

- Enfin, le rapport surface ombrée / surface éclairée est généralement important du fait de l'existence des espaces intermédiaires (cours latérales ou arrières ou / et vérandas) qui protègent partiellement l'enveloppe contre les rayons incidents.

#### ***IV.5.2 .3 Au niveau des surfaces opaques horizontales : la toiture***

- La toiture est considérée comme la partie de l'enveloppe d'une maison qui est la plus exposée au rayonnement solaire. Dans des conditions climatiques similaires à celles de Biskra, la protection de la toiture-terrasse contre le soleil aurait certainement un effet notable sur la réduction des apports énergétiques indésirables accentuant la surchauffe des ambiances intérieures.
- L'analyse effectuée a montré que la terrasse accessible est le type de toiture le plus utilisé dans l'habitat individuel contemporain à Biskra. La terrasse est, en effet, l'espace privilégié de séchage de linge, mais elle est surtout appréciée pour son usage estival nocturne.
- Généralement, le type de dalles le plus employé dans les habitations, est le corps creux en béton. Cependant, les habitats de Biskra sont de plus en plus nombreux à utiliser le corps creux en brique à cause de la fragilité du hourdis de béton (Figure 4.16).



**Figure 4.16 :** Présentation deux types de dalles, réalisés à Biskra l'un avec un hourdi en béton et l'autre en brique. (Source : Auteur, 2016)

- La plupart des maisons sont dotées d'une vaste plateforme (terrasse plate) bornée par un mur (parapet) de hauteur variant entre 1.80 et 2m. Ce mur de terrasse, du fait de l'ombre qu'il procure, est un bon dispositif d'occultation et de protection de la toiture (Figure 4.17).
- La terrasse accessible est couverte par un pavage en carrelage ; ce qui augmente son isolation ainsi que son étanchéité (Figure 4.18).



**Figure 4.17 :**La hauteur du parapet de la terrasse avec l'ombre projetée. (Source : Auteur, 2016)



**Figure 4.18 :** Terrasse accessible avec un revêtement en carrelage. (Source : Auteur, 2016)

## IV.6 Conclusion

Ce quatrième chapitre a été consacré, principalement, à la caractérisation de l'enveloppe (toiture et murs) et de ses composantes (matériaux, surfaces vitrées....) à travers une analyse typo-morphologique. Pour réaliser cette partie, un corpus composé de 115 habitations individuelles contemporaines autoproduites, a été collecté. Des fiches-relevés mettant en exergue les propriétés formelles et matérielles de l'enveloppe, ont servi à décrire systématiquement toutes les unités du corpus. Les données recueillies et consignées dans des fiches-relevés ont été traitées avec le logiciel Statistica. D'abord, elles ont été méthodiquement décrites, codées et transcrites dans une feuille de données du logiciel, ensuite, des tests de tris à plat et des comptages ont été effectués afin de dégager les caractéristiques les plus récurrentes de l'enveloppe.

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de tableaux regroupant les modalités dominantes relatives et absolues enregistrées pour chaque composante de l'enveloppe. Ce travail préliminaire a permis de relever les caractéristiques architecturales et matérielles les plus récurrentes de l'habitation autoproduite en lotissement. En outre, il a

débouché sur l'identification des caractéristiques morphologiques et matérielles propres à l'enveloppe. Enfin, une appréciation qualitative de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe a pu être faite grâce à l'identification des dispositifs architecturaux ayant un impact favorable sur le comportement thermique des habitations et les conditions de confort généré à l'intérieur des espaces.

Ainsi, l'analyse architecturale qui a été engagée a largement atteint son objectif ; d'une part, en identifiant les traits dominants de l'habitat résidentiel en lotissement et, d'autre part, en caractérisant morphologiquement et matériellement l'enveloppe architecturale des habitations autoproduite. Simultanément, elle a fourni les données indispensables devant permettre l'évaluation quantitative de l'adaptabilité climatique de ce cadre bâti.

# CHAPITRE V : Évaluation empirique quantitative de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe

## V.1 Introduction

L'analyse architecturale effectuée précédemment a conduit à l'identification des caractéristiques morphologiques et matérielles propres à l'enveloppe. En outre, une appréciation qualitative de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe a pu être faite grâce à l'identification des dispositifs architecturaux ayant un impact favorable sur le comportement thermique des habitations et les conditions de confort généré à l'intérieur des espaces. Simultanément, elle a fourni les données indispensables devant permettre l'évaluation quantitative de la performance thermique de l'enveloppe.

Cette évaluation se fera suivant deux approches complémentaires qui relèvent toutes les deux de l'expérimentation : d'abord, une évaluation empirique où des prises de mesures seront effectuées sur un ensemble d'habitations sélectionnées dans le corpus d'étude. Ensuite, le deuxième volet de l'analyse se fera à travers une simulation numérique avec le logiciel TRNSYS17. Différents cas de figures se rapportant aux caractéristiques morphologiques et matérielles de l'enveloppe, seront, alors, testés. Le but étant d'évaluer les possibilités d'amélioration et d'optimisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe tout en respectant les spécificités propres à l'habitat résidentiel autoproduit à Biskra.

Le présent chapitre décrit les étapes et les principaux résultats obtenus à l'issue de la campagne de mesures réalisée in situ durant les deux périodes, estivale et hivernale. Le but de ce premier volet de l'analyse est d'estimer le comportement thermique de l'enveloppe tel qu'il se fait dans la réalité sous les conditions d'un climat chaud et aride (Biskra) et, en même temps, avoir une idée précise sur les conditions de confort hygrothermique réelles réalisées dans l'habitat étudié.

## V.2 Rappel de la visée de la recherche et choix des cas d'étude

Biskra est une ville du sud-est algérien caractérisée par un climat chaud et aride. Le cadre bâti résidentiel produit dans cette ville et, notamment, l'habitat autoproduit en lotissements couvre une surface très importante de la ville. Malheureusement, ce cadre bâti ne tient pas compte des conditions climatiques particulièrement rigoureuses durant la saison chaude. Cette situation impose l'usage des appareils électriques pour le refroidissement pour des durées de plus en plus longues ; ce qui entraîne une consommation excessive de l'énergie électrique et augmente les émissions de gaz à effets de serre qui à leur tour accentuent le phénomène de l'îlot de chaleur.

Pour remédier à cette situation, il est impératif d'agir sur les paramètres qui affectent l'adaptabilité climatique des habitations. Dans cette perspective, les propriétés formelles et matérielles de l'enveloppe sont déterminantes pour faire face à la surchauffe d'été. En effet, selon la littérature scientifique, assurer le confort thermique dans un bâtiment occupé en permanence et durant toute l'année, comme c'est le cas de l'habitat, dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe (toiture et parois verticales), lequel est tributaire des matériaux de construction ainsi que des caractéristiques architecturales.

D'après Givoni (1998) et beaucoup d'autres auteurs, les caractéristiques de conception de l'enveloppe affectent fortement le confort thermique des occupants, ainsi que la consommation énergétique du bâtiment. Les choix constructifs relatifs aux éléments structurels, notamment, les murs, la toiture et les ouvertures sont, en outre, considérés comme des paramètres déterminants dans les échanges thermiques qui s'opèrent entre le bâtiment et son environnement. Un traitement judicieux des parois de l'enveloppe en fonction des conditions climatiques chaudes et arides (choix des matériaux de construction à forte inertie thermique pour les murs et la toiture, réduction des dimensions des fenêtres, protections solaires,...etc.) permet de garantir un confort optimal à l'intérieur du bâtiment, même si les conditions extérieures sont défavorables.

La présente étude porte sur l'habitat individuel contemporain autoproduit à Biskra tels qu'il est réalisé et vécu, dans différents lotissements planifiés de la ville. En agissant sur les caractéristiques de l'enveloppe, la recherche vise à améliorer la performance climatique de l'habitat individuel autoproduit à Biskra tout en préservant l'essentiel de ses spécificités. Aussi, pour sélectionner les maisons à étudier, il a été nécessaire de revenir à l'analyse typomorphologique effectuée en amont (voir chapitre IV) et de puiser dans l'important corpus

d'habitations individuelles contemporaines autoproduites à Biskra qui a été réuni.

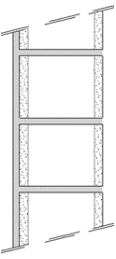
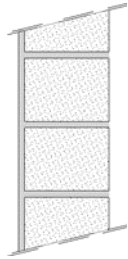
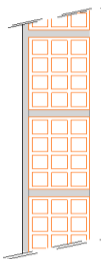
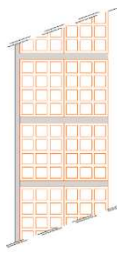
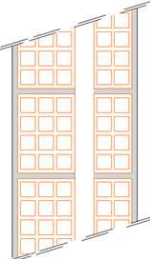
Considérant que la performance thermique de l'enveloppe relève, principalement, de ses attributs géométriques et formels mais surtout des caractéristiques matérielles de ses composants, le système constructif a été pris comme paramètre déterminant pour définir la taille de l'échantillon à prendre en considération. Rappelons, aussi, que le système constructif dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra, est largement dominé par le béton : structure porteuse en béton armé, couverture en dalle de béton armé, murs extérieurs en agglomérés de béton,... etc. L'utilisation de la brique est de plus en plus courante ; on la retrouve dans les murs extérieurs des niveaux supérieurs et dans cloisons intérieures. Celles-ci sont construites en blocs de brique de 15 ou 10 cm et recouvertes par un enduit en plâtre ou en ciment.

Pour ce qui est de l'enveloppe et précisément des « surfaces opaques verticales : les murs », l'analyse typo-morphologique effectuée (chapitre IV) a montré qu'il existait cinq types de parois à Biskra (Tableau 5.1), soient : 1) mur en parpaing creux ; 2) mur en parpaing plein ; 3) mur simple en brique 15cm ; 4) mur double parois en brique 15 x2 et 5) mur double parois en brique avec une lame d'air. Le crépissage extérieur s'il existe est rugueux à base d'un enduit de ciment. Cependant, la majorité des maisons ne sont pas finies ; elles sont sans enduit et sans revêtement extérieur (Figure 5.1).



**Figure 5.1** : Matériaux utilisés au niveau de l'enveloppe dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra. (Source : Auteur, 2016)

**Tableau 5.1 :** Les matériaux de construction les plus utilisés et les types de parois courantes dans l'habitat individuel autoproduit à Biskra. (Source : Auteur, 2016)

Murs en parpaing creux	Murs en parpaing plein	Murs simple en brique de 15cm	Murs double en brique de 15cm X2	Murs double brique avec lame d'air
				

Pour être plus proche de la réalité de l'habitat individuel autoproduit à Biskra et donner une idée aussi précise que possible des conditions de confort thermique générées par les systèmes constructifs utilisés, l'orientation et la localisation de la pièce où vont s'effectuer les mesures de températures (RDC ou étage et donc plancher ou toiture exposée) ont également été pris en considération. Finalement, les prises de mesures in situ ont porté sur huit (08) habitations réparties dans différents lotissements planifiés de la ville (Figure 5.2). Ces habitations sont représentatives des caractéristiques de l'enveloppe les plus récurrentes (systèmes constructifs, matériaux de construction, orientation, nombre de niveaux, ratio des ouvertures, ...etc.).

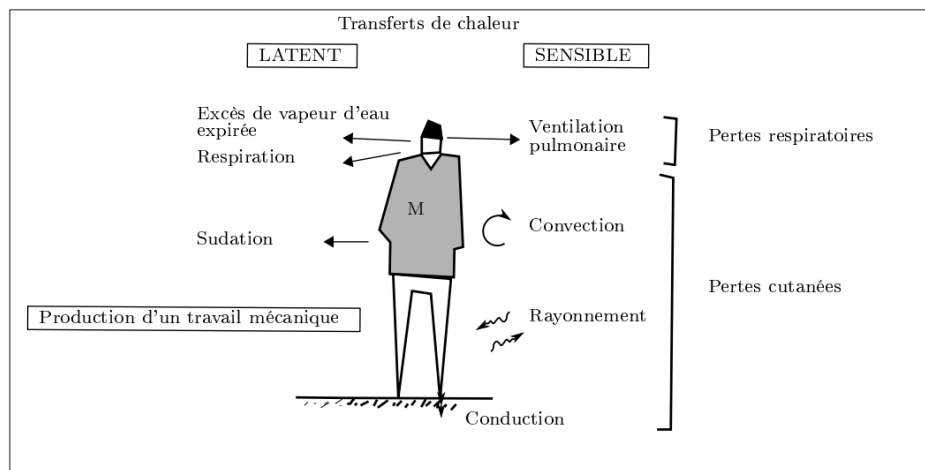


**Figure 5.2 :** Situation des maisons sélectionnées comme cas d'études dans les lotissements planifiés à Biskra. (Source : Auteur, 2016)



### V.3 Notion de confort thermique adaptatif : cas du climat chaud et aride

Selon Adrien (2011), la définition du confort s'avère être d'une grande complexité d'une part par la variété des interactions entre l'homme et son environnement (effet acoustique, visuels, olfactifs...), et part la subjectivité propre à chaque individu (facteur d'ordre psychologique et culturel) (Figure 5.2). A.S.H.R.A.E<sup>9</sup> en 1992 définit le confort thermique comme étant «l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique». Ce dernier est conditionné par plusieurs paramètres à savoir : la température de l'air, l'humidité de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique. La combinaison de ces paramètres climatiques influe sur le confort thermique de l'individu et donc sur l'usage de l'espace (Benhalilou, 2008).



**Figure 5.2 :** Représentation des vecteurs de transfert de chaleur entre l'homme et son environnement. (Source : Adrien, 2011)

Une zone de confort indique les limites de sensation de confort thermique (température, humidité relative, la vitesse de l'air ...etc.) dans lesquelles le milieu est considéré confortable. La zone de confort est définie selon le contexte climatique où vivent les personnes et aussi selon l'héritage culturel et social. Ce dernier facteur influe sur l'adaptation de l'homme à son environnement du fait de sa capacité de résistance aux conditions thermiques variant avec les fluctuations de l'environnement extérieur. Ainsi, en plus des facteurs physiques climatiques, la plage (ou zone) de confort est plus ou moins large selon des paramètres liés à l'individu. On parle alors de confort thermique adaptatif.

Étudiant l'interaction entre l'homme et son environnement, plusieurs enquêtes ont été menées par des chercheurs sur le confort thermique adaptatif dans un climat chaud et

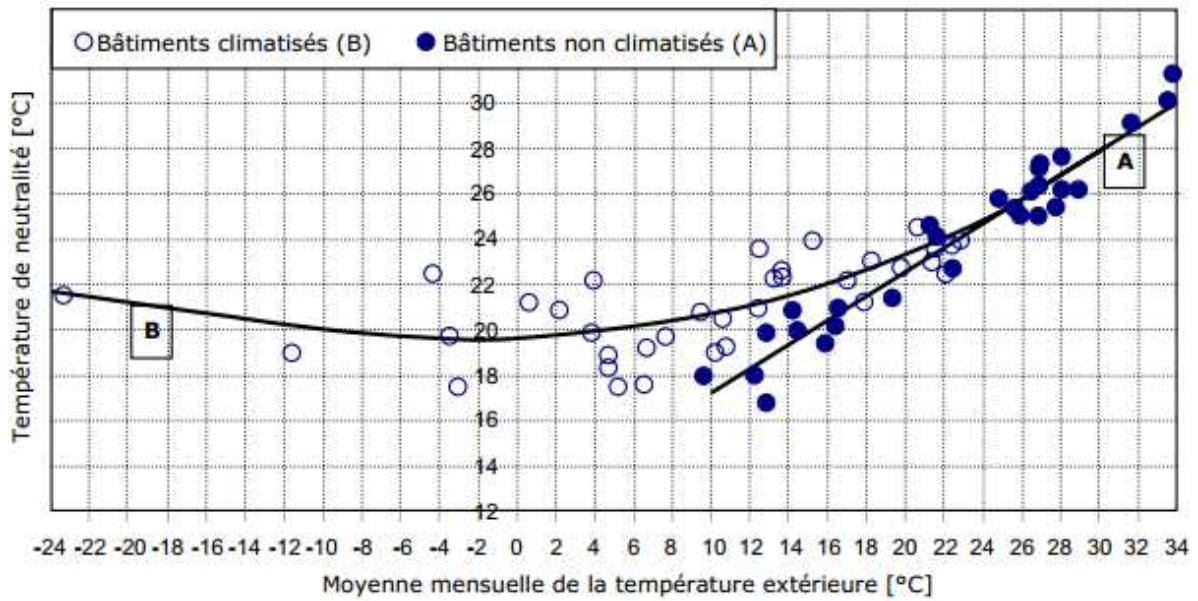
<sup>9</sup>ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers

aride. En Lybie, une étude réalisée par Ealiwa (2001) sur les bâtiments résidentiels naturellement ventilés, a montré que la zone de confort thermique était délimitée pour une température de l'air comprise entre 30.8 et 32.5 °C avec une température neutre égale à 31.6 °C. Un autre travail mené au Pakistan par Fergus (1999) avance que la limite de la température intérieure, définissant la zone de confort thermique, doit être comprise entre 21 et 30.8 °C. De son côté Humphreys (1978) fût le premier à aborder la question du confort thermique avec un regard sur le mode d'opération du bâtiment et le climat dans lequel il est implanté.

La Figure 5.3 illustre les résultats d'une étude de terrain réalisée dans le but d'analyser la température de confort adaptatif des occupants en fonction de la température extérieure et ce, pour des bâtiments en mode mécanisé et pour des bâtiments en mode libre (sans système de climatisation mécanique). L'étude a montré que la zone de confort thermique ressenti à l'intérieur des logements se distinguait selon la climatisation ou non du bâtiment, et que les conditions de confort étaient réalisées pour des températures proches de 30 °C pour le bâtiment non climatisé (Hugues Boivin, 2007). Dans leur étude sur la zone de confort thermique, Jannot et Djiako (1994) signalent que la température de l'air et des murs ne devra pas dépasser 32 °C en période sèche et 30 °C en saison humide. D'après Givoni (1998) cité par Ould-Henia (2003), la zone de confort thermique dans les climats chauds est assurée à l'intérieur des logements pour des températures comprises entre  $22\text{ C}^\circ \leq T_a \leq 28\text{ C}^\circ$  : au-delà de ces limites, la simple ventilation ne suffit plus pour assurer le confort. En complément, Jannot et Djiako (1994) voient qu'il faut maintenir l'humidité relative entre 30% et 80%. Capderou (1986) qui a réalisé l'Atlas solaire de l'Algérie, a, aussi, déterminé les limites de la température ambiante définissant la zone de confort thermique :

- **En été**, les limites supérieures de la zone de confort peuvent monter jusqu'à 27-28 C°, ceci est dû au fait que l'inconfort lié à la chaleur est atténué par le faible taux d'humidité. Si on ajoute un moyen de ventilation, on peut même monter à 29-30 °C. En été, il est préférable d'être à 8- 10°C en dessus de la température extérieure.
- **En hiver**, il est préférable de maintenir la température journalière au-dessus de 20 C°, le soir la température peut descendre à 16-17 °C.
- **L'humidité relative** est en fonction de la température, et elle varie entre 20 % à 40%
- **La vitesse de l'air extérieur** dans les régions désertiques étant de 2 à 3 rn/s, est supposée arriver à l'intérieur à 1-2 rn/s (à peu près 1 mètre du sol).

On conclut que les personnes vivants dans des climats extrêmes, présentent une meilleure résistance aux variations de température, et de ce fait une plage de confort plus large.



**Figure 5.3 :**La température du confort en fonction de la température extérieure selon deux types de bâtiments : climatisés et non climatisés. (Source : Moujalled ,2007)

#### V.4 Détermination du confort adaptatif de la ville de Biskra

De Dear (1997) cité par Moujalled (2007), a développé un indice dans le but de mesurer le rôle de l'adaptation psychologique (expectative et accoutumance). Il a utilisé la régression linéaire des votes de confort pour développer une norme sur le confort adaptatif comme alternative à la méthode statique de l'ASHRAE standard 55. La méthode développée permet de calculer la température de confort  $T_{conf}$  dans les bâtiments à ventilation naturelle en fonction de la moyenne mensuelle de la température extérieure  $T_{a,out}$ . Cet indice est défini par l'équation (1)

$$T_{conf} = 0.31 \times T_{a,out} + 17.8 \dots \dots \dots (1).$$

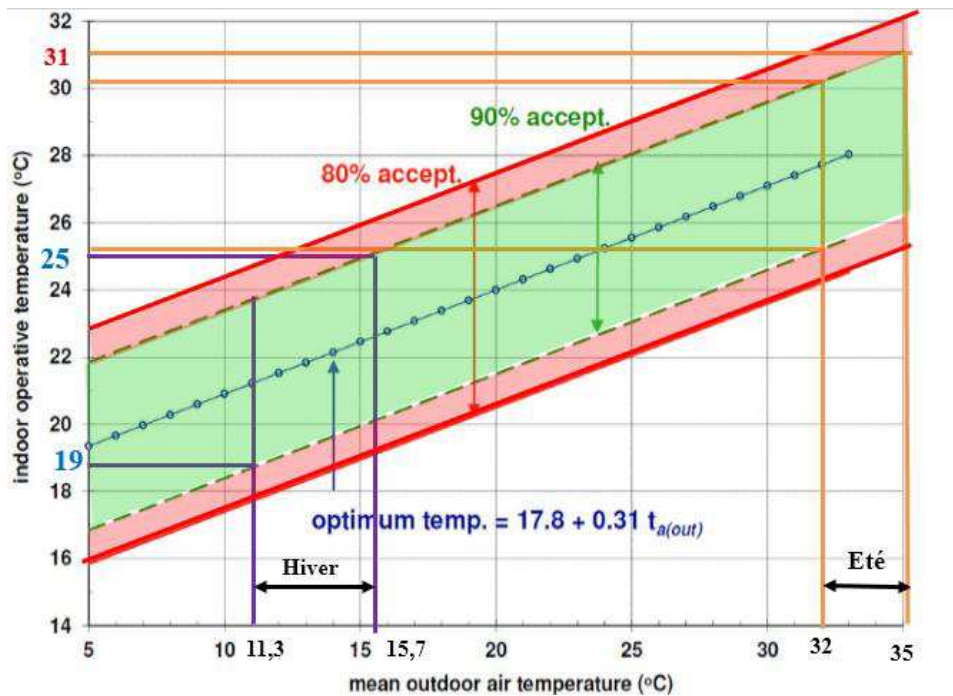
De Dear définit une bande de 5°C de largeur autour la température de confort pour 90 % d'acceptabilité, et de 7°C de largeur pour 80 % d'acceptabilité. L'ASHRAE standard 55 recommande d'utiliser cette méthode uniquement pour les bâtiments à ventilation naturelle.

Pour déterminer la zone de température de confort adaptatif propre à la ville de Biskra dans les deux périodes estivale et hivernale, on va utiliser le modèle d'ASHRAE standard 55 (2004) qui définit la température ressentie appelée «température résultante sèche :  $T_{rs}$  » ou « température opérative ». Celle-ci tient compte de la température de l'air en plus de celle des parois :  $T_{rs} = (T_a + T_p)/2$ . Cette méthode permet de calculer la température de confort ( $T_{conf}$ ) dans les bâtiments à ventilation naturelle, en fonction de la moyenne

mensuelle de la température extérieure ( $T_{a,out}$ ) (Figure 5.4),

**Tableau 5.2 :** La température moyenne mensuelle de Biskra. (Source www. weather.com)

Temp	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOU	DEC
MIN	6.4	9.9	12.8	15.6	22	25.6	28.2	27.7	22.3	16.7	10.7	7.2
MAX	16.2	21.6	25.4	27.8	34.7	38.5	41.8	40.9	34.3	28.9	21.8	17.5
Moy	11,3	15,75	19,10	21,70	28,35	32,05	35,00	34,30	28,30	22,80	16,25	12,35



**Figure 5.4 :** La zone de confort adaptatif dans la ville de Biskra selon la température moyenne extérieure mensuelle en 2017.  
(Source: ASHARAE standard 55-2004. Adapté par l'auteur.)

La température de confort intérieur adaptatif avec 90 % d'acceptabilité pour la ville de Biskra durant différents mois, est indiquée dans le tableau 5.3. En hiver, elle se situe entre 19 et 25°C et en été, elle s'étale entre 26 et 31°C. Ainsi, il apparaît que la température moyenne extérieure de confort durant l'été, a dépassé les limites de confort thermique acceptable et se situe en dehors de la plage de confort. Finalement, la zone de confort adaptatif dans la ville de Biskra serait de 19 °C <  $T_{air}$  < 31 °C. Ces résultats rejoignent ceux établis par Barkouk (2017). Dans l'étude qu'il a effectuée, ce dernier a montré que la zone thermiquement confortable (température de l'air) pour les habitants de Biskra se situerait dans la zone de 18 °C <  $T_{air}$  < 30 °C.

**Tableau 5.3** : La température de confort adaptatif de la ville de Biskra. (Source : Auteur, 2016).

	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
La température extérieure	Min	6.4	9.9	12.8	15.6	22	25.6	28.2	27.7	22.3	16.7	10.7	7.2
	Max	16.2	21.6	25.4	27.8	34.7	38.5	41.8	40.9	34.3	28.9	21.8	17.5
	Moy	11,3	15,7	19,1	21,7	28,3	32	35,0	34,3	28,3	22,8	16,2	12,3
D'après ASHRAE standard-55 2004 -90% d'acceptation	Tc Min	19	20,3	21,5	22	24,2	25,2	26,2	26	24,2	22,5	20,4	19,3
	Tc Max	23,9	25	26,3	27	29	30,2	31	30,8	29	27,5	25,5	24,3
	Tc Moy	21,45	22,65	23,9	24,5	26,6	27,7	28,6	28,4	26,6	25	23	21,8

## V.5 Définir les paramètres de mesure du confort thermique

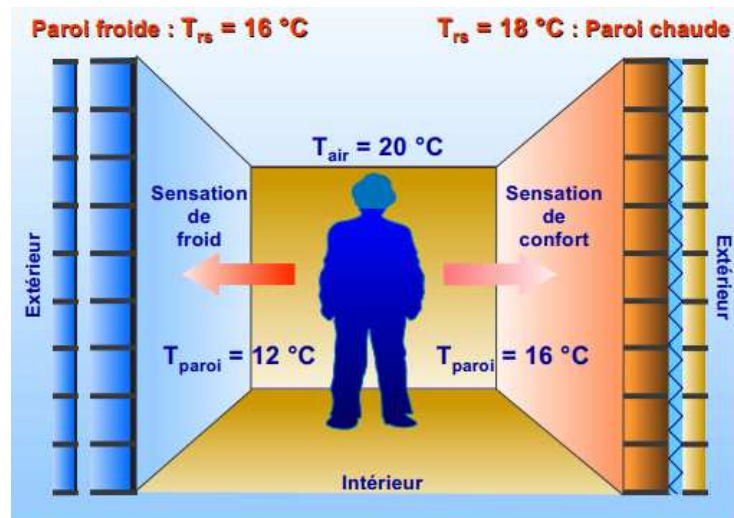
Le confort thermique est une exigence essentielle pour assurer le bien-être de l'utilisateur. Pour évaluer les conditions d'ambiance hygro-thermique dans un local, il faut mesurer les principales grandeurs physiques qui caractérisent l'environnement et influencent le confort thermique, à savoir : température de l'air, température surfacique, vitesse de l'air et humidité relative. Dans un logement, l'effet conjugué de ces paramètres est déterminant pour la réalisation des conditions de confort thermique ressenti par les habitants.

### V.5.1. La température de l'air ambiant ( $T_a$ )

La température ambiante ou température de l'air ( $T_a$ ) est le paramètre le plus influant sur la sensation thermique de l'habitant, bien qu'il existe pas mal de paramètres qui ont, également, des impacts considérables sur la sensation thermique. A ce sujet, Liébard et De Herde (2005) définissent la température en tant «qu'état instable dont les variations au voisinage de l'environnement humain dépendent du rayonnement solaire, du vent, de l'altitude et de la nature du sol». La température est le paramètre environnemental le plus important en ce qui concerne le confort thermique lorsque la température de l'air intervient dans les échanges par convection et par évaporation. En effet, 50% des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant. Dans les espaces occupés, ce paramètre est important pour l'équilibre thermique et le confort des habitants. De ce point de vue, l'enveloppe joue un rôle important pour maintenir la température de l'air à l'intérieur du local confortable et homogène en s'opposant aux fluctuations de la température extérieure que ce soit en été ou en hiver, le jour ou la nuit.

### V.5.2. La température de surface ( $T_s$ )

La température de surface est la température des parois du local qui délimitent l'ambiance considérée (Figure 5.5). Ce paramètre influence principalement les pertes de chaleur par rayonnement (près de 50%) et subsidiairement, les pertes par conduction à l'endroit des contacts entre l'individu et les parois (Zemmouri, 2002).



**Figure 5.5 :** La température de confort dépend de la température de l'air et la température de parois (surface). (Source : Liébard et De Herde , 2005)

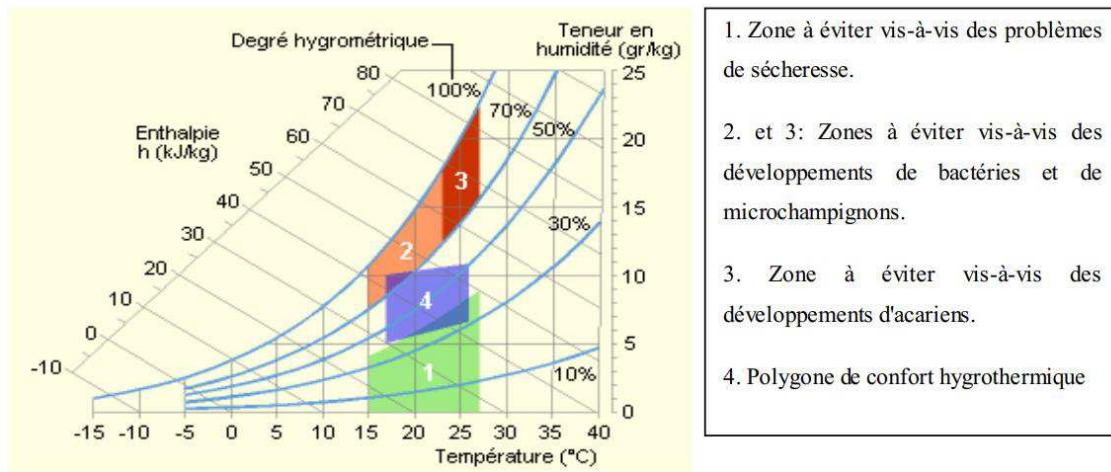
### V.5.3. L'humidité relative % (HR)

Sachant que « l'air est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau », l'humidité relative telle que définie par Liébard et De Herde (2005) « est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température ».

Le taux de l'humidité (qui varie de 0 à 100%) dans l'air dépend donc de la température ; c'est-à-dire, de la radiation solaire directe, mais aussi du vent qui renouvelle l'air ambiant, remplaçant l'air saturé d'eau par l'air sec qui stocke de l'humidité. Un taux d'humidité trop élevé peut provoquer la condensation de la vapeur d'eau sur la surface intérieure des murs et causer une source indirecte d'inconfort pour les personnes ne supportant pas des températures élevées. Donc, si le pourcentage de l'humidité relative de l'air augmente, la sensation thermique chaude augmente parallèlement à son tour.

A ce sujet, Barkouk (2017) souligne que l'humidité relative de l'air est le paramètre qui influe le plus sur la sensation thermique chaude dans le cas où la température est très élevée par rapport aux degrés de la température les moins élevés. On peut assurer le confort

thermique de l'occupant lorsque le pourcentage de l'humidité relative de l'air varie objectivement entre 35% et 65% (Barkouk 2017). Le diagramme ci-dessous présente la plage de taux de l'humidité optimale d'un point de vue hygrothermique (Figure 5.6).



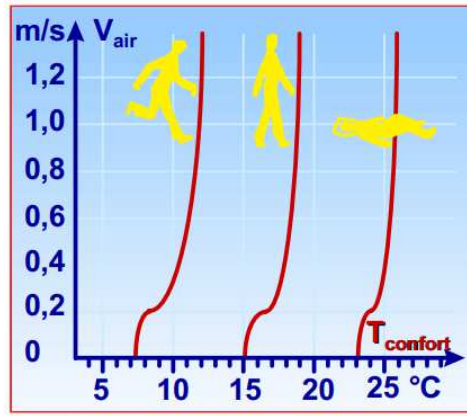
**Figure 5.6 :** Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide. (Source : Stéphane, 2008)

#### V.5.4. La vitesse de l'air (m/s)

Selon Givoni (1978), la vitesse de l'air est un paramètre très important du confort thermique pour le refroidissement, car il affecte les échanges de chaleur convectifs du corps et la capacité évaporative de l'air. Il est préférable de ne pas dépasser une vitesse moyenne de l'air d'environ 0,15 à 0,2 m/s pour les températures de confort (CSST, 2004)<sup>10</sup>. Plus la vitesse de l'air est élevée plus on ressentira un effet de froid. Par contre, pour des températures supérieures à 37°C, on sentira plutôt un effet d'apport de chaleur.

D'après Izard (1993), l'effet thermique de la vitesse de l'air est fortement lié à la température de l'air et, bien sûr, influe sur le confort de l'occupant car la vitesse de l'air est considérée comme un indicateur important dans les échanges thermiques entre le corps de l'habitant et son environnement. La figure illustre les courbes représentant les températures de confort en fonction de la vitesse de l'air (Figure 5.7).

<sup>10</sup>CSST (2004) « Guide, le confort thermique à l'intérieur d'un établissement » : [http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007\(94\)90015-9](http://dx.doi.org/10.1016/0140-7007(94)90015-9).



**Figure 5.7 :**Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen. D'après Fanger (Source : Liébard et DeHerde 2005)

## V.6 Protocole de la prise de mesures

La meilleure manière pour étudier le comportement thermique des bâtiments reste l'étude dans des conditions réelles. Cette dernière approche est la plus indiquée pour comprendre la réponse physique du bâtiment (son fonctionnement) tout en se rapprochant le plus possible de la sensation et la satisfaction des occupants ; ce qui permet de déterminer les problèmes et de les corriger. Cette partie, décrit les conditions du déroulement de la campagne de mesure réalisée in situ et destinée à évaluer l'influence des paramètres structurels et constructifs de l'enveloppe sur le confort thermique.

### V.6.1 L'appareillage de l'expérimentation : les instruments de mesure

Les instruments utilisés pour la prise de mesures sont un anémomètre "Testo 480" pour mesurer la température ambiante et un thermomètre infrarouge "Cason-Ca 380" pour mesurer la température surfacique (Figure 5.8). Le Testo 480 est un appareil qui convient particulièrement pour les mesures de données climatiques en vue de l'évaluation et de l'optimisation du confort. Cet instrument est équipé par des sondes digitales intelligentes avec une mémoire intégrée. Nous avons utilisé cet instrument pour mesurer les trois paramètres hygrothermiques suivants: la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du logement.

De son côté, le thermomètre infrarouge "Cason-Ca 380" est un appareil qui permet de mesurer et d'afficher des lectures de température de surface sans contact. Son principe de fonctionnement est basé sur la mesure du rayonnement de l'objet dans le domaine de l'infrarouge d'où le nom de thermomètre infrarouge. Il est utilisé pour mesurer des températures élevées d'un objet ou d'un environnement. Nous avons utilisé cet instrument



pour mesurer la température surfacique intérieure et extérieure des murs et de la toiture/plafond.



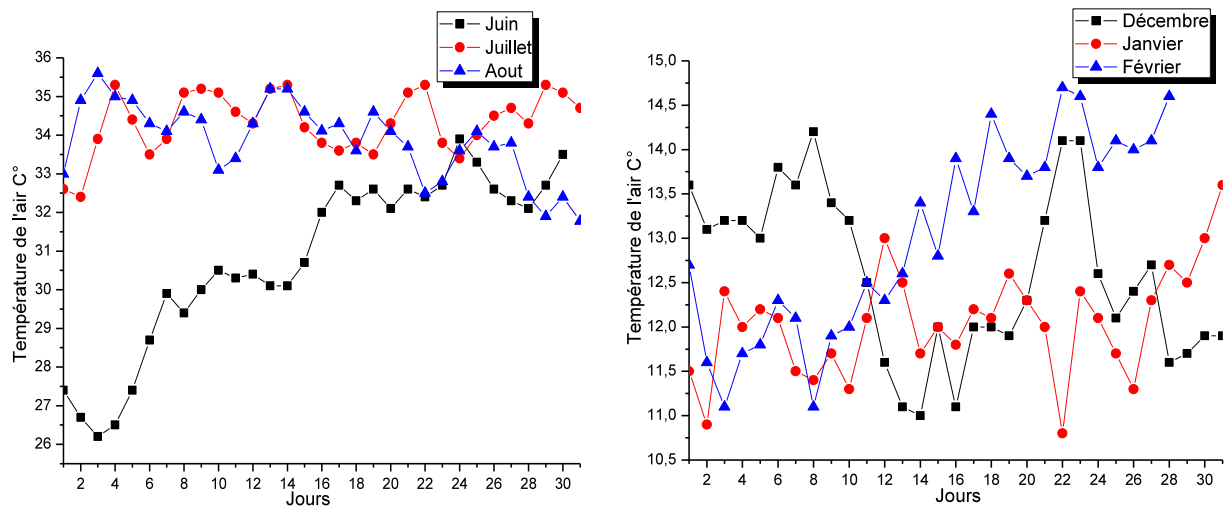
**Figure 5.8 :** Appareils de mesures : le Testo 480 et le thermomètre infrarouge "Cason-Ca 380".  
(Source : Auteur, 2016)

### V.6.2 Sélection de la période des prises de mesures

Avant de commencer la prise de mesure, il fallait établir le protocole de l'expérimentation où devront être précisés, les jours (périodes) et les heures (fréquences) des prises de mesures.

Sur la base des données météorologiques fournies par la station météorologique de la ville de Biskra durant une période de 15 ans entre 2000 et 2015 , il a été possible de déterminer les deux périodes (semaine type) estivale et hivernale durant laquelle se feront les prises de mesures. La méthode utilisée dite du "design week" ; se base sur le calcul de la température moyenne journalière pendant la période considérée (Hong et al. 1999). En appliquant cette méthode, la température moyenne journalière de chaque jour pour la saison d'hiver (Décembre, Janvier, Février) et la saison chaude (Juin, Juillet, Aout) ont été calculées en prenant en considération la période de calcul de 10 ans (2006-2015) (Figure 5.9).

L'analyse des données climatiques de Biskra, a permis de déterminer les deux périodes les plus défavorables de l'année : pour la période estivale, il est apparu que la semaine la plus chaude s'étalait du 29 Juillet au 5 Aout. Et pour la période hivernale, la semaine la plus froide durait du 28 Décembre jusqu' au 2 Janvier. Sachant qu'on ne dispose que d'un seul appareil pour l'enregistrement des mesures, la prise de mesures s'est effectuée durant deux moments de la journée les plus défavorables soient de 14h à 16h de l'après midi et de 9h à 11h de la matinée.



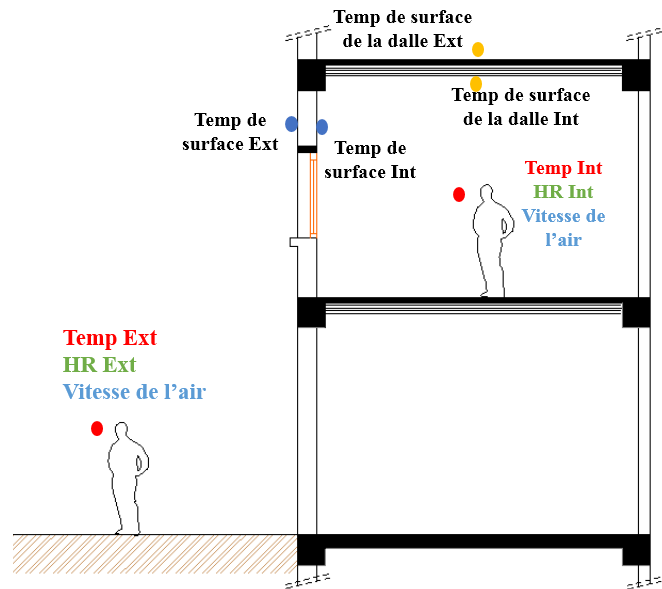
**Figure 5.9 :**La température moyenne journalière de Biskra dans la période estivale et hivernale (2006-2015) (Source : <https://www.wunderground.com>).

### V.6.3 Déroulement de la campagne de mesures

Le travail empirique (mesures in situ) est destinée à évaluer quantitativement l'influence des paramètres structurels et constructifs de l'enveloppe sur le confort thermique. Celui-ci est mesuré à partir de la température ambiante et surfacique, la vitesse de l'air, et l'humidité relative. L'instrument de mesure Testo 480 a été utilisé pour enregistrer les valeurs des trois paramètres hygrothermiques précédents ; alors que la température de surface a été mesurée avec le thermomètre infrarouge.

L'analyse des données climatiques de Biskra, a permis de déterminer les deux périodes de mesures représentatives des conditions chaudes et froides les plus défavorables de l'année. Ainsi, la semaine du 29 Juillet au 5 Aout représente la période estivale et les conditions chaudes. Alors que la semaine du 28 Décembre jusqu' au 2 Janvier représente la période hivernale et les conditions les plus froides. Du fait qu'on ne disposait que d'un seul anémomètre et un thermomètre infrarouge, et qu'il fallait se déplacer entre les 08 maisons sélectionnées pour l'étude empirique, la prise de mesures s'est étalée sur toute la semaine en consacrant une journée par maison. Pour les deux semaines considérées, l'enregistrement des mesures s'est effectué durant deux moments de la journée ; soient de 14h à 16h de l'après midi et de 9h à 11h de la matinée. Ceci en rapport avec le fonctionnement thermique de l'enveloppe durant la période estivale et les moments de la journée où l'éclairement solaire est à son maximum. Durant la prise de mesures, nous avons veillé à assurer des conditions naturelles dans l'espace testé : sans climatisation et chauffage, les appareils électriques éteintes (TV, ordinateur, lampes,...).

Après avoir, préalablement, choisi une ou deux pièces par habitation, les mesures se sont effectuées à l'ombre et dans différents points de la pièce (Figure 5.10). La température ambiante ( $T_a$ ), l'humidité relative (HR) et la vitesse de l'air ( $V_a$ ) ont été mesurées à l'aide de l'appareil de mesure Testo 480 qu'on a pris soin de positionner au centre de la pièce à une hauteur de 1.50 m du sol. En contre partie, les températures surfaciques des parois et de la toiture/plafond ont été relevées avec le thermomètre infrarouge orienté vers un point situé au milieu du mur et à une hauteur de 1.80 mètre du sol.

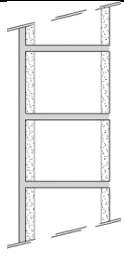
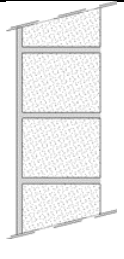
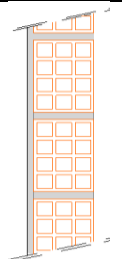
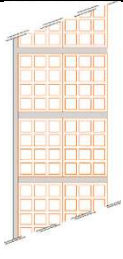
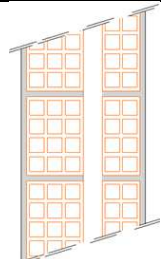


**Figure 5.10:** Positions des points de mesure au niveau de la pièce. (Source : Auteur, 2016)

Pour étudier l'impact des matériaux de construction utilisés au niveau de l'enveloppe architecturale, l'analyse typo-morphologique, effectuée en amont, ayant porté sur un corpus de maisons sélectionnées dans le terrain d'étude, a permis de définir cinq (05) cas de figures représentatifs des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans l'habitat autoproduit en lotissement à Biskra. En outre, par souci de rester le plus proche possible de la réalité et donner une idée précise sur les conditions de confort thermique générées par les systèmes constructifs répandus dans le terrain d'étude, la situation de la pièce par rapport au bâtiment (RDC ou étage et donc plancher ou toiture exposée) a également été prise en compte. Finalement, l'échantillon étudié comprend 15 variantes définies, en recoupant les 5 cas de figures générés par les variations du système constructif, avec le critère de la localisation de la pièce dans la maison (RDC ou R+1). Le Tableau 5.4 donne la répartition et les caractéristiques des 15 variantes de pièces étudiées

selon les 2 critères de leur sélection. Du fait de son influence, l'orientation a également été prise en considération dans l'interprétation des résultats.

**Tableau 5.4 :** Répartitions et caractéristiques des 15 variantes de pièces étudiées.  
(Source : Auteur, 2016)

Répartitions des 15 variantes de pièces étudiées selon le matériau de construction				
Murs en Parpaing creux (2 variantes)	Murs en Parpaing plein (2 variante)	Murs simple en Brique de 15cm (4 variantes à l'étage)	Murs double en Brique de 15cm X2 (2var. RDC, 2 var.R+1)	Murs double Brique avec lame d'air (1var. RDC, 2 var.R+1)
				

## V.7 Présentation et interprétation des résultats pour la période estivale



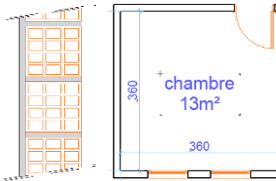
Rappelons que les mesures in situ sont destinées à évaluer l'impact des matériaux utilisés au niveau de l'enveloppe, sur le degré de confort thermique ressenti par les occupants dans l'espace intérieur. Le confort thermique étant mesuré à partir de la température ambiante et surfacique, la vitesse de l'air, et l'humidité relative (§ V.5), l'interprétation des résultats obtenus se fera, par conséquent, en fonction de ces différents paramètres.

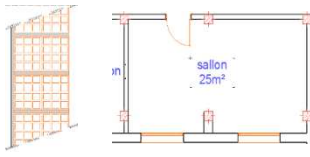

L'analyse des résultats des mesures se fera d'abord pour la période estivale qui correspond à la semaine estimée la plus chaude pour l'année 2016 (selon la méthode du *design week*) et qui s'est étalée du 29 Juillet au 5 Aout. Les mesures de T° s'étant faites à deux moments de la journée; soient de 14h à 16h de l'après midi et de 9h à 11h de la matinée, les valeurs présentées dans les tableaux des résultats (ci-dessous) sont : la valeur maximale (Max) ; la valeur minimale (Min) et la valeur moyenne (Moy).

### V.7.1 Étude de la température de l'air ambiant (Ta)

Bien que les mesures in situ se soient faites pour 15 variantes -c'est-à-dire 15 pièces différentes sélectionnées dans 8 habitations-, le tableau ci-dessous (Tableau 5.5) illustre les résultats des mesures obtenus pour les cinq (05) cas de figures représentatifs des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans l'habitat autoproduit en lotissement à Biskra. Les résultats dans leur ensemble sont consignés dans l'Annexe D.

**Tableau 5.5 :** Synthèse des valeurs des températures de l'air (Ta) et surfacique (Ts), mesurées in situ durant la période estivale dans des pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants.  
(Source : Auteur, 2016)

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	32,6	32	32,3	37	35	36	Mur en parpaing creux (22cm), pièce située au RDC, orientation Sud Ouest  
		Ext	35	33	34	41,1	38,4	37	
	Température de surface °C	Int mur	31,5	/	31,2	37,5	/	36,4	
		Ext mur	35,8	/	35,4	45,5	/	45,2	
		In toit	34	/	33	37,4	/	37	
		Ext toit	36	/	34,5	44	/	42	
<b>Mur en parpaing plein</b>	Température ambiante °C	Int	37,1	37,1	37,1	40,3	40	40,2	Mur en parpaing plein (20cm), pièce située au RDC, orientation Ouest  
		Ext	40	39	39,7	41	40,5	41	
	Température de surface °C	Int mur	37,4	/	37,1	42,1	/	41	
		Ext mur	41,2	/	41	45,4	/	45	
		In toit	37,1	/	37	44,7	/	44	
		Ext toit	39,2	/	38	51	/	49	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	37,2	37,1	37,2	39,8	39,7	39,8	Mur en Brique creuse (17cm) pièce située à l'étage orientation Est  
		Ext	40	39,6	39,7	43,4	42,4	43	
	Température de surface °C	Int mur	41,2	/	41	42	/	41	
		Ext mur	48,5	/	45	45,5	/	44,2	
		In toit	36,3	/	36	42,3	/	42	
		Ext toit	38,4	/	38	50,5	/	50	

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	35,3	35,3	35,3	38	37,6	37,8	Mur Brique creuse 15X2 (32 cm) pièce située à l'étage, Orientation Nord-Ouest 
		Ext	39,6	38	39,2	42,8	34,3	42,6	
	Température de surface °C	Int mur	30,5	/	30	38,5	/	38	
		Ext mur	38,4	/	38	45,5	/	44,7	
		In toit	38,4	/	38,4	38,8	/	38,7	
		Ext toit	35,8	/	34,7	47,5	/	47,1	
<b>Double mur en Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	35	35	35	37,8	36	37	Double mur en Brique avec lame d'air 33cm pièce située à l'étage, orientation Ouest 
		Ext	38,3	37	38	44	42	43,5	
	Température de surface °C	Int mur	37,7	/	37,6	38,5	/	38,1	
		Ext mur	41,6	/	41,4	50,6	/	50,4	
		In toit	38,4	/	38,1	39,6	/	39,3	
		Ext toit	34,4	/	34,4	46,8	/	46,4	

Selon Bennadji (1999), la soustraction des températures moyennes extérieures de celles de l'intérieur du local permet d'apprécier l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. D'après la lecture des résultats du tableau 5.5, relatifs à la **température de l'air (Ta)**, il apparaît que les températures moyennes intérieures le plus élevées sont enregistrées dans les pièces qui sont construites par des matériaux à faible inertie thermique. Un écart de 2°C est réalisé entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur par rapport à une maison construite en simple mur (cloison unique). La valeur maximale de la température ambiante (Ta) est enregistrée l'après-midi dans les maisons construites en parpaing creux et plein ; pour ces cas de figure, la température intérieure était de l'ordre de 36°C à 39°C au moment où la température extérieure atteignait les 40°C.

Il faut préciser que la température de confort n'est pas réalisée soit  $19^{\circ}\text{C} < T_a < 31^{\circ}\text{C}$  (voir § V.4). Par conséquent, ce choix constructif est visiblement inadapté au climat chaud et aride de Biskra. En outre, il faut signaler une augmentation légère de l'écart thermique dans les pièces construites à l'étage avec le même système constructif. À l'étage (toiture exposée), la situation d'inconfort est à son extrême, par exemple pour une pièce construite en simple mur de brique de 15cm, l'écart moyen de température entre Int et Ext est de l'ordre de 3°C.

Par contre dans les maisons construites en double cloison, l'écart de température est plus appréciable. A titre d'exemple, pour des doubles parois en brique de 15 cm, il est de 4°C (la température intérieure atteint 37.5 °C, à l'extérieur elle est de 42.6°C). Dans le cas de parois en double mur avec lame d'air, l'écart thermique entre l'intérieur et l'extérieur est optimal de l'ordre de 4.5°C à 5°C.

En conclusion, il convient de retenir que les températures les plus basses sont enregistrées les matinées. Par contre, les pics de températures se font durant les après-midi et ceci en raison de la quantité de radiations solaires qui pénètrent à l'intérieur de la pièce par conduction des parois et plus lentement par rayonnement. Sachant que dans ces deux phénomènes de transfert de chaleur les propriétés du matériau sont déterminantes, il apparaît que les températures intérieures les plus élevées sont enregistrées dans les pièces construites en simple mur avec des matériaux de faible résistance thermique, comme le parpaing creux et plein. Par contre, les murs en double parois donnent des résultats plus intéressants du point de vue du confort thermique dans la période estivale. A noter que les températures ambiantes mesurées sont également tributaires d'autres facteurs, notamment, l'orientation et les fluctuations climatiques extérieures.

À retenir aussi que l'inertie thermique et la faible conductivité thermique des matériaux réduisent l'écart entre les températures intérieures et extérieures, cependant, pour toutes les variantes testées, les valeurs de la température intérieure sont en dehors de la plage de confort adaptatif relatif à de la ville de Biskra ( $19^{\circ}\text{C} < T_a < 31^{\circ}\text{C}$ ). Donc, les conditions de confort hygrothermique des occupants de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, ne sont pas réalisées pour la période estivale, bien que, le système constructif employant le mur en double parois avec lame d'air, est le plus proche des conditions de confort ; et pourrait donner de meilleurs résultats si certaines dispositions d'optimisation sont prises (orientation, toiture protégée, ... etc.).

### **V.7.2 Étude de la température surfacique (Ts)**

D'après Givoni (1978) la température de la surface externe a de grands effets sur les conditions thermiques intérieures. Ce paramètre, varie avec la clarté de la couleur et la vitesse de l'air en contact avec la surface. L'ombre, également, réduit les températures de surface extérieure et l'énergie incidente.

Selon les résultats obtenus (Tableau 5.5), il apparaît que les températures des surfaces internes des parois sont plus élevées que la température de l'air lorsque les parois sont exposées au rayonnement solaire (par leur face externe) et qu'elles ne possèdent aucune

protection contre les radiations solaires. Plus les parois sont exposées aux rayons solaires, plus la température de surface externe augmente du fait de l'intensité des rayonnements solaire reçus et plus la température ambiante s'élève proportionnellement.

Les mesures in situ confirment cette règle. Ainsi, pour les murs simples, les valeurs maximales de la température extérieure de surface, varient de 42°C à 46°C par rapport à celles de la température intérieure de surface, qui sont de 37°C à 41°C. Par contre pour les maisons construites en double cloison, les températures surfaciques externes sont de 44°C à 45°C; à l'intérieur, les températures surfaciques correspondantes se réduisent à une plage de 37°C à 39 °C. Le transfert de chaleur des parois commence la matinée et atteint son maximum quand la température des parois extérieures augmente pendant l'après-midi.

Ces résultats s'expliquent par l'effet des rayons solaires incidents sur la façade et l'absence de l'ombre. Une quantité importante de chaleur est transmise de l'extérieur vers l'intérieur, ce qui contribue à augmenter la température de surface interne par effet de conduction et de rayonnement. Il est possible de retarder ce transfert : soit en agissant sur les propriétés thermo-physiques des matériaux en ajoutant un isolant thermique, ce qui a pour effet de ralentir la pénétration de chaleur ; soit par l'ombrage des parois contre les radiations solaires incidentes.

On peut conclure que les deux températures  $T_a$  et  $T_s$  sont proportionnellement liées et leurs valeurs dépendent de la quantité du rayonnement solaire incident sur les murs extérieurs et des propriétés thermo-physiques des matériaux de construction, lesquels retardent le transfert de la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur. La valeur de  $T_s$  est directement proportionnelle à l'intensité des radiations solaires reçues par la surface (externe), et ces radiations dépendent à leur tour de plusieurs paramètres : l'orientation, couleur, le degré d'exposition, la direction des vents sur la surface, ainsi que de l'albedo de la surface des voisinages qui influe sur la température de surface par la réflexion des rayonnements. La température de surface interne des parois est pour sa part tributaire de la conductivité thermique des matériaux et de l'épaisseur du mur.

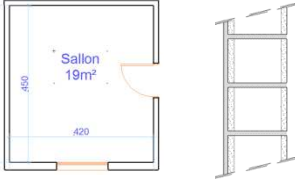
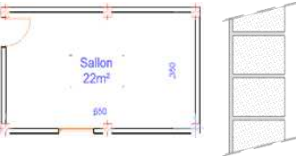
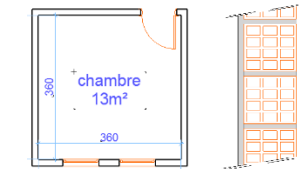
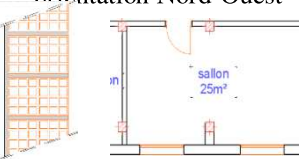
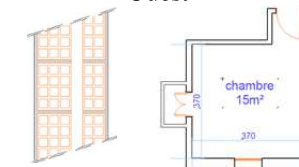
### **V.7.3 Étude de l'humidité relative et la vitesse de l'air**

Du fait de leurs influences sur le confort thermique des occupants, on a procédé aux mesures in situ de l'humidité relative (HR) et de la vitesse de l'air. Ces mesures se sont faites pour les 15 variantes de pièces illustrant les caractéristiques (matérielles et architecturales) générés en recoupant les 5 cas de figures dominants du système constructif, avec le critère de la localisation de la pièce dans la maison (RDC ou R+1). Les résultats dans leur ensemble



sont peuvent être consultés dans l'Annexe D. Le tableau ci-dessous (Tableau. 5.6) illustre une partie des résultats, ceux obtenus pour les cinq (05) cas de figures des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades.

**Tableau 5.6 :** Exemples de résultats des mesures in situ (période estivale) de l'humidité relative et la vitesse de l'air dans des pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants.

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en parpaing creux</b>	Humidité relative %	Int	39,4	34,8	35,6	32,1	26,2	29,4	Mur en parpaing creux (22cm), pièce située au RDC, orientation Sud Ouest 
		Ext	32,8	31,3	31,8	21,5	17,9	20	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,15	0	0,1	0,6	0,0	0,1	
		Ext	1,2	0	1	2,6	0,3	1	
<b>Mur en parpaing plein</b>	Humidité relative %	Int	31,1	24,2	26,1	21,4	19	19,6	Mur en parpaing plein (20cm), pièce située au RDC, orientation Ouest 
		Ext	21,8	21,6	21,7	19,4	17,5	18,2	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0	
		Ext	1,4	0,4	0,8	0,5	0	0,3	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Humidité relative %	Int	30	24,4	26,2	22,5	19,1	20,8	Mur en Brique creuse (17cm) pièce située à l'étage, à l'Est 
		Ext	24,1	20,5	21,5	16,1	15,3	15,6	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,4	0	0,1	0,3	0	0,1	
		Ext	1,9	0,5	1,2	1,5	0,4	1	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Humidité relative %	Int	30,7	26,7	29	26,7	20	21,8	Mur Brique creuse 15+15 (32 cm), située à l'étage, orientation Nord-Ouest 
		Ext	23,2	20,4	21,6	15,4	14,8	15,5	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0	
		Ext	1,9	0,3	0,7	0,5	0	0,3	
<b>Double mur en Brique avec lame d'air</b>	Humidité relative %	Int	25,9	24,7	25,4	20,6	20	20,3	Double mur en Brique avec lame d'air 33cm, pièce située à l'étage, orientation Ouest 
		Ext	21,8	20,6	21,2	13,9	13	13,3	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	
		Ext	1	0,3	0,5	1,9	0,5	1,2	

L'humidité relative c'est la quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air, cette vapeur a une influence sur la sensation thermique des habitants et si le taux de l'humidité relative de l'air augmente, la sensation thermique chaude augmente également. On peut dire que l'humidité relative de l'air est le paramètre qui influe le plus sur la sensation thermique chaude dans le cas où la température est très élevée, son effet est moindre quand la température est basse.

A la lecture des résultats des mesures, il est possible de constater que l'humidité relative extérieure est inférieure à l'humidité intérieure (Tableau 5.6). À l'extérieur elle varie généralement entre 15 % et 20% ce qui est un signe de sécheresse de l'air. À l'opposé, le taux d'humidité mesuré à l'intérieur est supérieur et varie entre 22% et 31%. L'augmentation du taux d'humidité à l'intérieur peut s'expliquer par la production d'une vapeur liée au métabolisme humain (présence de l'occupant à l'intérieur de la pièce), également, du fait des activités domestiques et aussi du manque de renouvellement d'air dans la maison.

Concernant la vitesse de l'air, il faut rappeler qu'en climat chaud et sec, la ventilation joue un rôle très important pour le confort thermique de l'occupant. Non seulement, elle permet de satisfaire nos besoins en oxygène et de limiter les odeurs désagréables, mais aussi, elle permet d'évacuer la vapeur d'eau produite par les occupants, et de dissiper la chaleur qui pénétrée par les murs. Elle est considérée comme un indicateur important qui affecte les échanges de chaleur entre le corps et son environnement. La ventilation naturelle dans l'habitat est donc absolument impérative pour assurer un environnement intérieur sain et confortable pour les occupants. Cependant, la vitesse de l'air devient insuffisante si la température de l'air dépasse 32 °C pour un air sec et 30 °C pour un air humide (Barkouk, 2017). En outre, la ventilation, comme stratégie de rafraîchissement passif, n'est recommandée que si la température extérieure est inférieure à la température intérieure ( $T_e < T_i$ ), ce qui en climat chaud et aride se produit le soir (période estivale).


D'après, Liébard et De Herde (2005), la vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection dans l'habitat et augmente l'évaporation à la surface de la peau, généralement cette vitesse ne dépasse pas 0.2m/s (Liébard et De Herde, 2005). Les auteurs Izard et Millet (1993) indiquent que plus la vitesse de l'air est élevée, plus la température de l'air augmente. Ceci est confirmé par notre campagne de mesure puisque les mesures enregistrées dans les pièces testées montrent que la vitesse de l'air à l'intérieur est de 0m/s et ne dépasse pas 0.1m/s. Ce constat s'explique par le manque de ventilation transversale


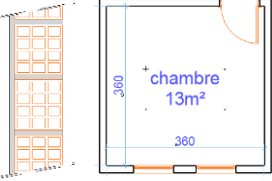
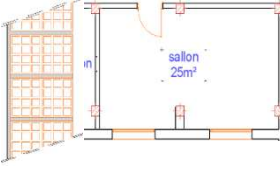
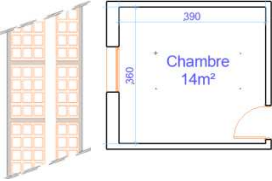
(courant d'air) pour rafraîchissement de l'espace ; la prise de mesures s'étant déroulée à des moments de grande chaleur où  $T_e > T_i$ , les propriétaires préféraient ne pas ventiler pour conserver la fraîcheur relative de l'intérieur. Quoiqu'il en soit, on peut améliorer la ventilation naturelle dans les maisons qui sont exposées à l'extérieur par une seule façade par l'exposition de la façade principale au vent dominant. Selon Givoni (1978) l'angle du mur par rapport à la direction du vent doit être entre  $20^\circ$  à  $70^\circ$  et la mise en place des cloisons interne et la position des fenêtres ont une influence sur le flux de l'air à l'intérieur.

## V.8 Présentation et interprétation des résultats pour la période hivernale

La prise de mesure s'est déroulée pendant la semaine la plus froide s'étalant du 28 Décembre au 02 Janvier de l'année 2015-2016 (conditions les plus défavorables) calculée selon la méthode du « *design week* ». Ces mesures se sont faites pour les 15 variantes de pièces illustrant les caractéristiques (matérielles et architecturales) générés en recoupant les 5 cas de figures dominants du système constructif, avec le critère de la localisation de la pièce dans la maison (RDC ou R+1). Les paramètres mesurés sont la température de l'air la température surfacique, la vitesse de l'air et l'humidité relative. Les mesures de  $T^\circ$  se sont faites à deux moments de la journée; soient de 14h à 16h de l'après midi et de 9h à 11h de la matinée, les valeurs présentées dans le tableau des résultats (Tableau 5.7) sont : la valeur maximale (Max) ; la valeur minimale (Min) et la valeur moyenne (Moy).

**Tableau 5.7 :** Exemples de résultats des mesures in situ (période hivernale) des quatre paramètres de confort hygrothermique dans pièces illustrant les cinq systèmes constructifs dominants.

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	18.5	14	16	19	16	18,3	Mur en parpaing creux (22cm) situé au RDC, orientation Sud Ouest 
		Ext	17	16	16,5	17.5	16	17.1	
	Température de surface °C	Int mur	15	/	14,7	19.4	/	18,6	
		Ext mur	16	/	15	23.6	/	23	
	Humidité relative %	Int	50	40	46	50	38	48,5	
		Ext	59	37	42	54	32	50	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0.15	0	0,1	0,6	0,0	0,1	
		Ext	2	0	1.5	2,6	0,3	1.5	

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en parpaing plein</b>	Température ambiante °C	Int	15	14	14,7	18	16	17	Mur en parpaing plein (20cm) pièce située au RDC, orientation Ouest  
		Ext	14,4	13	13,8	17	15,8	16,1	
	Température de surface °C	Int mur	16	/	14,6	16,7	/	15,3	
		Ext mur	19	/	13,8	17,5	/	16,7	
	Humidité relative %	Int	47	43	46	45	27	44	
		Ext	59	37	45	60	44	47	
Vitesse de l'air m/s	Int	1	0	0	0,2	0	0		
	Ext	1,4	0,4	0,8	1,2	0	1		
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	19	13,5	15	18	16,2	17,1	Mur en Brique creuse (17cm) pièce située à l'étage orientation Est  
		Ext	18,3	13	14	19	13	16,7	
	Température de surface °C	Int mur	15	/	14,8	16,3	/	15,7	
		Ext mur	13,5	/	13,2	18,5	/	18	
	Humidité relative %	Int	47	39	43	42	30	38,5	
		Ext	66	50	65	57	43	55	
Vitesse de l'air m/s	Int	0,4	0	0,1	0,3	0	0,1		
	Ext	3	1,2	1,7	2,6	0,7	1,3		
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	20,1	16	19	23	20	21,5	Mur Brique creuse 15+15 (32 cm) pièce située à l'étage, Orientation Nord-Ouest  
		Ext	18	16	17	20	17,5	19	
	Température de surface °C	Int mur	20	/	19	22,8	/	21,3	
		Ext mur	17	/	16,4	21,3	/	19,8	
	Humidité relative %	Int	41	28	37	42	37	40	
		Ext	46	38	40	46	39	43	
Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1		
	Ext	2,5	0,9	1,4	1,5	0,3	0,8		
<b>Double mur en Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	27,4	24	26,1	27,3	25,1	26,4	Double mur en Brique avec lame d'air 33cm pièce située à l'étage, orientation Nord-Ouest  
		Ext	24,3	20,1	22,8	25,2	22	24,9	
	Température de surface °C	Int mur	28,2	/	26	28,3	/	26,5	
		Ext mur	22,7	/	21	25,5	/	23,6	
	Humidité relative %	Int	44,2	40,6	42,4	41	36,3	38,2	
		Ext	52	40,3	44,2	55	37	45,5	
Vitesse de l'air m/s	Int	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1		
	Ext	3	0,3	1,4	1,9	0,5	1,2		

L'analyse des résultats (Tableau 5.7), indique que les températures ambiantes ( $T_a$ ) intérieures mesurées sont plus élevées que celles de l'extérieur, avec une température minimale ( $T_a$ ) de  $17^\circ\text{C}$  et un maximum de  $18^\circ\text{C}$  dans les pièces où les parois sont construites en mur simple. Pour la même période de mesures, la température extérieure indiquait une variation de  $13^\circ\text{C}$  à  $16^\circ\text{C}$  ; d'où avec un écart des températures moyennes ( $T_{\text{moy}}$ ) de l'ordre de  $0.5$  à  $1.2^\circ\text{C}$ . Ces résultats, où la différence entre les températures intérieures et celles extérieures, montrent que ce type de murs n'est pas très performant.

Par contre, les mesures effectuées dans des pièces construites en double cloisons, indiquent un écart entre  $T_{\text{ext}}$  et  $T_{\text{int}}$  plus appréciable de l'ordre de  $1.5^\circ\text{C}$ . Les valeurs de la température moyenne intérieure sont dans la plage de  $21^\circ\text{C}$  à  $26^\circ\text{C}$ , pour des variations de la température extérieure de  $19^\circ\text{C}$  à  $24^\circ\text{C}$ . Ces résultats marqués par une nette augmentation de la température interne s'expliquent par les gains directs du rayonnement solaire qui a contribué à chauffer la pièce à travers les parois transparentes (vitrage) ainsi que par conduction et rayonnement à travers les parois opaques. En outre, ces valeurs de la température intérieure sont incluses dans la plage de confort adaptatif relatif à de la ville de Biskra ( $19^\circ\text{C} < T_a < 31^\circ\text{C}$ ) (voir § V.4) ; ce qui suppose que les conditions de confort hygrothermique des occupants sont réalisées durant la période hivernale.

Concernant les mesures de la **température surfacique** durant la période hivernale, il apparaît que les températures de surface interne suivent le changement de la température extérieure. Dans les murs à simple paroi, la valeur maximale de la température de surface externe varie de  $13^\circ\text{C}$  à  $23^\circ\text{C}$  par rapport à la température de surface interne qui atteint  $14^\circ\text{C}$  à  $18^\circ\text{C}$ . Par contre dans les pièces construites en double cloison, la température de surface externe est de  $16^\circ\text{C}$  à  $23^\circ\text{C}$ , alors que celle de surface interne est variée de  $19^\circ\text{C}$  à  $26^\circ\text{C}$  (Tableau 5.7). Les valeurs de températures enregistrées pour les surfaces externes des parois sont relativement faibles à cause de l'effet du vent qui contribue à diminuer ces températures par effet de convection. Pour maintenir la chaleur interne et éviter les déperditions qui se font par la ventilation ou par l'infiltration à travers les ponts thermiques, les matériaux doivent être de faible conductivité thermique.

L'**humidité relative** est la quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air, cette vapeur influence la sensation thermique des habitants. Le Tableau 5.7, montre que les valeurs de l'humidité relative enregistrées à l'intérieur sont basses par rapport à celles mesurées à l'extérieur. Considérant que l'air chauffé a une capacité plus grande à absorber

la vapeur d'eau, le taux de HR à l'intérieur est donc plus faible que celui mesuré à l'extérieur. En règle générale, durant la période hivernale, l'air extérieur est saturé en vapeur d'eau par les nuages, les chute de pluie, le brouillard, etc.

La lecture des valeurs de l'humidité relative indique que pour l'intérieur, HR est presque stable entre 37 et 46% à cause de la diminution des variations de la température et de l'absence des vents, par contre, à l'extérieur elle varie entre 42 % et 65%. Finalement, on peut dire que l'humidité relative intérieure dépend de la température extérieure, la réduction de la température donne une augmentation du taux de l'humidité et vice versa.

### **V.9 Comparaison entre les résultats des mesures in situ et ceux obtenus par simulation numérique**

D'après les résultats de la campagne de mesures in situ, il est possible d'affirmer que l'inertie thermique des parois (matériaux lourds et de faible conductivité thermique) a une grande importance sur la qualité du confort thermique des occupants. Ceci a été constaté en comparant les mesures enregistrées dans des pièces construites avec des murs simples et celles présentant des murs en double parois. Pour mieux apprécier ces résultats et voir le comportement de la paroi sur une durée de 24 heures, une simulation numérique a été effectuée avec le logiciel TRNSYS 17. Pour ce faire, un modèle a été généré ; celui-ci reprend les caractéristiques d'une pièce typique semblable à celles où furent effectuées les mesures in situ (dimensions, caractéristique des matériaux et orientation).

Sur la base de ce modèle, des calculs numériques ont été réalisés avec TRNSYS, le but étant d'évaluer la température intérieure de trois systèmes constructifs différents durant la période estivale et de comparer les résultats des températures simulées avec celles mesurées (Figure 5.11).

À noter qu'avant de procéder à la simulation, on a effectué un test de validation des résultats. D'après les études de Arnal (2013) et Soudani (2016) cités par Khadraoui (2018), on peut valider un modèle numérique s'il y a une correspondance et cohérence entre les valeurs mesurées et simulées, mais l'écart maximal doit être inférieur à 10 % (Miranville, 2002 ; Faure, 2007 ; Daverat, 2012 ; Guichard, 2013).

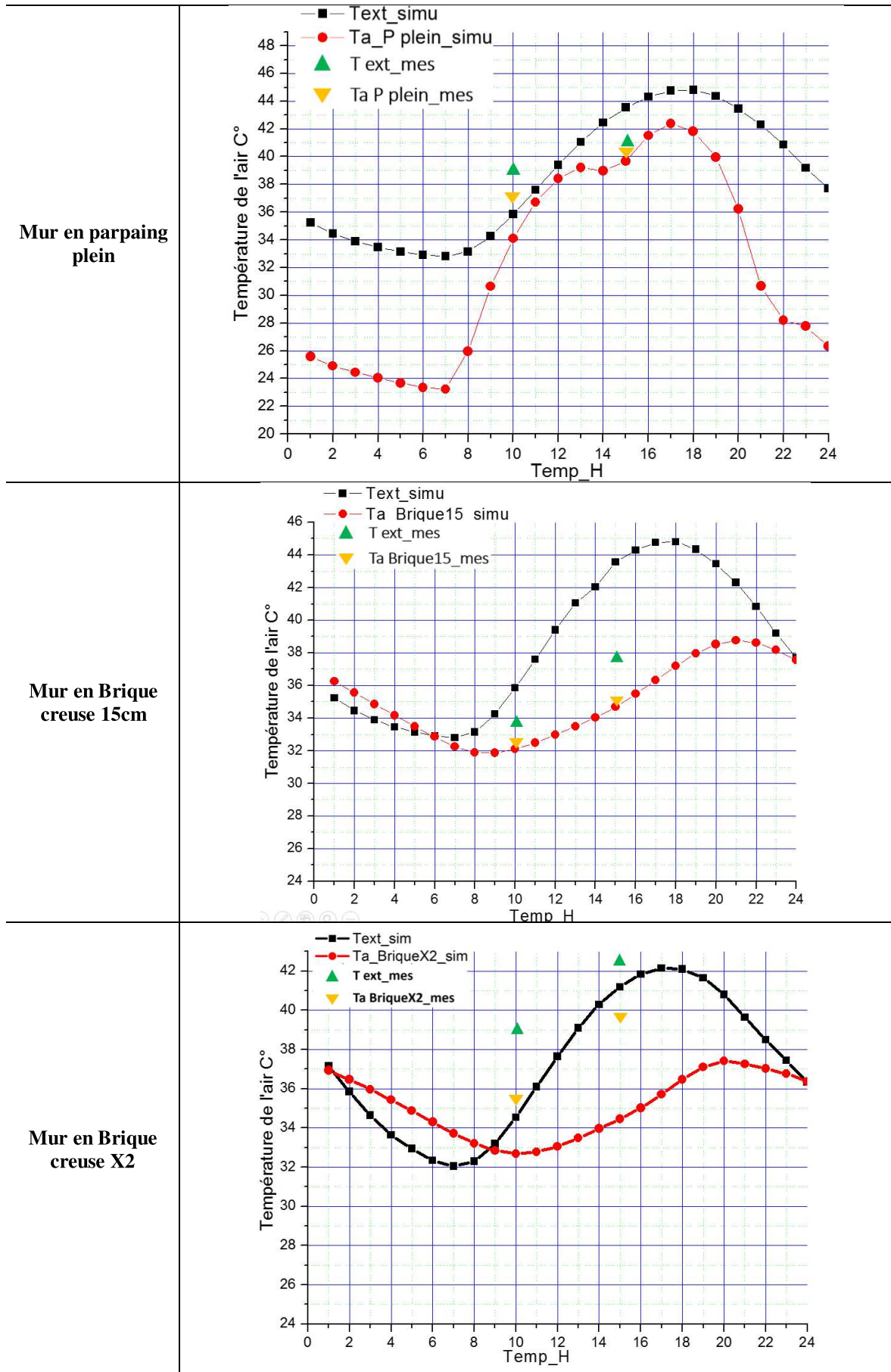


Figure 5.11 : Présentation des résultats des températures mesurées et simulées.

La comparaison entre les valeurs des températures mesurées d'une pièce construite en parpaing plein avec celles simulées (Figure 5.11), montre qu'il existe une concordance entre les valeurs des mesures in situ avec celles du modèle ; l'écart entre les valeurs de la température intérieure est de l'ordre de 0.39°C à 0.54°C, donc un pourcentage de 1.05% à 1.34%. De même, l'écart entre les valeurs de la température extérieure est de 2.1°C à 2.55°C soit un pourcentage de 5.28% et 6.21%. Dans les deux cas, l'écart des valeurs mesurées et simulées est inférieur à 10%, ce qui valide les résultats de la simulation.

Pour les murs construits en Brique de 15 (mur simple) et en Brique creuse X2 (mur double), les résultats indiquent une cohérence entre les valeurs de la température intérieure mesurées dans la pièce construite en simple mur (Brique de 15) et celles générées par la simulation (Figure 5.11). L'écart des températures intérieures ambiantes ( $T_a$ ) est de 0.2°C à 0.38 °C soit un pourcentage de 0.61% à 1.11%. En même temps, l'écart atteint pour les températures extérieures mesurées et simulées est de 2.05°C à 4.05°C avec un pourcentage de 6.06% à 10%.

Concernant le troisième système constructif soit le mur double parois en brique creuse (Brique creuse X2), l'écart des températures intérieures ambiantes ( $T_a$ ) est de 2.62°C à 3.35 °C avec un pourcentage de 7.42% à 8.86% et l'écart de la température extérieur est de 3.45°C à 1.4°C soit un pourcentage de 9.07% à 3.28%. Ces résultats ayant indiqué que les écarts des valeurs mesurées et simulées sont inférieurs à 10%, ce qui valide les résultats de la simulation. Cette validation, des résultats de la simulation en les comparant à ceux des mesures in situ, était indispensable pour juger de la fiabilité des tests d'optimisation (proposition des solutions d'amélioration de confort thermique), que l'on envisage d'entreprendre dans le prochain chapitre.

## **V.10 Conclusion**

Le fonctionnement de l'enveloppe architecturale sous un climat chaud et aride est très important car le bâtiment reçoit une quantité de rayonnement solaire intense surtout durant la période estivale. L'habitat individuel dans ce contexte doit être conçu en fonction des paramètres climatiques rigoureux de la région. Dans cette perspective, la compréhension et la maîtrise des phénomènes thermiques des éléments de l'enveloppe nécessitent des études réelles sur des bâtiments existants en incluant tous les composants intervenant dans le fonctionnement thermique de l'enveloppe et en prenant en compte la spécificité climatique de la région. Les résultats obtenus par l'étude sur des cas existants donnent une idée plus



exacte sur les impacts réels de différents éléments de l'enveloppe sur son comportement thermique (pendant la période estivale et hivernale) ainsi que la sensation des usagers vis-à-vis des conditions de confort physiologique.

Le présent chapitre a été consacré à la présentation de l'étude empirique (campagne de mesures in situ) réalisée sur un échantillon de maisons individuelles autoproduites à Biskra, dans le but d'évaluer le fonctionnement thermique de l'enveloppe selon les caractéristiques matérielles (dispositifs architecturaux, matériaux,...) les plus dominantes.

À l'issue de cette étude, l'influence des choix constructifs et structurels de l'enveloppe architecturale sur le confort thermique intérieur a été examinée. Les résultats obtenus indiquent que la température intérieure de l'air ( $T_a$ ) et celle de la surface des parois ( $T_s$ ) sont essentiellement liées aux propriétés thermo-physiques des matériaux et à performance du système constructif utilisé (mur simple, double paroi, double paroi avec lame d'air,..).

Ainsi, pour la période estivale il est apparu que l'inertie thermique des parois et la faible conductivité thermique des matériaux réduisent l'écart entre les températures intérieures et extérieures. Cependant, pour toutes les variantes testées, les valeurs de la température intérieure étaient en dehors de la plage de confort adaptatif relatif à de la ville de Biskra ( $19^{\circ}\text{C} < T_a < 31^{\circ}\text{C}$ ). Donc, les conditions de confort hygrothermique des occupants, ne se sont pas réalisées pour la période estivale, bien que, le système constructif employant le mur en double parois avec lame d'air, était le plus proche des conditions de confort ; et pourrait donner de meilleurs résultats si certaines dispositions d'optimisation étaient prises (orientation, toiture protégée, ...etc.).

À l'opposé, pour la période hivernale, les mesures effectuées ont dévoilé des valeurs de la température intérieure incluses dans la plage de confort adaptatif de Biskra; ce qui suppose que les conditions de confort hygrothermique des occupants sont réalisées durant la période hivernale pour les variantes étudiées.

Finalement, un choix judicieux de matériaux de construction et de dispositifs structurels peut favorablement influencer l'ambiance thermique intérieure, notamment grâce aux propriétés thermo-physiques des matériaux qui permettent, à travers l'enveloppe, de réguler les échanges de chaleur entre le bâtiment et son environnement. Malheureusement, les techniques constructives utilisées actuellement surtout les murs en simple paroi ne

répondent pas aux exigences conceptuelles nécessaires dans ce type de climat. Les murs en double parois offrent des avantages certains du point de vue du confort thermique optimal par rapport aux procédés constructifs, mais leur performance pourrait être améliorée. Une étude de nature paramétrique est donc nécessaire, elle permettra d'optimiser les choix constructifs propres à l'habitat résidentiel autoproduit à Biskra afin d'améliorer sa performance climatique tout en préservant l'essentiel de ses spécificités. Ceci est l'objet du chapitre suivant.

# CHAPITRE VI : Optimisation de la performance thermique de l'enveloppe par simulation paramétrique

## VI.1 Introduction

Après avoir réalisé le premier volet de l'évaluation quantitative de la performance thermique de l'enveloppe à travers une étude empirique où des prises de mesures ont été effectuées sur un ensemble d'habitations existantes, le présent chapitre est consacré au deuxième volet de l'analyse. Celle-ci se fera sous forme d'une simulation numérique avec le logiciel TRNSYS17. Différents cas de figures se rapportant aux caractéristiques matérielles de l'enveloppe, seront, alors, testés. Le but étant d'évaluer les possibilités d'amélioration et d'optimisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe tout en respectant les spécificités propres à l'habitat résidentiel autoproduit à Biskra.

Les scénarios d'optimisation feront prévaloir des stratégies passives et porteront sur les éléments de l'enveloppe tels que définis au niveau de l'analyse typo-morphologique, à savoir : (1- les ouvertures : fenêtres et portes, 2- les surfaces opaques verticales : murs, 3- les surfaces opaques horizontales : toiture). En procédant à des tests de simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel TRNSYS17, il est, d'abord, question d'étudier l'impact des caractéristiques matérielles (architecturales et constructives) de l'enveloppe sur le confort thermique des occupants sous les conditions du climat chaud et aride de Biskra, ensuite, on testera le potentiel d'amélioration du fonctionnement thermique de l'habitation autoproduite grâce à des choix adéquats portant sur les attributs architecturaux et constructifs de l'enveloppe.

L'étude paramétrique avec TRNSYS 17 se fera sur un modèle virtuel représentant une pièce de 16m<sup>2</sup> qui servira de cas de référence pour appliquer les solutions d'optimisation. Les tests de simulation se feront d'abord séparément pour déterminer l'impact de chaque élément de l'enveloppe sur le confort thermique. Les résultats les plus performants permettront de désigner à chaque fois les caractéristiques optimales de l'élément considéré.

Finalement, les scénarios d'optimisation ponctuels seront combinés pour former la variante optimisée globale de l'enveloppe.

## **VI.2 Rappel des caractéristiques matérielles de l'enveloppe des habitations autoproduites à Biskra**

Comme dans presque tout le sud algérien, les habitants de la ville de Biskra, ont abandonné l'utilisation des matériaux de construction locaux (terre, pierre, dérivés du palmier, ...). Du coup, des traditions constructives perpétrées depuis un passé lointain, sont tombées dans l'oubli. Ce changement dans les techniques et systèmes constructifs est justifié par les habitants locaux, par la mauvaise résistance des matériaux traditionnels face aux intempéries et leur vieillissement. Ce qui n'est pas totalement faux. Cependant, la vraie raison à ce phénomène, est que les systèmes constructifs traditionnels se trouvent sérieusement concurrencés par des systèmes dits « modernes », avec leurs panoplies de matériaux industrialisés à base de béton, largement utilisés dans le nord du pays (Sriti, 2013; Alkama, 1995). Désormais, les matériaux de construction locaux sont perçus par les habitants comme un signe de pauvreté.

L'analyse typo-morphologique effectuée dans le cadre de cette recherche (chapitre IV), confirme les mutations qui se sont opérées dans le mode de production du cadre bâti résidentiel autoproduit à Biskra. L'habitat en lotissements, est, largement dépendant de l'utilisation du béton. Ce dernier constitue le matériau de base de l'ossature des constructions. Il sert également pour le remplissage (parpaing creux ou plein) (voir chapitre IV, § 5.2).

Pourtant, les conditions climatiques de Biskra, particulièrement, sévères en Été, nécessitent l'emploi de matériaux avec des propriétés thermiques (résistance, conductivité, capacité calorifique...etc.), analogues à celles des matériaux locaux. L'inertie thermique est, particulièrement, recommandée pour les constructions en régions arides et chaudes à cause des grandes amplitudes diurnes caractéristiques de leurs climats (Shaviv, 1984; Givoni, 1980; Evans, 1980). En effet, une inertie efficace de la structure réduit les fluctuations de la température intérieure vis à vis des variations de la température extérieure. Les phénomènes de déphasage et de l'abaissement de la température diurne y afférent sont également retenus comme deux conséquences importantes, sinon les plus importantes d'une inertie thermique efficace (Givoni, 1980; Evans, 1980).

La caractérisation matérielle de l'enveloppe des habitations autoproduites en lotissements, a montré que la production contemporaine de l'architecture résidentielle répond à des besoins socioculturels et se trouve largement déterminé par les moyens financiers du propriétaire. La dimension environnementale (climatique) est, quant elle, visiblement absente des exigences conceptuelles et constructives de toute la chaîne des intervenants dans la production du cadre bâti résidentiel. Les problèmes de manque de confort thermique qui en résultent sont « corrigés » par le recours systématique à la climatisation mécanique, avec tout ce que cela induit en termes de consommation électrique.

Les caractéristiques matérielles définissant l'habitat résidentiel en lotissement ayant été définies, celles-ci vont servir à l'évaluation quantitative par simulation de la performance climatique de l'enveloppe architecturale ; elles fonderont également les modalités de son amélioration. Ainsi, les traits dominants des éléments composant l'enveloppe (surfaces transparentes, surfaces opaques verticales et horizontales) sont les suivants :

- ✓ La majorité des maisons autoproduites à Biskra sont de type R+1+Terrasse. La maison s'ouvre de plain pied sur la rue (pas de véranda). Le rez de chaussée comprend généralement un garage qui pourrait servir à accueillir une activité commerciale future. le premier étage est réservé aux espaces d'habitation et le dernier niveau est aménagé sous forme d'une terrasse accessible.
- ✓ Les façades sont peu ouvertes sur l'extérieur. Les fenêtres sont de dimensions moyennes ou réduites (de 1m<sup>2</sup> à 1,20m<sup>2</sup>) (Figure 6.1).



**Figure 6.1** : Apparence des maisons autoproduites en lotissements (Source : Auteur, 2016)

- ✓ Le simple vitrage est pratiquement le seul type de vitrage utilisé pour les fenêtres et les portes-fenêtres. Dernièrement, le verre teinté et le verre réfléchissant sont également employés.

- ✓ L'orientation des ouvertures est aléatoire, les fenêtres sont placées dans les murs au gré des besoins en aération et éclairage des espaces quelque soit l'orientation. C'est donc l'implantation de la parcelle bâti qui contrôle l'orientation des fenêtres.
- ✓ Les fenêtres sont généralement protégées contre les radiations solaires. Les dispositifs de protection les plus utilisés peuvent être mobiles comme les volets et persiennes placés de façon à permettre le passage de la lumière à travers les interstices; ou encore les rideaux qui sont un dispositif d'occultation interne que l'habitant peut adapter aux différentes conditions climatiques. En contre partie, les protections fixes (brise-soleils, auvents, claustras, ...) sont peu utilisées.
- ✓ Les éléments saillants sont multiples (balcons, loggias, terrasses, chambres en encorbellements et cages d'escalier). Ces éléments peuvent être assimilés à des masques d'occultation et constituent un moyen très efficace pour ombrager les murs et les ouvertures (Figure 6.1).
- ✓ En règle générale, la majorité des façades urbaines autoproduites à Biskra sont non achevées. Le revêtement extérieur et la peinture font défaut.
- ✓ L'utilisation des matériaux et des techniques de construction dites modernes tels que parpaing, chaînages, planchers de poutrelles et hourdis,...etc. est prépondérante. Le système constructif utilisé est l'ossature (poteau-poutre) en béton armé. Pour la maçonnerie, les habitants auto-producteurs de leurs logements emploient les matériaux disponibles sur le marché, notamment, le parpaing creux et plein et la brique creuse de 15 et 10cm.
- ✓ Généralement, le type de dalles le plus employé dans les habitations, est le corps creux en béton. Cependant, les habitants de Biskra sont de plus en plus nombreux à utiliser le corps creux en brique à cause de la fragilité du hourdis de béton.
- ✓ La terrasse accessible est couverte par un pavage en carrelage ; ce qui augmente son isolation ainsi que son étanchéité
- ✓ Les propriétaires n'accordent pas d'importance aux qualités thermique des matériaux utilisés au niveau de l'enveloppe et négligent les conditions climatiques rigoureuses de la région dans la conception, ce qui entraîne la production d'un cadre bâti inadapté à son contexte et gros consommateur d'énergie.

### **VI.3 Étude par simulation paramétrique de la performance thermique de l'enveloppe architecturale**

D'une façon générale, il existe trois moyens principaux susceptibles de fonder l'étude du comportement thermique d'un bâtiment sous des conditions environnementales données. La première approche qui est de loin la plus coûteuse et la moins faisable, se base sur la construction à vrai échelle du bâtiment dont on veut étudier le comportement thermique. Cependant, cette méthode reste en réalité peu pratique. D'une part, parce qu'elle est coûteuse, mais aussi, parce qu'elle n'offre pas suffisamment de liberté d'action sur les paramètres intervenant dans la qualité des ambiances. Il n'est pas possible de varier par exemple l'orientation, les matériaux, la dimension des ouvertures, ou alors de changer les données climatiques.

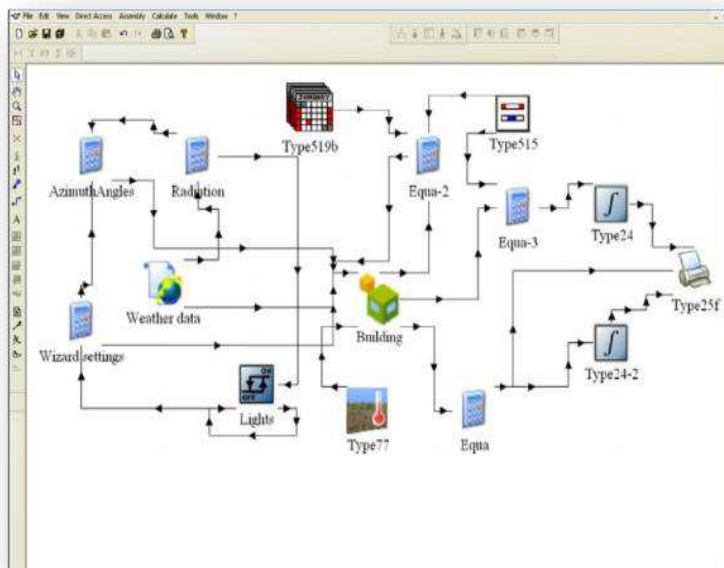
L'évaluation sur modèle à échelle réduite, a l'avantage d'être moins coûteuse que la première méthode (vraie échelle), néanmoins, elle est moins précise. Il est, en effet, très difficile de simuler les phénomènes de transmission d'énergie à travers des parois à échelle réduite, d'où l'inconvénient d'utiliser cette méthode pour des analyses thermiques. Le recours à cette méthode qui relève de l'expérimentation nécessite de disposer de moyens (matériels) adéquats et d'être très rigoureux dans l'élaboration du protocole de l'expérimentation.

Enfin, la simulation numérique via l'utilisation d'un programme informatique représente la technique de recherche la plus exploitée par les chercheurs dans la quasi-totalité des études vue ses innombrables avantages. En effet, en plus de la précision et la fiabilité des résultats, la simulation numérique est moins coûteuse que les deux précédentes, et plus flexible, dans la mesure où elle permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction tout en agissant à volonté sur des variables relatives au climat, au bâtiment, aux matériaux, à l'occupation,... etc.

Dans le secteur du bâtiment, les logiciels de la simulation sont exploités pour étudier les différents phénomènes physiques (température de l'air, ventilation, ...) et énergétiques relatifs aux bâtiments et leurs composants notamment l'enveloppe et ses éléments. Ils permettent également d'optimiser la conception d'un bâtiment en proposant une approche réaliste du fonctionnement thermique de la construction à l'aide de calculs énergétiques détaillés. Ils donnent ainsi la possibilité d'apprécier les phénomènes thermiques qui s'opèrent dans le bâtiment et de les appréhender globalement sur le cycle complet d'une année.

### VI.3.1 Présentation du logiciel de simulation TRNSYS 17

**TRNSYS** (**TRaNsient Système Simulation Program With a Modular Structure**) est un logiciel de simulation dynamique développé par le laboratoire d'énergie solaire (SEL) de l'Université de Madison aux États-Unis (Figure 6.2). Sa particularité, est que c'est un outil structuré de manière modulaire, et par conséquent, il est très flexible. Le logiciel de la simulation « TRNSYS » a besoin de certains paramètres d'entrées (inputs) pour effectuer la simulation et donner des sorties (outputs).



**Figure 6.2 :** Interface graphique du logiciel TRNSYS 17

Chaque module de TRNSYS ou «Type» correspond à des éléments de systèmes physiques ou autres. L'assemblage de ces modules permet de construire le système à étudier. Chaque unité (modèle) a des «entrées» qui dépendent en général, du temps et des paramètres qui sont les valeurs constantes de l'élément. Les modules correspondent à des modèles numériques qui vont calculer les « sorties ». Le couplage des modules permet la modélisation de l'évolution du système au cours du temps.

#### VI.3.1.1 Présentation du module multizone « Type 56 »

La simulation sous « TRNSYS » a été effectuée à travers l'utilisation du « Type 56 » qui correspond au module de bâtiments multizones « Multi-Zone Building ». Le Type 56 est très particulier parce qu'il possède sa propre interface de gestion des données nommée TRNBuild. C'est un logiciel de prétraitement des données qui permet d'introduire toutes les



caractéristiques du bâtiment : dimensions des parois, caractéristiques des matériaux..., et de faire la simulation dynamique du comportement thermique d'un bâtiment « monozone » ou « multizone ». Dans le modèle correspondant au Type 56, le bâtiment est représenté par un ensemble de nœuds modélisant des pièces ou des zones thermiques (groupement de pièces).

### **VI.3.2 Les étapes de la simulation**

La première étape de l'étude numérique porte sur la réalisation de la géométrie du modèle virtuel et ses caractéristiques dimensionnelles et conceptuelles sous « Sketch-Up » à travers l'utilisation du plugin « Trnsys-3D ». Le fichier créé sous format « idf » est exporté vers le logiciel de la simulation thermique dynamique « TRNSYS ».

La deuxième étape consiste à la création du fichier météorologique de la ville étudiée sous format « Tm2 » à travers l'utilisation du logiciel « Meteonorm ». Par la suite, ces fichiers (idf et Tm2) seront insérés dans le logiciel de simulation « TRNSYS » tout en exploitant le « Type 56 "Multi-Zone Building" » et l'interface de « TRNBuild » afin d'introduire les détails relatifs au modèle étudié (matériaux, scénarios, gains, etc.).

Enfin, la troisième étape porte sur la simulation proprement dit, l'obtention des résultats, et l'exportation et le traitement des données obtenues sous forme de tableaux (format xls pour Excel) puis la réalisation des graphes et leur interprétation.

Le recours à la simulation par ordinateur offre l'avantage de pouvoir investir un nombre important de variables thermiques, d'évaluer leur action en la contrôlant et de rendre compte de leurs effets conjugués. Cependant, la fiabilité des résultats prédits dépendent largement de l'exactitude des entrées (inputs).

Une attention particulière doit, par conséquent, être portée à la modélisation du bâtiment dont on veut analyser le comportement thermique par simulation informatique. En tout état de cause, il devra être procédé à une description adéquate des caractéristiques morphologiques de l'objet architectural (éléments constituant l'enveloppe, leur dimension, leur localisation,... etc.) et des propriétés thermo-physiques des éléments constructifs (le type de parois, la nature du vitrage, le type de boiserie,... etc.)

Les données météorologiques nécessaires à la simulation doivent également être fiables. Enfin, une description aussi réaliste que possible de phénomènes influençant le fonctionnement thermique du bâtiment comme la ventilation naturelle ou la radiation de nuit doit être envisagée suivant les possibilités offertes par l'outil de simulation utilisé.

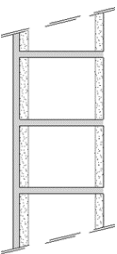
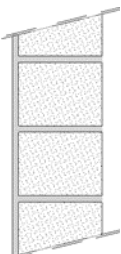
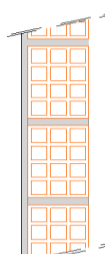
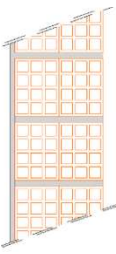
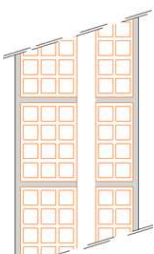
Cette mise au point faite, rappelant que le but ultime de notre recherche consiste à évaluer le comportement thermique de l'enveloppe architecturale telle qu'elle se présente dans l'habitat individuel autoproduit sous les conditions climatiques particulières de Biskra. Rappelant aussi que la finalité de l'étude par simulation paramétrique est de tester les possibilités d'amélioration et d'optimisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe tout en respectant les spécificités propres à l'habitation autoproduite en lotissements.

Cette évaluation a déjà été réalisée moyennant une étude empirique où des prises de mesures ont été effectuées sur un ensemble d'habitations existantes. Maintenant, il s'agit de procéder à une évaluation qui se fera sous forme d'une simulation numérique avec le logiciel TRNSYS17. Différents cas de figures se rapportant aux caractéristiques matérielles de l'enveloppe, seront, alors, testés.

### VI.3.3 Élaboration du modèle virtuel

La simulation a pris comme point de départ les cinq types de murs de façades représentatifs des systèmes constructifs répandus dans l'aire d'étude selon les résultats de l'analyse typo morphologique réalisée en amont (chapitre IV). Les cinq types de murs de façades ont été désignés comme suit : Cas1, Cas2,...et Cas 5 (Tableau 6.1).

**Tableau 6.1** : Les cinq types de murs de façades les plus utilisés.

Cas1 : Murs en parpaing creux	Cas2 : Murs en parpaing plein	Cas3 : Murs simple en brique de 15cm	Cas4 : Murs double en brique de 15cm X2	Cas5 : Murs double brique avec lame d'air
				

La simulation a porté sur un modèle virtuel représentant une pièce dans une habitation individuelle, de 16 m<sup>2</sup> (4x4 m) avec une hauteur de 3 m (Figure 6.3). La pièce est menue d'une fenêtre unique de 1 x1.2 m<sup>2</sup> située au milieu du mur avec une menuiserie en bois léger et d'un vitrage simple de 4mm d'épaisseur. Les surfaces en contact direct avec l'extérieur sont la toiture et une **façade unique**, la porte donne sur l'espace intérieur. L'évaluation a porté sur la température de l'air intérieure de la zone d'étude (Figure 6.4).

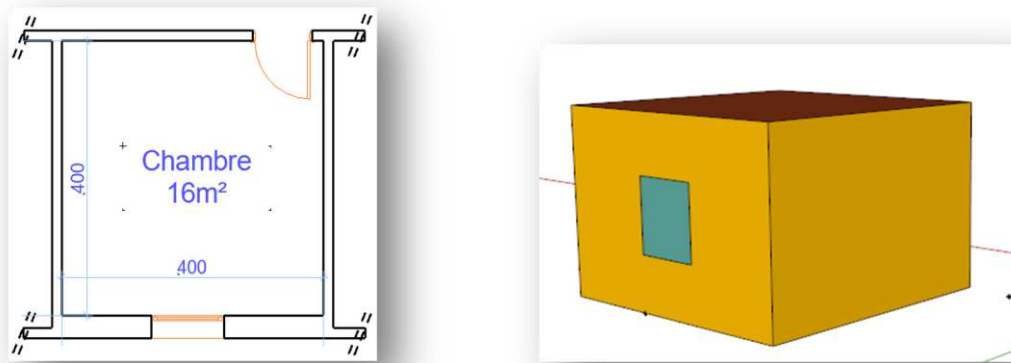


Figure 6.3 : Le modèle virtuel (Source : Auteur, 2017)

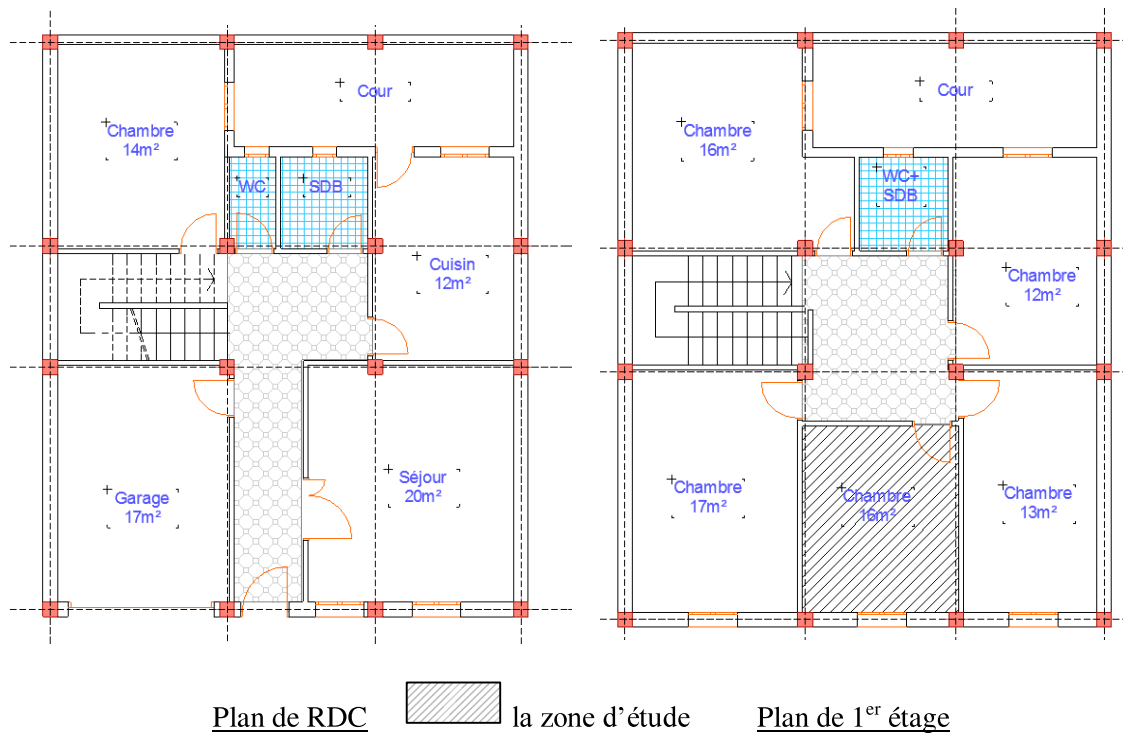


Figure 6.4 : Plans typiques d'une habitation autoproduite à Biskra (Source : Auteur, 2016)

L'analyse des données climatiques de Biskra, a permis de déterminer la période de surchauffe qui survient durant le mois de Juillet. Ce mois représente les conditions hygrothermiques les plus défavorables pour la saison estivale. L'analyse a porté sur la température ambiante obtenue en variant les caractéristiques matérielles du modèle virtuel selon cinq variantes correspondant chacune à un type de murs de façades (tableau 6.1). Ensuite, pour chaque variante, les moyens d'améliorer la performance thermique en agissant sur les paramètres propres à l'enveloppe, ont été testés. Les scénarios d'amélioration ont été proposés dans le respect des spécificités de la maison autoproduite en lotissement à Biskra.

### VI.3.4 Caractérisation physique des éléments de l'enveloppe et détermination des cas d'étude : les scénarios de simulation

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle très important dans le maintien de l'équilibre des ambiances intérieures. Cette enveloppe est composée de deux types d'éléments principaux : les parois opaques (murs et toiture) et les surfaces transparentes (fenêtres).

#### VI.3.4.1 Les murs

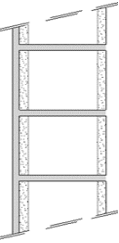
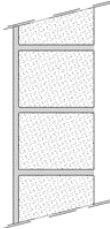
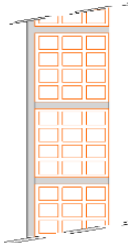
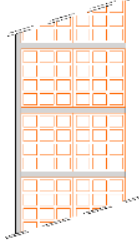
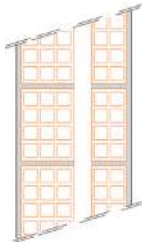
La performance thermique des parois opaques de l'enveloppe dépend des caractéristiques dimensionnelles et structurelles des éléments architecturaux (murs, dalle,...) et des propriétés thermo physique des matériaux de construction utilisée. Le Tableau 6.2., énumère les matériaux de construction les plus utilisés dans la construction à Biskra, et donne un aperçu de leurs propriétés thermo-physiques.

**Tableau 6.2 :** Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction  
(Source : DTR C 3.2. 1997)

Matériaux	Épaisseur élément E (m)	Résistance Thermique R (m <sup>2</sup> . /W)	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.°C)	Chaleur spécifique C (J/kg.°C)	Masse volumique M (kg/m <sup>3</sup> )
Parpaing creux	0,20	0.28	0.71	1080	900
Parpaing plein	0,20	0.16	1.25	/	/
Brique creuse	0,10	0,20	0.5	900	1900
Brique creuse	0,15	0,30	0.5	936	1900
Enduit en ciment	0,015	0.010	1.4	1080	1800
Enduit en chaux	0,015	0.042	0.35	936	1000
Lame d'air	0,05	0.11	0.45	1005	1.29
Polystyrène	0,05	1.38	0.036	1450	34
Corps creux + dalle compression	0.20	0.13	1.45	1080	1450
Corps creux en polystyrène + dalle compression	0.2	0.30	0.65	1600	600
Dalle flottant	0.10	0.057	1.75	1080	2500
Mortier	0.04	0.028	1.4	1080	1800
Carrelage	0.02	0.095	2.1	336	2200
Couleur	/	0,031	/	/	/

Le Tableau 6.3, présente les types de murs les plus utilisés dans la construction de façades à Biskra. Ces types désignés par (Cas1, Cas2, ...Cas5), serviront pour définir les scénarios de simulation et les tests de simulation envisagés.

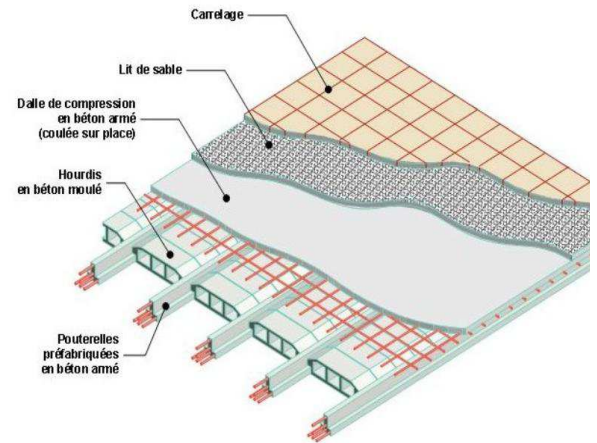
**Tableau 6.3** :Détails des murs les plus courants à Biskra. (Source : Auteur,2016)

Les murs extérieurs				
Cas1 : Mur simple en parpaing creux	Cas2 : Mur simple en parpaing plein	Cas2 : Mur simple en brique creuse	Cas4 : Mur double paroi en brique creuse	Cas5 : Mur double paroi en brique creuse et lame d'air
Enduit Ext. 1.5cm	Enduit Ext. 1.5cm	Enduit Ext. 1,5cm	Enduit Ext. 1,5cm	Enduit Ext. 1,5cm
Parpaing creux 20cm	Parpaing plein 15cm	Brique creux 15cm	Brique creux 15cm	Brique creux 15cm
Enduit Int. 1cm	Enduit Int. 1cm	Enduit Int. 1cm	Brique creux 15cm	Lame d'air 5cm
			Enduit Int 1cm	Brique creux 10cm
				Enduit Int. 1cm
				

#### VI.3.4.2 Les toitures

Le toit est l'élément le plus important car il reçoit une grande quantité de radiations solaires par rapport aux parois verticales des murs, de plus, son ombrage est difficile. Une attention spéciale devra être portée aux composants de la toiture dont les caractéristiques dimensionnelles et matérielles déterminent la quantité des échanges de chaleur qui s'effectuent à son niveau. Dans la réalisation la maison autoproduite en lotissement à Biskra, le plancher en corps creux est le procédé le plus utilisé. La figure 6.5 illustre ce type de plancher qui se compose de (Int à Ext) :

- Couche mince de peinture
- Couche de 02 cm d'enduit plâtre ou en ciment
- Blocs d'hourdis en béton ou en brique de 16 cm d'épaisseur
- Dalle de compression de 4 cm en béton armé d'un treillis soudé
- Poutrelles en béton armé
- -mortier de ciment
- Revêtement en carrelage



**Figure 6.5:** Détail d'un plancher en béton armé avec poutrelles et hourdis (plancher à corps creux)

Le Tableau 6.4, énumère les types de toitures les plus utilisées dans la construction à Biskra. Ces types désignés par (T1, T2, ...T4), serviront pour effectuer les tests de simulation.

**Tableau 6.4 :** Type des toitures les plus courants à Biskra. (Source : Auteur, 2017)


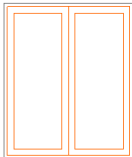
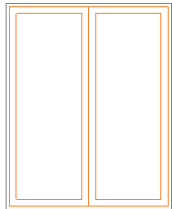
Les toitures (Ext-Int)			
T1	T2	T3	T4
-Béton armé 4cm -Hourdi creux 16cm -Enduit mortier Int 1.5cm	-Béton armé 4cm -Corps creux de terre cuite 16cm -Enduit mortier Int 1.5cm	-Carrelage 3cm -Mortier de ciment 3cm -Béton armé 4cm -Hourdi creux 16cm -lame d'air 5cm -Faux plafond 2.5cm	-Carrelage 3cm -Mortier de ciment 3cm -Béton armé 4cm -Hourdi creux 16cm -Enduit mortier Int 2cm

### VI.3.4.3 Les surfaces transparentes (les fenêtres)

La fenêtre est un élément très important pour un bâtiment, elle assure plusieurs fonctions conflictuelles que nous pouvons utiliser afin de rendre un environnement confortable aux occupants. Son rôle est multiple : elle détermine la quantité de la lumière naturelle, contrôle les rayonnements solaire qui pénètre de l'extérieur vers l'intérieur et définit l'infiltration de l'air et la ventilation naturelle des locaux. Du point de vue de l'ambiance thermique, plus la fenêtre est grande plus les gains solaires sont importants, ce qui augmente la température de l'air ambiant.

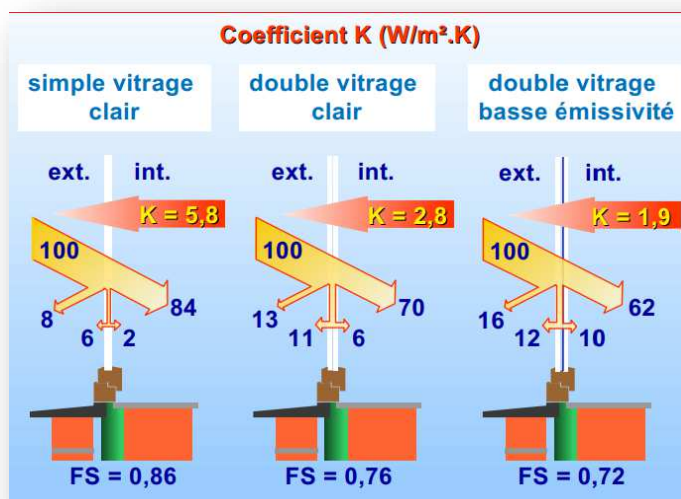
La taille de la fenêtre optimale dépend de plusieurs paramètres : la latitude, la localisation, l'orientation, les dimensions et la fonction de l'espace. Le tableau 6.5 présente les 3 variantes de dimensions de fenêtres (F1, F2, F3), proposées comme scénarios de simulation pour évaluer l'impact du ratio d'ouvertures sur la température de l'air à l'intérieur de la pièce.

**Tableau 6.5 :**Présentation des différents ratios d'ouverture testés (Source : Auteur ,2017)

Dimensions des fenêtres		
F1 (0,6 x 1m <sup>2</sup> )	F2 (1 x 1,2 m <sup>2</sup> )	F3 (1,2 x 1,5 m <sup>2</sup> )
		

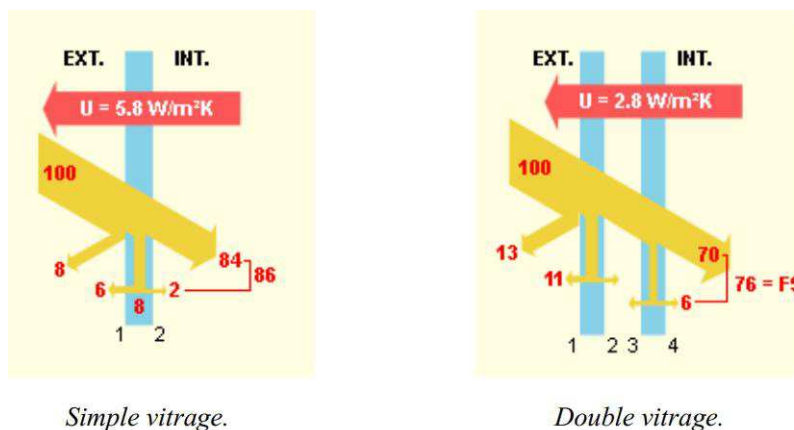
#### VI.3.4.4 Type de Vitrage

Le constituant principal du vitrage est le verre qui a la particularité d'être transparent au rayonnement visible, mais en même temps, il représente le point faible de l'isolation thermique du bâtiment. D'après Liebard et De Herde (2005) « Plus le vitrage utilisé est isolant (coefficient K faible) plus les déperditions thermique à travers sa surface sont réduites en hiver et plus le vitrage est chaud dans la face intérieure. Il s'ensuit que la température de l'air ambiant doit être moins élevée pour assurer le confort de l'occupant » (Figure 6.6)



**Figure 6.6 :**Performance thermique et type de vitrage. (Source : Liébard et De Herde, 2005)

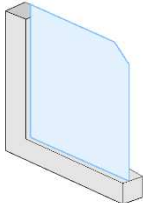
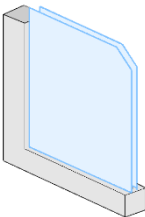
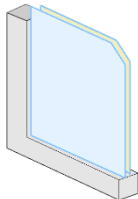
Lorsque l'énergie solaire tombe sur le verre, une partie de cette énergie incidente est réfléchie vers l'extérieur, une partie est absorbée par le matériau, une partie est transmise à l'intérieur du bâtiment. La transmission solaire du double vitrage est légèrement plus faible que celle du vitrage simple car la chaleur qui traverse le vitrage est absorbée et réfléchie par deux couches et non une seule. Les schémas suivants (Figure 6.7) donnent les coefficients de transmission thermique U et le facteur solaire FS d'un double vitrage et d'un simple vitrage (Crabbé, 2007).



**Figure 6.7 :** Transmission thermique de la chaleur à travers le vitrage.  
(Source : Crabbé ,2007).

Dans l'habitat produit actuellement en Algérie, seule le **simple vitrage** est employé au niveau des fenêtres. Généralement, il s'agit d'un type de verre clair d'une épaisseur de 3 à 4 mm, qui permet de transmettre une quantité d'ensoleillement très importante. D'autres types de vitrages existent sur le marché, mais ils sont coûteux, pas toujours disponible, et non à la portée de tous. C'est le cas du **double vitrage** qui est constitué par deux fine couches de verre rempli au milieu par une lame d'air ou du gaz d'argon (Tableau 6.6).

**Tableau 6.6 :** Présentation les différents types de vitrages testés. (Source : Auteur ,2017)

Type de vitrage		
V1	V2	V3
Vitrage simple	Double vitrage avec lame d'air	Double vitrage avec gaz d'argon
		



#### ***VI.3.4.5 Protections solaires***

D'après Steven et Szokolay (2004), on appelle protection solaire tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on ne souhaite pas voir ensoleillée. Les brises soleil sont des éléments architecturaux de protections solaires faisant parties de l'enveloppe. Ils ont une influence directe sur la performance thermique et lumineuse du bâtiment. Selon Liébard et De Herde (2005), les protections solaires sont les compléments indispensables des fenêtres dès qu'il faut limiter les surchauffes et l'éblouissement en période d'ensoleillement. A noter que les protections solaires placées sur la surface extérieure sont plus efficaces pour intercepter les gains solaires indésirables.

Dans un climat chaud et aride qui est caractérisé par des températures extérieures plus élevées que celles de l'intérieur, notamment dans la saison chaude les gains solaire peuvent être des sources de surchauffes et d'éblouissement à l'intérieur du bâtiment. Le contrôle de ces rayonnements permet d'améliorer le confort thermique et visuel des occupants. Les protections solaires devraient être dimensionnées de façon à exclure le rayonnement solaire en Été et permettre son entrée en saison d'Hiver. La position de l'occultation peut être verticale, horizontale ou combinée selon l'orientation du bâtiment.

Un choix judicieux de la forme et dimensionnement des protections solaires doit être étudié en fonction de l'orientation des fenêtres pour une latitude donnée. En règle générale, ce choix se fait en fonction de la position du soleil (hauteur et azimuth du soleil). D'après Liebard et De Herde (2005) chaque orientation reçoit une quantité différente de radiations solaires sur la surface, ainsi:

-Les pièces orientées **au Sud** bénéficient d'une lumière facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été. En effet, en hiver, le soleil bas pénètre profondément dans la maison tandis qu'en été, la hauteur solaire est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde. Le sud est l'orientation qui permet le meilleur contrôle passif de l'ensoleillement.

- Les pièces orientées à **l'Est** bénéficient du soleil le matin mais la lumière est difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver mais, en été, elle est supérieure à l'orientation sud, ce qui est peu intéressant.

-Les pièces orientées à **l'Ouest** présentent des caractéristiques identiques : possibilité d'inconfort visuel par éblouissement et surexposition en été. De plus, en Été, ces pièces étant

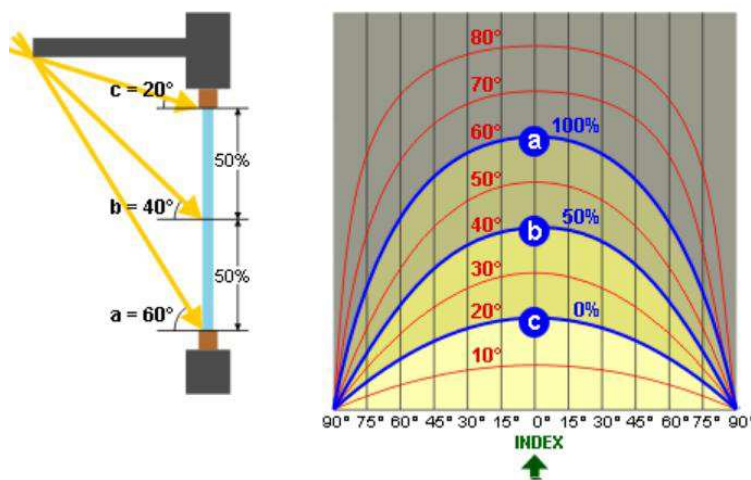
exposées à un rayonnement solaire intense qui s'additionne aux températures déjà élevées en fin de journée, il devient difficile de contrôler les surchauffes.

-Les pièces orientées au **Nord** bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, elles peuvent souffrir d'un rayonnement direct au petit matin et en soirée car le soleil est bas et ses rayons provoquent un éblouissement difficile à contrôler (Liebard et De Herde, 2005)

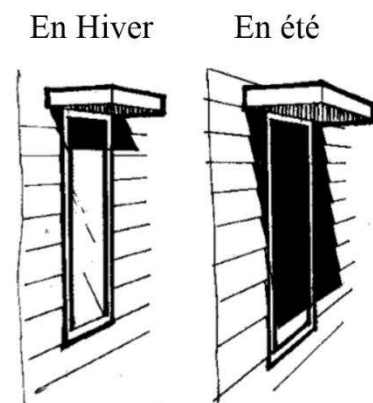
#### *a/ Protection solaire horizontale*

Pour dessiner le profil d'ombre d'une fenêtre équipée d'un écran horizontal, il faut commencer par déterminer les angles a, b et c. L'angle "a" représente un ombrage de la fenêtre de 100 %, l'angle "b" un ombrage de 50 % et l'angle "c" un ombrage nul. Ensuite, il convient de repérer les trois lignes d'ombre relatives aux angles "a ", "b " et "c" sur l'indicateur d'occultation (Figure 6.8).

Généralement on utilise ce type de protection sur la façade Sud car elle capte le plus de rayons solaires dans l'année. Elle perçoit le rayonnement solaire lorsque le soleil est le plus haut dans le ciel (Figure 6.9). Pour cette orientation, les protections solaires horizontales sont les plus efficaces, notamment celles intégrées à l'architecture, telles que les auvents, les débords de toitures, les encorbellements ou retraits de façades, les balcons...etc.



**Figure 6.8** : Profil d'ombre d'une protection solaire horizontale (Source : <https://www.energieplus.com>)



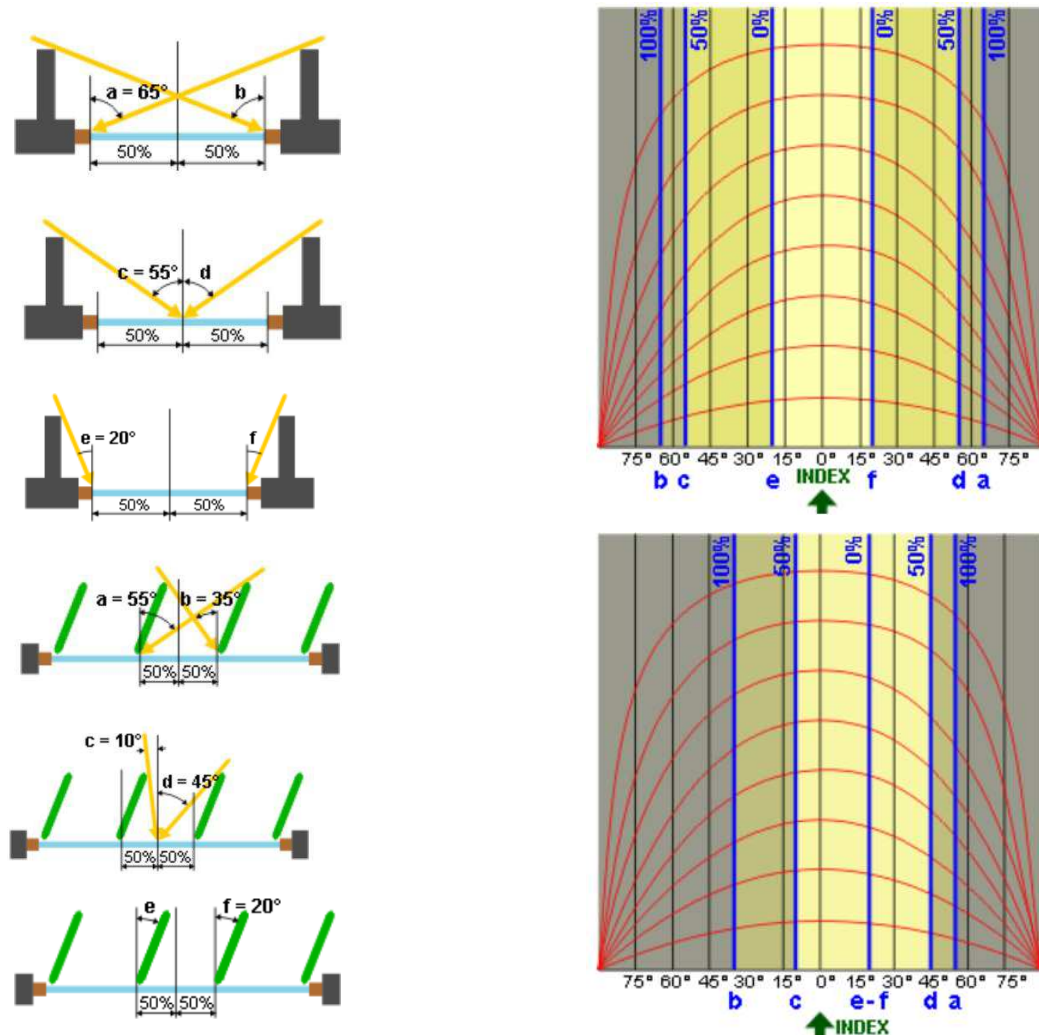
**Figure 6.9** : Ombrage d'une protection horizontale en Hiver et en Été

#### *b/ Protection solaire verticale*

Il existe deux types fondamentaux de pare-soleils verticaux : les avancées perpendiculaires à la façade et celles qui lui sont obliques. Premièrement, on détermine les angles "a" et "b". Ceux-ci correspondent à l'occultation complète de la baie. Ensuite, il faut

déterminer les angles "c" et "d" qui représentent une occultation à 50 % et enfin les angles "e" et "f" pour une occultation nulle. On trace alors les lignes verticales relatives aux angles "a", "b", "c", "d", "e", "f" à partir de la base de l'indicateur d'ombre (Figure 6.10) (www.energieplus.com consulté 8-6-2018).

Ce type de protection est utilisée sur les façades orientées Est et Ouest parce que le soleil se couche et se lève sur ces deux orientations. En toute saison, le soleil a une inclinaison importante, il se présente avec un rayonnement fortement incliné contre les façades, accroissant leur facilité de traverser les ouvertures vitrées et réchauffer les façades. Pour ces orientations, on utilise les protections mobiles telles que les stores, les volets roulants, les ailerons ou autres éléments verticaux plus efficaces dans la protection des façades.

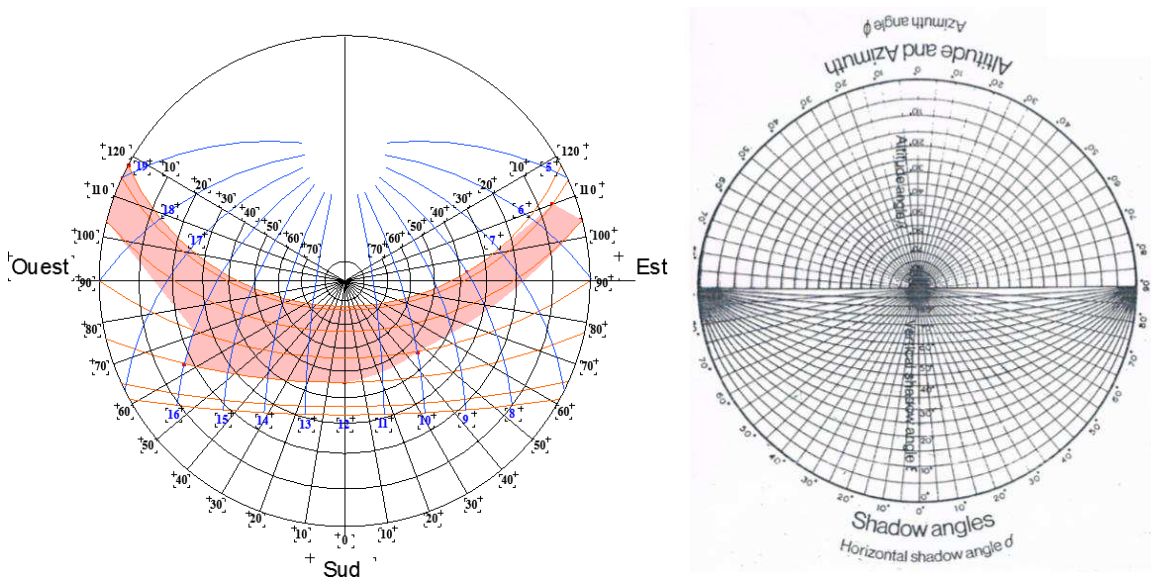


**Figure 6.10 :** Profil d'ombre protection solaire verticale perpendiculaire à la façade et inclinée (Source : Énergie plus consulté 8-6-2018).

*c/ Conception des brises soleil adaptés au climat de Biskra*

La méthode choisie pour calculer des protections solaires efficaces relativement au contexte de la ville de Biskra a été développée par les deux frères Olgyay (1973), cités par Givoni (1978). Cette méthode permet de dessiner des systèmes d'occultation en fonction des besoins de protection solaire, d'économie d'énergie, et d'éclairage naturel.

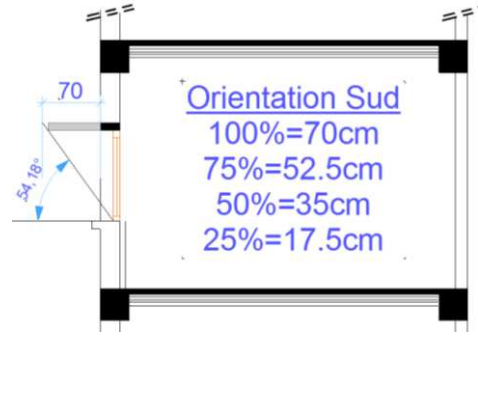
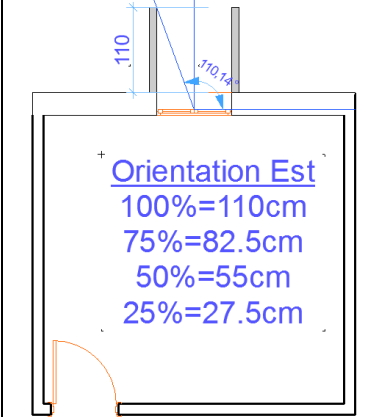
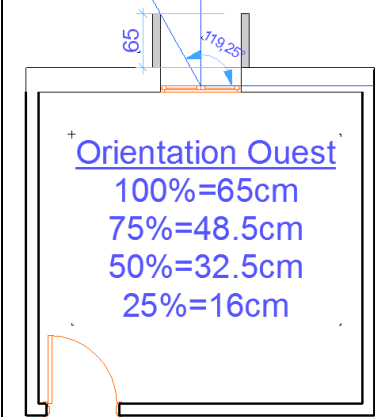
Le fondement de la méthode est d'exclure les rayonnements solaires indésirables durant la période de surchauffe. Cette zone doit être décrite dans le diagramme solaire correspondant à la région considérée (définie par la latitude du lieu). Ensuite, le masque solaire peut être calculé à l'aide du rapporteur d'angle d'ombre. Enfin, on choisit l'angle qui minimise la surchauffe en période chaude et profite des gains solaires pour la période froide (Figure 6.11).



**Figure 6.11** : Présentation de la zone de surchauffe dessinée sur le diagramme solaire de Biskra. (Source : Auteur, 2017)

L'application de cette méthode a permis de calculer les dimensions des protections solaires efficaces pour la ville de Biskra selon l'orientation de chaque façade et avec différents taux d'ombrage (25% ; 50% ; 75 et 100%) (Tableau 6.7).

**Tableau 6.7** : Pourcentage d'ombrage des protections solaires adaptées à Biskra selon l'orientation. (Source : Auteur, 2017)

Sud	Est	Ouest
 <p><b>Orientation Sud</b>                      100%=70cm                      75%=52.5cm                      50%=35cm                      25%=17.5cm</p>	 <p><b>Orientation Est</b>                      100%=110cm                      75%=82.5cm                      50%=55cm                      25%=27.5cm</p>	 <p><b>Orientation Ouest</b>                      100%=65cm                      75%=48.5cm                      50%=32.5cm                      25%=16cm</p>

#### VI.3.4.6 La couleur extérieure

D'après Givoni (1978) la partie externe de l'enveloppe d'une construction est soumise alternativement à un échauffement, pendant le jour, et à un refroidissement pendant la nuit. La grandeur de la température d'une surface externe dépend essentiellement **de sa couleur** et de **son orientation**. Selon Liébard et De Herde, (2005) la couleur et la surface (texture) des parois interviennent sur la réflexion de la lumière et des sons. La couleur et le type de surface influencent la température surfacique ( $T_s$ ) externe en améliorant ou en entravant le stockage de la chaleur.

La teinte extérieure a une influence sur la partie du rayonnement solaire incident absorbée par la paroi. La grandeur agissante est le facteur d'absorption (noté  $\alpha$ ). La valeur  $\alpha$  varie de 0 à 1, elle est fonction de la couleur, selon une règle simple : plus la couleur est «sombre», plus  $\alpha$  est proche de 0,9. Une couleur claire correspond à un  $\alpha$  égal au mieux à 0,20 (Tableau 6.8).

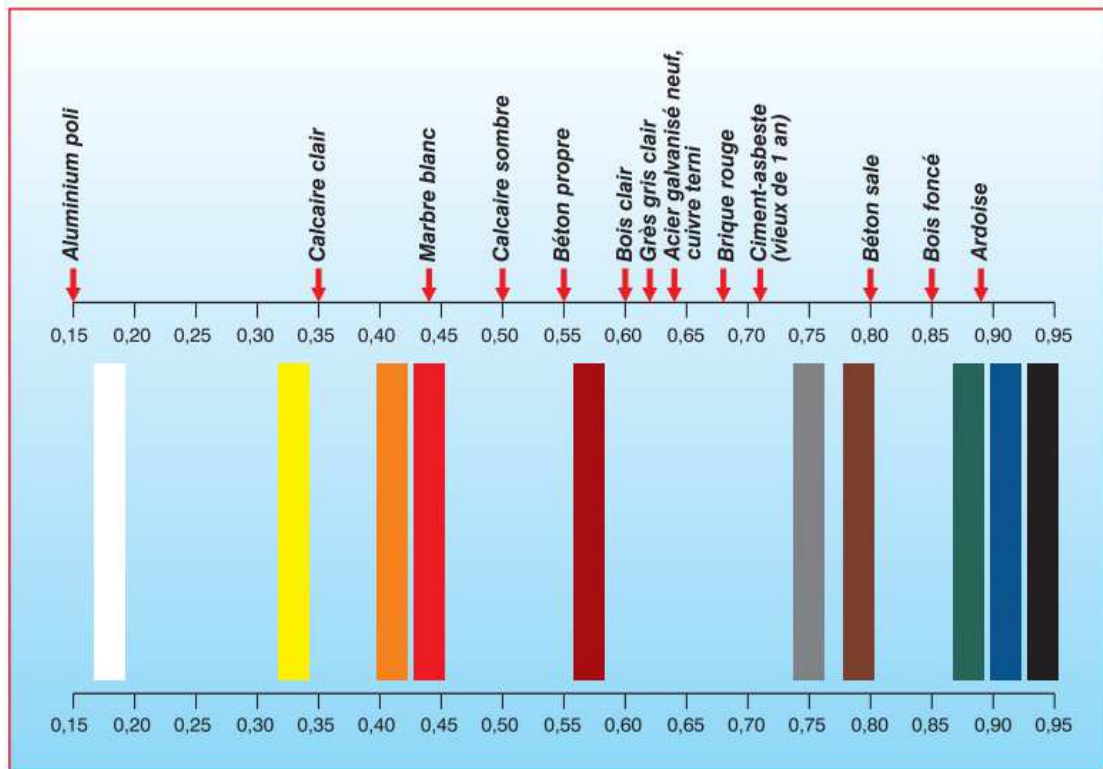
**Tableau 6.8** : L'effet de la couleur sur l'absorption thermique. (Source : Izard, 1993)

Catégorie	claire	moyenne	Sombre	Noire
Facteur Absorption	$\alpha < 0.5$	$0.5 < \alpha < 0.7$	$0.7 < \alpha < 0.9$	$\alpha > 0.9$
Couleurs	Blanc, crème, orange, rouge clair	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	Brun, vert sombre, bleu vif, bleu sombre	Noir, brun sombre

Lorsque, par exemple, la surface extérieure est peinte en blanc, l'absorption est basse et la réflexion est élevée. En effet, la couleur claire réfléchira les rayons solaires les empêchant d'entrer dans le bâtiment, alors que la couleur sombre favorisera l'absorption du rayonnement solaire. Donc, la quantité de la chaleur solaire transmise à travers le mur dépend du coefficient d'absorption de sa face externe lequel exprime le rapport entre l'énergie solaire absorbée et l'énergie solaire incidente.

Cheng (2005) affirme que l'application d'une couleur claire sur une façade est un moyen très efficace pour réduire la température intérieure et participe donc à la protection solaire du bâtiment en climat chaud et sec. En l'absence d'une peinture appliquée sur la façade, le coefficient d'absorption sera déterminé par la teinte du matériau apparent sur la face externe de la paroi. De ce fait, les couleurs de l'enveloppe doivent être choisies en fonction de l'orientation et du coefficient d'absorption du rayonnement solaire.

La Figure 6.12 présente les coefficients d'absorption  $\alpha$  pour différents matériaux et différentes couleurs.






**Figure 6.12 :** Coefficient d'absorption pour différent matériaux et différentes couleurs (Source : Liébard et De Herde, 2005)

L'étude typo-morphologique effectuée a montré que la majorité des façades urbaines autoproduites à Biskra sont non achevées. Le revêtement extérieur et la peinture font défaut, si bien que la teinte dominante des murs de façades est celle du béton (gris) ou de la brique (orange). Cependant, dans le cas où les propriétaires finissent leurs maisons, ils préfèrent peindre les parois extérieures avec des couleurs claires, et souvent ils emploient un revêtement avec une texture rugueuse. Ce qui est en soi très favorable pour réduire la quantité de rayonnement solaire reçue par les matériaux et, ainsi, minimiser la pénétration du flux de chaleur (Tableau 6.9).

**Tableau 6.9** : Présentation des différentes couleurs extérieures testées.

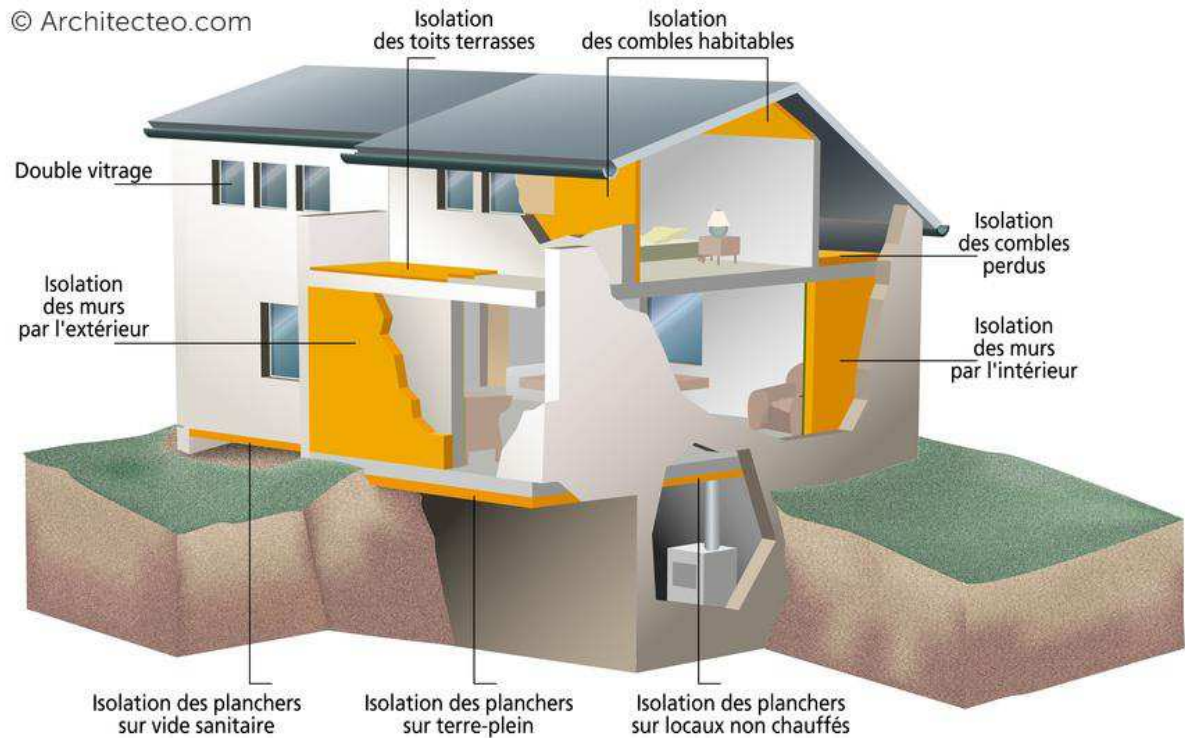
(Source : Auteur, 2017)

Les couleurs extérieures		
CCL	CMO	CSB
Couleurs claire ( $\alpha = 0.2$ )	Couleurs Moyenne ( $\alpha = 0.5$ )	Couleurs sombre ( $\alpha = 0.7$ )
Blanc	Orange	Gris foncé
		

### VI.3.5. Amélioration de la performance thermique de l'enveloppe

La fonction principale de l'enveloppe du bâtiment est de délimiter un espace intérieur confortable, à l'abri de l'environnement extérieur. Pour se faire, l'enveloppe doit résister à de nombreuses forces mécaniques et environnementales et doit conserver cette résistance tout au long de sa vie (Merzeg, 2010).

À ce titre, l'isolation thermique joue un rôle important pour réduire les pertes de chaleur par transmission à travers les composantes de l'enveloppe, paroi opaque (les murs, le toit, les planchers) et parois transparent (Les fenêtres) ; son rôle est de corriger les problèmes liés aux ponts thermiques (minimiser les déperditions thermiques) et de réduire la consommation énergétique. Dans la saison chaude l'isolant doit éviter la pénétration du flux de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment et en hiver l'isolant permet de garder la chaleur à l'intérieur donc de réduire les déperditions thermiques du bâtiment. On peut utiliser l'isolant dans les constructions neuves et en réhabilitation (Figure 6.13).



**Figure 6.13 :** Schéma des possibilités d'isolation dans une maison individuelle. (Source : [www.architecte.com](http://www.architecte.com))

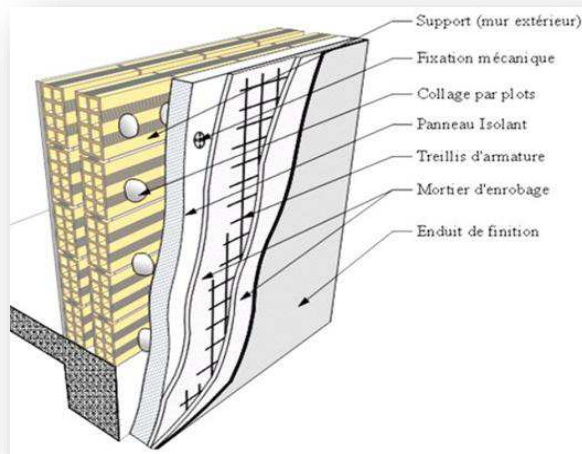
### *VI.3.5.1 Isolation thermique des parois opaques*

Pour améliorer la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments existants, on doit réduire les échanges calorifiques entre l'intérieur et l'extérieur, à travers une isolation thermique efficace, on peut isoler le bâtiment selon différentes manières (la position et le type de l'isolant) elle peut être à l'extérieur, intérieure ou intermédiaire.

#### *a/ Isolation thermique par l'extérieur*

L'isolation thermique extérieure consiste à appliquer, sur la face externe d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par un revêtement ayant également une fonction esthétique un enduit ou d'un bardage. Ce type d'emplacement de l'isolation permet de supprimer les ponts thermiques au niveau des planchers intermédiaires et des refends. Elle permet aussi de tirer parti de l'inertie des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et pour réduire l'inconfort en été (Figure 6.14).

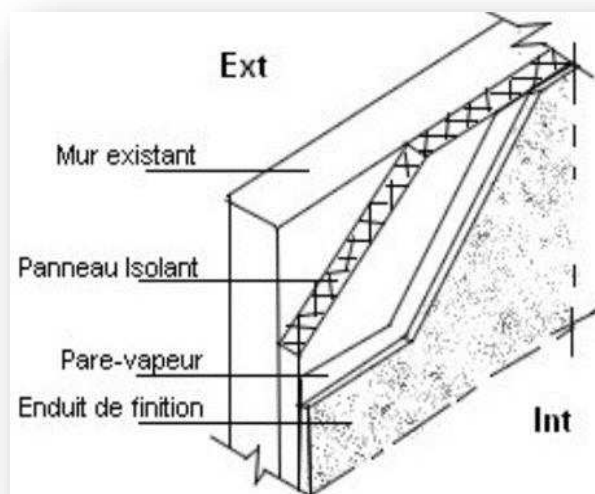




**Figure 6.14** : Détail d'isolation par l'extérieur d'une paroi verticale

### *b/ Isolation thermique par l'intérieur*

L'isolation thermique intérieure consiste à appliquer, sur la face interne d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par une finition (Figure 6.15). Ce type d'isolation permet de traiter aisément les jonctions avec les menuiseries, portes, balcons,...etc.



**Figure 6.15** :Panneau d'isolation par l'intérieur recouvert par un enduit (Source : Merzeg, 2010)

L'isolation thermique par l'intérieur présente quelques particularités sur les plans spatiaux et techniques qu'on résumera dans les points suivants (Tableau 6.10):

- Un bâtiment isolé par l'intérieur perd une grande partie de son inertie thermique ; cela a pour conséquence d'atténuer fortement le rôle de régulation thermique des parois.
- L'isolation des murs par l'intérieur exige de prendre certaines précautions lors de la mise en œuvre afin d'éviter les problèmes de condensation interne.

- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol, mur toiture et mur-mur de refend afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissures qui pourrait en résulter.

**Tableau 6.10** : Synthèse critères de sélection d'un mode d'isolation des murs.  
(Source : Haddam, 2015)


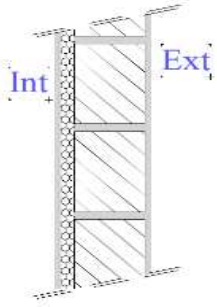
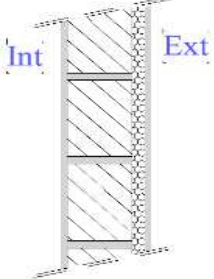
Mode d'isolation	Avantages	Inconvénients
Par l'intérieur	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût moindre</li> <li>-Aspect extérieur maintenu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Risque de condensation interne.</li> <li>- Refroidissement et humidification du mur, risque de détérioration de l'isolant par la pluie et l'humidité ascensionnelle.</li> <li>- Risque de fissuration suite aux variations thermiques du mur.</li> <li>- Perte d'inertie et de confort d'été.</li> <li>- Ponts thermiques non résolus.</li> <li>- Perte de surface au sol.</li> <li>- Finitions intérieures à remplacer.</li> <li>- Continuité du pare-vapeur difficile à assurer.</li> <li>- Installations électrique et de chauffage à revoir.</li> <li>- Risque de gel des conduites dans les murs.-</li> </ul>
Par l'extérieur	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Supprime les risques de ponts thermiques locaux.</li> <li>- Protège le mur du gel et de la fissuration.</li> <li>-Protège de la pénétration de la pluie battante.</li> <li>- Améliore l'aspect en cas de revêtement abîmé.</li> <li>- Conserve l'inertie.</li> <li>-Conserve les finitions intérieures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les retours des ouvertures doivent être isolés, les seuils et appuis remplacés, etc.</li> <li>- Éventuellement, problèmes d'alignement des façades au droit des gouttières, mitoyens, etc.</li> <li>- L'exécution de ce mode d'isolation doit être confiée à une entreprise spécialisée.</li> </ul>

L'analyse typo-morphologique effectuée a montré que pour la maçonnerie, les habitants auto-producteurs de leurs logements emploient les matériaux disponibles sur le marché, notamment, le parpaing creux et plein et la brique creuse de 15 et 10cm. En outre, l'étude a montré que les propriétaires ne semblaient pas accorder d'importance aux qualités thermique des matériaux utilisés au niveau de l'enveloppe et négligent les conditions climatiques rigoureuses de la région dans la conception, ce qui entraîne la production d'un cadre bâti inadapté à son contexte et gros consommateur d'énergie.

Ainsi, beaucoup de maisons analysées étaient réalisées en simple mur (paroi extérieure unique). Ce qui induit des situations d'inconfort (surchauffe en Été et froid en

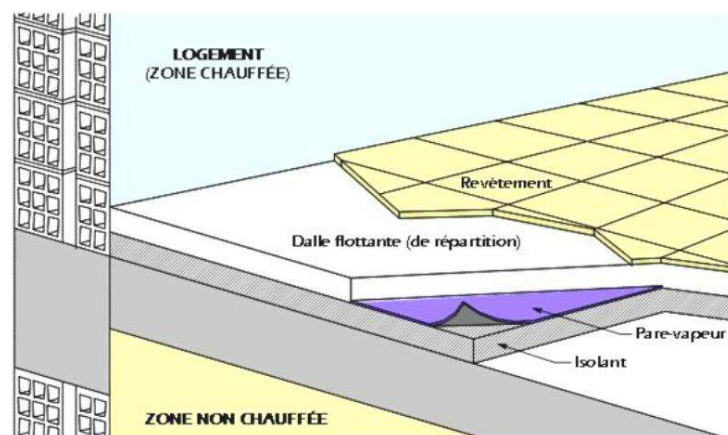
Hiver, en plus d'une consommation excessive d'énergie pour les besoins de la climatisation. Nous proposons donc d'isoler les parois verticales par du polystyrène qui est un matériau disponible dans la région et relativement peu coûteux en comparaison avec d'autres types d'isolants (Tableau 6.11).

**Tableau 6.11** : Isolation thermique des murs extérieurs par du polystyrène  
(Source : Auteur, 2017)

Sans isolation	Isolation intérieure (ITI)	Isolation extérieure (ITE)
		


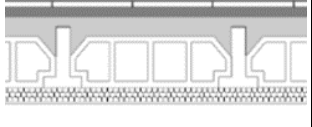
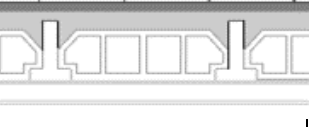

### VI.3.6 Amélioration du fonctionnement thermique de la toiture

Les apports calorifiques de la toiture peuvent représenter jusqu'aux 2/3 des gains de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment surtout dans les régions chaudes. Les toitures sont les surfaces les plus ensoleillées en Été et, ce sont également elles qui reçoivent le plus de radiation solaire tout au long de l'année. Selon l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), la toiture est responsable de 30% des déperditions thermiques du bâtiment. Pour cette raison, les spécialistes estiment que l'isolation des toitures est la plus rentable des solutions en termes de confort thermique et d'économies d'énergie (Figure 6.16). La quantité de chaleur transmise vers l'intérieur des espaces, peut être nettement réduite par l'utilisation d'une couleur blanche au niveau de la surface exposée de la toiture (Tableau 6.12).



**Figure 6.16** : Isolations d'un plancher sur une zone non chauffée

**Tableau 6.12** : Les solutions proposées pour améliorer la performance thermique de la toiture. (Source : Auteur, 2017)

Quatre variantes testées pour optimiser la toiture			
Cas de référence (Tréf)	Isolation de la toiture en polystyrène 5cm(Tisol)	Corps creux en polystyrène (CCPoly)	Recouvert la face Ext par une peinture blanche (PBlanche)
			

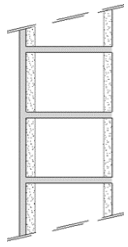
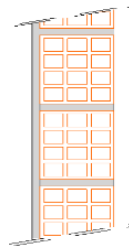
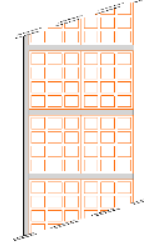


#### VI.4 Simulation paramétrique et amélioration de la performance thermique des variantes de base

Dans le but d'améliorer le confort des occupants tout en préservant l'essentiel des spécificités de la maison autoproduite en lotissement, des tests de simulation thermique ont été effectués avec TRNSYS17. Les tests de simulation effectués sur un modèle virtuel se sont d'abord fait séparément pour chaque élément de l'enveloppe, autrement dit, un paramètre relatif à l'enveloppe, afin de déterminer l'impact de celui-ci sur le confort thermique résultant. Le comportement thermique de l'enveloppe sera, à chaque fois, évalué à travers la température ambiante de la pièce telles que générée par le modèle virtuel (courbe de température intérieure ambiante pour la journée la plus chaude). Le comportement thermique le plus performant (meilleure réduction de la température ambiante) permettra de désigner à chaque fois la variante optimale pour l'élément analysé (le paramètre testé). Celle-ci sera retenue et maintenue constante pour la suite de la simulation paramétrique. Finalement, les scénarios d'optimisation ponctuels seront combinés, et les variantes optimales pour tous les éléments analysés seront cumulées jusqu'à arriver à définir la variante optimisée globale de l'enveloppe.

La simulation paramétrique a porté, à chaque fois, sur les variantes de base définies pour l'enveloppe et selon différentes orientations (Nord et Est et Sud et Ouest). Quatre variantes de l'enveloppe ont été considérées, elles correspondent aux caractéristiques les plus récurrentes dans la réalité (variantes de murs extérieurs X type courant de toiture X fenêtre de 1x1.2 m à vitrage simple) (Tableau 6.13). Sur la base de ce modèle de référence, les paramètres testés sont : 1) dimension des fenêtres (Ratio d'ouverture) ; 2) type de vitrage ;

3) protection solaire ; 4) couleur extérieure ; 5) isolation thermique des murs ; et 6) Optimisation thermique de la toiture.

**Tableau 6.13** : Le modèle de référence et les variantes de base générées selon les caractéristiques de l'enveloppe les plus récurrentes dans la réalité. (Source : Auteur, 2017)

Les murs extérieurs				La toiture
Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	
Enduit Ext. 1,5cm Parpaing creux 20cm Enduit Int. 1cm	Enduit Ext. 1,5cm Brique creuse 15cm Enduit Int. 1cm	Enduit Ext. 1,5cm Brique creuse 15cm Brique creuse 15cm Enduit Int. 1cm	Enduit Ext. 1,5cm Brique creuse 15cm Lame d'air 5cm Brique creuse 10cm Enduit Int. 1cm	Carrelage 2cm Mortier 4cm Dalle de compression 4cm Hourdi en béton 16cm Enduit Int 1cm
				

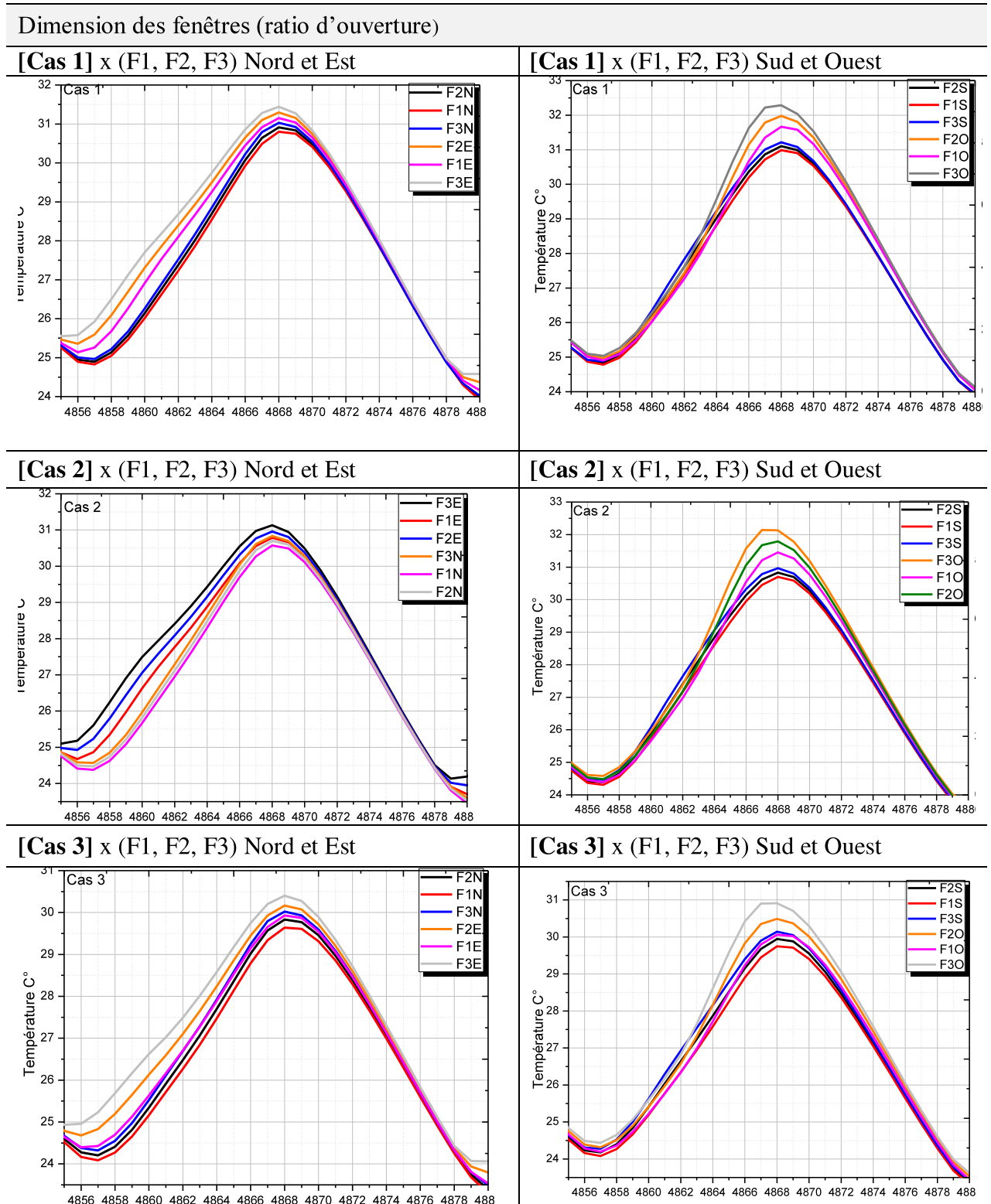
Avec une taille de fenêtre de 1x1.2 m et un vitrage simple

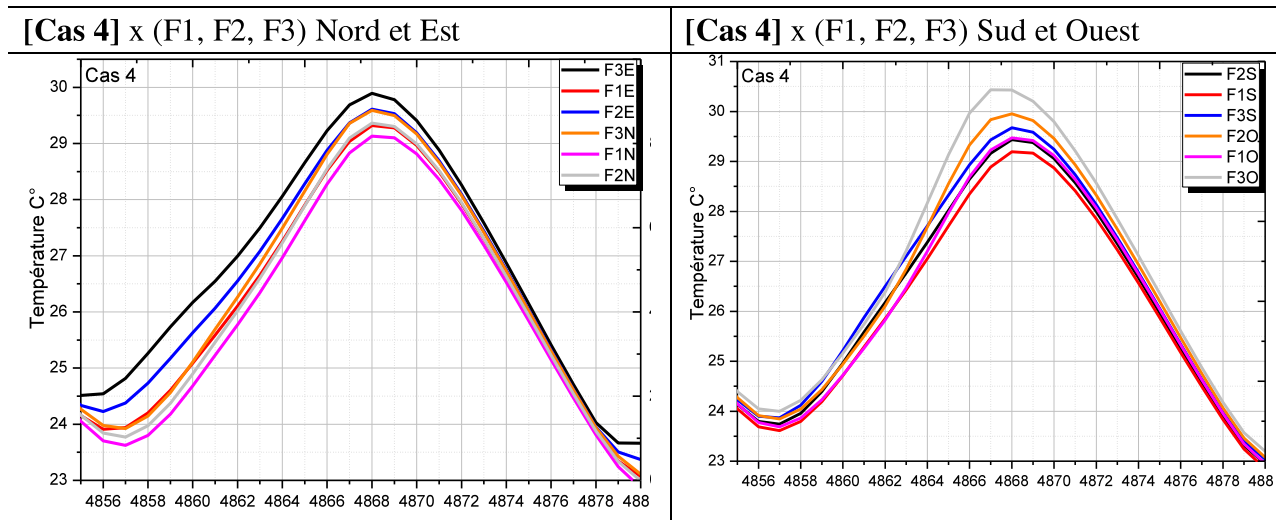
#### VI.4.1 Impact des dimensions des fenêtres (ratio d'ouverture) sur la performance thermique de l'enveloppe

Cette première série de tests paramétriques a pour objectif de connaître la taille de l'ouverture « optimale » c'est-à-dire, celle qui offre des températures ambiantes les plus réduites, en fonction de l'orientation (Nord, Sud, Est et Ouest) dans des conditions climatique de la ville de Biskra.

Trois (03) variantes de dimensions de fenêtres [**F1** (0,6 x 1m<sup>2</sup>) ; **F2** (1 x 1,2 m<sup>2</sup>) ; **F3** (1,2 x 1,5 m<sup>2</sup>)], ont été proposées comme scénarios de simulation pour évaluer l'impact du paramètre « ratio d'ouvertures » sur la température de l'air à l'intérieur de la pièce soit la température ambiante (Ta). Les résultats sont présentés dans le tableau 6.14.

**Tableau 6.14** : Températures ambiantes obtenues par variation des dimensions de la fenêtre (ratio d'ouverture) en fonction de l'orientation. (Source : Auteur, 2017)





Les résultats de la simulation (Tableau 6.14), montrent que le ratio d'ouverture est un facteur déterminant pour la quantité d'énergie solaire pénétrant à l'intérieur d'un local. Pour un climat chaud et aride, l'augmentation de la taille de la fenêtre provoque des problèmes d'éblouissement et de surchauffe.

Dans les simulations effectuées, il apparaît que le ratio F1 (0,6x1) m<sup>2</sup> donne les meilleurs résultats, par rapport aux deux autres variantes F2 et F3 ; par exemple dans l'orientation Ouest la température de l'air doit atteindre une valeur maximale de 32.2°C dans un simple mur pour une grande taille de fenêtre F3(1.2x1.5m<sup>2</sup>) et entre 31.4 °C et 31.6 °C dans F1 avec un écart thermique variant entre 0.6 et 0.8°C .par contre dans les murs en double cloison ,on enregistre un écart thermique de 1°C entre petite fenêtre F1 et grande fenêtre F3.

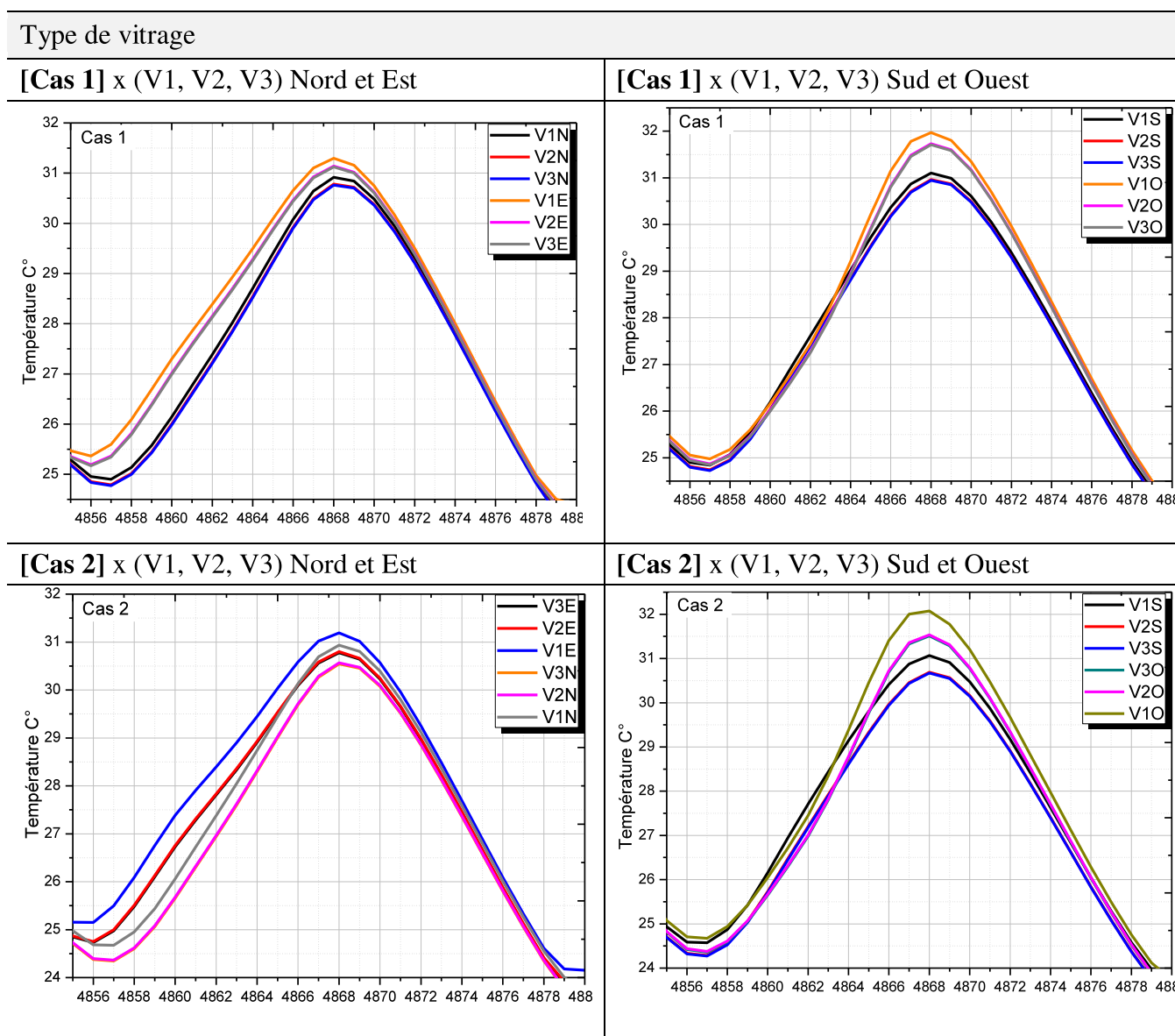
Dans les parois orientées Nord et Sud l'écart thermique n'est pas perceptible avec un intervalle de 0.2°C dans les trois tailles de fenêtres simulées et différent matériaux de construction, on peut dire que l'orientation Nord et Sud, ont presque les mêmes valeurs de température, justifie par des apports solaire qui sont plus faible par rapport Est et Ouest.

Pour cela, on peut conclure que l'impact de la taille de fenêtre et l'orientation de bâtiment sont important dans la réduction de la température durant la période d'été pour éviter le problème de surchauffe et éviter le l'éblouissement. Lorsque l'augmentation de la taille de fenêtre influe sur l'augmentation de la température intérieure. On constate aussi que l'orientation Est et Ouest présente des températures plus élevées dans les trois taille de fenêtres simulées, car elles bénéficient des apports solaires plus important, en comparant de l'orientation Nord et Sud.

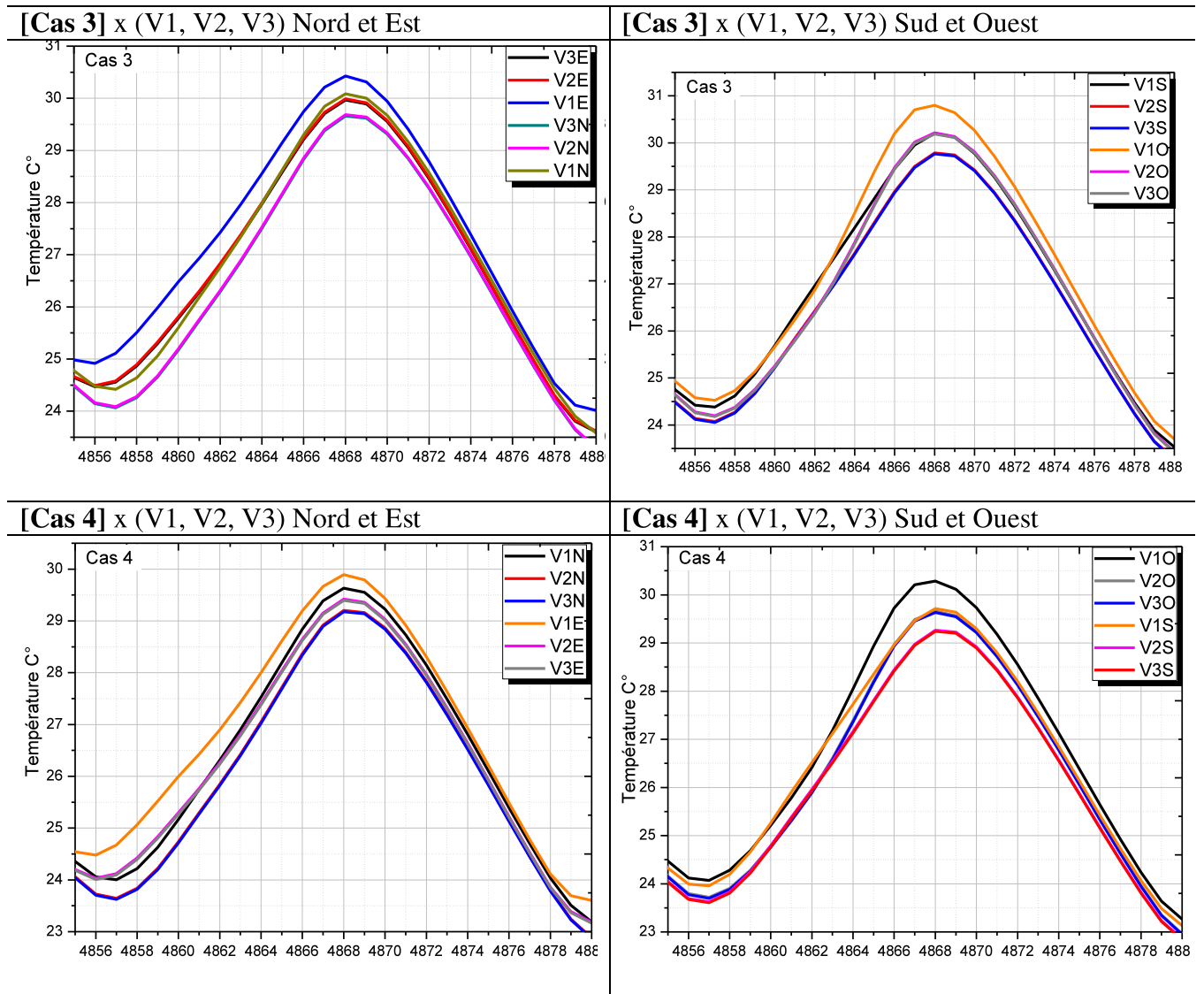
### VI.4.2 Impact du type de vitrage sur la performance thermique de l'enveloppe

Une autre série de tests par simulation a été effectuée, cette fois pour évaluer l'influence du type de vitrage sur la performance thermique de la pièce dans les quatre orientations (Nord, Sud, Est et Ouest). Trois types de vitrage ont été testés [V1 : simple vitrage ; V2 : double vitrage avec lame d'air ; V3 : double vitrage avec gaz d'argon]. Les résultats présentés dans le Tableau 6.15 montrent que la qualité de vitrage influe sur la température intérieure de la locale.

**Tableau 6.15** : Comparaison entre le fonctionnement thermique des quatre variantes de base en testant plusieurs alternatives de vitrages selon l'orientation. (Source : Auteur, 2017)







Après la comparaison entre les graphes obtenus dans le Tableau 6.15 avec les quatre variantes de base (matériaux de construction) en fonction des quatre orientations, il apparaît que dans les quatre cas simulés les fenêtres constituées par un double vitrage V2 (Double vitrage avec lame d'air) et V3 (Double avec gaz argon) sont plus performantes par rapport à une fenêtre avec un simple vitrage V1 (cas de référence),

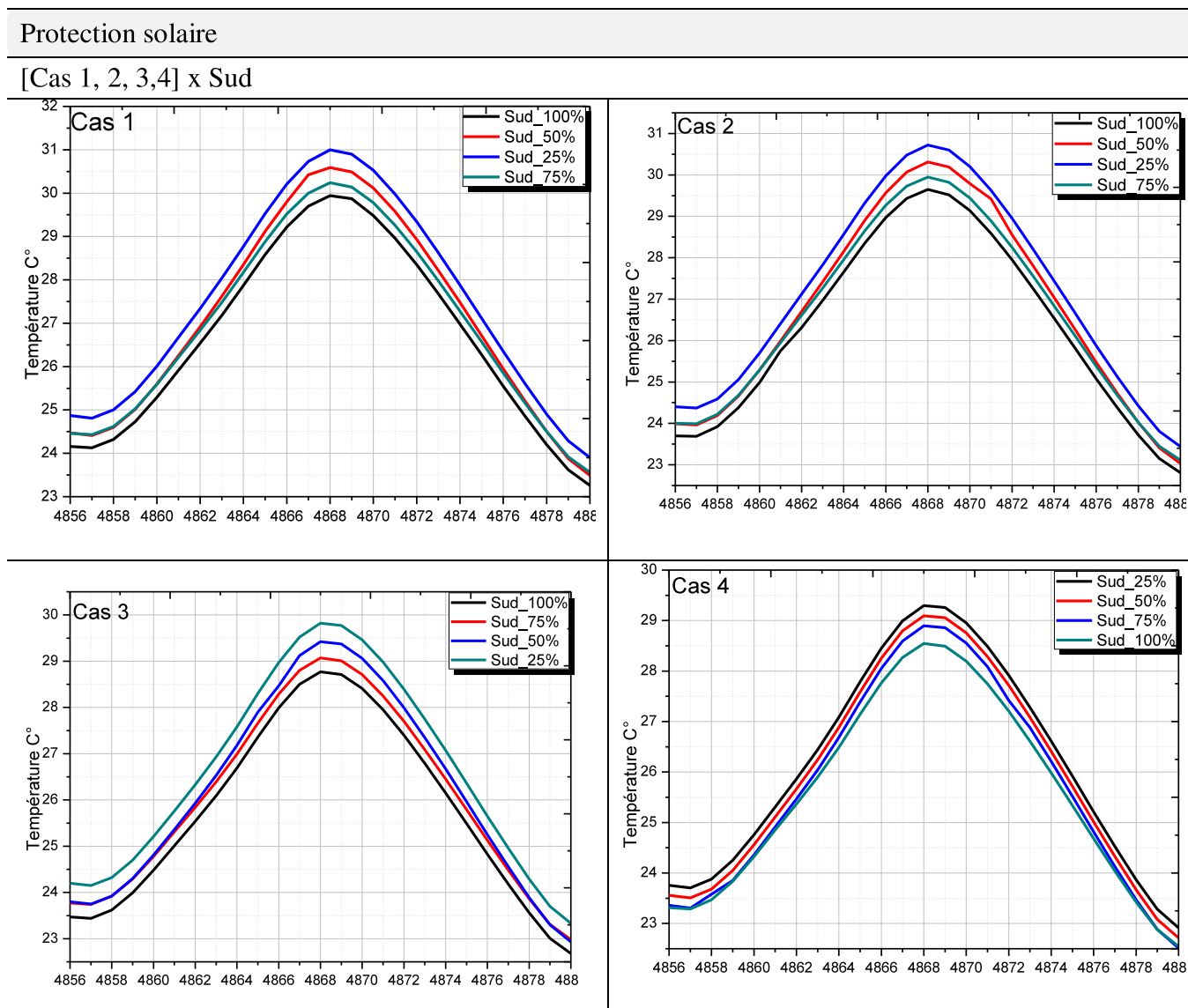
Dans la façade orientée vers l'Ouest, on peut diminuer la température ambiante jusqu' à 0.7°C dans les murs qui sont construit en double cloison et pour les pièces modélisées en simple mur l'écart moyen de température est de l'ordre de 0.4°C. Par contre dans l'orientation Nord et Est, on remarque qu'il y a une différence légère ne dépassent pas 0.4 °C dans les quatre cas simulés. Pour les parois orientées vers le Sud, on observe un écart thermique de 0.5°C pour des murs en double cloison et une différence de 0.3°C pour les

murs simples. Donc les caractéristiques du vitrage ont une influence considérable sur les conditions de confort des occupants.

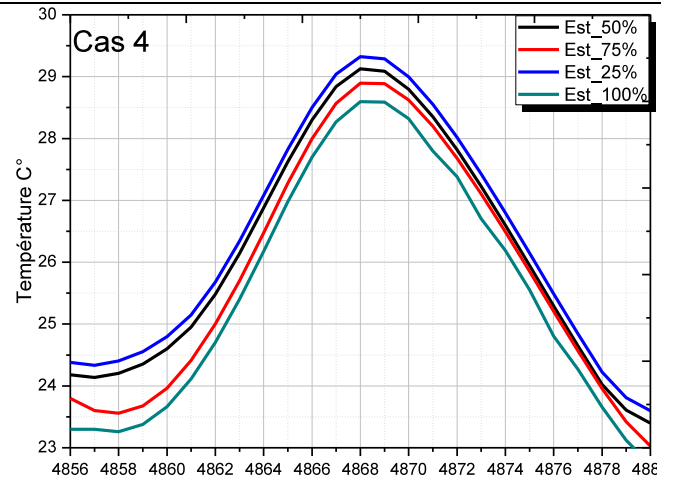
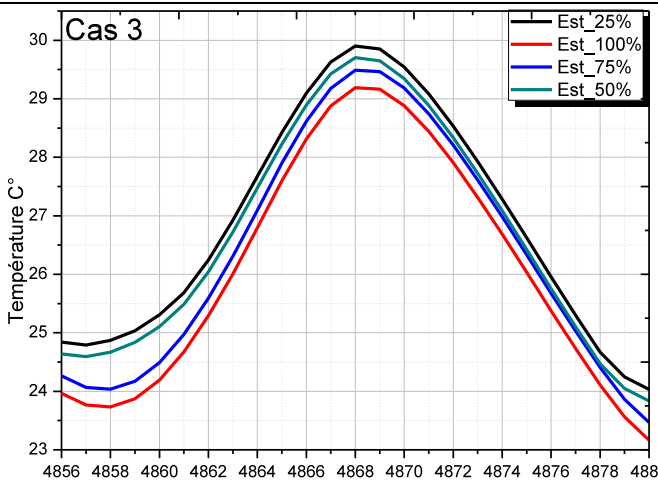
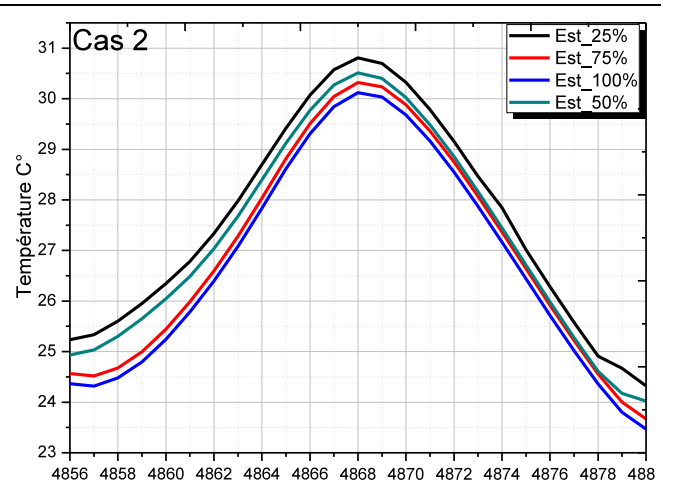
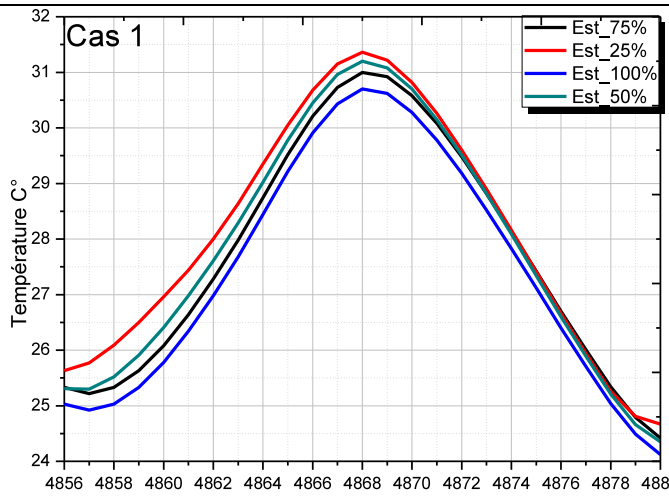
### VI.4.3 Impact des protections solaires sur la performance thermique de l'enveloppe

Pour cette série des tests de simulation, l'effet des protections solaires sur la température ambiante va être testé. Le Tableau 6.16 présente les résultats de la simulation effectuée pour l'optimisation de l'enveloppe par l'utilisation des protections solaires en fonction de trois orientations (Sud, Est, Ouest), l'orientation Nord, n'a pas été considérée car elle bénéficie des rayonnements solaires diffus et donc la protection solaire n'est pas nécessaire dans cette direction. Quatre variantes de protections solaires sont testées selon différents taux d'ombrage (25% ; 50% ; 75 et 100%) .

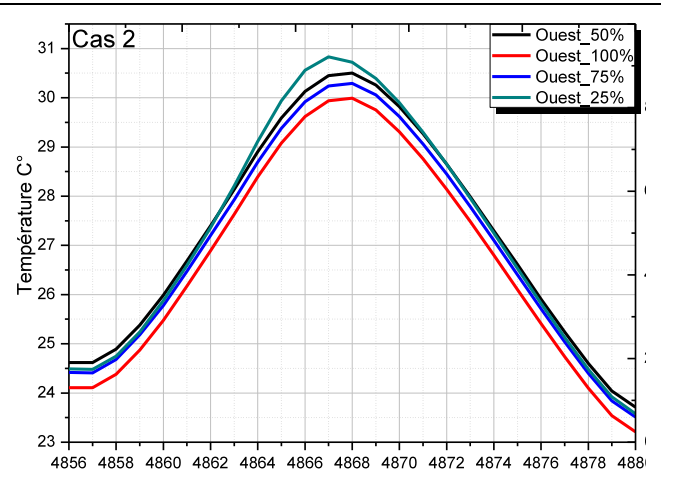
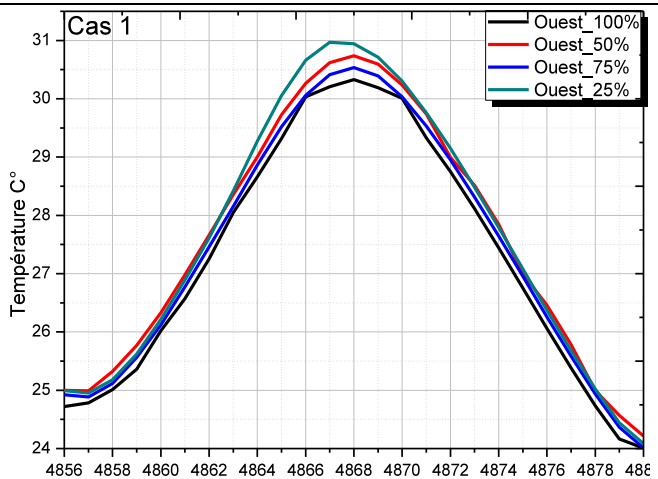
**Tableau 6.16** : L'impact des quatre variantes de protections solaires sur la température ambiante selon l'orientation. (Source : Auteur, 2017)

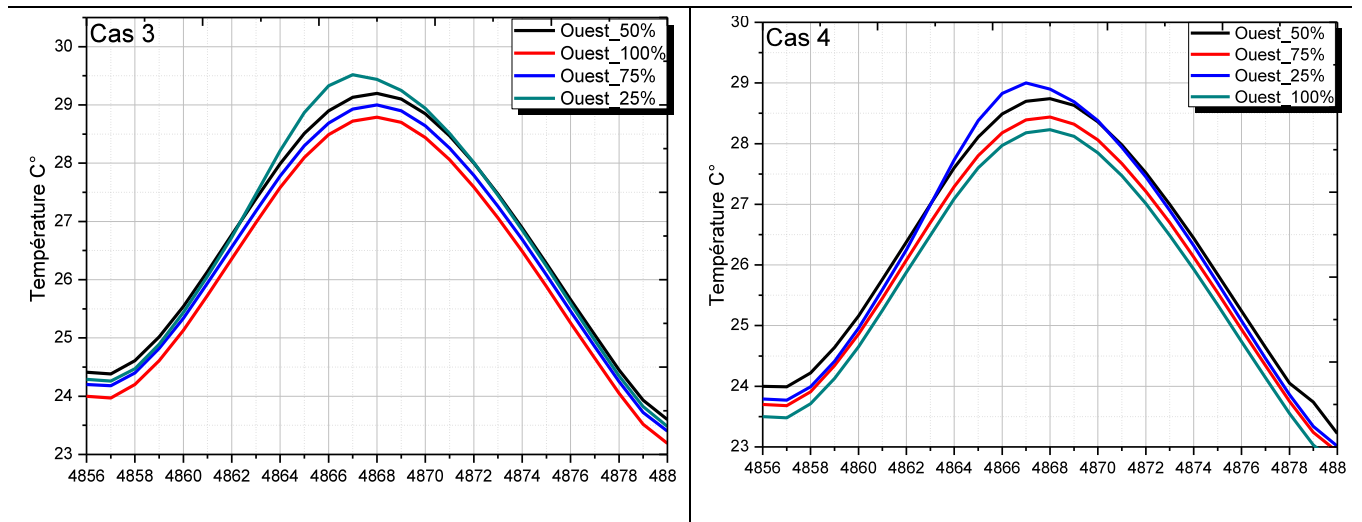


[Cas 1, 2, 3,4] x Est



[Cas 1, 2, 3,4] x Ouest





La lecture des graphes obtenus, indique que les dimensions des protections solaires ont un impact non négligeable sur les variations de la température intérieure. Ainsi, les résultats enregistrés dans l'orientation **Est et Ouest** sont presque identiques en termes de performance thermique avec une diminution de température à peine perceptible. Par ailleurs, la protection solaire verticale avec 100% d'ombrage, offre des températures inférieures par rapport à une protection de 25% protégée, avec une température maximale entre 30.8 à 31.4 °C et minimale de 30 à 30.7 °C avec un écart thermique de 0.7°C dans un simple mur, par contre dans les murs en double cloison, on enregistre des températures inférieures variant entre 28.2 à 28.8 °C et maximal de 29.4 à 30 °C.

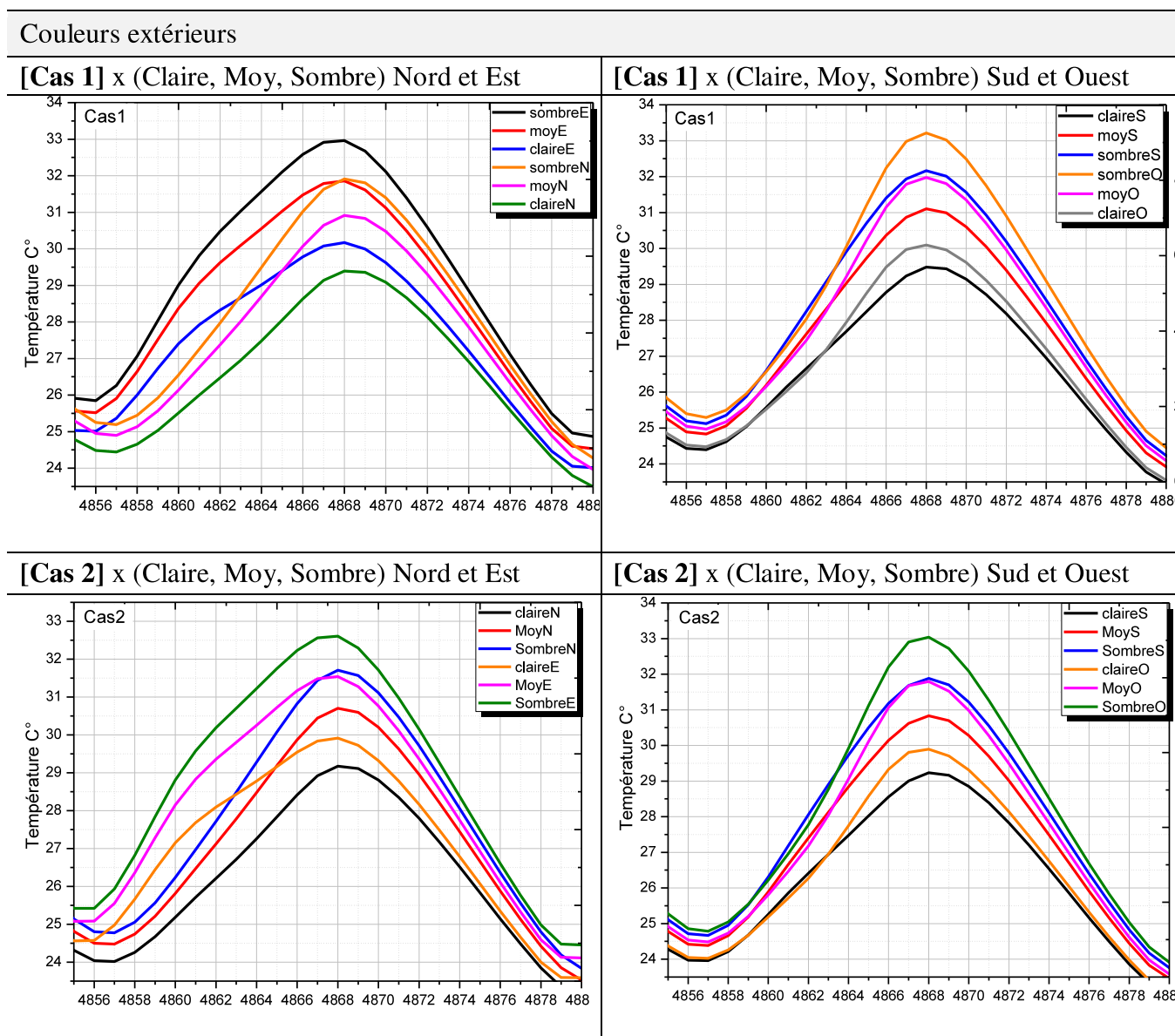
Pour les fenêtres orientées Sud les graphes, montrent un abaissement de température perceptible avec un écart de l'ordre de 1.2 °C entre une protection 100% protégée et 25%, avec des températures maximales de 29.5 à 31 °C et minimales peut arriver entre 28.3 °C à 28.9 °C. Ce qui explique l'importance de la protection des fenêtres pour réduire de la température intérieure et pour minimiser les gains directs des rayons solaires.

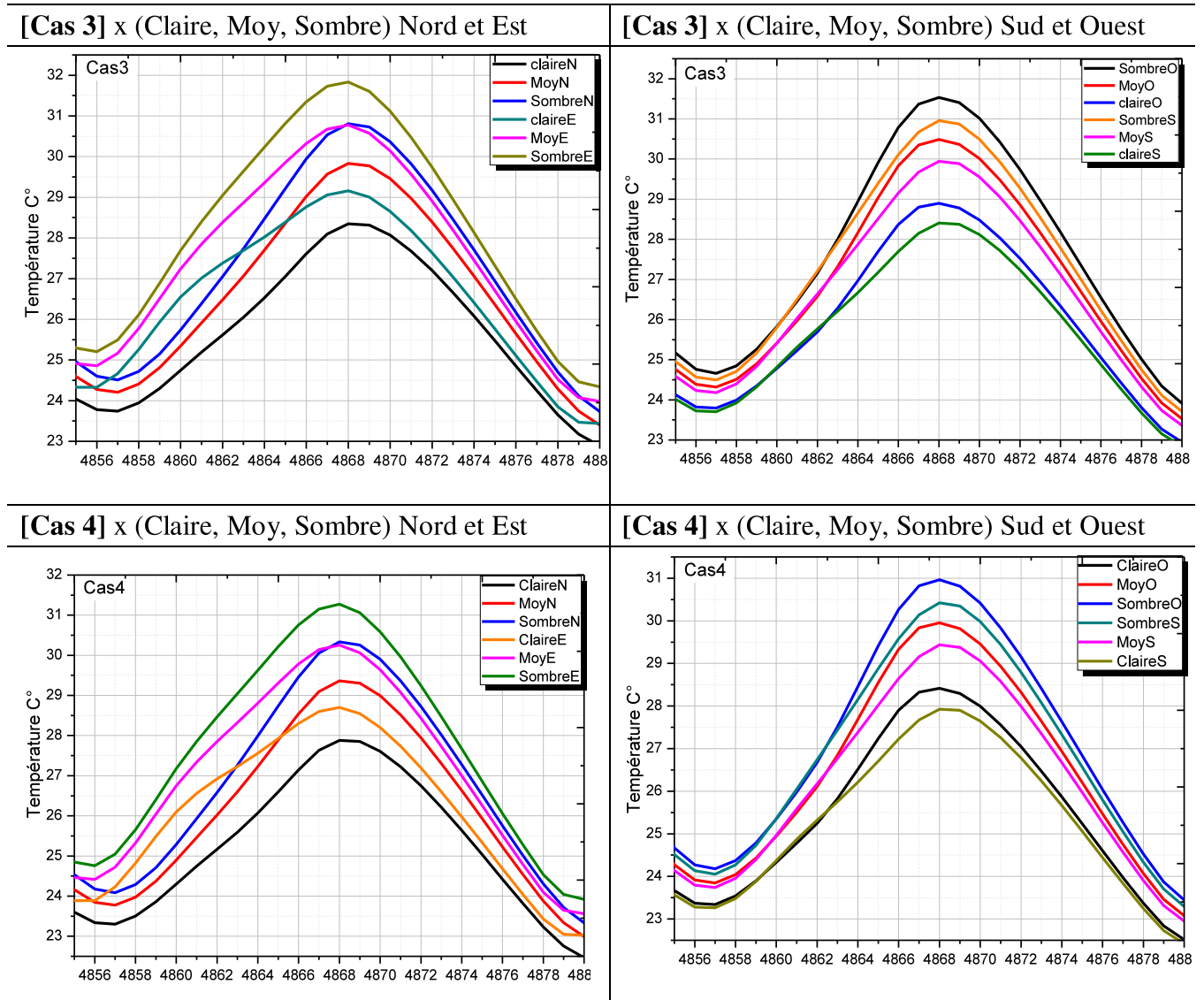
Ces résultats permettent de conclure que l'occultation de la fenêtre durant la période estivale permet d'atteindre des températures intérieures plus basses. Les facteurs qui contribuent à optimiser le rôle de la protection solaire sont : l'orientation du bâtiment, le type de l'occultation et ses dimensions.

### VI.4.4 Impact de la couleur extérieure sur la performance thermique de l'enveloppe

Un autre paramètre de l'enveloppe a été simulé ; il s'agit de la couleur extérieure des façades et son impact sur la température intérieure. Trois alternatives de couleurs ont été testées : la couleur claire ( $\alpha = 0.2$ ), la couleur moyenne ( $\alpha = 0.5$ ) et la couleur sombre ( $\alpha = 0.7$ ). Chaque couleur se distingue par un coefficient d'absorption du rayonnement solaire différent. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.17

**Tableau 6.17** : Comparaison entre l'impact sur le fonctionnement thermique de l'enveloppe de différentes couleurs extérieures et en fonction de l'orientation.





Après l'analyse des résultats obtenus avec les trois teintes extérieures pour la période estivale, on constate que la couleur extérieure a une influence sur la quantité de rayonnement solaire absorbée par la paroi. Ainsi, l'utilisation des couleurs sombres, entraîne une élévation de la température de l'air intérieure en comparaison avec les couleurs moyennes et les couleurs claires, ce qui s'explique par l'augmentation du coefficient d'absorption des couleurs.

En prenant en considération le facteur de l'orientation, il apparaît qu'une paroi de couleur sombre ( $\alpha = 0.7$ ) et, en même temps, orientée vers **l'Ouest** représente la situation la plus défavorable du point de vue de la température ambiante pour les quatre variantes de l'enveloppe. La température enregistrée à l'intérieur de la pièce (exposée vers l'extérieur uniquement dans la direction Ouest) a atteint une valeur maximale entre 31°C et 33.2°C pour

la couleur sombre. Par contre, avec une couleur moyenne ( $\alpha = 0.5$ ), le maximum atteint est de 30°C à 32 °C. Enfin, avec une couleur claire ( $\alpha = 0.2$ ), la température ambiante était nettement moins élevée de l'ordre de 28.5°C à 30 °C. Ainsi, l'écart de température entre les couleurs claires et les couleurs sombres est de 3.2 °C. Ce résultat s'explique par le fait que les surfaces claires sont peu absorbantes vis à vis du rayonnement solaire incident.

Concernant l'orientation **Est** et pour les quatre (04) différents systèmes constructifs considérés, la température de l'air obtenue était incluse entre 31.3°C et 33 °C dans le cas d'une couleur sombre ( $\alpha = 0.7$ ), tandis que pour la couleur moyenne ( $\alpha = 0.5$ ), les valeurs de la température étaient de l'ordre de 30.3°C à 31.5 °C, et pour la couleur claire ( $\alpha = 0.2$ ), la température s'est abaissée entre 28.6°C et 30.2 °C. Finalement, un écart de 2.8 °C entre couleur claire et sombre a pu être réalisé.

Par contre, si l'on compare les températures intérieures obtenues relativement à l'orientation **Nord** et **Sud**, on remarque qu'il n'y pas une grande différence dans les résultats. Par exemple, pour la couleur sombre ( $\alpha = 0.7$ ) la température ambiante était incluse entre 30.3°C et 31.9°C dans l'orientation Nord ; tandis que dans l'orientation Sud, elle variait entre 30.5°C et 32.2°C. La couleur claire a donné des résultats similaires : pour l'orientation Nord, la température calculée correspondait à une plage entre 27.8 °C et 29.4°C, et pour l'orientation Sud, elle était de l'ordre de 27.8 °C à 29.5 °C. Ainsi, un écart de 2.5 °C a pu être relevé entre la couleur sombre et claire pour l'orientation Nord et Sud.

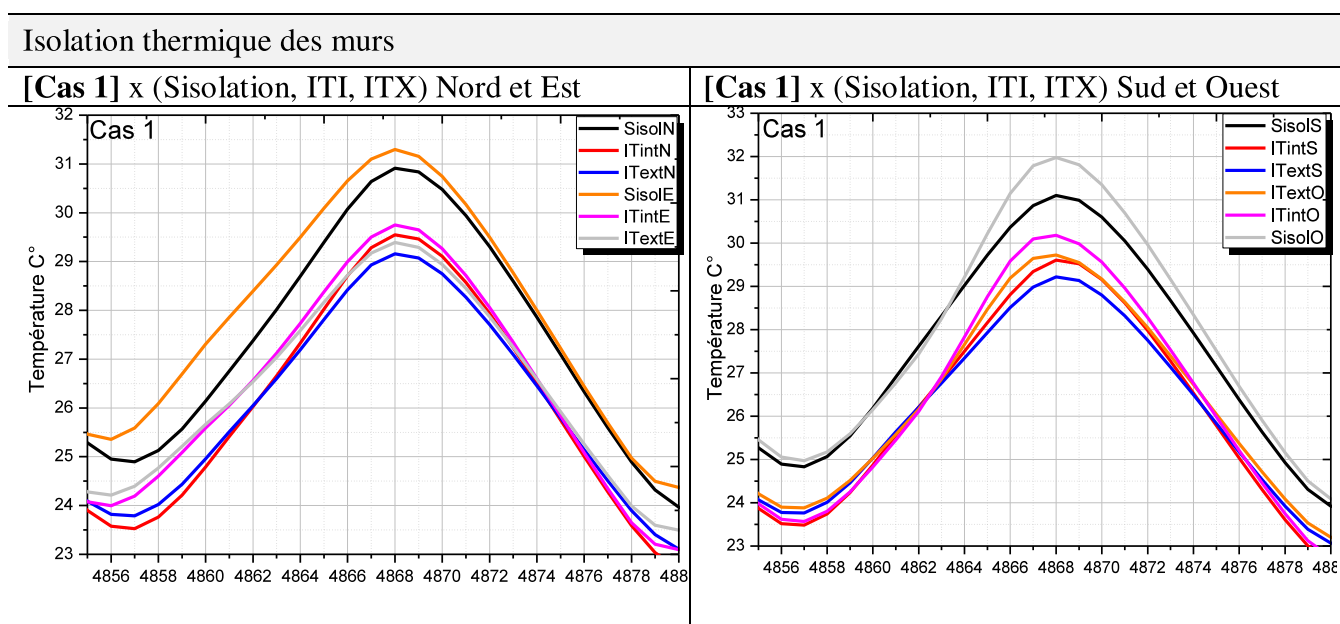
Les résultats de la simulation, confirment l'impact positif des surfaces de couleur claires dans la réduction de la température intérieure. C'est donc une stratégie simple et efficace qui participe à la réalisation des conditions de confort thermique dans les régions chaudes et arides. En contre partie, les couleurs sombres ont un effet notable sur le réchauffement de l'espace intérieur. Le régime de la température variait également en fonction de l'orientation du fait de la quantité de radiations solaires reçue par la surface réceptrice. Les variations de la température de l'air à l'intérieur de la pièce sont surtout perceptibles dans l'orientation Ouest et Est, considérant que ces directions bénéficient des apports solaires les plus importants. Les couleurs foncées sont donc à éviter pour l'Ouest et l'Est. Finalement, on retiendra, que le choix judicieux de la couleur des surfaces extérieures de l'enveloppe est très important pour améliorer la performance thermique du bâtiment, notamment en ce qui concerne les parois orientées côté Est et Ouest, où le rayonnement solaire incident est plus problématique que dans les autres orientations.

### VI.4.5 Impact de l'isolation thermique des murs sur la performance de l'enveloppe

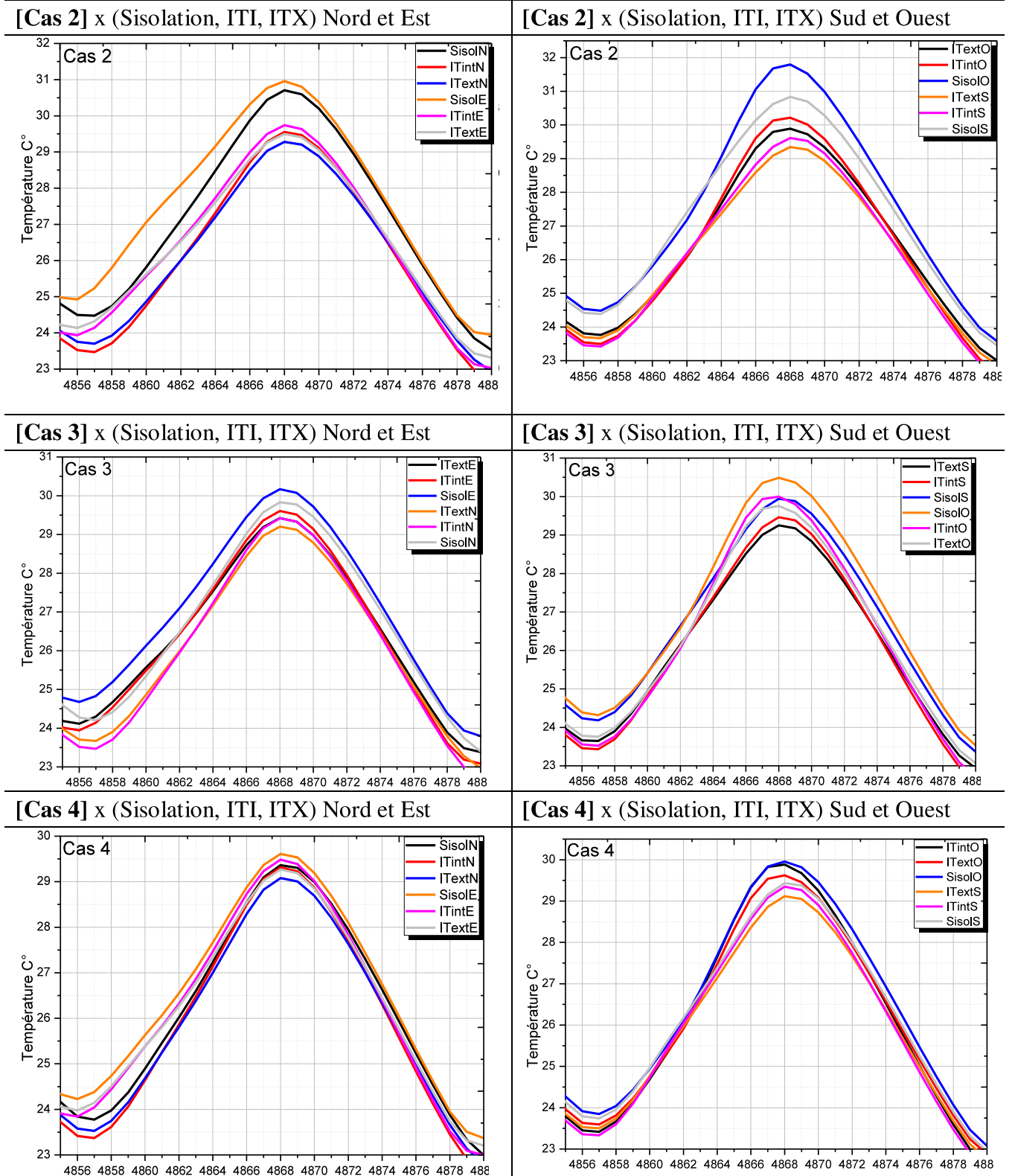
Toujours dans le but d'optimiser le fonctionnement thermique de l'enveloppe extérieure, et assurer des conditions hygrothermiques acceptables, durant la saison chaude, pour les habitants des maisons individuelles autoproduites à Biskra, le paramètre étudié dans cette série de simulation concerne l'impact de l'emplacement de l'isolation thermique des murs sur la température ambiante. Dans les conditions de la simulation, l'isolant est utilisé en tant que barrière thermique entre l'intérieur et extérieur et sert à minimiser les gains et apports thermique de l'environnement extérieur (chaud) vers l'espace intérieur (plus frais). Des tests de simulation ont été effectués pour : 1) connaître l'impact de l'isolation en comparant la performance thermique de parois avec et sans isolation, et 2) savoir quel est le meilleur emplacement de l'isolant par rapport à la paroi.

Pour ce faire, des calculs ont été, d'abord, générés pour les 4 cas de référence alors que les parois sont supposées non isolées (Sisolation) ce qui représente les conditions réelles. Dans une deuxième série de simulations, les calculs ont été effectués en supposant qu'un isolant est, successivement, utilisé sur la face interne de la paroi (ITI) et sur sa face externe (ITX); les températures intérieures obtenues pour les deux cas sont finalement comparées. Les résultats du comportement thermique de l'enveloppe, évalué à partir des températures intérieures obtenus en cas de : murs sans isolation (Sisolation), murs isolés de l'intérieur (ITI) et murs isolés de l'extérieur (ITX), sont présentés dans le tableau 6.18.

**Tableau 6.18 :**Présentation l'effet de l'isolation thermique des murs sur la température intérieure en fonction de l'orientation. (Source : Auteur, 2017)







En examinant les résultats obtenus pour la première série de simulation (Sisolation), effectuée pour évaluer le comportement thermique des parois non isolées (conditions réelles), il apparait que les températures intérieures enregistrées, sont toujours au dessus des

limites de la zone de confort intérieur. Sachant que la méthode la plus simple pour se rapprocher des conditions de confort en Été, consiste à empêcher la chaleur de pénétrer vers l'intérieur, le meilleur moyen d'y arriver c'est d'utiliser un isolant thermique.

Le tableau 6.18 présente, également, le comportement thermique de l'enveloppe du modèle virtuel, après qu'un isolant ait été utilisé sur la face interne de la paroi (ITI) et sur sa face externe (ITX). Le comportement thermique de l'enveloppe est évalué pour les quatre systèmes constructifs de référence à partir des températures intérieures de la pièce. Ainsi, pour les quatre variantes simulées, l'isolation du côté externe (courbes ITX), donne de meilleurs résultats dans la mesure où les températures intérieures de la pièce ont diminué par rapport à la première série de simulations (courbes Sisolation).

L'amélioration est nettement visible pour l'orientation **Ouest** où la température ambiante, dans les cas de murs non isolés, avait atteint une valeur maximale, respectivement, de 32°C pour une paroi simple et de 30°C pour une double paroi. Par contre, dans le cas de murs isolés du côté externe, des résultats remarquables ont été enregistrés ; ainsi, une paroi simple isolée de l'extérieur assure une réduction de la température ambiante de 1.9 °C à 2.4°C par rapport à un mur non isolé. De même, un mur en double paroi, isolé de l'extérieur, offre un écart de température entre 0.4°C et 0.7°C relativement à un mur en double paroi non isolé. L'isolation du côté interne (courbes ITI) assure un écart de 1.8°C pour un mur avec une cloison unique et de 0.4 °C pour un mur en double cloison. Finalement, l'utilisation de l'isolation, pour les murs orientés vers l'Ouest permet d'atteindre un abaissement important de la température intérieure et donc de meilleures conditions de confort thermique.

Pour l'orientation **Est**, la température ambiante, dans les cas de murs sans isolation, avait atteint une valeur maximale, respectivement, de 31°C pour une paroi simple et de 29.5°C de pour une double paroi. Avec des parois isolées de l'intérieur (courbes ITI), les valeurs de température ont diminué pour atteindre entre 29.5°C et 29.8 °C, soit un écart thermique de 1.5°C pour les murs en simple paroi et entre 0.2°C à 0.6 °C, dans le cas des murs en double cloison. Si l'isolation est utilisée sur la face externe du mur, il est possible de marquer un abaissement de la température ambiante entre 0.2°C et 0.8°C pour les murs en cloison unique et entre 1.5 et 1.9°C pour les murs en double cloison.

En ce qui concerne, les orientations Nord et Sud, la température ambiante maximale enregistrée pour les quatre variantes de systèmes constructifs testés, était de l'ordre de 31°C à 29.5°C, dans le cas de murs sans isolation. Les orientations Nord et Sud ont donc donné

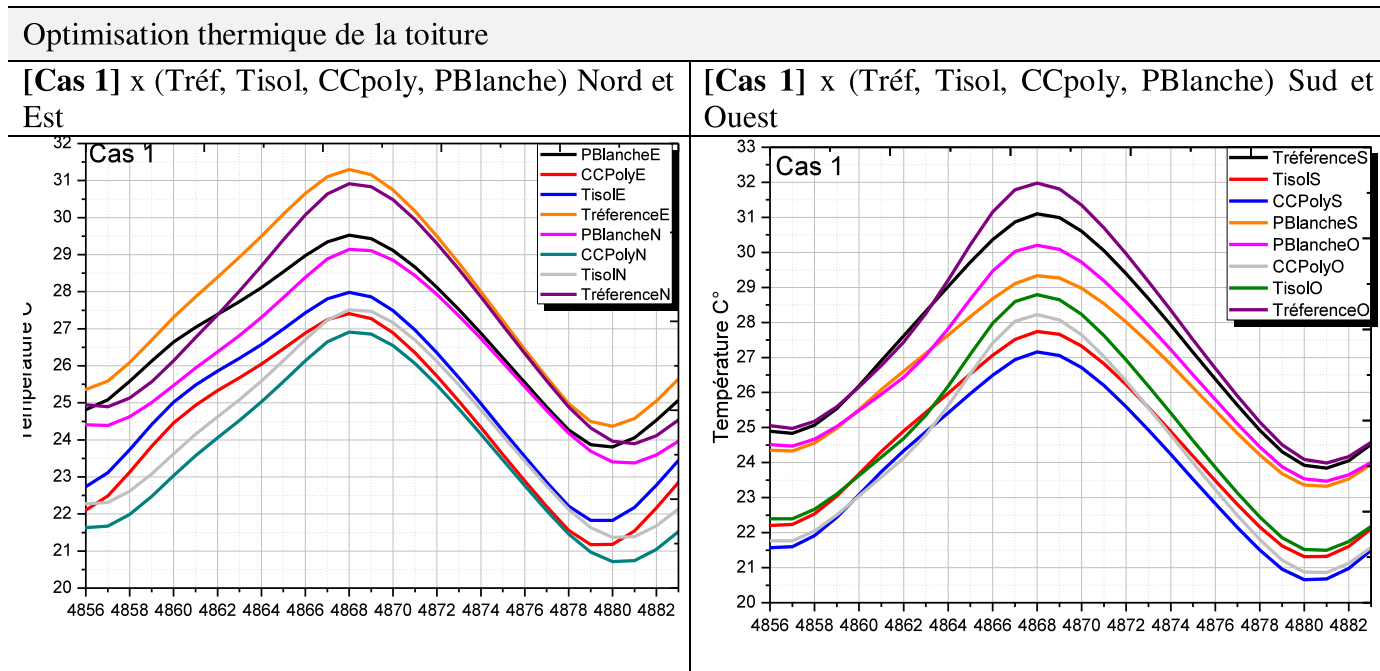
des résultats presque similaires. En introduisant le matériau isolant sur la face interne d'un mur en simple paroi, une réduction de 1.4°C de la valeur maximale Ta est réalisée. Par contre, s'il s'agit d'un mur en double paroi, l'écart de température entre Ta max des murs isolés et celle des murs sans isolation, ne dépasse pas 0.4 °C (courbes ITI). Si un isolant est utilisé sur le côté externe (courbes ITX), l'écart de Ta pour les murs en simple cloison est de 0.5°C, alors que pour les murs en double parois, il est de l'ordre de 1.4 à 1.8 °C.

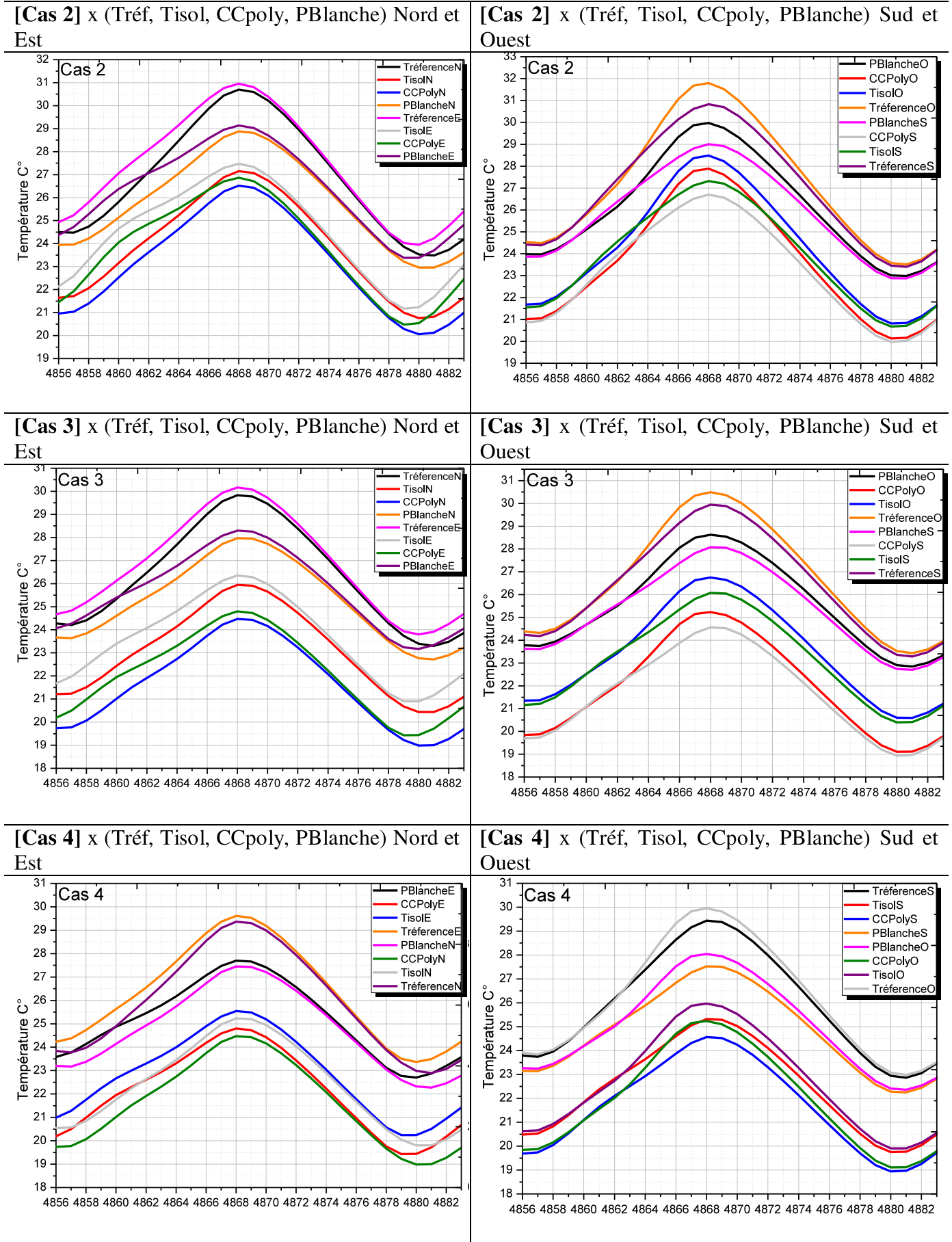
Finalement, les résultats obtenus indiquent que le meilleur emplacement de l'isolation thermique des murs pour les bâtiments situés dans un climat chaud et aride est sur la face externe de la paroi. En effet, une isolation du mur par l'extérieur améliore la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment par la mise en valeur de l'inertie.

#### VI.4.6 Optimisation thermique de la toiture

Durant la saison chaude, le toit est l'élément de l'enveloppe qui reçoit le plus de rayonnements solaires ; c'est pourquoi l'optimisation de la toiture est une exigence prioritaire. Le tableau 6.19 présente les résultats des simulations effectuées pour améliorer la performance thermique de la toiture.

**Tableau 6.19** :Présentation des alternatives d'optimisation thermique de la toiture





Dans une première série de simulation, les quatre cas de référence ont été testés avec une toiture non isolée (courbes Tréf). Les températures intérieures obtenues indiquent, pour les orientations Est et Ouest, des valeurs élevées de l'ordre de 29.6°C à 32°C. En maintenant les mêmes orientations et en introduisant la première alternative d'optimisation, soit une toiture isolée par une couche de polystyrène (Tisol), la température ambiante a diminué à 27.5 et 28.5°C. Ce qui suppose un écart thermique de 3.2 et 3.5°C pour les murs simples et de 3.7 et 4.1°C pour les murs en double cloison.

L'amélioration est, également, appréciable pour les toits construits en corps creux, où l'introduction d'une couche isolante en polystyrène (CCpoly) donne un écart thermique important de 4 °C pour un mur simple et entre 4.7 et 5.3°C pour un mur en double paroi. La dernière alternative d'optimisation de la toiture a consisté à l'application d'une peinture blanche sur la face extérieure du toit. Les courbes de températures (PBlanche) obtenues montrent qu'il y a un abaissement de la température de l'ordre de 1.8°C pour les quatre variantes de modèles constructifs testés.

Si les modèles testés sont orientés Nord et Sud, les résultats de la température de l'air sont dans la zone de confort après l'application des solutions de l'amélioration. Par exemple, on enregistre des températures entre 25 °C et 27°C quand la toiture est isolée par du polystyrène soit un écart thermique entre 3 °C et 4.2 °C par rapport aux modèles de référence (toiture non isolée). Pour les toits avec un corps creux en polystyrène, les valeurs de la température intérieure sont comprises entre 24.5°C et 26.5°C avec une réduction entre 4 °C et 5.3 °C vis-à-vis du cas de référence. Pour la toiture peinte en blanc, l'écart thermique enregistré est de 1.8°C.

## **VI.5 Vers une optimisation de la performance thermique de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite à Biskra**

Le but de ce chapitre était d'évaluer les possibilités d'amélioration et d'optimisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe architecturale de l'habitation autoproduite à Biskra, tout en respectant ses spécificités. Sur la base d'un modèle virtuel, et en procédant à des simulations paramétriques avec le logiciel TRNSYS17.

Quatre variantes de l'enveloppe ont été considérées, elles correspondent aux caractéristiques les plus récurrentes dans la réalité (variantes de murs extérieurs X type courant de toiture X fenêtre de 1x1.2 m à vitrage simple) (Tableau 6.13). Sur la base de ce modèle de référence, les paramètres testés étaient : 1) dimension des fenêtres (Ratio

d'ouverture) ; 2) type de vitrage ; 3) protection solaire ; 4) couleur extérieure ; 5) isolation thermique des murs ; et 6) Optimisation thermique de la toiture.

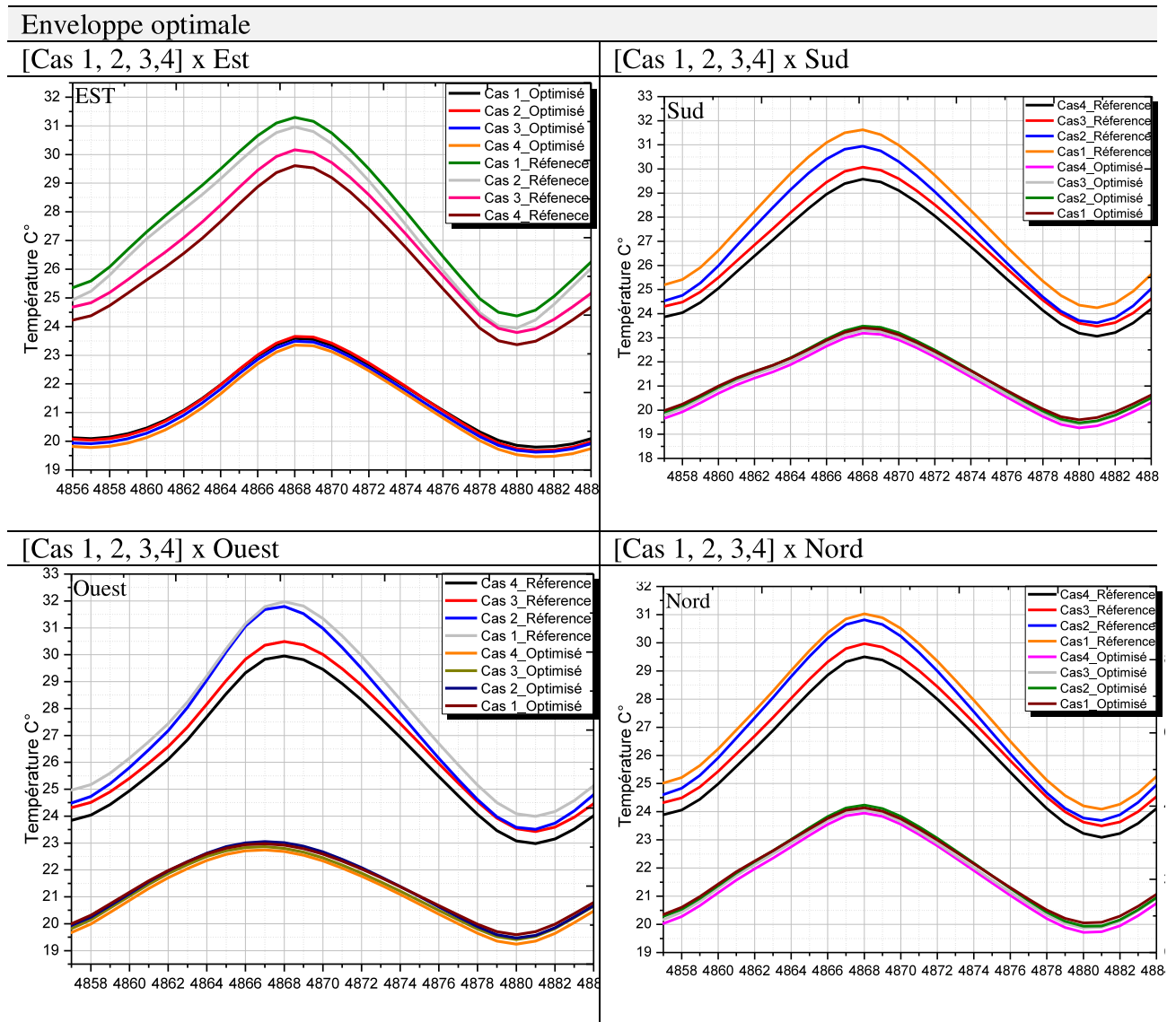
Pour chaque paramètre étudié, différentes alternatives d'amélioration et d'optimisation de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe ont été testées. Les scénarios d'optimisation ont fait prévaloir des stratégies passives et ont porté sur les caractéristiques matérielles de l'enveloppe tout en respectant les spécificités propres à l'habitation autoproduite en lotissements.

Les tests de simulation une fois effectués, séparément pour chaque paramètre, le comportement thermique le plus performant (meilleure réduction de la température ambiante selon différentes orientations : Nord et Est et Sud et Ouest) a permis de désigner la valeur optimale pour l'élément analysé (le paramètre testé). Finalement, les scénarios d'optimisation ponctuels ont été combinés, et les valeurs optimales pour tous les éléments analysés ont été cumulées pour définir la variante optimisée globale de l'enveloppe.

Les valeurs optimales retenues comme solutions d'amélioration de la performance thermique de l'enveloppe, selon les conditions de la simulation, sont : le ratio d'ouverture optimal est F2 (1x 1,2) m<sup>2</sup> ; le vitrage optimal est V2 (double vitrage avec lame d'air) ; la protection solaire retenue est celle qui assure un ombrage à 50% ; la teinte extérieure doit être couleur claire ( $\alpha = 0.2$ ) ; l'isolation thermique des murs doit se faire de l'extérieur (ITX) ; la toiture doit être isolée de préférence de l'intérieure de type (Tisol) ou (CCpoly).

La dernière série de calculs a été faite en fonction des valeurs optimales des paramètres étudiés. Des tests de simulation ont été effectués pour évaluer le comportement thermique des quatre variantes de l'enveloppe (systèmes constructifs répandus dans l'aire d'étude) considérées et selon les quatre possibilités d'orientations (Nord, Sud, Est et Ouest). Les résultats obtenus vont être analysés à partir des températures de l'air générées à l'intérieur de la pièce (modèle virtuel). Le tableau 6.20 présente l'ensemble des résultats.

**Tableau 6.20** : Comportement thermique (températures ambiantes) des quatre variantes référentielles de l'enveloppe (cas de référence) cumulant les caractéristiques optimales des paramètres testés et selon différentes orientations



Après comparaison entre les courbes de températures ambiantes obtenues pour la saison d'Été, les résultats de la simulation indiquent, pour les cas de référence (avant l'optimisation), des températures intérieures relativement élevées ; les conditions de confort ne sont réalisées pour aucune orientation et pour aucun système constructif (même pour une enveloppe construites en double cloison de brique).

Cependant, il apparaît clairement que l'application des stratégies d'appoint au niveau des éléments de l'enveloppe a une grande influence sur l'amélioration du comportement thermique de celle-ci. L'abaissement des températures intérieures est notable selon les

différentes orientations et dans la majorité des cas, les conditions de confort thermique, ont été réalisées.

Ainsi, pour l'orientation **Ouest**, qui est la plus problématique, la température intérieure de la pièce -construite en mur simple (cas1 : parpaing creux et brique creuse de 15cm)- a pu être diminuée de 8.8°C à 9°C par rapport aux cas de référence (sans optimisation). Pour une pièce -construite en double parois (brique 15X2, double paroi de brique avec lame d'air), la réduction est de 7.2°C à 7.7°C.

De même, les simulations effectuées pour la pièce orientée vers l'**Est**, indiquent un abaissement de la température ambiante variant entre 7.2°C à 7.7°C pour les murs en simple cloison ; et, entre 6.2°C à 6.7°C pour les murs en double cloison.

L'orientation **Sud**, donne des résultats encore plus intéressants avec un abaissement de la température intérieure jusqu' à 8.1°C pour les murs en parpaing creux et de 7.5 °C pour les murs en brique creuse de 15cm. Pour les murs en double parois la réduction de la température ambiante est de l'ordre de 6.3°C à 6.7°C. Enfin, pour l'orientation **Nord**, la température ambiante a pu être diminuée entre 6.5 °C et 6.9 °C pour les murs simples en parpaing creux et en brique creuse de 15cm. L'écart atteint pour les murs en doubles parois est compris entre 5.6 et 5.9 °C.

Finalement, les résultats obtenus démontrent que l'amélioration de l'adaptabilité climatique de l'enveloppe architecturale de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, est possible. L'optimisation de certains éléments et dispositifs propres à l'enveloppe, tels que l'utilisation de systèmes constructifs et de matériaux (murs et toiture) adaptés aux conditions climatiques, en plus d'un choix judicieux au niveau de l'orientation, la couleur extérieure, les ouvertures, ... constituent autant de moyens conceptuels et architecturaux efficaces pour améliorer la performance thermique de l'habitat autoproduit et assurer le confort hygrothermique aux occupants.

## **VI.6 Conclusion**

L'objectif principal de la présente recherche est d'évaluer puis optimiser le fonctionnement thermique de l'enveloppe des bâtiments relevant de l'habitat individuel autoproduit à Biskra tout en préservant l'essentiel de ses spécificités. Une étude basée sur une simulation thermique par le logiciel TRNSYS 17, a été effectuée. Cette étude a mis en évidence l'impact des attributs architecturaux et constructifs de l'enveloppe (opaques et transparents) sur les conditions de confort durant la période estivale.



Les résultats obtenus ont montré que parmi les types de murs de façades représentatifs des systèmes constructifs utilisés dans l'habitat individuel autoproduit, les murs en double parois offrent des avantages certains du point de vue du confort thermique durant la période estivale. Les résultats de la simulation ont également, mis en exergue l'effet de l'orientation sur les variations de la température intérieure du local laquelle dépend de la puissance des radiations solaires incidentes sur l'enveloppe (éléments opaques et transparents). Ainsi, les orientations Sud et Nord donnent des valeurs de températures intérieures plus favorables que celles enregistrées à l'Est et l'Ouest.

Par ailleurs, les tests d'optimisation du fonctionnement thermique de l'enveloppe architecturale de ce type d'habitat, ont révélé que l'abaissement de la température intérieure diffère selon l'orientation. Les orientations Sud et Nord permettent des réductions remarquables de  $T_a$  jusqu'à 7 à 8 °C ; alors que l'orientation Est assure entre 6.2 °C à 7.7 °C d'écart et l'orientation Ouest réduit  $T_a$  de 7.2 °C à 9°C.

Cette réduction de la température ambiante a été possible grâce à l'application de certaines stratégies élémentaires d'adaptation climatique pouvant améliorer le fonctionnement thermique de l'enveloppe sans altérer ses caractéristiques. Ces stratégies concernent, notamment, le choix judicieux des systèmes et matériaux de construction au niveau des murs et de la toiture, le ratio d'ouverture, le type de vitrage, les protections solaires, la couleur extérieure et enfin, l'isolation thermique des murs et de la toiture. Par voie de conséquence, cette amélioration des conditions de confort hygrothermique se répercute positivement sur la consommation énergétique du fait d'une nette réduction dans l'utilisation des appareils de climatisation et chauffage.

Le prochain chapitre présentera les principaux aboutissements de la recherche. Ce dernier chapitre de la thèse récapitule les résultats obtenus et présente les possibilités de leur généralisation en formulant un ensemble de recommandations. Celles-ci portent sur l'amélioration de l'enveloppe et pourraient être exploitées dans la perspective de concevoir des habitations assurant un confort thermique minimal pour le plus grand nombre relativement au contexte climatique du sud algérien. Ce chapitre final formule, en outre, les limites de la recherche de même qu'il oriente vers de nouveaux axes d'investigation pour poursuivre l'étude.

# **Conclusion Générale**

# ***CONCLUSION GÉNÉRALE***

## **1. Introduction**

Cette recherche a été menée dans le but d'étudier et d'améliorer la performance thermique de l'enveloppe architecturale de l'habitat résidentiel autoproduit, sous les conditions d'un climat chaud et aride. La ville de Biskra située dans le sud-est algérien a été prise comme cas d'étude. Le travail d'investigation a porté sur l'intégration de certaines stratégies passives à l'enveloppe pour améliorer l'adaptabilité climatique de l'habitat résidentiel autoproduit tout en respectant ses spécificités (techniques, architecturales,...).

L'étude s'est intéressée, plus particulièrement, aux modalités d'amélioration des composantes essentielles de l'enveloppe des habitations individuelles du point de vue de leur comportement thermique sous un climat chaud et aride. Un intérêt a, également, été porté à l'impact des matériaux de construction sur le confort thermique ainsi qu'à l'évaluation des ambiances intérieures résultantes.

L'enveloppe du bâtiment est toujours considérée et conçue comme étant l'élément principal de la régulation thermique des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Le comportement thermique des parois enveloppantes, vis-à-vis de la radiation solaire et de la température, joue de fait un rôle très important dans la détermination des conditions du confort dans l'espace intérieur. Dans les régions chaudes et arides, une bonne conception de l'enveloppe peut contribuer efficacement à la minimisation des gains de chaleur, à l'efficacité des systèmes de refroidissement passif, et ainsi, donner une meilleure qualité du confort hygrothermique pour les usagers.

Dans le présent chapitre qui clos la thèse, les principaux résultats obtenus à l'issue du travail d'investigation –partie théorique et partie expérimentale- vont être présentés en plusieurs étapes en respectant la progression de la recherche. Par ailleurs, les recommandations les plus pertinentes relatives à la limitation des apports de chaleur à travers l'enveloppe, vont être formulées. Enfin, les limites de la recherche et des perspectives et pistes pour de futures investigations, seront également présentées.

## **2. Synthèse sur le déroulement de la recherche**

Dans l'objectif de créer un confort thermique agréable à l'intérieur de l'espace habitable, il faut construire des bâtiments adaptés à leur environnement physique. Dans un climat chaud et aride précisément, le problème d'inconfort à l'intérieur des bâtiments doit être sérieusement posé à cause de la forte intensité du rayonnement solaire et des températures extérieures excessives, même si le degré d'aridité diffère d'une région à l'autre. Ces apports de chaleur augmentent la température intérieure des bâtiments et cette énergie de chaleur traverse l'enveloppe sous forme de flux de chaleur qui provoque le problème de surchauffe à l'intérieur de l'espace.

Donc, il est nécessaire de protéger le bâtiment contre ces radiations solaires durant la période estivale à travers des dispositifs architecturaux à intégrer au niveau de l'enveloppe. Parmi ces dispositifs relevant des stratégies passives, figurent : les protections solaires, la rationalisation du ratio d'ouverture et la réduction des surfaces des fenêtres, la création de l'ombre, le choix de matériaux de bonne inertie thermique, ...etc.

Rappelant que l'objectif prioritaire de la présente recherche était de proposer les moyens d'améliorer la performance des habitations individuelles autoproduites à Biskra du point de vue du confort thermique en focalisant sur les spécificités matérielles de l'enveloppe. Pour réaliser cet objectif, la recherche s'est fondée, d'abord, sur un sous-bassement théorique issu d'une recherche bibliographique structurée en trois chapitres, et ensuite, sur une partie analytique relevant de l'expérimentation-simulation.

Pour effectuer l'étude expérimentale, il a été nécessaire de procéder préalablement à une analyse typo-morphologique de l'enveloppe sur un important corpus d'habitations. Ce travail préliminaire a servi à définir les caractéristiques architecturales de l'habitat individuel autoproduit à Biskra, pouvant être utilisées pour améliorer son adaptabilité climatique. A partir de là, un travail de terrain a été effectué sous forme de campagnes de mesures in situ (températures, humidité ...) à l'aide de deux instrument de mesure : le

Testo 480 et un thermomètre infrarouge. Les prises de mesures ont porté sur un corpus comprenant quinze (15) unités (pièces ou chambres) générées à partir de cinq (05) cas de figures représentatifs des systèmes constructifs les plus utilisés au niveau des murs de façades dans la ville de Biskra. Le recueil des données hygrothermiques s'est déroulé pendant la saison estivale et la saison hivernale. Une simulation thermique a, ensuite, été effectuée à l'aide de logiciel TRANSYS 17 afin d'optimiser les attributs matériels de l'enveloppe selon différentes orientations. Dans cette dernière partie de la recherche, la variabilité dans les conditions de mesures et la possibilité d'effectuer des études paramétriques ciblées en isolant l'influence de chaque élément, ont été exploités.

### **3. Principaux résultats**

La nouvelle architecture de l'habitat individuel produit à Biskra, notamment, son enveloppe qui suit la tendance des villes du Nord, est totalement inadaptée aux conditions climatiques chaudes et arides de la région. Inévitablement, ce type d'habitat a, donc, échoué à réaliser des conditions de confort hygrothermiques favorables aux occupants, ce qui provoque des problèmes d'intégration climatique et une augmentation considérable de la consommation énergétique.

Pour tenter d'apporter des solutions efficaces et durables à ce problème, une analyse a été effectuée, à travers laquelle la performance thermique de l'architecture contemporaine de l'habitat individuel a été étudiée sous les conditions climatiques de la ville de Biskra. Des propositions d'améliorations ont été tentées sur les éléments principaux de l'enveloppe, en faisant prévaloir les conditions de la saison chaude (période estivale).

Le volet qualitatif de l'étude a permis de déterminer les caractéristiques morphologiques et matérielles de l'habitat individuel autoproduit à Biskra. Les paramètres et traits les plus récurrents relatifs à la forme de la parcelle, l'orientation, la mitoyenneté, le nombre de niveaux, les matériaux de construction, les dimensions et protections des fenêtres, la teintes extérieure, ont été retenus et étudiés vis-à-vis de leurs adaptation aux conditions climatiques de la région. Ce premier volet de l'étude a été complété par un travail expérimental (mesure in situ et simulation) où une vérification de l'impact des composantes matérielles de l'enveloppe sur le confort intérieur a été établie.

L'utilisation du logiciel TRNSYS 17 a permis de proposer plusieurs scénarios d'améliorations au niveau des paramètres de l'enveloppe pour optimiser l'ambiance

intérieure. Le but recherché était que le traitement adéquat de l'enveloppe permette de créer de manière passive des ambiances confortables aussi bien en Hiver qu'en Été : soient une température interne supérieure à celle externe pendant l'Hiver et une température interne inférieure à celle externe pendant l'Été.

Les principaux résultats obtenus concernant le volet qualitatif et le travail expérimental (quantitatif) se résument aux points suivants :

1. La réalisation des maisons individuelles à Biskra est adaptée à la réalité économique des propriétaires et reflètent leurs besoins sociaux.
2. La valeur de la température extérieure des surfaces d'enveloppe exposées au rayonnement solaire dépend essentiellement de leur orientation, leur couleur, et leur degré d'ombrage (ou d'exposition). Par contre, la température intérieure des parois est liée essentiellement à la performance thermique du matériau de construction utilisé.
3. Les propriétés thermiques des matériaux ont un grand effet sur le comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment. Dans ce registre, l'usage des matériaux à forte inertie thermique est adapté aux conditions climatiques chaudes et arides (grandes amplitudes journalières) puisqu'il permet d'augmenter le temps de déphasage du flux de chaleur.
4. Les parois extérieures sont les éléments qui contrôlent les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur, l'intensité de cette transmission de chaleur est liée aux matériaux de construction et à la mise en œuvre de la paroi. Un choix judicieux de matériaux de construction peut favorablement influencer la qualité thermique intérieure, notamment grâce aux propriétés thermo-physiques des matériaux qui permettent de réguler les échanges de chaleur entre le bâtiment et son environnement.
5. Les techniques constructives utilisées actuellement (parpaing creux et plein, brique creuse en simple paroi, hourdi en béton) ne répondent pas aux critères de confort thermique dans le contexte d'un climat chaud et aride.
6. Les murs en double parois offrent des avantages certains du point de vue du confort thermique durant la période estivale et constituent un procédé constructif optimal par rapport aux conditions techniques et économique de production de l'habitat autoproduit.

7. Des stratégies climatiques telles que le choix judicieux des matériaux de construction au niveau des murs et de la toiture, un ratio d'ouverture et un type de vitrage adéquats, les protections solaires, la couleur extérieure et l'isolation thermique des murs et de la toiture, permettent de réduire considérablement la température ambiante.
8. La température intérieure des espaces bien que soumise à l'influence des incidences solaires sur les éléments opaques et transparents de l'enveloppe et au degré d'exposition des éléments aux rayons solaires et au vent, peut être soit augmentée ou réduite par le facteur humain. L'utilisateur peut améliorer les conditions hygrothermiques de son espace de vie en adoptant un comportement rationnel vis-à-vis des données climatiques extérieures.
9. Les orientations Sud et Nord donnent des valeurs de température intérieures favorables contrairement aux orientations Est et Ouest.
10. Les tests d'optimisation du fonctionnement thermique de l'enveloppe architecturale du type d'habitat étudié, ont révélé que l'abaissement de la température intérieure réalisé est variable selon l'orientation. Par exemple, l'orientation Nord ou Sud permet de diminuer la température jusqu'à 7 et 8 C°, alors qu'avec l'orientation Est il est possible d'atteindre des réductions de l'ordre de 6.2 à 7.7 C°. Enfin, le traitement des murs orientés Ouest peut réduire la température entre 7.2 à 9C°.

A travers cette recherche, les principes de l'adaptation climatique dans les régions chaudes et arides ont été définis. En outre, les caractéristiques de l'enveloppe par la définition de ces composantes ainsi que son comportement thermique sous les conditions d'un climat chaud et aride ont été mises en exergue. Des tests d'optimisation ont été effectués, et les résultats obtenus peuvent être utilisés pour la réhabilitation des habitations individuelles autoproduites pour, d'une part, améliorer la qualité thermique de l'espace intérieur, et d'autre part, réduire la consommation énergétique.

#### **4. Recommandations pour une enveloppe thermiquement performante**

L'enveloppe du bâtiment est l'élément principal qui contrôle les échanges thermique entre l'intérieur et extérieur. Le comportement thermique de tous les composants de l'enveloppe vis-à-vis des radiations solaires intenses dans climat chaud et aride et des températures

extérieures torrides, joue un rôle déterminant pour la réalisation des conditions de confort dans l'espace intérieur. Une conception climatiquement performante de l'enveloppe dans les régions chaudes et arides permet de minimiser les apports de chaleur qui s'infiltrent à l'intérieur, à travers l'application de stratégies passives d'appoint, notamment: l'orientation, le choix judicieux des matériaux, les dimensions des ouvertures, les occultations, ...etc.

À l'issue de cette recherche et à partir des résultats obtenus, il est possible de formuler plusieurs recommandations pour améliorer l'adaptabilité climatique et la performance thermique de l'enveloppe de l'habitat individuel autoproduit à Biskra.

#### **4.1 À travers les parois opaques**

Pour atténuer l'effet des radiations solaires sur les parois opaque de l'enveloppe et ainsi réduire la température intérieure, il est recommandé de recourir aux corrections suivantes :

1. Augmenter l'épaisseur des parois de l'enveloppe.
2. Diminuer la diffusivité des parois de l'enveloppe.
3. Augmenter l'effusivité des parois de l'enveloppe.
4. Utiliser des matériaux de construction de faible conductivité thermique.
5. Minimiser le transfert de chaleur par conduction en optant pour des matériaux à forte inertie thermique et de bonne capacité thermique.
6. Protéger impérativement la toiture dans sa face externe contre les rayons solaires (ombrage, teinte claire, peinture réfléchissante, ...).
7. La variation de la température interne est liée à la quantité de radiation solaire incidente qui est déterminée par son orientation ; il est, par conséquent, conseillé d'orienter l'habitation vers le Nord/Sud avec une mitoyenneté dans les directions Est/Ouest.
8. Minimiser les surfaces en contact avec l'extérieur en réduissent les décrochements et en optant pour la compacité.
9. Opter pour des couleurs claires à faible coefficient d'absorption pour minimiser la quantité d'énergie absorbée au niveau les surfaces extérieures.
10. L'utilisation de l'isolation thermique de côté externe permet d'optimiser les matériaux à faible masse thermique (parpaing creux et plein et brique de 15cm).



11. L'utilisation d'un isolant thermique permet de donner un abaissement important de la température intérieure selon l'orientation.
12. L'emplacement idéal de l'isolant du côté externe permet d'éliminer les ponts thermiques pour réduire la déperdition de chaleur et renforce l'inertie thermique de la paroi.
13. Les murs double en Brique avec lame d'air et Brique creuse X2 sont les parois les plus recommandées d'après notre étude car ils sont thermiquement les plus performants.
14. Encourager et valoriser les dispositifs constructifs qui participent à la protection solaire du bâtiment et qui sont utilisés actuellement par les habitants : tels que les balcons, les débords de toiture, les chambres en encorbellement, les cages d'escalier saillantes. Tous ces dispositifs architecturaux procurent l'ombrage et minimisent la pénétration du rayonnement soleil.
15. Il est nécessaire de ventiler les espaces intérieurs le soir ou dans le début de la matinée pour évacuer la chaleur transmise par la masse bâtie toute la nuit.

## **4.2 À travers les ouvertures**

1. Les ouvertures doivent être bien-isolées et étanches pour contrôler les échanges thermiques et améliorer la protection assurée par l'enveloppe.
2. Dans le climat chaud et aride où la radiation solaire est forte, il faut installer des protections solaires pour empêcher l'insolation directe des fenêtres qui provoque le problème de surchauffe et laisse passer un excès de lumière.
3. Les occultations mobiles (persiennes, volets, ...) au niveau de la fenêtre, en plus de répondre à des exigences socioculturelles (intimité, ...), permettent aussi d'assurer un niveau d'éclairement contrôlable à l'intérieur de la pièce et évitent l'éblouissement.
4. Les protections solaires dans l'habitation sont efficaces selon l'orientation, la typologie, la période de l'année (la hauteur et la position de soleil), elles doivent être calculées de manière précise. Elles participent aussi à l'intimité des occupants et à l'esthétique de la façade.
5. Optimiser les dimensions des fenêtres qui ne doivent pas dépasser le nécessaire pour l'éclairage (la ventilation est secondaire du fait du caractère sec du climat).

6. Réduire le transfert de chaleur à travers le vitrage. Opter si possible pour un double vitrage avec lame d'air qui augmente la résistance thermique de la fenêtre.
7. Réduire les surfaces vitrées au niveau les parois extérieur pour diminuer la transmission de chaleur par rayonnement.
8. Le ratio d'ouverture au niveau de façade doit être proche de 25%.
9. Réduire la taille des fenêtres surtout dans les orientations Est et Ouest car elles sont exposées à une quantité importante de rayonnement solaire.
10. Réaliser les menuiseries de fenêtre en bois ou PVC, plus performants que l'aluminium lequel est très conducteur de chaleur.

## **5. Les limites de la recherche**

Les résultats obtenus sont valables dans le cadre suivant :

1. La présente étude est une monographie, elle a investi la performance climatique de l'enveloppe architecturale selon les caractéristiques (matérielles, formelles, morphologiques,...) de l'habitation individuelle autoproduite à Biskra.
2. Cette recherche est limitée géographiquement et climatiquement à la ville de Biskra, qui est classée dans la zone aride et où prévaut un climat chaud et sec.
3. Cette recherche s'intéresse au confort d'été, elle a évalué le comportement thermique des matériaux de construction sous les conditions de la semaine la plus chaude de Juillet (*design week*), le confort d'hiver n'a pas été testé.

## **6. Perspectives et pistes de recherche futures**

La thématique traitée dans la présente recherche est loin d'être épuisée, d'autres pistes d'investigation méritent d'être explorées par les chercheurs intéressés par le sujet, ainsi :

1. Il est important que chaque wilaya dispose d'un cahier de charge pour encadrer la réalisation des programmes d'habitat individuel en autoproduction (lotissements, coopératives,...). Ce cahier de charge servira comme un support technique et orientera les propriétaires pour faire des choix cohérents pouvant assurer l'intégration de leurs habitations aux conditions climatiques de la région, et en même temps, cela versera dans les stratégies de l'État relativement à la rationalisation de la consommation énergétique.

2. Il est possible de prendre cette recherche comme modèle et de l'appliquer à d'autres régions climatiques de l'Algérie pour sortir avec des recommandations relative à la conception de l'enveloppe selon le contexte géographique et environnemental.
3. Étudier l'impact des différentes composantes de l'enveloppe sur la consommation énergétique, selon une approche multicritère qui tiendra compte du confort thermique et également du confort lumineux et acoustique.
4. Étudier l'impact de l'enveloppe sur la ventilation naturelle de l'habitat pour la satisfaction des besoins d'hygiène, du confort des usagers et du refroidissement de la masse du bâtiment (nocturne).
5. Étudier le confort visuel dans l'habitat individuel et optimiser le ratio d'ouverture pour éviter la surchauffe. Le rôle principal des fenêtres est, en effet, d'assurer un niveau d'éclairage suffisant et éviter l'éblouissement durant la période estivale et en même temps capter l'éclairage naturel et les rayonnements solaires en hiver.
6. Étudier l'influence de l'aspect formelle de l'enveloppe du cadre résidentiel sur le confort des occupants et sur l'aspect esthétique urbain de la ville.
7. Étudier l'impact des éléments de l'enveloppe sur le confort d'hiver.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

**Agli, N., (1988).** *Biskra: analyse et extension du centre ville*. Mémoire de fin d'étude, Ecole d'Architecture Paris-Villemin, France.

**Akchiche, Z. (2011)** *Etude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique*. (Mémoire de Magister), Université de Ouargla, Algérie.

**Alkama, D. (1995).** *Analyses typologiques de l'habitat. Cas de Biskra*. (Mémoire de Magistère non publiée ), Université de Biskra, Algérie.

**ANAH. (2004)** *Agence National pour l'amélioration de l'Habitat (ANAH)*. Fiche technique confort thermique. Paris. Repéré à : URL <http://www.anah.fr/>

**Arantes, L. (2016).** Efficacité énergétique et formes urbaines : élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *European journal of geography*. <https://journals.openedition.org/cybergeo/27584>

**ASHRAE, (2005).** ASHRAE Handbook of Fundamentals. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*, Inc. Atlanta

**Bellara, S. (2005).** *Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective. Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine* (Mémoire De Magistère) Université de Constantine, Algérie.

**Bencherif, M. Chaouch, S. (2013).** La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Revue Sécheresse*, 24 (3), 203-213.

**Benhalilou, K. (2008).** *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi-aride* (Mémoire de Magister) Université Mentouri Constantine, Algérie.

**Benharra, H. (2016).** *Impact de l'orientation sur la consommation énergétique dans le bâtiment. Cas des zones arides et chaudes.* (Mémoire de Magistère). Université de Biskra, Algérie.

**Benhouhou, N. (2012).** *L'impact des matériaux sur le confort thermique, dans les zones semi-arides cas d'étude : la ville de Djelfa.* (Mémoire de Magister), École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU, Alger, Algérie.

**Bennadji, A. (1999).** *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du sud-est Algérien.* (Thèse de doctorat). Université d'Aix-Marseille1, France.

**Benradouane, N. et Benyoucef, B. (2008).** La fenêtre et son rôle dans la conception des maisons bioclimatiques. *Revue des Energies Renouvelables Sousse (08)*, 41 – 46

**Berkouk, Dj. (2017).** *Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra.* (Thèse de doctorat), Université de Biskra, Algérie.

**Bougriou, C., Hazem, A., Kaouha, K. (2000).** Protections Solaires des Fenêtres. *Revue des énergies renouvelables.* (3) ,127-135.

**Boulfani, W. (2010).** *Les Ambiances Thermiques d'été dans l'habitat de la période coloniale a patio* (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Boumaouche, N.E (2006).** *Prise en compte de l'humidité dans le projet de réhabilitation des maisons vernaculaires cas de la médina de Constantine.* (Mémoire de Magistère), Université de Constantine, Algérie.

**Bousquet, C., (1983).** *Mutations urbaines en Algérie, le cas de Béni Isguen au M'Zab.* (Thèse de doctorat). Université F. Rabelais, Tours.

**Brun, A. (2011)** *Amélioration du confort d'été dans des bâtiments à ossature par ventilation de l'enveloppe et stockage thermique.* (Mémoire de Magister) Université de Grenoble, France.

**Camous, R., Watson. D. (1979).** *L'habitat bioclimatique*, Éd. L'Étincelle, Canada.

**Capderou, M. (1986).** *Atlas solaire de l'Algérie : aspect géométrique, synthèse géographique* ». Office des publications universitaires, Algérie.

**Charbonneau, J.-Y., (2004).** *Confort thermique à l'intérieur d'un établissement.* Repéré à : [https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/200/documents/dc\\_200\\_16183\\_3.pdf](https://www.cnesst.gouv.qc.ca/publications/200/documents/dc_200_16183_3.pdf)

**Chelghoum, Z. Belhamri, A. (2001).** Habitat à Bas Profil Énergétique, *Revue des Energies Renouvelables* : Journées de Thermique 2001, 59-64.

**Cheng, V., NG, E., Givoni, B. (2005),** Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Journal Solar Energy*, 78, 528-534.

**Courgey, S., Oliva, J.P. (2007)** *La conception bioclimatique. Des maisons confortables et économes*, Edition terre vivante, Mens.

**CSST, (2004)** *Guide, le confort thermique à l'intérieur d'un établissement*. Bibliothèque nationale du Québec. Canada.

**Duplay, C et Duplay, M. (1982)** *Méthode illustrée de Création architecturale*. Edition du Moniteur, Paris.

**Duprat, B, Paulin, M., (1986).** *Les Types de l'Architecture Traditionnelle des Alpes du Nord. Maisons et Chalets du Massif des Bornes*. Rapport de recherche non publié, Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer avec le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur. Écoles d'Architecture de Lyon. Laboratoire d'Analyse des Formes, Université Jean Moulin, Lyon3, France.

**Ealiwa, MA, Taki, AH, Howarth, AT, Seden, MR. (2001).** An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya. *Journal of Building and Environment* (36), 231–237

**Ekambi-Schmidt, J., (1986).** *La perception de l'habitat*. Encyclopédie universitaire, éditions universitaires, Paris.

**Ferradji, K., (2017).** *Évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : cas des logements HPE de l'OPGI de Blida*. (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Fezzioui, N, Droui, B, Benyamine, M, Larbi, S., (2008).** L'influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien. *Revue des Energies Renouvelables*, 11 (1), 25- 34.

**FFB (2010).** *Les 100 mots de la construction durable*. Fédération Française Du Bâtiment, [http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede\\_N00/FFB\\_PUBLICATION\\_3349/82733ad3-e92a-4b7a-8452-c0889c7144e4/PJ/100\\_mots\\_de\\_la\\_construction\\_durable.pdf](http://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede_N00/FFB_PUBLICATION_3349/82733ad3-e92a-4b7a-8452-c0889c7144e4/PJ/100_mots_de_la_construction_durable.pdf).

**Flusser, V. (1999).** *The shape of things. A philosophy of design*. Reaktion Books, London

**Foura, S. (2007).** *Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie*, (Thèse de Doctorat), Université de Constantine, Algérie.

**Gaouas, O. (2011).** *Approches multicritères en conception bioclimatique et optimisation par le biais d'un langage architecturale*. (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Givoni, B. (1978).** *L'homme l'architecture et le climat*, Edition le moniteur, Paris.

**Givoni, B. (1998).** *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Editions John Wiley and Sons.

**Gonzalo, R., Habermann K.J, Basel. B (2006).** *Architecture et efficacité énergétique*, Edition Boston· Berlin.

**Guerroudj, T., (1991).** *Oran, Ville Moderne*. Mémoire Probatoire pour l'inscription en doctorat. Université Catholique de Louvain. Belgique.

**Guindani, S., Doepper, U., (1990).** *Architecture Vernaculaire, territoire et activité productive*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. Suisse.

**Gut, P., Ackerknecht, D. (1993).** *Climate responsive building*. Edition SKAT, Suisse.

**Haddam, M. (2015).** *Application de quelques notions de la conception bioclimatique pour l'amélioration de la température interne d'un habitat*. (Thèse de doctorat), département de physique, Université de Tlemcen, Algérie.

**Hamdani, M. (2016).** *choix de l'orientation et des matériaux de construction en vue d'améliorer les performances thermiques des bâtiments*. (Thèse de doctorat), Université de Tlemcen, Algérie

**Heiselberg, P. (2009).** *Expert Guide -Part 1 Responsive Building Concepts*. Danemark: Université d'Aalborg.

**Hong, T., Chou,S.K., Bong, T.Y. (1999).**A design day for building load and energy estimation. *Building and environment*, 34(4), 469-477.

**Hugues, B. (2007).** *La ventilation naturelle. Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale*. (Thèse de Doctorat), Université Laval. Québec, Canada.



**Irani-Behbehani, H., Mahrouf, K., (1987).** *Patrimoine, architectural au Maghreb et enseignement de l'architecture.* Actes du Colloque 23-26 Nov "Espaces Maghrebins: Pratiques et Enjeux", Taghit.

**Izard, J.L. (1993).** *Architecture d'été, construire pour le confort d'été,* Edition Edisud, France.

**Jannot, Y. Djiako, T. (1994).** Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale, *International Journal of Réfrigération*, 17(3), 166-173.

**Kadri, N. Mokhtari, A. (2011).** Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables*, 14 (2) ,301- 311.

**Kahal, K. (2006).** *Le Lotissement résidentiel : enjeux urbanistiques et développement urbain durable : Cas de Constantine (entre recherche de la qualité urbanistique et la consommation du foncier,* (Thèse de Magister), Université de Constantin, Algérie.

**Khadraoui, M.A. (2018).** Study and optimization of the windows' impact on thermal comfort and energy efficiency. Case of offices in a hot and arid climate. *Journal of applied engineering science & technology JAEST*, 4(1) 89-99.

**Khoukhi, M., Fezzioui, N. (2012).** Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of Algeria, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), 1-9.

**Lancret, N., (1998).** *La maison balinaise en secteur urbain : étude ethno-architecturale.* Cahier d'Archipel N°29, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, France.

**Laouar, D. (2008).** *Les transformations spatio-formelle de l'habitat traditionnel vers un type auto construit non planifié cas du vieux Biskra.* (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Lavigne, P., Brejon P, et Fernandez, P. (1994).** *Architecture climatique contribution au développement durable, Tome 1 base physique.* Edition Edisud Aix en Provence, France.

**Lavigne, P., Chatelet, A., et Fernandez, P. (1998).** *L'architecture climatique : une contribution au développement durable. Tome 2 : concepts et dispositifs.* Edisud Aix en Provence, France.

**Liébard, A., De Herde, A. (2005).** *Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.* Editions du Moniteur, Paris, France.

**M'sellem, H. (2007).** *Le confort thermique entre perception et évaluation Par les techniques d'analyse bioclimatique Cas des lieux de travail à Biskra.* (Mémoire de Magister) Université de Biskra, Algérie.

**Magri, S. (2006).** *Conception de l'Eclairage Naturelle en adéquation avec le Confort Thermique Dans les Climats Chaud s Arides.* (Thèse de Magister), EPAU, Algérie.

**Maoui, S. (2000).** *Eléments d'introduction à l'urbanisme, Histoire, méthodologie, réglementation,* .Editions CASBAH, Alger.

**Matari, N. Mahi. A. (2013).** *Bâtiments à hautes performances énergétiques : Effet de l'enveloppe sur le confort thermique. Application au climat aride.* Communication présentée aux 16èmes Journées Internationales de Thermique, Marrakech, Maroc.

**Mazari, M. (2012).** *Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda Tizi-Ouzou.* (Mémoire de Magister) Université de TiziOuzou, Algérie.

**Mazouz, S. (2004).** *Eléments de conception architecturale, Aspects conceptuels.* Edition OPU, Alger.

**Medjelakh, D., Abdou, S. (2008).** Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables.* 11 (3) ,329-341.

**Medjelekh D. (2006)** *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma.* (Mémoire de magistère) .Université de Constantine,Algérie.

**Merlin, P., et Choay, F. (2009).** *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement.* 2ème édition, PUF, Paris, France.

**Merzeg, A. (2010)** *La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie.* (Mémoire de Magister), Université de TiziOuzou,Algérie.

**Ministère de l'énergie et des mines, (2012).** *Consommation Energétique Finale de l'Algérie,* Chiffre Clé Année 2012.  
<http://www.aprue.org.dz/PUBLICATION%20CONSOMMATION%20ENERG%20TIQUE%20FINALE%202012.pdf>

**Ministère de l'énergie et des mines (2005)** *Consommation Energétique Finale de l'Algérie*, Chiffre Clé -Année 2005. Repéré à : <http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf>

**Mokhtar, A., Brahimi, K, Benziada, R. (2008).** Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Béchar. Béchar. *Revue des Energies Renouvelables*, 11 (2) 307-315.

**Morgan, A. (2018).** *Patios entre réalités climatiques et usages déférences*. (Thèse de doctorat) Ecole nationale supérieur d'architecture de Nantes, France

**Moujalled, B. (2007).** *Modélisation dynamique de confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés*, (Thèse de doctorat), Institut des Sciences de Lyon (ISAL) France.

**Naidja, A. (2014).** *La croissance urbaine, et son influence sur la continuité, et la discontinuité typo morphologique Cas des tissus urbains de la ville de Biskra*. (Mémoire de Magister), université de Biskra, Algérie.

**Necib, H., Belakroum, R., Belakroum, K. (2016).** *Amélioration de l'isolation thermique des habitants dans les régions chaudes et arides*. Third international conference on energy, materials, applied energetics and pollution, Constantine, Algeria.

**Nicol, JF., Raja, IA., Allaudin, A., Jamy, GN. (1999).** Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects. *Journal of building and environnement* ,30 (3), 261-79.

**OuldHenia, A. (2003)** *Choix Climatique et Construction. Zone Aride et Semi Arides. La Maison à Cour de Bou Saada'*, 2003, (Thèse de Doctorat), Ecole Polytechnique de Lausanne, EPFL, Lausanne.

**Panerai, P., Depaule, J.-CH., Demorgon, M. et Veyrench, M., (1980).** *Eléments d'Analyse Urbaine*. Editions Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles.

**Panerai, P., Depaule, J.-CH., et Demorgon, M., (1999).** *Analyse Urbaine*. Editions Parenthèses, Marseille, France.

**Pinson, D., (1992).** *Modèles d'habiter et contre-types domestiques au Maroc*. URBAMA Fascicule de Recherche N°23, Tours.

**Pinson, D., (1992a).** Du logement pour tous aux maisons en tous genres. *Les Cahiers de la Recherche Architecturale*. 27/28: 151-164.

**Pinson, D., (1993).** *Usage et architecture*. Editions l'Harmattan, Paris.

**Pinson, D., (2002).** *La conception du logement*. Dictionnaire du logement et de l'habitat, (sous la direction de Marion Segaud, Jacques Brun, Jean-Claude Briant). Editions Armand Colin, Paris, pp. 82-86.

**Plemenka, S. (2010).** *L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire*, Revue Architecture & Comportement / Architecture & Behaviour, 10 (1) 27- 47.

**Saidouni, M., (2000).** *Éléments d'introduction à l'urbanisme*, Histoire, méthodologie, réglementation, Éditions CASBAH, Alger.

**Salem, T. (2007).** *Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie* (Thèse de Doctorat). L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.

**Santelli, S., (1983).** *Typologie de l'habitat populaire et mode d'habiter à Tunis*. Supplément au Bulletin d'informations architecturales, IF A, 75.

**Semahi, S., Djebri, B. (2013).** La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides. *Revue des Energies Renouvelables*, 16 (3) 551-568.

**Sriti, L. (1996).** *Potentialités architecturales et bioclimatiques de l'habitat auto construit. Cas d'une ville du Sud : Biskra*. (Mémoire de Magistère) Université de Biskra, Algérie.

**Sriti, L. (2013).** *Les stratégies de conception en climats chauds : Cours 3* (non édité), département d'Architecture, Université de Biskra, Algérie

**Sriti, L. (2013).** *Architecture domestique de devenir .Formes usage et représentations, le cas de Biskra*, (Thèse de Doctorat), Université de Biskra, Algérie.

**Statistica, (2010).** Logiciel de statistique développé par StatSoft

**Szokolay, V. (2004).** *Introduction to architectural science, the basis of sustainable design*, Edition Architectural Press, Canada.

**Thiers, S. (2008)** *Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive*, (Thèse de Doctorat), École nationale supérieure des mines de paris, France.

**TRNSYS V17**, User Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison. USA.

**Unwin, S. (2000).** *Analysing Architecture*. Edition Routledge, London.

**Yamani, L. (1994).** *Cours de construction 1*. Note du cours institut d'architecture, Université d'Oran, Algérie.

**Zeghichi, H. (2014).** *Bien-être et santé dans les logements collectifs L'exemple de quelques cités de Batna* (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Zemmouri, M. (2002).** *Évaluation des ambiances climatique dans les ensembles d'habitation. Étude du cas de la ville de Biskra* (Mémoire de Magistère), Université de Biskra, Algérie.

**Zeroual, D. (2006).** *Impact des gains de chaleur sur la morphologie des bâtiments cas des climats chauds et arides*. (Mémoire de magistère), Université de Constantine, Algérie.

# **Annexes**

**Annexe A : Tables de mahoney : Diagnostic de la ville de Biskra.**

Wilaya	Localisation	Latitude	Longitude	Altitude
Biskra	Sud Est Algérien	34.80°	5.73°	120m

**Table1 : Températures**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp. Moy. Max	2.17	4.87	7.33	10.3	14.7	21.7	27.1	28.1	22.3	14.9	6.97	3.09
Temp. Moy. Min	12.3	15.1	17.9	22.0	26.6	33.1	36.8	37.6	34.3	27.1	19.5	13.4
E.D.T.	10.13	10.23	10.57	11.7	11.9	11.4	9.7	10.5	12	12.2	12.5	10.3

La + haute	TAM
37.6	19.89
2.17	35.43
La + basse	EAT

**Table 2 : Humidité, Pluie, Vent**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité Rel. Max	75	67,3	64,9	50,3	55	50,1	40,5	47,6	59,2	67,2	72,8	72,8
Humidité Rel. Min.	38,8	33	26,2	23,9	27,5	21	17,2	19,2	26,7	33,4	38,1	41,9
Humidité Rel. Moy.	56,9	50,2	45,5	37,1	41,2	35,5	28,8	39,4	43	50,3	55,4	55,3
Groupe (G.H.)	3	3	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3
Pluie (mm)	15,9	17,5	24,7	22,6	5,7	23,6	00,0	3,7	10,4	16,3	44,8	0,3
Vent (directions)	4,5	4,7	5	4	5,2	4,6	2,9	2,9	2,9	3,4	3,8	3,2

G.H.	
≤ 30%	1
30-50	2
50-70	3
≥ 70	4
Total annuel pluies	

**Table3 : Confort**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Groupe Hygro (G.H.)	3	3	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3

**Températures**

Moy. Mens. Max.	12.3	15.1	17.9	22.0	26.6	33.1	36.8	37.6	34.3	27.1	19.5	13.4	
Confort diurne	Max	25	28	28	28	28	30	30	30	28	28	25	29
	Min	20	21	21	21	21	22	22	22	21	21	20	23
Moy. Mens. Mini	2.17	4.87	7.33	10.3	14.7	21.7	27.1	28.1	22.3	14.9	6.97	3.09	
Confort nocturne	Max	20	21	21	21	21	22	22	22	21	21	20	23
	Min	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	17

**Limites de confort**

	G.H.	TAM ≥ 20		15 ≤ TAM ≤ 20		TAM ≤ 15		G.H.
Humidité	Groupe	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Groupe
0-30	1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	21-30	12-21
30-50	2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	20-27	12-20
30-70	3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	19-26	12-19
≥ 70	4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	18-24	12-18

**Table 4 : Indicateurs**

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Humidité	H1 ventilation essentielle													

	H2 Ventilation désirable													
	H3 Protection pluie													
Aridité	A1 Inertie thermique			x	x	x	x	x			x	x		7A1
	A2 Dormir dehors								x	x				2A2
	A3 Prob. Saison froide	x	x	x									x	4A

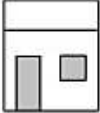

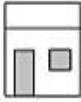
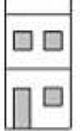
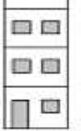





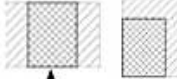




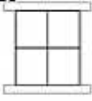
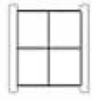
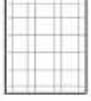



## RECOMMANDATIONS


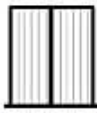
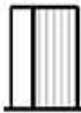

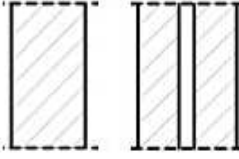




Indicateur						Recommandation
Humidité			Aridité			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
0	0	0	7	2	4	
<b>1. Plan masse</b>						
			0-10			Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.
			11 ou 12		5-12 0-4	x Plans compacts avec cours intérieures
<b>2. espacements entre bâtiments</b>						
11 ou 12						Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid
0 ou 1					x	Plans compacts
<b>3. Circulation d'air</b>						
3-12						Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.
1 ou 2	2-12		0-5			
			6-12			x Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
0	0 ou 1					Circulation d'air inutile
<b>4. Dimensions des ouvertures</b>						
			0 ou 1		0	Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud.
					1-12	x Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs
			2-5			x Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.
			6-10			x Petites, 15 à 25% de la surface des murs.
			11 ou 12		0-3	x Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs.
					4-12	x
<b>5. Position des ouvertures</b>						
3-12						Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
1 ou 2	2-12		0-5			Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.
			6-12			
0	0 ou 1					x
<b>6. Protection des ouvertures</b>						
					0-2	Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12				Prévoir une protection contre la pluie
<b>7. Murs et planchers</b>						
			0-2			Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12			x Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 h
<b>8. Toiture</b>						
10-12			0-2			Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.
			3-12			x Légère et bien isolée
0-9			0-5			x
			6-12			x Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 h
<b>9. Espaces extérieurs</b>						
				1-12		x Emplacement pour le sommeil en plein air
		1-12				Drainage approprié des eaux de pluie
		3-12				







## Annexe B : Exemple de Fiche-relevé vierge

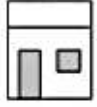
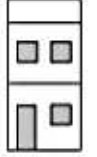

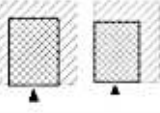


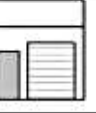
Analyse typo morphologique de l'enveloppe architecturale dans l'habitat individuel  
autoproduit à Biskra












Identification de la maison				
N° de l'affiche :		code:		
Quartier:		Nom de propriétaire:		
Usage:	Habitation 	Habitation + commerce 	Autre	
Caractérisation de la parcelle bâtie				
Nombre des Niveaux	RDC 	R+1 	R+2 	Autre
Orientation de la parcelle/espace public	Nord /Sud	Est / Ouest	Nord Est /Sud Ouest	Nord Ouest/Sud Est
Relation a l'espace public	Plain pied 	Avec véranda 	Mixte 	Autre
Mitoyenneté	Sans 	Unique 	Double 	triple 
forme de la parcelle				Autre
Surface de la parcelle	< 100m <sup>2</sup>	100m <sup>2</sup> ≤ SP ≤ 250m <sup>2</sup>	>250m <sup>2</sup>	
Garage/Commerce	Sans	Avec		
Caractérisation de l'enveloppe				
Les Ouverture				
Dimension des fenêtre courante	S ≤ 1.10m <sup>2</sup>	1.1 ≤ SF ≤ 1.5	≥ 1.5m <sup>2</sup>	Préciser .....
Nombre des fenêtre /façade	Façade Sud N=	Façade Nord N=	Façade Est N=	Façade Ouest N=
Type de vitrage	Simple	Double	Triple	Autre
Protections solaire fixe	Horizontale 	Verticale 	mixte 	Autre
Protection solaire mobile	Rideau 	Store 	Persienne 	Autre

	type	Matériaux			Dimension			Nombre	Protection préciser
		bois	métal	Autre	< 1m	1m ≤ LP ≤ 1.5m	> 1.5		
Porte	Porte principal								
	Porte fenêtre								
	Porte garage								
	Type de porte	Porte un seul battant 		Porte deux battants 		Porte fenêtre 		Porte garage 	
	Avec imposte	sans	Avec imposte	Sans	Avec imposte	sans	Avec imposte	sans	
<b>Les surfaces opaques verticale : Les murs</b>									
Système constructive	Mur porteur			Système portique		Mixte	Autre		
Type de mur	Simple			Double Avec lame d'air		Double Avec isolation		Autre	
Epaisseur	Simple			E=					
	Double	Paroi ext		E1=					
		Couche intermédiaire		E2=					
		Paroi int		E3=					
Matériaux de construction	Parpaing			Brique		Terre		Autre	
	creux	Plein		creux	Pleine				
Revêtement des murs	sans			Avec .....		Marbre .Faus pierre faillance			
Texture	Lisse			rugueuse					
Couleur de peinture	Sans			Claire .....		Sombre .....			
Rapport plein et vide	Moine de 15%			Entre 15et 17%		Plus de 17%			
Eléments saillants de la façade	Balcon 		Loggia 		Chambre 		Avance de toiture 		autre
	Enduit Plâtre		Enduit mortier		Faillance		Autre		



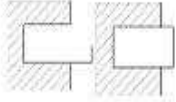







Les surfaces opaques horizontale : La toiture			
Forme de toiture	Plate 	En pente 	
Accessible	Oui	Non	
Type de toiture	Dalle plein 	Corps creux 	Autre
Epaisseur de la dalle extérieur	20cm	25cm	30cm
Faux plafond	sans	Avec E=.....	
Enduit	Plâtre E=	Ciment E=	Autre
Par vapeur	sans	Avec Précise.....	
Isolation thermique	sans	Avec Précise.....	
chape de ciment	sans	Avec E= .....	
Carrelage	sans	Avec E=.....	
étanchéité	sans	Avec E=..... ...	
Protection de la toiture	Sans	Avec.....	
Couleur	sans	Avec	

## Annexe C : Fiche- relevé de Synthèse









Critères		Modalités possibles	Modalités observées	Modalités dominantes	
				relatives	absolues
Caractéristique générale	Usage	H habitation	X		H
		H+C habitation commerce	X		
Caractéristique de la parcelle bâti	Nombre des Niveaux	RDC+T	X		R+1+T 
		R+1+T	X		
		R+2+T	X		
		Autre R3+T			
	Orientation de la parcelle/espace public	Nord /Sud	X	Nord /Sud	Est / Ouest
		Est / Ouest	X		
		Nord Est /Sud Ouest			
		Nord Ouest/Sud Est			
	Relation a l'espace public	Plain pied	X		Plain pied 
		Avec véranda			
		Mixte	X		
	Mitoyenneté	Sans			Double +triple 
		Unique			
		Double	X		
		triple	X		
	forme de la parcelle	Carrée		Transversale 	Longitudinale 
		Transversale	X		
		Longitudinale	X		
	Surface de la parcelle	< 100m <sup>2</sup>			100m <sup>2</sup> ≤ SP≤250m <sup>2</sup>
		100m <sup>2</sup> ≤ SP≤250m <sup>2</sup>	X		
>250m <sup>2</sup>					
Présence de Garage/Commerce	Sans			Avec 	
	Avec	X			

Caractéristique de l'enveloppe		Les Ouverture		Dimension des fenêtre courante		$S \leq 1.10m^2$	X		$1.1 \leq SF \leq 1.5$			
						$1.1 \leq SF \leq 1.5$	X					
						$\geq 1.5m^2$						
				Type de vitrage		Simple	X		Simple			
						Double						
						Triple						
				Protections solaire fixe externe		Sans	X		Sans Protection solaire fixe			
						Horizontale						
						Verticale						
						Mixte (Mochrabia)	X					
		Protection solaire mobile Interne		Store			Persienne+ Rideau					
				Persienne + Rideau	X							
				Autre vitrage								
		Porte		type		Porte Principale		Maté			Porte en métal	
											métal	X
Dim								< 1m				Dim de porte $1m \leq LP \leq 1.5m$
								$1m \leq LP \leq 1.5m$	X			
N°								1P	X			N° de porte un seul IP
								2P				
Porte Balcon				Maté			Porte Balcon en Bois					
							métal	X				
							Sans Porte Balcon					
				Dim			< 1m	X		Dim de porte Balcon < 1m		
							$1m \leq LP \leq 1.5m$					
							Sans Porte Balcon					
Porte garage				Maté			Porte garage En métal					
							métal	X				
							Sans garage					
		Dim	> 1.5	x	Dim > 1.5							
Porte un seul battant		Sans imposte		X		Sans imposte						
		Avec imposte										
		Sans Porte un seul battant										
Porte deux battants		Sans imposte				Sans Porte 2 battants						
		Avec imposte										
		Sans Porte 2 battants		X								
Porte garage		Sans imposte		x		Sans imposte						
		Avec imposte										
		Sans garage										

<b>Les surfaces opaques verticale : Les murs</b>	Système constructive	Mur porteur			Système portique
		Système portique	X		
		Mixte			
	Type de mur	Simple	X		Simple
		Double Avec lame d'air			
		Double Avec isolation			
		Simple RDC + étage double avec l'aime d'aire			
	Epaisseur	R20PE15B	X	R30BE15B RDC  Etage 	R20PE15B RDC  Etage 
		R30BE15B	X		
		R20PE10B	X		
		R20PC	X		
		R20PE15A10B			
		R30BE15A10B			
		R20PPE15B	X		
		R30B	X		
		R30BE30B	X		
		R20PCE15P			
		R20PE30B			
	R20PE20B				
	R20PP	X			
	Matériaux de construction	PC+BC	X	PP 	PC et BC 
		BC	X		
		PP	X		
PP+BC		X			
PC		X			
Revêtement des murs	Sans (RDC+Etage )		X	Avec un enduit de ciment dans RDC	Sans revêtement des murs
	Avec	enduit ciment RDC et sans étage	X		
		enduit ciment RDC +étage	X		
		Granito RDC et enduit ciment			
Texture	Lisse				Texture rugueuse
	rugueuse		X		
Couleur de peinture	Sans		X	Avec une couleur Blanche 	Sans peinture 
	Claire	Beige	X		
		Blanche	X		
		Blanche RDC sans étg			
		Sombre .....			

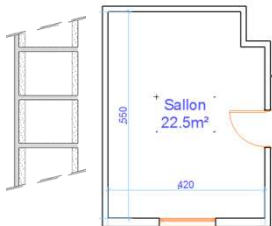
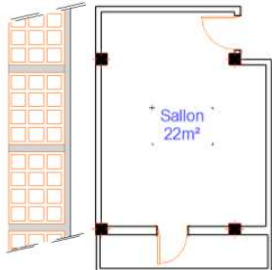
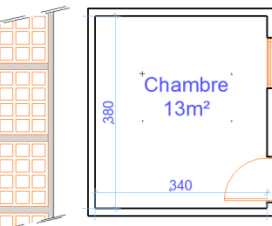
<b>Les surfaces opaques verticale : Les murs</b>	Rapport plein et vide	Moins de 15%					Entre 15 et 17%	
		Entre 15 et 17%		X				
		Plus de 17%						
	Eléments saillants de la façade	Sans élément saillant			Chambre+ cage d'escalier  	Balcon +Chambre  		
		Balcon +Chambre		X				
		Loggia + Chambre						
		Balcon		X				
		Loggia						
		Chambre		X				
		Avance de toiture						
		Cage d'escalier		X				
	Façade sur la rue 1 (Principale)	RDC	Fenêtre	Sans	X	2 Fenêtre 	Un seule fenêtre et garage dans RDC 	
				1F	X			
				2F	X			
				3F				
			Garage	Sans		2garage 		
				1G	X			
				2G	X			
				3G				
		1 <sup>er</sup> étage	Fenêtre	Sans		2 Fenêtre et sans Balcon dans 1 <sup>er</sup> étage 	2Fentre et un seul Balcon dans 1 <sup>er</sup> étage 	
				1F	X			
				2F	X			
				3F	X			
				4F				
			Balcon	Sans	X			
				1B	X			
				2B				
2 <sup>ème</sup> étage				Fenêtre	Sans			Sans 2 <sup>ème</sup> étage 
					1F			
		2F	X					
		Balcon	Sans	X				
			1B	X				
			2B					

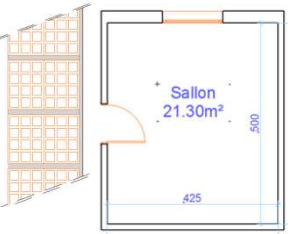
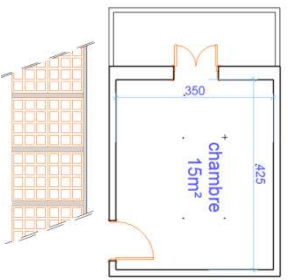
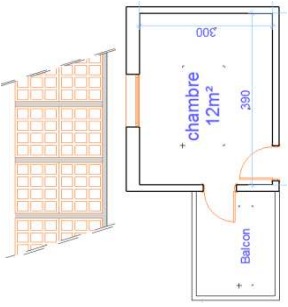
Les surfaces opaques verticale : Les murs	Façade sur la rue 2 (Secondaire)	RDC	Fenêtre	Sans Faç	x	Avec un ou 2 fenêtre	Sans fenêtre et garage dans la façade Secondaire (RDC)
				0F	X		
				1F	X		
			2F				
			Garage		X		
		1 <sup>er</sup> étage	Fenêtre	1F	X		avec 1 ou 2 fenêtre et un Balcon
				2F	X		
			Sans Balcon		X		
			Balcon		X		
			1B	X			

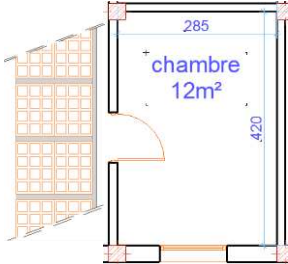
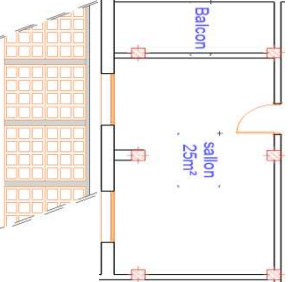
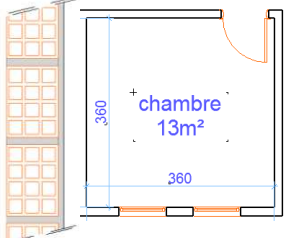
Critères	Modalités possibles	Modalités observées	Modalités dominantes	
			Relatives	Absolues
Forme de toiture	Plate	X		plat + Accessible
	En pente	X		
Accessible	Oui	X		
	Non			
Type de toiture	Dalle plein			
	Corps creux	X		
Epaisseur de la dalle extérieur	20cm	X		Epaisseur de la dalle extérieur 20cm
	25cm	X		
	30cm			
Faux plafond	sans	X	Avec de 5cm 	sans Faux plafond
	Avec E=.....			
Enduit Int	Plâtre E=1,5		Enduit en paitre	Enduit Ciment 
	Ciment E=1,5	X		
Par vapeur	sans	x		sans Par vapeur
	Avec Précise.....			
Isolation thermique	sans	X		Sans Isolation thermique
	Avec Précise.....			
chape de ciment	sans			
	Avec E.....	X		
Carrelage	sans			Sans Carrelage
	Avec E.....			
étanchéité	sans	X		sans étanchéité
	Avec E.....			
Protection de la toiture	sans			Avec H>1,8m 
	Avec H>1,8m	X		
Couleur	La couleur de revêtement extérieur	X	Couleur claire de revêtement de carrelage	la couleur gris de la dalle de compression

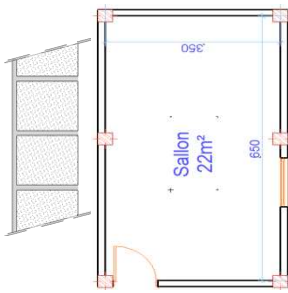
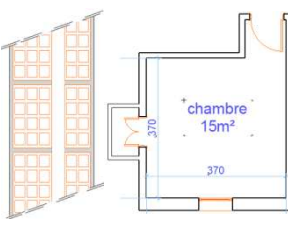
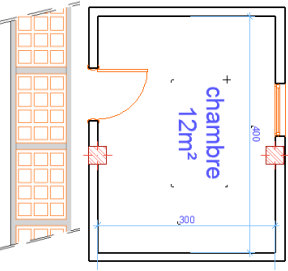


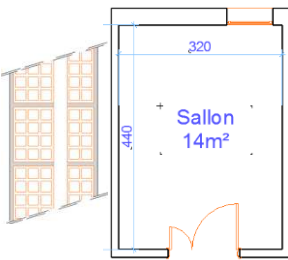
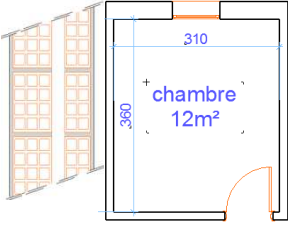
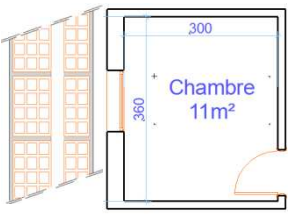
**Présentation des résultats de mesure in situ de la PÉRIODE ESTIVALE**  
Du 29 Juillet au 5 Aout 2016

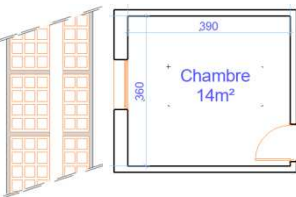
			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	32,2	32	32,5	38	37	37	Mur en parpaing creux (22cm) situé au RDC, orientation SUD OUEST 
		Ext	35	34	35	41,1	39,5	39	
	Température de surface °C	Int mur	31,5	/	31,2	37	/	36,4	
		Ext mur	35,8	/	35,4	45,8	/	45	
		Int toit	34	/	33	37,4	/	37	
		Ext toit	36	/	34,5	44	/	42	
	Humidité relative %	Int	39,4	34,8	35,6		26,2	29,4	
		Ext	32,8	31,3	31,8	21,5	17,9	20	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,1	0	0,1	0,6	0,0	0,1	
		Ext	1	0	1	2,6	0,3	1	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	32,9	32,8	32,9	36,5	36,3	36,4	Mur 16,5cm en Brique creuse, étage orientation SUD OUEST 
		Ext	34,8	34	35	41,1	38,4	39,5	
	Température de surface °C	Int mur	34,2	/	33,8	36,2	/	36,1	
		Ext mur	37,5	/	37,5	43	/	42,5	
		Int toit	34,8	/	34,8	37,4	/	37,4	
		Ext toit	34,7	/	34,3	43,7	/	42	
	Humidité relative %	Int	33,5	33,5	33,5	25,4	24,9	25,1	
		Ext	34	33,4	33,7	21,5	17,9	20	
	Vitesse de l'air m/s	Int	2,1	0	0,1	1,6	0,0	0,1	
		Ext	2,1	0	0,4	2,6	0,3	1	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	31,8	32,4	32,3	35,5	34	34,4	Mur 16cm en brique creuse orientation NORD EST 
		Ext	33,8	33,6	33,8	38	36	36,4	
	Température de surface °C	Int mur	34,6	/	33,8	39,6	/	37,6	
		Ext mur	33,9	/	33,3	42,9	/	42,9	
		Int toit	33,2	/	33,5	39,3	/	39,3	
		Ext toit	34,7	/	34,5	43,7	/	42	
	Humidité relative %	Int	34,4	31,3	32,2	26,2	24,8	36	
		Ext	32	30,3	30,7	30,5	22	25,1	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,8	0	0,2	0,3	0	0,1	
		Ext	1,1	0	0,2	2,6	0,3	1	

<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	33,6	33,1	33,3	42,4	34	36	<p>Mur 32 cm en brique creuse 15+15 orientation Ouest</p> 
		Ext	36,2	35,4	36	42,7	36	40	
	Température de surface °C	Int mur	31,9	/	32,5	36	/	35,3	
		Ext mur	36,3	/	35,4	49,3	/	46,1	
		Int toit	31,5	/	31,1	34,1	/	34,1	
		Ext toit	34,7	/	34,1	42	/	40	
	Humidité relative %	Int	29,9	33,1	29,1	25,1	21,2	22,6	
		Ext	26,1	24,4	25,1	24,3	13,9	19,2	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,7	0	0,1	0,5	0	0,1	
		Ext	1,7	0,6	0,9	1,8	0,6	0,9	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	34	33,2	33,6	37,2	34,7	36,3	<p>Mur 32 cm en brique creuse 15+15 orientation Ouest</p> 
		Ext	38,6	35,6	37,4	42,7	35,9	40	
	Température de surface °C	Int mur	34,3	/	33,3	37,4	/	37	
		Ext mur	36,8	/	35,3	45	/	44,8	
		Int toit	34,7	/	34,1	42	/	40	
		Ext toit	35,3	/	35	47,4	/	36,8	
	Humidité relative %	Int	30,1	28,9	29,4	28,8	20,9	24	
		Ext	25,6	22,7	24,1	24,3	13,9	19,2	
	Vitesse de l'air m/s	Int	1	0	0,2	0,4	0	0,1	
		Ext	1	0	0,3	1,8	0,6	0,9	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	34,8	34,6	34,8	36,7	36,5	36,6	<p>Mur 33cm en brique creuse orientation Est</p> 
		Ext	38,7	36,6	37,9	40,6	29,2	40,2	
	Température de surface °C	Int mur	36,3	/	35,7	37,7	/	37	
		Ext mur	44,8	/	41,1	43,6	/	43,1	
		Int toit	35	/	34	36,5	/	36	
		Ext toit	37,8	/	36,4	42,5	/	40	
	Humidité relative %	Int	27,3	26,3	28,8	27,1	22,6	24,2	
		Ext	24,1	22,3	23	19,9	17,7	18,3	
	Vitesse de l'air m/s	Int	2,1	0	0,3	1,3	0	0,1	
		Ext	2,1	0,4	0,9	0,5	0	0,3	

<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	32,2	32,1	32,1	38,2	32,2	38	<p>Mur 32 cm en brique creuse 15X2 orientation Nord-Ouest</p> 
		Ext	39,6	38	39,2	42,8	34,3	42,6	
	Température de surface °C	Int mur	29,2	/	28,9	36,2	/	36	
		Ext mur	36,5	/	36,9	43,2	/	43	
		Int toit	31,4	/	31	32	/	31,6	
		Ext toit	36,6	/	36,3	36,3	/	36	
	Humidité relative %	Int	37,2	37,2	34,5	36,3	28	30,5	
		Ext	23,2	20,4	21,6	15,4	14,8	15,5	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1	
		Ext	1,9	0,3	0,7	0,5	0	0,3	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	35,3	35,3	35,3	38	37,6	37,8	<p>Mur 32 cm en brique creuse 15X2 orientation Nord-Ouest</p> 
		Ext	39,6	38	39,2	42,8	34,3	42,6	
	Température de surface °C	Int mur	30,5	/	30	38,5	/	38	
		Ext mur	38,4	/	38	45,5	/	44,7	
		Int toit	35,8	/	34,7	38,8	/	38,7	
		Ext toit	39,4	/	38,4	47,5	/	47,1	
	Humidité relative %	Int	30,7	26,7	29	26,7	20	21,8	
		Ext	23,2	20,4	21,6	15,4	14,8	15,5	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0	
		Ext	1,9	0,3	0,7	0,5	0	0,3	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	37,2	37,1	37,2	39,8	39,7	39,8	<p>Mur 17cm en Brique creuse orientation EST</p> 
		Ext	40	39,6	39,7	43,4	42,4	43	
	Température de surface °C	Int mur	41,2	/	41	42	/	41	
		Ext mur	48,5	/	45	45,5	/	44,2	
		Int toit	36,3	/	36	42,3	/	42	
		Ext toit	38,4	/	38	50,5	/	50	
	Humidité relative %	Int	30	24,4	26,2	22,5	19,1	20,8	
		Ext	24,1	20,5	21,5	16,1	15,3	15,6	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,4	0	0,1	0,3	0	0,1	
		Ext	1,9	0,5	1,2	1,5	0,4	1	

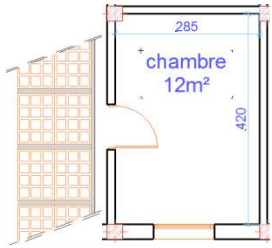
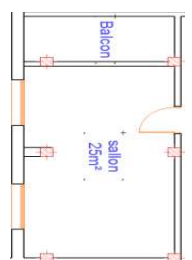
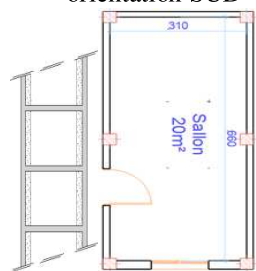
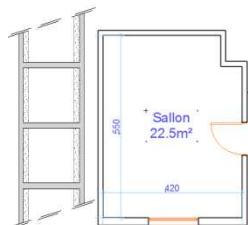
<b>Mur en parpaing plein</b>	Température ambiante °C	Int	37,1	37,1	37,1	40,3	40	40,2	<p>Mur 20cm en parpaing plein RDC orientation OUEST</p> 
		Ext	40	39	39,7	41	40,5	41	
	Température de surface °C	Int mur	37,4	/	37,1	42,1	/	41	
		Ext mur	41,2	/	41	45,4	/	45	
		Int toit	37,1	/	37	44,7	/	44,3	
		Ext toit	39,2	/	38,6	50,6	/	49	
	Humidité relative %	Int	31,1	24,2	26,1	21,4	19	19,6	
		Ext	21,8	21,6	21,7	19,4	17,5	18,2	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0	
		Ext	1,4	0,4	0,8	0,5	0	0,3	
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	35	35	35	36,6	36	36,3	<p>Mur 33cm en brique creuse (15+10) orientation OUEST</p> 
		Ext	37,3	37	37,2	44	43,4	43,5	
	Température de surface °C	Int mur	37,7	/	37,6	38,5	/	38,1	
		Ext mur	41,6	/	41,4	50,6	/	50,4	
		Int toit	38,4	/	38,1	39,6	/	39,3	
		Ext toit	34,4	/	34,4	46,8	/	46,4	
	Humidité relative %	Int	25,9	24,7	25,4	20,6	20	20,3	
		Ext	21,8	20,6	21,2	13,9	13	13,3	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,5	0	0,2	0,3	0	0,1	
		Ext	1	0	0,5	1,9	0,5	1,2	
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	36,2	34,6	35,8	39,2	38	39	<p>Mur 17cm en brique creuse 15 orientation SUD</p> 
		Ext	39,1	33,1	38,7	44	43	43,5	
	Température de surface °C	Int mur	36,4	/	36,4	38,5	/	37,6	
		Ext mur	40,6	/	40,1	46,9	/	46,3	
		Int toit	36,8	/	36,5	37,5	/	37,5	
		Ext toit	42,6	/	42,3	41,6	/	41,4	
	Humidité relative %	Int	24,8	25,6	26,4	26,3	22,5	24,2	
		Ext	20,3	19,7	20	13,9	13	13,3	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1	
		Ext	1,3	0,3	0,6	1,9	0,5	1,2	

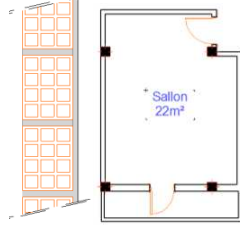
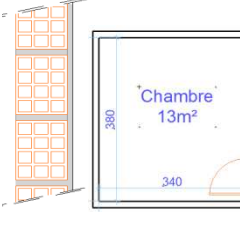
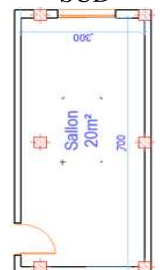
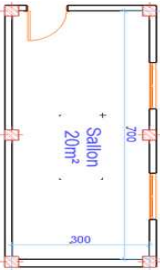
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	34,7	34,5	34,6	38,2	37,6	37,8	Mur 30cm en double paroi de brique orientation OUEST 
		Ext	35,5	34,5	35	41,4	39,5	40,8	
	Température de surface °C	Int mur	36,6	/	36,4	37,3	/	37,1	
		Ext mur	36	/	36	42,7	/	42,7	
		Int toit	37,1	/	37	38	/	38	
		Ext toit	34,6	/	34,3	35	/	34,8	
	Humidité relative %	Int	38,4	36,1	37,1	18,8	15,6	16,5	
		Ext	36,3	34,7	35,3	21,3	14,6	16,6	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1	
		Ext	0,4	0	0,2	2,2	0	0,8	
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	35,2	35,1	35,2	37,4	37,4	37,2	Mur 30 cm en double paroi de brique orientation OUEST 
		Ext	35,5	34,5	35	41,4	39,5	40,8	
	Température de surface °C	Int mur	37,5	/	37,5	37,3	/	37,3	
		Ext mur	36,4	/	36	42,7	/	42,7	
		Int toit	38,1	/	38,1	38,4	/	38,1	
		Ext toit	37	/	36,8	36,6	/	36,3	
	Humidité relative %	Int	40,7	35,2	38,4	26	15,5	19,2	
		Ext	36,3	34,7	35,3	16,4	12,6	12,7	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0,3	0	0,1	
		Ext	0,4	0	0,2	1,4	0,8	1,1	
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	34,4	34,5	34,9	35,4	33,8	34,5	Mur 33 cm en double mur en brique orientation Nord-Ouest 
		Ext	39	34,6	38	40	35,6	39,5	
	Température de surface °C	Int mur	30,7	/	30,1	35,8	/	35,5	
		Ext mur	49,3	/	49,3	39,8	/	39,5	
		Int toit	32,6	/	32,2	34,8	/	34,6	
		Ext toit	34,8	/	34,4	36,3	/	36,1	
	Humidité relative %	Int	41,8	37,9	37,9	38,4	29,8	33,2	
		Ext	41,8	24	35,8	38,4	28,8	32,9	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0	
		Ext	1,2	0,2	0,5	0,4	0	0,2	

<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	34,6	34,5	34,6	35,4	35,4	35,4	Mur 33 cm en double paroi de brique, orientation Nord-Ouest 
		Ext	39	34,6	38	40	35,6	39,5	
	Température de surface °C	Int mur	35,8	/	35,8	37	/	37	
		Ext mur	40,1	/	40,3	41,7	/	41,7	
		Int toit	36,8	/	36,4	37,5	/	37,3	
		Ext toit	37	/	36,8	37,9	/	37,5	
	Humidité relative %	Int	35,9	27,8	31	36	31,1	33,4	
		Ext	41,8	24	35,8	38,4	28,8	32,9	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0	
		Ext	1.2	0.2	0.5	0,4	0,3	0,3	

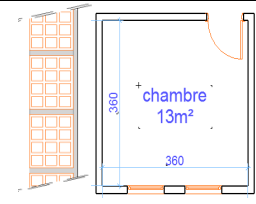
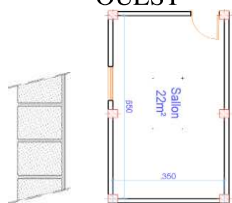
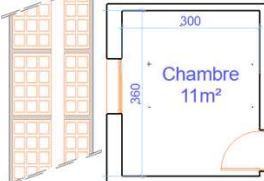
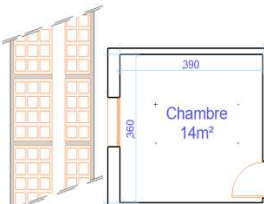
## Présentation des résultats de mesure in situ dans la PÉRIODE HIVERNALE

Du 28 Décembre au 2 Janvier 2016

			Matin			Après midi			Schéma
			Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	20	16.5	18,8	22	18	20,2	Mur 32 cm en brique creuse 15X2, RDC orientation Nord-Ouest 
		Ext	18	16	17,2	20	17.5	18,8	
	Température de surface °C	Int mur	19.6	/	19	21.5	/	19	
		Ext mur	17	/	16,5	21	/	17,9	
	Humidité relative %	Int	40	32	37	45.5	40	43	
		Ext	46	38	40	46	39	44.2	
Vitesse de l'air m/s	Int	0.3	0	0,3	0.3	0	0,1		
	Ext	2.5	0.9	1	1.5	0.3	0.8		
<b>Mur en Brique creuse X2</b>	Température ambiante °C	Int	20.1	16	19	23	20	21,5	Mur 32 cm en brique creuse 15+15, étage orientation Nord-Ouest 
		Ext	18	16	17	20	17.5	19	
	Température de surface °C	Int mur	20	/	19	22.8	/	21,3	
		Ext mur	17	/	16,4	21	/	19,8	
	Humidité relative %	Int	41	28	37	42	37	40	
		Ext	46	38	40	46	39	43	
Vitesse de l'air m/s	Int	0.3	0	0,3	0.3	0	0,1		
	Ext	2.5	0.9	1	1.5	0.3	0.8		
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	16	12.1	13,6	21.3	17.1	19,7	Mur 23 cm en parpaing creux, RDC orientation SUD 
		Ext	13.5	11.8	12,1	20.3	16	18,3	
	Température de surface °C	Int mur	15.6	/	15	20.1	/	18,5	
		Ext mur	14.3	/	13	16.9	/	16,5	
	Humidité relative %	Int	48	40	43	51	38	48,6	
		Ext	59	37	52,5	54	32	50	
Vitesse de l'air m/s	Int	0.2	0	0.1	0.6	0	0.1		
	Ext	2	0	1.5	2.6	0.3	1.5		
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	18.5	14	16	19	16	18,3	Mur 22cm en parpaing creux, RDC orientation SUD OUEST 
		Ext	17	16	16,5	17.5	16	17,1	
	Température de surface °C	Int mur	15	/	14,7	19.4	/	18,6	
		Ext mur	16	/	15	13.6	/	23	
	Humidité relative %	Int	50	40	46	50	38	48,6	
		Ext	59	37	42	54	32	50	
Vitesse de l'air m/s	Int	0.2	0	0.1	0.6	0	0.1		
	Ext	2	0	1.5	2.6	0.3	1.5		

<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	14.5	12	13,8	20	15	17,8	Mur 16,5cm en Brique creuse, étage orientation SUD OUEST 
		Ext	18	14	16	21.2	17.5	19,5	
	Température de surface °C	Int mur	13.2	/	12,5	20	/	19,5	
		Ext mur	17	/	15	24.3	/	23	
	Humidité relative %	Int	48	41	45	40.5	33	36,3	
		Ext	50.3	42	48.5	44.3	41	42.2	
Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0		
	Ext	2	0.5	1	1.5	0.3	1		
<b>Mur en Brique creuse 15cm</b>	Température ambiante °C	Int	17.5	13	15,5	18.3	15	17,3	Mur 16cm en brique creuse, étage orientation NORD EST 
		Ext	18.5	12	17	20.8	16	18,5	
	Température de surface °C	Int mur	16.3	/	14,3	18.5	/	16,7	
		Ext mur	17	/	15	20.2	/	18,7	
	Humidité relative %	Int	44.5	35	43.3	41.2	35	37.5	
		Ext	55	48	52	49.3	41	46	
Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0		
	Ext	2	0.5	1	1.5	0.3	1		
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	21	18.2	19	22.2	19.3	20,5	Mur 22 cm en parpaing creux, RDC, orientation SUD 
		Ext	18	16.5	17,2	21.1	18	19,5	
	Température de surface °C	Int mur	20.2	/	18,3	20	/	19,1	
		Ext mur	14.5	/	15,3	18	/	17,8	
	Humidité relative %	Int	50	38	46	48	40	46	
		Ext	45	32	40	42	30	34	
Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0		
	Ext	2	0.5	1	1.5	0.3	1		
<b>Mur en parpaing creux</b>	Température ambiante °C	Int	19.2	16	18	21.5	18	20,7	Mur 22 cm en parpaing creux, RDC orientation NORD 
		Ext	20.2	17.4	18,1	22	17	19	
	Température de surface °C	Int mur	16	/	15,4	20	/	19,6	
		Ext mur	16.5	/	15	18	/	17,4	
	Humidité relative %	Int	49	41	45	55	43	49	
		Ext	45	36	43	43.2	35	39,3	
Vitesse de l'air m/s	Int	0	0	0	0	0	0		
	Ext	2	0.5	1	1.5	0.3	1		
<b>Mur en Brique creuse</b>	Température ambiante °C	Int	19	13.5	15	18	16.2	17,1	Mur 17cm en brique creuse, étage orientation EST
		Ext	18.3	13	14	19	13	16,7	
	Température	Int mur	15	/	14,8	16.3	/	15,7	



<b>15cm</b>	de surface °C	Ext mur	13.5	/	13,2	18.5	/	18	
	Humidité relative %	Int	47	39	65	42	30	38.5	
		Ext	66	50	43	57	43	55	
	Vitesse de l'air m/s	Int	1	0	0	0.2	0	0	
		Ext	1.4	0.4	0.8	1.2	0	1	
<b>Mur en parpaing plein</b>	Température ambiante °C	Int	15	14	14,7	18	16	17	<p>Mur 20cm en parpaing plein RDC orientation OUEST</p> 
		Ext	14.4	13	13,8	17	15.8	16,1	
	Température de surface °C	Int mur	16	/	14,6	16.7	/	15,3	
		Ext mur	19	/	13,8	17.5	/	16,7	
	Humidité relative %	Int	47	43	46	45	27	47	
		Ext	59	37	45	60	44	38,5	
	Vitesse de l'air m/s	Int	1	0	0	0.2	0	0	
		Ext	1.4	0.4	0.8	1.2	0	1	
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	26.3	22.3	24,4	26.8	21.2	23,6	<p>Mur 33 cm en double paroi en brique (15+10) RDC orientation Nord-Ouest</p> 
		Ext	25.1	21.6	23,4	28.3	22	23,9	
	Température de surface °C	Int mur	26.5	/	22,5	24.1	/	22,9	
		Ext mur	23.8	/	22,1	25	/	24,2	
	Humidité relative %	Int	44	38	40	40	34	38,7	
		Ext	52	38	40.3	55	37	45	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0.5	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	
		Ext	3	0.3	1.4	1.9	0.5	1.2	
<b>mur en Double Brique avec lame d'air</b>	Température ambiante °C	Int	27.4	24	26,1	27.3	25.1	26,4	<p>Mur 33 cm en double paroi de brique (15+10) à l'étage orientation Nord-Ouest</p> 
		Ext	24.3	20.1	22,8	25.2	22	24,9	
	Température de surface °C	Int mur	28.2	/	26	28.3	/	26,5	
		Ext mur	22.7	/	21	25.5	/	23,6	
	Humidité relative %	Int	44.2	40.6	42.4	41	36.3	38.2	
		Ext	52	40.3	44.2	55	37	45.5	
	Vitesse de l'air m/s	Int	0.5	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	
		Ext	3	0.3	1.4	1.9	0.5	1.2	