

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 d'Architecture

Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المعمارية

المرجع :.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Doctorat science en Architecture**

**L'expérience de haute performance énergétique en Algérie :  
efficacité énergétique et confort thermique dans l'habitat collectif  
OPGI, étude comparative entre Blida et Djelfa.**

Présentée par :

**M<sup>me</sup> FERRADJI Kenza**

Soutenue publiquement le : 23 Janvier 2024

**Devant le jury composé de :**

<b>Dr Adel SEKHRI ;</b>	<b>M.C.A.</b>	<b>U. Biskra</b>	<b>Président</b>
<b>Pr Moussadek BENABBES ;</b>	<b>Professeur</b>	<b>U. Biskra</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Dr Djamila DJAGHROURI ;</b>	<b>M.C.A.</b>	<b>U. Biskra</b>	<b>Co-rapporteuse</b>
<b>Pr Abida HAMOUDA ;</b>	<b>Professeur</b>	<b>U. Batna</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Dr Mounia BOUSNINA ;</b>	<b>M.C.A.</b>	<b>U. Sétif</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Pr Atef AHRIZ ;</b>	<b>Professeur</b>	<b>U. Tebessa.</b>	<b>Examineur</b>

اللَّهُمَّ لَكَ الْحَمْدُ

حَتَّى تَرْضَى

وَلَكَ الْحَمْدُ إِذَا رَضِيتَ

وَلَكَ الْحَمْدُ بَعْدَ الرِّضَا

*À mon mari ;*  
*À mes parents ;*  
*À ma grande mère ;*  
*À mes sœurs, mes frères ;*  
*À la mémoire de ma belle-mère ;*  
*À Louai, Afuane, Oumaima, le sens de ma vie ;*

## Remerciement

J'aimerais tout d'abord remercier ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce travail à terme.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au professeur Moussadek Bennabes, mon directeur de thèse, de m'avoir guidé tout au long de ma thèse par ces conseils précieux, sa disponibilité et sa confiance. Je remercie aussi ma co-encadrante, Djamilia Djaghrouri.

J'adresse aussi mes remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions et orientations : Dr Sekhri Adel, Pr Abida HAMOUDA, Dr mounia BOUSNINA et Pr Atef AHRIZ.

Je remercie également dr Khaled Imessaad et dr Lotfi Derradji pour la fourniture de la documentation. Mes sincères remerciements sont à l'ensemble des administrateurs de la bibliothèque EPAU d'Alger pour l'accueil et les conditions de travail privilégiées qui m'ont été offertes.

Merci à tous mes enseignants de l'université de Biskra, particulièrement, monsieur Noureddine ZEMMOURI. Je remercie également toutes mes amies et collègues du laboratoire LACOMOFA surtout à Djamilia BENAMOUMA et Dalel BOUZIANE.

Cette thèse n'aurait pu être menée à bien sans la contribution précieuse de personnes qui m'ont aidé dans les récoltes des données sur terrains, plus particulièrement mon mari Tarek, mon frère Brahim, ma sœur Khadidja et l'ensemble des occupants qui ont participé au questionnaire. Merci à eux pour le temps qu'ils ont consacré à répondre à mes questions, de leur patience et de leur intérêt de ma recherche. Je tiens à remercier spécialement les propriétaires des logements d'études pour m'avoir accueilli en m'offrant les informations nécessaires.

Mes vifs remerciements vont aussi à mes parents, mes frères et sœurs ainsi que toute ma famille et ma belle-famille qui ont toujours cru en moi. Sans oublier ma grande mère que Dieu les protège. C'est grâce à vous que je suis là aujourd'hui.

Enfin, je remercie mon cher époux pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme contagieux à l'égard de mes études ainsi que mes choix dans la vie et je dis merci à mes enfants que la thèse a pris de leur temps.

## Résumé

En Algérie, le défi actuel à relever par les acteurs du domaine du bâtiment est l'assurance des ambiances thermiques favorables tous en minimisant la consommation énergétique. Cela est dû à une généralisation d'un système constructif induisant des bâtiments énergivores.

À cet effet, l'Algérie s'est engagée dans une politique d'efficacité énergétique en faisant référence aux expériences internationales dans le domaine. Ce qui a permis une contribution substantielle de lutte contre les impacts néfastes de la surconsommation énergétique et de favoriser une transition en matière d'énergies.

Dans ce contexte, ce travail de recherche consiste à suivre une procédure d'évaluation thermique, énergétique et à l'échelle de satisfaction des usagers ayant bénéficié du programme ECO-BAT par le biais d'une étude comparative entre deux cas d'étude. Il s'agit des projets de haute performance énergétique (HPE) de Blida et celui de Djelfa. Ensuite, il s'agit d'élaborer une nouvelle variante conceptuelle optimisée vis-à-vis du confort thermique et de la consommation énergétique en manipulant certains des paramètres qui composent l'enveloppe.

Ainsi, la recherche développée dans ce travail est composée de deux parties principales. Il s'agit dans un premier temps d'une évaluation subjective du confort thermique par un questionnaire destiné aux occupants du projet HPE Blida. Secondée d'une investigation in-situ elle-même, validée par une simulation thermique pour les deux cas d'étude. Quant à la deuxième partie, elle est consacrée à l'étude paramétrique de l'impact de quelques éléments de l'enveloppe sur la qualité thermique et énergétique du logement, qui s'est faite à l'aide de la simulation thermique dynamique TRNSYS.

À l'issue de ce travail, les résultats de l'évaluation ont montré une insuffisance de la qualité thermique, énergétique et comportementale des cas d'étude, alors que l'optimisation a prouvé une satisfaction vis-à-vis des résultats obtenus concernant ; la température opérative, la consommation énergétique et les indices PMV et PPD. Cela indique que l'adaptation d'une stratégie conceptuelle, liée au type de climat correspondant, tous en intégrant un choix adéquat d'éléments de l'enveloppe thermique, favorisent positivement la qualité thermique et énergétique de l'espace intérieur autant que le besoin thermique des usagers.

**Mots-clés** : Enveloppe de l'habitation, Confort thermique, Efficacité énergétique, Consommation énergétique, Optimisation, Blida et Djelfa villes.

## Abstract

In Algeria, the current challenge facing the building industry is to ensure a favorable thermal environment while minimizing energy consumption. This is due to the widespread use of a construction system that results in energy-intensive buildings sector.

To this end, Algeria has embarked on a policy of energy efficiency, drawing on international experience in the field. This has made a substantial contribution to combating the harmful impacts of energy over-consumption and promoting a transition in energy use.

In this context, this research work consists in following a thermal and energy evaluation procedure, as well as the satisfaction of users who have benefited from the ECO-BAT program, through a comparative study of two case studies. These are the High Energy Performance (HPE) projects in Blida and Djelfa. The next step is to develop a new design variant optimized for energy consumption, by manipulating some of the parameters that make up the building envelope.

Thus, the research developed in this work is composed of two main parts. The first is a subjective assessment of thermal comfort, using a questionnaire addressed to the occupants of the HPE Blida project. Secondly, an in-situ investigation itself, validated by a thermal simulation for the two case studies. The second part is devoted to a parametric study of the impact of certain elements of the envelope on the thermal and energy quality of the dwelling, using TRNSYS dynamic thermal simulation.

Finally, the results of the evaluation showed a lack of thermal, energy and behavioral quality in the case studies, whereas the optimization proved satisfactory with regard to the results obtained concerning; operating temperature, energy consumption and PMV and PPD indices. This indicates that the adaptation of a design strategy, linked to the corresponding type of climate, while integrating an appropriate choice of thermal envelope elements, positively promotes the thermal and energetic quality of the interior space as much as the thermal needs of users.

**Key words:** Housing envelope, Thermal comfort, Energy efficiency, TRNSYS, Optimization, Blida and Djelfa cities.

## ملخص

يتمثل التحدي الحالي في الجزائر، الذي يواجه الجهات الفاعلة في قطاع البناء، في ضمان البيئة الحرارية المواتية في المسكن مع تقليل استهلاك الطاقة، ويرجع ذلك إلى الاستخدام الواسع النطاق لنظام البناء الذي نتج عنه مبانٍ كثيفة الاستهلاك للطاقة.

وتحقيقاً لهذه الغاية، شرعت الجزائر في تنفيذ سياسة كفاءة الطاقة، مستفيدة من الخبرة الدولية في هذا المجال. وقد ساهم ذلك مساهمة كبيرة في مكافحة الآثار الضارة الناجمة عن الاستهلاك المفرط للطاقة وتعزيز التحول في استخدام الطاقة.

في هذا السياق، يتمثل هذا العمل البحثي في اتباع إجراء تقييم حراري وطاقوي ومدى رضا المستخدمين الذين استفادوا من برنامج ECO-BAT عن طريق دراسة مقارنة بين حالتين دراسيتين. وهما مشروع الأداء العالي للطاقة (HPE) في البلدية والجلفة. وتتمثل الخطوة التالية في تطوير متغير تصميم جديد يعمل على توفير الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة من خلال تحسين بعض العناصر التي تشكل غلاف المبنى.

للقيام بذلك، يتكون البحث الذي تم تطويره في هذا العمل من جزأين رئيسيين. الأول هو تقييم ذاتي للراحة الحرارية باستخدام استبيان مخصص لسكان مشروع HPE البلدية. وأُعقب ذلك إجراء دراسة ميدانية في الموقع نفسه، حيث تم التحقق من صحتها بواسطة المحاكاة الحرارية لحالتي الدراسة. أما الجزء الثاني فهو يتعلق بتطوير تصميم جديد بعد دراسة تأثير بعض عناصر الغلاف على الجودة الحرارية والطاقوية للمسكن، باستخدام برنامج المحاكاة الحرارية الديناميكية TRNSYS.

في نهاية هذا العمل، أظهرت نتائج التقييم أن الجودة الحرارية والطاقوية والسلوكية لدراسات الحالة كانت غير كافية، في حين أن التحسين أثبت أنه مُرضٍ من حيث النتائج التي تم الحصول عليها بالنسبة لدرجة حرارة التشغيل واستهلاك الطاقة والمؤشرات PMV و PPD. يشير هذا إلى أن تكييف استراتيجية التصميم، المرتبطة بنوع المناخ، مع دمج الاختيار المناسب لعناصر الغلاف الحراري، يساعد بشكل إيجابي على الجودة الحرارية والحيوية للمجال الداخلي و يعزز تلبية الاحتياجات الحرارية للمستخدمين.

**الكلمات المفتاحية:** الغلاف، التحسين، الراحة الحرارية، الفعالية الطاقوية، استهلاك الطاقوي، السكن.

## Table des matières:

Résumé.....	i
Abstract .....	ii
ملخص.....	iii
Table des matières:.....	iv
Index des figures.....	xv
Index des tableaux.....	xxiii
Nomenclature.....	xxiv

## Chapitre introductif

Introduction :	1
1. Problématique :	3
2. Hypothèse de la recherche :	4
3. Objectifs de la recherche :	4
4. La méthodologie :	5
5. Structure de la thèse :	5

## Chapitre I : Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

Introduction .....	8
I.1 Contexte de la problématique énergétique :	9
I.1.1 La consommation énergétique :	9
I.1.1.1 Dans le monde :	9
I.1.1.2 En Algérie :	13
I.1.2 L'impact négatif de la surconsommation énergétique :	15
I.1.3 Le contexte de la maîtrise d'énergie :	16
I.1.3.1 Les notions relatives à l'amélioration énergétique :	16
I.1.3.2 L'impact de l'efficacité énergétique :	17

I.1.3.3	Les procédures d'amélioration énergétique : .....	17
I.1.3.3.1	L'efficacité énergétique liée au bâtiment (les solutions passives) : .....	17
I.1.3.3.1.1	L'optimisation de l'enveloppe thermique : .....	18
I.1.3.3.1.1.1	La partie opaque : .....	18
I.1.3.3.1.1.2	La partie vitrée : .....	18
I.1.3.3.2	L'efficacité énergétique liée aux équipements (solutions actives) : .....	19
I.1.3.4	La mise en œuvre d'une politique de l'efficacité énergétique : .....	20
I.2	- Le confort thermique entre évaluation et perception : .....	20
I.2.1	Définition du confort thermique : .....	20
I.2.2	Les paramètres de confort thermique : .....	21
I.2.2.1	Les paramètres liés à l'environnement : .....	22
I.2.2.1.1	La température de l'air ( $T_a$ ) : .....	22
I.2.2.1.2	La vitesse relative de l'air : .....	22
I.2.2.1.3	La température moyenne radiante ( $T_p$ ) : .....	23
I.2.2.1.4	Degré hygrométrique de l'air : .....	24
I.2.2.2	Les paramètres liés à l'utilisateur de l'espace : .....	25
I.2.2.2.1	L'activité métabolique : .....	25
I.2.2.2.2	La résistance des vêtements : .....	27
I.2.3	Les aspects du confort thermique : .....	28
I.2.3.1	Aspect physiologique : .....	28
I.2.3.2	Aspect psychologique .....	30
I.2.3.3	Aspect physique : .....	31
I.2.3.3.1	Les échanges de chaleur par la peau : .....	32
I.2.3.3.1.1	Rayonnement (R) : .....	32
I.2.3.3.1.2	Convection : .....	33
I.2.3.3.1.3	Conduction : .....	33
I.2.3.3.1.4	Évaporation : .....	33

I.2.3.3.2	Les échanges de chaleur par voie respiratoire (Resp) :.....	33
I.2.4	Les approches du confort thermique :.....	33
I.2.4.1	Approche analytique :.....	34
I.2.4.2	Approche adaptative :.....	35
I.2.4.2.1	Une adaptation personnelle :.....	36
I.2.4.2.2	Une adaptation environnementale et technologique :.....	36
I.2.4.2.3	La plage du confort thermique par la méthode adaptative :.....	37
I.2.5	Les méthodes d'évaluation du confort thermique :.....	38
I.2.5.1	Les indices d'évaluation du confort thermique :.....	38
I.2.5.1.1	Indice de la température effective :.....	38
I.2.5.1.2	Température opérative :.....	38
I.2.5.2	Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique :.....	39
I.2.5.2.1	Le diagramme bioclimatique de Givoni :.....	40
I.2.5.3	L'évaluation numérique du confort thermique :.....	40
Conclusion.....		41

## **Chapitre II : Le système constructif en Algérie entre l'existant et les nouvelles stratégies.**

Introduction.....		43
II.1	Le système constructif en Algérie :.....	44
II.1.1	Les techniques et matériaux de construction :.....	45
II.1.2	L'impact énergétique de système constructif existant en Algérie :.....	47
II.2	Aperçu historique et origines internationales :.....	47
II.2.1	Habitat traditionnel :.....	47
II.2.2	Phase coloniale :.....	48
II.2.2.1	La période 1830-1930 :.....	48
II.2.2.2	La période de 1930-1962 :.....	48

II.2.3	La phase de l'indépendance :	49
II.2.3.1	La période de 1962 à 1986 :	49
II.2.3.2	La période de 1986 à nos jours :	49
II.3	Les expériences internationales de la politique de la maîtrise d'énergie :	50
II.3.1	L'Union européenne :	50
II.3.2	En France :	51
II.3.2.1	Mesures réglementaires :	51
II.3.2.1.1	RT 1974 :	52
II.3.2.1.2	RT 2000 :	52
II.3.2.1.3	RT 2005 :	52
II.3.2.1.4	RT 2012 :	52
II.3.2.2	Aides financières / incitations :	53
II.3.2.2.1	Crédit d'impôt :	53
II.3.2.2.2	Eco-prêt logement social :	53
II.3.2.2.3	Eco-prêt à taux zéro (Eco-PTZ) :	53
II.3.2.2.4	Eco-subsidation de l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat) :	53
II.3.2.3	Mesures institutionnelles et informatives :	53
II.3.2.3.1	ADEME :	53
II.3.2.3.2	ANAH : (Agence Nationale de l'Habitat) :	54
II.3.2.3.3	CSTB : (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) :	54
II.3.3	En Tunisie :	54
II.3.3.1	Les normes de construction des bâtiments :	55
II.3.3.2	Mesures financières et incitatives :	55
II.3.3.3	Mesures d'information :	55
II.4	La politique de la maîtrise d'énergie en Algérie :	56
II.4.1	Le contexte de la mise en place d'une politique énergétique en Algérie :	56
II.4.2	Objectifs de la politique de la maîtrise de l'énergie en Algérie :	57

II.4.3	Mesures juridiques et réglementaires :.....	58
II.4.3.1	DTR. C 3 - 2 : .....	58
II.4.3.2	DTR. C 3 – 4 :.....	59
II.4.3.3	DTR. C 3. 34 :.....	59
II.4.3.4	La loi 09 - 99 du 28 juillet 1999 : .....	59
II.4.3.5	Le décret exécutif n° 2000-90 du 24 Avril 2000 : .....	59
II.4.3.6	La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :.....	59
II.4.3.7	Le décret exécutif 04- 149 du 19 mai 2004 : .....	60
II.4.3.8	Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :.....	60
II.4.3.9	Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 :.....	60
II.4.4	Les institutions de l'efficacité énergétique en Algérie :.....	60
II.4.4.1	L'Agence national pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) :.....	61
II.4.4.2	Programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) : .....	61
II.4.4.3	Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie (CME) :.....	62
II.4.5	Le financement de la politique relative de la maîtrise d'énergie : .....	62
II.4.5.1	Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) : .....	62
II.4.6	Les programmes et les projets pilotes :.....	63
II.4.6.1	Projets liés à l'efficacité énergétique :.....	63
II.4.6.1.1	Projet ECO-BAT :.....	63
II.4.6.1.2	Projet AL-SOL :.....	63
II.4.6.1.3	Projet ECO-LUMIERE :.....	64
II.4.6.1.4	Éclairage public : .....	64
II.4.6.1.5	Prototype d'efficacité énergétique .....	64
II.4.6.2	Projets liés à l'énergie renouvelable : .....	66
II.5	Le programme ECO-Bât : .....	67
II.5.1	Présentation du programme Eco-bât : .....	68

II.5.2	Les objectifs du programme :.....	68
II.5.3	Spécificités du programme ECO-BAT : .....	68
II.5.4	Procédures d'accompagnement au programme ECO-BAT : .....	69
II.5.5	Extension du programme ECO-BAT : .....	69
II.5.6	Coopérations internationales : .....	70
II.5.7	Les barrières d'évolution de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : ....	71
II.5.7.1	Barrière d'information : .....	71
II.5.7.2	Barrière technique : .....	72
II.5.7.3	Barrière financière : .....	72
II.5.7.4	Barrière culturelle : .....	73
II.5.8	Recommandations d'amélioration de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : 73	
II.5.8.1	Recommandations juridiques et réglementaires : .....	73
II.5.8.2	Recommandations financières et fiscales : .....	73
II.5.8.3	Recommandations techniques : .....	74
II.5.8.4	Recommandations informationnelles : .....	74
	Conclusion.....	74

### **Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie.**

	Introduction .....	76
III.1	Présentation du cadre d'étude .....	76
III.2	Présentation des cas d'étude.....	78
III.2.1	La ville de Blida : .....	79
III.2.1.1	Description climatique .....	79
III.2.1.2	Description météorologique.....	79
III.2.1.2.1	Température.....	79
III.2.1.2.2	Humidité relative .....	80

III.2.1.2.3	Les précipitations.....	81
III.2.1.2.4	Les vents .....	81
III.2.2	La ville de Djelfa.....	82
III.2.2.1	Description climatique .....	82
III.2.2.2	Description météorologique.....	82
III.2.2.2.1	Températures :.....	82
III.2.2.2.2	Humidité relative .....	83
III.2.2.2.3	Les précipitations.....	83
III.2.2.2.4	Les vents .....	84
III.3	Description des logements d'étude .....	84
III.3.1	Le projet HPE Blida .....	84
III.3.1.1	Situation et environnement .....	85
III.3.1.2	Spécificité énergétique.....	87
III.3.1.3	Détermination du logement d'étude.....	90
III.3.2	Le projet HPE Djelfa :.....	91
III.3.2.1	Situation et environnement .....	92
III.3.2.2	Spécificité énergétique :.....	93
III.3.2.3	Détermination du logement type :.....	94
III.3.3	Récapitulatif des deux projets d'étude .....	95
III.4	État de l'art .....	97
III.4.1	L'élaboration d'une réglementation :.....	97
III.4.2	L'optimisation conceptuelle :.....	100
III.4.3	Développement d'une méthode conceptuelle .....	101
III.4.4	Le confort thermique adaptatif.....	104
III.4.5	Discussion : .....	108
III.5	Approche méthodologique : .....	108
III.5.1	L'observation .....	109

III.5.2	Le questionnaire .....	109
III.5.3	Les mesures :.....	111
III.5.3.1	Protocole de la prise des mesures .....	111
III.5.3.2	L'appareillage de mesure.....	112
III.5.4	La simulation thermique.....	113
III.5.4.1	Présentation du logiciel TRNSYS .....	113
III.5.4.2	Protocole de la simulation :.....	114
III.5.4.2.1	Étape 1 : la description constructive.....	115
	Conclusion.....	117

## **Chapitre IV : Évaluation subjective du confort thermique, le questionnaire.**

	Introduction :.....	119
IV.1	Les informations personnelles des occupants : .....	119
IV.1.1	Le sexe des interviewés :.....	119
IV.1.2	La situation familiale :.....	120
IV.1.3	L'âge : .....	120
IV.1.4	Emploi des occupants :.....	121
IV.1.5	Nombre d'occupants :.....	122
IV.2	Les caractéristiques du logement : .....	122
IV.2.1	La période d'occupation du logement :.....	123
IV.2.2	Conscience par le type du logement :.....	123
IV.2.3	Avis de l'occupant sur la qualité du logement :.....	124
IV.2.4	La saison de l'année la plus agréable :.....	125
IV.2.5	La satisfaction du fonctionnement du logement : .....	126
IV.3	L'état thermique du logement en été :.....	126
IV.3.1	Le meilleur espace thermique en été :.....	127
IV.3.2	Disposition du climatiseur :.....	127

IV.3.3	Durée de la disposition du climatiseur : .....	128
IV.3.4	La fréquence d'utilisation du climatiseur : .....	129
IV.3.5	La période d'ouvrir les fenêtres : .....	130
IV.3.6	La réaction lorsqu'il s'agit d'une journée chaude : .....	130
IV.4	Le logement en hiver : .....	131
IV.4.1	L'état thermique du logement en hiver : .....	131
IV.4.2	Le meilleur espace thermiquement en hiver : .....	132
IV.4.3	Disposition d'un chauffage : .....	133
IV.4.4	La période d'emplacement du chauffage : .....	134
IV.4.5	La fréquence d'utilisation du chauffage : .....	135
IV.4.6	La réaction d'occupant lorsqu'il s'agit d'une journée froide : .....	136
IV.5	La consommation énergétique : .....	136
IV.5.1	Évaluation de votre facture par rapport à votre ancien logement : .....	137
IV.5.2	Utilisation des lampes basses consommation : .....	138
IV.5.3	Facture de la consommation énergétique : .....	138
IV.5.4	La conscience des occupants par le développement durable : .....	139
IV.5.5	Priorité de modification chez l'occupant : .....	140
	Conclusion : .....	140

## **Chapitre V : Évaluation Objective du confort thermique, mesures et simulation thermique.**

	Introduction : .....	142
V.1	Évaluation objective du confort thermique par une investigation in-situ : .....	142
V.1.1	La plage du confort thermique : .....	142
V.1.2	Résultats des mesures sur site et analyse des résultats : .....	143
V.1.2.1	Pendant la saison d'hiver : .....	143
V.1.2.1.1	Évaluation des Températures ambiantes : .....	144
V.1.2.1.2	Évaluation des températures surfaciques : .....	146

V.1.2.1.3	Évaluation des températures surfaciques du vitrage :.....	147
V.1.2.2	Pendant la saison d'été :.....	149
V.1.2.2.1	Évolution des températures ambiantes :.....	149
V.1.2.2.2	Évolution des températures surfaciques intérieures :.....	150
V.1.2.2.3	Évolution des températures surfaciques du vitrage :.....	153
V.1.3	La quantification de la consommation énergétique (HPE Blida) :.....	154
V.2	La simulation thermique :.....	156
V.2.1	Validation des résultats numérique :.....	157
V.2.1.1	Pendant la saison d'hiver :.....	158
V.2.1.2	Pendant la saison d'été :.....	159
V.2.2	La simulation de l'état thermique et énergétique initial des cas d'étude :.....	161
V.2.2.1	Températures ambiantes :.....	161
V.2.2.2	Température Opérative :.....	164
V.2.2.3	Les indices PMV et PPD :.....	170
V.2.2.3.1	L'indice PMV :.....	170
V.2.2.3.2	L'indice PPD :.....	171
V.2.2.4	Quantité d'énergie consommée :.....	173
Conclusion	:.....	175

## **Chapitre VI : Proposition d'une nouvelle variante conceptuelle.**

Introduction	.....	177
VI.1	Désignation des jours de simulation.....	178
VI.2	Etude paramétrique des composants de l'enveloppe thermique.....	178
VI.2.1	L'impact d'orientation et dimension des ouvertures.....	179
VI.2.2	L'impact du type de vitrage.....	182
VI.2.3	Étude de l'impact de L'inertie thermique.....	184
VI.2.4	Étude de l'impact de l'isolation thermique.....	187

VI.2.4.1	Épaisseur d'isolant .....	189
VI.2.4.2	Disposition d'isolant : .....	190
VI.3	Optimisation paramétrique des composants de l'enveloppe thermique.....	192
VI.3.1	Optimisation du modèle HPE BLIDA .....	193
VI.3.2	Optimisation du modèle HPE Djelfa.....	194
VI.3.3	Résultat de l'optimisation sur la Température opérative. ....	198
VI.3.4	Résultat de l'optimisation sur les indices d'évaluation de confort thermique, PMV et PPD	201
VI.3.5	Résultat de l'optimisation sur la consommation énergétique : .....	204
	Conclusion.....	205
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>207</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>212</b>
	<b>Annexes.....</b>	<b>218</b>

## Index des figures

Figure 0-1: Schématisation de la structure de la thèse .....	7
Figure I-1: evolution de la consommation d'énergie au cours des ages (en kilo d'équivalent-pétrole par jour et par habitant). Source (Salamon T. et Bedel, 2004).....	10
Figure I-2 Niveaux d'intensité énergétique primaire par région .....	11
Figure I-3 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008. Source Agence internationale de l'énergie.....	11
Figure I-4: la consommation énergétique au niveau mondial en 2017. Source The Global Energy Statistical Yearbk, 2018. ....	12
Figure I-5 : Structure de la consommation finale d'énergie par produit.....	14
Figure I-6 : pourcentage de la consommation des secteurs.....	14
Figure I-7: Concentrations de CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère et température moyenne à a surface. source P Murer, 2014.....	15
Figure I-8: la distribution des pays par rapport aux émissions des gaz à effet de serre. Source ADAM.....	16
Figure I-9 : les aspects conceptuels nécessaires pour une construction performante énergétiquement. (Source Velázquez-Romo, 2015) .....	19
Figure I-10: les facteurs influençant le confort thermiques. ....	22
Figure I-11: Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen, d'après Fanger, O.....	23
Figure I-12: l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique.....	24
Figure I-13: Plage du confort pour une activité du bureau. ....	25
Figure I-14 : L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort. (Source : Liébard et De Herde, 2005).....	26
Figure I-15 Valeur d'isolation des différents types des vêtements. Source Fanger, 1985.....	28
Figure I-16 Principes de a thermorégulation végétative, comportementale et technologique .....	29
Figure I-17: les échanges thermiques entre le corps humain et son environnement.....	32
Figure I-18 : la répartition du PPD en Fonction du PMV (Source Batier, 2016).....	35
Figure I-19 : la plage de la température opérative acceptable pour des conditions thermiques naturelle. (Source ASHRAE Standard 55, 2004).....	37
Figure I-20: le développement historique de la zone du confort thermique d'ASHRAE .....	39

Figure I-21 Tableau psychrométrique adapté de Givoni (Givoni 1992, Manzano-Agugliaro et al. 2015).....	40
Figure I-22: méthode de calcul des logiciels de détermination des données thermique.....	41
Figure II-1 l'évolution du parc de logement en Algérie. ....	45
Figure II-2: la relation entre différents instruments de la maîtrise d'énergie. ( Source APRUE 2011) .....	61
Figure II-3 : vue du prototype. Source <a href="http://www.aprue.org.dz">www.aprue.org.dz</a> .....	64
Figure II-4 : Comparaison de la consommation mensuelle de la climatisation et de chauffage par rapport une maison classique. (Source Derradji et al., 2012) .....	65
Figure II-5 : prévision de puissance installée du parc renouvelable et classique pour 2030. (Source CEREFÉ, 2020).....	66
Figure III-1 : une carte de distribution des projets de Haute performance énergétique à l'échelle nationale. Sources APRUE, 2014 .....	78
Figure III-2 Situation géographique des cas d'étude .....	79
Figure III-3 : évolution des températures annuelles et des précipitations de la ville de Blida. Source ANRH Blida.....	80
Figure III-4 :Évolution de l'humidité relative annuelle de la ville de Blida. Source ANRH Blida .....	80
Figure III-5: Évolution des précipitations annuelles de la ville de Blida. Source ANRH .....	81
Figure III-6 : évolution de la vitesse des vents annuelle de la ville de Blida. Source ANRH Blida .....	81
Figure III-7 : évolution de la température moyenne annuelle de la vie de Djelfa.....	82
Figure III-8 : évolution de l'humidité relative de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa .....	83
Figure III-9 : évolution de la précipitation annuelle de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa... ..	83
Figure III-10 : évolution de la vitesse de vent annuelle de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa. ....	84
Figure III-11: Vue perspective du projet HPE Blida.....	84
Figure III-12: Situation du projet HPE Blida. Source google Earth.....	85
Figure III-13 : Plan de situation du projet HPE Blida. Source google Earth. ....	85
Figure III-14 : Vue de site de projet HPE Blida. Source OPGI Blida.....	86
Figure III-15 : Plan de masse de Projet HPE Blida .....	87

Figure III-16 : détail de traitement des ponts thermiques HPE Blida .....	88
Figure III-17: Agencement des briques en double parois .....	88
Figure III-18: détail de protection solaire en auvent de côté Sud .....	89
Figure III-19: distribution des espaces selon le trajet solaire du plan HPE. ....	90
Figure III-20: Plan du logement de référence HPE Blida .....	91
Figure III-21: une vue de perspective du projet HPE Djelfa. (BET Ahmed Bennaum, 2011). ....	92
Figure III-22 : Plan de situation de projet HPE Djelfa. (BET Ahmed Bennaum, 2011).....	92
Figure III-23 : Plan de masse (BET Ahmed Bennaum, 2011). ....	93
Figure III-24: plan du logement de référence du projet HPE Djelfa.....	94
Figure III-25: Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (chambre Master bedroom, semaine 33). Source Salama, 2014. ....	98
Figure III-26: Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (salon, semaine 33). Source Salama, 2014 .....	99
Figure III-27: Pourcentage d'heures de confort pour différentes combinaisons de tissus (à gauche) et pourcentage d'heures de confort de l'étude de cas existante B7 (à droite). ....	100
Figure III-28: Économies d'énergie annuelle pour différentes combinaisons de tissus .....	100
Figure III-29: la performance de la masse thermique avant et après l'amélioration de l'enveloppe des bâtiments .....	101
Figure III-30 : Front de Pareto entre les besoins de chauffage, le taux d'inconfort d'été, les impacts économiques et environnementaux pour la Rochelle. Source Romani 2015.....	103
Figure III-31: impact sur le DHI+3 de la période estivale de 2014 (juin à août) du changement du type de volet. Source Batier, 2016 .....	105
Figure III-32: Besoin de chauffage pour atteindre la température de confort minimal Tc-3 pour l'existant et pour la modification de la typologie du volet. Source Batier, 2016. ....	105
Figure III-33: Impact sur le DHI+3 de la période estivale de 2014(juin à aout) de différentes solutions de ventilation. Source Batier, 2016;.....	106
Figure III-34: Schématisation des résultats. Source Batier, 2016 .....	107
Figure III-35 : Schématisation de la méthodologie de la recherche. Source auteure. ....	109
Figure III-36: les appareils de mesure, Testo 480.....	112
Figure III-37: Présentation du logiciel TRNSYS .....	114
Figure III-38 : Descriptif du logiciel TRNSYS.....	114
Figure III-39 : le modèle géométrique des cas d'étude.....	115

Figure III-40 : fichier climatique .....	116
Figure III-41 : Interface du logiciel TRNSYS 17.1. Source auteure, 2022 .....	116
Figure III-42: Processus de la simulation thermique .....	117
Figure IV-1: genre de l'échantillon. Source auteure.....	120
Figure IV-2: situation familiale de l'échantillon. Source auteure.....	120
Figure IV-3: Catégorie d'âge de l'échantillon. Source auteure. ....	121
Figure IV-4: Emploi des interviewés. Source auteure. ....	121
Figure IV-5: Nombre des occupants dans le logement. Source auteure. ....	122
Figure IV-6: Période d'occupation du logement. Source auteure.....	123
Figure IV-7: conscience par le type du logement. Source auteure.....	123
Figure IV-8: Avis de l'occupant sur la qualité du logement. Source auteure.....	124
Figure IV-9: La période de l'année ou le logement est agréable thermiquement. Source auteure. .....	125
Figure IV-10: Avis de l'occupant sur le fonctionnement du logement. Source auteure.....	125
Figure IV-11: Perception des occupants de l'espace thermique. Source auteure. ....	126
Figure IV-12: Le meilleur espace thermiquement en été. Source auteure. ....	127
Figure IV-13: Disposition du climatiseur. Source auteure.....	127
Figure IV-14: Durée de la disposition du climatiseur. Source auteure. ....	128
Figure IV-15: La fréquence d'utilisation du climatiseur. Source l'auteure.....	129
Figure IV-16: La période d'ouvrir les fenêtres. Source auteure .....	130
Figure IV-17 : la réaction des occupants lorsqu'il s'agit d'une journée très chaude. Source auteure. .....	131
Figure IV-18: l'état thermique du logement en hiver. Source auteure. ....	132
Figure IV-19: Le meilleur espace thermiquement en hiver. Source auteure. ....	133
Figure IV-20: Disponibilité du chauffage chez les occupants. Source auteure.....	133
Figure IV-21: La période d'emplacement du chauffage. Source auteur.....	134
Figure IV-22: La fréquence d'utilisation du chauffage. Source auteure. ....	135
Figure IV-23: La réaction d'occupant lorsqu'il s'agit d'une journée froide. Source auteure.....	136
Figure IV-24: Évaluation de la facture énergétique par rapport à l'ancien logement. Source auteure. .....	137
Figure IV-25: L'utilisation des lampes basses consommation ou non. Source auteure. ....	138
Figure IV-26: Facture de la consommation énergétique. Source auteure. ....	138
Figure IV-27: La conscience des occupants par le développement durable. Source auteure. ....	139

Figure IV-28: Priorité de modification chez l'occupant. Source auteur. ....	140
Figure V-1: Évolution de la température ambiante pendant la période de 14 à 17 janvier 2020 (HPE Blida). Source auteure, 2021 .....	144
Figure V-2: Évolution des températures ambiantes pendant la période de 25 à 28 Décembre 2020. (HPE Djelfa). Source auteur, 2021 .....	145
Figure V-3: Evolution de températures surfaciques intérieures et extérieures de 14 à 17 Janvier. (HPE Blida). Source auteure, 2021. ....	146
Figure V-4: Évolution des températures surfaciques intérieures pendant la période de 25 à 28 décembre (HPE Djelfa). Source auteure, 2020. ....	147
Figure V-5: Évolution des températures surfaciques de vitrage, HPE Blida, Source auteure, 2021 .....	148
Figure V-6: Évolution des températures surfaciques de vitrage, HPE Djelfa. Source auteur, 2021 .....	148
Figure V-7: Évolution des températures ambiantes pendant la période de 28 à 30 juin (HPE Blida). Source auteure, 2020. ....	149
Figure V-8: Évolution des températures ambiantes de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2020. ....	150
Figure V-9: Évolution des températures surfaciques des parois de 28 à 30 Juin (HPE Blida). Source auteure, 2020. ....	151
Figure V-10: Évolution des températures surfaciques des parois de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2020. ....	152
Figure V-11: Évolution des températures surfaciques de vitrage de 28 à 30 juin (HPE Blida). Source auteure, 2021. ....	153
Figure V-12: Évolution des températures surfacique de vitrage de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2021. ....	154
Figure V-13: Évolution des quantités d'énergies consommées durant trois ans d'occupation. Source auteure, 2020. ....	155
Figure V-14: Évolution des factures des énergies consommées. Source auteure, 2020. ....	156
Figure V-15: Les étapes de la simulation thermique. Source auteur,2022 .....	157
Figure V-16: Validation numérique des températures d'hiver des logements HPE Blida. Source auteure. ....	158
Figure V-17: Validation numérique des températures d'hiver. Source auteure .....	159
Figure V-18: Validation numérique des températures d'été (HPE Blida). Source auteure. ....	160

Figure V-19: Validation numérique des températures d'été (HPE Djelfa). Source auteure.....	160
Figure V-20: Évolution de température ambiante pendant toute l'année (HPE Blida). Source auteure. ....	161
Figure V-21: Évolution des températures ambiantes des logements HPE Djelfa pendant une année. Source auteure, 2022. ....	163
Figure V-22: Évolution de la température opérative pendant une année (HPE Blida). Source auteure. ....	164
Figure V-23: Évolution des températures opérative annuelle des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023 .....	165
Figure V-24: Évolution de la température opérative pendant la saison hivernale (HPE Blida). Source auteure. ....	166
Figure V-25: Évolution des températures opératives de la période d'hiver des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023 .....	167
Figure V-26: Évolution de la température opérative de la saison d'été. Source auteure.....	168
Figure V-27: Évolution des températures opératives pendant la période d'été des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023. ....	169
Figure V-28: Simulation de l'indice PMV pendant une année (HPE Blida). Source auteure .....	170
Figure V-29: Simulation de l'indice PMV des logements HPE Djelfa pendant une année entière. Sources auteure, 2023 .....	171
Figure V-30: Évolution de l'indice PPD pendant une année des logements HPE Blida. Source auteure. ....	172
Figure V-31 : Évaluation de l'indice PPD des logements HPE Djelfa pendant une année. Source auteure, 2023 .....	173
Figure V-32: Quantité d'énergie à consommer des logements HPE Blida. Sources auteure. ....	174
Figure V-33: Evolution de la consommation énergétique pendant une année des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023. ....	175
Figure VI-1: Protocole de la simulation. Source auteure, 2023. ....	178
Figure VI-2: Évaluation de l'impact du pourcentage des ouvertures dans la façade durant l'hiver. Source auteure, 2023. ....	179
Figure VI-3: Évaluation de l'impact du pourcentage des surfaces des ouvertures dans la façade en été. Source auteure, 2023. ....	180
Figure VI-4: Profil des températures ambiantes en hiver. Source auteure, 2023.....	181
Figure VI-5: Profil des températures ambiantes en été. Source auteur .....	181

Figure VI-6:L'impact du type du vitrage sur le profil des températures ambiantes en hiver. Source auteur.....	182
Figure VI-7: L'impact du type de vitrage sur le profil de la température ambiante estivale. Source auteure, 2023 .....	184
Figure VI-8: L'impact de l'inertie thermique sur l'évolution des températures ambiantes en hiver. Source auteure, 2023 .....	185
Figure VI-9: L'impact de l'inertie thermique sur l'évolution des températures ambiantes en été. Source auteure, 2023 .....	186
Figure VI-10: Evaluation de l'impact de l'isolation thermique sur la température ambiante en hiver. Source auteur, 2023.....	188
Figure VI-11: Évolution de l'impact d'isolation thermique sur la température ambiante en été. Source auteure, 2023 .....	189
Figure VI-12: l'impact de l'épaisseur d'isolant thermique sur le profil de la température ambiante intérieur d'hiver. Source auteure.....	189
Figure VI-13: Étude de l'impact de l'épaisseur d'isolant sur le profil des températures ambiantes en été. Source auteure, 2023. ....	190
Figure VI-14: l'impact de la disposition d'isolant thermique sur le profil des températures ambiantes en hiver. Source auteure, 2023.....	191
Figure VI-15: L'impact de la disposition de l'isolant thermique sur le profil de la température ambiante en été. Source auteure, 2023.....	192
Figure VI-16: Evolution des températures ambiantes annuelles de configurations améliorées (HPE Blida). Sources auteure, 2023 .....	194
Figure VI-17: Evolution des températures ambiantes annuelles de configurations améliorées (HPE Djelfa). Sources auteure, 2023. ....	194
Figure VI-18: Évolution des températures ambiantes pendant trois jours en hiver (HPE Blida). Source auteure, 2023.....	196
Figure VI-19: Évolution des températures ambiantes pendant trois jours en hiver (HPE Djelfa). Source auteure, 2023.....	196
Figure VI-20: Évolution des températures ambiantes des trois jours défavorables en été (HPE Blida). Source auteure, 2023.....	197
Figure VI-21: Evolution des températures ambiantes des trois jours défavorables en été (HPE Djelfa). Source auteure, 2023.....	197

Figure VI-22: Évolution des températures opératives annuelles de la variante des résultats (HPE Blida). Source auteure, 2023. ....	198
Figure VI-23: Évolution des températures opératives annuelles de la variante des résultats (HPE Djelfa). Source auteure, 2023. ....	198
Figure VI-24: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'hiver de la nouvelle variante (HPE Blida). Source auteurs .....	199
Figure VI-25: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'hiver de la nouvelle variante (HPE Djelfa). Source auteurs, 2023. ....	200
Figure VI-26: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'été (HPE Blida). Source auteure. ....	200
Figure VI-27: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'été (HPE Djelfa). Source auteure. ....	201
Figure VI-28: Évaluation de l'indice de vote moyen prévisible (PMV) de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Blida). Source auteure, 2023 .....	201
Figure VI-29: Évaluation de l'indice de vote moyen prévisible (PMV) de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Djelfa). Source auteure, 2023. ....	202
Figure VI-30: Évaluation de l'indice de pourcentage prévisible des insatisfaits de la variante améliorée (HPE Blida). Source auteure, 2023. ....	203
Figure VI-31: Évaluation de l'indice de pourcentage prévisible des insatisfaits de la variante améliorée (HPE Djelfa). Source auteure, 2023. ....	203
Figure VI-32: Évaluation de la quantité d'énergie à consommer de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Blida). Source auteure, 2023. ....	204
Figure VI-33: Évaluation de la quantité d'énergie à consommer de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Djelfa). Source auteure, 2023. ....	205

## Index des tableaux

Tableau 1: Consommation d'énergie primaire par habitant en 2015, en tep. Source: key World Energy Statistics. IEA -2017. Cité par ADEME perspective.....	12
Tableau 2: Taux métaboliques des différentes Activités. Source Auliciems et Szokolay, 1997 ..	26
Tableau 3: valeur d'isolation des tenues vestimentaires. Source Afnor 2006 cité par Batier 2016. .....	27
Tableau 4 Echelles de la sensation thermique. (Source Moujalled 2007) .....	30
Tableau 5: Les sensations thermiques selon l'échelle de l'ASHRAE.....	34
Tableau 6 : les incréments de température du confort. (Yannas, 1995).....	36
Tableau 7 : le système constructif en Algérie .....	45
Tableau : 8 Synthèse de l'évolution de la réglementation thermique française. Source Chappoz 2012.....	51
Tableau 9: Part de chacune des ressources renouvelables primaires retenues ( Source CEREFÉ, 2020).....	66
Tableau 10: Planning de réalisation du programme, version 2011 ( Source CEREFÉ, 2020) .....	66
Tableau 11 : Récapitulatif des caractéristiques constructifs des deux cas d'étude. ....	95
Tableau 12 :Récapitulatif des stratégies conceptuelles énergétiques des deux cas d'étude.....	96
Tableau 13: Désignation des mois qui composent chaque trimestre. Source auteure, 2020.....	155
Tableau 14: Caractéristiques des types de vitrage étudié.....	183
Tableau 15: caractéristiques dimensionnelles des modèles simulés. Source auteur, 2023.....	185
Tableau 16: Descriptive des modèles simulés par la simulation thermique. Source auteur, 2023 .....	187
Tableau 17: Descriptif des configurations des résultats. Source auteur.....	193

# Nomenclature

## Abréviation

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

**PMV:** Predicted Mean Vote (Vote moyen prévisible).

**PPD:** Predicted Percentage Dissatisfied (Pourcentage Prévisible d'insatisfait).

**HPE :** Haute Performance Énergétique.

**APRUE :** Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie.

**DTR :** Document technique règlementaire.

**CNERIB :** Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

**CDER :** centre de développement des énergies renouvelables.

**PNEREE :** programme national du développement et la promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

**JORA :** Journal Officiel de la République Algérienne.

**PNME :** programme national de maîtrise de l'énergie.

**FNME :** le Fonds national pour la maîtrise de l'énergie.

**CIME :** Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie.

**EU :** Union européenne.

## Indices

**CLO** Unité d'isolement vestimentaire.

**M** Le métabolisme.

**R** La résistance thermique ( $m^2 \text{ k/w}$ ).

**S** La surface ( $m^2$ ).

**Ta** Température ambiante de l'air.

**Tp** Température des parois ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Trs** Température résultante sèche ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**HR** Humidité Relative de l'air (%).

**U** Coefficient de transmission surfacique ( $\text{w/m}^2.\text{k}$ ).

**Top** Température Opérative.

**Tmr** Température moyenne radiante.

**Va** Vitesse de l'air.

# *Chapitre introductif*

## **Introduction :**

L'architecture traditionnelle, à travers le monde entier, présente une adaptation fascinante de l'être humain à son milieu naturel. Par le peu d'outillages disponibles, l'homme a pu vivre en symbiose avec son environnement tout en assurant des ambiances intérieures favorables à ses besoins quotidiens. Les cités traditionnelles reflètent l'identité culturelle et religieuse de ses occupants et favorisent une intégration parfaite au site, en utilisant de simples techniques constructives et des matériaux de construction locaux.

L'arrivée de la révolution industrielle au début du vingtième siècle a mis fin à une architecture millénaire, dite vernaculaire. Cela est lié à l'introduction d'une énergie bon marché qui sert pour chauffer en hiver et refroidir en été. Cette transition énergétique a donné naissance à une architecture légère ignorant des données climatiques et environnementales pour le succès de la conception architecturale. Cette standardisation des techniques et des matériaux de construction favorise l'augmentation des besoins en énergie à l'échelle mondiale qui est basée essentiellement sur les énergies fossiles, ce qui est à l'origine des dégagements du gaz à effet de serre (GES), menaçant ainsi l'équilibre et la durabilité de la vie sur terre.

En plein hiver de l'année 1972, le monde occidental a vécu une crise énergétique intensive liée à l'augmentation des prix de l'énergie primaire, cet événement a favorisé une réflexion intense sur la qualité et la protection de l'enveloppe thermique lors de la conception architecturale et l'intégration de la bâtisse dans son environnement climatique. Dans ce contexte, le Club de Rome a initié à une prise de conscience collective afin d'arriver à la protection de la planète contre les effets néfastes de la surexploitation des réserves naturelles sans nuire au développement économique et démographique (Wiesenfeld, 2005). La conférence de Rio, vingt ans plus tard, a donné naissance au concept du développement durable mettant en valeur la liaison entre le développement social et le respect de l'environnement. Les objectifs majeurs de ce concept sont ; économiser au maximum l'énergie et diminuer l'émission de déchets afin de lutter contre le réchauffement climatique. (Wiesenfeld, 2005). Ces mouvements ont contribué à augmenter la conscience et à favoriser la naissance de plusieurs expériences dans le monde, par l'élaboration de réglementations et programmes afin de répondre aux objectifs du développement durable.

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie était devant plusieurs défis, sociaux, économiques...etc. Cette situation a poussé les décideurs à chercher les solutions technico-économiques les plus efficaces pour consolider le pays. De l'occupation des logements libérés par

les colons et l'achèvement des projets en cours, programmés par les autorités françaises, vers le lancement de nouveaux projets, tout en suivant le modèle hérité de la colonisation et inscrits sous un urbanisme fonctionnaliste. Cela est pour répondre aux exigences de l'accroissement démographique et l'exode rural intensif, mais sans tenir compte de l'aspect énergétique à ce stade. D'un autre côté, il s'agit de rattraper le retard marqué dans le domaine du secteur résidentiel tout en adoptant le logement collectif.

Ce type de logements collectif est caractérisé par une prise en considération des exigences en matière de résistance mécanique et sismique, la rapidité d'exécution et l'économie budgétaire. La standardisation des techniques et matériaux de construction à travers le territoire, sans prise en considération de la spécificité climatique de chaque région, a engendré des foyers énergivores, favorisant des déperditions thermiques intenses en hivers et un inconfort estival.

Pour y remédier à ces sensations d'inconfort thermique à l'intérieur, la correction de telles ambiances intérieures se fait essentiellement par l'utilisation continue du chauffage et de la climatisation de type mécanique. Cette situation a induit une augmentation substantielle de la consommation énergétique du secteur résidentiel pour qu'il représente 35 % de la consommation nationale. (MEM, 2014). Cette consommation énergétique est fondée essentiellement sur une énergie abondante et bon marché d'origine fossile (pétrole et gaz naturel). C'est une énergie épuisable, polluante et coûteuse, en conséquence et pour y parer, cela nécessite une transition énergétique vers la maîtrise d'énergie et l'introduction d'un autre type d'énergie plus propre, abondante et gratuite. Il s'agit d'aller vers une performance énergétique et l'exploitation d'énergies renouvelables. (Benabbou, 2015.)

L'amélioration de la performance énergétique nécessite l'introduction de deux aspects ; l'un consiste à maîtriser d'énergie par la minimisation de la consommation énergétique, l'autre par l'augmentation de la résistance thermique de l'enveloppe du bâtiment, bien que cet aspect favorise l'isolation de la construction des effets néfastes de son environnement, en profitant de ses bienfaits comme l'ensoleillement passif en hiver et la ventilation nocturne en été.

Dans ce contexte, L'état énergétique actuel du secteur résidentiel, les crises énergétiques successives et la hausse des prix d'énergie ont contribué à pousser les décideurs à s'orienter vers une politique d'austérité en énergie, afin de relever les défis de la rectification des ambiances thermiques, tout en minimisant la consommation énergétique. C'est par le biais des réglementations législatives, des programmes nationaux et des projets pilotes que les autorités, en

Algérie, tentent d'introduire la notion de la maîtrise d'énergie dans le domaine de la construction. Le programme ECO-BAT est l'un des exemples du programme national qui vise à matérialiser l'objectif de rationaliser la consommation énergétique. Il s'agit de 600 logements distribués sur onze communes, selon la spécificité climatique de chaque région. Trois zones principales englobent ce programme. Au nord, ce sont les logements d'Alger, Blida, Mostaganem, Oran et Skikda, pour les hauts plateaux, c'est le projet de Sétif, Djelfa et Laghouat. Au sud, la situation des projets est à Bechar, Tamanrasset et El Oued. Ce programme vise à relever trois défis majeurs, selon le directeur général de l'APRUE, l'optimisation du confort thermique, la réduction de la consommation énergétique et la mobilisation des acteurs du secteur du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique. (APRUE, 2013)

## ***1. Problématique :***

Le 21<sup>e</sup> siècle est un siècle où la maîtrise de l'énergie constitue un défi majeur à relever par l'ensemble des pays du monde. Cela est lié essentiellement aux crises d'hydrocarbure causées par la hausse de leurs prix et leurs conséquences sur la santé et l'environnement, à savoir ; le réchauffement climatique causé par les gaz à effet de serre et la pollution, en plus du risque d'épuisement des ressources naturelles. Cette problématique mondiale nécessite l'intervention de tous les acteurs afin d'aboutir à des solutions qui favorisent une planète plus propre avec préservation de ses ressources naturelles.

En Algérie, la consommation énergétique marque une augmentation excessive due principalement au parc des logements qui dépasse les sept millions en 2009. Le système constructif de ces logements offre une médiocrité des performances énergétiques, qui favorise la rectification d'isolation en hiver comme en été, en conséquence, les autorités algériennes ont opté pour le programme national de la maîtrise d'énergie (PNME) pour des raisons politiques, sociales, économiques et environnementales. Cette stratégie a donné naissance au programme ECO-Bât pour la période 2010 – 2014, il s'agit de 600 logements à haute performance énergétique, à ce stade, la question soulevée est la suivante :

**De quelle manière peut-on contribuer à l'amélioration du système constructif en Algérie pour assurer le confort thermique, l'efficacité énergétique et la satisfaction des usagers en faisant référence aux projets de haute performance énergétique ?**

Dans ce contexte, la problématique de ce travail s'articule autour des interrogations suivantes ;

- Est-ce que les solutions adoptées aux logements en HPE<sup>1</sup> (pour les cas d'étude) assurent-elles une amélioration de la qualité thermique et celle énergétique pour qu'ils s'intègrent au développement durable ?
- Les occupants de ces logements, sont-ils suffisamment sensibilisés pour qu'ils contribuent à la réussite de ce programme pour atteindre les objectifs fixés ?
- Quelle est la meilleure procédure à suivre pour passer d'un système constructif favorisant des logements énergivores à un système qui assure le compromis entre le confort thermique et l'efficacité énergétique ?

## ***2. Hypothèse de la recherche :***

Pour répondre aux questions de la recherche, on propose l'hypothèse suivante :

- L'évaluation des logements en HPE répond aux exigences thermiques définies au préalable par les responsables du programme Eco-Bât par l'adaptation d'une éco-conception qui peut améliorer l'efficacité énergétique, le confort thermique et la satisfaction des usagers du système constructif en Algérie, et que la sensibilisation des occupants peut améliorer la qualité thermique et énergétique du logement en assurant un confort thermique adaptatif.

## ***3. Objectifs de la recherche :***

L'objectif majeur de ce travail est de contribuer à définir des stratégies conceptuelles qui peuvent être des outils d'aide pour les acteurs du domaine de construction, en introduisant les facteurs thermiques et énergétiques lors de la conception architecturale, pour la réalisation d'un logement offrant le confort thermique requis à ces occupants, tout en réduisant la facture énergétique.

Cette recherche vise à :

- Effectuer une évaluation thermique et énergétique ainsi qu'une évaluation subjective du projet de haute performance énergétique (HPE), par la prise en considération de deux projets représentatifs des deux climats différents, le projet HPE Blida et HPE Djelfa.
- Proposer un modèle conceptuel qui assure une conception judicieuse énergétiquement en favorisant des ambiances thermiques acceptables par l'utilisateur.
- Optimiser la consommation énergétique par le remplacement des outils mécaniques du chauffage et de la climatisation par l'intégration de stratégies passifs d'amélioration thermique tout en introduisant le rôle des occupants pour qu'ils favorisent un confort thermique adaptatif.

---

<sup>1</sup> Haute performance énergétique

#### **4. La méthodologie :**

Afin d'aboutir aux objectifs de la recherche, nous avons adopté une combinaison de plusieurs techniques afin d'avoir des approches ; qualitative et quantitative.

Le travail est scindé en deux parties ; la partie théorique concerne le développement théorique des concepts de base relative au sujet. Il s'agit de l'exploitation d'une bibliographie concrète et électronique pour élaborer un état de l'art, englobant l'évolution du concept d'efficacité énergétique, le confort thermique et l'expérience de haute performance énergétique en Algérie. Ce qui représente un support rigide pour la phase suivante.

L'étude expérimentale concerne l'utilisation d'une combinaison de trois outils de recherche, l'investigation in situ, un questionnaire et une simulation thermique par le logiciel TRNSYS. Il s'agit d'un travail sur les deux cas d'étude, mais les enquêtes, pour des raisons de disponibilité, sont destinées aux occupants des logements HPE de Blida afin d'assurer une évaluation subjective et de maîtriser le niveau de la sensibilité des occupants par la spécificité de leurs logements.

Dans le même contexte, il s'agit d'effectuer une investigation in situ en faisant une étude comparative entre les cas pour étudier la relation des solutions par rapport à la spécificité climatique afin de ressortir l'influence des solutions adoptées sur le comportement thermique et énergétique des deux projets d'étude. Alors que l'utilisation de la simulation numérique par le logiciel TRNSYS, après validation par les résultats des mesures, est de proposer des scénarios afin d'aboutir à une nouvelle stratégie conceptuelle qui favorise une amélioration des conditions thermiques intérieures par rapport à l'état initial des deux projets HPE.

#### **5. Structure de la thèse :**

Pour s'y faire, la présente recherche est composée de deux parties principales répartie sur six chapitres en plus du chapitre introductif et de la conclusion générale. La partie théorique est composée de deux chapitres théoriques qui reprennent les notions et les concepts de base par le biais d'une recherche bibliographique. Alors que la partie pratique, qui s'étale du chapitre quatre au chapitre six, recouvre l'expérimental et l'analytique. Le chapitre trois est un chapitre d'articulation entre les deux parties de la thèse.

Synthétiquement, la thèse est comme suit :

**Un chapitre introductif :** une sorte d'introduction générale de la thèse par le biais de la formulation de la problématique, les questions posées et les hypothèses de la recherche, comme elle se focalise sur le contexte et les objectifs de ce travail, en se terminant par exposer la méthodologie utilisée et la structure de la thèse.

**Le premier chapitre :** comporte deux parties ou il s'agit, en premier temps ; de présenter la problématique énergétique du secteur du bâtiment et de définir la relation qui existe entre une conception adéquate avec la notion de l'efficacité énergétique des constructions. En second temps, de développer la notion du confort thermique suivant les différentes approches.

**Le deuxième chapitre :** se focalise sur la présentation de l'état des lieux du système constructif en Algérie. Puis, il explore l'expérience algérienne dans le domaine de l'efficacité énergétique. Cela concerne la réglementation, les différents acteurs et programmes.

**Le troisième chapitre :** décrit le contexte géographique et climatique des deux cas d'étude, et comporte la revue de la littérature, en vue de déterminer les différentes techniques de la recherche utilisée dans la partie pratiques.

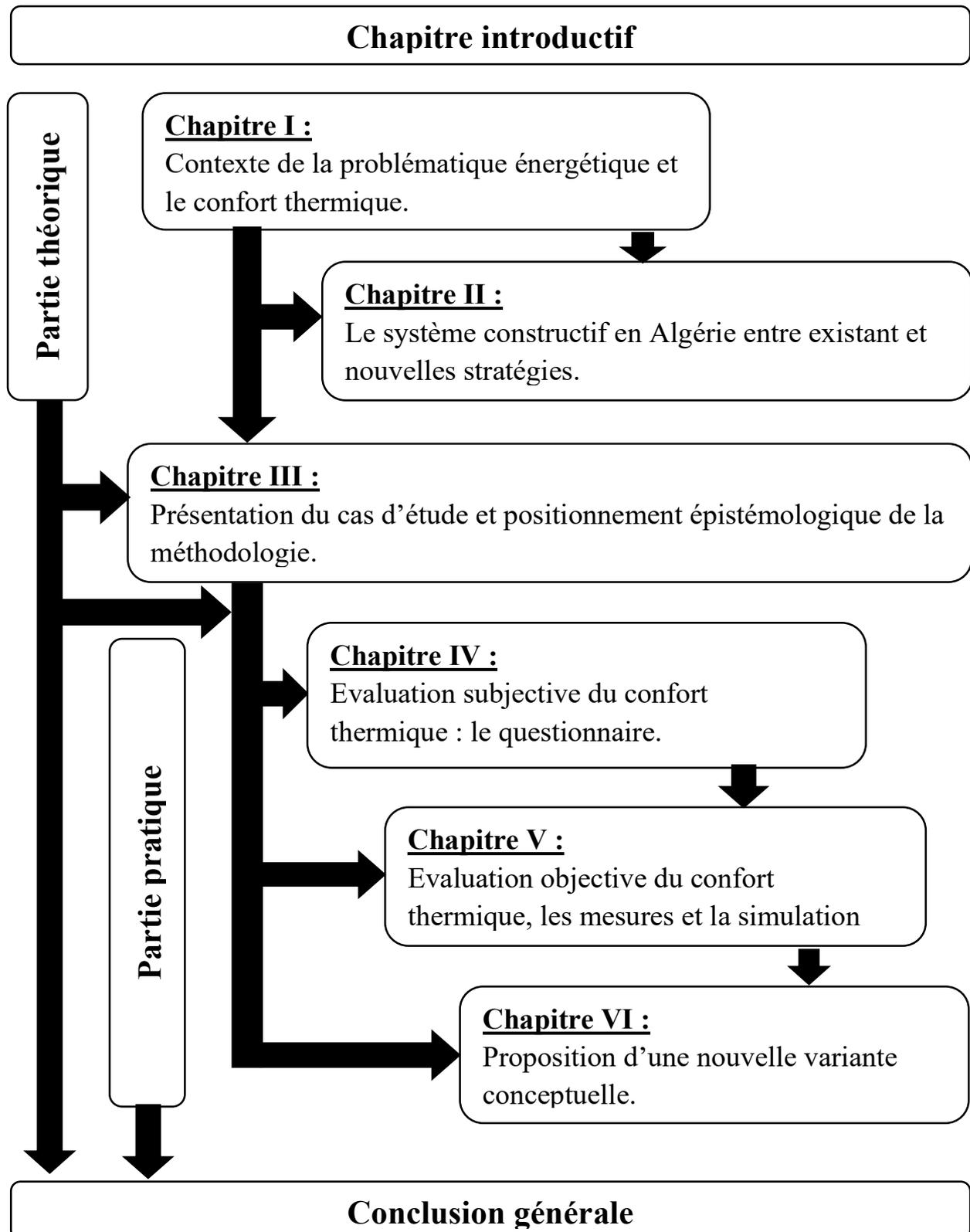
**Le quatrième chapitre :** concerne l'évaluation qualitative par le biais d'une enquête qui explore la sensation thermique des utilisateurs ainsi que la détermination du niveau de sensibilisation des usagers envers l'importance de ce type des bâtiments ainsi que leurs rôles dans la réussite du programme et l'atteinte de ses objectifs.

**Le cinquième chapitre :** est consacré exclusivement à l'évaluation objective des deux cas d'étude par une comparaison entre les résultats de l'investigation in-situ et ceux de la simulation thermique.

**Le sixième chapitre :** est destiné au travail d'optimisation des deux cas d'étude par le biais de la simulation. En premier lieu, il s'agit d'élaborer une série de scénarios de simulation des paramètres qui composent l'enveloppe thermique, à la fois, pour appliquer la meilleure configuration aux deux cas d'étude, et élaborer une nouvelle variante conceptuelle qui favorise la satisfaction thermique des usagers et l'efficacité énergétique du bâtiment.

Pour terminer, le travail est clôturé par une conclusion générale qui résume toutes les étapes de la recherche et présente un ensemble de recommandations pertinentes afin d'optimiser le comportement de l'enveloppe des bâtiments résidentiels dans le cas du climat subméditerranéen

afin d'assurer une ambiance thermique favorable en rationalisant la consommation énergétique. Le schéma de la figure 0-1 illustre la structure de cette thèse.



*Figure 0-1: Schématisation de la structure de la thèse*

CHAPITRE I :

*Contexte de la problématique  
énergétique et le confort  
thermique.*

# **I. Chapitre I : Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique**

## ***Introduction***

Le confort thermique et l'efficacité énergétique sont deux objectifs complémentaires qui favorisent l'amélioration de la qualité du bâtiment. Cela consiste à rationaliser la consommation énergétique sans menacer le bien-être d'usager. À ce stade, Seoud (2012), considère que L'énergie a toujours présenté une quête pour assurer l'amélioration du confort thermique d'occupant. (Seoud, 2012)

À l'ère actuelle, l'énergie devient un facteur de croissance et de la modernisation des sociétés ou sa disponibilité assure l'amélioration de la qualité des vies des citoyens. Le combustible favorise un climat doux à l'intérieur des logements sans aucune prise en considération de la manière de produire le système constructif. Suite à cette tendance, la consommation énergétique ne cesse d'augmenter dans le monde entier. Cela a un impact négatif sur l'environnement et la diversification planétaire. À cet effet, il est urgent de passer à l'action en étudiant tous les aspects d'un nouveau système énergétique efficace à adopter par les nations. (Wiesenfeld, 2005)

D'un autre côté, le mode de vie actuel favorise l'installation de 50 % de la population mondiale dans les villes en passant près de 90 % de leur temps à l'intérieur des logements. (Thellier, Monchoux et Bedrune, 2012 cité par BATIER, 2016). Cela donne plus d'intérêt à la notion du confort thermique intérieur.

L'importance du confort thermique est liée essentiellement à son influence positive sur le bien-être d'occupant. Cela est par l'optimisation de la qualité thermique des ambiances intérieures, la protection de sa santé et de l'amélioration de la production de l'occupant. D'un autre côté, le confort thermique favorise la préservation de la qualité du bâtiment et rationalise la consommation énergétique. Ce qui conserve l'environnement des pollutions liées à l'utilisation des énergies fossiles. (Kemajou, 2012).

Dans ce chapitre, nous proposons de contourner le contexte théorique de l'énergie et l'efficacité énergétique ainsi que le confort thermique des usagers.

## ***I.1 Contexte de la problématique énergétique :***

L'apparition de la révolution industrielle a été accompagnée par une disponibilité de l'énergie issue de Charbon, gaz et pétrole. Cette nouvelle tendance de consommation énergétique a mis fin à l'architecture vernaculaire qui avait l'exigence d'intégration du climat lors de la conception et l'a remplacé par un style international d'architecture. Cela a menacé la qualité énergétique des constructions par le biais d'utilisation du combustible pour chauffer en hiver et de refroidir durant la période d'été.

Dans ce contexte, plusieurs années d'une consommation énergétique intensive ont favorisé le premier choc pétrolier de 1973. Cette crise énergétique a poussé les décideurs, des pays les plus touchés, de revoir la qualité des constructions par l'apparition d'une nouvelle réglementation qui exige l'économisassions de la consommation énergétique. Des nouvelles tentatives favorisent la mise en place d'une nouvelle manière de vivre sans menacer le niveau de modernisation actuel.

Sous l'égide de l'ONU, le sommet de Rio de Janeiro en 1992 et le protocole de Kyoto en 1997, ont favorisé la programmation d'un processus de décarbonisation progressif vers d'autres types d'énergie afin de limiter les émissions des gaz à effet de serre et de protéger la terre (BOBIN, 2013). À ce stade, il est impératif de penser à la performance énergétique comme une alternance.

### **I.1.1 La consommation énergétique :**

La croissance démographique accompagnée par l'augmentation excessive des surfaces bâties, l'activité économique et le mode de vie actuel sont les principales causes de la surconsommation énergétique du combustible fossile.

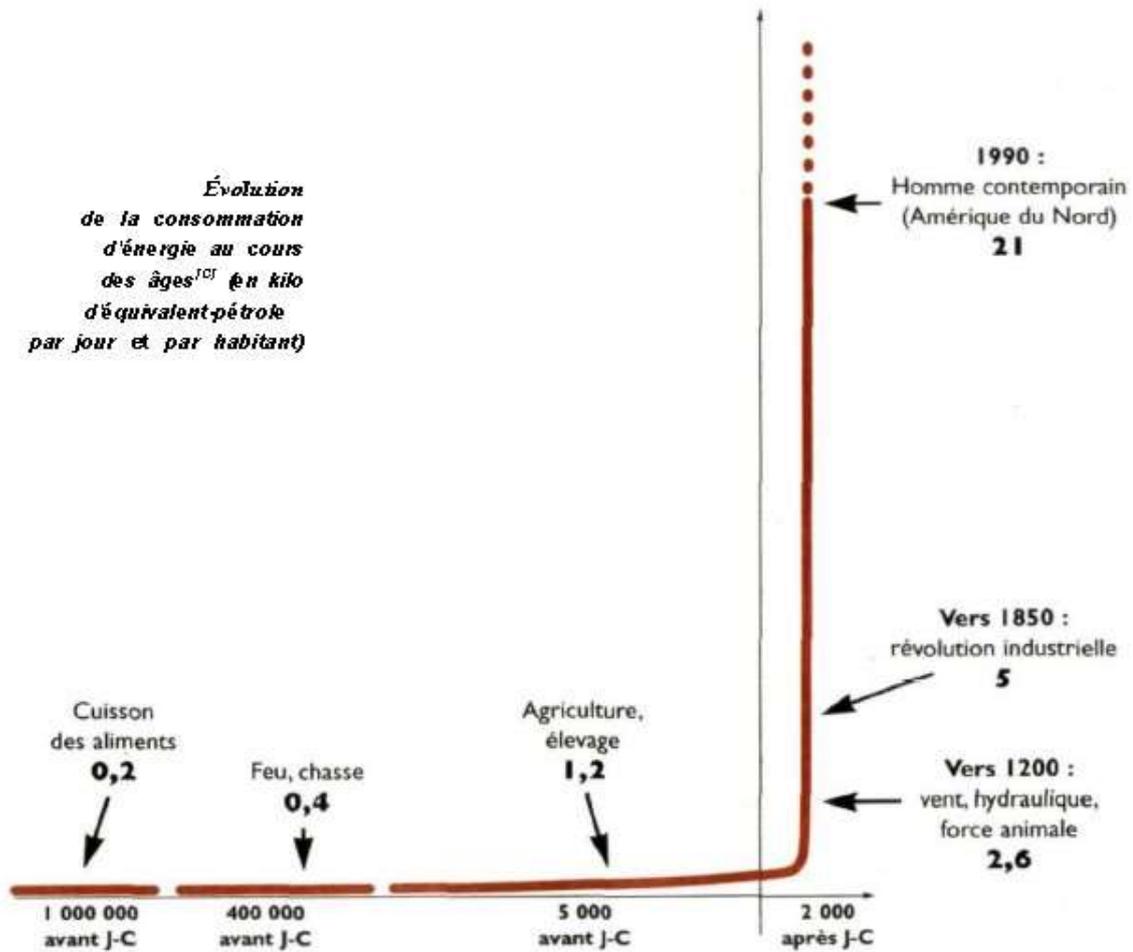
La crise énergétique des années 1970, a signalé l'existence d'un problème lié à la surconsommation du fossile. Il fallait revoir la manière de construire par l'exigence d'une nouvelle réglementation, la planification des conférences à l'échelle mondiale et la proposition des nouvelles expériences d'efficacité énergétique. Cela est pour purifier le monde du combustible fossile en minimisant l'impact négatif des gaz à effet de serre sur la planète. (Murer, 2014)

#### **I.1.1.1 *Dans le monde :***

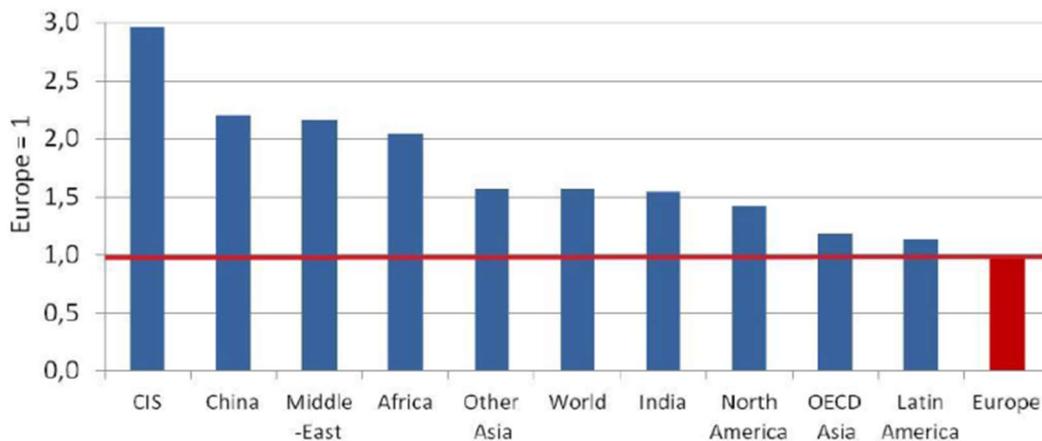
L'apparition des gisements du combustible fossile en 1850, avec l'arrivée de la révolution industrielle, a donné naissance d'une énergie abondante et peu coûteuse. Le combustible fossile a remplacé l'énergie naturelle utilisée par nos ancêtres (voir figure I-1). Cela a un impact négatif sur

## Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

la qualité des constructions en passant d'une architecture vernaculaire qui prend en considération le contexte climatique et environnemental lors de l'édification, à des constructions énergivores qui ne cesse de consommer en hiver comme en été pour offrir le confort thermique à ses occupants.



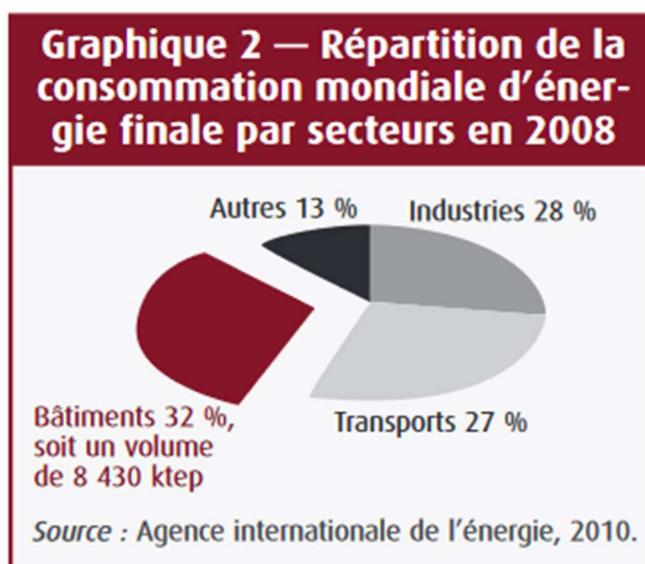
**Figure I-1:** Évolution de la consommation d'énergie au cours des âges (en kilo d'équivalent-pétrole par jour et par habitant). Source (Salamon T. et Bedel, 2004)



**Figure I-2 : Niveaux d'intensité énergétique primaire par région**

La consommation d'énergie au monde a passé d'un mode de stabilité avant la révolution industrielle à une augmentation excessive après cette dernière. Cela est lié principalement à l'amélioration de mode de vie et la croissance de la population mondiale. Par une augmentation annuelle de 2 %, la consommation énergétique a présenté en 2017 13511.2 Mtep (T. Salamon et S. Bedel, 2004, EIA, 2019, Bp statical review of world energy, 2018).

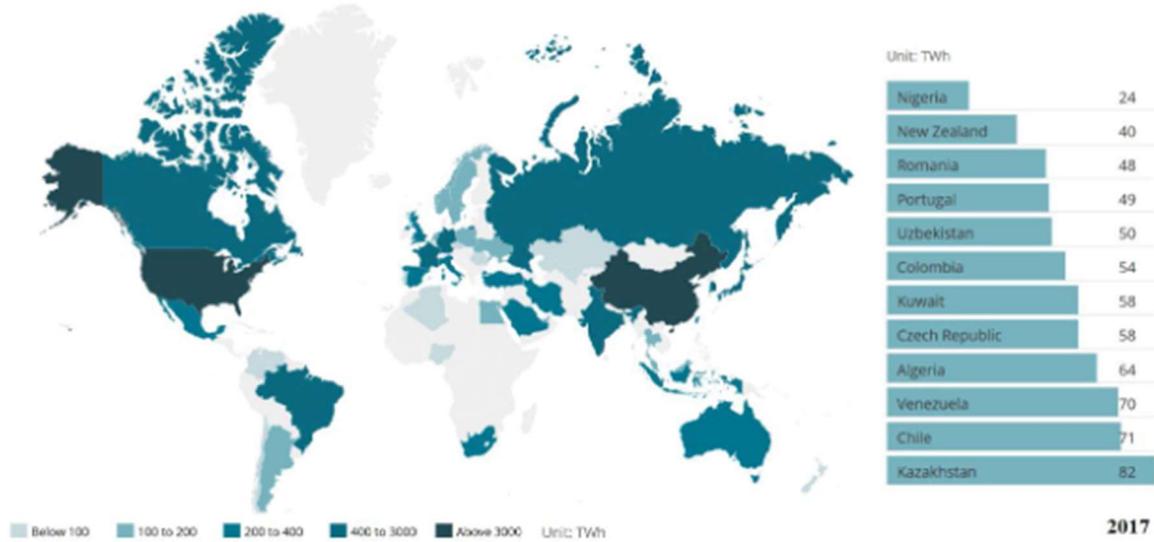
À l'échelle mondiale, le secteur du bâtiment a consommé plus de 32 % d'énergie finale, en 2008, et contribue par un tiers des émissions de CO2 (voir figure I-3). (Thibault, 2011)



**Figure I-3 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008. Source Agence internationale de l'énergie**

Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

La figure 1-4 illustre la quantité d'énergie consommée à l'échelle mondiale. Les plus grandes consommations se concentrent aux pays les plus développés ; la Chine et USA. Alors que les pays producteurs d'énergie consomment moins d'énergie comme les pays d'Afrique.



**Figure 1-4:** la consommation énergétique au niveau mondial en 2017. Source The Global Energy Statistical Yearbk, 2018.

L'Américain est le plus gros consommateur par une moyenne de 6.8 (tep /hab) bien que le citoyen des pays en voie de développement ne consomme que 0.66 (tep /hab) en Afrique (voir tableau 1). Cette variation a une relation directe avec le niveau de croissance économique et la disponibilité de l'énergie et des commodités de vie (IEA, 2019).

**Tableau 1:** Consommation d'énergie primaire par habitant en 2015, en tep. Source: key World Energy Statistics. IEA -2017. Cité par ADEME perspective.

Zone économique	Consommation d'énergie primaire par habitant (tep/hab)
<b>USA</b>	<b>6,80</b>
<b>Amérique Latine</b>	<b>1,28</b>
<b>O.C.D.E.</b>	<b>4,12</b>
dont Allemagne	3,77
France	3,71
<b>Afrique</b>	<b>0,66</b>
<b>Moyen Orient</b>	<b>3,21</b>
<b>Asie</b>	<b>0,73</b>
dont Chine	2,17
Japon	3,38
<b>Moyenne mondiale</b>	<b>1,86</b>

## Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

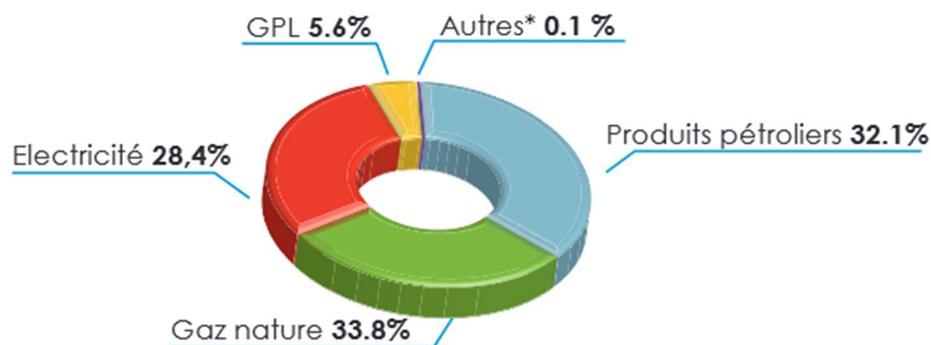
Les prévisions des experts affirment que le processus d'augmentation de la consommation énergétique est par une moyenne de 1.3 % durant les prochaines décennies. (IEA, 2019). Cela va conduire à doubler la consommation énergétique qui va être accompagnée par des prévisions d'expirations des réserves des combustibles fossiles.

Entre une volonté de l'intégration de l'efficacité énergétique et la transition vers les énergies renouvelables, et une réalité d'une progression des émissions des gaz à effet de serre à long terme, lié à l'augmentation de la population et l'évolution économique, les politiques nationales doivent fournir plus d'effort dans le cadre de rationalisation de la consommation d'énergie. Cela est pour maîtriser la concentration des gaz à effet de serre et la quantité de la consommation d'énergie au niveau de tous les secteurs.

### **I.1.1.2 *En Algérie :***

L'Algérie, en tant qu'un pays producteur de l'énergie, est menacée par une croissance fulgurante continue de la consommation du combustible fossile. Cela remonte à l'indépendance ou le besoin de loger un nombre augmentant de la population, par la croissance naturelle et l'exode rurale, a obligé l'état de focaliser sur le lancement des programmes nationaux des logements. D'un autre côté, il y avait l'effort de raccorder les foyers à l'électricité et le gaz naturel à travers le territoire national. Certes, la mauvaise conception, la qualité énergétique médiocre du système constructif et la disponibilité de l'énergie à un tarif relativement bas, suite à la forte subvention de l'état, ont favorisé une tendance de consommer sans prévoir les risques qui en résultent.

Selon les bilans de ministère d'énergie, la consommation nationale totale d'énergie du combustible fossile en Algérie a arrivé à 50,4 M Tep en 2019 avec une augmentation de (+4,6 %) par rapport l'an 2018. La consommation d'énergie concerne plus le gaz naturel pour un pourcentage de 33.8 % suivie par les produits pétroliers et de l'électricité de type fossile qui est de source de gaz naturel par un pourcentage de 98 % (voir figure I-5). L'augmentation d'énergie est liée aux fortes chaleurs d'été de ces dernières années en Algérie. Ce qui représente la conséquence du changement climatique. À cet effet, le secteur des ménages est le plus énergivore par une consommation de (46.4 %) par rapport aux autres secteurs (voir figure I-6). (Ministère de l'énergie, 2020, Boukheddimi, sans date).

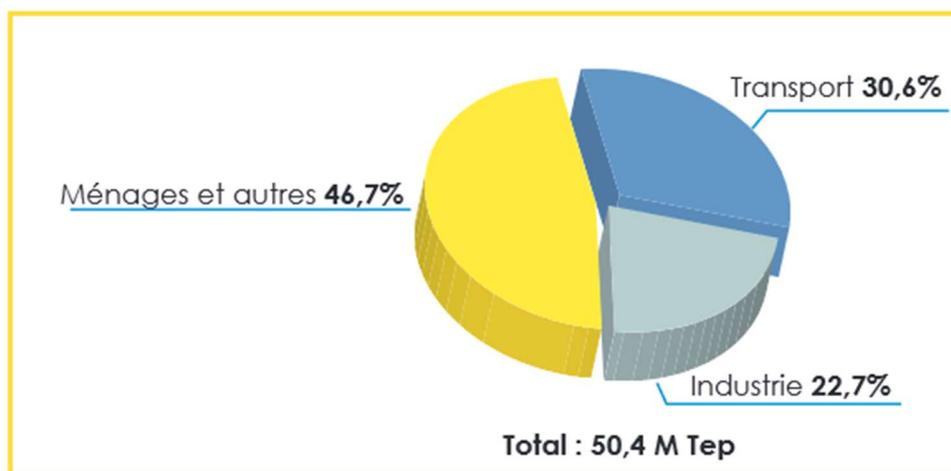


Total : 50,4 M Tep

\*Autres: Bois, coke sidérurgique.

**Figure I-5 : Structure de la consommation finale d'énergie par produit**

Dans le même contexte, les études et les prévisions de l'Observatoire Méditerranéen de l'Énergie (OME), ont déclaré que la consommation d'électricité a plus que triplé en Algérie au cours des trois dernières décennies, et que cette tendance se poursuivra d'ici à 2025 » (Chenak, 2009)



**Figure I-6 : pourcentage de la consommation des secteurs**

Certes, l'augmentation excessive de la consommation énergétique est le résultat de l'impact de plusieurs facteurs. Nous constatons que l'inapplication des réglementations liées à la maîtrise d'énergie est un de ces facteurs. Alors que l'absence de la conscience chez les acteurs de domaine du bâtiment par l'intérêt de la performance énergétique favorise un obstacle d'optimisation de la qualité thermique et énergétique du système constructif. Enfin, le prix bas de

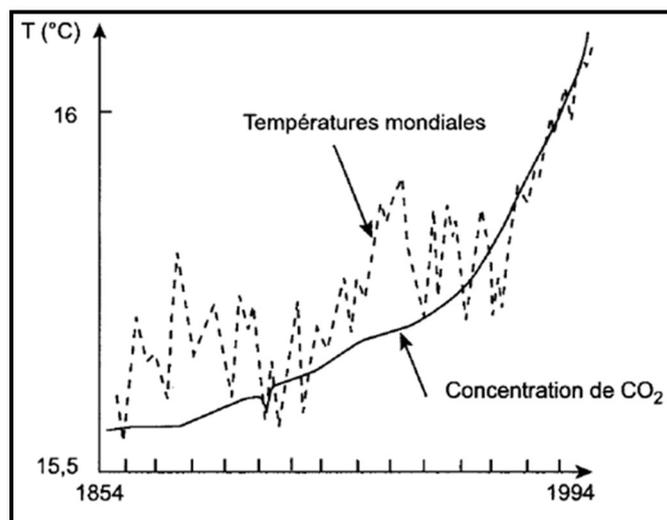
l'énergie, suite aux subventions de l'état, minimise l'intérêt des usagers à l'amélioration de la situation énergétique.

Suite aux statistiques liées à la consommation énergétique, on constate que le contexte économique actuel de l'Algérie est en dépendance totale à l'hydrocarbure en production comme en consommation. À cet effet, il s'agit de répondre au défi énergétique par une vision de reconfigurer le modèle du système constructif en intégrant des nouvelles mesures d'efficacité énergétique et énergie renouvelable dans les phases préliminaires de la réalisation des projets constructives.

### **I.1.2 L'impact négatif de la surconsommation énergétique :**

L'effet de serre représente un mécanisme naturel qui favorise l'absorption du rayonnement infrarouge par des molécules existant dans l'atmosphère. L'augmentation excessive des émissions entraîne un forçage radiatif, provoquant un réchauffement climatique qui résulte des étés plus chauds et des hivers plus rudes. (Meunier, 2005)

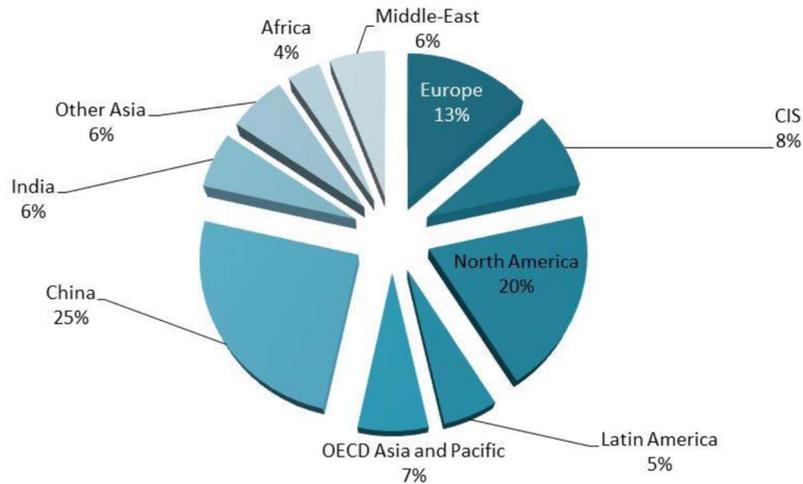
La surconsommation énergétique de combustible fossile sur l'environnement favorise une augmentation de la concentration des émissions des gaz à effet de serre en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, par un accroissement de 50 % depuis l'année 1775 (Murer, 2014). Cela favorise une menace de la vie planétaire, par le dérèglement climatique et l'augmentation de la pollution sur la terre, qui met la biodiversité naturelle en face de risque d'épuisement.



**Figure I-7:** Concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et température moyenne à la surface. source P Murer, 2014

## Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

La distribution des émissions des gaz à effet de serre est en relation directe avec la quantité d'énergie consommée et produite. Les pays les plus émetteurs des gaz à effet de serre sont les plus développés économiquement où la Chine prend la première position par un quart des émissions mondiales, suivit par l'Amérique de nord puis l'Europe. Les pays en voie de développement ont des faibles émissions allant de (4 à 6) % par rapport au reste de monde. (ADAM) (voir figure 1-8)



**Figure 1-8:** la distribution des pays par rapport aux émissions des gaz à effet de serre. Source ADAM

À cet effet, il devient impératif de fournir les efforts nécessaires en termes de recherche et application, afin de sauver la terre des résultats néfastes de surconsommation énergétique de combustible fossile. Cela se fait par l'établissement des politiques nationales d'efficacité énergétique, la sensibilisation des acteurs du domaine de la construction et des usagers par l'intérêt de la rationalisation de la consommation énergétique.

### **I.1.3 Le contexte de la maîtrise d'énergie :**

Dans l'objectif de pallier les effets néfastes de la surconsommation du combustible fossile, plusieurs tentatives ont été déroulées pour assurer la rationalisation de la consommation énergétique à travers le monde. À cet effet, il s'agit de s'orienter vers une transition énergétique dans le bâtiment en favorisant le développement des solutions alternatives aux combustibles fossiles avec plus d'efficacité énergétique. (Charlier, 2014 et Dali, 2017).

#### **I.1.3.1 Les notions relatives à l'amélioration énergétique :**

Le concept de la maîtrise de l'énergie, fondé par Michel Rolant et Bernard Laponche, se focalise sur l'optimisation du système énergétique englobant la consommation de l'énergie ainsi que sa production. Il s'agit de réunir la rationalisation de la consommation énergétique avec

l'intégration des énergies renouvelables. (Dessus et Humberset, 2012, Feidt, 2009). Le terme d'efficacité énergétique a été défini par plusieurs manières. Dessus et Humberset (2012) considèrent que l'efficacité énergétique présente une composante essentielle qui favorise la réflexion et l'action pour assurer une transition énergétique (Dessus et Humberset, 2012). Il s'agit d'une des préoccupations majeures dans le contexte énergétique actuel et à venir. (Feidt, 2009)

L'efficacité énergétique favorise la réduction de la quantité d'énergie nécessaire pour le même confort thermique. Il s'agit de mieux utiliser l'énergie sans menacer la qualité thermique de vie. (Salamon T. et Bedel, 2004).

### ***I.1.3.2 L'impact de l'efficacité énergétique :***

L'investissement dans les mesures d'efficacité énergétique présente un rôle majeur qui permet de réduire l'effet des impacts négatifs de la surconsommation du combustible fossile. (Charlier, 2014, GIMELEC, 2008). Il s'agit d'améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire. Ce qui favorise la réduction de la facture énergétique ainsi que la quantité d'énergie à consommer. (GIMELEC, 2008)

L'étude énergétique préliminaire d'un projet pilote comparé à une habitation classique a fait ressortir qu'un investissement en efficacité énergétique par un surcoût de 10 % à 25 % de la construction favorise des économies d'énergie de l'ordre de 60 %. Sur le plan environnemental, la rationalisation de la quantité d'énergie consommée par ce projet pilote permet de réduire les rejets de CO<sub>2</sub> d'environ 5 000 kg/an. (Chenak, 2009, Thibault et El Andaloussi, 2011)

### ***I.1.3.3 Les procédures d'amélioration énergétique :***

L'amélioration de l'efficacité énergétique d'une construction se fait par deux approches principales ; une première relative au bâtiment, alors que la deuxième approche concerne les équipements techniques. (GIMELEC, 2008)

#### **I.1.3.3.1 L'efficacité énergétique liée au bâtiment (les solutions passives) :**

La manière de concevoir a un impact direct sur la quantité d'énergie consommée. À cet effet, il s'agit de s'orienter vers des procédés conceptuels qui favorisent la réduction des dépenses énergétiques. Les paramètres qui influencent la qualité du comportement thermique du bâtiment concernent la forme, l'orientation et l'enveloppe thermique. Le retour d'investissement de ces améliorations conceptuelles est à long terme. (Benslimane et al, sans date, GIMELEC, 2008)

### **I.1.3.3.1.1 L'optimisation de l'enveloppe thermique :**

L'enveloppe bâtie représente un organe de transformation des éléments de climat extérieur instables et quelquefois défavorables pour assurer des ambiances intérieures stables et agréables. Une enveloppe efficace, énergétiquement, favorise une conservation calorifique en hiver et minimise la pénétration des surchauffes en été. Cela favorise la combinaison entre plusieurs paramètres liés aux composants de l'enveloppe thermique. Le traitement des ponts thermiques permet de réduire les déperditions par un pourcentage de 20 %. (Chenak, 2009, Courgey & Oliva, 2006 - 2007).

#### **I.1.3.3.1.1.1 La partie opaque :**

- **Les matériaux de construction :** il s'agit d'utiliser des matériaux de construction performants énergétiquement. (GIMELEC, 2008)
- **L'inertie thermique :** qui favorise la stabilisation des températures ambiantes par le ralentissement de déphasage entre l'intérieur et l'extérieur pour limiter les variations thermiques du climat extérieur. Il s'agit de conserver le surplus de la chaleur en hiver et de restituer la fraîcheur en été. Les éléments du bâtiment qui se caractérise par une masse et une capacité thermique importante favorisent une forte inertie thermique. (Courgey & Oliva, 2006 - 2007).
- **L'isolation :** depuis trois décennies, l'isolation thermique des bâtiments est devenue un élément essentiel des politiques nationales de la maîtrise d'énergie. Son rôle est de limiter la fuite des calories en hiver et favorise la conservation de la fraîcheur en été. Il s'agit d'intégrer une isolation thermique horizontale des planchers hauts et bas et une isolation verticale des parois extérieurs (Thibault et El Andaloussi, 2011, Charlier, 2014, Chenak, 2009, Courgey & Oliva, 2006 - 2007).

#### **I.1.3.3.1.1.2 La partie vitrée :**

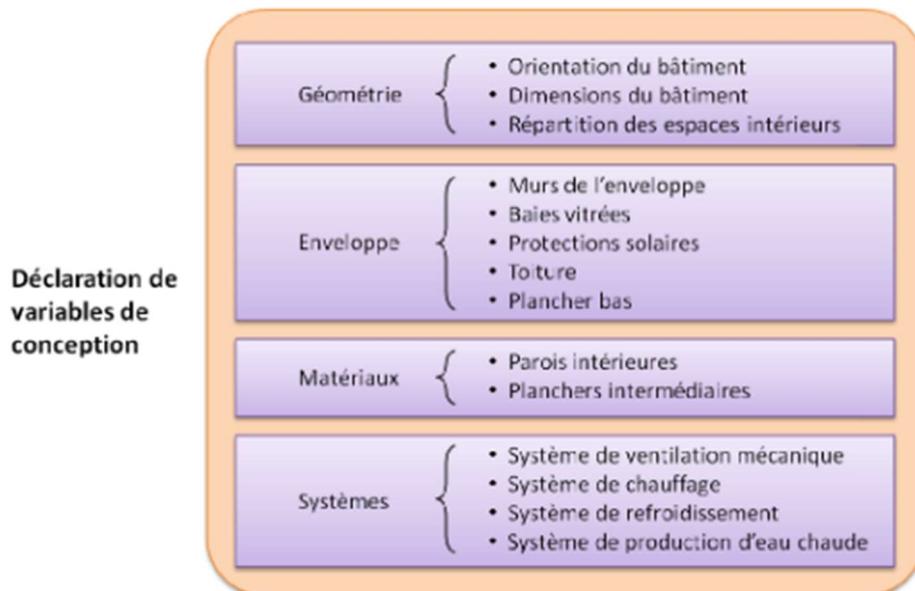
- **L'orientation :** l'orientation adéquate des ouvertures est celle qui permet de bénéficier des avantages du climat extérieur. Il s'agit de suivre la direction des vents frais dominants qui favorise la ventilation nocturne pour un rafraîchissement passif en été. D'un autre côté, l'orientation en hivers est liée à la pénétration des rayons solaires pour assurer le chauffage solaire passif. (Chenak, 2009).
- **Le type du vitrage :** l'utilisation de double vitrage aux ouvertures minimise les déperditions thermiques et améliore l'efficacité énergétique du bâtiment. (Charlier, 2014, Chenak, 2009)

- **La protection thermique** : l'ombrage du bâtiment, par le biais des protections solaires horizontales et verticales, favorise la diminution des charges de la climatisation. (Chenak, 2009)

### **I.1.3.3.2 L'efficacité énergétique liée aux équipements (solutions actives) :**

Les équipements ont un impact précieux sur la qualité d'efficacité énergétique dite active. Cela concerne le chauffage, la climatisation, l'éclairage artificiel, la ventilation mécanique et l'utilisation d'eau chaude sanitaire. L'optimisation énergétique favorise l'utilisation des appareils électriques de basse consommation, l'intégration des énergies renouvelables et l'adaptation d'un système intelligent de régulation, d'automatisme et de mesure aux équipements. (GIMELEC, 2008, Thibault et El Andaloussi, 2011, Charlier, 2014 et Chenak, 2009). Ce qui favorise des économies de la consommation d'énergie qui arrive à 30 % avec un temps de retour sur investissement plus court que celui des éléments de l'enveloppe thermique. (GIMELEC, 2008)

Dans le même contexte, Velázquez-Romo (2015), considère que la construction performante, énergétiquement, favorise une conception adéquate de quatre aspects suivants : la géométrie, l'enveloppe, les matériaux de construction et les équipements (Figure 1-9) (Velázquez-Romo, 2015).



**Figure 1-9** : les aspects conceptuels nécessaires pour une construction performante énergétiquement. (Source Velázquez-Romo, 2015)

#### **I.1.3.4 La mise en œuvre d'une politique de l'efficacité énergétique :**

La réussite de la procédure d'efficacité énergétique, pour aboutir aux objectifs de la rationalisation de la consommation d'énergie, est liée à l'adaptation d'une politique de la maîtrise d'énergie. Cela favorise la généralisation des systèmes de la maîtrise de l'énergie à travers le pays.

La mise en œuvre d'une politique d'efficacité énergétique repose sur trois piliers : (LAPONCHE, 2012)

- La création d'un dispositif institutionnel qui a le rôle de la mise en œuvre de programmes et de projets de la maîtrise d'énergie par le biais de la sensibilisation, la communication, la formation et l'animation de réseaux.
- Une législation et des réglementations spécifiques à la procédure de l'efficacité énergétique.
- Des mécanismes de financement public spécifiques aux projets de la maîtrise d'énergie.

### ***I.2 - Le confort thermique entre évaluation et perception :***

Le confort thermique, depuis le 19<sup>e</sup> siècle, est considéré comme un vaste champ d'intervention des chercheurs. Son début était par les mouvements de la réforme des conditions de travail dans les usines et les habitats. Aujourd'hui, ce vieux concept concerne la proposition d'une variété des méthodologies d'évaluation qui valorisent différents types des solutions et des procédures conceptuelles.

La notion de confort thermique met en évidence la relation du bien-être de l'utilisateur de l'espace avec son environnement immédiat. Ceci favorise l'intersection des paramètres liés au climat ambiant et aux usagers de l'espace.

#### **I.2.1 Définition du confort thermique :**

Le concept de confort thermique est défini, selon la revue de la littérature, par plusieurs manières. Il est considéré comme un objet physique, une machine thermique auto régulée, ou une personne active affectée par ses sensations. (Moudjalled, B. 2007).

Le siècle précédent a été caractérisé par l'apparition des chercheurs fondateurs, qui ont travaillé sur le concept de confort thermique d'une manière approfondie. À titre d'exemple, Fanger considère que le confort thermique représente l'absence d'inconfort. (Fanger, 1970, Fanger, 1983). Quant à B. Givoni, il le considère comme un état d'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement (Givoni, 1978). Une autre approche, définie par Tellier en 1989, consiste à

définir le confort thermique comme un concept subjectif relatif au jugement des conditions thermiques, par rapport aux sensations optimales des usagers, et qui dépend aussi aux conditions physiologiques et psychologiques qui caractérisent l'instant où se trouve l'utilisateur de l'espace. (Tellier, 1989). Cette définition permet d'introduire les critères physiologiques et psychologiques qui sont, selon l'auteur, des critères indispensables pour définir l'état de neutralité.

Pour Jean-Yves Charbonneau, le confort thermique est défini par la satisfaction des ambiances thermiques du milieu environnant (Charbonneau, J-Y, 2004). Alors que MOSER déclare que « *Le confort est lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation. Sa définition faite à la fois appelle à une approche négative (absence d'inconfort, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété,...etc.) et à une approche positive (bien-être, satisfaction).* » (MOSER, 2009).

Nous constatons, selon les définitions présentées, que le confort thermique est une notion complexe à aborder. Cela est par le biais d'intervention d'un nombre important des paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, culturels. Ce qui influence plus ou moins les différents types de confort. Il s'agit d'un confort sensoriel composé par le confort visuel et celui acoustique, le confort hygrothermique et le confort olfactif. L'objectif est d'ajuster un confort optimal (MOSER, 2009, Batier, 2016).

## **I.2.2 Les paramètres de confort thermique :**

Le confort thermique dépend de six paramètres qui représentent des indicateurs d'évaluation. Il s'agit de quatre variables relatives à l'environnement thermique qui sont la température de l'air, la vitesse relative, la température moyenne radiante et le degré hygrométrique de l'air. Alors que les paramètres liés à l'utilisateur sont l'activité métabolique et la résistance des vêtements. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005, Deval, J-C.1984).

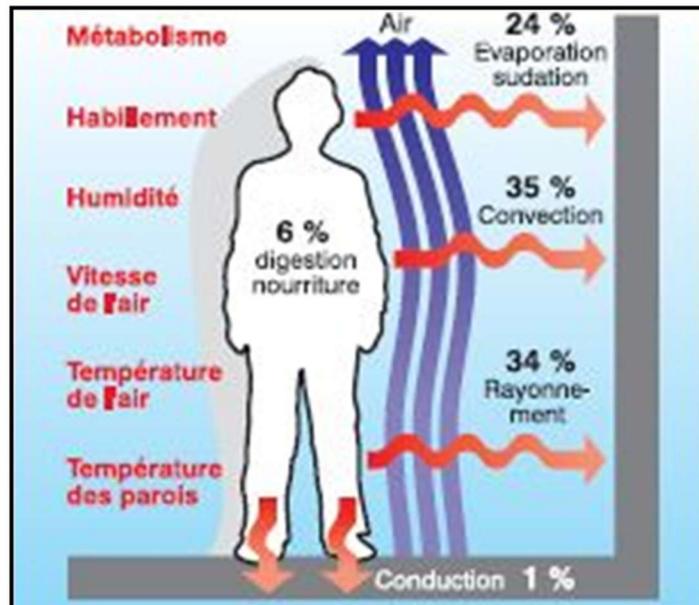


Figure I-10: les facteurs influençant le confort thermique.

Source A. Liébard et A De Herde 2005

### I.2.2.1 **Les paramètres liés à l'environnement :**

Il s'agit des grandeurs physiques ayant une influence directe sur le confort thermique. Ces paramètres sont en relation avec les conditions thermiques de l'espace (Volkov et al. 2014). Alors qu'ils favorisent une influence directe sur l'équilibre thermique du corps. (Sadafi et al. 2011)

#### I.2.2.1.1 **La température de l'air ( $T_a$ ) :**

Il s'agit du paramètre qui a plus d'influence sur le confort thermique (Hoppe, 1999, Hensen, 1990). C'est la température d'air qui circule autour des occupants en déterminant le flux de chaleur entre l'air et l'individu, mais elle ne peut pas refléter une valeur précise du confort thermique. Sa prise en mesure se fait par un thermomètre sec à l'ombre à une hauteur de 1.5 m.

Les températures ambiantes minimales et celles maximales de la plage du confort thermique dépendent des autres paramètres comme la vitesse de l'air et le type d'activité d'occupant (voir figure I-11)

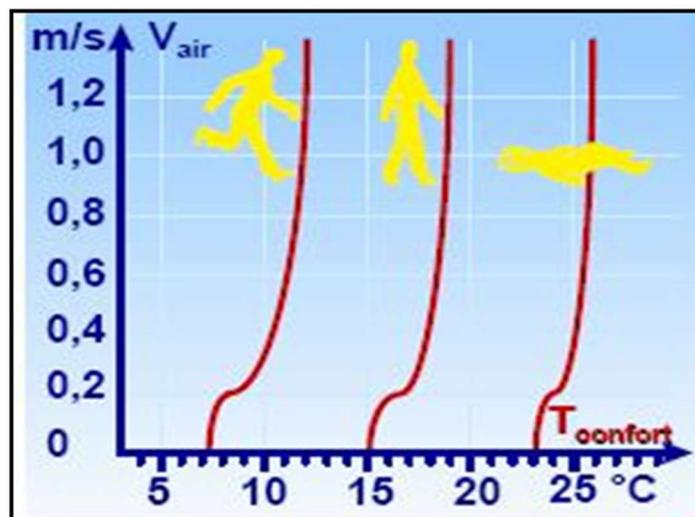
#### I.2.2.1.2 **La vitesse relative de l'air :**

C'est un paramètre qui a une forte relation avec la température de l'air. Il s'agit des courants d'air très important à la détermination de la plage du confort thermique, suite à son influence sur les échanges de la chaleur par convection entre l'occupant et son environnement. Ces mouvements

d'air favorisent l'augmentation de l'évaporation sur la surface de la peau. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

À l'intérieur d'un bâtiment, la vitesse de l'air est ignorée lorsqu'elle ne dépasse pas 0.2 m/s. À partir de cette valeur de vitesse, l'utilisateur de l'espace commence à ressentir le mouvement de l'air. (Jedidi et Benjeddou, 2016). Ces courants d'air ont un effet positif lorsqu'il s'agit d'un milieu chaud et humide. Cela est par le refroidissement passif qui favorise l'état thermique optimal. Bien que l'augmentation de la vitesse de l'air puisse être une source d'inconfort thermique pour une ambiance froide ou suite à une mauvaise conception du bâtiment qui favorise des courants d'air chaud ou froid. (Liébarde, A. et De Herde, A. 2005, Mazari, M. 2012).

La figure I-11 illustre la variation de la température du confort thermique par rapport à la vitesse de l'air et le type d'activité.



*Figure I-11: Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen, d'après Fanger, O.*

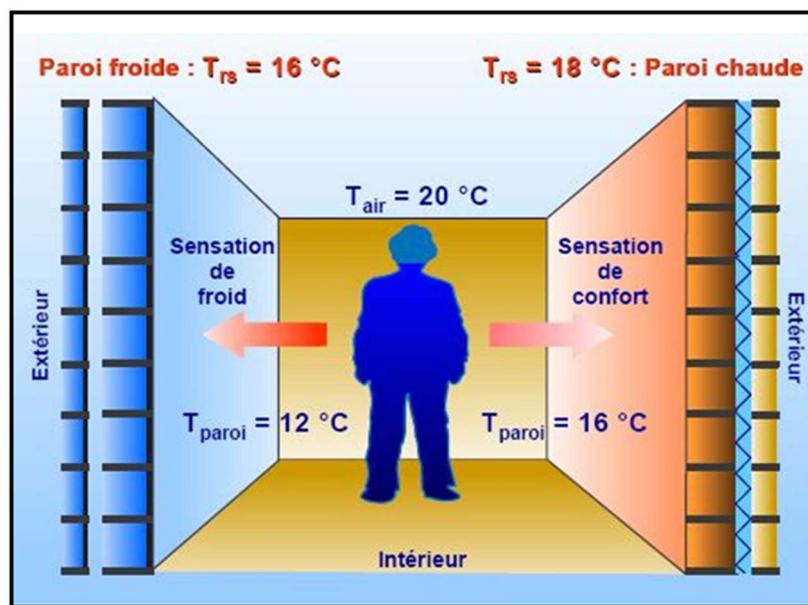
### **I.2.2.1.3 La température moyenne radiante ( $T_p$ ) :**

C'est l'effet combiné des températures surfaciques des parois environnantes dans un espace. L'influence de ce facteur sur les échanges thermiques se fait par rayonnement, et favorise le gain (et/ou) la perte de la chaleur des occupants. (A. Liébard et A. De Herde, 2005, Beckey, 1992)

La valeur de la température moyenne radiante ( $T_p$ ) reflète la nature d'isolation et l'inertie thermique des parois. L'amélioration de la température radiante d'une paroi favorise

l'augmentation de l'inertie thermique des parois, l'adaptation d'une valeur de coefficient de conductivité thermique ( $k$ ) égale ou inférieure de 1,2, et l'ajustement de différence entre la température d'air ambiant et celle des parois pour qu'il ne dépasse pas 5 °C. (Mazouz, S. sans date).

Pour atténuer la complexité de la répartition des températures sur une paroi, il s'agit de considérer que la valeur de  $T_p$  est égale à la moyenne des températures surfacique des parois environnantes. La figure I-12 illustre que la combinaison de cet indicateur avec la température ambiante détermine le confort thermique ressenti par les occupants. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).



**Figure I-12:** l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique.

#### **I.2.2.1.4 Degré hygrométrique de l'air :**

C'est le rapport entre la quantité d'eau incluse dans l'air à la température ( $T_a$ ), et la quantité maximale qu'il peut inclure à cette même température. La valeur de l'humidité relative est exprimée en pourcentage. La plage de 30 % à 70 % d'humidité relative dans l'air favorise les valeurs qui ne présentent que peu d'influence sur la sensation de confort thermique. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

Une situation de saturation de l'air accompagné par une ambiance chaude provoque des réactions physiologiques et sensorielles. À cet effet, le corps sera incapable d'évaporer la sueur.

Ce qui favorise un état d'inconfort. Cela peut être rectifié par l'augmentation de la vitesse de l'air. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005, Auliciems & Szokolay, 1997).

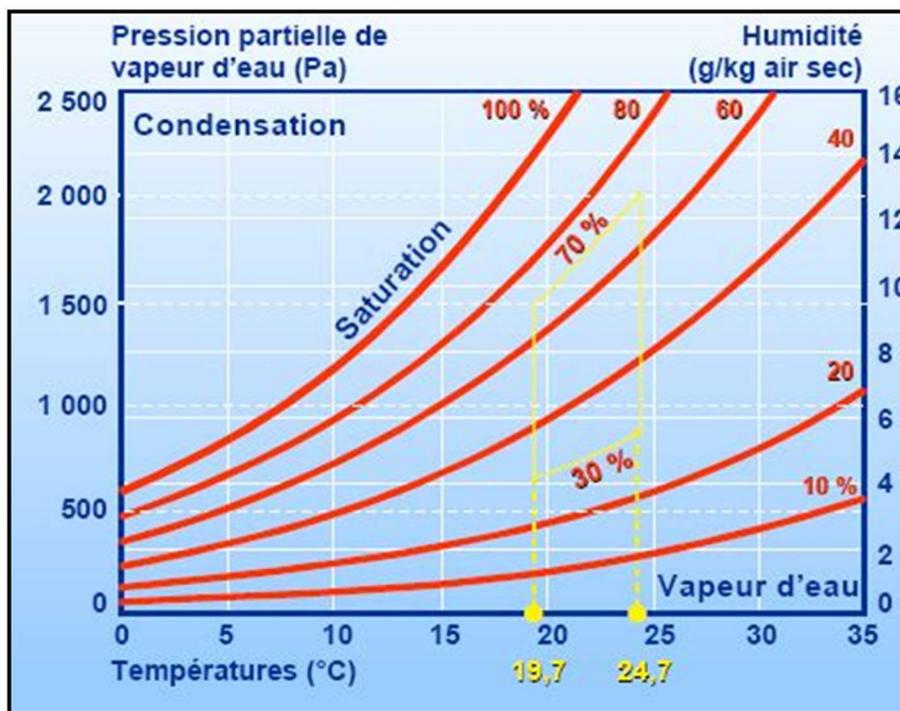


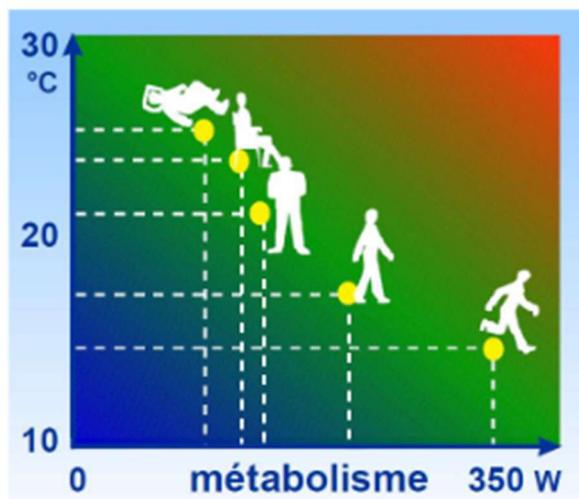
Figure I-13: Plage du confort pour une activité du bureau.

### I.2.2.2 Les paramètres liés à l'utilisateur de l'espace :

Ce sont des paramètres liés aux caractéristiques des usagers de l'espace. Les paramètres les plus utilisés par plusieurs chercheurs sont l'activité métabolique et l'habillement. Ce sont des indicateurs déterminant du niveau de confort thermique.

#### I.2.2.2.1 L'activité métabolique :

Deval J-C considère que l'être-humain a la possibilité de s'adapter dans son milieu thermique, suite à sa disposition d'une stratégie métabolique qui favorise le déclenchement d'un processus de régularisation de la température intérieure du corps pour la maintenir autour de 36,7 °C. Il s'agit du métabolisme qui varie en fonction de l'activité et influence directement la température du confort thermique (voir figure I-13). (Deval, J-C. 1984, Roulet, C. A. 2004 et Liébard et De Herde, 2005). Ce paramètre est lié au sexe de l'être humain, son âge, l'état de sa santé, en plus des autres indicateurs liés à l'environnement (McIntyre, 1973).



**Figure I-14** : L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort. (Source : Liébard et De Herde, 2005)

Fabbri (2015) a divisé le métabolisme en trois catégories qui sont :

- Métabolisme énergétique de base, où l'objectif est de maintenir les fonctions vitales dans des conditions de neutralité thermique (température 29-31 °C s'il est nu, 25-29 °C quand il est habillé) ;
- Métabolisme lié à la position du corps (couché, assis, debout) ;
- Métabolisme lié au type d'activité (repos, activité physique légère, moyenne, lourde, etc.) ; (Fabbri 2015)

**Tableau 2**: Taux métaboliques des différentes Activités. Source Auliciems et Szokolay, 1997

Activité	Met	W/m <sup>2</sup>	W (av)
Dormir	0,7	40	70
Couché, couché dans le lit	0,8	46	80
Assis, au repos	1,0	58	100
Travail debout, sédentaire	1,2	70	120
Travaux très légers (shopping, cuisine, industrie légère)	1,6	93	160
Moyen de travail léger (maison, machine-outil)	2,0	116	200
Travail moyen régulier (marteau-piqueur, danse sociale)	3,0	175	300
Travaux lourds (sciage, rabot à la main, tennis) jusqu'à	6,0	350	600
Travaux très lourds (courge, travail des fours) jusqu'à	7,0	410	700

Le tableau ci-dessous illustre la variation du taux métabolique de quelques types d'activité de la plus légère à la plus lourde. Le métabolisme (M) est exprimé en "met" ou en "W/m<sup>2</sup>" où 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> (Batier, 2016). L'intensité élevée des activités exercées favorise une augmentation des valeurs de métabolisme. Cela est par le biais de la production de la chaleur et la création des échanges thermiques entre le corps et l'environnement.

#### **I.2.2.2.2 La résistance des vêtements :**

Auliciems et Szokolay considèrent que l'habillement est un paramètre important, qui influence le niveau de confort thermique et assure la dissipation de la chaleur (Auliciems et Szokolay, 1997). Il s'agit d'une barrière thermique qui isole la peau de son environnement par la création d'une zone tampon, et favorise une résistance thermique aux échanges de la chaleur (De Herde & Liébard, 2005). Les vêtements sont mesurés par une valeur relative exprimée en clo. C'est une représentation numérique de la résistance thermique d'un ensemble de vêtements où 1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup> (Alaieb, 2015). Le tableau suivant illustre les valeurs typiques pour diverses combinaisons de vêtements (voir tableau 3).

**Tableau 3:** valeur d'isolation des tenues vestimentaires. Source Afnor 2006 cité par Batier 2016.

<b>Ici (clo)</b>	<b>Description des tenues vestimentaires (les chaussures, les chaussettes ou les bas)</b>
<b>0.30</b>	Slip, T-shirt, shorts, chaussettes fines, sandales.
<b>0.50</b>	Caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, chaussures.
<b>0.70</b>	Slip, jupon, bas, robe, chaussures.
<b>0.70</b>	Sous-vêtements, chemise, pantalon, chaussettes, chaussures.
<b>1.00</b>	Slip, chemise, pantalon, vestes, chaussettes, chaussures.
<b>1.10</b>	Slip, bas, corsage, jupe longue, vestes, chaussures.
<b>1.30</b>	Sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise, pantalon, tricot col en V, vestes, chaussettes, chaussures.
<b>1.50</b>	Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, gilet, vestes, manteau, chaussettes, chaussures.

L'habillement des usagers dépend de la saison de l'année. Pendant l'hiver, le choix des vêtements les plus lourds ayant une résistance qui dépasse 1clo. Alors qu'en été, il s'agit de s'habiller légèrement par des vêtements ayant une valeur d'isolation qui ne dépasse pas 0.5 clo, en choisissant des vêtements qui favorisent des mouvements d'air autour de corps (Mallick 1996 cité

par Berkouk 2017) (voir figure I-14). Cela est pour assurer le refroidissement pendant la période chaude.



**Figure I-15 :** Valeur d'isolation des différents types des vêtements. Source Fanger, 1985

À titre d'exemple, les tenues traditionnelles en Algérie, le Qamis pour les hommes et la Djellaba et la Gandoura (robe) pour les femmes, sont favorables pour se refroidir en été.

### **I.2.3 Les aspects du confort thermique :**

Les aspects de confort thermique doivent être pris en considération pour chaque étude de confort thermique. Il s'agit des aspects physiologiques, psychologiques et physiques. Ces aspects influencent l'évaluation du confort thermique. (Lin & Deng, 2008)

#### **I.2.3.1 Aspect physiologique :**

L'être humain, en tant qu'un homéotherme<sup>2</sup>, doit stabiliser l'état thermique de son corps par un système de thermorégulation. Ce dernier favorise le réglage des échanges thermique avec son environnement. Cela est par des réactions conscientes (adaptation comportementale) et inconscientes (vasomotricité, frisson et sudation). L'équilibre thermique du corps humain est assuré par le biais d'un bilan thermique global nul (Parsons 2003, Bruant cité par Cantin, R. et al 2005 ; Lavoye et Thellier, 2015).

Le métabolisme permet de maintenir la vie au niveau cellulaire, et favorise le fonctionnement des organes et l'activité musculaire. La propagation de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur de l'organisme se fait par une conduction tissulaire et la convection sanguine. Par le biais d'un système de régulation passif, la température du noyau central est autour de 37 °C. Bien que la température de la peau est caractérisée par une valeur de 22 à 30 °C aux pieds et 34 à

---

<sup>2</sup> Un être vivant qui va garder une température corporelle stable, dans certaines limites, indépendamment de la température extérieure.

35 °C au niveau de la tête. Ces valeurs de température ont tendance à varier selon des perturbations internes et externes. (ASHRAE, 1997 cité par Moujalled, 2007).

Le centre de la thermorégulation se situe dans l'hypothalamus<sup>3</sup>. Ce phénomène se produit à l'aide de deux types de thermorégulation : la thermorégulation physiologique végétative qui consiste à maintenir la température interne du corps autour de 37 °C (Narçon, 2001 cité par Moujalled, 2007). La figure ci-dessous, réalisé par Moujalled, 2007, explique d'une manière simple le fonctionnement du système de thermorégulation (Moujalled, 2007).

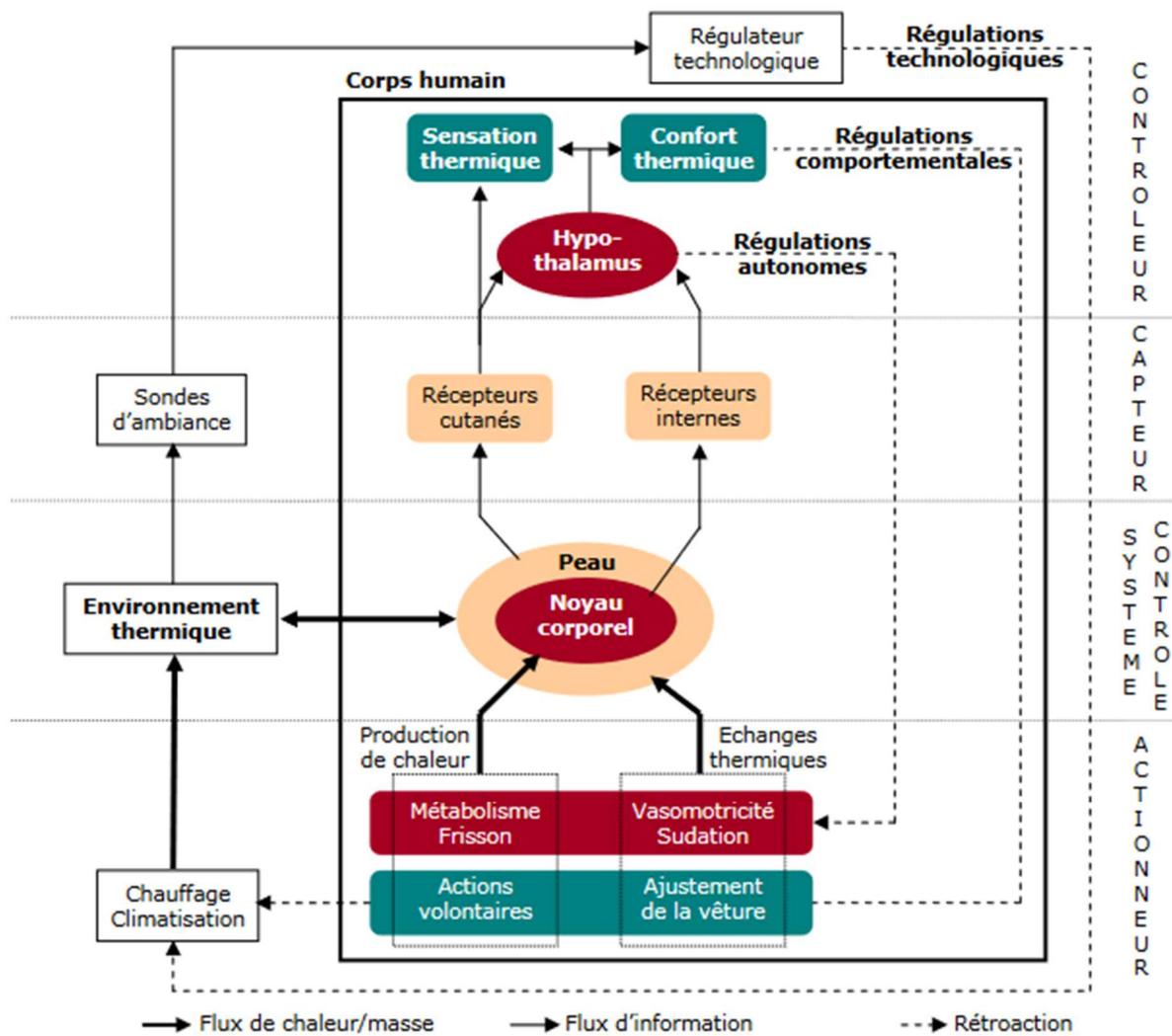


Figure I-16 : Principes de la thermorégulation végétative, comportementale et technologique

Alors que la thermorégulation comportementale se distingue, de son côté, en deux types ; une réaction consciente qui favorise des adaptations comportementales. Il s'agit de réagir volontairement aux changements environnementaux par des actions conscientes. Ces réactions sont liées au bâtiment ou d'ordres individuels (modification des vêtements ou d'activité par exemple). (Narçon, 2001 ; Lavoye et Thellier, 2015). Alors que la thermorégulation comportementale inconsciente favorise la réaction corporelle lors des situations thermiques désagréables sans aucune intervention des usagers.

### I.2.3.2 *Aspect psychologique*

La perception thermique de l'espace est différente selon la manière de la sensation et d'évaluation du confort thermique par les usagers et la situation dans laquelle se trouve. Hegger, M. et al, considèrent que le confort thermique ne se limite pas aux données mesurables, mais donne une description des sensations individuelles ressenties pendant les conditions d'environnement qui semblent confortables. (Hegger, M. et al 2011).

Plusieurs échelles ont été développées pour assurer l'évaluation des sensations thermiques. L'échelle de Bedford et l'échelle de l'ASHRAE sont les plus utilisées (tableau 4) avec une priorité d'utilisation à l'échelle de l'ASHRAE. La sensation neutre correspond à la valeur zéro (AFNOR, 1995 cité par Moujalled 2007).

Tableau 4 Echelles de la sensation thermique. (Source Moujalled 2007)

L'échelle de Bedford		L'échelle de l'ASHRAE	
7	Très chaud	7 (+3)	Très chaud
6	Chaud	6 (+2)	Chaud
5	Confortablement chaud	5 (+1)	Légèrement chaud
4	Confortable	4 (0)	Neutre
3	Confortablement froid	3 (-1)	Légèrement froid
2	Froid	2 (-2)	Froid
1	Très froid	1 (-3)	Très froid

En faisant référence à l'état des sensations thermiques, plusieurs modèles ont été développés. Le modèle de Fanger consiste à exprimer la sensation thermique par le biais de PMV (vote moyen prévisible). Cet indice a été éprouvé par un large groupe des usagers sur l'échelle de sensations thermiques de l'ASHRAE (Cantin, R. et al 2005).

Ces expériences ont été déroulées dans des chambres climatiques en faisant un contrôle des conditions environnementales de confort thermique (températures, vitesse et humidité d'air,

éclairage ou niveau sonore) et celles spécifiques aux individus expérimentés (activité, vêtue, températures internes, réponses affectives et perceptives). Les chambres climatiques présentent une maîtrise des aspects physiques et physiologiques du confort thermique, mais favorisent certaines défaillances suite à l'impossibilité de régulation qui permet d'élargir la zone du confort thermique. (Moujelled, B. 2007).

### I.2.3.3 *Aspect physique :*

L'aspect physique du confort thermique représente les échanges thermiques entre le corps humain et son environnement, afin de gérer les fluctuations de la température entre l'intérieur corporelle et celle ambiante. Les échanges se font à l'intérieur du corps par l'effet de la thermorégulation. Les transformations moléculaires et énergétiques se déroulent au sein des cellules de l'organisme pour assurer la production de la chaleur nécessaire pour être échangée avec l'environnement de l'individu.

Ces échanges sont assurés par des phénomènes physiques qui sont à travers la peau par rayonnement (R), convection (C), conduction (K) et évaporation (ESK). Alors que par le biais de la respiration, les échanges s'effectuent par convection (CRES) et évaporation (ERES). Cela est pour maintenir la température interne de corps humain autour de 37 °C, en assurant l'équilibre thermique du corps avec son environnement (voir figure I-17) (Batier, 2016, Moujelled, B. 2007).

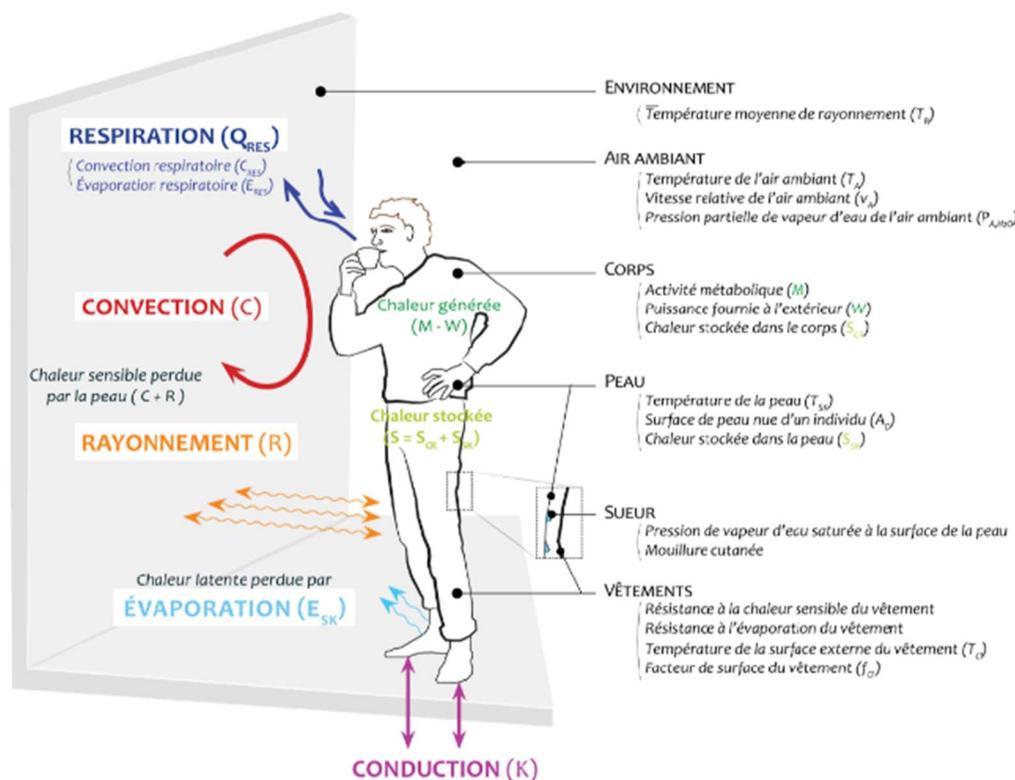


Figure I-17: les échanges thermiques entre le corps humain et son environnement

### I.2.3.3.1 Les échanges de chaleur par la peau :

La peau présente le lien qui relie l'être humain avec son environnement, et favorise l'échange de la chaleur avec celui-ci. Il s'agit de notre enveloppe qui représente une première barrière de défense. À cet effet, les quatre mécanismes d'échange de la chaleur à travers la peau sont comme de suite :

#### I.2.3.3.1.1 Rayonnement (R) :

Ce type d'échange correspond aux échanges radiatifs de chaleur entre la surface du corps, et les parois qui l'entourent par des ondes électromagnétiques. Le rayonnement dépend des températures surfaciques de chaque paroi, de la surface effective de rayonnement, et de l'émissivité du corps humain et des parois environnantes. Chaque paroi est caractérisée par une température différente (source de chaleur, paroi froide...etc). La température du rayonnement influence la réaction thermique du corps. Lorsque la chaleur radiative est supérieure à sa propre émission, le corps se réchauffe, et se refroidit dans le cas inverse. (Lavoye et Thellier, 2015, Thellier, 1989)

#### **I.2.3.3.1.2 Convection :**

Il s'agit d'un échange de chaleur entre le corps humain et l'air qui l'entoure. La convection dépend majoritairement de la température et de la vitesse de l'air. Pour une convection naturelle, lorsque l'air est plus froid, le corps se refroidit par le mouvement de l'air qui se réchauffe en contact du corps et s'élève pour se dissiper dans l'environnement (Lavoye et Thellier, 2015 ; Nicol, 1993). Ce type de transfert thermique peut être forcé ou mixte.

#### **I.2.3.3.1.3 Conduction :**

Ce mode de transfert de la chaleur favorise un contact direct entre le corps avec une surface extérieure à température différente comme l'échange thermique entre le sol et les pieds nus d'un individu. Ce type d'échanges est considéré négligeable suite à la surface réduite de contact. Les vêtements et les éléments d'immobilier sont considérés comme des isolants de l'ambiance extérieure. (Lavoye et Thellier, 2015 ; Candas, 1998)

#### **I.2.3.3.1.4 Évaporation :**

C'est un échange de chaleur latente suite à l'évaporation de la sueur des cellules cutanées à la surface de la peau. Ce qui favorise un moyen efficace pour rafraîchir le corps humain lors d'une ambiance chaude. La quantité d'eau à évacuer est déterminée par un mécanisme de la thermorégulation végétative afin de conserver l'équilibre thermique du corps. Ce système dépend de la pression de vapeur dans l'air et de sa vitesse (Lavoye et Thellier, 2015 ; Batier, 2016).

#### **I.2.3.3.2 Les échanges de chaleur par voie respiratoire (Resp) :**

Lors de la respiration, le corps échange de la chaleur par voie sensible (convection) et latente (évaporation). L'air expiré de la respiration, à une température qui rapproche de la température interne du corps, est presque saturé. Le transfert de la chaleur pendant la respiration est accompagné par un échange de la masse. Ce phénomène dépend de la différence des températures, d'humidité et de pression entre l'air expiré et l'air ambiant. Ce transfert est faible et dépend essentiellement de l'activité. (Lavoye et Thellier, 2015, ASHRAE, 1997 cité par Moujelled 2007).

#### **I.2.4 Les approches du confort thermique :**

L'étude du confort thermique est partagée en deux approches ; une première qui concerne le confort thermique analytique, et une approche adaptative qui présente un confort thermique plus réel dans les bâtiments. (Cantin et al. 2005,). Les deux approches sont complémentaires, selon

Moujalled 2007, malgré la contradiction apparente entre les deux approches. L'approche analytique est basée principalement sur l'aspect physique et physiologique du confort thermique. Bien que l'approche adaptative prenne en considération les réactions comportementales des usagers, dans leurs milieux de vie, lors de traitement du confort thermique. (Moujalled 2007)

#### I.2.4.1 *Approche analytique :*

Il s'agit d'une approche qui se focalise sur le calcul du bilan thermique du corps humain et ses échanges avec l'ambiance thermique. Cela se fait par le biais des modèles physiques et physiologiques. En cette approche, l'homme est considéré comme une machine thermique passive. L'objectif est d'assurer la prédéfinition des sensations thermiques des individus afin de déterminer les conditions du confort thermique par l'exploitation des indices issus des méthodes expérimentales dans des chambres climatiques. (Cantin, R. et al 2005, Moujalled, 2007)

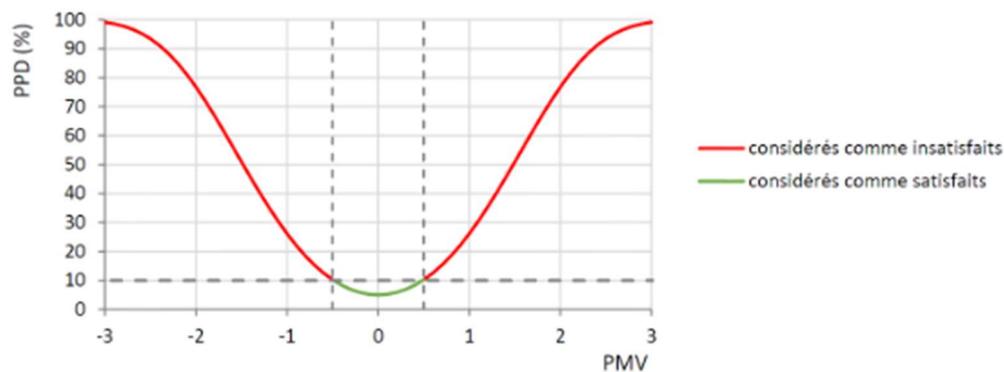
Dans ce contexte, le professeur Fanger en 1970 a conduit une série des recherches sur la relation entre les aspects physiques d'un environnement et les aspects physiologiques des personnes ainsi que par les sensations de la satisfaction thermique exprimée par les mêmes personnes. Ces recherches ont été déroulées dans des chambres climatiques caractérisées par des conditions homogènes et stationnaires avec une participation d'un grand nombre des usagers qui arrive à 1300 personnes.

**Tableau 5:** Les sensations thermiques selon l'échelle de l'ASHRAE

L'échelle de l'ASHRAE	Sensation thermique
+3	Chaud
+2	Tiède
+1	Légèrement tiède
0	Neutre
-1	Légèrement frais
-2	Frais
-3	Froid

Par le biais des résultats de cette investigation expérimentale, Fanger a développé une approche analytique lié aux indices empiriques de sensation thermique de PMV «Vote Moyen Prévisible » qui représente la sensation thermique moyenne d'un large groupe d'individus sur l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE. Cet indice présente des valeurs comprises entre –

3 (froid) et 3 (chaud). Il permet d'évaluer le niveau de confort thermique atteint dans un environnement bâti, et d'établir la température du confort thermique optimal. Alors que le PPD, « Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits », représente le pourcentage de personnes non satisfaites. Ces indices sont les plus exploités pour qualifier les ambiances thermiques de l'être humain. Pour des valeurs du PMV comprises entre  $-0,5$  et  $0,5$  ainsi que le PPD est inférieur à 10 %, cela correspond à des situations thermiques acceptables (voir figure I-18 et tableau 5) (Lavoye et Thellier, 2015, Mazouz, S. sans date).



**Figure I-18** : la répartition du PPD en Fonction du PMV (Source Batier, 2016)

Dans cette approche, Fanger considère que l'évaluation du confort thermique est selon trois éléments ; l'équilibre du bilan thermique, la température moyenne de la peau et la sudation située dans les limites du confort (Hall, 2010 ; Robillart, 2015).

La principale limite de cette approche consiste à la détermination des conditions thermiques homogènes et stationnaires qui favorisent des conditions théoriques rarement rencontrées en réalité dans les bâtiments (Lavoye et Thellier, 2015). D'un autre côté, le non pris en considération de la possibilité d'adaptation d'usager dans son milieu thermique présente un autre inconvénient de l'approche analytique.

Malgré son efficacité limitée, les indices (PMV et PPD), déterminés à partir des études en chambres climatiques, présentent les supports de la norme internationale NF ISO 7730 qui détermine les conditions de confort thermique dans les ambiances modérées (Moujalled, 2007).

#### I.2.4.2 ***Approche adaptative :***

Cette deuxième approche est liée aux facteurs physiques, physiologiques et psychologiques du confort thermique. Elle se réalise par des investigations in-situ qui se déroulent dans les lieux

d'habitation ou de travail ordinaires pour déterminer la zone du confort thermique selon le contexte climatique. Cette approche considère l'occupant comme un modificateur actif de l'espace qui a la possibilité d'intervenir dans son milieu thermique selon sa vision d'amélioration de son environnement. (Moujalled, 2007, Batier 2016).

Dans le contexte où se déroulent les investigations, l'occupant intervient dans son milieu thermique en s'adaptant par deux manières :

#### **I.2.4.2.1 Une adaptation personnelle :**

C'est une adaptation liée aux interventions qui concerne les paramètres individuels du confort par modification des vêtements et d'activité et le lieu. (Mazari, M. 2012).

#### **I.2.4.2.2 Une adaptation environnementale et technologique :**

Cette adaptation est liée avec le bâtiment et l'environnement des occupants par l'effet du contrôle manuel des installations en ouvrant ou en fermant une fenêtre...etc. (Mazari, M. 2012).

Le tableau 6 illustre des incréments de température du confort thermique.

**Tableau 6 :** les incréments de température du confort. (Yannas, 1995)

<i>Opportunités adaptatives</i>		<i>Incrément</i>
<b>Bâtiment</b>		°C
1	Utilisation des moyens de contrôle	2
2	Variation spatiale	1.5
3	Variation temporelle	0.25
<b>Occupant</b>		°C
4	Vêtue et posture	1.8
5	Métabolisme	0.9
6	Psychologique	0.5

L'approche adaptative attire beaucoup d'intérêts des chercheurs pour son efficacité qui correspond mieux au confort thermique perçu par les occupants. À cet effet, une réflexion est menée afin de remplacer les méthodes de l'approche analytique incluses dans les normes actuelles par des approches adaptatives. (Cantin, R. et al 2005, Moujalled 2007).

Mais quelques réserves limitent l'efficacité de l'approche comme la possibilité d'appliquer l'approche à toutes sortes de conditions, puisque les méthodes utilisées reposent sur des analyses analytiques des mesures effectuées dans un nombre fini de bâtiments (Moujalled 2007).

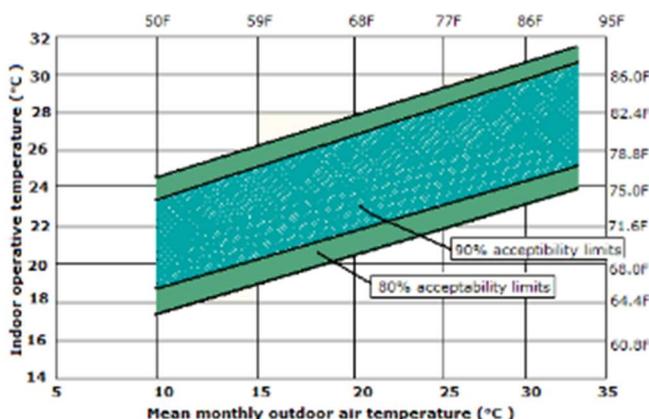
### **I.2.4.2.3 La plage du confort thermique par la méthode adaptative :**

De Dear (1997), a proposé, à l'aide des données de l'ASHRAE<sup>4</sup>, l'élaboration d'une norme adaptative destinée aux bâtiments à ventilation naturelle. Cela est par l'utilisation de régression linéaire des votes comme une alternative à la méthode statique de l'ASHRAE standard 55, le principal moyen de contrôle de la température intérieure est l'utilisation des fenêtres. Afin de définir la plage du confort adaptatif, cette norme utilise la relation entre la température intérieure optimale de confort et celle extérieure ( $T_{a,out}$ ). (De Dear, 1999, De Dear et Brager, 2002).

$$T_{conf} = 0.31 \times T_{a,out} + 17.8 \dots \dots \dots \text{Eq. 1.1}$$

$T_{conf}$  représente la température optimale pour le confort et  $T_o$  exprime la moyenne mensuelle de la température extérieure. (voir équation 1.1)

La norme définit une bande de 5 °C de largeur autour de la température neutre pour 90 % d'acceptabilité. Alors que 7 °C de largeur est pour 80 % d'acceptabilité. Les utilisateurs ont la liberté d'opérer les fenêtres et d'ajuster leurs vêtements. Cela est accompagné par une légère activité pour s'adapter au milieu thermique (De Dear et Brager, 2002).



**Figure I-19 :** la plage de la température opérative acceptable pour des conditions thermiques naturelles. (Source ASHRAE Standard 55, 2004)

<sup>4</sup> L'ASHRAE, la société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation

## **I.2.5 Les méthodes d'évaluation du confort thermique :**

Dans la littérature scientifique, le souci d'évaluer le confort thermique a poussé les chercheurs à présenter des études et des expérimentations. L'élaboration des méthodes d'évaluation est par le biais des indices liés aux réponses physiologiques et sensorielles des usagers (Givoni, B. 1978). La représentation graphique par les diagrammes bioclimatiques et l'évaluation numérique sont d'autres méthodes d'évaluation du confort thermique.

### **I.2.5.1 *Les indices d'évaluation du confort thermique :***

Les indices thermiques représentent, selon Givoni (1978), une combinaison entre les différents facteurs environnementaux du confort thermique. Le développement des indices du confort thermique est issu de plusieurs tentatives des chercheurs dans des chambres climatiques ou in situ, sur des mannequins ou avec des êtres humains. Cela a été effectué par le biais des différentes réponses physiologiques et sensorielles (Givoni 1978, Moujelled, B. 2007). À cet effet, l'objectif des indices thermiques est d'estimer les effets combinés des facteurs environnementaux sur la sensation thermique subjective du confort (Givoni, B. 1978). Les indices thermiques avaient une approche physique au début ; ensuite, ils ont été relatifs aux effets des facteurs physiologiques par le taux métabolique et l'habillement.

#### **I.2.5.1.1 Indice de la température effective :**

Il s'agit d'un indice arbitraire qui a été développé aux U.S.A. Cet indice consiste à intégrer l'effet des facteurs environnementaux avec la sensation du confort thermique ressentie par les sujets d'essais en une seule valeur. L'obtention de la température effective est par la combinaison et la modification de la quantité d'humidité de l'espace, la température du bulbe sec, ou la vitesse de l'air en fonction des possibilités d'intervenir. (Givoni, B. 1978, Auliciems & Szokolay, 1997).

#### **I.2.5.1.2 Température opérative :**

C'est un indice du confort thermique qui représente la moyenne entre deux paramètres physiques, la température de l'air et celle des parois radiantes. Il s'agit d'une température du confort ressentie avec une prise en considération de l'échange de la chaleur par convection. (Fabbri, 2015).

La formule pour calculer la température opérative lorsque la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2 m/s, est :

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

D'autre part, cet indice peut être exprimé par l'équation suivante : (Fabbri, 2015).

$$T_{op} = (h_r \times T_{mr} + h_c \times T_a) / (h_r + h_c)$$

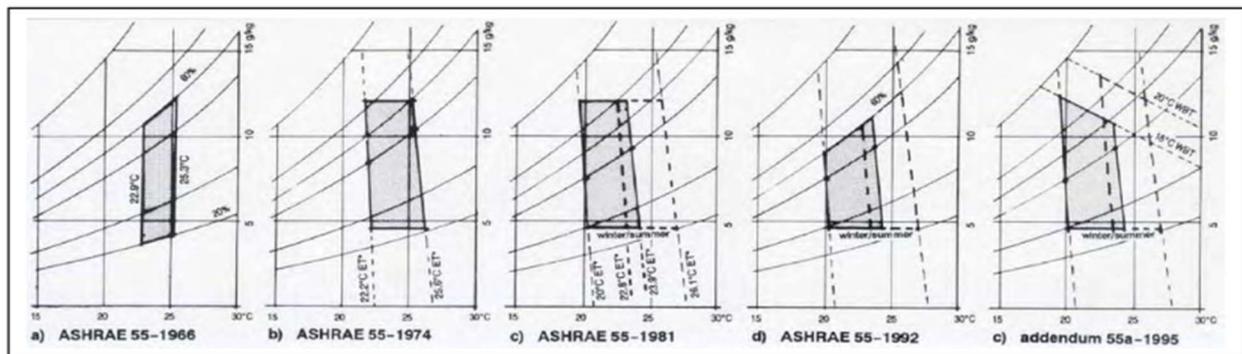
Sachant que :

- $T_a$ : la température de l'air (°C) ;
- $T_{mr}$ : la température radiante moyenne (°C) ;
- $h_r$ : le coefficient de rayonnement ;
- $h_c$  : le coefficient de convection.

La température opérative optimale est exprimée par la température de fonctionnement. Elle est abordée par la satisfaction du maximum des occupants des ambiances thermiques internes. (Alexandre, Freire, Teixeira, Silva, & Rouboa, 2011).

### I.2.5.2 *Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique :*

L'évaluation du confort thermique par l'outil graphique s'effectue par les diagrammes bioclimatiques. Ce type d'évaluation prend en considération les paramètres de l'environnement pour déterminer la plage du confort hygrothermique qui correspond aux valeurs des températures et de l'humidité relative. À cet effet, plusieurs modèles des diagrammes bioclimatiques sont évolués historiquement par les chercheurs. Nous présenterons le diagramme bioclimatique de Givoni (1963). La figure I-20 illustre l'évolution historique de la zone du confort thermique par le diagramme bioclimatique



**Figure I-20:** le développement historique de la zone du confort thermique d'ASHRAE

### I.2.5.2.1 Le diagramme bioclimatique de Givoni :

Afin d'assurer l'évaluation des exigences physiologiques du confort thermique, B. Givoni a présenté en 1963 une méthode expérimentale qui favorise une version améliorée des travaux d'Olgay. Le diagramme psychrométrique de Givoni concerne les études du métabolisme des personnes en état d'activité ainsi que l'indice de contrainte thermique, et les différents types des transferts thermiques entre le corps et l'environnement. (Givoni, B. 1978). Son objectif principal est de déterminer les limites de la zone des conditions thermiques favorables à l'intérieur des bâtiments. Cela va permettre aux chercheurs d'évaluer la quantité d'énergie nécessaire pour favoriser les conditions thermiques adéquates. (Fernández 1994, Castilla et al. 2014, Givoni, B. 1978). Le diagramme psychrométrique de la figure I-21 illustre les différentes zones de confort thermique selon l'influence des paramètres physiques.

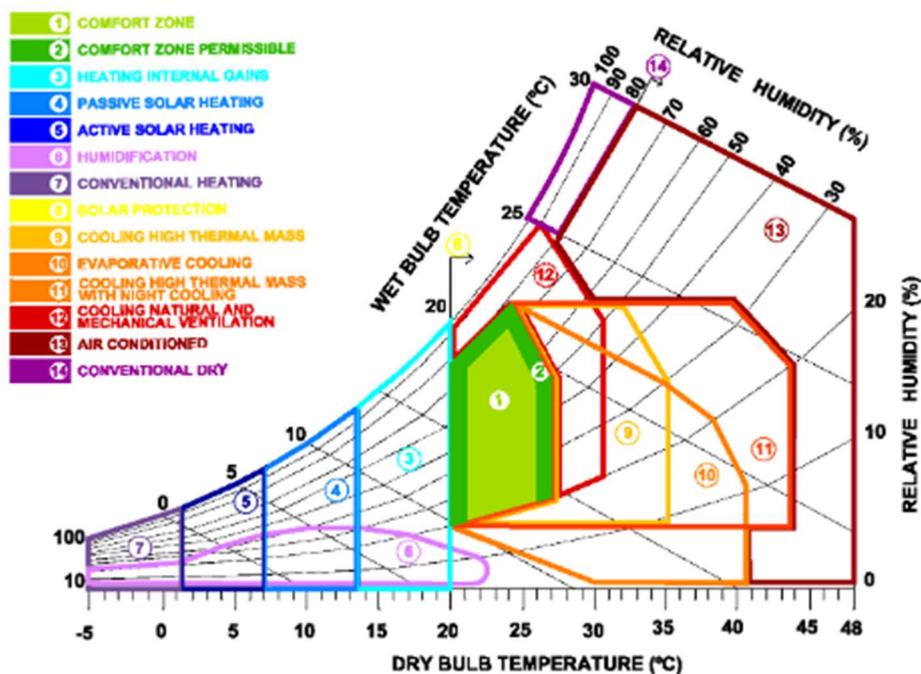
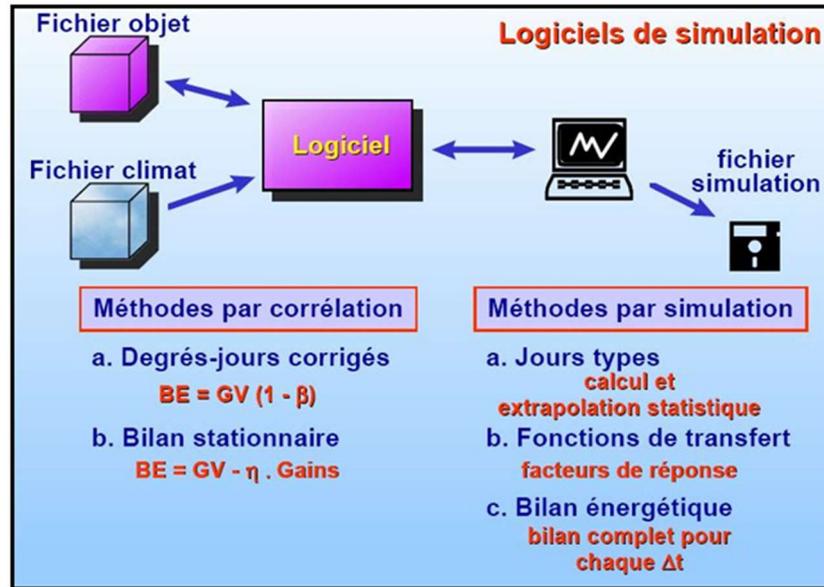


Figure I-21 :Tableau psychrométrique adapté de Givoni (Givoni 1992, Manzano-Agugliaro et al. 2015)

### I.2.5.3 L'évaluation numérique du confort thermique :

Il s'agit d'utiliser un logiciel thermique pour évaluer l'impact relatif des différents paramètres et techniques constructifs, comme ; la géométrie, les matériaux, l'orientation...etc, sur la qualité du confort thermique. L'importance de la simulation thermique est la possibilité de manipuler entre les différentes variantes au stade de la conception, afin de choisir les paramètres

optimaux pour le projet, en vérifiant la qualité du confort thermique et la quantité de la consommation énergétique durant toute l'année. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).



**Figure I-22:** méthode de calcul des logiciels de détermination des données thermique.

Source Liébard, A. et De Herde, A 2005

## **Conclusion**

En poursuivant l'exploitation des hydrocarbures et la consommation énergétique de la même manière qu'aujourd'hui, le risque d'épuisement des ressources naturelles va augmenter et son influence négative va avoir plus des bouleversements. Donc, une transition énergétique progressive va assurer une prolongation de la vie des gisements naturels et va atténuer l'impact de son expiration. C'est le temps de profiter des bienfaits de l'énergie sans compromettre le droit des futures générations.

En conclusion, nous constatons que, suite à l'état de l'art, que le concept du confort thermique présente une complexité liée à l'interaction de plusieurs paramètres environnementaux et personnels. La satisfaction des usagers favorise l'interaction entre les facteurs physiques, physiologiques et psychologiques du confort thermique. Ce qui favorise une relation complémentaire entre le corps et son milieu thermique par les échanges thermiques. Cela permet d'atténuer les variations extérieures de la température afin de stabiliser sa température interne et de faire adapter les individus à leur environnement thermique.

## Contexte de la problématique énergétique et le confort thermique

L'évaluation du confort thermique à l'intérieur des milieux bâtis se fait par le biais de deux approches selon le degré d'intervention de l'utilisateur de l'espace. Une approche analytique, qui est basée sur des calculs statistiques, considère l'occupant comme une machine thermique passive. Alors que la deuxième approche favorise la réaction comportementale de l'occupant dans son milieu de vie habituel. C'est l'approche adaptative qui est la plus proche au confort thermique réel de l'occupant. Les deux approches suivent des démarches différentes pour la détermination des conditions de confort thermique en ayant un aspect complémentaire (Moujalled, 2007).

Pendant plus de 100 ans de traitement du sujet de confort thermique, les chercheurs ont élaboré plusieurs méthodes d'évaluation du confort thermique. Les indices thermiques, les diagrammes psychométriques ainsi que les méthodes d'évaluation numérique sont des outils d'aide pour prendre les bonnes décisions lors de la conception du projet architectural et pour la détermination de la plage du confort hygrothermique par le biais des paramètres de l'environnement.

Finalement, nous avons traité, lors de ce chapitre, le sujet d'efficacité énergétique et du confort thermique par une étude théorique. Il s'agit de passer vers la présentation de l'état du système constructif en Algérie et l'expérience de la maîtrise d'énergie au prochain chapitre.

CHAPITRE II :

*Le système constructif en  
Algérie entre l'existant et les  
nouvelles stratégies.*

## **II. Chapitre II : Le système constructif en Algérie entre l'existant et les nouvelles stratégies**

### ***Introduction***

Depuis l'indépendance, le secteur de bâtiment en Algérie souffre d'une crise intense de logement. Ce qui a poussé les décideurs à lancer un plan d'urgence pour loger le maximum des habitants dans les brefs délais. Par le biais d'un système constructif léger, rapide et pas cher, l'état algérien avait l'objectif de contourner le retard marqué dans le secteur de bâtiment durant et après la période coloniale. Il s'agit d'une structure en poteau poutre avec un remplissage en brique creuse. Ce système constructif est pour répondre aux exigences de plasticité, rapidité et facilité de la mise en œuvre avec une grande résistance mécanique ...etc. Alors que les exigences de l'efficacité énergétique sont absentes de la considération des acteurs du secteur du bâtiment. Le résultat de cette fièvre de construction est la création d'un système constructif énergivore avec plus de 40 % de la consommation énergétique nationale.

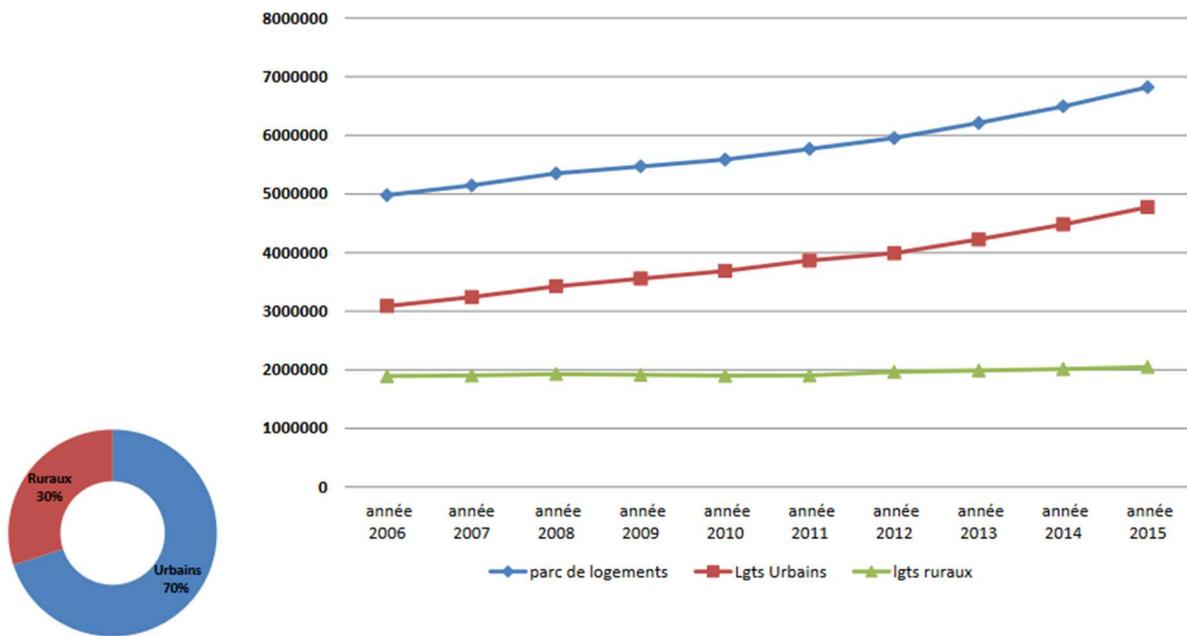
La qualité thermique et énergétique médiocre du logement oblige l'utilisateur à rectifier le confort thermique par le chauffage et la climatisation mécanique. D'une autre part, l'introduction des nouveaux usages au foyer par l'augmentation des équipements et l'apparition de phénomène de non-cohabitation dans la société favorise une hausse de la quantité d'énergie consommée par le secteur du bâtiment. (<http://www.aprue.org.dz/>). À cet effet, l'Algérie, en tant qu'un pays exportateur d'énergie, doit affronter plusieurs défis liés aux impacts négatifs de la surconsommation énergétiques du combustible fossile. Ce qui représente l'augmentation de la facture énergétique, l'émission des gaz à effet de serre CO<sub>2</sub> et le risque d'épuisement des ressources naturelles.

Dans ce contexte, les décideurs en Algérie engagent à une amélioration de la situation énergétique du secteur du bâtiment du pays par le biais d'intégration d'une politique nationale de la maîtrise d'énergie dans le secteur résidentiel. Ce qui exprime une conscience par les dangers liés au réchauffement climatique et favorise une rationalisation de la consommation énergétique. Cette politique d'efficacité énergétique est par l'élaboration d'un dispositif réglementaire et institutionnel qui est destiné à améliorer l'efficacité énergétique dans l'habitat. L'expérience de haute performance énergétique en Algérie vise à élaborer un compromis entre la minimisation de la quantité d'énergie consommée et la qualité thermique optimale perçue à l'intérieur des

logements. Il s'agit de 600 logements distribués sur 11 wilayas selon la diversité climatique du pays. L'amélioration du système constructif est par l'isolation thermique des parois, le traitement spécifique des ponts thermiques selon les exigences du DTR (L. Houidef, 2009).

## ***II.1 Le système constructif en Algérie :***

La croissance rapide de la population et l'exode rural étaient les causes principales d'une crise de logement intense, présentée par l'explosion de l'habitat insalubre aux périphéries des grandes villes. Dans le contexte de lutter contre la précarité et la pauvreté au sein de la société algérienne, et dans le cadre du développement économique, l'Algérie s'est engagée dans une politique publique de développement intense et rapide du secteur de logement, par le biais du lancement de grands projets d'urbanisation et de relogement des citoyens de différentes formes. Depuis l'an 1999, l'évolution du secteur du bâtiment a été un axe prioritaire de la politique du pays. Il y avait la programmation de 3 millions de logements durant 15 ans pour qu'ils représentent presque 7 millions de logements en 2015. (Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, La Revue de l'Habitat, n° 6, janvier 2011). À cet effet, le taux de croissance moyen du secteur du bâtiment a devenu 9.50 % en ces dernières années en suivant l'augmentation de la demande de logements. Les efforts fournis par l'état algérien sont pour pallier le déficit de la carence de logements en offrant des conditions de vie adéquates aux citoyens. (Bouamama, 2013, KAMOUCHE & MOKRANE, 2022). Le graphe ci-dessous illustre l'évolution du parc de logement pendant la période allant de 2000 à 2015. (Voir figure II-1).



*Figure II-1 : l'évolution du parc de logement en Algérie.*

### II.1.1 Les techniques et matériaux de construction :

Afin de répondre au besoin de pallier la contrainte de la carence de logements dans l'urgence, les pouvoirs publics en Algérie ont mis en priorité l'objectif de rapidité d'exécution. Ce qui favorise la standardisation des nouvelles méthodes constructives, ainsi que des nouveaux matériaux de construction qui permet de réduire les délais d'exécution. Dans le même contexte, des mesures fiscales sont mises en place par les autorités du pays afin d'encourager les promoteurs immobiliers à réduire les délais d'exécution en construisant au moindre coût possible. Il s'agit de réaliser des constructions légères, rapides avec des prix de revient intéressants. (voir tableau 7)

*Tableau 7 : le système constructif en Algérie*

Élément constructif	Figures	Descriptions
Structure		Il s'agit d'une ossature en béton armé composé par la jonction poteau-poutre. Cette structure est composée par des semelles isolées ou filantes, des poteaux, poutres et poutrelles en béton armé. Les éléments de la structure sont coulés sur place. Le coffrage est en bois. Le

Le système constructif en Algérie entre l'existant et les nouvelles stratégies

	<p><a href="https://www.drixdeménagement.fr/">https://www.drixdeménagement.fr/</a></p>	<p>béton est composé par du ciment, sable, gravier et de l'eau. Le béton armé est obtenu par l'ajout de l'acier. La réalisation des escaliers est aussi en béton armé.</p>
<b>Remplissage</b>	 <p><a href="https://azconstructiondz.com/">https://azconstructiondz.com/</a></p>	<p>Le remplissage de la structure est en brique creuse en terre cuite.</p> <p>Les murs extérieurs sont en doubles parois séparé par une lame d'air. Leurs dimensions sont de 30 cm. Alors que les murs de séparation sont en simple paroi avec une épaisseur de 10 cm.</p>
<b>Plancher</b>	 <p><a href="https://maconnerie.bilp.fr/">https://maconnerie.bilp.fr/</a></p>	<p>Les planchers sont composés par des poutrelles en béton armé, du hourdis en ciment préfabriqué ou en terre cuite et une couche de béton armé de 4 cm.</p>
<b>Ouvertures</b>	 <p><a href="https://www.aluprecision.com/">https://www.aluprecision.com/</a></p>	<p>Les ouvertures sont en bois, PVC et Aluminium. Le type de vitrage le plus utilisé est le simple vitrage.</p>

Ce système constructif est intégré à l'échelle du territoire algérien avec les mêmes matériaux de construction. L'adaptation de cette stratégie de construction est liée à la facilité de la mise en œuvre, la plasticité, la résistance mécanique...etc. Alors que son inconvénient majeur est le non pris en considération des facteurs thermiques et énergétiques. Ce qui favorise une

surconsommation énergétique lors de l'amélioration des ambiances intérieures par le biais des outils mécaniques (Benoudjfer & al, 2012). Cela provoque un obstacle de la mise en place d'une politique d'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie.

### **II.1.2 L'impact énergétique de système constructif existant en Algérie :**

Le système constructif existant en Algérie n'est soumis à aucune réglementation relative à l'efficacité énergétique. À cet effet, l'extension du parc de logement favorise une hausse constante de la consommation de l'énergie qui favorise la création d'un secteur résidentiel énergivore. Cela a un impact négatif sur l'environnement par l'augmentation des Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère.

## ***II.2 Aperçu historique et origines internationales :***

### **II.2.1 Habitat traditionnel :**

Selon le climat et le relief, l'architecture traditionnelle en Algérie est caractérisée par plusieurs typologies constructives d'habitation. On distingue la maison à terrasse qui se focalise à l'Aurès et la maison à tuile en Kabylie. Bien que la maison à cour caractérise les villes traditionnelles au nord (Médina) et les K'sours sont au Sahara algérien.

Le choix de type des matériaux de construction varie selon les données climatiques et la disponibilité sur site. L'édification en pierre caractérise la partie nord du pays. Cela est lié à la résistance de la pierre à l'effet des intempéries abondant, pluie et neige. Bien qu'en sud, la terre est le matériau le plus utilisé vu sa régularité thermique et le climat sec qui ne provoque pas sa détérioration rapide.

Le facteur socioculturel est un autre facteur qui est pris en considération lors de l'édification des habitations et des groupements. Les ouvertures des constructions introverties assurent l'aération et la luminance sans brusquer l'intimité. Alors que l'entrée en chicane est un espace transitoire entre l'extérieur et l'intérieur. Tous ces facteurs ont contribué à créer une architecture d'identité en faisant une référence en climat et de relief. Ce qui favorise une homogénéité et assure une intégration parfaite au site.

## **II.2.2 Phase coloniale :**

La période coloniale en Algérie a été caractérisée par une architecture spécifique sur une période qui dépasse un siècle. Cette colonisation a passé par deux étapes principales. Une première phase qui est de 1830 à 1930 et la deuxième phase qui s'étend de 1930 à 1962.

### **II.2.2.1 *La période 1830-1930 :***

Cette période a été caractérisée par une architecture militaire ayant l'objectif de loger les nouveaux arrivants des colons. D'abord, les génies militaires ont réapproprié l'héritage du Médina traditionnelle. Ensuite, il y avait une intégration de l'identité européenne lors de la conception architecturale pour représenter une culture occidentale par le biais d'une architecture néoclassique. Puis c'était l'intégration de quelques éléments de l'architecture locale pour créer un modèle hybride d'architecture qui est appelé, par d'autres chercheurs, néo-maghrébins.

Pendant cette phase, il y avait une initiation de créer une architecture d'identité culturelle avec une intégration des éléments du climat et de site. Cela était par l'utilisation des matériaux locaux et la création de l'ombre dans les rues par les arcades. Ce qui a favorisé la création d'un mode de vie différent de ce qu'indique la révolution industrielle en Europe. Ceci a pu offrir une nouvelle image urbaine qui a été le résultat d'une combinaison entre la tradition et la modernité.

### **II.2.2.2 *La période de 1930-1962 :***

En cette période, il y avait le passage vers l'introduction de l'architecture moderne en Algérie par un rappel de la cité radieuse à Marseille. Cela était par l'appauvrissement de la ville de ses caractères d'identité en passant vers un style international qui ne prend pas en considération l'identité culturelle ni l'aspect environnemental et climatique lors de l'édification. (Du chazaud, 2012).

Ce style architectural a été appliqué aux grandes villes comme Alger, Oran et Constantine ou le plan de Constantine est le meilleur exemple de cette stratégie de construction. Ce qui a donné naissance du système constructif actuel avec sa qualité thermique et énergétique médiocre. La période coloniale en Algérie avec tous ses inconvénients a favorisé une période transitoire entre l'architecture traditionnelle et celle d'aujourd'hui en offrant une variété typologique.

### **II.2.3 La phase de l'indépendance :**

Le lendemain de l'indépendance, le pays était devant plusieurs défis, sociaux, économiques...etc. Cette situation a poussé les décideurs à adapter les solutions les plus efficaces. D'abord, c'était l'occupation des logements libérés par les colons. Ensuite, c'était l'achèvement des projets en cours, programmés par les autorités françaises. Enfin, c'était le lancement des nouveaux projets en suivant le modèle hérité de la politique française inscrite sous l'urbanisme fonctionnaliste. Cela avait l'objectif de combler le retard marqué dans le domaine de la construction résidentiel et de répondre aux exigences de l'accroissement démographique et l'exode rural intensif.

#### **II.2.3.1 *La période de 1962 à 1986 :***

Durant cette période, il y avait l'élaboration des techniques constructives en utilisant les matériaux de construction légers, issus de la révolution industrielle transmise en Algérie durant la période coloniale. À ce stade, le facteur d'identité culturelle, le climat et l'environnement sont loin d'être pris en considération lors de la conception de ce système constructif. L'objectif majeur de cette période était d'élaborer le nombre des logements nécessaire pour lutter contre la crise de logement. Cela était par la prise en considération de l'économie budgétaire, la rapidité d'exécution et la résistance mécanique.

Durant cette première phase, l'efficacité énergétique des constructions était loin d'être prise en considération dans un moment où l'énergie a été abondante et le confort est assuré mécaniquement. À la fin de cette période, il y avait le contre choc pétrolier en 1986. Ou la baisse des prix du pétrole a provoqué une forte crise économique. Cette crise n'avait aucune influence sur la stratégie des décideurs pour améliorer la qualité du système constructif des logements élaborés.

#### **II.2.3.2 *La période de 1986 à nos jours :***

La décennie des années 90 a été caractérisée par un abaissement de lancement des projets résidentiels suite à la crise économique durant toute une décennie. Alors qu'à partir de 1999, il y avait une stratégie de lancement les programmes de relogement des citoyens sous plusieurs titres ou l'objectif majeur est toujours le nombre des logements par le même système constructif à travers le territoire national.

D'un autre côté, l'amélioration de liaison aux réseaux de gaz et d'électricité a impliqué l'utilisation intensive des systèmes mécaniques pour assurer le confort thermique l'augmentation de la consommation énergétique.

Durant cette même période, les tendances internationales de la rationalisation d'énergie ont influencé les autorités Algériennes pour engager à lancer des législatifs et lois réglementaires afin d'intégrer la notion de la maîtrise d'énergie dans le secteur du bâtiment.

## ***II.3 Les expériences internationales de la politique de la maîtrise***

### ***d'énergie :***

Suite au premier choc pétrolier de 1973, les pays d'Europe ont engagé dans une politique de rationaliser la consommation énergétique sans menacer le confort thermique des logements. Ce qui a mené au développement d'un mécanisme stratégique d'amélioration du comportement thermique et énergétique du système constructif. À cet effet, nous exposant une expérience de quelques pays qui ont adopté une politique d'efficacité énergétique comme la France et la Tunisie.

#### **II.3.1 L'Union européenne :**

L'Union européenne a adopté une stratégie de « Europe 2020 » qui consiste à aboutir à un développement durable. L'objectif de cette stratégie, qui représente « 20, 20, 20 » pour l'an 2020, est de favoriser une réduction des émissions des gaz à effet de serre par 20 %, la diminution de la consommation énergétique par 20 % et l'intégration de 20 % des énergies renouvelables. Ce plan est axé sur les instruments qui permettent d'assurer la rénovation des bâtiments publics et privés en améliorant la performance énergétique des appareils électroménagers et le rendement des outils mécaniques dans ces bâtiments. Ce qui favorise la prévision des obligations aux services de distribution pour impliquer la rationalisation de la consommation énergétique des usagers.

Après le Sommet de la Terre de Rio en 1992, le Protocole de Kyoto de 1997 a établi des objectifs et des calendriers internationaux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et a établi la directive européenne sur l'efficacité énergétique de 2002 au niveau européen. (MAES, 2005)

Actuellement, l'Union européenne est caractérisée par plusieurs directives qui ont été intégrées aux législations nationales d'efficacité énergétique. À titre d'exemple, la directive (EPBD) «

Energy Performance of Buildings Directive » qui est adoptée en 2002, favorise le principal outil juridique communautaire d'utilisation efficace de l'énergie.

### **II.3.2 En France :**

Dans le cadre des enjeux mondiaux d'énergie, la France a commencé à prendre conscience par l'intérêt de la politique d'efficacité énergétique depuis la crise énergétique des années soixante-dix. Il s'agit d'adopter des solutions optimales qui minimisent la consommation énergétique dans un contexte d'une politique d'efficacité énergétique.

Cela a été effectué par le biais de la création de l'Agence pour les Économies d'Énergie (AEE) en 1974. Le Plan climat lancé en juillet 2004 avait l'objectif de Facteur 4 qui vise à diviser les émissions des gaz à effet de serre par 4 à l'horizon de 2050. (MAES, 2005)

À cet effet, le pays de la France a mis en place des mesures gouvernementales qui servent à assurer l'efficacité énergétique des bâtiments par le biais des :

#### **II.3.2.1 Mesures réglementaires :**

Depuis 1974, la réglementation thermique française (RT) a été révisée plusieurs fois en 1982, 1988, 2000, 2005 et 2012 en faisant une amélioration des objectifs par rapport à la RT précédente (voir Tableau 8).

**Tableau 8 :** Synthèse de l'évolution de la réglementation thermique française. Source Chappoz 2012

RT	Objectif par rapport RT précédente.	Objectif par rapport à la situation pré 1974.	Eléments pris en compte
1974	-25 %	-25 %	Enveloppe, ventilation
1982	-25 %	-42.75 %	Enveloppe, ventilation
1988	-25 %	-57.81 %	Enveloppe, ventilation, efficacité des systèmes de chauffage et de production d'eau chaude.
2000	-15 %	-64.14 %	Objectif général de performance énergétique des bâtiments (Idem RT 1988 + éclairage)
2005	-15 %	-69.52 %	Idem RT 2000 + meilleure prise en compte des énergies renouvelables.
2012	-50 % à -75 %		

#### **II.3.2.1.1 RT 1974 :**

Il s'agit d'une réglementation qui a visé d'établir un niveau maximum de conservation d'énergie par l'enveloppe et de la ventilation des bâtiments. La RT 1988 a été la première à considérer en plus de la qualité de l'isolation d'une maison, l'efficacité de ses systèmes de chauffage et de production d'eau chaude. (Chappoz, 2012)

#### **II.3.2.1.2 RT 2000 :**

C'est une réglementation thermique qui a précisé les caractéristiques thermiques minimales ainsi que les méthodes de calcul de la consommation énergétique conventionnelle des bâtiments, et la qualité thermiques de référence. Il s'agit d'intégrer une performance énergétique des bâtiments qui doit être révisé tous les cinq ans, avec un objectif de l'optimiser par 40 % d'ici à 2020. (Chappoz, 2012)

#### **II.3.2.1.3 RT 2005 :**

Cette réglementation est une suite du Plan Climat du gouvernement français (2004) qui vise à diminuer les émissions des bâtiments au quart à l'horizon de 2050. Elle concerne les secteurs résidentiels et tertiaires et favorise une intégration des sources d'énergie renouvelable dans les calculs. Les axes agités par cette RT sont la consommation d'énergie, le chauffage et le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et la ventilation. (Thierry Salomon, Cahier Global Chance n°27, 2010). L'amélioration par rapport la RT 2000 favorise le renforcement des exigences par une moyenne de 15 % et la prise en considération des énergies renouvelables.

#### **II.3.2.1.4 RT 2012 :**

Cette réglementation est inscrite sous la loi du Grenelle de l'Environnement. Son objectif est de réduire la consommation moyenne d'énergie primaire à moins de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, conformément aux normes des Bâtiments Basse Consommation (BBC). Cela concerne les cinq usages énergétiques qui sont le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement, l'éclairage et la ventilation.

Depuis janvier 2011, la réglementation est entrée en vigueur pour les bâtiments publics et les bâtiments tertiaires privés, tels que les bureaux, les commerces et les entrepôts. À partir du 1er janvier 2013, la réglementation a été appliquée à tous les bâtiments résidentiels. Le rôle de cette réglementation est de favoriser la rénovation des bâtiments d'État et de ses établissements publics

pour minimiser leur consommation d'énergie par 40 % et leurs émissions de gaz à effet de serre par 50 % pour la fin de 2012. D'un autre côté, il s'agit d'accompagner et de mobiliser les professionnels du secteur (recrutement, formation, qualification, développement économique...etc.).

### **II.3.2.2 Aides financières / incitations :**

#### **II.3.2.2.1 Crédit d'impôt :**

Il est établi par la loi de finances de 2005 pour promouvoir le développement durable et les économies d'énergie, ce dispositif permet aux contribuables de déduire une partie du coût d'un équipement énergétique de la liste prévue par la loi.

#### **II.3.2.2.2 Eco-prêt logement social :**

Ce crédit permet de financer en moyenne 12 000 € par logement pendant 15 ans à un taux d'intérêt avantageux de 1,9 %. Il s'agit d'un prêt exclusivement destiné à la rénovation de logements sociaux.

#### **II.3.2.2.3 Eco-prêt à taux zéro (Eco-PTZ) :**

La loi de finances de 2009 a introduit un programme d'incitation visant à offrir des prêts sans intérêt à tous les ménages sur une période de 10 ans, pour financer une série d'améliorations cohérentes en matière d'énergie domestique.

#### **II.3.2.2.4 Eco-subsidation de l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat) :**

Il propose également une variété d'outils pour les entreprises et les particuliers. Ce soutien peut être cumulé avec des éco-crédits sans intérêt ou des crédits d'impôt. À titre d'exemple, les « Subventions environnementales » de l'ANAH permettent de rembourser 20 à 35 % du montant des travaux, selon le type de travaux effectués.

### **II.3.2.3 Mesures institutionnelles et informatives :**

La France dispose d'institutions publiques spécialisées qui apportent une expertise au secteur de la construction, et constituent une source d'informations précieuse pour les acteurs locaux.

#### **II.3.2.3.1 ADEME :**

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie a vu le jour en 1991. Il s'agit d'un établissement public qui participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines

de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met à disposition des acteurs économiques (entreprises, communes, ménages) de nombreux documents (études techniques, guides pédagogiques, etc.), et divers fonds publics pour financer des projets de construction ou de rénovation qui favorise l'efficacité énergétique et l'intégration les énergies renouvelables.

### **II.3.2.3.2 ANAH : (Agence Nationale de l'Habitat)**

Cette institution vise à mettre en œuvre la politique nationale de développement, de réhabilitation et d'amélioration du parc de logements privés existants. Des subventions sont accordées pour améliorer le confort thermique, promouvoir la qualité des logements et inciter les propriétaires bailleurs, propriétaires occupants et copropriétaires à engager pour des travaux de rénovation. En raison de son orientation sociale, l'ANAH se concentre actuellement sur les personnes les plus pauvres.

### **II.3.2.3.3 CSTB : (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)**

Il exerce quatre activités clés qui sont la recherche, l'expertise, l'évaluation et la diffusion des connaissances. Ces activités permettent d'accompagner les pouvoirs publics et les professionnels du bâtiment dans leurs démarches d'évaluation des risques sanitaires et environnementaux, la gestion de l'énergie et la lutte contre l'effet de serre. Ainsi il participe à l'intégration de l'énergie solaire dans les bâtiments et contribue à l'élaboration d'une certification HQE pour le tertiaire.

## **II.3.3 En Tunisie :**

Suite à la dépendance énergétique extérieure, la Tunisie a engagé dans une politique de la maîtrise de l'énergie depuis le milieu des années quatre-vingt par la création de l'ANME<sup>5</sup>. C'est un pays qui a lancé un précieux programme national, basé sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, et l'intégration des énergies renouvelables dans un cadre institutionnel et réglementaire spécifique. À cet effet, la Tunisie, en tant qu'un pays voisin et similaire d'Algérie, favorise l'objectif d'une présentation de son expérience dans le domaine d'efficacité énergétique.

---

<sup>5</sup> L'agence nationale de la maîtrise d'énergie.

### II.3.3.1 ***Les normes de construction des bâtiments :***

L'Agence nationale pour la maîtrise de l'énergie (ANME) a pour objectif de mettre en œuvre la politique tunisienne de maîtrise de l'énergie. En 1990, une première réglementation sur la maîtrise de l'énergie a été édictée. Cette dernière a été suivie par la promulgation de nouvelles lois en 2004, 2005, 2008 et 2009. Ces lois, relatives à la maîtrise de l'énergie, ont favorisé l'ouverture de la voie à la publication de textes d'application qui ont été axés sur l'élaboration de la certification énergétique des appareils électroménagers, la réglementation thermique des bâtiments neufs résidentiels et tertiaires et la consultation préalable concernant les grands projets de construction qui consomment plus d'énergie, etc.

### II.3.3.2 ***Mesures financières et incitatives :***

Par le biais d'une étude préliminaire, la Tunisie a élaboré un programme de rénovation du secteur résidentiel. Des mesures incitatives, destinées aux consommateurs, sont mis en place afin de les encourager à rationaliser la consommation énergétique. Ce qui concerne, à titre d'exemple, la réduction des prix des appareils les plus performants par le soutien d'achat et l'abaissement du taux de TVA.

Le fonds national de la maîtrise de l'énergie tunisien (FNME) est créé par la loi du 19 décembre 2005 et est géré par l'ANME. Le fonds est financé par les taxes provenant de la première immatriculation des voitures particulières dans la gamme de produits tunisiens et de l'importation ou de la production nationale d'équipements de climatisation. En termes d'incitations, la Tunisie a mis en place un système de primes délivrées par la FNME pour les activités de gestion de l'énergie. (OSMANE, 2012, APEX Conseil, 2007)

### II.3.3.3 ***Mesures d'information :***

L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie (ANME) en Tunisie a développé un vaste programme d'éducation et de sensibilisation dont le but est de généraliser un sentiment d'intérêt du public par la problématique énergétique dans le pays. Il s'agit d'inciter les usagers de passer à l'action par le changement de comportement du consommateur en termes d'achat de LBC<sup>6</sup>, installation d'un chauffe-eau solaire, diagnostic auto...etc). Cela est par le biais des différents

---

<sup>6</sup> Lampe basse consommation

supports médiatiques ainsi que les communications pédagogiques visant à rationaliser la consommation énergétique. À cet effet, la Tunisie favorise le seul pays du sud et de l'est de la Méditerranée qui a connu une baisse moyenne de son intensité énergétique de 1 % par an depuis 1990 dans ses secteurs économiques. (Sénit, 2007).

## ***II.4 La politique de la maîtrise d'énergie en Algérie :***

Afin de combler le déséquilibre entre l'offre et la demande d'énergie, le pouvoir public en Algérie a adopté, en février 2001, une politique de la maîtrise d'énergie dans le secteur résidentiel en priorité. Cela a été par le biais d'un programme ambitieux des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique qui est tracé à l'horizon 2030 (Baouchi, 2014). Ce qui a un impact positif au niveau social. Cette politique assure l'incitation du consommateur pour qu'il réduise sa facture énergétique en maîtrisant la quantité d'énergie consommée. La création des emplois est un de ses bienfaits. À cet effet, le programme de l'efficacité énergétique prouve la volonté de l'Algérie pour préserver les ressources du pays et de rationaliser leurs utilisations dans le contexte du développement durable. (Baouchi, 2014, Bouamama, 2013, Nadia NAIT, 2011)

### **II.4.1 Le contexte de la mise en place d'une politique énergétique en Algérie :**

La surconsommation du combustible fossile a provoqué un impact négatif sur les changements climatiques pendant ces dernières années. Ce qui a transformé les caractéristiques des saisons, les étés sont devenus plus caniculaires, alors que les hivers deviennent plus rudes. Cela favorise l'augmentation de la consommation d'énergie. Ce qui implique le besoin de construire dans le même contexte du climat ainsi qu'une programmation d'une transition énergétique dans le bâtiment par le biais d'une efficacité énergétique et d'énergie renouvelable. (Dali, 2014).

À cet effet, l'Algérie a adopté une stratégie nationale relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment. Un des instruments retenus pour le développement de cette stratégie est le programme national de la maîtrise de l'énergie pour la période 2006-2010. (Nadia NAIT, 2011).

Dans le même contexte, les décideurs en Algérie ont mis en exécution certain nombre de mesures, surtout dans le secteur résidentiel. En 2011, le ministère de l'Énergie a lancé, le « **Programme national d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique** » (PNEREE). Ce programme vise à installer 22 GW de capacité d'énergies renouvelables à l'horizon de 2030. En effet, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique sont considérées les deux piliers de

programme PNEREE. Les objectifs prévus de cette politique d'efficacité énergétique pour l'an 2030 se résument à : (DALI, 2017)

- Transmettre 27 % de la production nationale d'électricité vers des énergies renouvelables.
- Rationaliser la consommation globale d'énergie par un pourcentage de 9 %.
- Stabiliser la croissance de la demande d'énergie à 3 %.
- Protéger l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre par 7 à 22%.

#### **II.4.2 Objectifs de la politique de la maîtrise de l'énergie en Algérie :**

En Algérie, le programme national de la maîtrise d'énergie dans le bâtiment s'articule autour plusieurs objectifs. Il s'agit d'une démarche qui vise à réunir les conditions favorables à l'amélioration de l'efficacité énergétique sans détériorer la qualité thermique des espaces intérieurs. Ce qui favorise l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment par l'introduction de l'isolation thermique, l'intégration des énergies renouvelables, par le biais de chauffe-eau solaire, et l'utilisation des équipements plus performants énergétiquement. (Dali, 2017).

D'un autre côté, il s'agit de contribuer à la mobilisation des acteurs du bâtiment par les bonnes pratiques dans la conception architecturale de l'habitat. Ce qui concerne la sensibilisation des professionnels et des citoyens par l'intérêt de la dimension de l'efficacité énergétique. Ensuite, c'est le développement d'une industrie locale des matériaux de construction tels que le béton de terre stabilisé, les bétons mousses, ainsi que les isolants thermiques comme la laine de roche, laine de verre et le liège polystyrène. Ce qui valorise les ressources locales disponibles au niveau régional et favorise l'emploi des matériaux locaux pour la construction des logements. (Dali, 2017).

Enfin, ce programme vise à développer des bureaux d'architectures et des entreprises spécialisés dans l'efficacité énergétique, ainsi qu'un audit énergétique dans le bâtiment, pour assurer la création d'un marché durable de l'efficacité énergétique, en faisant une attraction des investisseurs potentiels. (Dali, 2017).

### **II.4.3 Mesures juridiques et réglementaires :**

En 1986, l'Algérie, en tant que pays exportateur du pétrole et de gaz naturel, était influencée par le contre choc pétrolier. Les prix du pétrole ont baissé et provoquaient une forte crise économique.

À cet effet, à partir des années 1990, l'Algérie a engagé à développer plusieurs dispositifs réglementaires qui sont liés à l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel. La réglementation relative à la maîtrise d'énergie certifie les efforts fournis par l'état dans les contextes législatifs et réglementaires qui portent sur : (Baouchi, 2014)

- La réglementation thermique qui concerne les bâtiments neufs ;
- L'audit énergétique des bâtiments à grande consommation ;
- La classification d'efficacité énergétique des équipements à usage domestique ;
- Les modalités d'exercice et d'organisation du contrôle d'efficacité énergétique ;
- L'étiquetage énergétique.

Par le biais d'une étude sur la consommation énergétique, des logements neufs initiée en 1995, l'état en Algérie a mis en place des documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ce qui a mis à la disposition des professionnels des documents de référence. Ils déterminent les valeurs de référence ainsi que des méthodes de calcul relatives aux déperditions et aux apports calorifiques des bâtiments neufs à usage d'habitation et ceux tertiaires ainsi que les valeurs-limites du climat intérieur des zonages climatiques et des locaux. Ces DTR ont été élaborés par le CNERIB<sup>7</sup> et approuvés par le ministère de l'énergie et des mines. (<http://www.aprue.org.dz>)

#### **II.4.3.1 DTR. C 3 - 2 :**

Il s'agit d'élaborer des méthodes d'évaluation thermique des bâtiments à usage d'habitation en hiver. Ce qui favorise une première initiation de répondre aux problèmes liés à la thermique du bâtiment. L'objectif de ce DTR est de limiter les déperditions calorifiques. Le respect des exigences du DTR permet de rationaliser la consommation énergétique par 20 à 30 % pour le chauffage d'hiver sans minimiser le confort des usagers. (CNERIB., 1997)

---

<sup>7</sup> CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

#### II.4.3.2 **DTR. C 3 – 4 :**

C'est un document qui prend en charge le calcul des apports calorifiques en été pour les bâtiments à usages d'habitation. Son rôle est de limiter le recours à la climatisation mécanique pour rafraîchir en été. Cela est pour rationaliser la consommation énergétique.

#### II.4.3.3 **DTR. C 3. 34 :**

Ce document consiste à prendre en charge la ventilation des locaux à usage d'habitation par le biais des principes généraux qu'il faut prendre en considération pour la mise en œuvre des installations de la ventilation naturelle.

Les réglementations offrent plusieurs possibilités aux acteurs de domaine de bâtiment de faire le choix selon le type conceptuel du cadre bâti ainsi que des matériaux et techniques constructifs. Les principaux décrets et réglementations relatives à la maîtrise d'énergie sont : (JORA, 1999).

#### II.4.3.4 **La loi 09 - 99 du 28 juillet 1999 :**

Cette loi est relative à la maîtrise de l'énergie. Elle est considérée comme une loi-cadre. son rôle est d'assurer un des objectifs fondamentaux de la politique énergétique en Algérie. Par la gestion rationnelle de la demande d'énergie, ce loi fixe de nombreux aspects liés à la maîtrise d'énergie dans le domaine de la construction. (MEM, APRUE, 2010).

#### II.4.3.5 **Le décret exécutif n° 2000-90 du 24 Avril 2000 :**

La mise en application de la loi 99.0977 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation du 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 qui porte sur une réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Celle-ci a pour objectif l'intégration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs du secteur résidentiel et autres, ainsi que pour les parties de constructions extensifs des bâtiments existants. (JORA, 1999).

#### II.4.3.6 **La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :**

Cette loi est relative à l'encouragement de la promotion des énergies renouvelables dans le contexte du développement durable. (JORA, 2004). L'objectif de cette stratégie a été l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le bilan électrique national en Algérie

et atteindre, à l'horizon 2015, un pourcentage de 6 %. « Guide des énergies renouvelables Edition 2007 » [En ligne] [www.cder.dz](http://www.cder.dz)

#### II.4.3.7 ***Le décret exécutif 04- 149 du 19 mai 2004 :***

Ce décret définit les stratégies d'élaboration du programme national de la maîtrise d'énergie. (JORA, 2004).

#### II.4.3.8 ***Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :***

Ce décret définit les règles spécifiques d'efficacité énergétique qui peuvent être appliquées aux équipements qui fonctionnent à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.

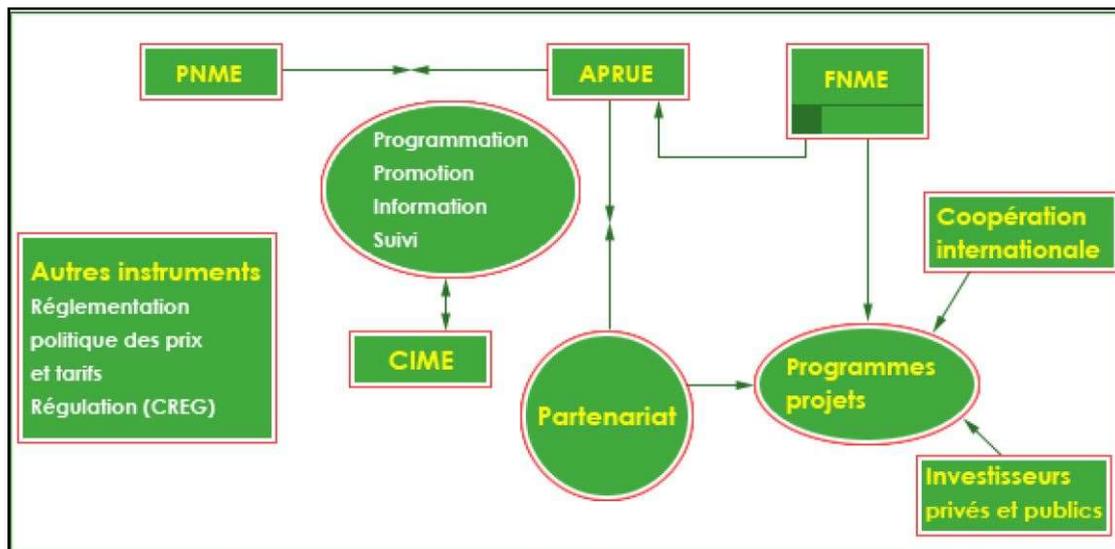
#### II.4.3.9 ***Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 :***

Il définit la classification des équipements à usage domestique suivant les règles spécifiques d'efficacité énergétique pour les appareils qui fonctionnent à l'énergie électrique. (JORA, 2009).

La mise en application de ces réglementations va permettre, suites aux estimations de l'APRUE, d'introduire la performance énergétique et de rationaliser les besoins calorifiques des constructions neufs ou lors de réhabilitation de l'ordre de 40 % pour les besoins en chauffage et en climatisation. (<http://www.aprue.org.dz>).

### **II.4.4 Les institutions de l'efficacité énergétique en Algérie :**

Afin de réussir la politique nationale de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel, le gouvernement en Algérie a mis en œuvre, dans le cadre de la loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, les moyens d'encadrement de cette politique. Cela est par le biais d'un dispositif opérationnel qui est composé de quatre instruments principaux : APRUE, FNME, PNME et CIME.



**Figure II-2:** la relation entre différents instruments de la maîtrise d'énergie. ( Source **APRUE 2011**)

#### II.4.4.1 *L'Agence national pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) :*

La création de l'APRUE a été par le biais d'un décret présidentiel en 1985. Il a un caractère industriel et commercial. Par le biais d'une tutelle du ministère de l'énergie et celle des mines, son objectif principal est l'organisation et l'application d'une politique nationale de la maîtrise de l'énergie (PNME<sup>8</sup>). Cet établissement est chargé de la sensibilisation et de formation des acteurs des secteurs publics et privés de l'énergie. Ce qui favorise la création des collaborations avec ces différents acteurs pour élaborer des programmes d'action transversaux. ([www.aprue.org.dz](http://www.aprue.org.dz))

#### II.4.4.2 *Programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) :*

Le décret exécutif n°04-149 du 19 mai 2004 a favorisé la création de PNME. Ce qui représente le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale de la maîtrise de l'énergie. Son rôle favorise l'évaluation des potentiels et la détermination des objectifs de la maîtrise de l'énergie. Les programmes quinquennaux sont les moyens d'actions pour atteindre les objectifs tracés à long terme. (MEM, APRUE, 2010). Le projet PNME de la période 2007-2011 a été structuré par le

---

<sup>8</sup>PNME : Programme National de la maîtrise de l'énergie.

biais d'une analyse rétrospective ainsi qu'une étude prospective de l'évolution de la consommation énergétique nationale afin d'identifier les types d'économies vers l'an 2020. (Bouamama, 2013)

#### II.4.4.3 ***Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie (CME) :***

Le Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie (CIME) est un organe consultatif qui a été créé en 2005. Ce comité est placé auprès du ministère de l'énergie. Son rôle est d'assurer la coordination au niveau de la politique de la maîtrise de l'énergie. Cela est par le biais d'organisation des collaborations et le développement des partenariats publics/privés. Dans le même contexte, le comité juge l'évolution de la politique de la maîtrise de l'énergie, et favorise la mise en œuvre et le suivi du programme national de la maîtrise de l'énergie. Les membres de ce comité sont des représentants des ministères, des chercheurs, des entreprises, du directeur de l'APRUE, et de la société civile. (JORA, 2004).

### **II.4.5 Le financement de la politique relative de la maîtrise d'énergie :**

#### II.4.5.1 ***Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) :***

Par le biais du décret exécutif n° 2000-116 du 29 mai 2000, l'état algérien a favorisé la création du FNME<sup>9</sup>. Cela est intitulé le « *Fonds national pour la maîtrise de l'énergie* ». Son rôle principal est le financement des actions inscrites au Programme National d'efficacité énergétique. Cette institution est alimentée par les conventions de l'état ainsi que des taxes sur la consommation nationale d'énergie et des appareils énergivores. Le produit des amendes prévues et des remboursements de prêts non rémunérés consentis dans le cadre de la loi relative à la maîtrise de l'énergie, ainsi que toutes autres ressources ou contributions budgétaires au fonds national pour la maîtrise de l'énergie. (JORA, 2000).

Dans le même contexte, les dépenses du FNME sont le financement des actions et projets inscrits dans le programme pour la maîtrise de l'énergie, et l'octroi des prêts non rémunérés consentis aux investissements porteurs d'efficacité énergétique et non-inscrits dans le programme pour la maîtrise de l'énergie. Alors que l'octroi des garanties pour les emprunts effectués auprès

---

<sup>9</sup> Fonds national pour la maîtrise de l'énergie

des banques ou aux établissements financiers présente un autre type des dépenses de FNME. (JORA, 2000).

#### **II.4.6 Les programmes et les projets pilotes :**

La mise en application du programme national de la maîtrise de l'énergie a été par le biais de la proposition d'une série des actions d'efficacité énergétique ainsi que l'intégration d'énergie renouvelable pour le secteur résidentiel en priorité. Cela concerne l'éclairage performant, l'eau chaude sanitaire solaire, les projets HPE (Haute Performance Énergétique) et la réhabilitation thermique des habitats existants. Ce qui favorise des projets pilotes dans le cadre du programme national d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Il s'agit d'une opportunité qui permet de rationaliser la consommation énergétique des ménages en minimisant le budget, lié à la consommation d'énergie, qui est fourni par l'état. (NAIT, 2011)

##### **II.4.6.1 Projets liés à l'efficacité énergétique :**

Afin d'aboutir à l'objectif de réduire la consommation globale d'énergie par 9 % à l'horizon 2030, il s'agit de favoriser l'optimisation de l'éclairage naturel et la généralisation d'un éclairage plus performant. L'intégration de l'isolation thermique aux bâtiments neufs ainsi que ceux existants est un autre aspect de l'efficacité thermique. Ce qui favorise l'utilisation des équipements électroménagers à basse consommation. (NAIT, 2011, Dali, 2017)

##### **II.4.6.1.1 Projet ECO-BAT :**

Dans le cadre de PNME, l'isolation thermique favorise une action d'efficacité énergétique. Son objectif est d'élaborer un gain cumulé de 7 millions de TEP d'énergie. Il s'agit d'intégrer une isolation thermique de 600 logements neufs, à travers les trois zones climatiques, dans le cadre du projet ECO-BAT. Alors que de 1 500 logements existants vont être l'objet d'une isolation thermique dans le cadre d'un projet de réhabilitation thermique. Cela est par le biais du développement des différentes filières d'isolants thermiques. (Dali, 2017)

##### **II.4.6.1.2 Projet AL-SOL :**

Suite au gisement de radiation solaire directe, très favorable ainsi qu'un marché estimé à 8 millions de m<sup>2</sup> en Algérie, le gouvernement a adopté le développement du chauffe-eau solaire. Il s'agit d'une alternative à soutenir par le biais du Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie (FNME). L'installation de 22 000 m<sup>2</sup> de chauffe-eau solaire, dans le cadre du projet AL-SOL, va

permettre d'assurer une économie d'énergie de plus de 2 millions de TEP. Ce projet est destiné aux logements, les mosquées, les établissements scolaires et du petit tertiaire (hammam, Motels, Restaurants). Cela exige le développement d'une industrie locale qui favorise la production de chauffe-eau solaires (Dali, 2017).

#### **II.4.6.1.3 Projet ECO-LUMIERE :**

Afin de limiter progressivement la commercialisation des lampes à incandescence<sup>10</sup> énergivore sur le marché national, le gouvernement a mis sur le marché des lampes à basse consommation pour assurer une rationalisation d'énergie qui peut arriver à 20 millions de TEP vers l'an 2030. 10 millions de lampes/an à l'horizon 2020 sont pour intégrer l'éclairage performant dans le secteur résidentiel. Le marché étant estimé à 50 millions de lampes dans le cadre du projet ÉCO-LUMIÈRE qui favorise la diffusion de 500 000 Million de lampes économiques. Cela est par le biais du développement d'une industrie locale de production de lampes performantes. (Dali, 2017)

#### **II.4.6.1.4 Éclairage public :**

Il s'agit d'assurer le remplacement de 1,1 million de lampes à mercure d'éclairage public par des lampes au sodium ou LED plus performantes, sur une durée de 3 ans. Cela favorise la réalisation d'une économie de près d'un million de TEP, qui permet de rationaliser la facture énergétique des collectivités locales. (Dali, 2017)

#### **II.4.6.1.5 Prototype d'efficacité énergétique**

Suite à une collaboration entre l'APRUE avec l'ADEME (agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, France), le consortium formé par le CDER et le CNERIB a été retenu pour la réalisation d'un habitat efficace énergétiquement du type



*Figure II-3 : vue du prototype. Source [www.aprue.org.dz](http://www.aprue.org.dz)*

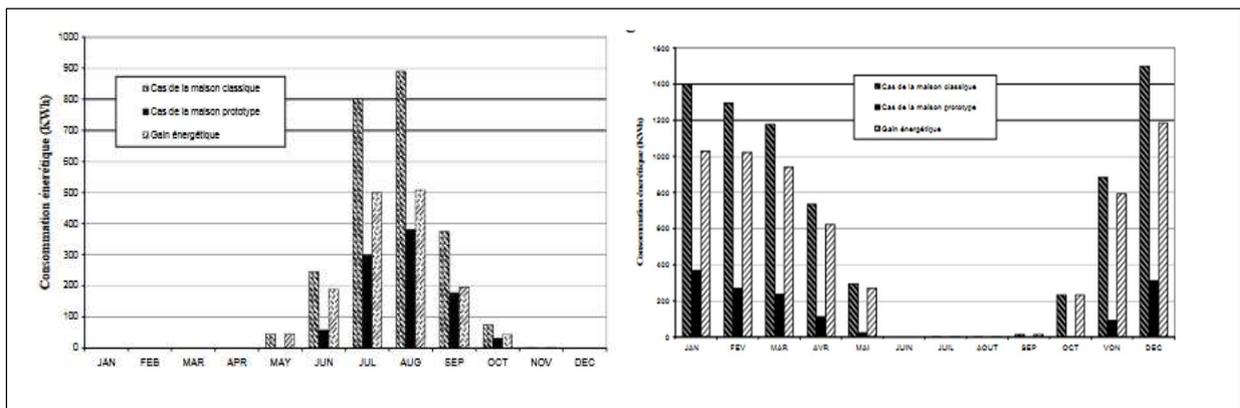
---

<sup>10</sup> Lampes classiques énergivores couramment utilisées par les ménages

rural à l'intérieur de l'enceinte du CNERIB à Soudania. (Chenak, A. 2009, NAIT, 2011).

Il s'agit d'un projet pilote régional cofinancé par l'Union européenne. L'objectif est de transmettre le savoir-faire et de montrer la faisabilité technique des mesures d'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies renouvelables (la délégation de l'UE, 2014). Les mesures d'efficacité énergétique principales utilisées dans ce projet sont les suivants : (Derradji, 2012)

- L'édification par des matériaux locaux, BTS (Béton de Terre Stabilisé).
- L'intégration d'une isolation horizontale ainsi que celle verticale.
- Des ouvertures à double vitrage.
- Le Traitement spécifique des ponts thermiques.
- L'utilisation d'eau chaude solaire.
- L'utilisation d'un plancher solaire direct (PSD) : une surface de 8 m<sup>2</sup> de capteurs solaires.
- Le Rafraîchissement par ventilation nocturne en été.

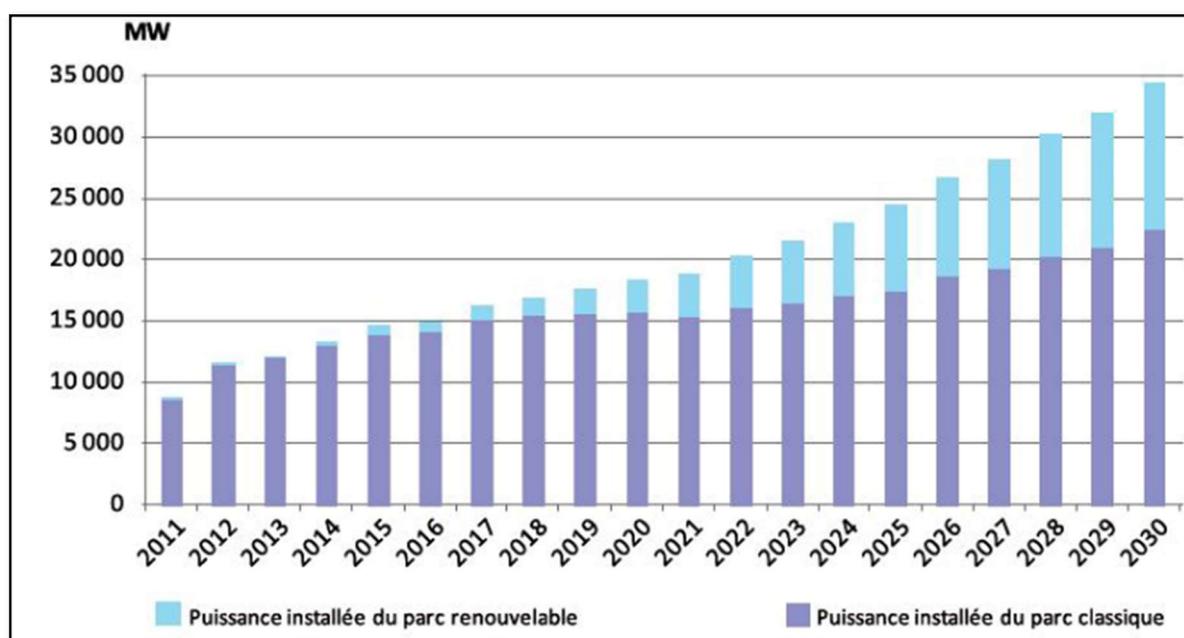


**Figure II-4 :** Comparaison de la consommation mensuelle de la climatisation et de chauffage par rapport une maison classique. (Source Derradji et al., 2012)

Les études énergétiques ont prouvé l'efficacité des solutions apportées au projet pilote. L'économie d'énergie est de 61 % pour le rafraîchissement en été, et 78 % pour le chauffage d'hiver par rapport à un logement ordinaire. À cet effet, ces économies d'énergie favorisent une réduction des émissions de gaz à effet de serre CO<sub>2</sub> qui a un impact positif du bâtiment sur l'environnement et permet de préserver l'énergie fossile. (Derradji et al, 2012, Derradji et al, 2012,)

#### II.4.6.2 *Projets liés à l'énergie renouvelable :*

Le gouvernement en Algérie a adopté le premier programme national lié au développement et à la promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE) le 3 février 2011. Son objectif favorise le remplacement d'un taux de 40 % de capacité de production d'électricité par une source d'énergie renouvelable à l'horizon 2030. Ce qui représente une capacité de 22 000 MW. Cela est établi par le biais des prévisions du Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM) sur la base d'une consommation annuelle de 150 TWh/an. (MEM, 2011).



*Figure II-5 : prévision de puissance installée du parc renouvelable et classique pour 2030. (Source CEREFEE, 2020)*

*Tableau 9: Part de chacune des ressources renouvelables primaires retenues (Source CEREFEE, 2020)*

Solaire thermique à concentration (CSP)	Solaire photovoltaïque (PV)	Eolien	Total
7200 MW	2800 MW	2000 MW	12000 MW

*Tableau 10: Planning de réalisation du programme, version 2011 (Source CEREFEE, 2020)*

Etape	Action
2011-2013	Réalisation de projets pilotes totalisant une capacité de 110MW pour tester les différentes technologies.

## Le système constructif en Algérie entre l'existant et les nouvelles stratégies

<b>2014-2015</b>	Début du déploiement du programme avec une installation d'une puissance totale de près de 650 MW.
<b>2016-2020</b>	Déploiement à l'horizon 2020 d'une capacité minimale de 4600MW, dont 2600 MW sont destinés au marché intérieur et 2000 MW à l'exportation.
<b>2021-2030</b>	Déploiement à grande échelle du programme en vue d'atteindre à l'horizon 2030 les objectifs respectifs de 12000 MW, prévus pour la consommation locale et 10000 MW à mettre sur le marché international.

Ce programme prévoit une capacité de production de 110 MW d'électricité de type renouvelable pour la première étape en 2014. Alors qu'il n'a été réalisé qu'une capacité de 36.3 MW distribuée sur les projets suivants : (CEREFÉ, 2020)

- La centrale hybride (gaz-solaire thermique) de Hassi-Rmel, qui cumule 25 MW de solaire thermique à concentration CSP (mise en service en 2011).
- La centrale photovoltaïque (PV) de 1.1 MWc de Ghardaïa, qui englobe les quatre technologies PV (mise en service en 2014).
- La centrale éolienne de 10.2 MWc de Kabertène (Adrar), qui englobe 12 aérogénérateurs de puissance nominale de 850 KW chacun (mise en service en 2014).

La société SKTM (Sharikat Kahrab wa Takat Moutadjadida), spécialisée à la production d'électricité de Sonelgaz, a mis en service en début 2014 dix centrales solaires photovoltaïques, qui totalisent une capacité de 265 MW. Cela est sous forme de projet en EPC (Engineering, Procurement & Construction). (CEREFÉ, 2020)

La puissance installée du parc à base d'énergie fossile a atteint 20 963 MW en 2019, selon Sonelgaz. Il s'agit d'un seuil prévu pour 2028 (voir Figure III-5), si on y ajoute les 8 000 MW qui vont être l'objet d'une réception pendant l'an 2020, la puissance d'électricité serait dans le même seuil prévu en 2028, y compris le parc renouvelable. (CEREFÉ, 2020)

### ***II.5 Le programme ECO-Bât :***

Lors du premier programme quinquennal de PNME, le gouvernement a lancé le programme ECO-Bât qui concerne le secteur du bâtiment. Il s'agit de réaliser 600 logements sociaux locatifs de haute performance énergétique sur tout le territoire national depuis le premier semestre 2011. Il est réparti sur trois zones régionales suivant la diversité climatique. Les différents projets ont été gérés par l'APRUE qui a retenu 11 OPGI pour participer à ce programme. Le Fonds

National de Maîtrise d'Énergie (FNME) a apporté le soutien financier et technique nécessaire à la réalisation de l'ensemble des logements. (Dali, 2017)

### **II.5.1 Présentation du programme Eco-bât :**

Le programme Eco-bat promeut une série d'activités organisées, en utilisant des ressources personnelles, équipements, matériaux et machines, matières premières et informations, pour atteindre des objectifs fixés préalablement. Il s'agit d'un processus qui comprend trois actions principales : (Bouamama, 2013)

- Mise en œuvre du programme.
- Les liens entre les composants du programme.
- Le maintien du programme.

### **II.5.2 Les objectifs du programme :**

L'objectif principal de ce programme est d'assurer une amélioration de la qualité thermique intérieure de l'espace, en faisant une rationalisation de la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation par 40 %. Cela est pour cumuler des économies d'énergie sur la durée de vie des logements (30 ans) 25 Millions de tep. Ce programme vise à sensibiliser les acteurs du bâtiment par l'intérêt de l'efficacité énergétique, prouver la faisabilité de l'intégration de l'efficacité énergétique dans le domaine de la construction par une action démonstrative, participer à l'optimisation de la conception architecturale dans le secteur résidentiel par le biais d'isolation thermique et d'efficacité énergétique et, enfin, favoriser la mise en application des lois réglementaires. (Dali, 2017)

### **II.5.3 Spécificités du programme ECO-BAT :**

Le programme ECO-BAT consiste à réaliser une variété de logements bioclimatiques, suivant les différents climats locaux. Il s'agit d'opter pour l'utilisation des matériaux locaux pour l'édification. Cela est pour prouver l'intérêt de l'efficacité énergétique quelque soient les conditions climatiques. À cet effet, les maîtres d'œuvre ont opté pour l'exigence de la façade sud en tant qu'une orientation principale avec une élimination des ouvertures sur la façade ouest. Il s'agit d'une structure en poteaux-poutres en béton armé avec un remplissage en briques creuses. La lame d'air est remplacée par une couche de polystyrène expansé avec une isolation horizontale des planchers et toitures. L'utilisation de fenêtres à double vitrage est pour réduire les déperditions calorifiques en hiver ainsi que les pénétrations de chaleur en été. L'intégration de protections

solaire horizontales des ouvertures de la façade sud afin de bénéficier de chauffage solaire en hiver en limitant la pénétration des rayons en été. L'aménagement extérieur est par d'espaces verts et de jeux. (Dali, 2017)

#### **II.5.4 Procédures d'accompagnement au programme ECO-BAT :**

Afin de garantir la réussite du programme Eco-Bât, l'APRUE a engagé par plusieurs interventions dans le cadre d'un accompagnement des projets. Il s'agit de programmer des ateliers de formations des architectes et des ingénieurs du bâtiment pour assurer l'intégration de l'efficacité énergétique dans la conception architecturale et la formation d'auditeurs énergétiques dans le bâtiment. (Dali, 2017)

D'un autre côté, l'agence a mis à la disposition des acteurs du secteur du bâtiment un guide pour une construction éco-énergétique en Algérie, par des outils opérationnels, adéquats et performants. Ce qui favorise la mise en œuvre des exigences de l'efficacité énergétique et l'intégration des énergies renouvelables pour assurer la préservation des ressources naturelles et la protection du climat. (Dali, 2017)

Ensuite, il s'agit d'élaborer un logiciel de calcul thermique CTBAT, pour examiner la conformité des projets de construction par rapport aux normes algériennes décrites dans les DTR C3-2 et C3-4. L'utilisateur est appelé à présenter son projet selon la structure de données intuitive de l'outil numérique. Cette application permet d'effectuer les calculs thermiques essentiels pour assurer la vérification réglementaire. ([www.ctbat.net](http://www.ctbat.net), Dali, 2017)

Enfin, la mise en exécution des projets HPE a été suivie par des opérations de monitoring. Le site de Djelfa a été concerné par une opération qui a été mise en place par le CNERIB en 2014. Alors que l'opération du site de Blida a été mise en place par l'APRUE en faisant une collaboration avec le MEDENEC Project pendant une année. (Dali, 2017)

#### **II.5.5 Extension du programme ECO-BAT :**

Afin de poursuivre les efforts d'optimisation du système constructif en Algérie dans le cadre de la politique national de la maîtrise d'énergie, le programme d'ECO-BAT va être réédité pendant le prochain quinquennal par 3 000 autres logements de type public locatif (LPL), et la réhabilitation thermique de 4 000 logements. Cela est dans le cadre d'ECO-BAT2. L'objectif est d'assurer l'isolation de 5 000 logements/an par le biais d'une intervention financière de l'état par

80 % du coût de l'isolation (mur, toiture, double vitrage). Ce qui favorise la généralisation des performances énergétiques des constructions dans le domaine du bâtiment. (Dali, 2017)

L'ensemble des efforts fournis par l'état sont pour assurer la réussite de programme éco-bât à aboutir à ces objectifs en Algérie. La généralisation des procédures de la maîtrise d'énergie à travers l'ensemble du parc résidentiel algérien favorise l'optimisation de la performance énergétique du système constructif.

## **II.5.6 Coopérations internationales :**

Dans le contexte de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique et de bénéficier des expériences internationales dans le domaine de la maîtrise d'énergie, l'Algérie a opté pour plusieurs coopérations nationales et internationales. Ce qui a permis de bénéficier des cofinancements des projets de la maîtrise d'énergie et la transmission des compétences et des expériences. À cet effet, plusieurs organisations ont été l'objectif d'une collaboration avec l'Algérie.

À cet effet, il s'agit de citer, à titre d'exemple, la coopération de l'APRUE avec l'Agence française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (ADEME) compte 30 ans d'expérience de coopération dans le domaine de la maîtrise de l'énergie. Cela suit trois axes principaux le développement de réglementations thermiques, l'amélioration de l'approvisionnement en matériaux et des services énergétiques nationaux ainsi que des mécanismes de financement pour l'efficacité énergétique. (<https://www.aprue.org.dz/>)

Dans le même contexte, MED-ENEC est un projet régional financé par l'Union européenne qui promeut les techniques constructives relatives à la maîtrise d'énergie et d'énergies renouvelables dans le secteur du bâtiment dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée afin d'accroître l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergie renouvelable. (Délégation de l'UE, 2014). En faisant une collaboration avec MED-ENEC par le biais d'un appui technique de la GIZ, l'APRUE a opté pour un projet de trois ans (janvier 2006 à décembre 2008) qui concerne 10 pays de la région méditerranéenne y compris l'Algérie. Son objectif est de gérer des campagnes de sensibilisation et d'information à destination des organisations publiques et du secteur privé, en finançant 10 initiatives pilotes (1 projet pilote par pays).

Par le biais de ces activités, ce projet vise d'abord à aider les pays du sud et de l'est de la Méditerranée à formuler des politiques dans les secteurs pertinents, avec un accent particulier sur les aspects financiers, fiscaux, techniques et technologiques. Ce type des projets est pour mobiliser les pouvoirs publics, les professionnels et les usagers autour d'une stratégie d'efficacité énergétique et, à terme, développent des politiques de la maîtrise d'énergie dans le secteur du bâtiment. (Bouamama, 2013)

## **II.5.7 Les barrières d'évolution de la politique d'efficacité énergétique en Algérie :**

Malgré l'initiation adaptée par le gouvernement en Algérie dans le contexte de la politique relative à la maîtrise d'énergie en Algérie, le développement actuel du domaine de la construction est limité suites aux plusieurs barrières qui s'articulent sur :

### **II.5.7.1 Barrière d'information :**

L'absence de l'information liée aux solutions techniques innovantes relatives à l'efficacité énergétique ainsi que leur impact économique chez le grand public, les professionnels du bâtiment, et même les décideurs empêche la diffusion de pratiques et comportements énergétiquement performants et rend la transition énergétique plus difficile. Ce qui favorise une ignorance des opportunités accessibles pour conserver l'énergie par les ménages au même titre que les acteurs du domaine du bâtiment. À cet effet, la diffusion de l'innovation va se trouver dans un cercle vicieux classique. (Voir figure IV-6) (Al Andaloussi et al. 2011)

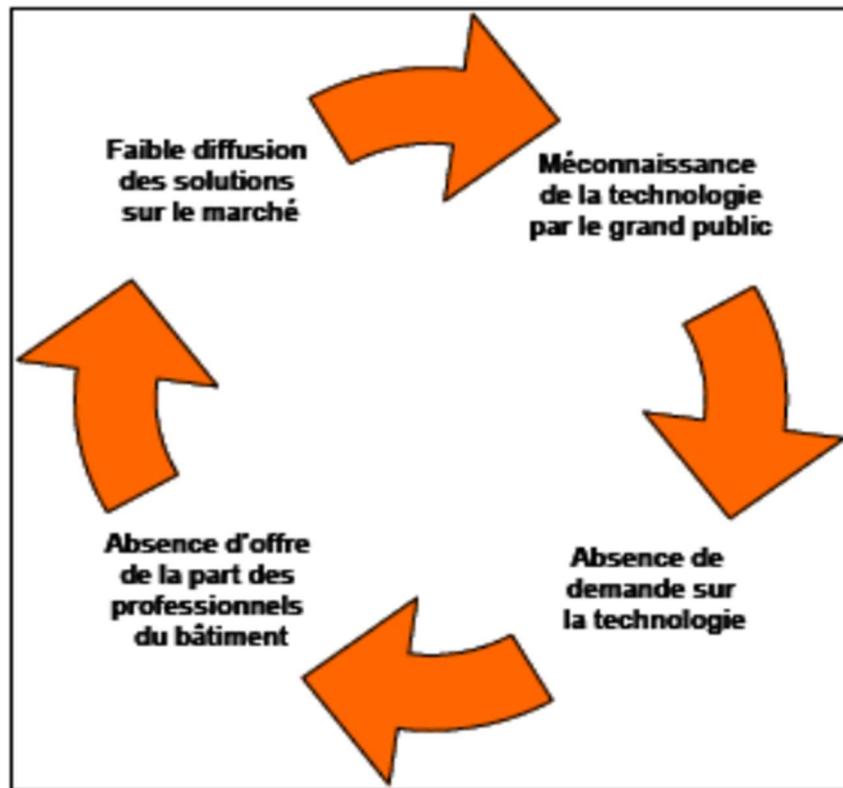


Figure IV.6. : Schéma sur les obstacles à la circulation de l'innovation (Rafik Missaoui 2011)

### II.5.7.2 **Barrière technique :**

La carence de la qualification relative aux procédures d'efficacité énergétique chez les acteurs du domaine de la construction, en tant que concepteurs, entreprises de réalisation, mains d'œuvre et fournisseurs des équipements et matériaux de construction, est considérable. L'absence d'une technologie fiable, performante et disponible ne permet pas à la politique de la maîtrise d'énergie de se développer, et favorise la détérioration de la qualité thermique et énergétique des constructions qui s'inscrivent dans un contexte relatif à la maîtrise d'énergie. (THIBAUT & EL ANDALOUSSI, 2011)

### II.5.7.3 **Barrière financière :**

C'est la barrière qui concerne plus le consommateur d'une manière directe. Il s'agit d'une tarification conventionnée du prix d'énergie accompagné par un coût élevé d'investissement aux solutions techniques relatives à la maîtrise d'énergie par rapport au pouvoir d'achat d'utilisateur. Ce qui favorise une faible rentabilité des mesures d'efficacité énergétique pour le consommateur final d'énergie. (THIBAUT & EL ANDALOUSSI, 2011)

#### II.5.7.4 **Barrière culturelle :**

L'inspiration de réglementation thermique algérienne depuis la politique d'efficacité énergétique française favorise une inadaptation de pratiques de construction à la culture, le climat et le contexte local d'Algérie. Ainsi que les projets, gérés par la coopération ou les institutions internationales, transmettent les concepts et pratiques de ceux qui les financent. Cela engendre une perte d'identité locale et du savoir-faire traditionnel. (Bouamama, 2013).

#### II.5.8 **Recommandations d'amélioration de la politique d'efficacité énergétique en Algérie :**

Pour contribuer à un développement durable, l'Algérie a engagé dans une politique relative à la maîtrise d'énergie. Afin de lutter contre les barrières qui limitent l'évolution du processus de la maîtrise de l'énergie, plusieurs études ont proposé des recommandations qui progressent le rythme d'évolution de la politique d'efficacité énergétique.

##### II.5.8.1 **Recommandations juridiques et réglementaires :**

Il s'agit d'intégrer les réglementations aux cahiers de charge pour assurer l'exigence de leur application. Ensuite, le renforcement des actions de contrôle ainsi que l'audit énergétique des constructions et des équipements électriques favorise l'optimisation énergétique dans le secteur du bâtiment. (KABOUCHE et MOKRANE, 2022)

Le développement d'une réglementation thermique spécifique au contexte local d'Algérie est pour assurer la création d'un catalogue local national des exigences règlementaires. Cela est relatif au descriptif climatique de chaque région du pays et favorise l'intégration des matériaux de construction locaux. À cet effet, il s'agit de créer un système constructif d'une performance énergétique à une identité locale.

##### II.5.8.2 **Recommandations financières et fiscales :**

Il s'agit de favoriser des incitations financières et des mesures d'accompagnement des consommateurs d'une manière relative à loi de la maîtrise de l'énergie. Cela est par le biais des encouragements fiscaux des équipements performants, des avantages financiers, fiscaux et de droits de douane ainsi que l'intégration des outils de financement innovants de facturation intelligente. Ce qui va soutenir les investissements réalisés dans le domaine de la maîtrise de l'énergie en les faisant plus attractif. (KABOUCHE et MOKRANE, 2022, Bouamama, 2013). Ces

recommandations vont permettre d'assurer la diffusion des pratiques thermiques et d'efficacité énergétique par les acteurs concernés.

#### II.5.8.3 **Recommandations techniques :**

Kabouche et Mokrane recommandent d'intégrer des mécanismes de réseau intelligent de gestion des énergies pour assurer la création des villes intelligentes et la généralisation de l'emploi des compteurs communicants. (KABOUCHE et MOKRANE, 2022)

#### II.5.8.4 **Recommandations informationnelles :**

Il s'agit de mener des actions de sensibilisation des professionnels du secteur du bâtiment pour assurer l'intégration climatique des constructions par le biais d'une réglementation thermique et énergétique. Dans le même contexte, il faut adopter une stratégie de sensibilisation et de motivations des ménages afin d'aboutir à un changement radical de comportements des consommateurs. À cet effet, il s'agit de faire connaître aux usagers l'importance d'investir dans l'optimisation de l'efficacité énergétique de sa résidence et de leurs équipements électroménagers. (Nadia NAIT, 2011, Bouamama, 2013)

### **Conclusion**

L'augmentation excessive de la consommation énergétique est liée principalement à l'extension du parc de logements, l'amélioration de mode de vie des ménages en Algérie ainsi que l'absence des règles d'efficacité énergétique dans les constructions réalisées. À cet effet, le gouvernement en Algérie a opté pour une optimisation de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment par le biais d'une politique relative à la maîtrise d'énergie. Il s'agit d'édifier 600 logements de haute performance énergétique (HPE) à l'échelle nationale durant la période 2010-2014, en ayant la prévision d'un nouveau programme de 3000 logements à l'horizon de 2030.

En ce chapitre, nous avons constaté que malgré la volonté des pouvoirs publics d'assurer la réussite de la politique relative à la maîtrise d'énergie la situation énergétique actuelle du pays ne reflète pas le résultat de ces efforts. Cela est expliqué par l'impact de plusieurs barrières qui empêche l'évolution du domaine de la maîtrise d'énergie. À titre d'exemple, le niveau bas de conscience des usagers ainsi que l'absence d'un système de contrôle adéquat. Il s'agit de mener des actions de sensibilisation des ménages afin d'aboutir à un changement radical du comportement des usagers dans l'objectif de bien gérer sa consommation énergétique.

### *Le système constructif en Algérie entre l'existant et les nouvelles stratégies*

À cet effet, l'Algérie est sensée à confronté plusieurs défis dans les prochaines décennies. Ce qui mène à un penser plus profond à des stratégies supplémentaires qui permettent de poursuivre la politique relative à la maîtrise de l'énergie avant d'arriver à la période d'épuisement des ressources fossiles. C'est pourquoi, les pouvoirs publics doivent formuler une véritable politique énergétique, basée sur un modèle d'utilisation rationnelle des ressources énergétiques. Au niveau réglementaire, de nombreux textes existent, mais ils restent inefficaces suite à l'absence de la mise en œuvre. Cela favorise l'élaboration des incitations et la mise en place de mécanismes financiers appropriés qui sont nécessaires de toute urgence pour faciliter l'amélioration des performances thermiques et énergétiques des logements. (Nait, 2011)

CHAPITRE III :

*Présentation des cas d'études  
et positionnement  
épistémologique de la  
méthodologie.*

### **III. Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie.**

#### ***Introduction***

Par le biais de la revue de la littérature, nous avons pu faire ressortir les stratégies et les techniques qui ont été utilisées par les chercheurs pour effectuer une évaluation du comportement thermique des logements, objet d'étude. Cela a permis de choisir le contexte méthodologique de cette thèse afin d'aboutir aux objectifs de la recherche et de confirmer ou d'infirmer les hypothèses de la recherche.

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter les cas d'étude avec la méthodologie de la recherche. D'abord, la première partie de ce chapitre sera une présentation du contexte géographique et climatique des cas d'étude, Blida et Djelfa. Puis, ça sera une étude détaillée du graphique des projets HPE en faisant une sélection des logements types.

La deuxième partie de ce chapitre consiste à tracer la méthodologie de la recherche en présentant les techniques de la recherche choisies pour effectuer une évaluation du confort thermique et de la consommation énergétique. L'investigation in situ par une validation par la simulation thermique consiste à évaluer les ambiances thermiques objectivement. D'un autre côté, une évaluation du comportement des occupants par la technique du questionnaire est de type subjectif.

#### ***III.1 Présentation du cadre d'étude***

L'augmentation de la consommation d'énergie fossile et ces effets néfastes oblige l'état algérien à adapter une nouvelle vision stratégique pour rectifier la situation énergétique du pays. Cela est par le biais d'une augmentation d'efficacité énergétique du système constructif. C'est un engagement de la république algérienne dans une nouvelle expérience dans le cadre de la maîtrise d'énergie pour assurer une transition d'un système constructif énergivore à un nouveau de haute qualité environnementale et énergétique par l'intégration des procédés bioclimatiques de la conception.

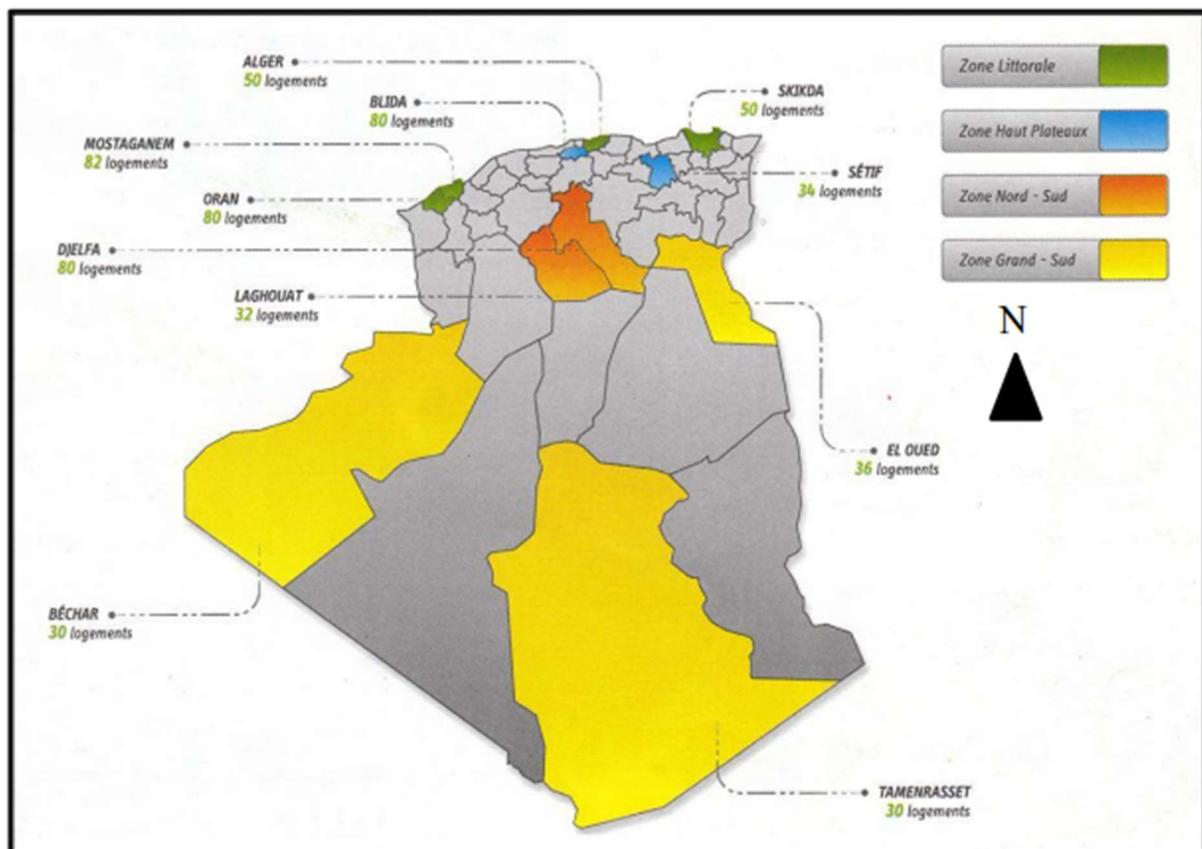
Dans le cadre du programme nationale de la maîtrise d'énergie (PNME) 2007-2011, le gouvernement algérien a lancé le programme Eco-Bat. Cette opération pilote était sous la direction

### Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie

de L'Agence national pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (L'APRUE). Cette dernière a le rôle d'élaborer les cahiers de charge des projets pilotes et les études climatiques en assurant le soutien technique. Les OPGI des wilayas considérées par la réalisation des projets étaient en collaboration avec l'APRUE pour la réussite de ce programme. Les logements réalisés sont de type LSP (logements sociaux participatifs). Les surcoûts liés à l'amélioration énergétiques ont été estimés à 300 000 DA par logement. Le Fond National pour la maîtrise d'énergie (FNME) a pris en charge 80 % des surcoûts liés à l'optimisation énergétique des projets.

À cet effet, le programme Eco-Bât consiste à élaborer 600 logements de haute performance énergétique. C'est une série de 11 projets pilotes à travers le territoire national, distribué selon trois zones climatiques du pays, littoral, hauts plateaux et Sahara. Les responsables de l'APRUE ont constaté que cette opération pilote avait trois objectifs majeurs. D'abord, ce projet consiste à assurer l'amélioration de la qualité thermique en minimisant la facture énergétique par 40 % par rapport au système constructive existant. Ensuite, il s'agit de sensibiliser les acteurs du domaine de la construction par l'importance de la problématique énergétique. Enfin, l'APRUE a estimé la généralisation de la notion de la maîtrise d'énergie dans le processus de la conception architecturale.

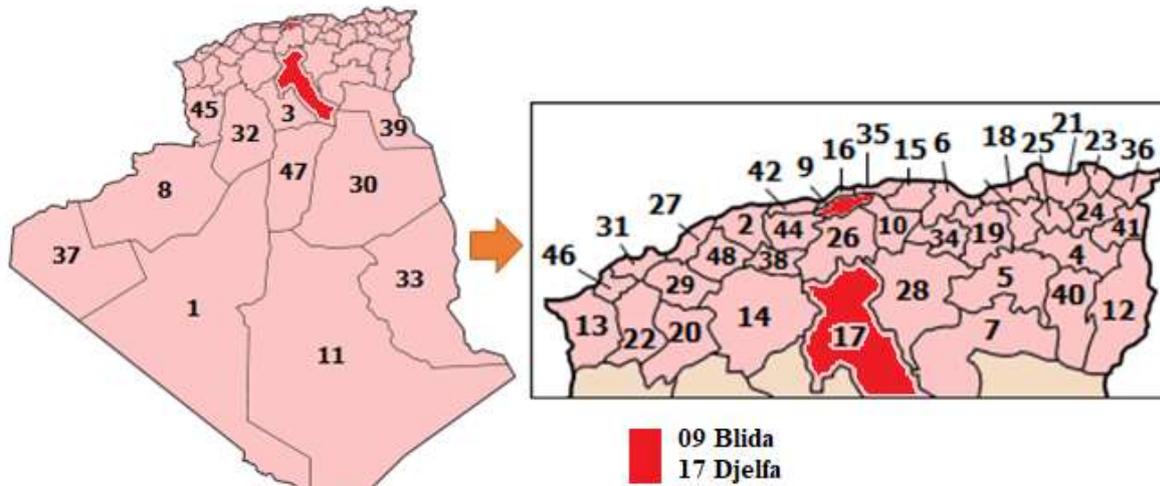
Aujourd'hui, la plupart des projets HPE ont vu le jour, et même occupé après des années de retard. Alors qu'il y a des projets qui n'ont pas été encore réalisés comme le cas du projet d'El-Oued. Notre travail consiste à élaborer une étude comparative entre deux projets, Blida et Djelfa. Cela est pour évaluer les solutions optimisées pour les deux expériences et le degré d'intégration de chaque projet à son milieu climatique.



**Figure III-1** : une carte de distribution des projets de Haute performance énergétique à l'échelle nationale. Sources APRUE, 2014

### **III.2 Présentation des cas d'étude**

Ce travail de recherche consiste à effectuer une étude comparative entre deux cas d'étude. Il s'agit de deux variantes du même système constructif innovant en Algérie. C'est le programme Eco-Bât diffusé sur onze wilayas selon la diversité climatique à l'échelle nationale. Le choix de ces deux cas d'études est pour la différenciation des climats entre les deux villes d'étude. Entre un climat modéré à Blida et un autre semi-aride à Djelfa, notre travail consiste à évaluer le système constructif de Haute Performance Énergétique par rapport au confort thermique optimal de chaque ville d'étude.



*Figure III-2 : Situation géographique des cas d'étude*

### **III.2.1 La ville de Blida :**

Blida est une ville nord algérienne. Elle se situe dans la zone géographique du Tel central à 50 km de la capitale Alger. L'altitude de cette ville est de 260 m. Elle est limitée au nord par la ville d'Alger, au sud par Médéa, à l'est par Bouira et Boumerdès et à l'ouest par la wilaya d'Aïn-Defla.. La situation du projet HPE est dans la commune d'Ain Romana.

#### **III.2.1.1 Description climatique**

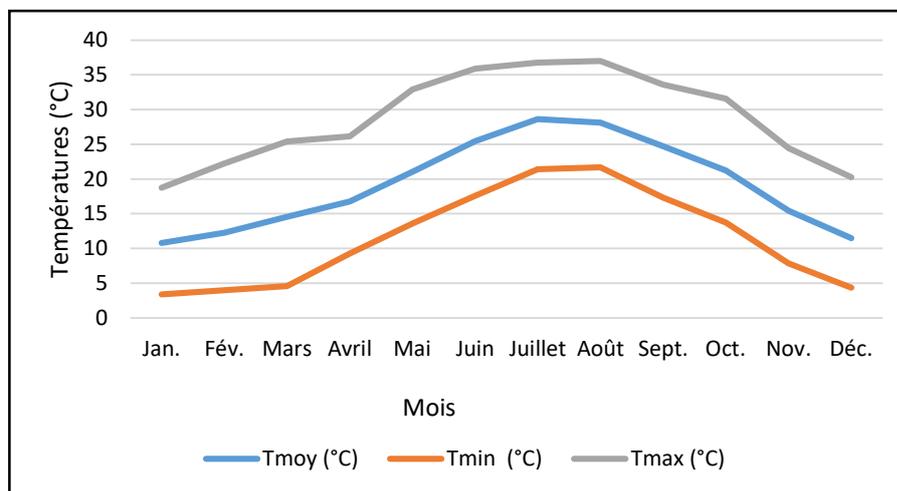
Blida appartient à la zone climatique 'B' selon la classification de CNERIB [12]. Il s'agit d'un climat tempéré humide de type méditerranéen chaud, selon la classification Köppen-Geiger. Ce climat est caractérisé par l'impact des montagnes entourant la ville et la mer méditerranéenne [13]. L'hiver de cette zone climatique est froid et pluvieux bien que l'été est chaud et sec. Sur l'année, la température moyenne à Blida est de 15.9 °C et les précipitations sont en moyenne de 676.3 mm.

#### **III.2.1.2 Description météorologique**

##### **III.2.1.2.1 Température**

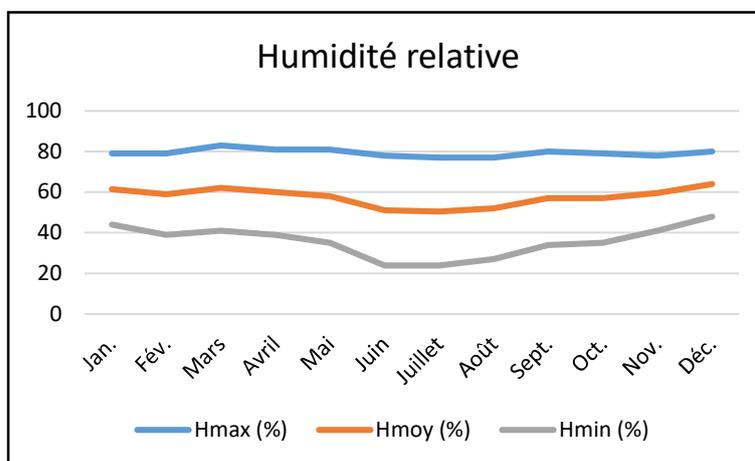
Les variations mensuelles des températures se varient en trois périodes principales. En hiver, des valeurs minimales sont entre 3.43 °C et 4.35 °C durant les trois mois d'hiver. Des valeurs maximales en été variant entre 35.91 °C et 37 °C.

Le déphasage entre les températures maximales et celles minimales arrivent à 17 °C de différences. Les saisons intermédiaires, en printemps et en automne, sont plus tempérées avec des plages de températures plus agréables et favorisent des ambiances thermiques intérieures favorables.



**Figure III-3 :** évolution des températures annuelles et des précipitations de la ville de Blida. Source ANRH Blida

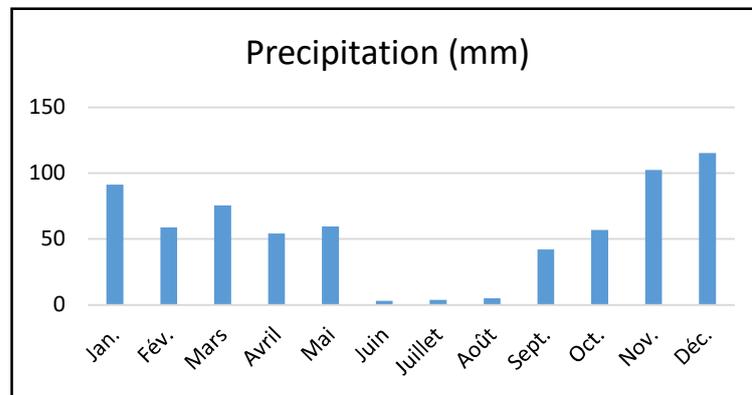
### III.2.1.2.2 Humidité relative



**Figure III-4 :**Évolution de l'humidité relative annuelle de la ville de Blida. Source ANRH Blida

L'humidité relative a un rôle important dans la définition des climats et la définition de la plage de confort thermique. À Blida, les valeurs maximales sont durant les mois d'hiver. Bien qu'en été, il s'agit d'une diminution des pourcentages d'humidité relative. En moyenne, l'humidité

relative est présente et presque stable durant toute l'année. Cela est lié à la grande quantité des précipitations, la proximité à la mer et la densité de la végétation.

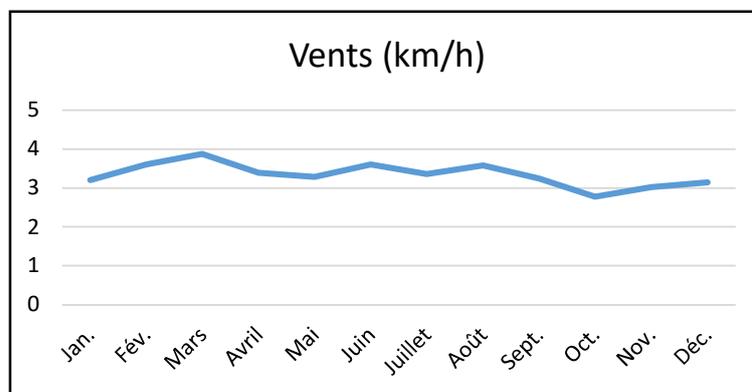


**Figure III-5:** Évolution des précipitations annuelles de la ville de Blida. Source ANRH

### III.2.1.2.3 Les précipitations

La précipitation est abondante durant toute l'année sauf en été où les quantités des précipitations sont minimales. Des valeurs maximales sont durant les trois mois de novembre, décembre et janvier.

### III.2.1.2.4 Les vents



**Figure III-6 :** évolution de la vitesse des vents annuelle de la ville de Blida. Source ANRH Blida

Les vents sont présents durant toute l'année par des valeurs instables.

Les moyennes mensuelles des quatre grandeurs physiques étudiées confirment la description du type du climat de la ville de Blida, un hiver froid et pluvieux et un été chaud et humide.

### **III.2.2 La ville de Djelfa**

Djelfa est une wilaya du centre d'Algérie. Elle se trouve à 300 km d'Alger du côté sud. Son altitude varie entre 150 m au sud et 1140 m. Cette wilaya se situe entre 2° et 5° est de longitude. Sa situation en latitude est entre 33° et 35° nord.

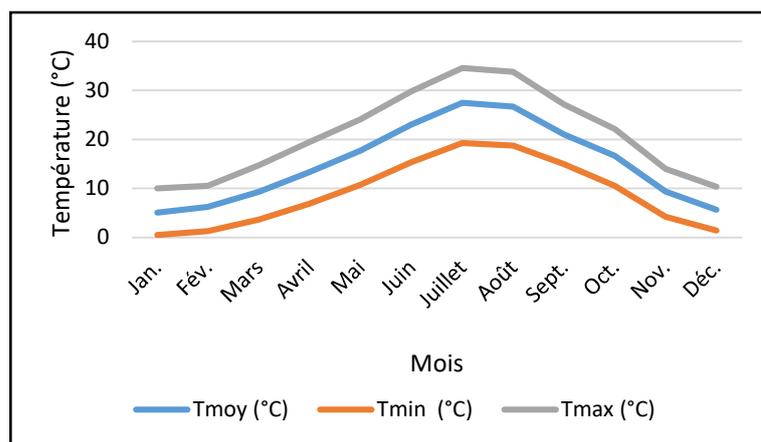
#### **III.2.2.1 Description climatique**

Suite à sa situation géographique dans les hauts plateaux, Djelfa possède un climat subtropical selon le classement climatique de Koppen-Geiger semi-aride. Il s'agit d'un climat caractérisé par des hivers froids et rigoureux et des étés secs et chauds. La précipitation est aux alentours de 350 mm d'eau de pluie par an. Cette valeur varie irrégulièrement entre le nord et le sud. L'enneigement est présent par 4 à 13 jours par an. Les vents sont fréquents et intenses d'orientation Nord-Est et Sud-Est d'origine océanique et nordique. D'un autre côté, les siroccos d'origine désertique sont fréquents au Djelfa par 20 à 30 jours par an. (Wikipédia, sans date. Consulté le 10. 01. 2023).

Selon le classement de CNERIB, la ville de Djelfa appartient à la zone climatique C en hiver comme en été.

#### **III.2.2.2 Description météorologique**

##### **III.2.2.2.1 Températures :**

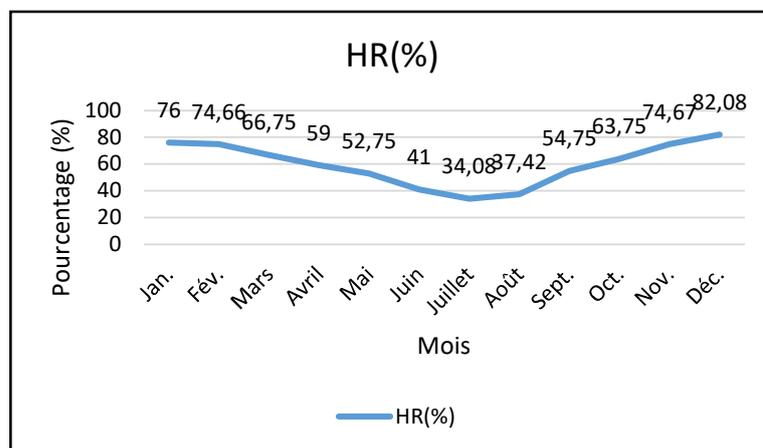


**Figure III-7 :** évolution de la température moyenne annuelle de la vie de Djelfa

Les valeurs mensuelles des températures indiquent deux saisons principales. Un hiver rigoureux par des valeurs minimales de température qui rapprochent de 0 °C. Bien qu'en été, les

températures maximales sont au tour de 35 °C. Les saisons intermédiaires d'automne et du printemps se caractérisent par des valeurs de températures plus favorables. Le déphasage thermique entre le jour et la nuit arrive à 15 °C.

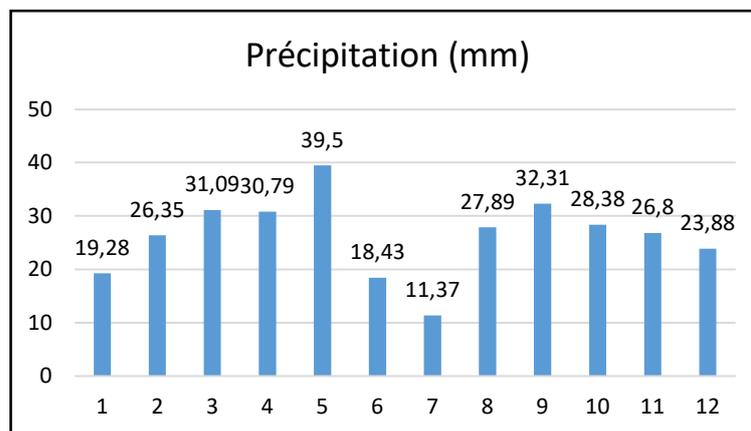
### III.2.2.2 Humidité relative



*Figure III-8 : évolution de l'humidité relative de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa*

Les valeurs d'humidité relative présente des valeurs maximales sont en hiver par une valeur de 82.08 %. Bien que les valeurs minimales sont en été pour marquer 34.08 %.

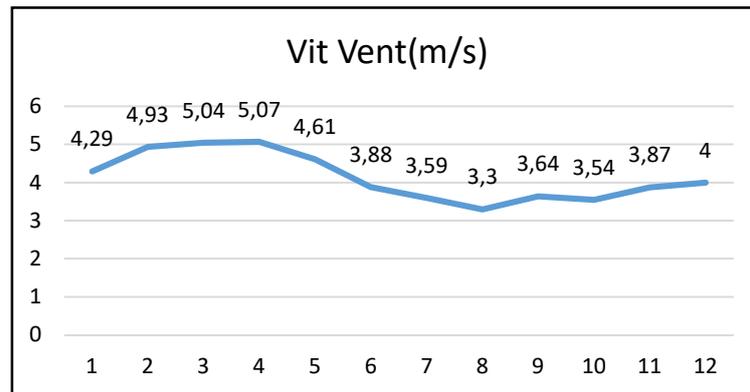
### III.2.2.3 Les précipitations



*Figure III-9 : évolution de la précipitation annuelle de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa.*

Les précipitations sont abondantes durant toute l'année avec des valeurs variables d'un mois à un autre. Le mois le plus humide est le mois de mai. Les mois le plus secs est juillet par des valeurs de 19.28 mm, 18.43 mm et 11.37 mm successivement. Les autres mois présentent des valeurs moyennes qui varie entre 23.88 mm et 32.31 mm.

#### **III.2.2.2.4 Les vents**



*Figure III-10 : évolution de la vitesse de vent annuelle de la ville de Djelfa. Source OMN Djelfa.*

Les vents sont présents durant toute l'année par des valeurs instables. Ces valeurs varient entre 3.3 m/s et 5.07 m/s.

### **III.3 Description des logements d'étude**

#### **III.3.1 Le projet HPE Blida**



*Figure III-11: Vue perspective du projet HPE Blida*

Le choix du projet HPE Blida est pour sa représentativité de la zone littorale du pays et le plus avancé en termes d'achèvement des travaux et disponibilité de la documentation.

Le lancement du projet était par l'APRUE en 2011. Le maître d'œuvre du projet est le cabinet d'architecture DAR sous la direction de l'architecte Rekia Zouhir qui était chargé de la

Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie

conception du projet et le suivi de la réalisation. Les travaux de réalisation ont été confiés à l'ERTBH Djemil Abdelkarim qui a démarré le 28. 03. 2011 pour un délai de 18 mois, mais l'achèvement des travaux n'a eu lieu qu'en 2015. La distribution des logements a été en 2016.

III.3.1.1 **Situation et environnement**



**Figure III-12:** Situation du projet HPE Blida. Source google Earth

Le projet HPE Blida est situé dans la commune d'Ain Romana. Elle est loin du chef-lieu de la wilaya de 20 km. Son altitude est de 270 m, La zone de vent est de I (25 m/s), la zone de neige est de classe A, latitude de  $36^{\circ}25'. 22^{\circ}28'N$  longitude  $02^{\circ}42'. 35^{\circ}45' E$ .



**Figure III-13 :** Plan de situation du projet HPE Blida. Source google Earth.

Le projet HPE Blida s'organise en trois barres longitudinales qui s'allongent de l'est à l'ouest pour bénéficier d'une orientation principale vers le sud et une orientation secondaire vers le nord. L'ouverture vers l'est présente une autre façade du projet. Le gabarit des barres est de

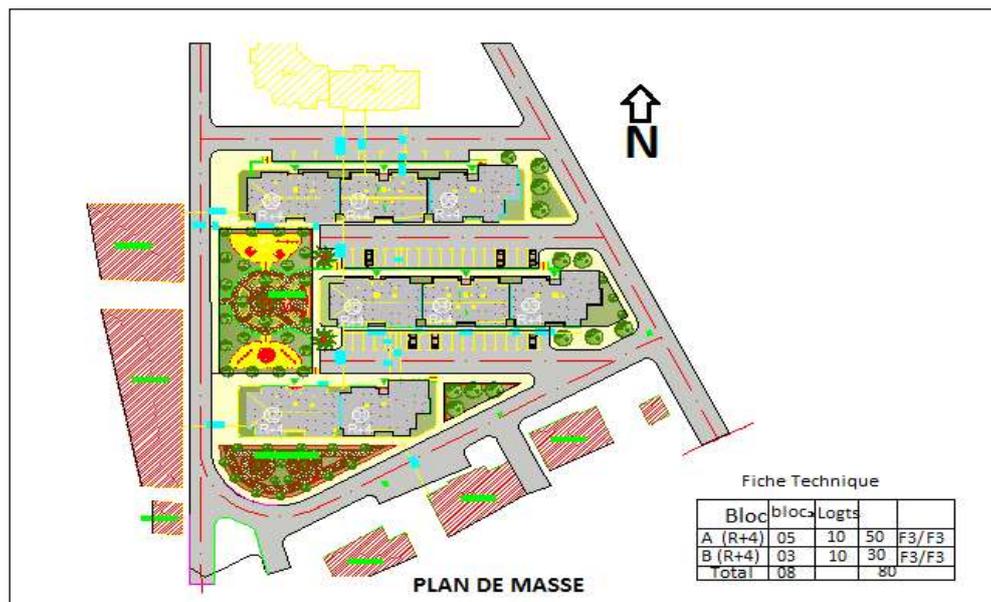
R+4. Les logements sont en deux typologies A et B, 05 blocs de type A et 03 blocs de type B. Le bloc B est un bloc de rive avec trois façades ouvertes, nord, sud et est. (Voir figure III-13).



**Figure III-14** : Vue de site de projet HPE Blida. Source OPGI Blida

La surface globale du terrain est de 6648.88 m<sup>2</sup>. Bien que la surface habitable du projet est de 5391.75m<sup>2</sup>. Le reste est occupé par des aires des jeux, des aires de stationnement et des espaces verts. L'environnement immédiat du projet se compose par des logements individuels et des logements semi-collectifs.

Le projet se compose de 08 blocs. Chaque bloc est composé de dix appartements distribués sur cinq niveaux. Chaque deux logements sont reliés par un palier d'escalier central.



**Figure III-15 : Plan de masse de Projet HPE Blida**

Les appartements sont de type F3 avec une surface moyenne de 67.20m<sup>2</sup>. Chaque logement se compose de deux chambres, un séjour, une cuisine et un bloc sanitaire. L'ensemble des espaces s'articule autour du dégagement central.

**Bloc A :** c'est un bloc de type barre. Il est caractérisé par un gabarit de R+4. Il est composé de 10 logements de type F3. Sur site, cinq blocs sont de type A.

**Bloc B :** c'est un bloc de rive. Son gabarit est de R+4. Chaque bloc de ce type est composé de dix logements de type F3. Il y a trois blocs de type B.

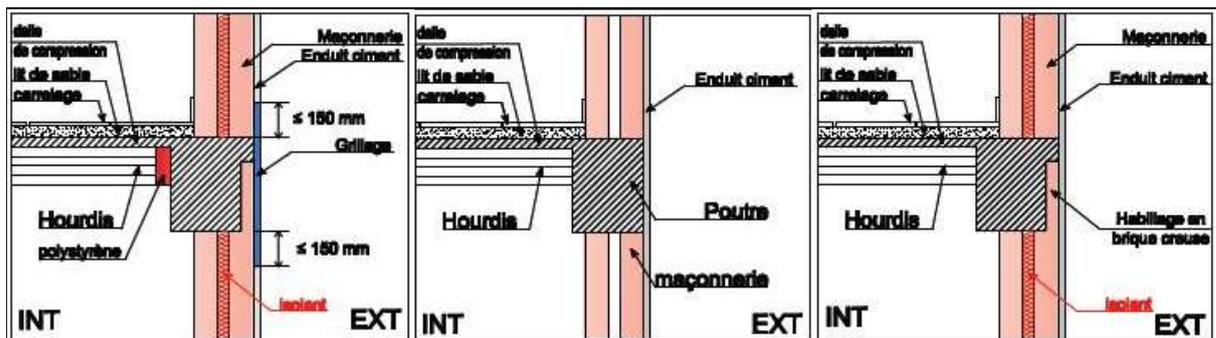
### III.3.1.2 *Spécificité énergétique*

La réussite du programme ECO-BAT est relative à l'aboutissement aux objectifs établis au préalable par l'APRUE. Cela nécessite la contribution de tous les acteurs des projets par une proposition d'une variété des solutions énergétiques sur l'enveloppe thermique. Chaque projet du programme avait un choix spécifique des procédés énergétiques. C'est une initiation pour améliorer la qualité thermique et énergétique du système constructif.

Le projet des 80 logements de haute performance énergétique de Blida était parmi les projets les plus avancés par rapport aux autres projets. Les concepteurs du projet ont pris la réglementation DTR du CNERIB comme référence des procédés de la conception énergétique.

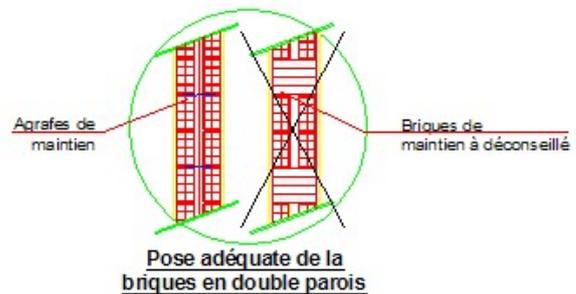
Cela a donné naissance à plusieurs solutions conceptuelles innovantes par rapport au système constructif existant. (OPGI, 2014)

- La lame d'air est remplacée par 5 cm d'isolant thermique (le polystyrène).
- L'habillage des points d'intersection entre les parois en maçonnerie ou en isolant thermique pour couper les ponts thermiques selon la réglementation DTR. (Voir figure III-16).
- Le traitement des ponts thermiques du plancher par les couvrir en isolant thermique.



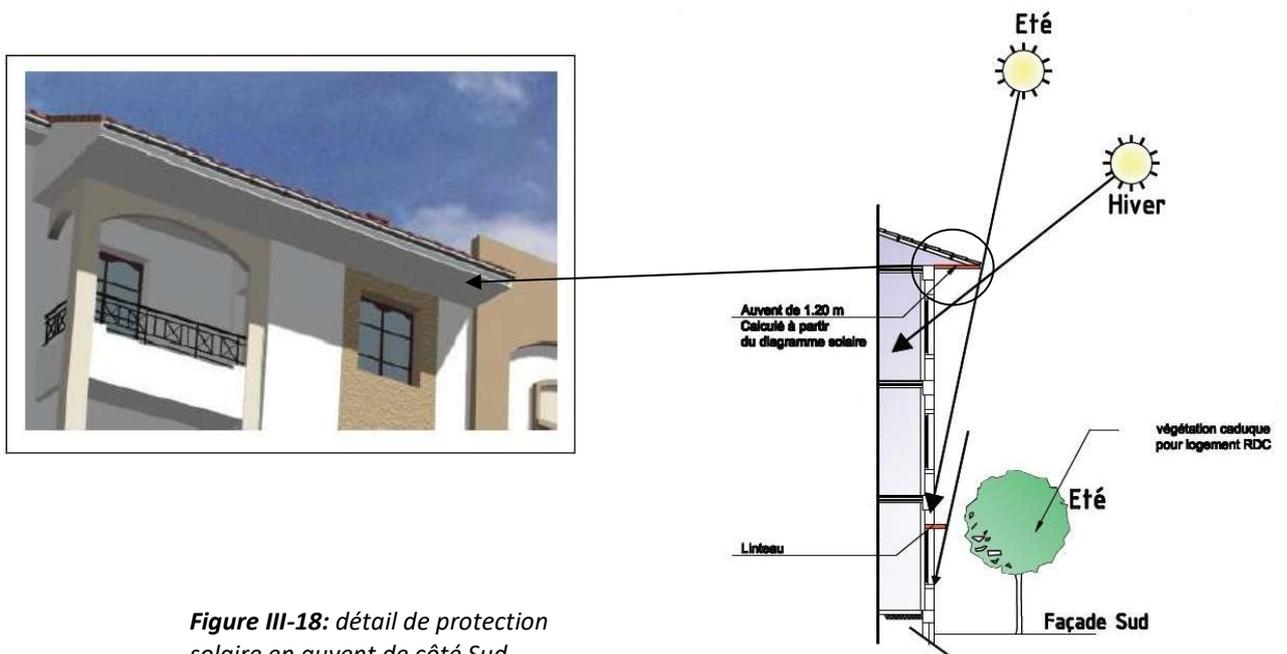
*Figure III-16 : détail de traitement des ponts thermiques HPE Blida*

- Le remplacement des briques du chaînage des parois verticales par des épingles stabilisantes en appliquant la réglementation du DTR.
- L'isolation du faux plafond du dernier étage par un isolant thermique, la fibre de verre, pour éliminer les déperditions thermiques vers le comble.



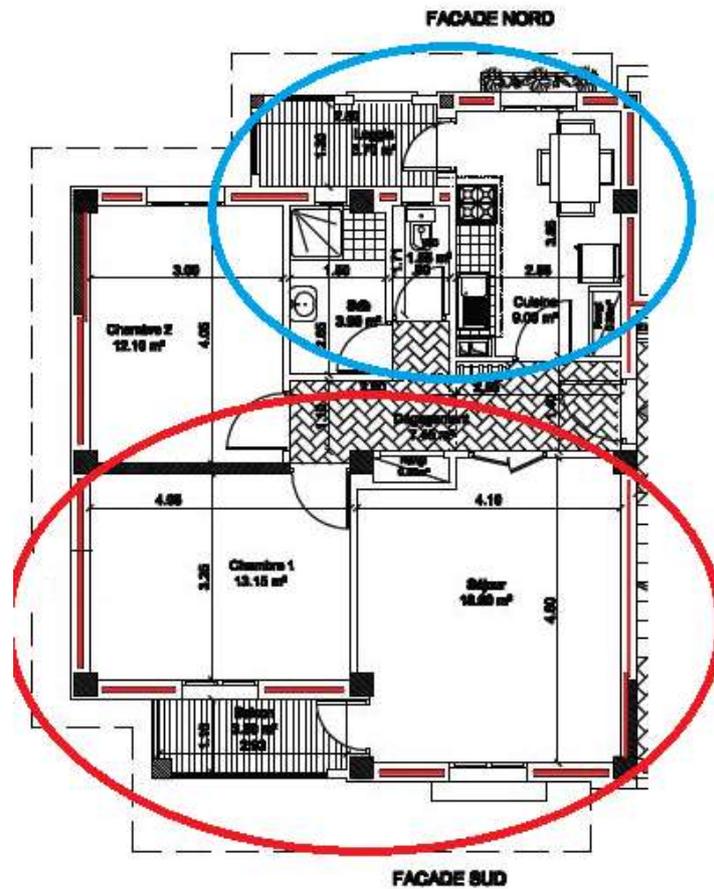
*Figure III-17: Agencement des briques en double parois*

- L'isolation de la partie basse du RDC par un soubassement en pierre autour du bâtiment pour limiter les déperditions thermiques en faisant stabiliser la terre.
- La conception d'une toiture en pente pour assurer une protection des vents dominants en hiver et des rayons solaires intenses d'hiver des logements du dernier étage et l'intégration du projet dans son site montagneux.
- La protection solaire des ouvertures de la façade sud par des auvents dimensionnés suivant une étude des ombres, et des avancées du plancher haut pour minimiser l'impact des rayons solaires directs sur la façade du dernier étage. Alors que le RDC est protégé par des arbres en caduque pour favoriser la pénétration des rayons solaires d'hiver.



**Figure III-18:** détail de protection solaire en auvent de côté Sud

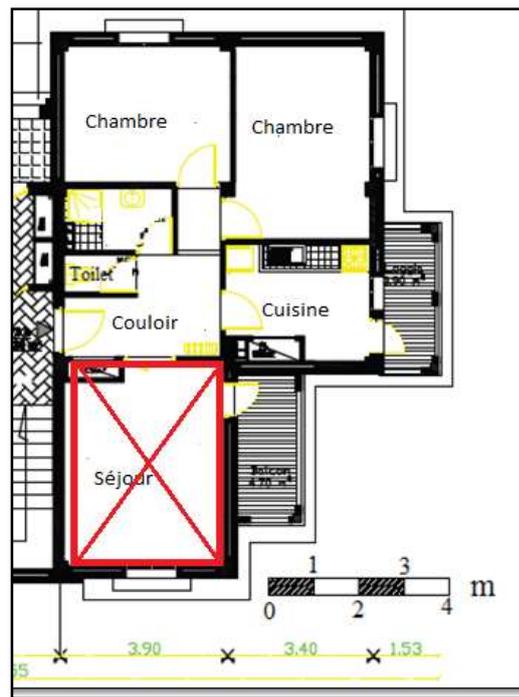
- L'organisation spatiale des logements est caractérisée par une disposition des espaces de vie de côté sud. Bien que les espaces de service sont orientés vers le nord en bloc de type A. Les espaces de service de bloc B donnent vers l'est.



*Figure III-19: distribution des espaces selon le trajet solaire du plan HPE.*

### III.3.1.3 *Détermination du logement d'étude*

Pour effectuer l'investigation in-situ, nous avons sélectionné un appartement de rive. Sa disposition est au bloc B au quatrième étage. Le justificatif de ce choix est la disposition la plus défavorable par quatre faces exposées, trois façades et la toiture. La surface de l'appartement est de 74.65 m<sup>2</sup>. Elle est composée d'un séjour, deux chambres, une cuisine et un bloc sanitaire. L'ensemble des espaces s'articulent sur le couloir. L'espace du séjour est l'objet des mesures in-situ.



**Figure III-20:** Plan du logement de référence HPE Blida

Le projet des 80 logements de Blida a été caractérisé par des efforts précieux fournis par le maître d'œuvre pour contribuer à la réussite du programme ECOBAT. L'achèvement des travaux de réalisation n'a pas suivi la même procédure tracée au préalable. Cela a été par la suppression de quelques procédés comme le système de ventilation par puits canadien, et le remplacement de double vitrage par le simple vitrage pour des raisons financières. Alors que le non-respect des détails constructifs est suite à l'absence de la main d'œuvre qualifiée. Ce qui représente un obstacle de réussite de ce type des projets.

### **III.3.2 Le projet HPE Djelfa :**

Le projet de haute performance énergétique de Djelfa est le deuxième cas d'étude à diagnostiquer par cette thèse. C'est un cas représentatif de la zone des hauts plateaux en Algérie. Il a été conçu et suivi par le bureau d'études techniques sous la direction de l'architecte Ahmed Bennaoum en 2011. Ce projet était le premier projet qui a vu le jour en 2015.



**Figure III-21:** une vue de perspective du projet HPE Djelfa. (BET Ahmed Bennaum, 2011).

### III.3.2.1 *Situation et environnement*



**Figure III-22 :** Plan de situation de projet HPE Djelfa. (BET Ahmed Bennaum, 2011).

La situation du projet des 80 logements de Haute Performance énergétique (HPE) est à la périphérie est de la ville de Djelfa, en face du pôle universitaire, sur la route qui mène vers la gare routière (Figure III-22).



**Figure III-23** : Plan de masse (BET Ahmed Bennaum, 2011).

Le plan de masse est composé de deux types des bâtiments. Le premier est de type barre allongé de l'est à l'ouest pour favoriser des orientations nord et sud. Alors que le deuxième type représente un bloc d'angle qui assure l'alignement avec la voie qui délimite la parcelle. Certains bâtiments sont orientés nord-est. Le reste des blocs sont ouvertes vers l'est (Figure III-23). Ce projet est composé de 14 blocs. Il s'agit d'un agencement classique des appartements de type F3 en deux dans le palier d'escalier. 12 blocs ont un gabarit de R+2 bien que les deux autres blocs sont en R+1.

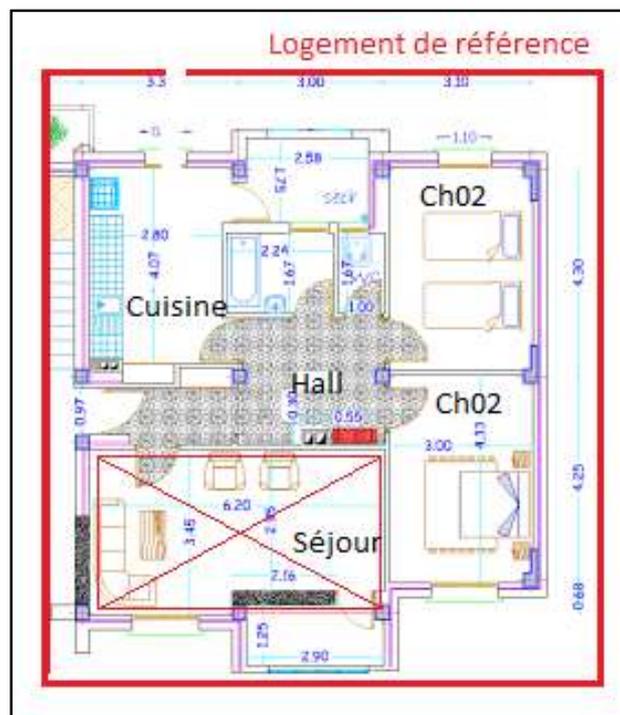
### III.3.2.2 *Spécificité énergétique :*

Afin de répondre aux objectifs du programme Eco-Bât, le maître d'œuvre du projet a proposé quelques améliorations, lors de la conception, par rapport au système constructif existant. Les innovations proposées ne sont pas assez importantes, mais favorisent sûrement une amélioration thermique et énergétique des appartements.

- Le remplacement de la lame d'air de parois verticales extérieures par 5 cm d'isolant thermique, le polystyrène.
- L'isolation thermique de la toiture par 12 cm du polystyrène.
- L'isolation phonique des planchers intermédiaires par 5 cm du liège.

- L'adaptation d'une orientation nord-sud de la plupart des blocs du projet pour bénéficier de l'orientation sud.
- L'organisation conceptuelle des logements selon le besoin thermique de chaque espace. Les espaces de vie sont orientés vers le sud. Bien que les espaces de services donnent vers le nord en tant que des espaces tampons
- Enfin, lors de la phase de la conception, d'autres solutions ont été proposées. L'architecte a conçu des serres de côté sud avec un double vitrage et les ouvertures en double vitrage. En réalisation et pour des raisons financières, le remplacement du double vitrage par le simple vitrage et la suppression du vitrage de la serre.

### III.3.2.3 Détermination du logement type :



**Figure III-24:** plan du logement de référence du projet HPE Djelfa

Afin d'effectuer une étude comparative entre les deux projets d'études, il s'agit de sélectionner un logement de référence compatible avec celui des 80 logements HPE Blida. L'appartement type va être l'objet d'une investigation in-situ par le biais des matériels de mesures et l'outil de la simulation pour une validation des résultats.

Pour garder les mêmes références, le choix d'un appartement avec les mêmes caractéristiques du logement type de projet de Blida, la disposition de la rive est au niveau supérieur du bloc.

Le logement choisi est caractérisé par une surface habitable de 73.35 m<sup>2</sup> et se compose d'un séjour, d'une cuisine, de deux chambres et d'un bloc sanitaire. L'ensemble des espaces se sont reliés par un hall. L'espace de séjour, ayant une surface de 19.84 m<sup>2</sup>, est l'objet d'une évaluation thermique.

L'analyse des procédés constructifs du projet HPE Djelfa nous a permis de faire ressortir les points forts d'adaptation du projet au programme Éco-Bât. Cela est par le biais d'état des lieux et le peu de la documentation technique relative au projet. À cet effet, les solutions proposées sont pour assurer l'intégration thermique du projet avec son milieu climatique.

### **III.3.3 Récapitulatif des deux projets d'étude**

En fin de compte, dans la section de présentation des cas d'étude, il est évident que le projet des 80 logements de Blida possède une plus grande quantité de documentation technique qui montre une vision claire de la stratégie conceptuelle pour l'amélioration thermique et énergétique du projet. Le projet Djelfa, en revanche, présente moins de solutions thermiques et énergétiques. (voir tableau 11).

Le tableau suivant présente un récapitulatif des caractéristiques constructives des deux projets HPE Blida ainsi que HPE Djelfa.

**Tableau 11** : Récapitulatif des caractéristiques constructifs des deux cas d'étude.

	Logement HPE Djelfa	Logement HPE Blida
Mur extérieur	Enduit de plâtre 1cm Brique de 10cm Isolation en polystyrène 5cm Brique de 15cm Enduit extérieur en ciment 2cm	Enduit de plâtre 1cm Brique de 10cm Isolation en polystyrène 5cm Brique de 15cm Enduit extérieur en ciment 2cm
Plancher terrasse	Enduit en plâtre 1cm	Un faux plafond en plâtre 5cm

	Dalle de compression 4 cm Hourdis en terre cuite 16 cm Isolation en polystyrène 12 cm Forme en pente Etanchéité multicouche Pierre roulé	La laine de verre 5cm Charpente en bois.
Plancher intermédiaire	Enduit en plâtre 1cm Dalle de compression 4cm Hourdis en terre cuite 16 cm Isolation phonique en liège 0.5 cm Mortier 2cm Carrelage 2cm	Enduit en plâtre 1cm Dalle de compression 4cm Hourdis en terre cuite 16 cm Mortier 2cm Carrelage 2cm

Ce tableau présente un récapitulatif des stratégies conceptuelles énergétiques des deux projets HPE Blida ainsi que HPE Djelfa.

**Tableau 12** :Récapitulatif des stratégies conceptuelles énergétiques des deux cas d'étude

La stratégie conceptuelle	HPE Blida	HPE Djelfa
L'isolation thermique et phonique	5cm du polystyrène aux parois verticales  5cm de la laine du verre au plancher haut.  Non prise en considération de l'isolation phonique lors de la conception du projet.	5cm du polystyrène aux parois verticales  12cm du polystyrène au plancher haut  5cm du liège aux planchers intermédiaires pour une isolation phonique.
L'orientation	Nord –sud pour tous les blocs	Nord sud pour 80% des blocs

L'organisation fonctionnelle	Les espaces de services au nord Les espaces de vie au sud.	Les espaces de services au nord Les espaces de vie au sud.
Traitement des ponts thermique	L'application de la norme DTR de traitement des ponts thermique	Pas d'information
Protection solaire	Des arbres caducs, une avancé de la toiture et des auvents des fenêtres.	Non prise en considération
Type du vitrage	Simple vitrage	Simple vitrage

### ***III.4 État de l'art***

Le sujet du confort thermique et d'efficacité énergétique a été entamé par plusieurs chercheurs par différentes méthodes et techniques de recherches. Ce qui favorise une analyse de quelques recherches qui font partie de notre domaine d'étude. Il s'agit d'évaluer les différentes approches afin d'aboutir à la meilleure intensité de recherche qui répond mieux à notre problématique.

#### **III.4.1 L'élaboration d'une réglementation :**

Le travail de recherche de Salama Mothanna, intitulé « Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban) », consiste à élaborer une certification énergétique destinée aux bâtiments résidentiels neufs dans la région côtière de l'est-Méditerranée en Syrie et Liban. (Salama, 2014)

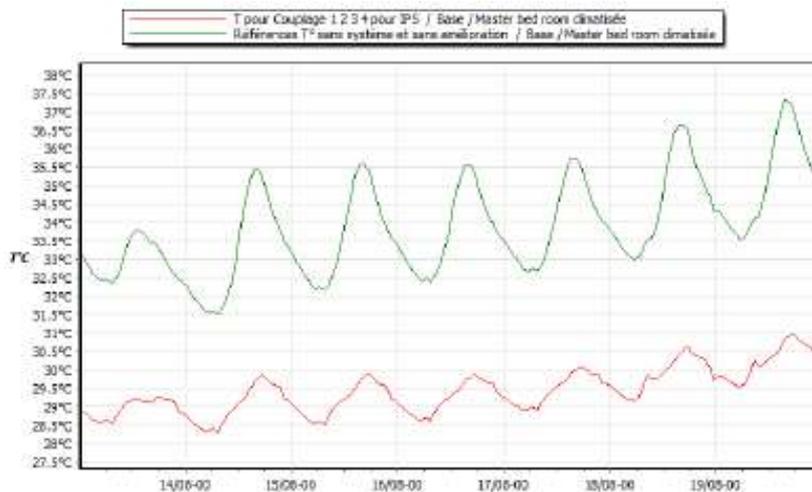
L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les enjeux énergétiques des logements de la ville de Tartous, et de créer une base de données qui sert comme une référence des modes de construction et des sources d'énergie accessibles à l'utilisation des habitants.

### Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie

Sur la base d'une série d'études de terrain, l'auteur a effectué une observation in-situ pour collecter des informations relatives à la correspondance de la réalité urbaine de la ville de Tartous, objet d'étude, à la planification. Il a opté aussi pour une vérification de l'aspect technique des constructions et de l'application des normes thermiques. D'un autre côté, l'auteur a élaboré un questionnaire destiné aux usagés afin de mieux maîtriser.

Par le biais d'une analyse détaillée de six labels majoritaires dans le monde, l'auteur a considéré que la RT 2012 est le plus répondeur aux exigences locales de la région est-Méditerranéenne pour qu'il soit considéré comme référence d'élaboration d'une nouvelle réglementation spécifique à la région étudiée.

La méthodologie de ce travail consiste à choisir un bâtiment de référence. Ensuite, l'auteur a effectué une série de mesures destinées au bâtiment de référence pour quantifier les valeurs des températures ambiantes, l'humidité relative et la consommation énergétique. Enfin, le choix d'une simulation thermique dynamique par le logiciel Comfie+Pleiades a été pour élaborer une comparaison avec les résultats de campagne de mesure afin de vérifier leurs validations.



**Figure III-25:** Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (chambre Master bedroom, semaine 33). Source Salama, 2014.

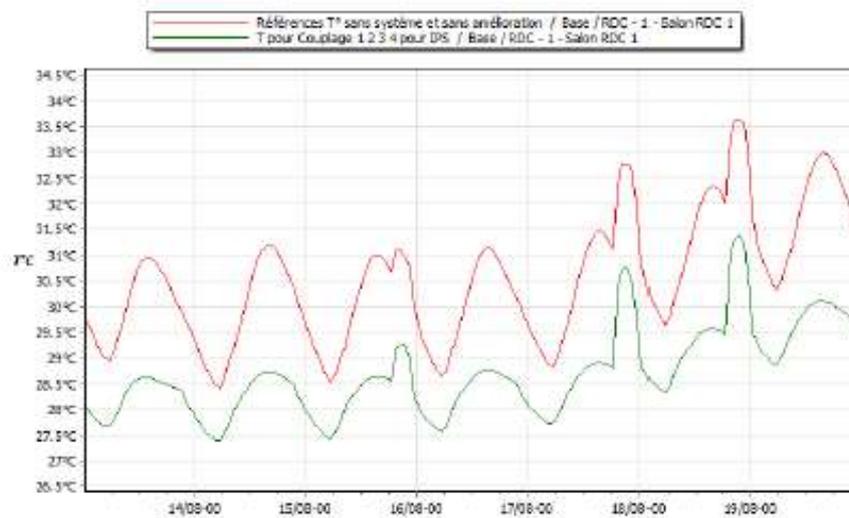


Figure III-26: Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (salon, semaine 33). Source Salama, 2014

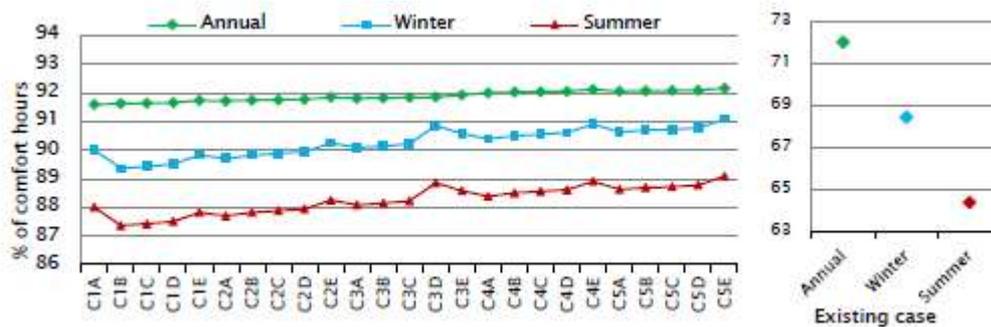
Les résultats de la simulation ont indiqué une qualité énergétique médiocre du bâtiment de référence par le calcul des indices réglementaires ( $B_{bio}$  et  $C_{ep}$ ) qui ont présenté des valeurs élevées. Dans ce contexte, l'auteur a opté pour l'application des solutions techniques pour optimiser la qualité énergétique du bâtiment. L'évaluation globale des solutions proposées afin de déterminer les meilleurs choix en terme énergétique, confort thermique et économique. À cet effet, l'auteur a déterminé trois niveaux de certification. Le premier prend en considération les exigences énergétiques et ceux du confort thermique en priorité. La deuxième concerne un niveau moyen des trois exigences ; énergétique, confort thermique et économique. Bien que le troisième niveau favorise l'élaboration d'une performance élevée du critère économique.

	Indices de performance	Niveau Argent	Niveau Or	Niveau Platine
Valeurs des indices de performances par niveau	$B_{bio\ max}$	220	170	120
	$C_{ep\ max}$	230	190	150
	$IPS_{min}$	0,25	0,4	0,55

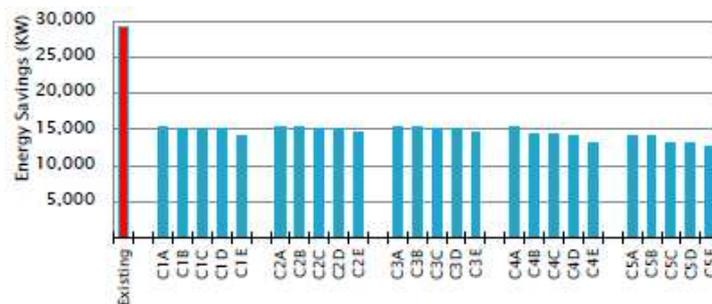
Une évaluation globale en termes d'énergie, d'économie et de confort a permis de déterminer une nouvelle valeur des indicateurs réglementaires qui caractérisent une étiquette énergétique RT2012-EM. Cela va réduire considérablement la consommation d'énergie tout en augmentant le confort thermique dans ces bâtiments. Cette étiquette énergétique s'adresse aux différents experts du domaine de la construction ayant le rôle de la conception des logements neufs et vise à promouvoir des politiques d'utilisation rationnelle de l'énergie à travers des bâtiments basses consommations. (Salama, 2014)

### III.4.2 L'optimisation conceptuelle :

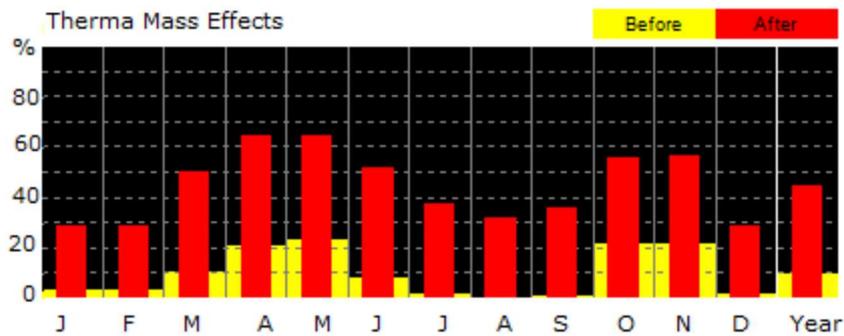
Une autre étude sur le confort thermique a été réalisée par Elaiab Fatima en 2014, dans sa thèse intitulée « Thermal comfort investigation of multi-storey residential buildings in Mediterranean climate with reference to Darnah, Libya. ». Il s'agit d'une combinaison de deux méthodes, le questionnaire et la simulation thermique des logements de cas d'étude. Les résultats de questionnaire montrent que les occupants des logements ne sont pas satisfaits par la situation thermique de leurs foyers. La résolution de ce problème est par l'utilisation excessive de refroidissement mécanique. Le faible coût des énergies fossiles favorise une inconscience des occupants par la forte consommation énergétique liée à l'amélioration de la situation thermique des logements.



**Figure III-27:** Pourcentage d'heures de confort pour différentes combinaisons de tissus (à gauche) et pourcentage d'heures de confort de l'étude de cas existante B7 (à droite).



**Figure III-28:** Économies d'énergie annuelle pour différentes combinaisons de tissus



**Figure III-29:** la performance de la masse thermique avant et après l'amélioration de l'enveloppe des bâtiments

L'auteure a proposé plusieurs stratégies conceptuelles favorisant une amélioration de la situation thermique des logements par l'intégration des solutions passives de conception comme l'inertie et l'isolation thermique. Cela a assuré une réduction de la consommation énergétique qui a arrivé à 60 % ainsi que des gains de chaleurs de 6 °C degré des températures intérieures. L'auteur a considéré que l'utilisation des matériaux de construction locaux ne convient pas avec le climat chaud et sec (ALAIEB, 2014). Les résultats obtenus de cette recherche ont permis d'établir des directives de conception favorisant la performance énergétique et le confort optimale des logements du climat chaud et sec.

### **III.4.3 Développement d'une méthode conceptuelle**

La recherche de Zaid Romani intitulé : « Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants ». L'auteur a travaillé sur la proposition d'une méthode d'aide à la conception des bâtiments neufs suivant les six zones climatiques au Maroc et pour la réhabilitation des bâtiments existants. (ROMANI, 2015)

Ce travail de recherche avait pour objectif principal le développement d'une nouvelle méthode qui mène à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation énergétique des bâtiments existants. (ROMANI, 2015)

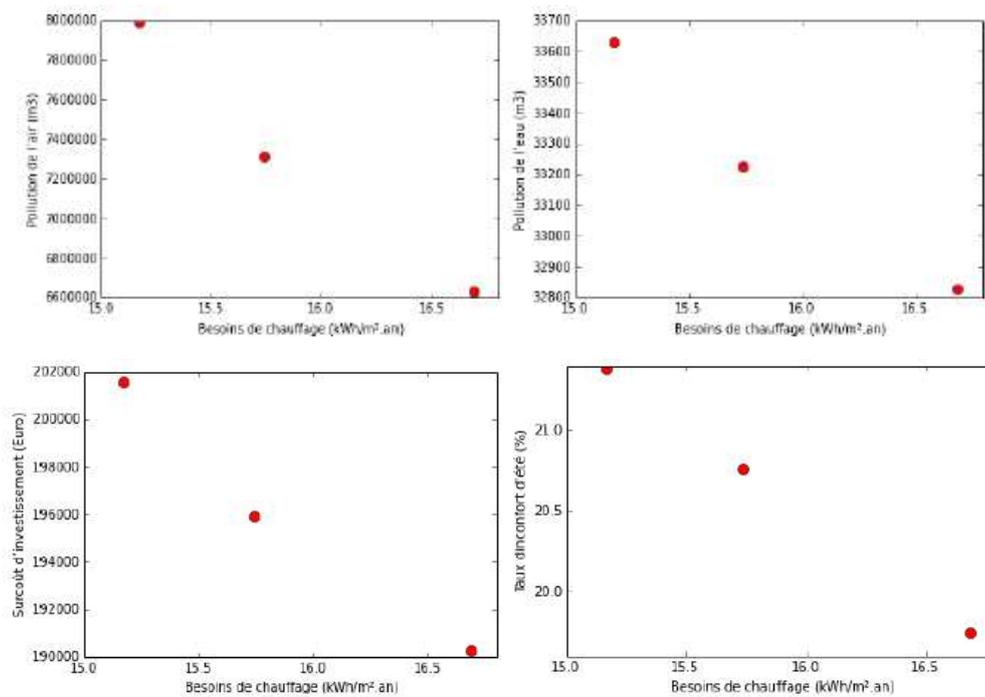
La méthodologie de ce travail favorise l'utilisation des simulations numériques par le logiciel TRNSYS et la méthode des plans d'expériences.

Afin de déterminer les solutions optimales, l'auteur a opté pour une étude d'optimisation multicritère. Trois types des critères sont retenus par cette étude afin d'assurer la réhabilitation des

Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de la méthodologie

bâtiments existants. Le groupe des critères de performance énergétique englobe le besoin de chauffage et le taux d'inconfort d'été. Les critères économiques favorisent l'évaluation du surcoût d'investissement, le coût global sur le cycle de vie et le temps de retour sur l'investissement. Bien que les critères environnementaux optent pour l'évaluation d'épuisement des ressources, le changement climatique, la pollution de l'air, la pollution de l'eau, l'énergie primaire, l'énergie procédé et la consommation d'eau totale. (ROMANI, 2015)

Dans cette partie, les résultats sont présentés sous la forme d'un front de solution non dominant qui décrit la surface de compromis et assure une aide à la décision multicritère. La figure suivante montre une projection 2D entre la demande de chauffage et d'autres critères. (ROMANI, 2015)



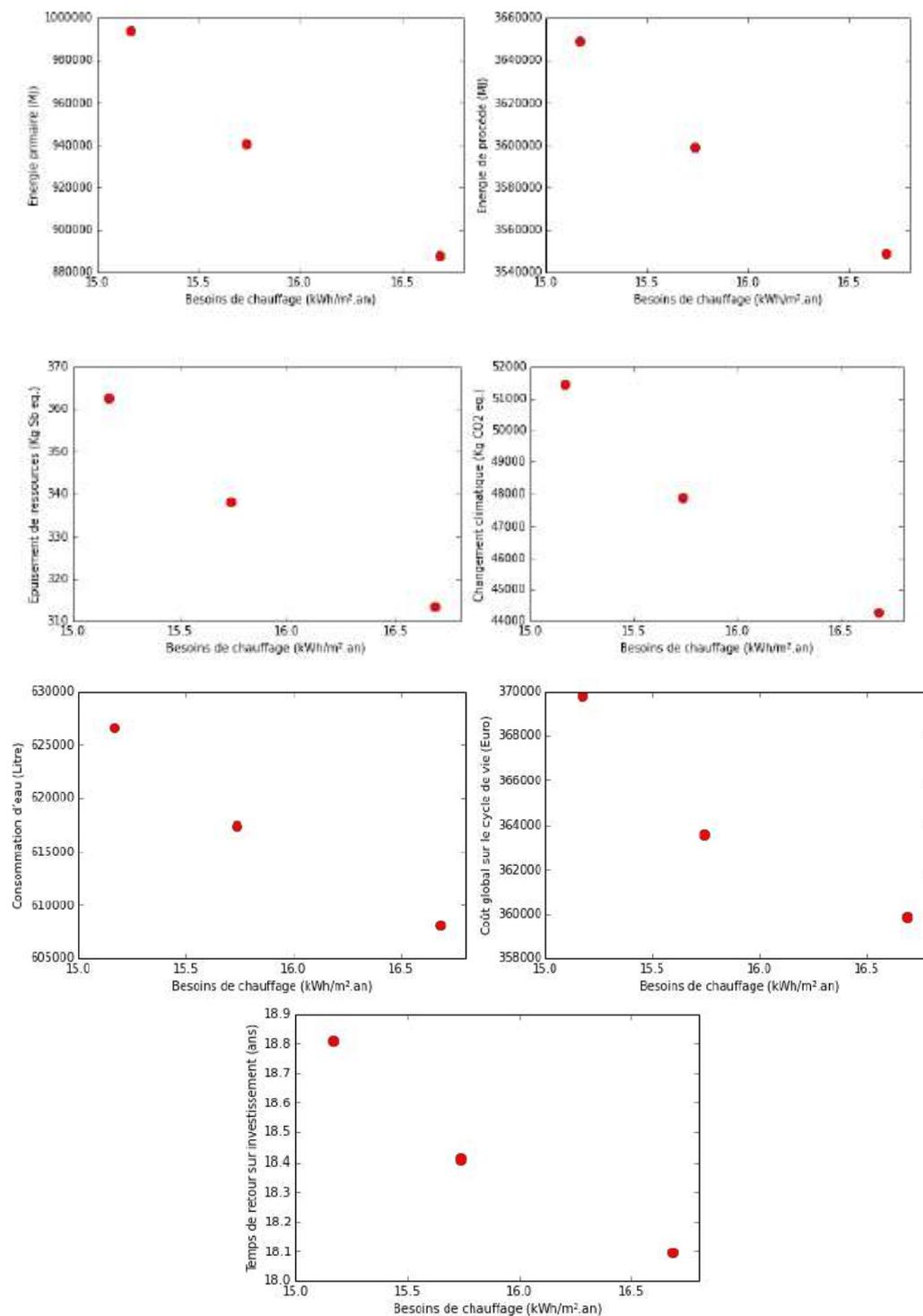


Figure III-30 : Front de Pareto entre les besoins de chauffage, le taux d'inconfort d'été, les impacts économiques et environnementaux pour la Rochelle. Source Romani 2015.

Les résultats de cette étude ont indiqué que le besoin en chauffage a été réduit d'environ 83,7 % par rapport au scénario de base pour qu'il représente 15 kWh/m<sup>2</sup>.an. Le taux d'inconfort est aussi réduit à 20 %, par rapport au cas de référence. Dans ce contexte, le bâtiment d'étude a

répondu aux exigences réglementaires, ainsi qu'aux celles des Labels MINERGIE-P et PASSIVHAUS. (ROMANI, 2015)

L'auteur a proposé une nouvelle méthode basée sur les plans d'expérience. Il s'agit des modèles polynomiaux capables de prévoir les performances énergétiques et du confort thermique adaptatif d'été, et de définir les paramètres les plus influents par de critères prédéfinis. Ce qui a permis de réaliser une étude paramétrique et de chercher les solutions optimales en dimensions multicritères pendant tout le cycle de vie du bâtiment avec une précision satisfaisante, et surtout un temps de calcul réduit et raisonnable. À cet effet, cette méthode peut représenter un outil d'aide à la décision très efficace, destiné aux acteurs du domaine de la construction. (ROMANI, 2015)

#### **III.4.4 Le confort thermique adaptatif**

Cécile Batier, par le biais de sa thèse intitulée « Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen », a pu faire ressortir l'importance de comportement des occupants pour la limitation d'inconfort surtout en été par la méthode adaptative. (BATIER, 2016)

L'auteur de ce travail de recherche a investigué en deux bâtiments afin d'étudier le confort thermique et le comportement des occupants. Un est isolé extérieurement et l'autre n'est pas. (BATIER, 2016)

La méthodologie de ce travail a favorisé l'utilisation d'une enquête à la porte afin d'évaluer la différence d'inconfort ressenti entre les deux cas d'étude. Ensuite, l'auteure a opté pour une instrumentation de l'espace de séjour de treize appartements distribués sur les deux résidences (isolée et non-isolée) pendant une année entière par l'utilisation de deux boîtiers de capteurs qu'elle a conçus et réalisés. Enfin, il s'agit de réaliser des simulations thermiques dynamique par le biais du logiciel Pléiades+COMFIE afin d'effectuer des analyses du modèle comportemental et de proposer une nouvelle conception architecturale. (BATIER, 2016)

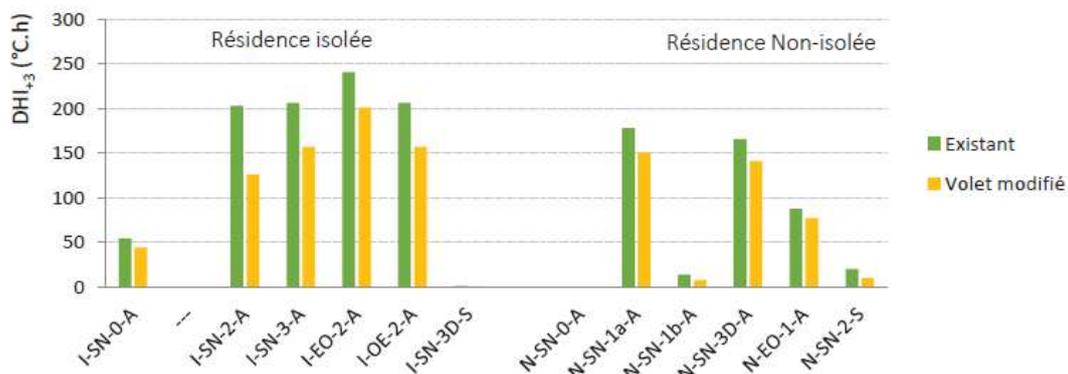


Figure III-31: impact sur le DHI+3<sup>11</sup> de la période estivale de 2014 (juin à août) du changement du type de volet. Source Batier, 2016

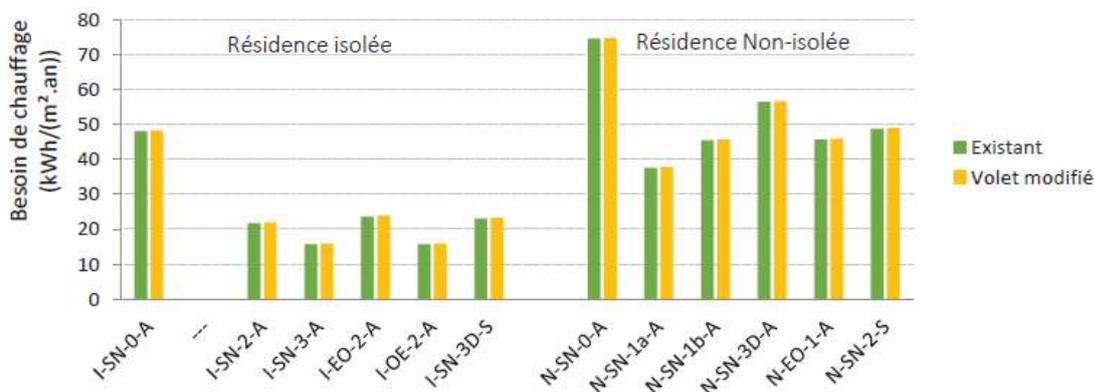
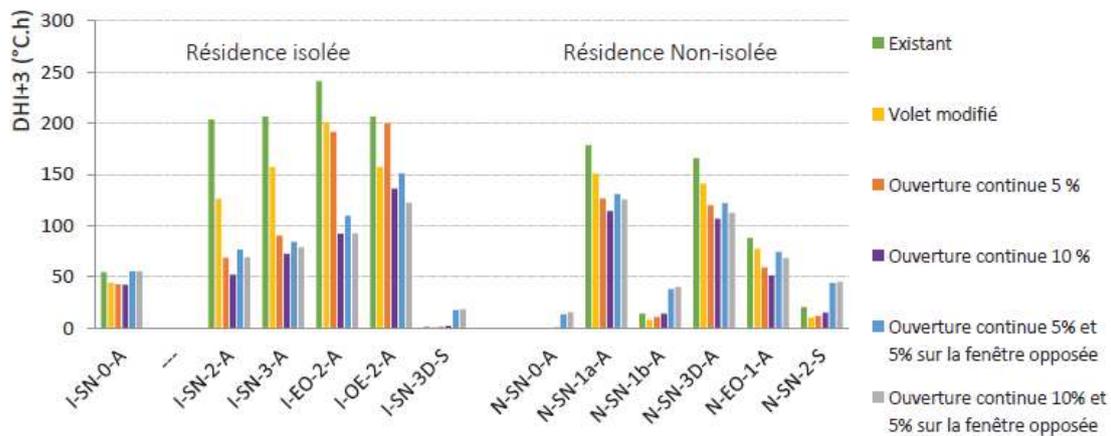


Figure III-32: Besoin de chauffage pour atteindre la température de confort minimal Tc-3<sup>12</sup> pour l'existant et pour la modification de la typologie du volet. Source Batier, 2016.

<sup>11</sup> Température de confort +3°C.

<sup>12</sup> Température de confort -3°C



**Figure III-33:** Impact sur le DHI+3<sup>13</sup> de la période estivale de 2014(juin à aout) de différentes solutions de ventilation. Source Batier, 2016;

Par le biais d'évaluation des actions des occupants sur leurs fenêtres et volets, l'auteure a mis en place trois typologies de comportement : l'occupant « expert » qui exerce des actions relatives au seuil de son inconfort, l'occupant « actif » qui met en évidence quelques actions contribuant d'une manière moins efficace et l'occupant « contre-productif » qui opte pour des mesures incompatibles avec une protection efficace de son inconfort. (Batier, 2016)

<sup>13</sup> Cumul des degré Heures d'Inconfort supérieur à Tc+3

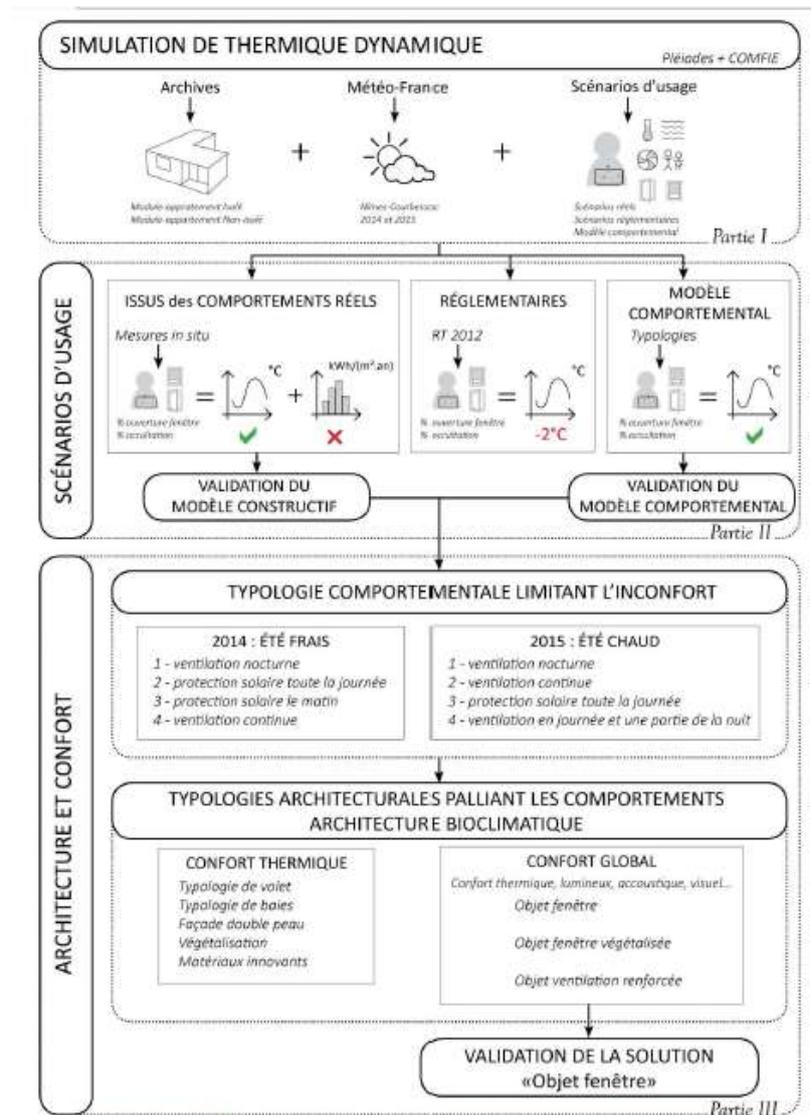


Figure III-34: Schématisation des résultats. Source Batier, 2016

À l'issue de cette recherche, l'auteure a pu définir des niveaux de confort/inconfort estimés à l'aide de la méthode adaptative. Les simulations avec les modèles comportementaux ont permis de définir les actions visant à réduire l'inconfort en fonction de la typologie de l'été. (été frais en 2014 et été chaud en 2015). En s'appuyant sur les principes de l'architecture bioclimatique et en considérant le confort (thermique, lumineux, visuel, acoustique, etc.), l'auteure a proposé trois stratégies de conception architecturale : les « objets fenêtres », les « objets fenêtres végétalisées » et les « objets ventilation renforcée ». Ces solutions indiquent que l'isolation thermique extérieure n'est pas suffisante pour assurer le confort thermique estival des usagers. (BATIER, 2016)

Cette étude a permis de proposer des stratégies de construction offrant des conditions thermiques adéquates au plus grand nombre des usagers, sans nécessité une connaissance « experte » de leur logement, et en l'absence des pratiques qu'il faut mettre en place. (BATIER, 2016)

#### **III.4.5 Discussion :**

À l'issue de la revue de la littérature inscrite dans l'axe de recherche lié au confort thermique et à l'efficacité énergétique, nous constatons que l'ensemble de recherches analysées confirme l'importance d'adopter une conception judicieuse pour optimiser la qualité thermique et énergétique du bâtiment. Il s'agit d'effectuer une étude paramétrique de l'enveloppe du bâtiment pour assurer la proposition d'une nouvelle variante conceptuelle.

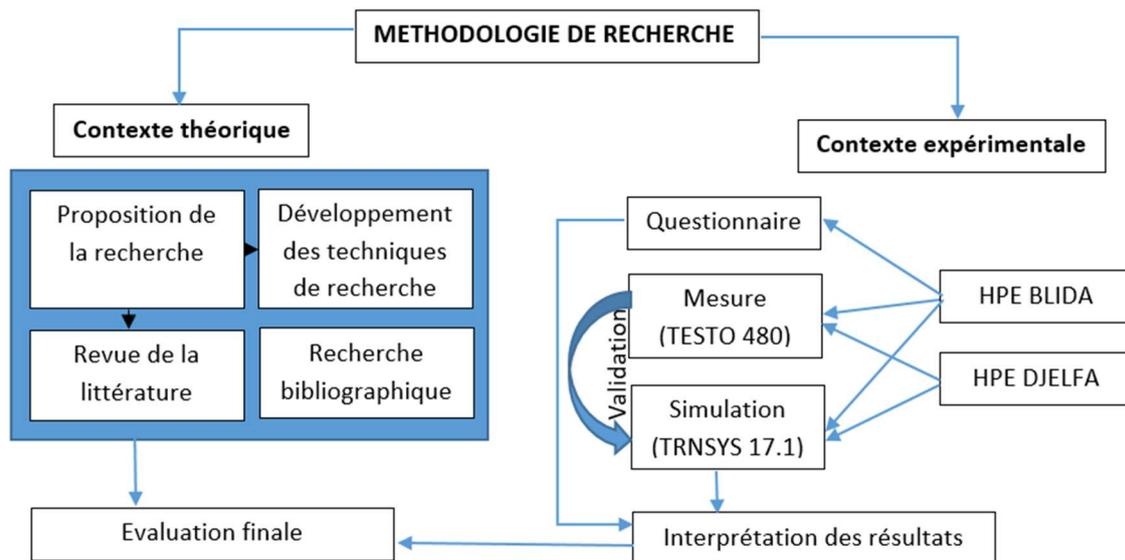
Suite aux recherches précédentes étudiées, les méthodes d'évaluation thermique et énergétique des états de lieux varient d'une étude à une autre. L'ensemble des auteurs des travaux analysés, ont opté pour une évaluation subjective par le questionnaire destiné aux usagers de bâtiments d'étude. Ce qui est suivi par une évaluation objective par une investigation in-situ. Enfin, la simulation thermique permet la proposition d'un nouveau modèle conceptuelle.

Certes, cette partie a permis de positionner notre approche méthodologique, épistémologiquement, par rapport à la revue de la littérature.

#### ***III.5 Approche méthodologique :***

Afin de répondre aux objectifs de la recherche et de tester la validité des hypothèses de recherche, notre thèse consiste à assurer une évaluation thermique et énergétique des logements en HPE par le biais d'une étude expérimentale. À cet effet, il s'agit d'une approche comparative entre le logement HPE de Blida et les logements HPE Djelfa.

Lors de la recherche bibliographique, nous avons adopté une combinaison de plusieurs techniques afin de travailler sur les deux approches d'évaluation du confort thermique ; qualitative et quantitative. La technique d'enquête est pour assurer une évaluation subjective du confort thermique, bien que les mesures et la simulation thermique sont considérées comme une évaluation objective des logements objets d'étude.



*Figure III-35 : Schématisation de la méthodologie de la recherche. Source auteure.*

### **III.5.1 L'observation**

L'observation est une technique primaire qui assure la collecte des données de la recherche. Cela est lié au site d'intervention, la description du système constructif et le caractère des occupants. À cet effet, nous avons formulé notre trajet de la recherche suite à plusieurs visites et contacts avec les occupants des deux sites d'intervention.

La combinaison entre l'outil de l'observation et le questionnaire nous a permis de comprendre la manière de réaction entre les occupants et leur bâtiment.

### **III.5.2 Le questionnaire**

Afin d'effectuer une évaluation subjective de confort thermique chez les occupants des logements de haute performance énergétique, nous avons élaboré un questionnaire. L'objectif est de tester le niveau de la conscience des occupants, de l'intérêt porté au type du projet et de savoir la manière d'intervention des occupants pour maintenir le confort thermique du logement en hiver comme en été. Ces facteurs sont nécessaires pour assurer la réussite de l'initiation de haute performance énergétique en Algérie.

Le travail d'enquête était dans les logements HPE Blida, pour des raisons de disponibilité des occupants par rapport aux logements HPE Djelfa, qui sont des logements de fonction destinée

aux travailleurs de l'hôpital. À cet effet, il s'agit d'une occupation non-permanente à l'échelle journalière ou même périodique.

D'abord, le questionnaire a été élaboré en français. Puis, on a opté pour une traduction en arabe pour qu'il soit plus compréhensible par tous les participants à l'enquête. Le choix de la méthode de l'interview est pour faciliter la tâche aux participants. On a retenu 52 questionnaires des 80 logements. Cela est dû au refus de quelques occupants de participer et l'occupation de certains logements.

Le questionnaire a été conçu en plusieurs parties principales, en commençant par les parties les plus simples au plus difficile, et du plus générale au plus spécifique. La version finale est composée de 31 questions fermées distribués sur cinq parties principales. Une dernière question est pour tester le niveau de la conscience chez les interviewés par l'importance de l'intégration du logement au développement durable. Les parties principales de l'enquête sont liées aux concepts généraux de la thèse.

Le questionnaire s'organise autour de quatre parties principales :

- Une présentation générale qui comporte les questions sur le sexe, l'âge, la situation familiale, le nombre des occupants dans le logement et l'emploi d'interviewé.
- Une présentation du logement par le biais des questions qui concernent la durée de vie de l'occupant dans le logement, la connaissance de type de logement en HPE, la spécificité de l'habitation par rapport à l'ancien et la qualité thermique et fonctionnelle de l'appartement.
- L'intégration du concept du confort thermique dans le logement par deux sous-parties, le logement en été et le logement en hiver. Chaque sous-partie se compose de six questions, sur la qualité thermique du logement dans la saison considérée, le meilleur espace thermiquement, la disposition d'un outil mécanique de rectification thermique, la stratégie de l'occupant pour réagir lorsqu'il s'agit d'une journée inconfortable. Des autres questions sont sur les procédures adoptées par l'occupant pour chauffer en hiver et de refroidir en été passivement.
- Enfin, il s'agit d'entamer le concept de la consommation énergétique qui comporte trois questions. La première concerne une comparaison entre la facture énergétique du logement et celle précédente. La plage de la facture énergétique qui représente l'objectif de la

deuxième question. Alors que la dernière question teste l'utilisation ou non des lampes basses consommations.

- Les deux dernières questions sont pour tester le niveau de conscience chez les interviewés par la notion du développement durable.

### **III.5.3 Les mesures :**

Dans le même processus d'évaluation de confort thermique, nous avons adopté la technique des mesures comme une investigation in-situ. La sélection des logements de référence des deux cas d'étude a été selon la disponibilité et la position la plus représentative. Les périodes de travail sont choisies durant les journées les plus défavorables en saison hivernale ou estivale.

#### **III.5.3.1 *Protocole de la prise des mesures***

Sur la base des prévisions météorologiques, nous avons opté pour le choix d'une semaine type pour chaque cas d'étude. Il s'agit des journées avec des données les plus défavorables durant la saison objet d'étude. ([www.météo.dz](http://www.météo.dz)). La détermination des journées finales des mesures a été influencée par plusieurs critères, la disponibilité des propriétaires des logements pour nous recevoir et la possibilité de voyager ....etc.

Les journées de mesure à Blida sont :

- De 14 à 17 janvier en hiver.
- De 28 à 30 juin en été.

Les journées de mesures à Djelfa sont :

- De 25 à 28 décembre en hiver.
- De 11 à 12 août en été.

### III.5.3.2 *L'appareillage de mesure*



*Figure III-36: les appareils de mesure, Testo 480*

L'appareillage de mesure est le TESTO 480. Il s'agit d'un anémomètre multifonction. Il se caractérise par une facilité d'utilisation et une précision des prises. ([www.testo.com](http://www.testo.com)). Notre travail consiste à évaluer les grandeurs physiques à l'intérieur et à l'extérieur, la température, l'humidité relative, les températures surfaciques des parois et de vitrage et la vitesse de l'air.

Un pré-test a été élaboré en janvier 2020 aux logements HPE Blida. Cette expérience avait un impact positif sur le bon déroulement des quatre séances des mesures finales par la maîtrise de la manipulation du matériel de mesure.

Les mesures ont été réalisées à l'ombre à 1.2 m de hauteur au milieu de la pièce. L'espace, objet d'investigation, est le séjour. La quantification des paramètres par les mesures est pour évaluer le comportement thermique des logements de référence.

La température ressentie, la température opérative est la température obtenue lors d'une moyenne de la température ambiante et les températures surfaciques selon Liébard et De Herde en 2005 par la formule :

$$T_o = \frac{T_a + T_s}{2}$$

To : température opérative.

Ta : température ambiante.

Ts : température surfacique.

À cet effet, notre travail de recherche consiste à évaluer la température opérative, comme une valeur la plus représentative du confort thermique.

L'investigation en hiver consiste à travailler dans les conditions ordinaires des occupants de l'appartement. La mise en marche du chauffage mécanique est pendant la nuit sachant que sa disposition est dans le hall d'entrée. En été, il s'agit de travailler dans des conditions naturelles sans aucune source de refroidissement mécanique.

On a opté d'appliquer les procédés passifs de chauffage et de refroidissement pendant la période des mesures. En hiver, il s'agit d'ouvrir les volets durant la journée pour bénéficier du chauffage solaire passif et de les fermer pendant la nuit pour minimiser les déperditions calorifiques. Bien qu'en été, nous avons pour l'ouverture des fenêtres durant la nuit pour assurer une ventilation nocturne qui permet de profiter de la fraîcheur d'extérieur et de fermer pendant la journée afin de limiter la pénétration des surchauffes extérieurs à l'intérieur de l'espace.

### **III.5.4 La simulation thermique**

Afin de vérifier la validité des résultats obtenus lors de l'investigation in-situ, nous avons opté pour le choix de la technique de simulation à l'aide du logiciel TRNSYS 17.1.

#### **III.5.4.1 Présentation du logiciel TRNSYS**

C'est un programme de simulation thermique dynamique de système transitoire. Depuis son apparition en 1975, ce logiciel ne cesse de se développer par le laboratoire Solar Energy de l'Université de Madison aux États-Unis. Il est caractérisé par une large utilisation dans le domaine de la recherche scientifique suite à son interface graphique simple, sa vitesse de traitement rapide et sa grande flexibilité. Le logiciel permet d'ajouter des types écrits dans des langages de programmation. D'autre part, TRNSYS facilite l'ajout des types écrit dans des langages de programmation et peut être connecté à d'autres logiciels de simulation ou applications. (TRNSYS, 2010).

TRNSYS est principalement utilisé pour la simulation thermique des bâtiments basée sur de multiples paramètres tels que la construction, les matériaux de construction et les données climatiques. Ainsi, ce logiciel offre l'évaluation des performances thermiques et énergétiques par le calcul de la température et la quantité d'énergie consommée (chauffage ou climatisation).



Figure III-37: Présentation du logiciel TRNSYS

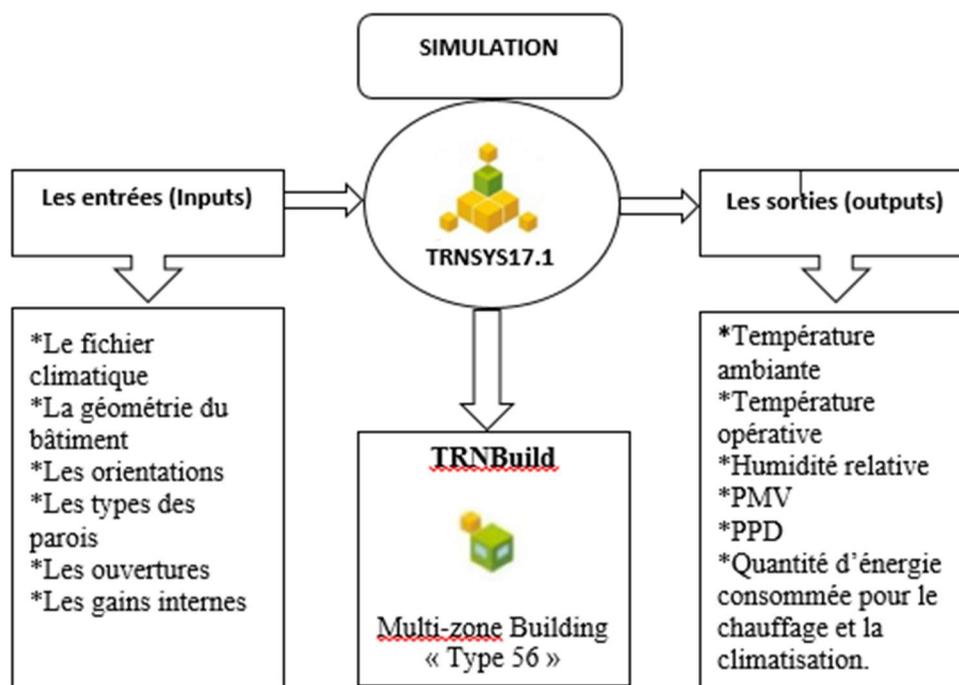


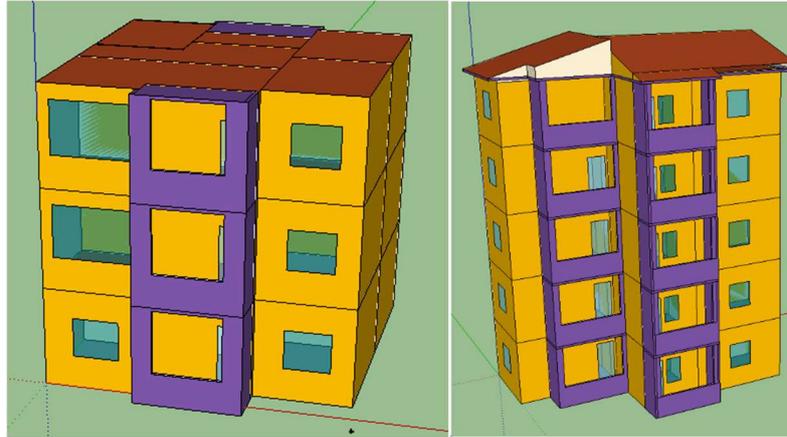
Figure III-38 : Descriptif du logiciel TRNSYS

#### III.5.4.2 Protocole de la simulation :

Afin d'assurer la simulation par le logiciel TRNSYS, il est exigeant de passer par trois étapes principales. C'est un processus qui consiste à exploiter les données liées aux sites d'intervention et aux projets d'étude pour aboutir aux résultats finals. Il s'agit d'introduire un

modèle descriptif de caractéristiques formelles et constructives des bâtiments d'étude et de générer un fichier climatique des villes d'étude. La simulation a déroulé pendant l'été 2022.

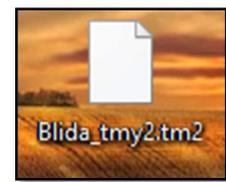
### **III.5.4.2.1 Étape 1 : la description constructive**



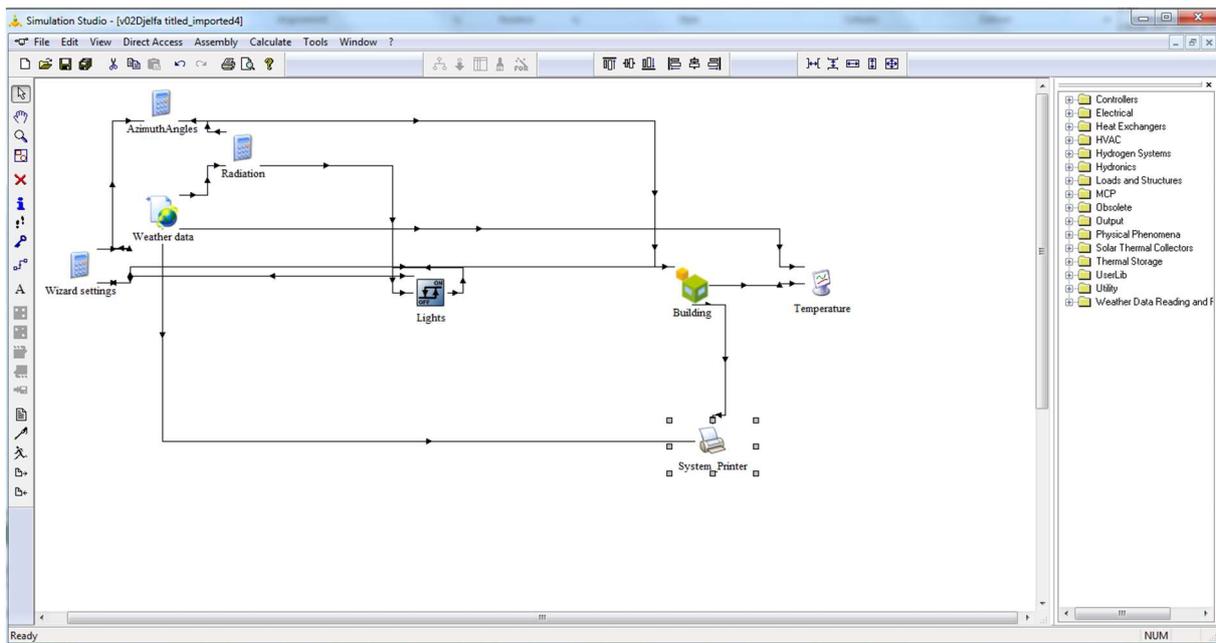
*Figure III-39 : le modèle géométrique des cas d'étude*

Par le biais d'un couplage entre le logiciel Sketchup et le plugin TRNSYS 3d, il s'agit de générer un fichier descriptif du bâtiment d'étude. Cela est par la création d'un modèle géométrique qui indique l'orientation et les dimensions du projet, les zones thermiques, la dimension et la disposition des ouvertures et les systèmes d'ombrage. À cet effet, nous avons obtenu le premier fichier avec une extension (.idf) qui va être exporté vers le logiciel TRNSYS.

D'un autre part, il s'agit d'avoir les fichiers climatiques des villes étudiées. Ces derniers ont été générés par le logiciel « Meteonorm V7.2 » au format « Tm2 » pour créer le Type 15-2 « Weather Data ». L'insertion de deux fichiers de type idf et tm2 favorise l'apparition de l'interface final de TRNSYS. (voir figure III-41)



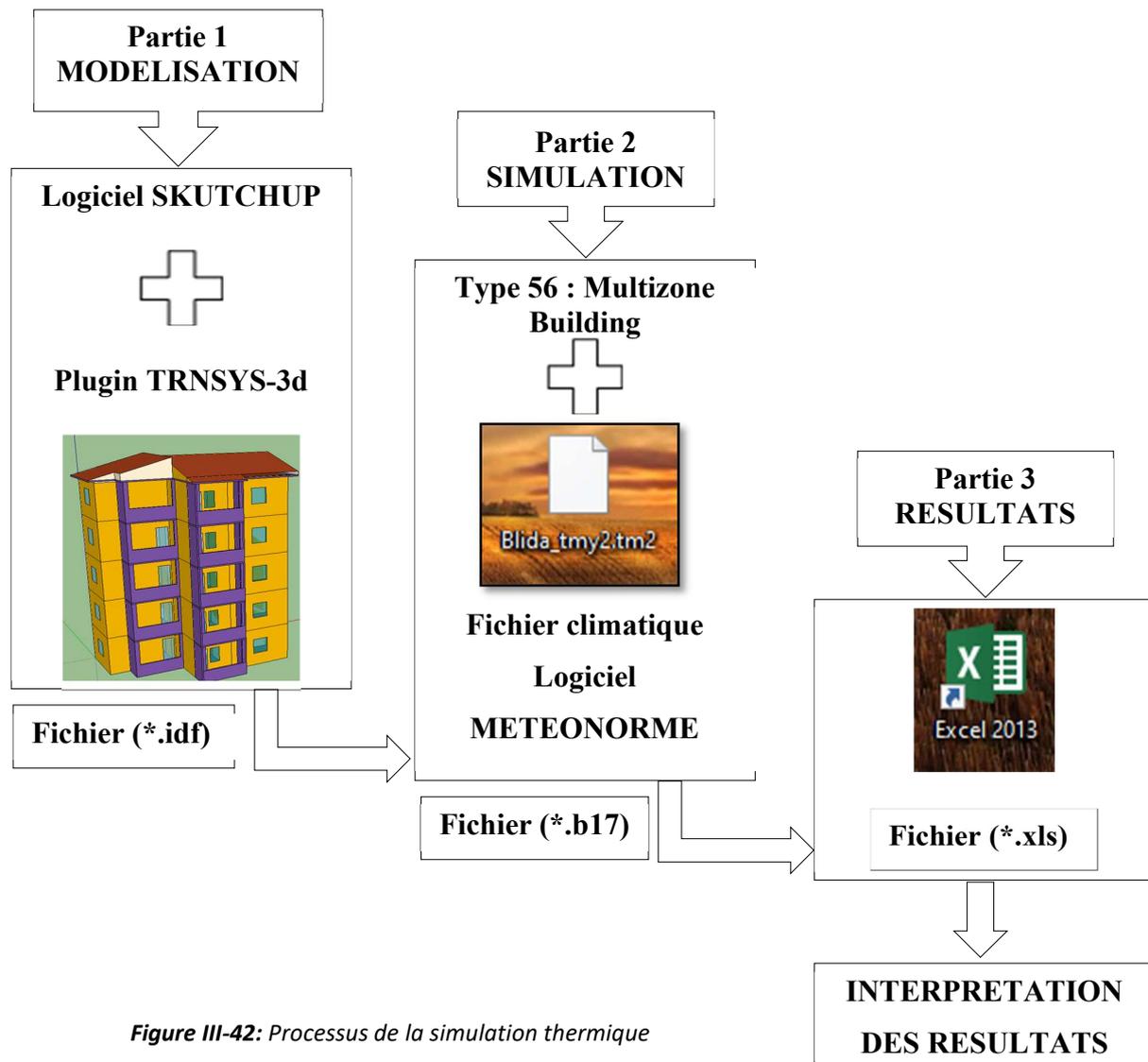
**Figure III-40 :**  
*fichier climatique*



**Figure III-41 :** *Interface du logiciel TRNSYS 17.1. Source auteure, 2022*

La partie finale du protocole de la simulation consiste à intégrer les caractéristiques constructives par TRN Build qui présente le type 56 "Multi-Zone Building". Il s'agit de définir les composants matériels et métriques des éléments de l'enveloppe thermique, et de sélectionner les entrées et les sorties de l'opération de la simulation, selon les besoins de la recherche. Cette étape favorise la génération d'un fichier de type (\*.b17). Chaque modification est suivie par une simulation pour évaluer l'impact de la variation des paramètres testés sur les outputs, et pour valider un modèle conceptuel final.

Enfin, la dernière étape de la simulation est d'exporter les résultats obtenus vers le format (.xls) pour les exploiter en tant que des fichiers Excel. Le protocole de la simulation est expliqué dans la figure III-42.



*Figure III-42: Processus de la simulation thermique*

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons opté pour une présentation hiérarchique des cas d'études du paramètre le plus générale à celui le plus spécifique. Nous avons commencé par une présentation géographique et climatique des villes d'étude, puis c'était le cadre d'étude de programme de haute performance énergétique, et enfin les projets d'étude et les logements de référence. Les deux cas d'étude sont pour réussir l'étude comparative pour effectuer une évaluation thermique et énergétique.

D'un autre part, nous avons présenté la méthodologie du travail de la thèse. Cela est par la sélection des techniques de la recherche que nous allons utiliser pour aboutir aux objectifs de cette recherche. De ce fait, ces techniques de recherche vont être présentées en détail dans les prochains

Chapitre III : Présentation des cas d'études et positionnement épistémologique de  
la méthodologie

chapitres en commençant par l'évaluation subjective de confort thermique par la méthode d'enquête.

CHAPITRE IV :

*Évaluation subjective du  
confort thermique, le  
questionnaire*

## **IV. Chapitre IV : Évaluation subjective du confort thermique, le questionnaire.**

### ***Introduction :***

Afin d'assurer une évaluation subjective des performances thermiques et énergétiques des logements HPE, nous avons opté pour un questionnaire. Cela est pour maîtriser la manière dont les occupants gèrent leurs milieux thermiques. Il s'agit, d'un autre côté, d'avoir une idée sur l'avis des habitants sur la qualité thermique des logements, et la manière d'utilisation des systèmes énergétiques. Le niveau de la conscience des occupants est un autre facteur à évaluer par le questionnaire.

La technique que nous avons choisie est l'interview directe pour faciliter la tâche aux participants de questionnaire. Ce dernier est composé de 31 questions fermées. Nous avons retenu 52 formulaires des 80 distribués.

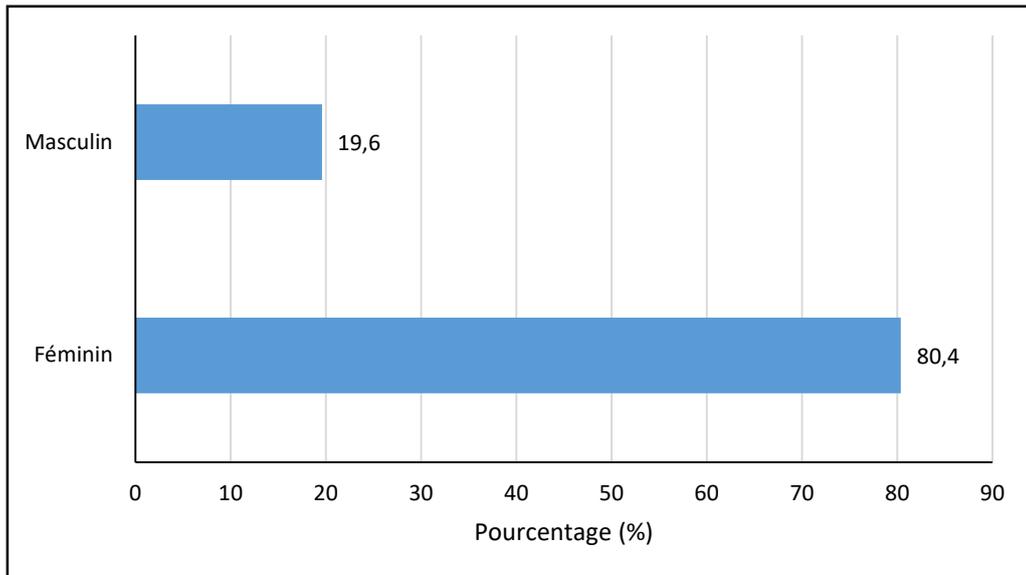
L'objectif majeur du questionnaire est de tester le niveau de conscience des occupants par la spécificité du projet HPE et l'intérêt des procédés énergétiques proposés par le maître d'ouvrage. À cet effet, nous avons essayé, par le biais des questions posées, de savoir la perception des occupants de leurs milieux thermiques, les systèmes énergétiques utilisés pour le chauffage et la climatisation et la manière d'utilisation afin de confronter l'inconfort thermique.

### ***IV.1 Les informations personnelles des occupants :***

La première partie du questionnaire consiste à présenter les caractéristiques personnelles des occupants. Il s'agit de classer les interviewés selon le sexe, l'âge, l'emploi et le nombre des occupants dans le logement.

#### **IV.1.1 Le sexe des interviewés :**

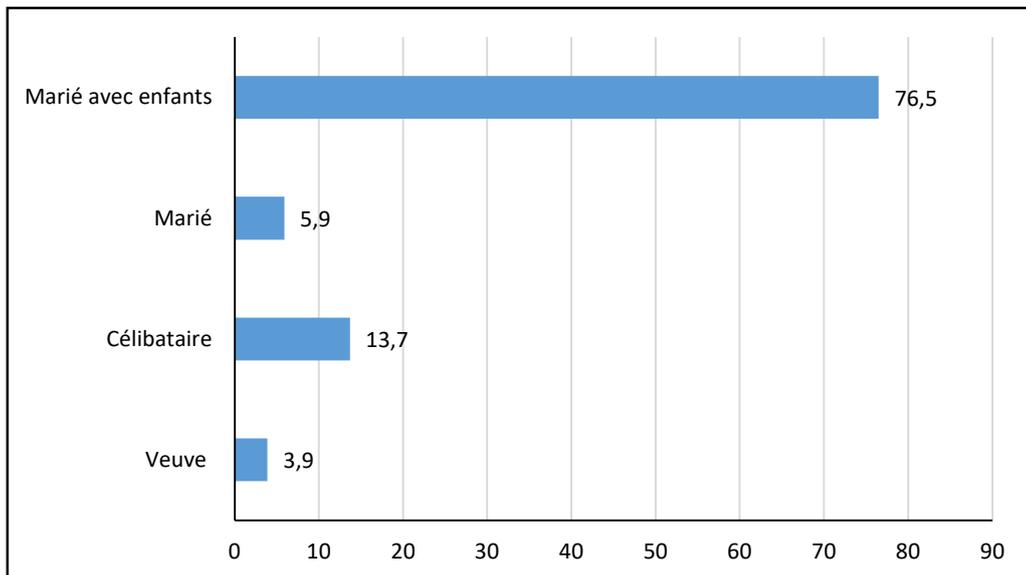
La majorité des interviewés sont de sexe féminin par un pourcentage de 80.4 %. Bien que 19.6 % sont de sexe masculin. Cela est expliqué par la disponibilité des femmes dans le foyer durant la période de l'interview.



*Figure IV-1: genre de l'échantillon. Source auteure.*

#### **IV.1.2 La situation familiale :**

La situation familiale majoritaire est celle de couples avec enfants par un pourcentage de 76.5 %. Les célibataires de l'échantillon présentent un pourcentage de 13.7 %. À cet effet, nous constatons que l'échantillon est homogène en termes de genre et de situation familiale.

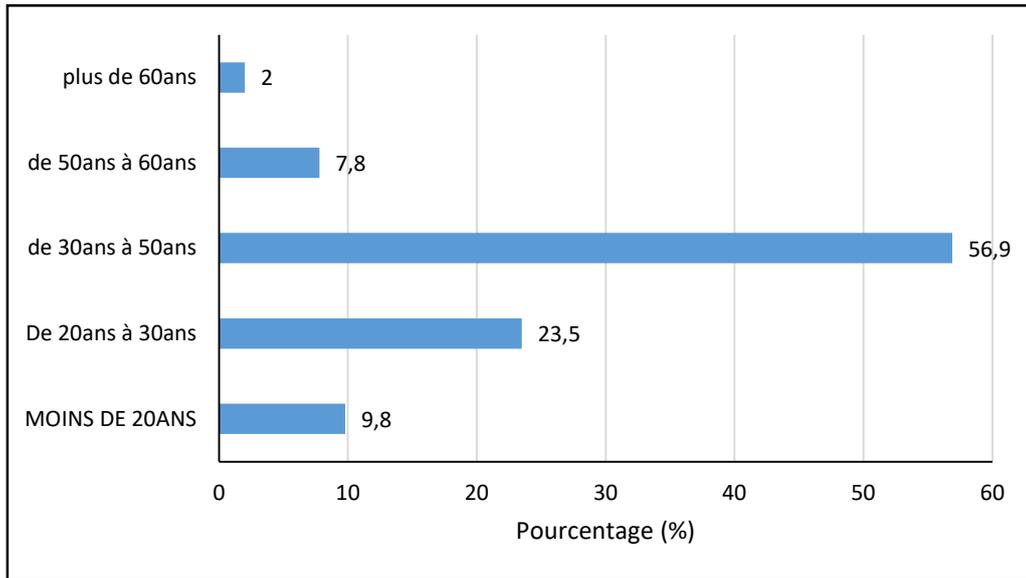


*Figure IV-2: situation familiale de l'échantillon. Source auteure.*

#### **IV.1.3 L'âge :**

La tranche d'âge majoritaire de l'échantillon est de 30 à 50 ans par un pourcentage de 56.9 %. Elle est suivie par la tranche d'âge de 20 à 30 ans par 23.5 %.

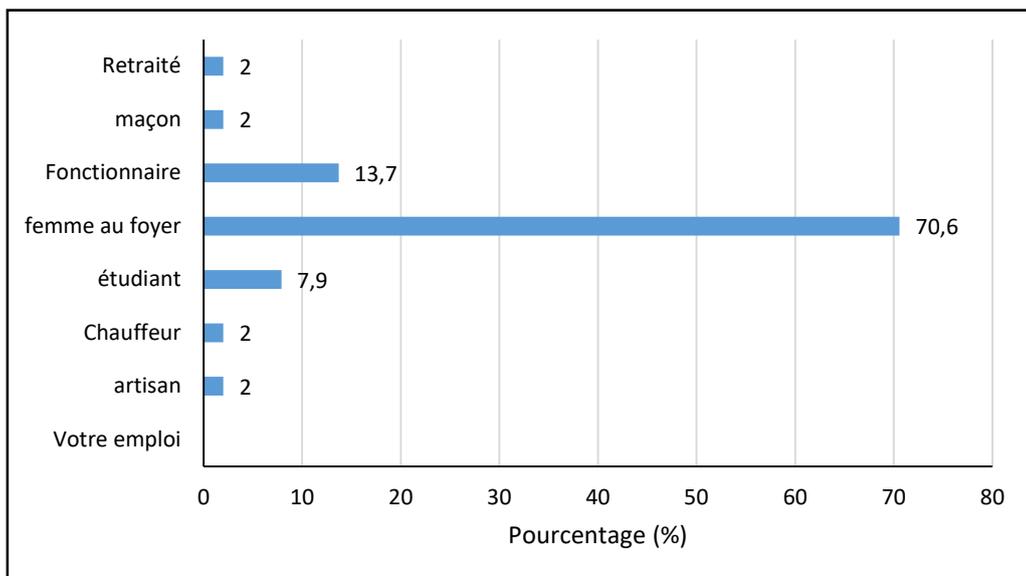
moins de 20 ans et ceux appartenant à la tranche d'âge de 50 à 60 ans, présentent un pourcentage de 9.8 % et 7.8 % respectivement.



*Figure IV-3: Catégorie d'âge de l'échantillon. Source auteure.*

#### **IV.1.4 Emploi des occupants :**

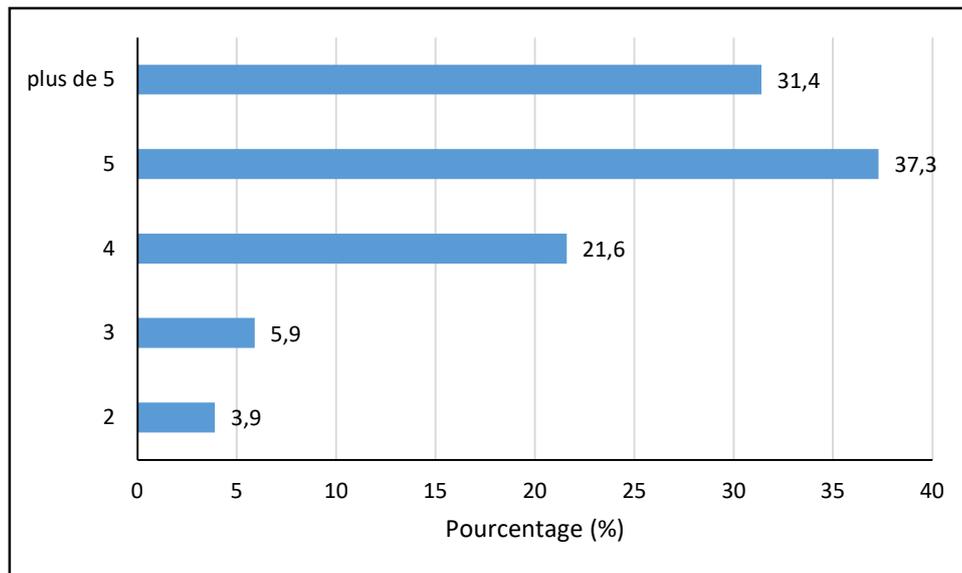
La plupart des occupants participants au questionnaire sont des femmes du foyer par un pourcentage de 70.6 %. Cela est suivi par les fonctionnaires par 13.7 % et les étudiants par 7.9 %. (voir figure IV-4).



*Figure IV-4: Emploi des interviewés. Source auteure.*

#### **IV.1.5 Nombre d'occupants :**

Le nombre des occupants dans le logement est un facteur très important qui influence la qualité thermique des logements. Il s'agit d'une information utile pour la réalisation de la simulation thermique plus tard. Le résultat du questionnaire indique que le nombre de 5 personnes par logement présente une valeur majoritaire par un pourcentage de 37.3 %. Elle est suivie par des familles qui dépassent les 5 personnes par logement qui représentent 31.4 %. À cet effet, nous constatons que l'échantillon des interviewés est composé, en majorité, par des familles nombreuses.



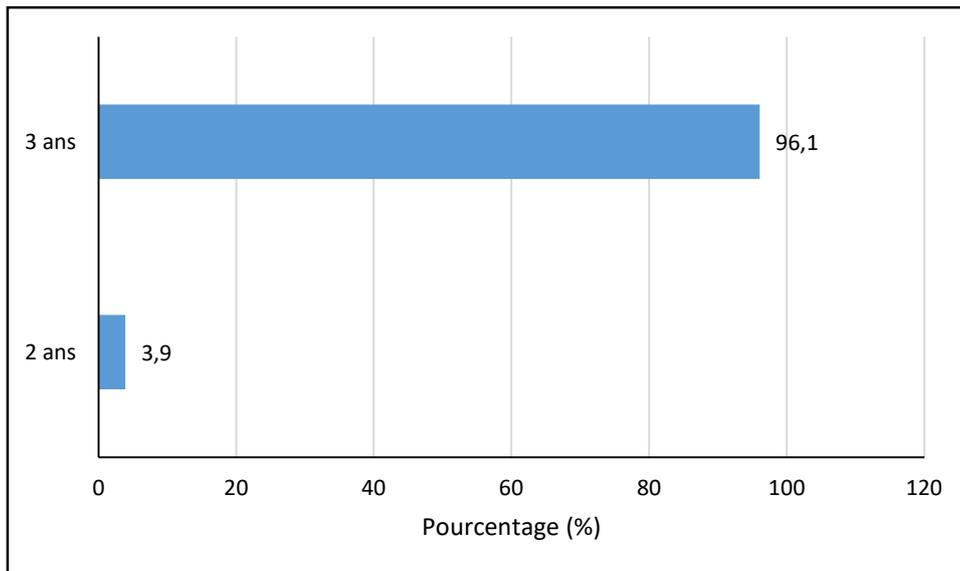
*Figure IV-5: Nombre des occupants dans le logement. Source auteure.*

Suite aux résultats des caractéristiques personnelles des occupants participants aux questionnaires, nous avons constaté que l'échantillon a des spécificités majoritaires. Il s'agit des femmes au foyer avec une tranche d'âge de 20 à 50 ans. Elles sont mariées avec enfants avec une occupation qui dépasse les quatre personnes par logements.

#### ***IV.2 Les caractéristiques du logement :***

Cette partie des questions consistent à étudier la relation entre les occupants et leur logement. Il s'agit de poser des questions qui concernent la période d'occupation du logement, la conscience par le type du logement, l'avis de l'occupant sur la qualité du logement et le niveau de satisfaction thermique.

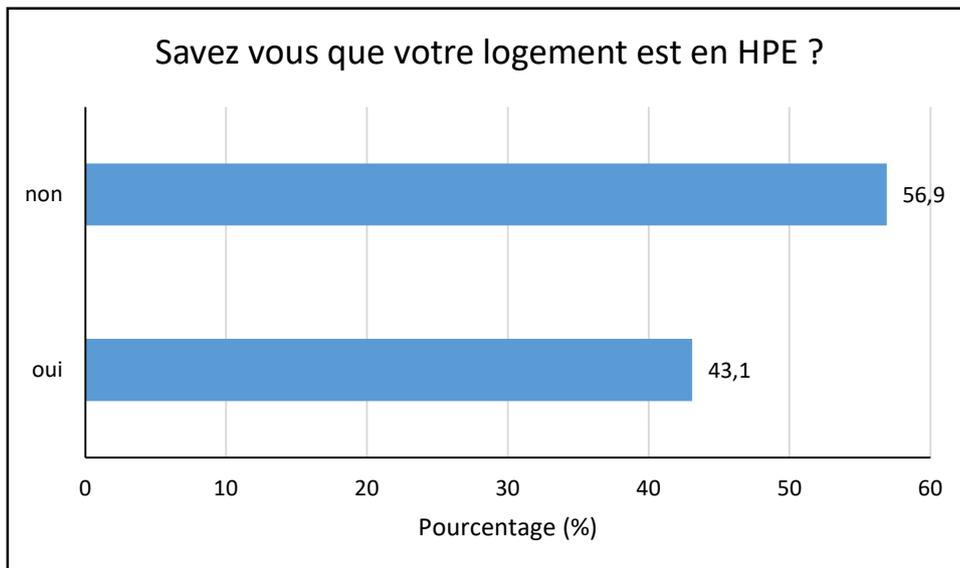
### **IV.2.1 La période d'occupation du logement :**



*Figure IV-6: Période d'occupation du logement. Source auteure*

La période d'occupation du logement est importante vu que l'occupant a passé plusieurs saisons successives, il aura la possibilité d'avoir une perception des conditions thermiques de son logement. 96.1 % des interviewés résident dans leur logement depuis trois ans. À cet effet, ce résultat est un point fort pour la réussite du questionnaire.

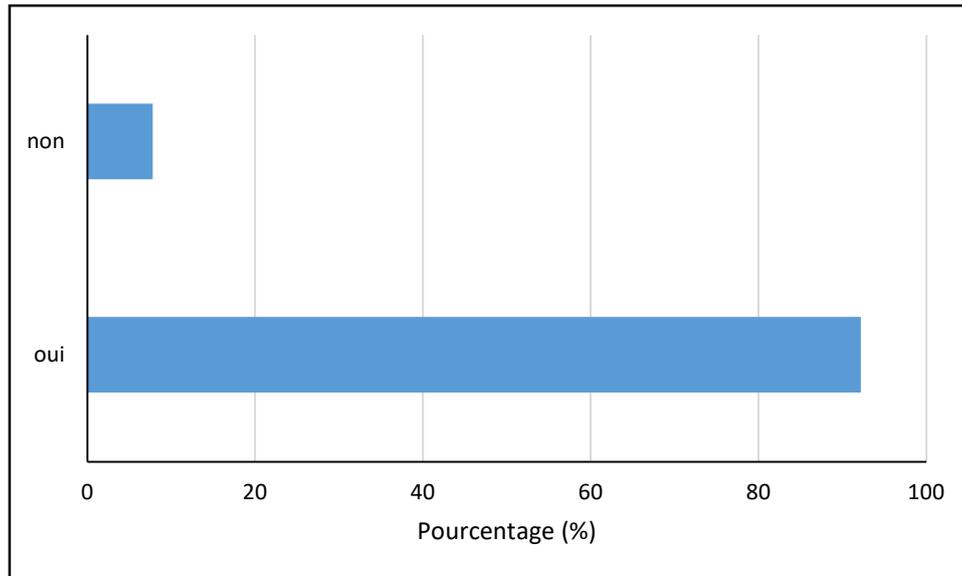
### **IV.2.2 Conscience par le type du logement :**



*Figure IV-7: conscience par le type du logement. Source auteure.*

Cette question qui concerne le type du logement et le niveau de la conscience chez l'occupant. Le résultat indique que 56.9 % ne savent pas que son logement est de type HPE. Bien que 43.1 % ont l'information. Ce résultat favorise un obstacle de réussite du programme Eco-Bât. L'intervention du facteur occupant est primordiale pour la mise en valeur des procédés thermiques et énergétiques proposés par les responsables du projet de haute performance énergétique.

### **IV.2.3 Avis de l'occupant sur la qualité du logement :**



**Figure IV-8:** Avis de l'occupant sur la qualité du logement. Source auteure.

L'ensemble des interviewés ont constaté que leur logement est mieux que l'ancien sachant que la plupart des occupants sont originaires des périphéries rurales de la ville. Ils résidaient en cohabitation. Donc l'amélioration, suite à une discussion avec les habitants, est liée à plusieurs critères dont on estime que la qualité thermique y appartient.

#### IV.2.4 La saison de l'année la plus agréable :

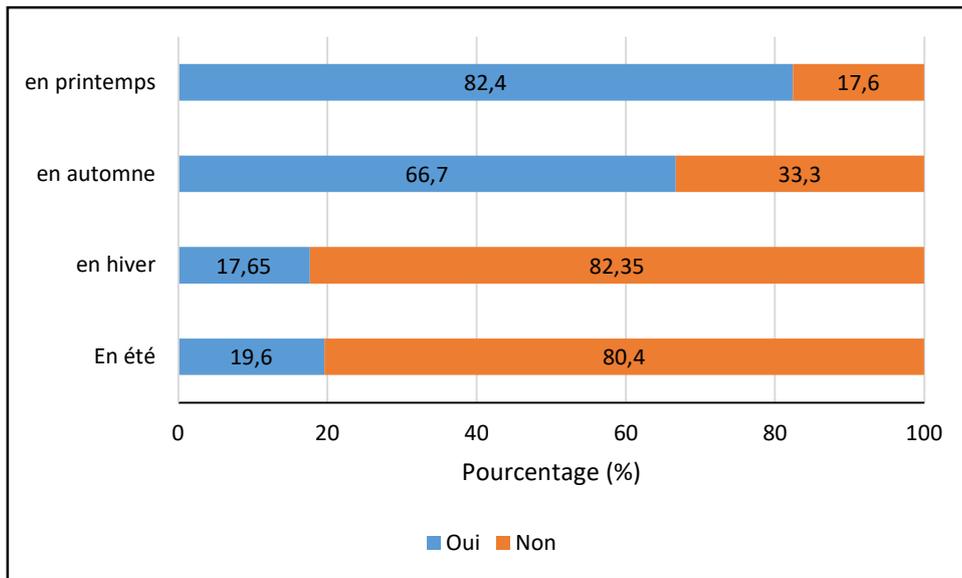


Figure IV-9: La période de l'année où le logement est agréable thermiquement. Source auteure.

La figure IV-9 présente l'ensemble des réponses des interviewés sur la période de l'année où le logement est agréable thermiquement. Les occupants confirment que les saisons du printemps et d'automne sont les plus confortables par des taux de satisfaction de 82.4 % et 66.7 % respectivement. Alors que l'hiver et l'été sont plus désagréables thermiquement par des taux de satisfaction minimaux qui sont 17.65 % et 19.6 % respectivement.

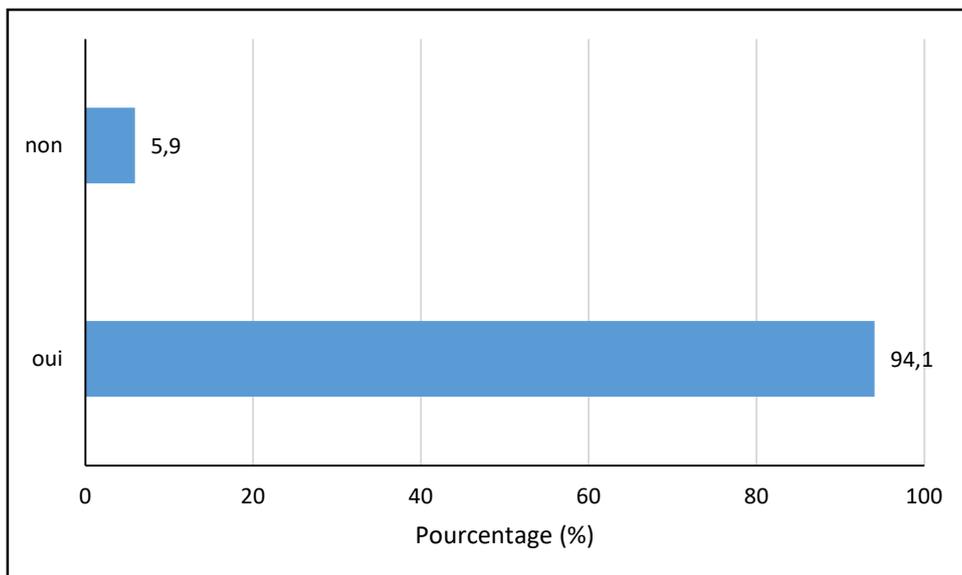


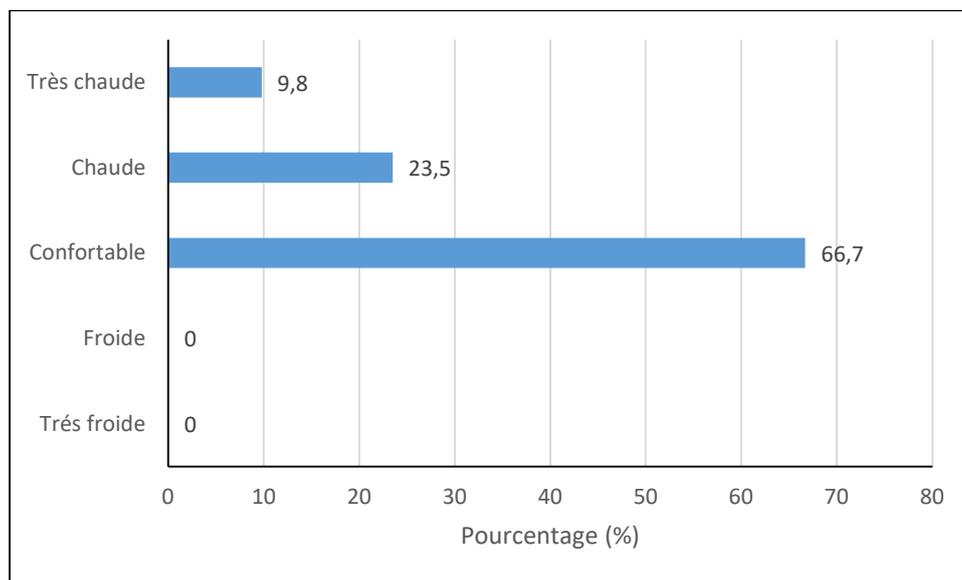
Figure IV-10: Avis de l'occupant sur le fonctionnement du logement. Source auteure.

#### **IV.2.5 La satisfaction du fonctionnement du logement :**

Cette question concerne l'avis des occupants par l'agencement des espaces dans le plan architectural. La majorité des réponses confirment leur satisfaction du fonctionnement du logement. Bien que 5.9 % ont un autre avis sur la qualité.

#### **IV.3 L'état thermique du logement en été :**

La figure ci-dessous illustre le niveau de la perception des occupants de l'espace thermique. La question concerne les sensations des interviewés dans des conditions naturelles sans aucune source de refroidissement mécanique.



**Figure IV-11:** Perception des occupants de l'espace thermique. Source auteure.

Le résultat de cette question indique que 66.7 % des occupants sont satisfaits de l'état thermique de leurs logements. Bien que 23.5 % considèrent que le logement est chaud. 9.8% des interviewés mentionnent que la situation thermique est très chaude. Cela est expliqué par la situation montagnaise des logements et l'abondance des courants d'air intérieur lié à la vitesse excessive des vents dominants sachant que pendant la période estivale les conditions météorologiques extérieures varient entre des moments à températures modérés et des phases de pique de chaleur. À cet effet, nous constatons que cette différenciation entre les avis des occupants est liée essentiellement à des spécificités personnelles et environnementales.

### IV.3.1 Le meilleur espace thermique en été :

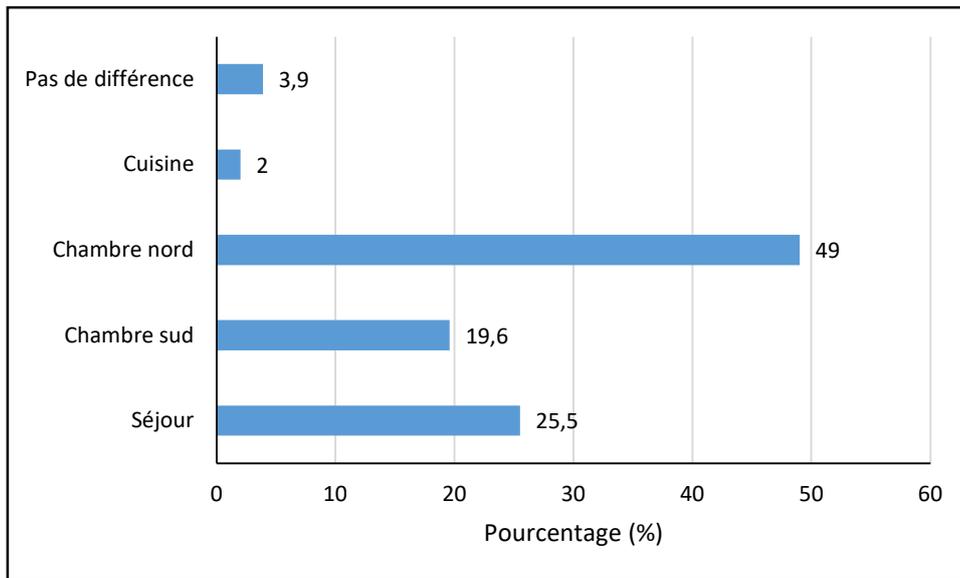


Figure IV-12: Le meilleur espace thermiquement en été. Source auteure.

Selon l'avis de 49 % des résidents du projet HPE, le meilleur espace, thermiquement, est la chambre nord. Cela est lié à l'absence des rayons solaires directs de ce côté. D'un autre côté, 25.5 % des interviewés ont considéré que le séjour est l'espace le plus confortable. Alors que 19.6 % ont choisi la chambre sud. Cette variété du choix est liée essentiellement à la qualité thermique de chaque espace.

### IV.3.2 Disposition du climatiseur :

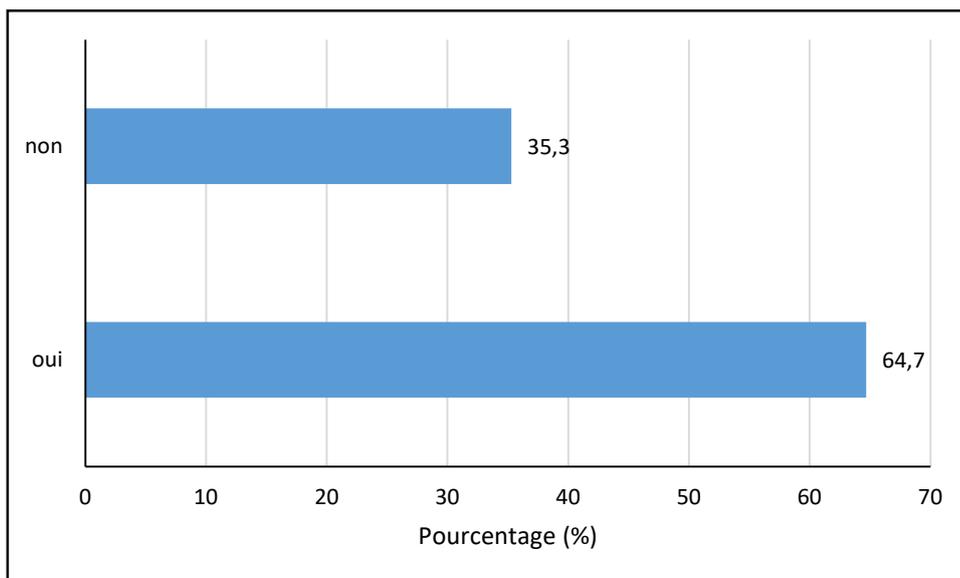
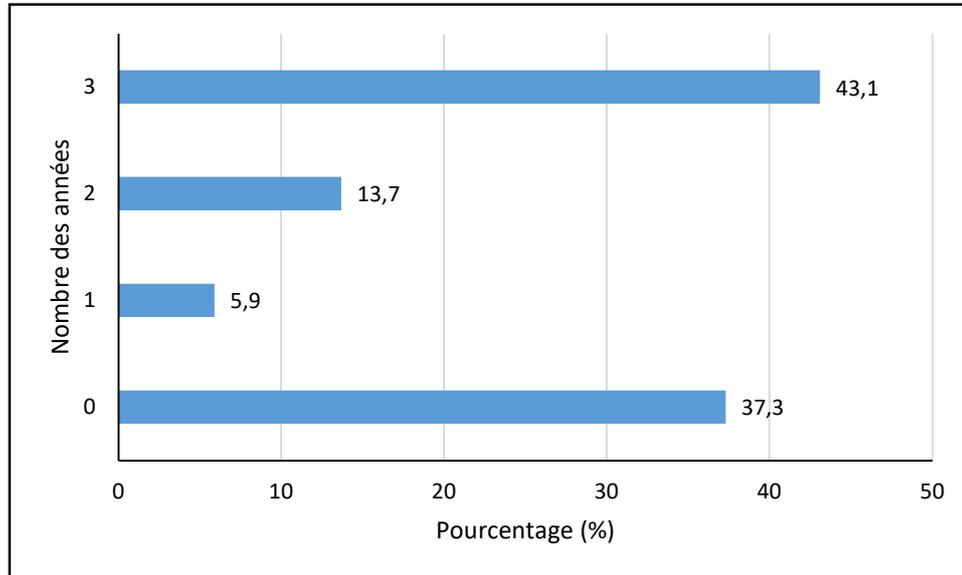


Figure IV-13: Disposition du climatiseur. Source auteure.

Deux tiers des interviewés disposent du climatiseur. L'absence de l'outil mécanique de refroidissement chez 35.3 % est liée essentiellement à des causes budgétaires et non pour une satisfaction thermique.

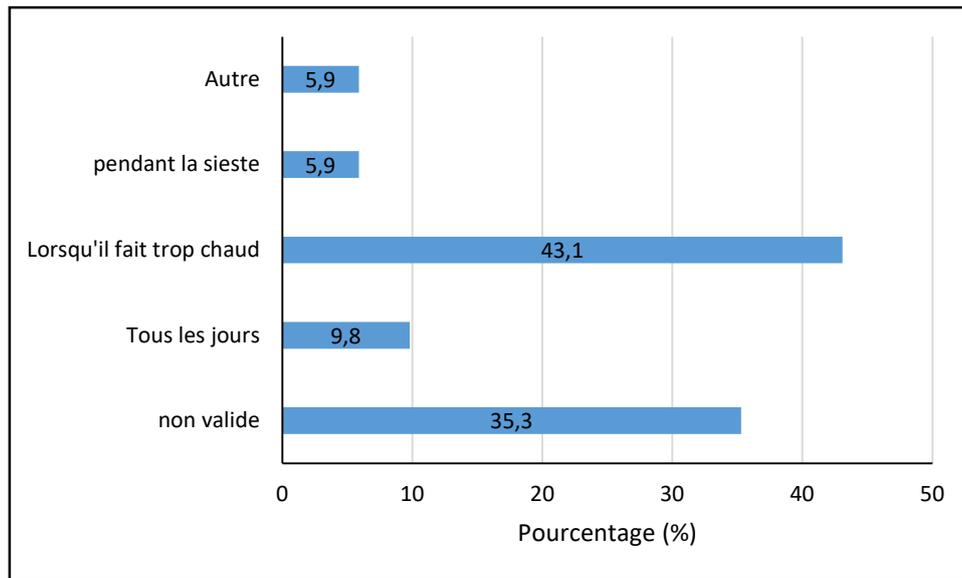
### **IV.3.3 Durée de la disposition du climatiseur :**



**Figure IV-14:** *Durée de la disposition du climatiseur. Source auteure.*

43.1 % des interviewés disposent d'un climatiseur depuis la date d'occupation du logement sans tester le niveau du confort estival. Tandis que 13.7 % l'ont placé depuis deux ans et 5.9 % l'ont placé depuis un an. À cet effet, nous constatons que le refroidissement mécanique devient une obligation dans les logements algériens sans aucune prise en considération du type de foyer.

#### **IV.3.4 La fréquence d'utilisation du climatiseur :**



**Figure IV-15:** La fréquence d'utilisation du climatiseur. Source l'auteure.

La mise en marche du climatiseur est lorsqu'il fait chaud pour 43.1 % des habitants interviewés. Cela reflète un bon raisonnement et favorise une économie de la consommation énergétique. Alors que 15.7 % déclarent que le refroidissement mécanique est quotidiennement dont 5.9 % l'utilise pendant la sieste et le reste l'allume durant tous les jours. Cette catégorie favorise une surconsommation énergétique fatale et contredit les objectifs du projet de la haute performance énergétique. À cet effet, nous considérant que la satisfaction thermique est liée essentiellement à des caractéristiques climatiques et météorologiques du milieu extérieur d'un côté et à des considérations personnelles d'un autre côté.

### IV.3.5 La période d'ouvrir les fenêtres :

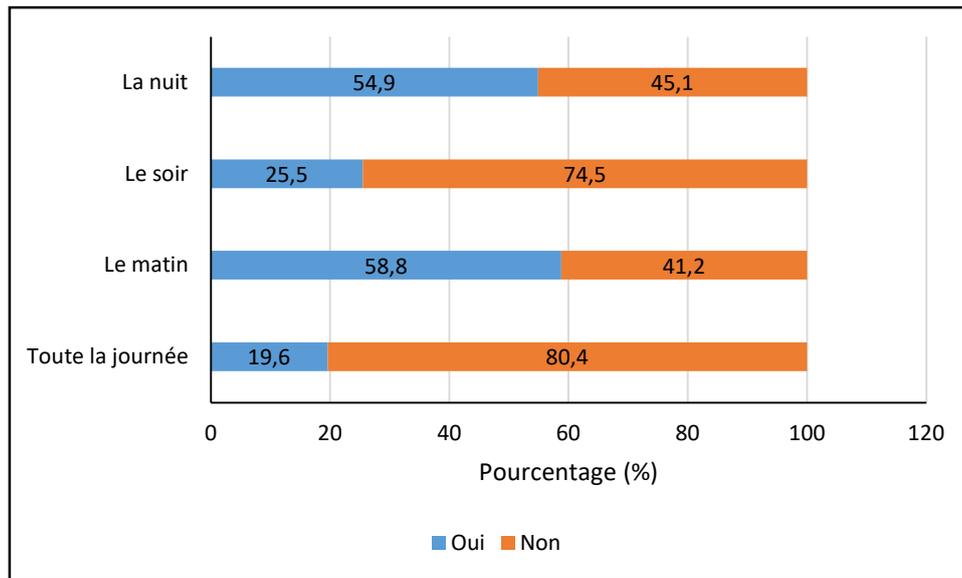


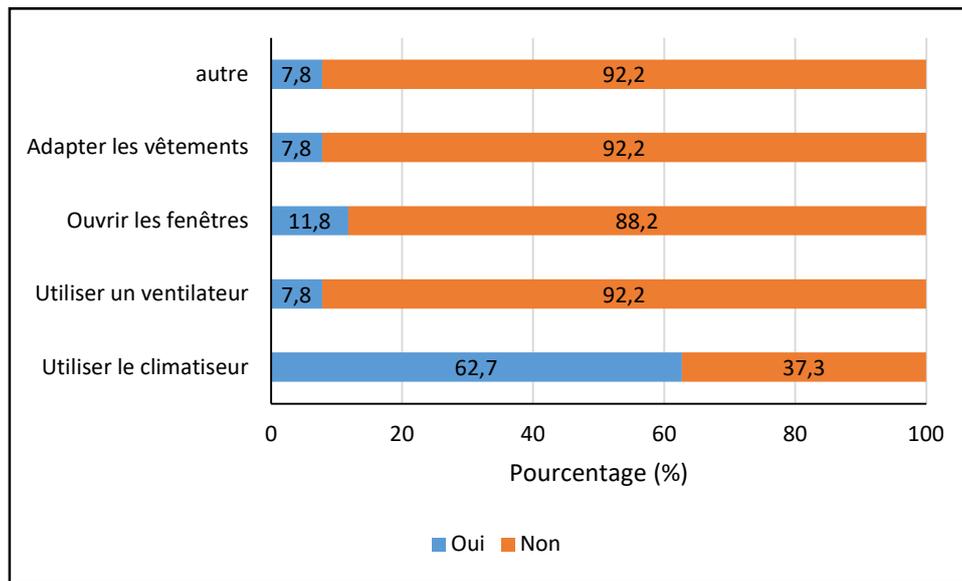
Figure IV-16: La période d'ouvrir les fenêtres. Source auteure

L'ouverture du logement pendant la période nocturne afin de dissiper la chaleur accumulée durant la journée et pour bénéficier de la fraîcheur de la nuit est primordiale pour régulariser la qualité thermique du logement. Dans ce contexte, nous avons posé la question sur la période d'ouvrir en été. Les réponses sont variées selon le critère de chaque occupant. 58.8 % des habitants interviewés confirment que l'ouverture est pendant le matin. Alors que 54.9 % déclarent qu'ils ouvrent pendant la nuit. D'un autre côté, 25.5 % ouvrent en soir. 19.6 % laissent les fenêtres ouvertes pendant toute la journée. À cet effet, nous constatons que la conscience par la manière de gérer l'ouverture et la fermeture des fenêtres a un impact direct la qualité thermique du logement.

### IV.3.6 La réaction lorsqu'il s'agit d'une journée chaude :

La dernière question traitant l'état thermique du logement en été consiste à savoir comment les occupants interviennent lorsqu'il s'agit d'une journée chaude. La majorité des réponses, par un pourcentage de 62.7 %, réagissent par le déclenchement du climatiseur sans aucune prise en considération d'autres critères de refroidissement passif. Ce pourcentage représente les occupants qui disposent d'un climatiseur. 11.8 % des occupants ont choisi l'ouverture des fenêtres pour améliorer la situation thermique. Cette solution n'est pas efficace durant toute la journée. Le reste des solutions qui sont choisies par 7.8 % pour chacune concerne les gens qui ne disposent pas d'un climatiseur. À cet effet, nous constatons que la disponibilité du climatiseur limite le recours à d'autres solutions moins efficaces thermiquement. L'absence de conscience par l'intérêt des

solutions passives de refroidissement augmente le recours aux outils mécaniques de rafraîchissement, en tant qu'une solution rapide et efficace, mais malheureusement, énergivore.



**Figure IV-17 :** la réaction des occupants lorsqu'il s'agit d'une journée très chaude. Source auteure.

L'analyse des résultats de la qualité thermique du logement en été, montre que la majorité des occupants déclarent que leurs logements sont acceptables thermiquement en choisissant la chambre nord en tant qu'un meilleur espace thermiquement. Cela est normal pour un climat doux. Lorsqu'il s'agit d'utilisation d'outil mécanique de refroidissement, l'occupant est considéré inactif thermiquement vu le recours majoritaire au climatiseur lorsqu'il s'agit d'une pique de chaleur, sans prise en considération d'autres solutions passives de refroidissement.

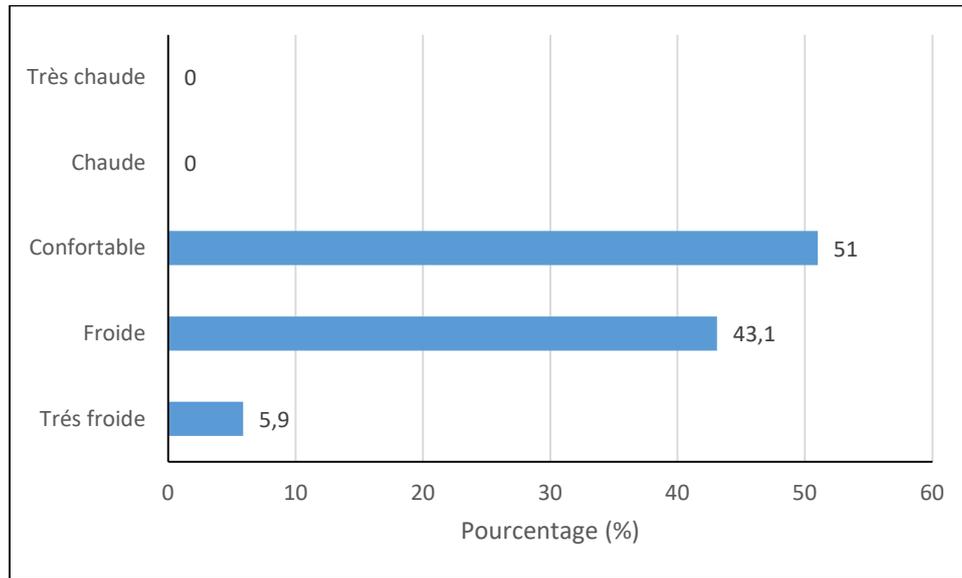
#### ***IV.4 Le logement en hiver :***

La troisième partie du questionnaire concerne la qualité thermique du logement en hiver. Il s'agit de savoir la perception des occupants de leurs milieux thermiques durant la saison hivernale tout en vérifiant leurs niveaux de conscience par l'intérêt de contribuer à l'amélioration du confort thermique d'une manière passive.

##### **IV.4.1 L'état thermique du logement en hiver :**

La figure ci-dessous illustre le niveau des sensations thermique des habitants interviewés pendant l'hiver dans des conditions thermiques naturels. Les réponses varient entre confortable par 51 % et froide par 43.1 %. Cette différenciation est liée essentiellement à des critères personnelles, environnementaux en plus des sensations thermiques. Un pourcentage de 5.9 % des

occupants représente une réaction par des sensations de très froide. À cet effet, nous constatons que le comportement thermique des occupants influence leur perception du milieu thermique.



*Figure IV-18: l'état thermique du logement en hiver. Source auteure.*

#### **IV.4.2 Le meilleur espace thermiquement en hiver :**

Les interviewés déclarent que le meilleur espace, thermiquement, en hiver est la chambre sud par un pourcentage de 49 %. Ce résultat est suivi par le choix de la chambre nord par 23.5 %. Alors que 5.9 % des interviewés considèrent que le séjour est le meilleur espace, thermiquement. Cela représente des résultats contradictoires et illogiques suite à l'intérêt thermique du séjour par rapport à la chambre nord. À cet effet, nous constatons que les occupants ont pris en considération d'autres critères en plus du chauffage solaire passif, comme la fréquence d'utilisation de l'espace et son emplacement par rapport au chauffage mécanique.

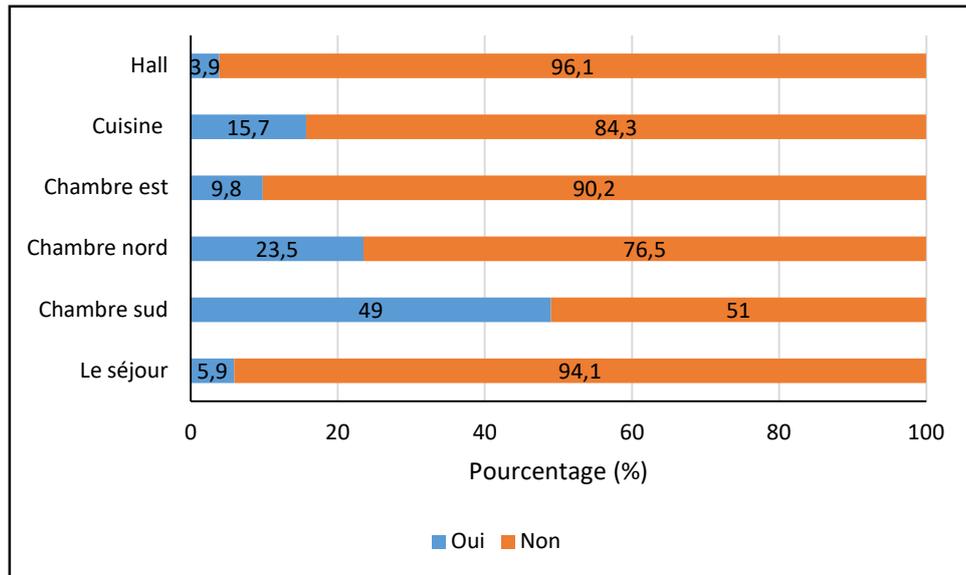


Figure IV-19: Le meilleur espace thermiquement en hiver. Source auteure.

#### IV.4.3 Disposition d'un chauffage :

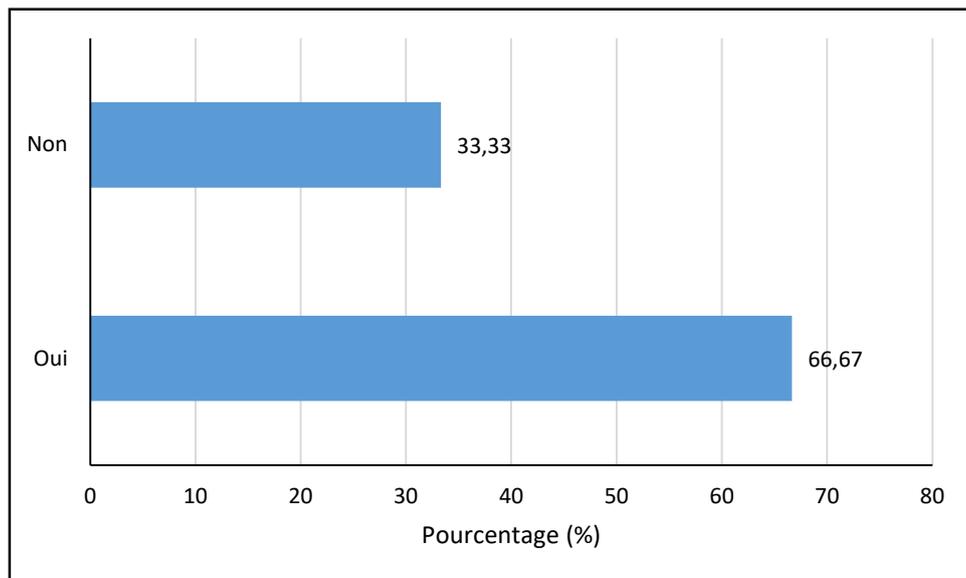
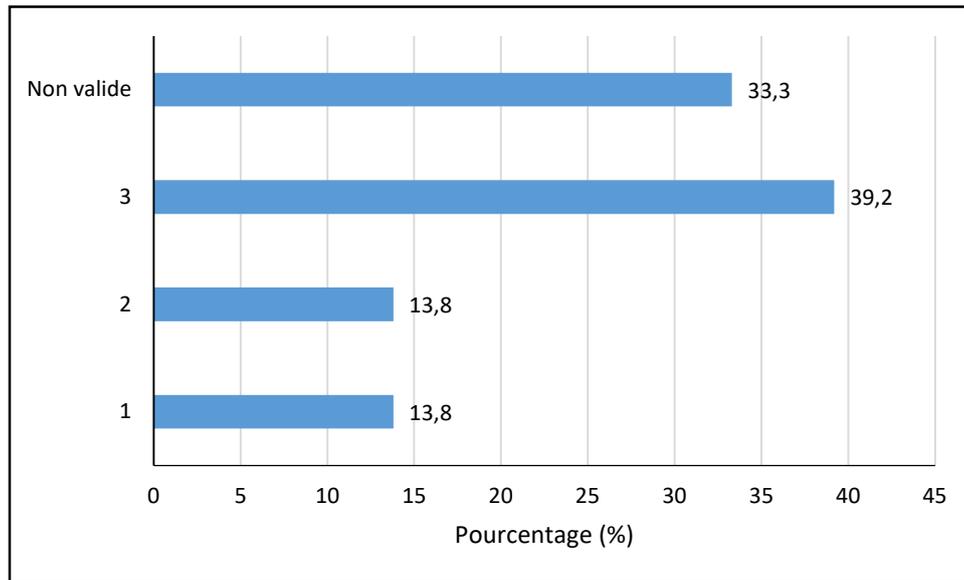


Figure IV-20: Disponibilité du chauffage chez les occupants. Source auteure

66.67 % des occupants disposent d'un chauffage dans leur foyer. Alors que 33.33 % n'ont pas la possibilité budgétaire d'en avoir.

#### **IV.4.4 La période d'emplacement du chauffage :**



*Figure IV-21: La période d'emplacement du chauffage. Source auteur*

La figure IV-21 illustre la durée d'emplacement du chauffage. 39.2 % des occupants ont eu leur chauffage depuis l'occupation du logement. Alors que 13.8 % l'ont placé depuis deux ans et 13.8 % l'ont obtenu depuis un an. Cette progression d'emplacement du chauffage est liée essentiellement aux revenus budgétaires plus qu'au besoin de l'amélioration thermique du logement.

#### IV.4.5 La fréquence d'utilisation du chauffage :

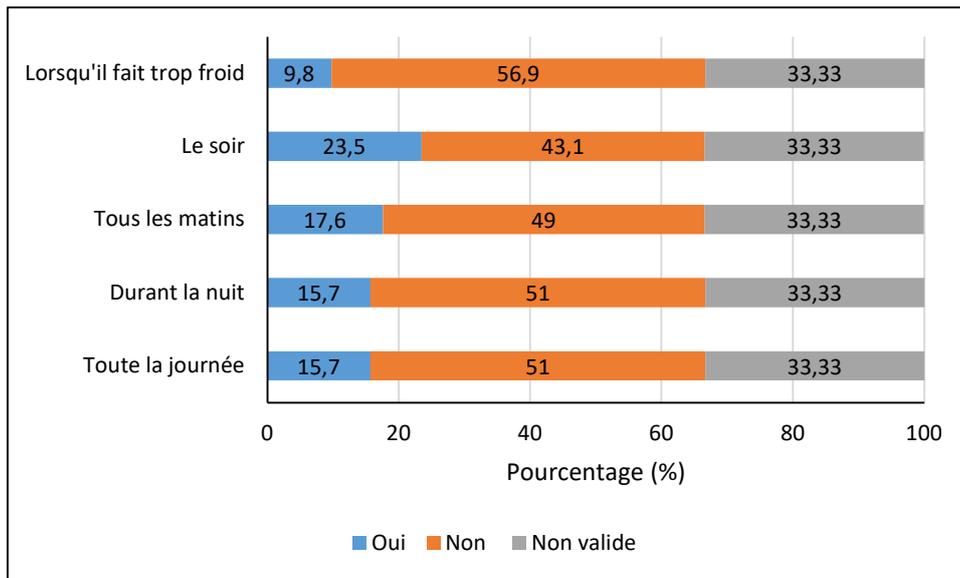
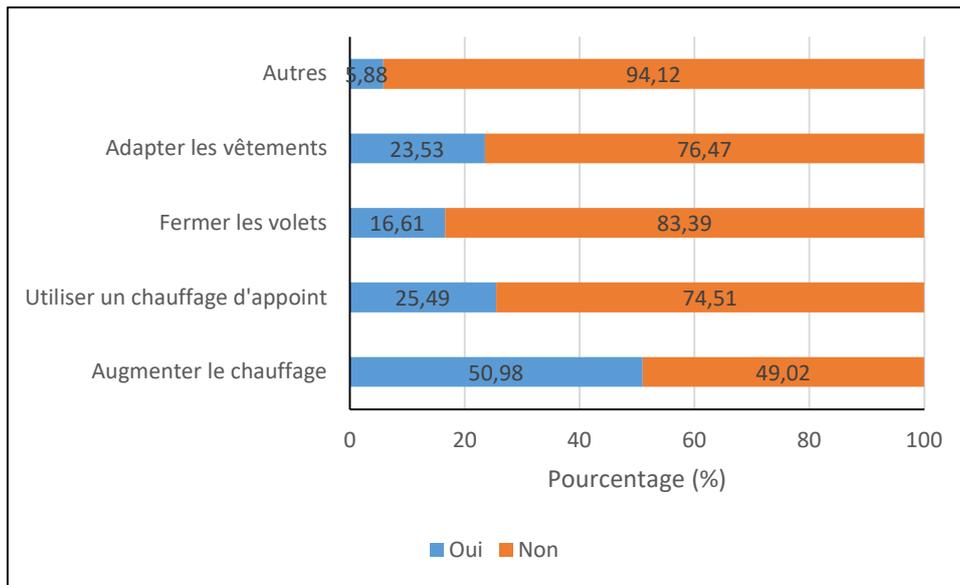


Figure IV-22: La fréquence d'utilisation du chauffage. Source auteure.

La fréquence d'utilisation du chauffage mécanique varie d'une personne à l'autre. La majorité des réponses indiquaient une utilisation quotidienne. 23.5 % des occupants interviewés déclarent qu'ils le mettent en marche en soir et 17.6 % l'allument pendant les matins. Alors que 15.7 % l'utilisent durant la nuit, et 15.7 % le mettent en marche pendant toute la journée. À cet effet, nous constatons que l'utilisation du chauffage mécanique est quotidienne pour la plupart des personnes interrogées.

#### **IV.4.6 La réaction d'occupant lorsqu'il s'agit d'une journée froide :**



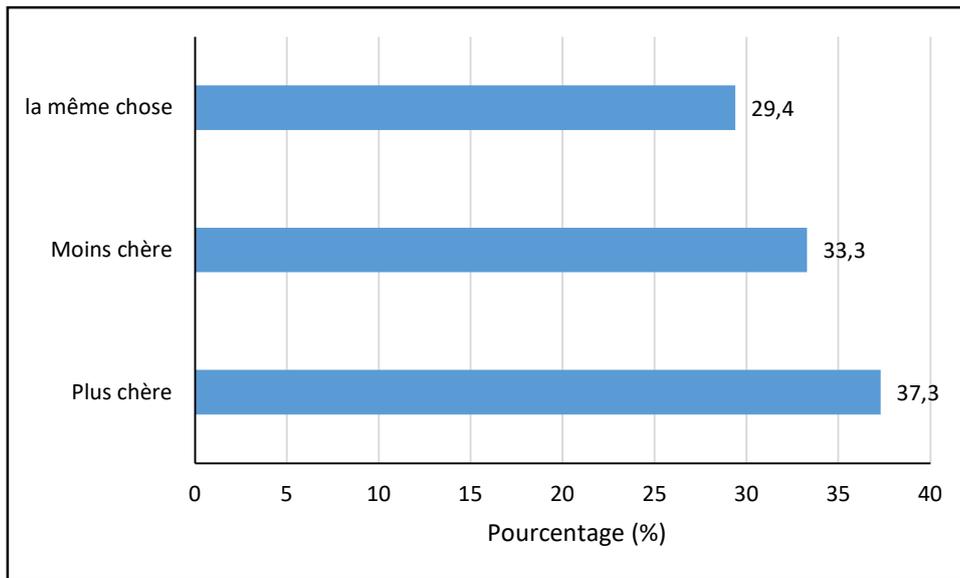
**Figure IV-23:** La réaction d'occupant lorsqu'il s'agit d'une journée froide. Source auteure.

La figure IV-23 illustre la réaction des occupants lorsqu'il s'agit d'une journée trop froide. La majorité des réponses s'orientent vers l'augmentation du chauffage, et 25.49 % utilisent un chauffage d'appoint. Alors que 23.53 % des interviewés optent pour l'adaptation des vêtements et la fermeture des volets comme des solutions passives de chauffage par 23.53 % et 16.61 % respectivement.

#### ***IV.5 La consommation énergétique :***

La consommation énergétique est un autre critère à évaluer subjectivement. Une consommation excessive favorise un occupant non-conscient et inactif. Les questions proposées dans cette partie sont pour évaluer la manière dont les occupants gèrent leur consommation énergétique.

#### **IV.5.1 Évaluation de votre facture par rapport à votre ancien logement :**



**Figure IV-24:** Évaluation de la facture énergétique par rapport à l'ancien logement. Source auteure.

La figure ci-dessus illustre l'évaluation de la facture énergétique du logement HPE par rapport à l'ancien foyer d'occupant. Les réponses varient entre, plus chère, par 37.3 % ; moins chère, avec 33.3 % et, la même chose, par 29.4 %. Les résultats obtenus reflètent la contribution des autres critères à la définition de la facture énergétique comme la surface du logement, le nombre et le type des équipements, le nombre des habitants dans le logement...etc. À cet effet, nous constatons que cette question n'offre pas l'information exacte relative à la consommation énergétique.

### IV.5.2 Utilisation des lampes basses consommation :

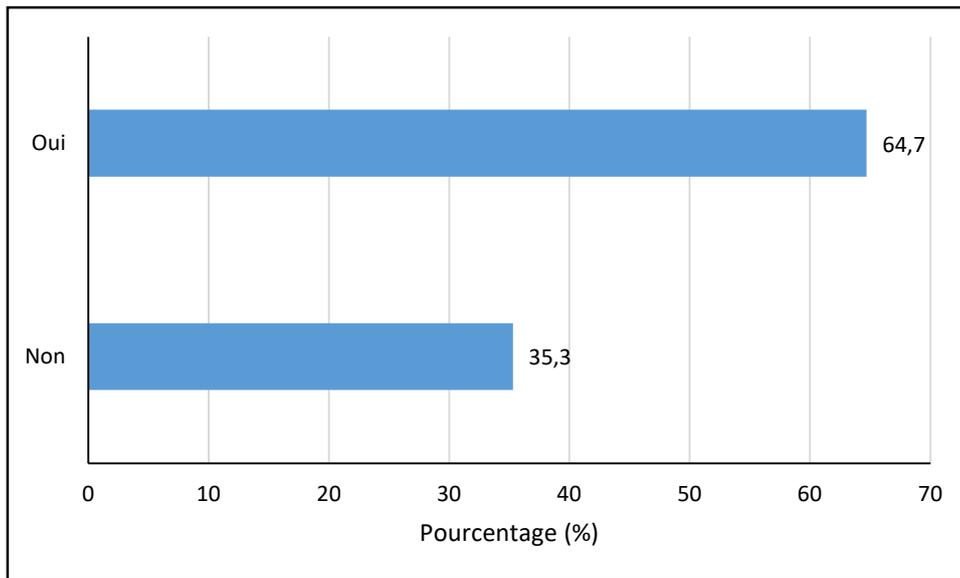


Figure IV-25: L'utilisation des lampes basses consommation ou non. Source auteure.

Cette question est relative à l'utilisation des lampes basses consommation ou non. Les réponses majoritaires optent pour l'utilisation de ce type des lampes bien que le reste des réponses utilisent des lampes ordinaires sachant que les logements ont été équipés par des lampes basse consommation. À cet effet, le niveau budgétaire des usagers accompagné par l'absence de conscience influence le choix des équipements.

### IV.5.3 Facture de la consommation énergétique :

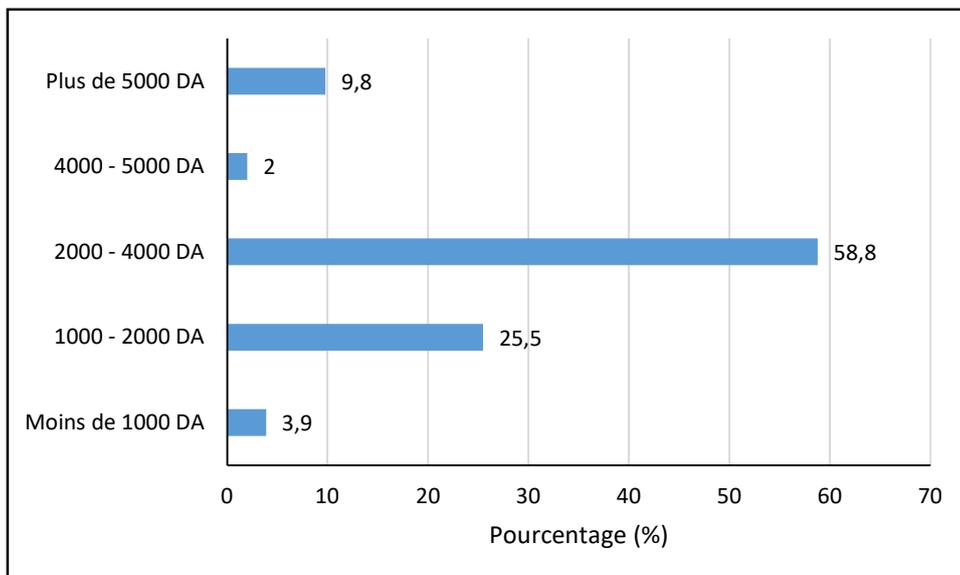
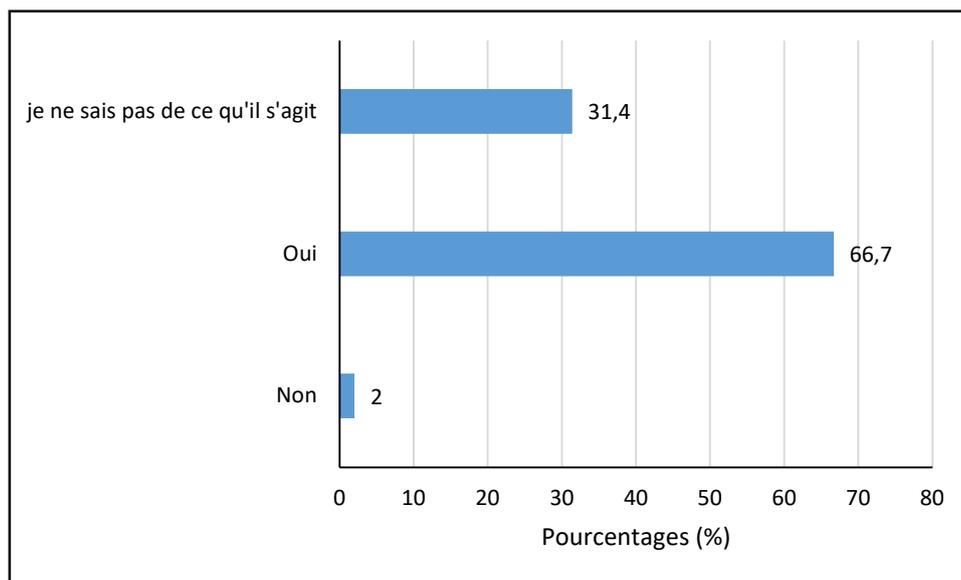


Figure IV-26: Facture de la consommation énergétique. Source auteure.

La facture de la consommation énergétique est le meilleur indicateur qui reflète la quantité d'énergie consommée. 58.8% des personnes interrogées ont déclaré qu'elles ont une facture d'une valeur comprise entre 2000 et 4000 dinars algériens. Alors que la facture de 1000 à 2000 DA a été choisie par 25.5 % des usagers. En troisième position, la consommation, qui dépasse les 5000 DA, représente un pourcentage de 9.8 %. En reliant cette question à la précédente, relatives à la disponibilité d'outils mécaniques de chauffage et de refroidissement, on peut diviser les factures énergétiques en deux parties. Les factures inférieures de 2000 DA, représentant un pourcentage de 29.4 %, porte le pourcentage des résidents dépourvus d'équipements mécaniques de chauffage et de climatisation à 33.33 % et 35.3 % respectivement (voir questions IV-13 et IV-20). Tandis que les factures dépassants les 2000 DA représentent les occupants qui disposent des outils mécaniques de rectification thermique. À cet effet, nous constatons que les outils mécaniques de chauffage et de climatisation favorisent une augmentation de la consommation énergétique et la manière d'utilisation fait la différence de la consommation.

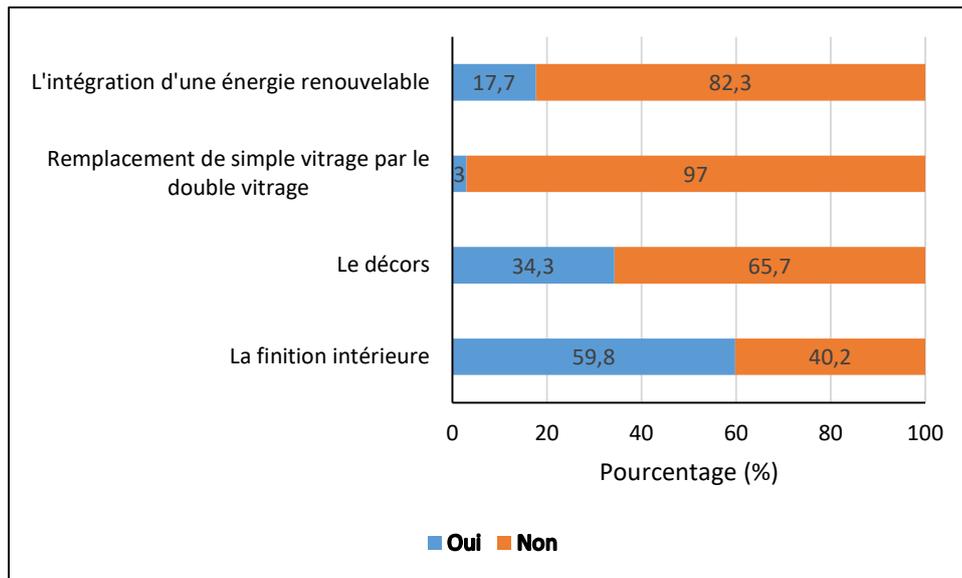
#### **IV.5.4 La conscience des occupants par le développement durable :**



*Figure IV-27: La conscience des occupants par le développement durable. Source auteure.*

Cette question est pour tester le niveau de la conscience chez les occupants par l'intérêt de la notion du développement durable. Les réponses, en grande majorité, sont positives par un pourcentage de 66.7 %. Alors que les personnes interrogées, qui ne connaissent pas la notion du développement durable, sont 31.4 % de l'échantillon. À cet effet, nous considérons qu'il existe une volonté chez deux tiers des interviewés pour améliorer la situation énergétique des logements.

#### **IV.5.5 Priorité de modification chez l'occupant :**



**Figure IV-28:** *Priorité de modification chez l'occupant. Source auteur.*

Cette question est relative à celle précédente. Il s'agit de choisir virtuellement entre plusieurs options d'amélioration du logement. Les propositions peuvent être divisées en deux catégories. Deux choix relèvent du concept du développement durable, tandis que les autres propositions ne le font pas. Le choix prioritaire des interviewés concerne la finition intérieure du logement par 59.8 %. Alors que 34.3 % se disent favorables à une modification du décor intérieur du logement. L'ensemble des réponses sont en faveur de l'amélioration de l'apparence du logement. Dans ce contexte, nous constatons une contradiction entre cette question et celle précédente. Cela reflète le faible niveau de sensibilisation de la plupart des usagers.

Suite à ce que nous avons exploré dans la partie de la consommation énergétique, nous constatons que la quantité d'énergie est principalement liée à l'utilisation ou à la non-utilisation de systèmes mécaniques du chauffage et de climatisation. D'autre part, la manière de leur utilisation et le comportement des occupants influencent la quantité de la consommation d'énergie et la qualité thermique du logement.

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de l'investigation subjective. Il s'agit d'une évaluation du confort thermique basées sur la vision des résidents de logements de haute performance énergétique. La présentation des caractéristiques personnelles de l'échantillon des occupants ayant participé à l'enquête montre que la plupart des interrogés sont des femmes mariées

#### Chapitre IV : Evaluation subjective du confort thermique, le questionnaire

avec enfants. La plupart des participants avaient entre 30 et 50 ans. Plus de 50 % des répondants sont des familles nombreuses avec plus de 4 personnes dans le logement.

Les résultats de l'enquête relatifs aux parties de confort thermique hivernal et estival, montrent qu'il s'agit d'un niveau médiocre de sensibilisation des résidents par la spécificité du projet et le considèrent comme ordinaire. La plupart des réponses préconisent l'utilisation de dispositifs mécaniques de chauffage et de refroidissement pour améliorer le confort thermique sans penser aux solutions de rectification thermique passive. Cela signifie qu'une sensibilisation des habitants des bâtiments HPE est aussi importante que l'intégration des solutions énergétiques dans la conception architecturale du projet.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les résultats des investigations objectives de mesures in situ et de simulation thermique.

CHAPITRE V :

*Évaluation objective du confort  
thermique, mesures et  
simulation thermique*

## **V. Chapitre V : Évaluation Objective du confort thermique, mesures et simulation thermique.**

### ***Introduction :***

Afin d'évaluer objectivement le confort thermique, nous avons opté pour une investigation in-situ à l'aide d'appareils de mesure et de simulation thermique. Cette partie de travail de la recherche s'appuie sur une étude comparative entre deux cas d'étude dans deux zones climatiques différentes. La première étude concerne la ville de Blida par un climat de type méditerranéen. Bien que le deuxième site se trouve dans la ville de Djelfa ayant un climat semi-aride.

L'évaluation objective porte sur la mesure des grandeurs physiques pendant trois jours défavorables de deux saisons, l'hiver et l'été. La validation des résultats de la simulation thermique est par le biais des mesures in-situ. La simulation se fait par le logiciel TRNSYS comme un outil virtuel d'aide à la décision. Les simulations seront réalisées en faisant référence aux données météorologiques des deux villes étudiées.

Par ce chapitre, nous allons présenter les résultats des mesures et ceux de la simulation de l'état thermique initial des deux cas d'études. La liaison entre les deux parties sera par une validation des résultats numériques.

### ***V.1 Évaluation objective du confort thermique par une investigation in-situ :***

#### **V.1.1 La plage du confort thermique :**

L'évaluation du confort thermique des deux cas d'étude nécessite la détermination de la plage du confort thermique qui est le résultat d'intervention de plusieurs paramètres physiques. La température résultante sèche, l'humidité intérieure, la température des parois et la vitesse de l'air intérieur. Nous avons opté pour la formule d'Auliciemes développé par De Dear & Bragger en 1998 (voir équation) (Szokolay & Auliciems, 1997). Il s'agit de réaliser un modèle adaptatif de confort thermique.

$$T_n = 17.6 + (0.31 * T_{av})$$

$T_n$  : Température neutre.

$$T_{av} = (T_{max} + T_{min})/2$$

$T_{av}$  : Température moyenne.

$$TL = T_n - 2.5 \text{ (Température inférieure de la zone de confort thermique).}$$

$$TU = T_n + 2.5 \text{ (Température supérieure de la zone de confort thermique).}$$

L'application de cette formule sur le climat de Blida favorise une plage de confort qui varie entre 21.71 °C, comme une valeur inférieure, et 26.21°C comme une valeur maximale. ( $TL= 21.21$  °C  $TU= 26,21$  °C). Alors que la plage de confort thermique lié à l'application de la présente équation sur le climat de Djelfa est entre 20.32°C et 25.32°C ( $TL= 20.32$  °C  $TU= 25.32$  °C).

### **V.1.2 Résultats des mesures sur site et analyse des résultats :**

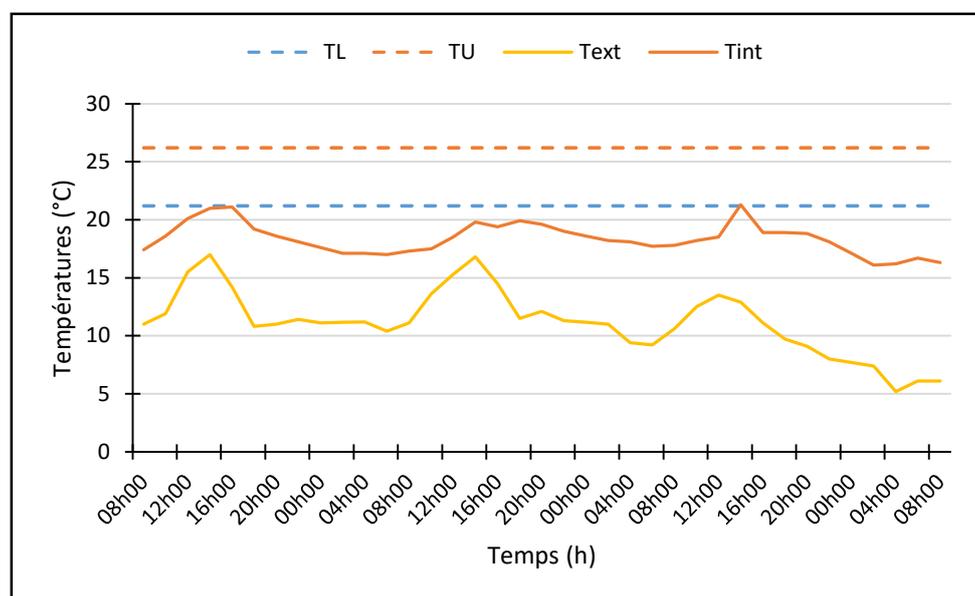
Dans le cadre d'une évaluation objective du confort thermique, on a opté pour la technique des mesures in-situ de deux logements de référence des deux cas d'étude. Les périodes de travail ont été choisies durant les périodes les plus défavorables en saison hivernale ou estivale, selon les prévisions météorologiques. Les appareils de mesures, dans les deux logements de référence à Blida ou à Djelfa, sont placées dans l'espace de séjour qui est orienté vers le sud.

#### **V.1.2.1 *Pendant la saison d'hiver :***

En hiver, la période de prise des mesures était à Blida de 14 à 17 janvier 2021. Alors que le travail d'investigation pour la ville de Djelfa était entre 25 et 28 décembre 2020.

### V.1.2.1.1 Évaluation des Températures ambiantes :

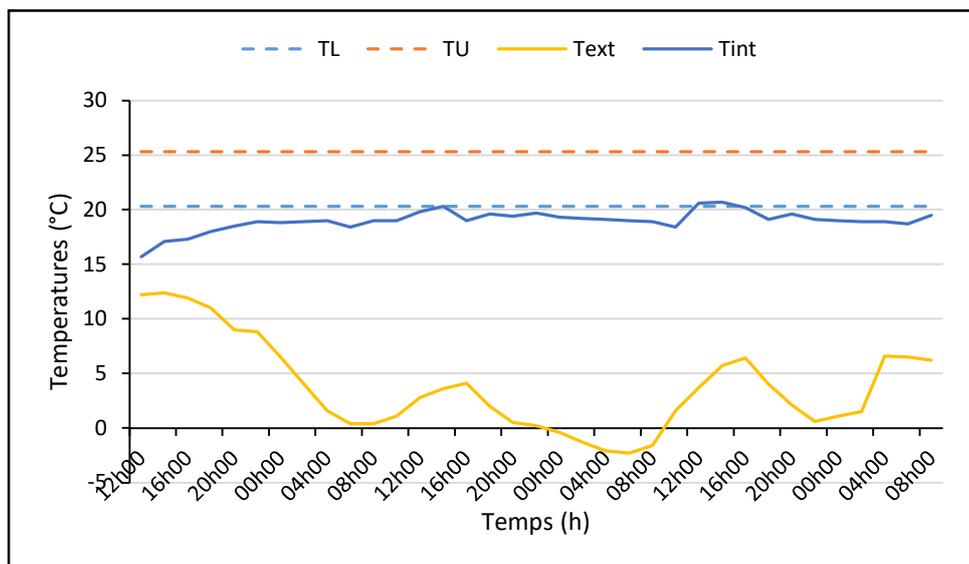
- *HPE Blida :*



**Figure V-1:** Évolution de la température ambiante pendant la période de 14 à 17 janvier 2021 (HPE Blida).  
Source auteure, 2021

Le graphe de la figure V-1 illustre l'évolution des températures ambiantes ainsi que la variation de températures extérieures. Les résultats de l'investigation indiquent que le profil des températures ambiantes présente des valeurs qui varient de 16.1 °C à 21.3 °C. La moyenne des températures intérieures du séjour est de 18.36 °C pour les trois jours des mesures. Ces valeurs sont supérieures par rapport aux températures extérieures qui sont entre 16.8 °C et 5.2 °C. L'amplitude maximale des températures intérieures est de 5.2 °C, et de 6.6 °C pour les valeurs de températures extérieures. L'ensemble des températures ambiantes sont en dessous des valeurs de la plage de confort thermique. Ce qui favorise le besoin de chauffer mécaniquement.

• **HPE Djelfa :**

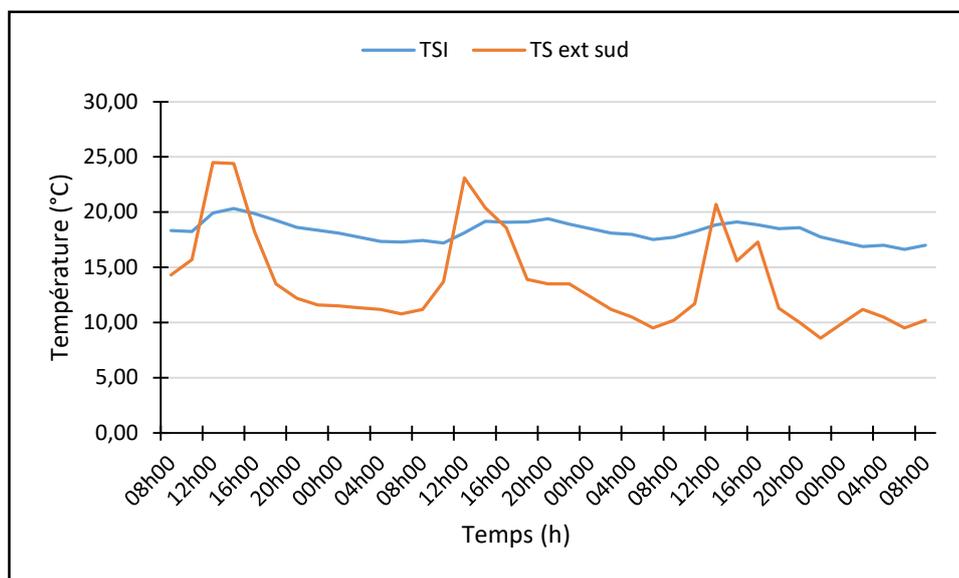


**Figure V-2:** Évolution des températures ambiantes pendant la période de 25 à 28 Décembre 2020. (HPE Djelfa).  
Source auteur, 2021

Le graphe de la figure V-2 présente l'évolution des températures intérieures ainsi que celles extérieures. Le profil des températures journalières internes favorise des valeurs qui varient entre 15.7 °C et 20.7 °C avec une température moyenne de 18.98 °C pendant les trois jours des mesures. Ces valeurs sont supérieures par rapport aux températures extérieures qui varient entre (-2.3 °C) et 12.2 °C. La fluctuation maximale entre jour et nuit arrive à 12 °C pour les températures extérieures. Alors que les températures intérieures favorisent un régime plus stable par une valeur d'amplitude maximale de 2.3 °C. Cela est lié à la mise en marche du chauffage mécanique suite à l'inoccupation de l'appartement avant le début de notre investigation. Les valeurs du profil des températures ambiantes intérieures sont inférieures que la plage de confort thermique malgré le chauffage. Ce qui favorise le besoin de plus d'interventions pour rectifier la qualité thermique de l'espace, objet d'étude.

### V.1.2.1.2 Évaluation des températures surfaciques :

- **HPE Blida :**

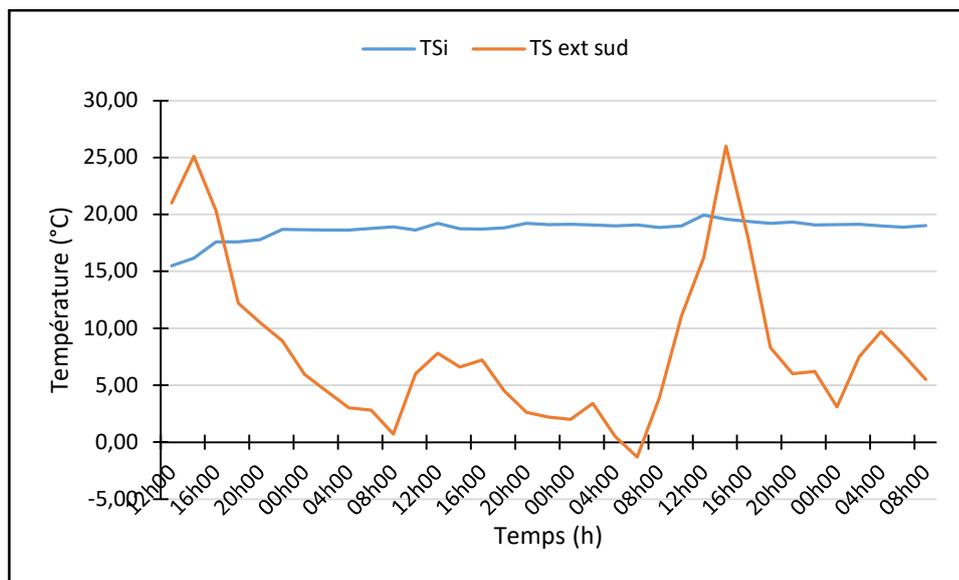


**Figure V-3:** Evolution de températures surfaciques intérieures et extérieures de 14 à 17 Janvier. (HPE Blida).  
Source auteure, 2021.

Le graphe de la figure V-3 illustre l'évolution des températures surfaciques internes. C'est la température résultante des quatre parois verticales, du plafond et du sol. Les résultats de l'investigation favorisent un profil des températures surfacique qui s'évolue en décroissement, durant la période d'investigation, où ses valeurs varient entre 16.65 °C et 20.33 °C. Cela est lié à la diminution de températures extérieures. Ce qui est expliqué par la faible inertie thermique de l'enveloppe thermique et l'épaisseur réduit de l'isolant thermique. L'amplitude maximale des températures surfaciques est de 3.05 °C pendant les trois jours des mesures. L'ensemble des valeurs des températures surfaciques mesurées sont au-dessous de la zone de confort thermique.

Le côté extérieur de la paroi sud est caractérisé par une plage de température de 9.5 °C à 24.5 °C. Le profil d'évolution des températures surfaciques extérieures se caractérise par une grande fluctuation qui arrive à 13.7 °C. Cela est lié à son exposition au climat extérieur dont ces valeurs rapprochent des températures extérieures.

- **HPE Djelfa :**



**Figure V-4:** Évolution des températures surfaciques intérieures pendant la période de 25 à 28 décembre (HPE Djelfa). Source auteure, 2020.

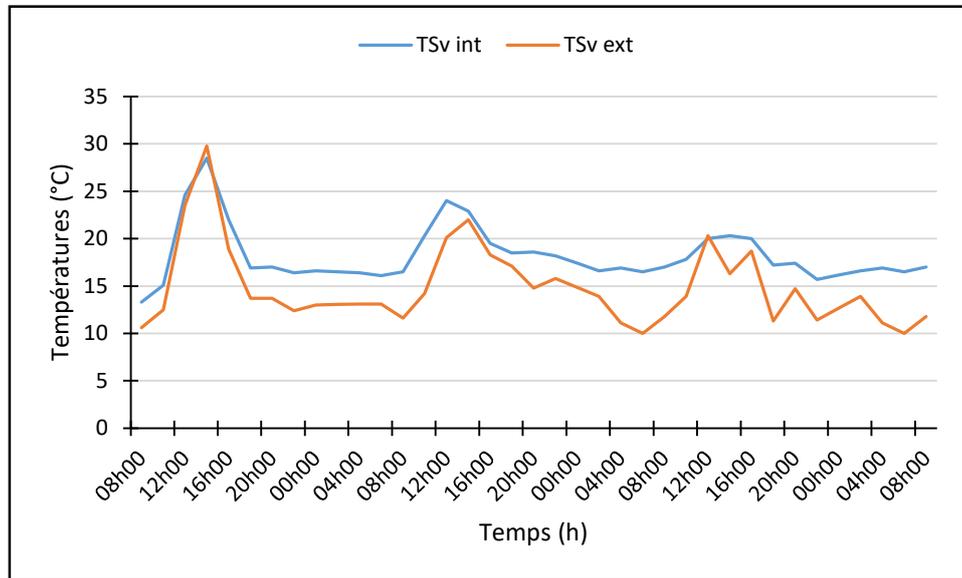
Le graphe de la figure V-4 illustre la variation des températures résultantes surfaciques internes de l'espace de séjour du logement type du projet HPE Blida. Sans la marche de chauffage, les températures surfaciques sont très basses où ils varient de 14.9 à 15.6 °C vu la non-occupation du logement avant le début d'investigation. La mise en marche de chauffage a provoqué une augmentation progressive des températures surfaciques intérieures jusqu'à l'obtention d'un régime plus stable par des valeurs qui varient entre 18.68 °C à 19.95 °C.

### V.1.2.1.3 Évaluation des températures surfaciques du vitrage :

- **HPE Blida :**

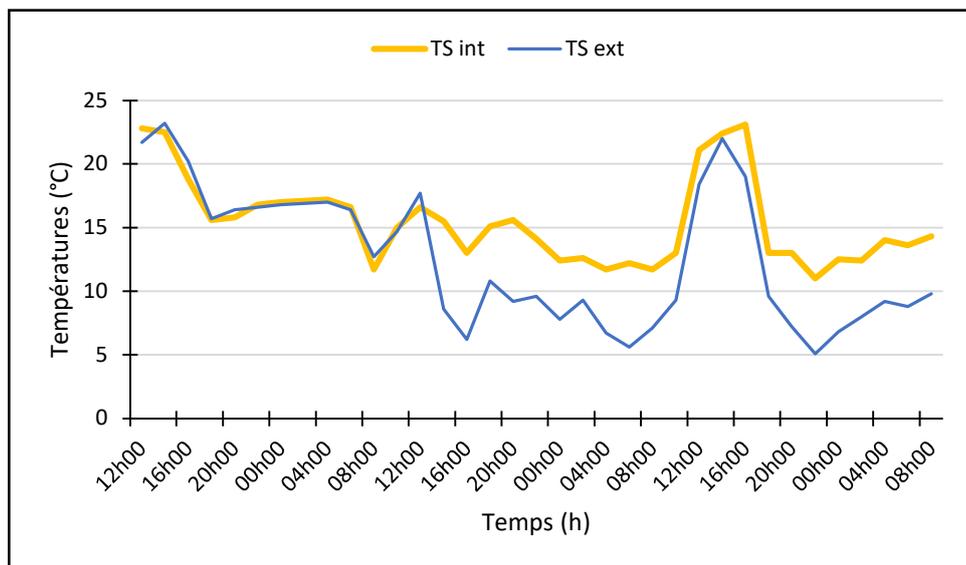
Le graphe ci-dessous favorise l'évolution des températures surfaciques intérieures et extérieures du vitrage du projet HPE Blida (voir figure V-5). Le résultat de l'investigation montre une baisse des températures surfaciques par rapport aux températures des parois. Les températures surfaciques intérieurs du vitrage oscillent entre 16.1 °C et 21.3 °C pendant les trois jours de mesure. Alors que les valeurs surfaciques extérieures du vitrage vont de 6.1 °C à 15.5 °C. La température surfacique extérieure du vitrage arrive à 17.4 °C en raison de son exposition aux conditions climatiques extérieures avec une grande fluctuation.

Les valeurs des températures surfaciques présentent une diminution excessive par rapport à la plage de confort thermique. Cela est dû à l'utilisation du simple vitrage, qui favorise plus des déperditions thermiques.



**Figure V-5:** Évolution des températures surfaciques de vitrage pendant la période de 14 à 17 janvier, HPE Blida, Source auteure, 2021.

- **HPE Djelfa :**



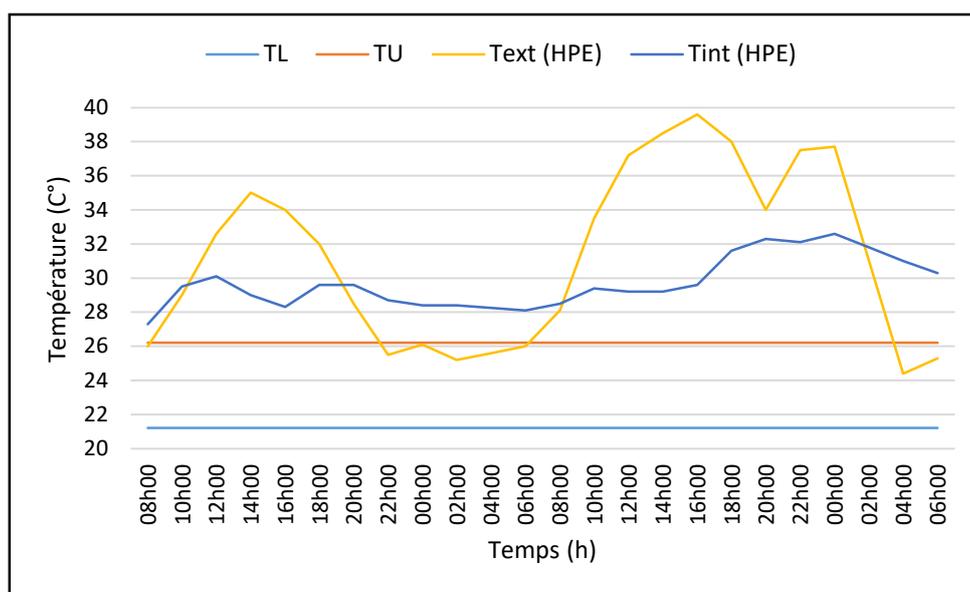
**Figure V-6:** Évolution des températures surfaciques de vitrage, HPE Djelfa. Source auteur, 2021

Le graphe de la figure V-6 illustre la variation des températures surfaciques intérieures et extérieures de vitrage du projet HPE Djelfa. Les résultats de l'investigation indiquent que les températures surfaciques intérieures du vitrage varient entre 11 °C et 23.1 °C. Alors que les valeurs de températures surfaciques extérieures de vitrage se caractérisent par une variation de 5.1 à 22 °C. La grande fluctuation, entre les valeurs maximales et celle minimales, rapproche des températures extérieures suite à l'exposition de cette face aux conditions climatiques.

### V.1.2.2 *Pendant la saison d'été :*

L'investigation de la période d'été a déroulé durant la période de 28 à 30 juin 2020 pour le projet HPE Blida. Alors que le déroulement des mesures, au projet HPE Djelfa, était de 11 à 12 août 2020.

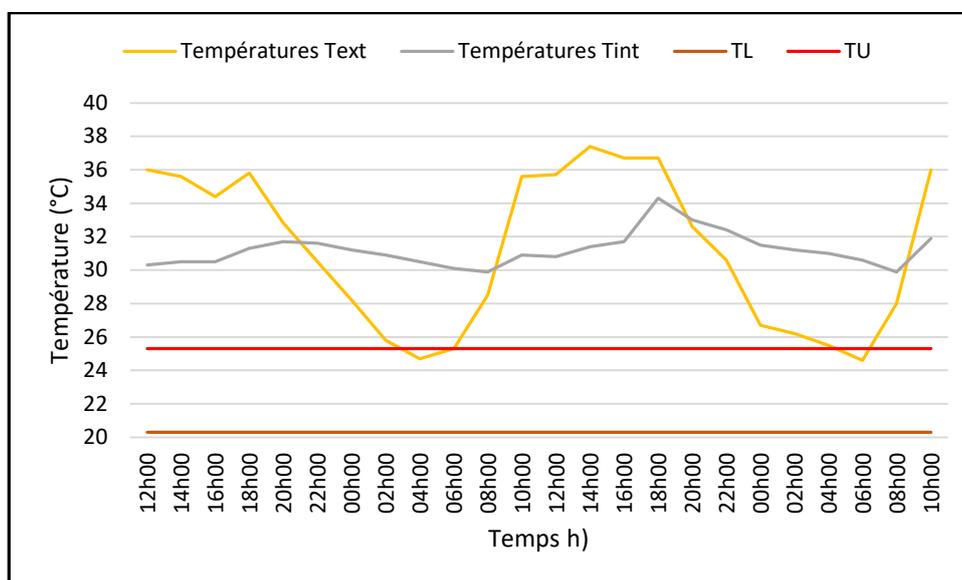
#### V.1.2.2.1 **Évolution des températures ambiantes :**



**Figure V-7:** Évolution des températures ambiantes pendant la période de 28 à 30 juin (HPE Blida). Source auteure, 2020.

Le graphe de la figure V-7 illustre l'évolution des températures ambiantes intérieures ainsi que celles extérieures pendant la saison estivale. Les résultats de l'investigation indiquent que le profil des températures ambiantes présente des valeurs qui varient de 25.6 °C à 32.6 °C. La moyenne des températures intérieures du séjour est de 28.88 °C pour les trois jours des mesures. Les valeurs des températures extérieures varient entre 21.2 °C et 39.6 °C. Ce qui favorise une grande fluctuation qui arrive à 15.2 °C. L'amplitude maximale des températures intérieures est de

3.9 °C. Les valeurs des températures ambiantes dépassent la plage du confort thermique. Ce qui favorise le besoin de refroidir par le biais des outils mécaniques.



**Figure V-8:** Évolution des températures ambiantes de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2020.

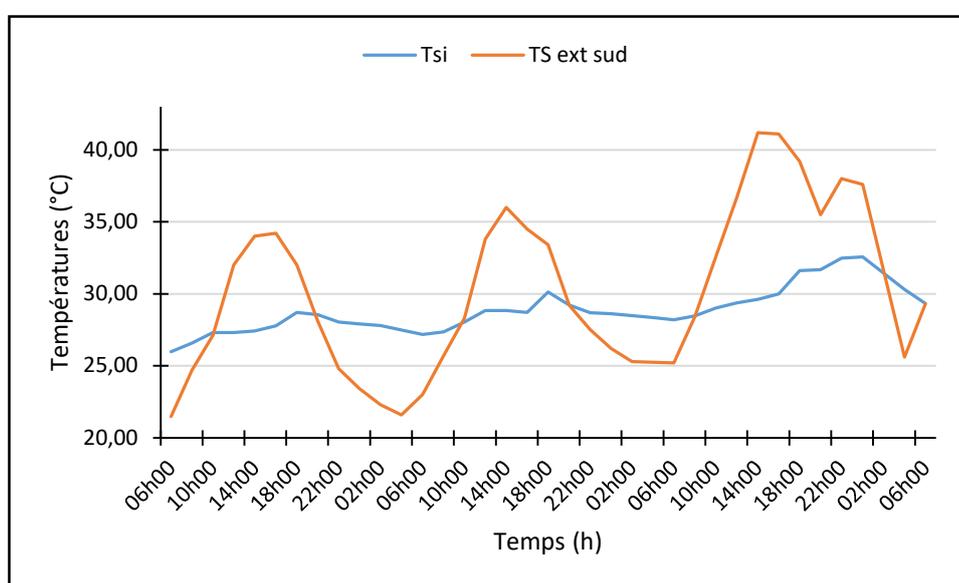
Le graphe de la figure V-8 présente l'évolution des températures ambiantes intérieures ainsi que celles extérieures pendant la saison d'été. Ce travail d'investigation est dans des conditions naturelles, sans aucune source de refroidissement mécanique. Le profil des températures journalières internes favorise des valeurs qui varient entre 30.3 °C et 34.3 °C avec une température moyenne de 31.21 °C pendant les trois jours des mesures. Les valeurs des températures extérieures varient entre 24.6 °C et 37.4 °C. La fluctuation maximale entre jour et nuit arrive à 12.8 °C pour les températures extérieures. Alors que les températures intérieures favorisent un régime plus stable par une valeur d'amplitude maximale de 4.4 °C. Cela est lié à l'utilisation des parois à faible inertie thermique qui favorise la transmission rapide de la chaleur. Les valeurs du profil des températures ambiantes dépassent la plage de confort thermique. Ce qui favorise le besoin d'une amélioration des techniques constructives pour rectifier la qualité thermique de l'espace, objet d'étude.

#### **V.1.2.2.2 Évolution des températures surfaciques intérieures :**

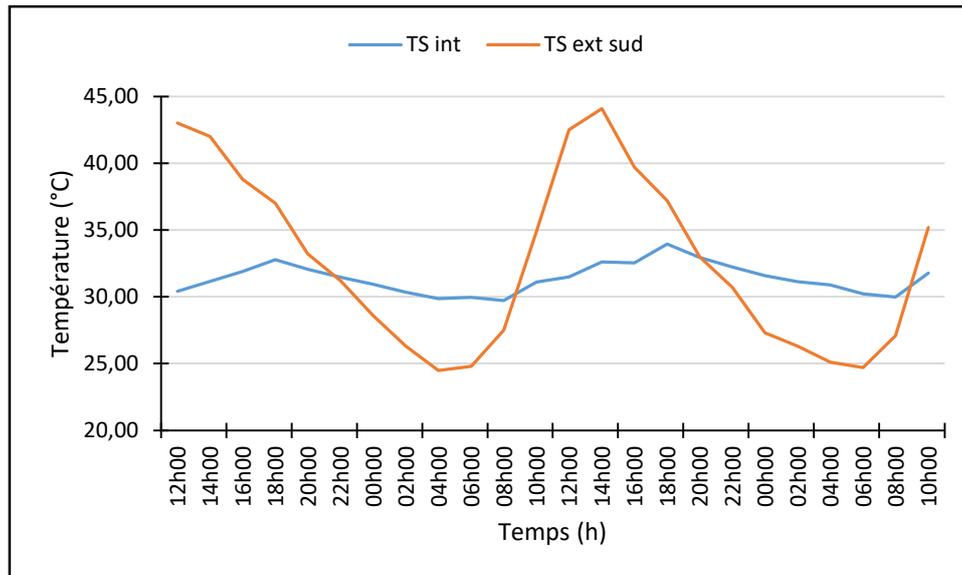
Le graphe de la figure V-9 illustre l'évolution des températures surfaciques internes du logement type de projet HPE Blida pendant la saison estivale. Les résultats de l'investigation favorisent un profil des températures surfacique qui s'évolue en accroissement, depuis le premier

jour au dernier jour des mesures, où ses valeurs varient entre 25.98 °C et 32.57 °C. Cela est lié à l'augmentation des températures extérieures. Ce qui est expliqué par la faible inertie thermique de l'enveloppe thermique et l'épaisseur réduite de l'isolant thermique. L'amplitude maximale des températures surfaciques est de 4.37 °C pendant les trois jours des mesures. L'ensemble des valeurs des températures surfaciques mesurées sont hors de la plage de confort thermique.

Le côté extérieur de la paroi sud est caractérisé par une plage de température allant de 21.5 °C à 41.1 °C. Le profil d'évolution des températures surfacique extérieures se caractérise par une grande fluctuation qui arrive à 16 °C. Cela est lié à son exposition au climat extérieur et des rayons solaires directs dont ces valeurs rapprochent des températures extérieures.



**Figure V-9:** Évolution des températures surfaciques des parois de 28 à 30 Juin (HPE Blida). Source auteure, 2020.



**Figure V-10:** Évolution des températures surfaciques des parois de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2020.

Le graphe de la figure V-10 illustre la variation des températures résultantes surfaciques internes de l'espace de séjour du logement type du projet HPE Djelfa pendant la saison estivale. Le résultat de l'investigation favorise un profil des températures surfaciques internes qui varient entre 30.42 °C et 33.97 °C avec une amplitude maximale de 4.23 °C. Les températures surfaciques extérieures se caractérisent par des valeurs qui varient de 24.5 °C à 44.1 °C et une fluctuation maximale de 19.6 °C. Cela est lié à l'exposition aux rayons solaires directs et aux conditions climatiques extérieures.

### V.1.2.2.3 Évolution des températures surfaciques du vitrage :

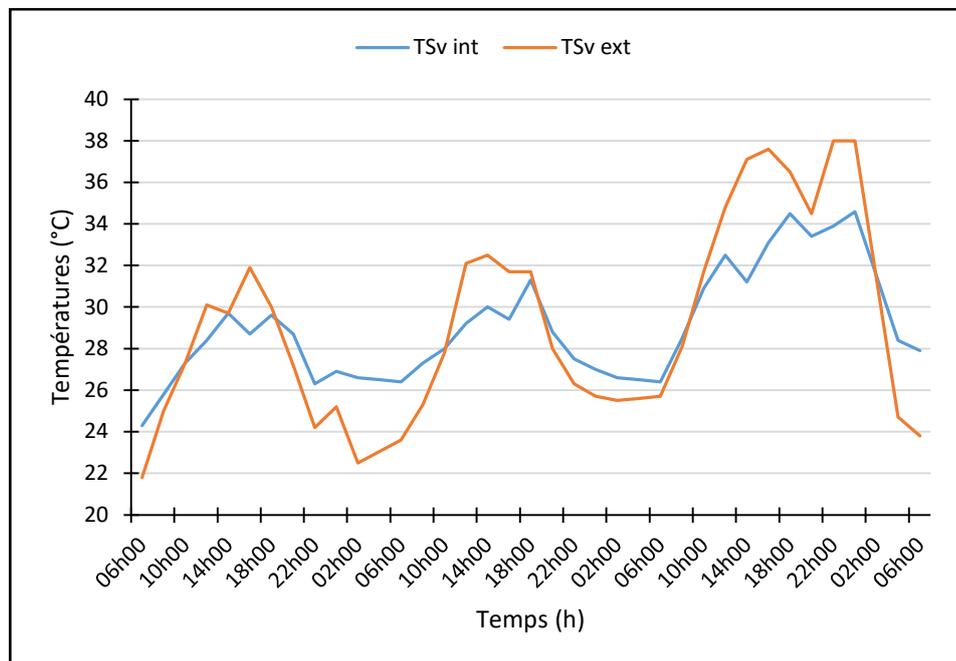
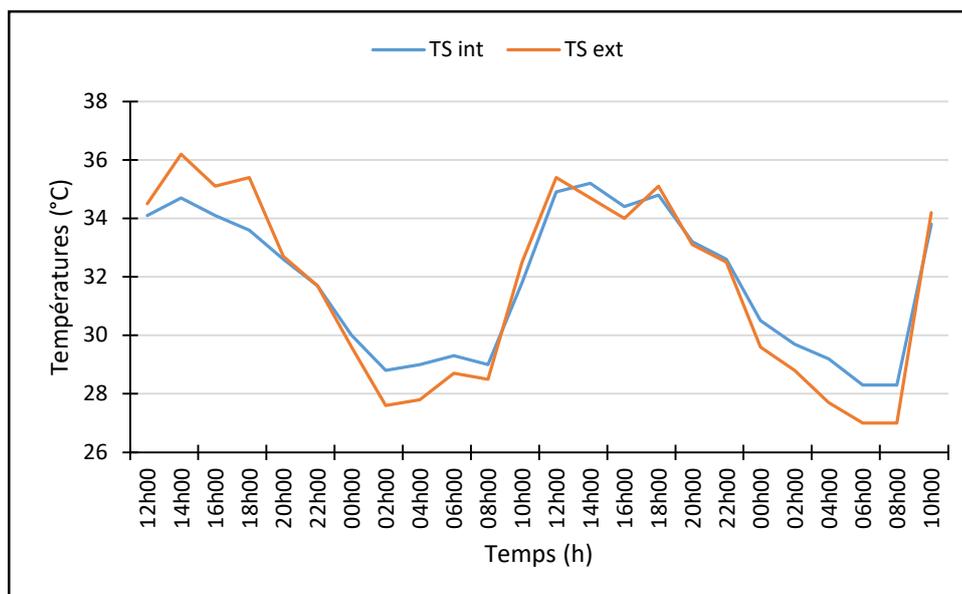


Figure V-11: Évolution des températures surfaciques de vitrage de 28 à 30 juin (HPE Blida). Source auteure, 2021.

Le graphe de la figure V-11 illustre l'évolution des températures surfaciques intérieures et extérieures du vitrage du projet HPE Blida pendant trois jours de la saison estivale (voir figure V-11). Le résultat de l'investigation indique des valeurs des températures surfaciques intérieures varient entre 24.3 °C et 34.6 °C. Alors que le côté extérieur de vitrage se caractérise par des valeurs de 21.8 °C à 38 °C. L'amplitude maximale des températures surfaciques internes de vitrage est de 8.1 °C. Une grande fluctuation caractérise la température surfacique extérieure du vitrage par une valeur maximale qui arrive à 12.1 °C vu l'exposition du vitrage aux conditions climatiques extérieures et aux rayons solaires intensifs.

Les valeurs des températures surfaciques sont hors de la zone du confort thermique. Cela est expliqué par l'utilisation du simple vitrage qui favorise des surchauffes liées à l'intensité des rayons solaires.



**Figure V-12:** Évolution des températures surfacique de vitrage de 11 à 13 août (HPE Djelfa). Source auteure, 2021.

Le graphe de la figure V-12 illustre la variation des températures surfaciques intérieures et extérieures de vitrage du projet HPE Djelfa pendant les trois jours d'investigation d'été. Les résultats des mesures indiquent que les températures surfaciques internes du vitrage varient entre 29 °C et 35.2 °C. Alors que les valeurs de températures extérieures de vitrage se caractérisent par une variation de 27 à 36.2 °C. Une grande fluctuation caractérise les deux profils des températures surfaciques internes et externes de vitrage qui sont 6.9 °C et 8.4 °C respectivement. Cela est lié à l'utilisation du simple vitrage aux ouvertures.

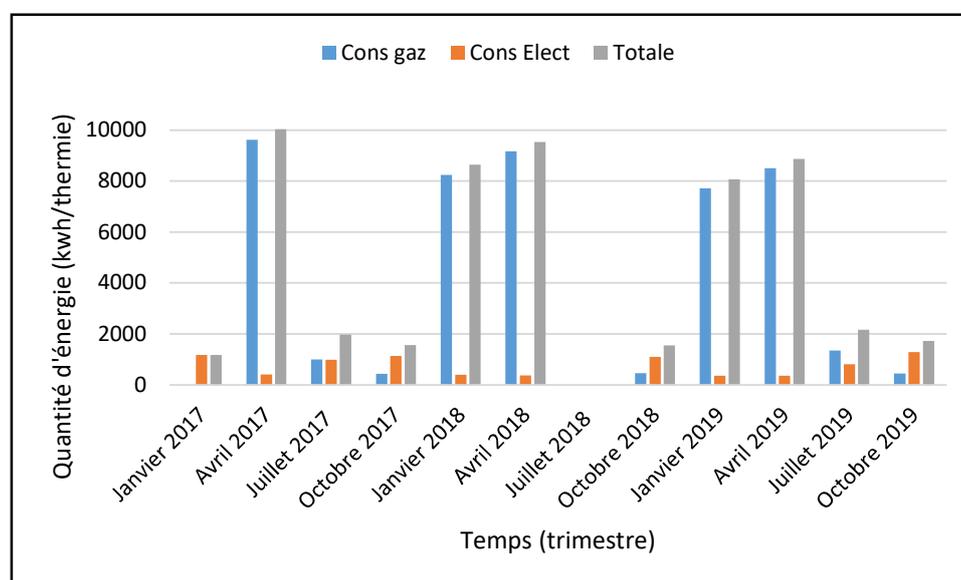
### V.1.3 La quantification de la consommation énergétique (HPE Blida) :

Le graphe de la figure V-13 illustre la quantité des énergies fossiles, gaz et électricité, consommée pendant trois ans d'occupation au logement type du projet HPE Blida, par le biais des factures de la consommation énergétique. Les barres de la consommation énergétique révèlent une surconsommation énergétique excessive de tous les trimestres par des valeurs de 8000 à 10 000 kWh/Thermie. Une lecture approfondie du graphe mentionne une augmentation de la quantité de gaz naturel consommée durant le premier et le deuxième trimestre suite aux besoins de chauffer durant la saison d'hiver. Alors que l'énergie la plus consommée pendant les mois d'été est l'électricité. Ce qui est relatif au refroidissement mécanique par le climatiseur. À cet effet, l'augmentation de la consommation énergétique est expliquée par le recours aux outils

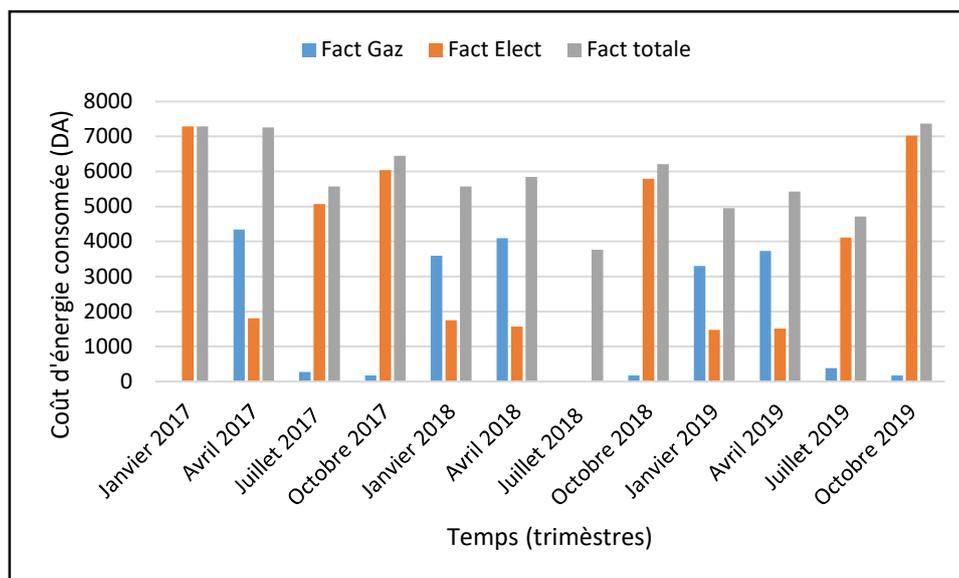
mécaniques, le chauffage et la climatisation, afin de rectifier les ambiances thermiques intérieurs. Sachant que la facturation se fait une fois chaque trimestre (voir tableau 13).

**Tableau 13:** Désignation des mois qui composent chaque trimestre. Source auteure, 2020.

1 <sup>er</sup> trimestre (janvier)	Novembre, décembre et janvier.
2 <sup>ème</sup> trimestre (avril)	Février, mars et avril.
3 <sup>ème</sup> trimestre (juillet)	Mai, juin et juillet.
4 <sup>ème</sup> trimestre (octobre)	Août, septembre et octobre.



**Figure V-13:** Évolution des quantités d'énergies consommées durant trois ans d'occupation (HPE Blida). Source auteure, 2020.



**Figure V-14:** Évolution des factures des énergies consommées (HPE Blida). Source auteure, 2020.

Le graphe de la figure V-14 illustre la facturation des énergies consommées. En faisant référence aux réponses du questionnaire qui concerne la facture de la consommation énergétique, la facturation de la consommation énergétique de ce logement appartient aux 9.8 % des interviewés que leurs factures dépassent les 5000 DA. En revanche, ce budget est trop élevé pour un type de logement social participatif (LSP) qui concerne une population ayant des revenus mensuels inférieurs de 20000.00 DA.

## ***V.2 La simulation thermique :***

Dans le même contexte d'évaluation objective du confort thermique, nous optons pour le choix de la technique de simulation à l'aide du logiciel TRNSYS 17.1. Cela a été validé par les résultats de l'investigation in-situ. Ensuite, il s'agit d'effectuer des simulations thermiques de l'état initial des cas d'étude. Enfin, nous allons travailler sur la proposition d'une nouvelle variante conceptuelle optimale d'un point de vue thermique et énergétique, et qui va être l'objectif de prochain chapitre. Le schéma suivant illustre le protocole de la simulation thermique (voir figure V-15).

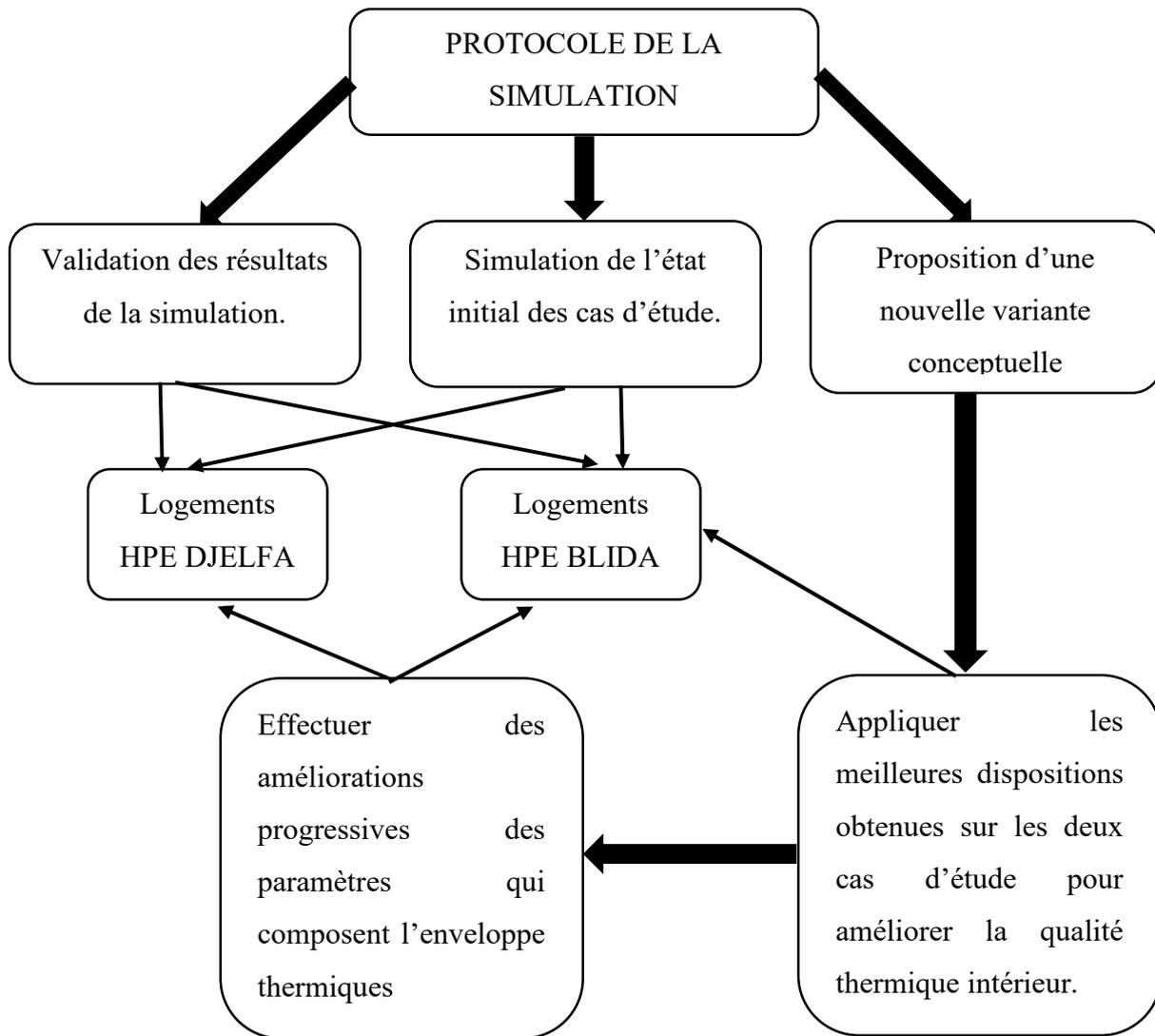


Figure V-15: Les étapes de la simulation thermique. Source auteur,2022

L'objectif de notre protocole de la simulation est d'étudier l'influence de quelques paramètres, qui composent l'enveloppe thermique, sur l'état thermique et énergétique de l'espace. Cela est pour contribuer à l'amélioration du comportement thermique et énergétique du système constructif.

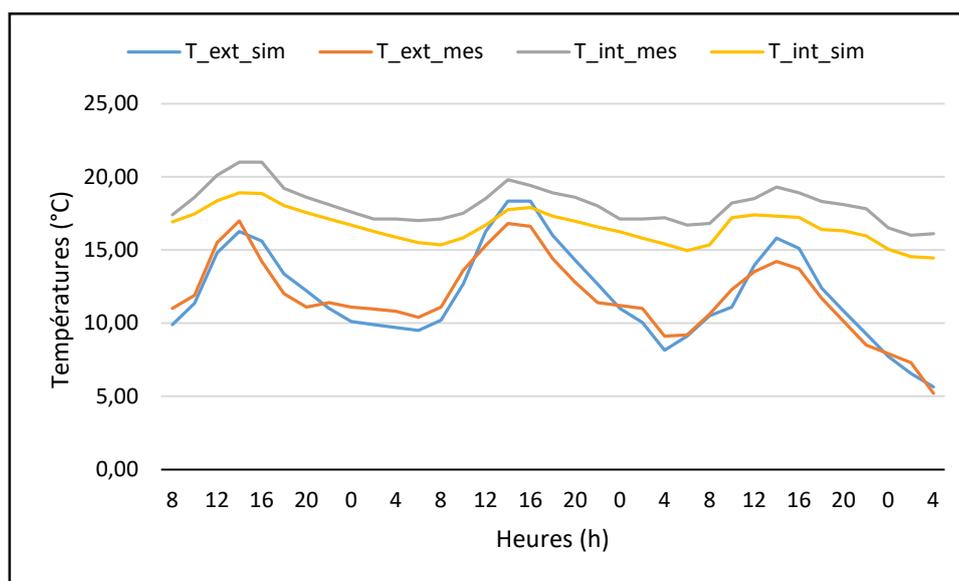
### V.2.1 Validation des résultats numérique :

La simulation thermique par le logiciel TRNSYS doit être validée par les résultats obtenus de l'investigation in-situ. Selon la recherche de la littérature, plusieurs chercheurs ont travaillé sur la validation du modèle numérique s'il s'agit des valeurs rapprochées pour la simulation et les

mesures (Arnal, 2013 ; Soudani, 2016) sans que la différence maximale entre les deux courbes des valeurs dépassent les 10 % (Miranville, 2002 ; Faure, 2007 ; Daverat, 2012 ; Guichard, 2013). Cité in (Khadraoui M.A., 2019,)

### V.2.1.1 *Pendant la saison d'hiver :*

- **HPE Blida :**



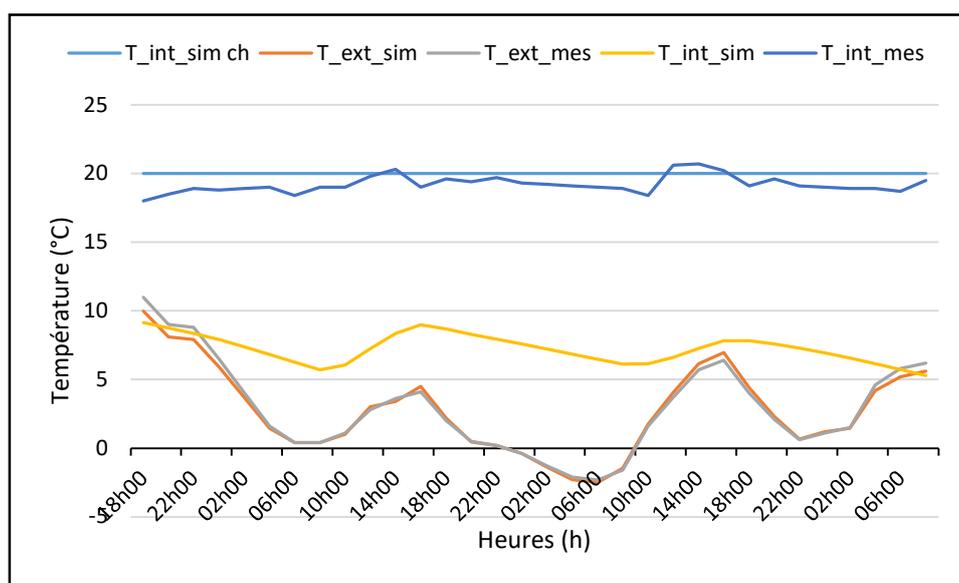
**Figure V-16:** Validation numérique des températures d'hiver des logements HPE Blida. Source auteure.

L'observation des courbes du graphe cité ci-dessus montre une superposition entre les valeurs des températures extérieures simulées et celles mesurées. La différence entre les deux courbes varie entre 0,1 °C et 1,75 °C, ce qui représente un pourcentage de 1 % à 10 %. Cela favorise une validation des résultats numériques. Concernant la température ambiante, nous remarquons que les deux courbes, mesurées et simulées, ont des valeurs rapprochées avec une différence qui varie entre 0,48 °C et 2 °C. Ces valeurs représentent un pourcentage de 3 % à 10 %. Cela valide les résultats de la simulation. La courbe de température simulée présente des valeurs plus basses que celles mesurées. Ce qui est interprété par le comportement des occupants.

- **HPE Djelfa :**

La non-occupation du logement type du projet HPE Djelfa accompagné par l'état météorologique extérieur défavorable, nous a obligé de mettre le chauffage en marche. L'outil mécanique de chauffage est placé dans le hall et accolé au mur du séjour. La porte du séjour était ouverte.

Les courbes de températures extérieures mesurées et simulées se confondent en ayant une différence de 0 à 1 °C qui représente un pourcentage de 0 à 10 %. Alors que la courbe des températures ambiantes simulées ne se confond pas avec les valeurs mesurées. Cela remonte à l'utilisation du chauffage lors de la période de l'investigation in-situ. D'un autre côté, le graphe de températures intérieures mesurées se rapproche des valeurs de températures simulées pendant la mise en marche d'un chauffage. Les résultats indiqués précédemment favorisent la validation des résultats numériques.



**Figure V-17:** Validation numérique des températures d'hiver. Source auteure

### V.2.1.2 *Pendant la saison d'été :*

- **HPE Blida :**

Dans le même contexte de la validation des résultats de la simulation, le graphe ci-dessous présente des courbes de températures extérieures quasi-identiques ou la différence entre les valeurs mesurées et celles simulées ne dépasse pas le pourcentage de 10 %. Tandis que les deux graphes des températures ambiantes, sans aucune source de climatisation mécanique, montrent des valeurs rapprochées entre les températures mesurées et celles simulées. La différence entre les deux courbes varie entre 0 et 10 %. À cet effet, les résultats de la simulation estivale sont validés par les résultats de l'investigation in-situ.

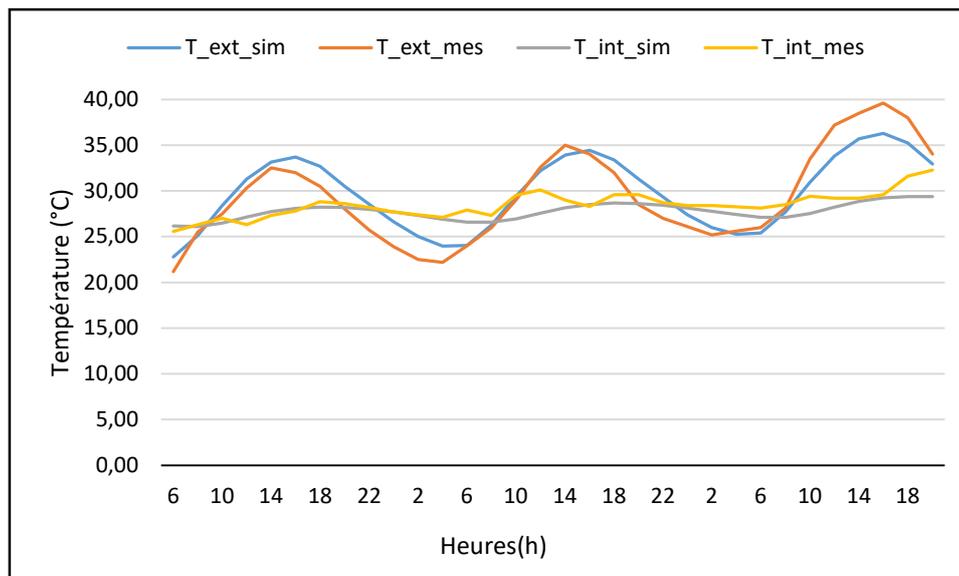


Figure V-18: Validation numérique des températures d'été (HPE Blida). Source auteure.

- **HPE Djelfa :**

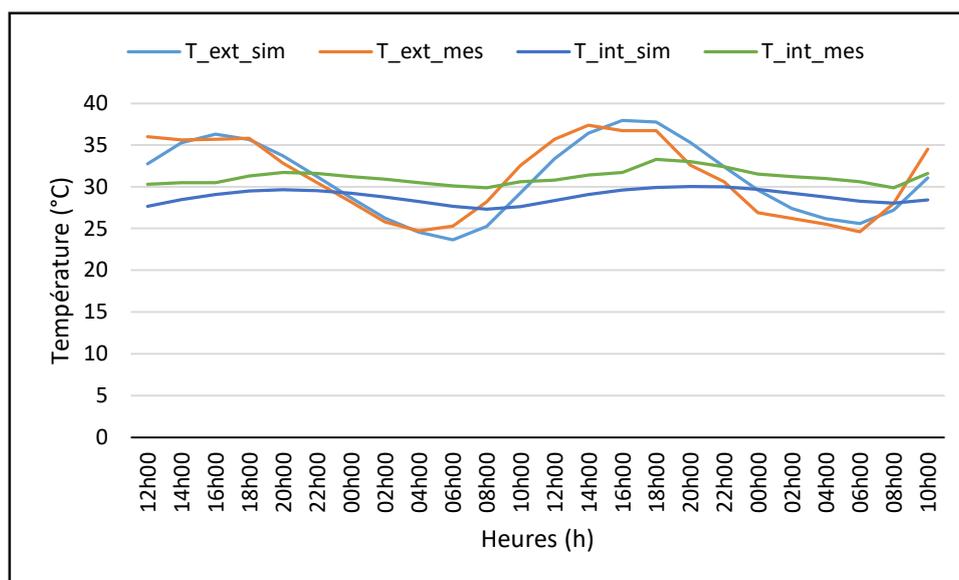


Figure V-19: Validation numérique des températures d'été (HPE Djelfa). Source auteure.

Dans le même contexte, le graphe cité au-dessous montre des valeurs rapprochées entre les deux courbes des températures extérieures mesurées et celles simulées. La différence entre les deux courbes varie entre 0.5 °C et 3.25 °C, ce qui représente un pourcentage de 1 % à 10 %.

Les deux courbes, qui représentent les températures ambiantes, présentent des valeurs rapprochées qui ne dépassent pas les 10 % de différence. Ce qui confirme la validation des résultats numériques des températures extérieures et celles ambiantes.

### **V.2.2 La simulation de l'état thermique et énergétique initial des cas d'étude :**

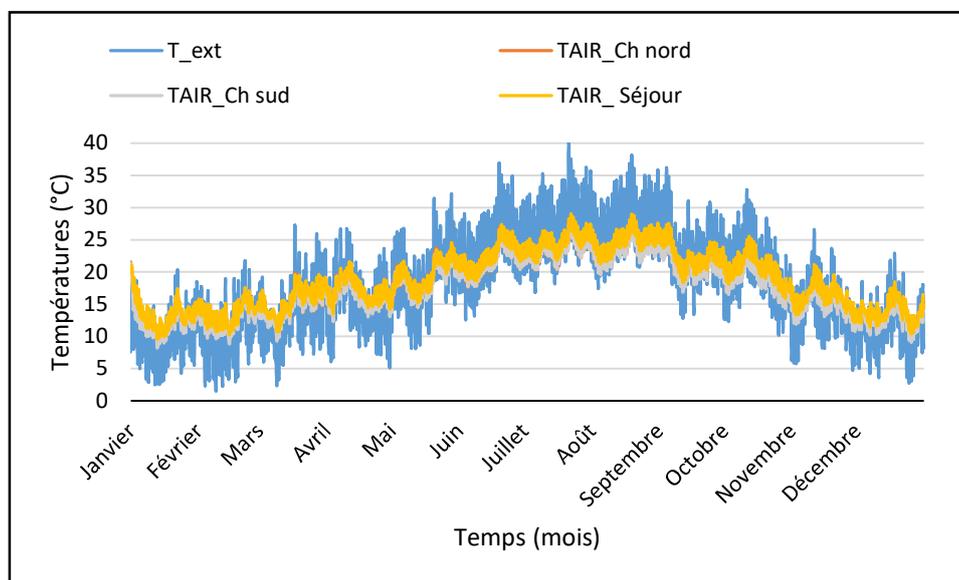
Cette partie consiste à présenter les résultats de L'évaluation thermique et énergétique initiale des deux cas d'étude par le biais de la simulation thermique des paramètres liés au confort thermique.

L'évaluation du comportement thermique des deux projets d'étude se fait par la présentation de la température opérative. Cette dernière est une combinaison entre la température ambiante et celle radiante moyenne. La consommation énergétique est un autre paramètre à évaluer, PMV PPD sont pour évaluer le confort thermique.

Les résultats qui vont être obtenus par le biais de la simulation thermique, vont représenter l'état initial des cas d'étude. Chaque projet comporte quatre zones thermiques. La présentation des résultats se fait principalement en deux saisons. La saison d'hiver qui comporte les mois de décembre, janvier et février. Alors que la représentation de la saison estivale est durant les mois de juin, juillet et août.

#### **V.2.2.1 Températures ambiantes :**

- **HPE BLIDA :**



**Figure V-20:** Évolution de température ambiante pendant toute l'année (HPE Blida). Source auteure.

## Chapitre V : Évaluation Objective du confort thermique, mesures et simulation thermique.

Le graphe ci-dessous présente la courbe des températures extérieures, simulé selon le fichier météorologique de la ville de Blida, ainsi que le profil de la variation des températures ambiantes intérieures des trois zones thermiques, la chambre nord, la chambre sud et le séjour.

Le résultat de la simulation indique que la température extérieure varie entre 1.5 °C, en minimum, et 40.1 °C comme une valeur maximale. Deux périodes critères caractérisent l'ensemble des températures annuelles. La saison d'hiver, qui s'étend du mois de décembre jusqu'au mois de mars, est caractérisée par des valeurs minimales de température qui arrivent à 1.5 °C et une moyenne de 10.54 °C. Cette période de l'année se caractérise par un grand déphasage entre les valeurs maximales et celles minimales d'une même journée qui arrive à 15 °C.

La période d'été, qui englobe les trois mois du juin, juillet et août, est caractérisée par les valeurs maximales de la température arrivant à 40.1 °C avec une moyenne de 26.39 °C.

La température ambiante varie entre 9.50 °C comme une valeur minimale, durant le mois du janvier, et 28.32 °C en maximum pendant le mois du juillet. L'espace du séjour est caractérisé par une moyenne annuelle de température de 18.82 °C. La moyenne des températures de l'espace de la chambre est de 17.82 °C. Bien que la chambre nord favorise une température moyenne de 18.10 °C. Le détail sur les températures saisonnières de chaque zone thermique va être expliqué dans les prochaines sections.

• **HPE Djelfa :**

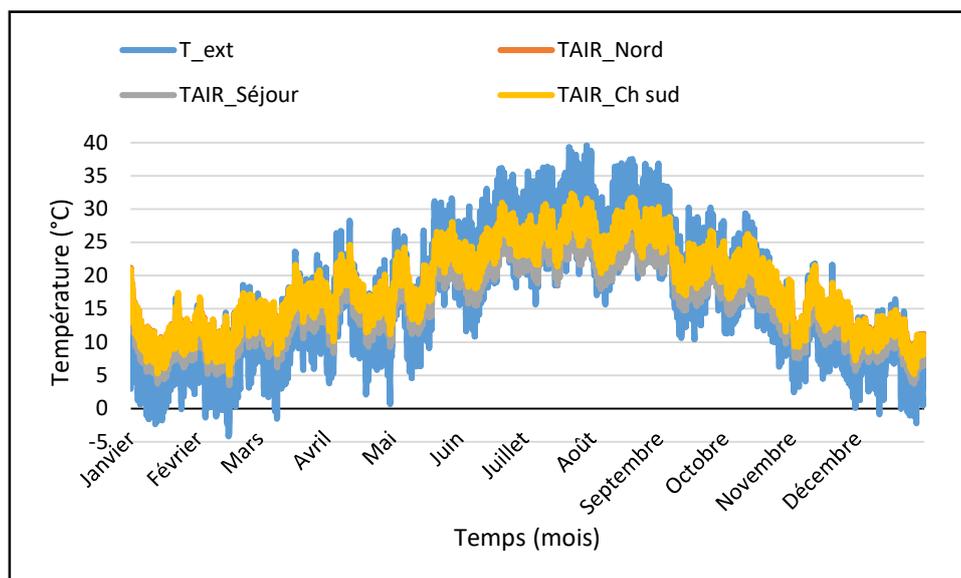


Figure V-21: Évolution des températures ambiantes des logements HPE Djelfa pendant une année. Source auteure, 2022.

La figure V-21 présente la variation des températures extérieures de la ville de Djelfa, ainsi que l'évolution des températures ambiantes des trois zones thermiques, le séjour, la chambre nord et la chambre sud. La simulation des températures extérieures est selon le fichier météorologique de la ville de Djelfa. L'analyse du profil des températures extérieures favorise des valeurs qui varient entre (-4.15) °C et 39.60 °C avec une moyenne annuelle de 16.30 °C.

Deux saisons défavorables caractérisent l'ensemble des températures annuelles. La période froide est composée des mois de décembre, janvier, février et mars. Elle est caractérisée par des températures basses qui arrivent à (-4.15) °C. La moyenne des températures de cette saison est de 6.43 °C. L'amplitude maximale des températures extérieures en hiver arrive à 15.9 °C.

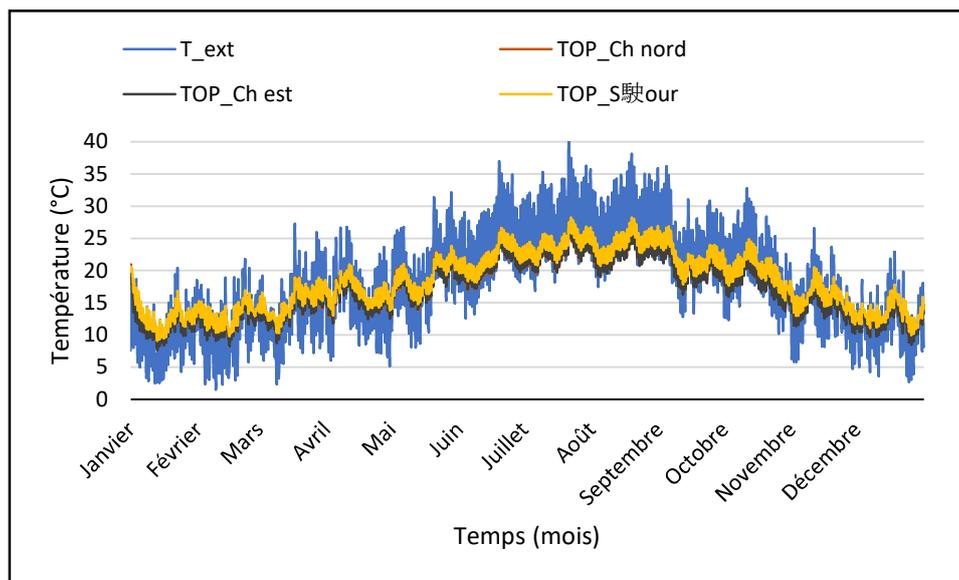
Une saison chaude, qui se compose des trois mois, juin, juillet et août, est caractérisée par des valeurs maximales de la température qui arrivent à 39.60 °C. L'amplitude maximale est de 16.70 °C.

Le résultat de la simulation favorise, pour l'espace de séjour, des températures intérieures qui oscillent entre 3.53 °C et 27.32 °C avec une valeur moyenne de 15.85 °C. L'espace de la chambre nord est caractérisé par une température qui varie de 5.96 °C à 31.64 °C en ayant une moyenne annuelle de 18.33 °C. alors que les températures de la chambre sud varient entre 5.30 °C et 32.30 °C avec une température moyenne de 18.36 °C.

La diminution des valeurs des températures annuelles du séjour, par rapport aux autres zones thermiques, est liée principalement au balcon accolé au mur sud. Ce dernier favorise un ombrage favorable en été, mais constitue un obstacle des rayons solaires passif en hiver.

### V.2.2.2 *Température Opérative :*

- **HPE Blida :**



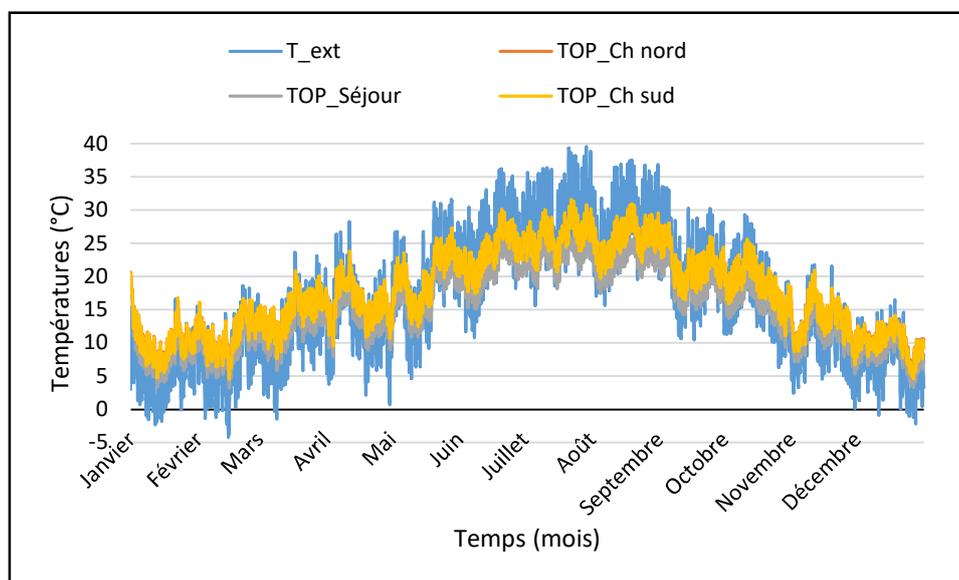
**Figure V-22:** Évolution de la température opérative pendant une année (HPE Blida). Source auteure.

La figure V-22 favorise l'évolution de la température opérative tout au long de l'année dans les trois zones thermiques, le séjour, la chambre est et la chambre nord. La température opérative est le résultat de la combinaison entre la température ambiante et celle moyenne radiante. Elle représente la température ressentie par les occupants de l'espace. L'évolution annuelle du profil de la température opérative montre une stabilisation des valeurs de température par rapport à l'extérieur. Une diminution de l'amplitude maximale par rapport à l'extérieur pour qu'il soit autour de 3 °C. Cette amélioration est liée essentiellement aux solutions bénéfiques aux logements HPE. Ce résultat reste insuffisant vu les valeurs basses des températures hivernales.

- **HPE Djelfa :**

La figure V-23 illustre le profil de la variation des températures opératives pendant une année entière des trois zones thermiques, le séjour, la chambre nord et celle sud. Le résultat de la simulation exprime des températures opératives qui varient entre 5.76 °C et 30.82 °C pour la chambre nord. Alors que le séjour est caractérisé par des valeurs allant de 3.17 °C à 25.83 °C. La

chambre sud est dotée par un graphe de température qui évolue d'une valeur minimale de 4.72 °C à 31.61 °C en maximum.

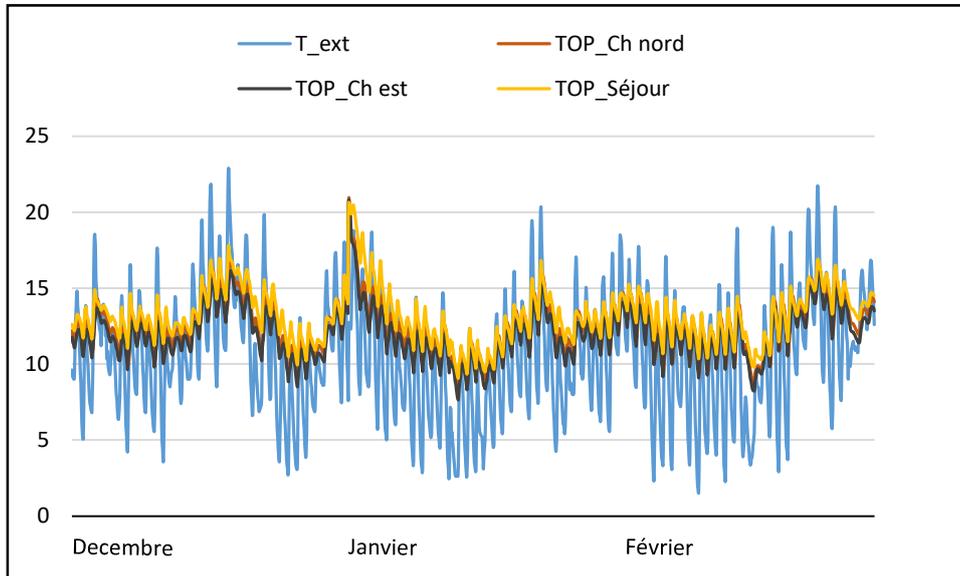


**Figure V-23:** Évolution des températures opérative annuelle des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023

Les températures des logements HPE Djelfa sont plus délicates que celles des logements du Blida. Cela est lié essentiellement à la différence entre les données climatiques des deux cas d'étude.

**Pendant la saison d'hiver :**

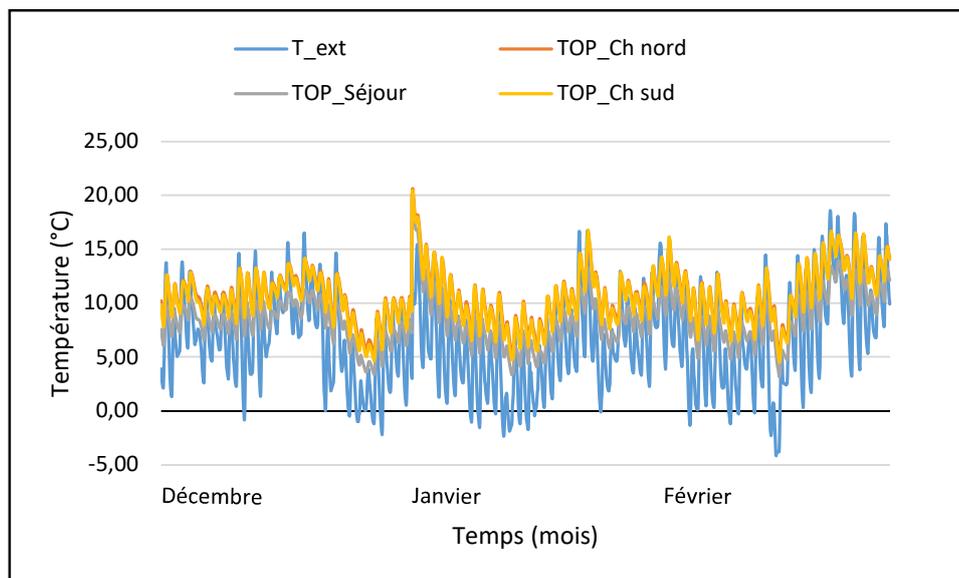
- **HPE Blida :**



**Figure V-24:** Évolution de la température opérative pendant la saison hivernale (HPE Blida). Source auteure.

Le graphe ci-dessous présente la variation des températures opératives de trois zones thermiques ainsi que l'évolution de températures extérieures pendant la saison hivernale. Le résultat des simulations favorise une variation de la température opérative entre 9.08 °C et 20 °C pour l'espace de séjour avec une moyenne de 13.16 °C. De plus, l'amplitude maximale de cet espace arrive à 4.13 °C.

• **HPE Djelfa :**

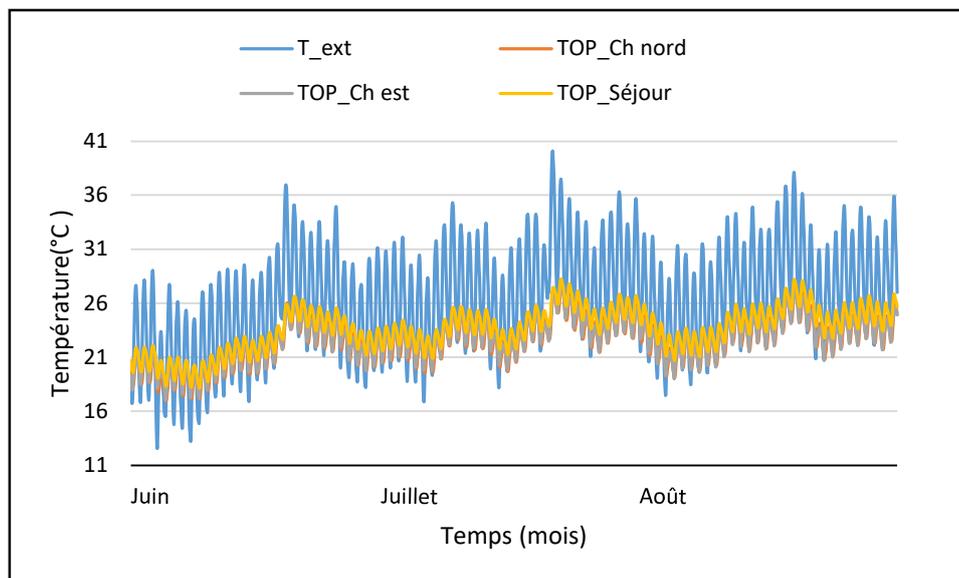


**Figure V-25:** Évolution des températures opératives de la période d'hiver des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023

La figure V-25 présente le profil des températures opératives hivernales des trois zones thermiques du logement type du projet HPE Djelfa ainsi que la variation de températures extérieures. Le résultat de la simulation indique que l'espace de séjour est doté d'une valeur moyenne de température opérative de 8.42 °C en hiver et une amplitude maximale de 4.62 °C. Alors que la chambre nord favorise une température moyenne de 10.68 °C et une amplitude maximale de 5.59 °C. La chambre sud est caractérisée par une valeur moyenne de température de 6.62 °C et une amplitude maximale de 6.23 °C.

L'ensemble des profils de la température opérative est en dessous des valeurs optimales. Ce qui favorise des ambiances intérieures très inconfortables par rapport au projet HPE Blida. Cela indique le besoin de travailler sur l'optimisation des solutions thermiques afin d'améliorer la situation thermique et énergétique des logements, objet d'étude.

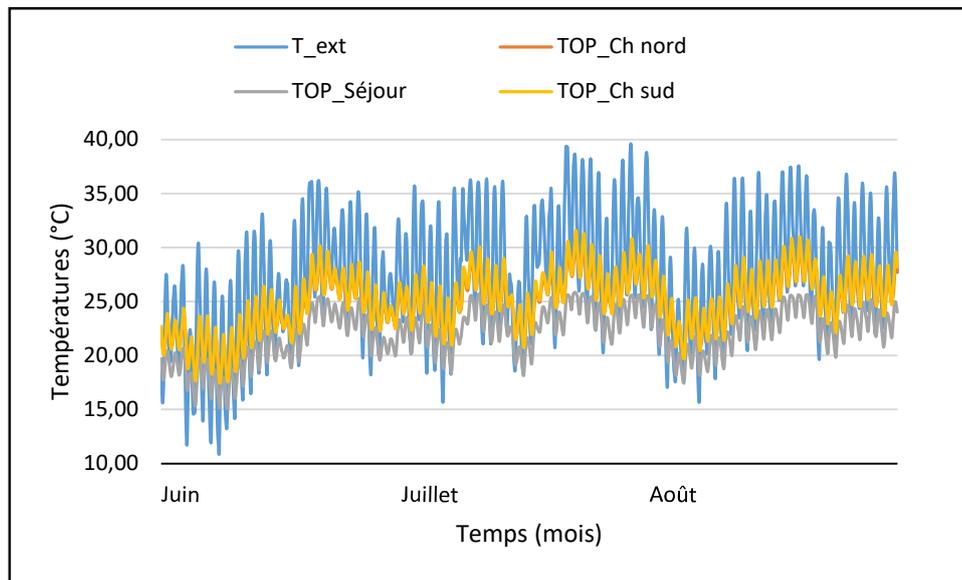
• **Pendant la saison d'été :**



**Figure V-26:** Évolution de la température opérative de la saison d'été. Source auteure.

Le graphe ci-dessus présente la variation des températures extérieures ainsi que la température opérative des trois zones thermiques, le séjour, la chambre est et celle située au nord pendant la saison estivale. Le résultat de la simulation indique que le profil de la température opérative de l'espace de séjour varie de 18.17 °C et de 28.2 °C. La moyenne des températures de la période chaude est de 23.60 °C. L'amplitude maximale des températures d'été est de 3.54 °C.

• **HPE Djelfa :**



**Figure V-27:** Évolution des températures opératives pendant la période d'été des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023.

Le graphe, ci-dessus, présente l'évolution des températures opératives estivales du logement type du projet HPE Djelfa ainsi que la variation des températures extérieures pendant la même saison. Les résultats de la simulation favorisent des valeurs maximales de la température opérative des chambres nord et sud. Alors que le séjour est caractérisé par des températures minimales.

La zone thermique de la chambre nord favorise une température opérative moyenne de 24.90 °C et une amplitude maximale de 4.91 °C. Alors que le séjour est caractérisé par une valeur moyenne de la température opérative de 22.05 °C et une amplitude maximale de 4.46 °C. La zone thermique de la chambre sud est caractérisée par une moyenne des températures opératives de 25.15 °C. L'amplitude maximale de cet espace est de 5.71 °C.

Les valeurs des amplitudes maximales indiquent que le logement type du projet HPE de Djelfa est plus inconfortable en été par rapport aux logements HPE Blida. Cela est lié principalement à l'absence des protections solaires extérieures et l'intérêt de la toiture en pente qui permet d'isoler les logements du dernier étage des rayons solaires intense. Ce qui minimise la valeur des amplitudes maximales des espaces.

### V.2.2.3 Les indices PMV et PPD :

Afin de visualiser l'état du confort thermique perçu par les occupants selon la variation météorologique annuelle, une étude s'est effectuée sur l'indice du vote moyen « PMV » et le pourcentage prévisible d'insatisfaits « PPD ». Le travail concerne les deux projets objet d'étude, HPE Blida et HPE Djelfa.

#### V.2.2.3.1 L'indice PMV :

- **HPE Blida :**

Le graphe ci-dessous présente l'évolution de l'indice de vote moyen prévisible « PMV » sur une plage d'une année. Les résultats de la simulation montrent qu'il existe deux zones principales selon la période de l'année. La période, qui s'étend du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, est caractérisée par des sensations qui varient entre légèrement froid (-1) et légèrement chaud (+1), ce qui représente la zone du confort thermique optimale. D'un autre part, pendant les mois qui restent, la sensation thermique des usagers diminue par rapport à la zone de confort thermique pour qu'il présente des sensations froides à très froides par des valeurs de (-2 à -4). Cela est durant les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril.

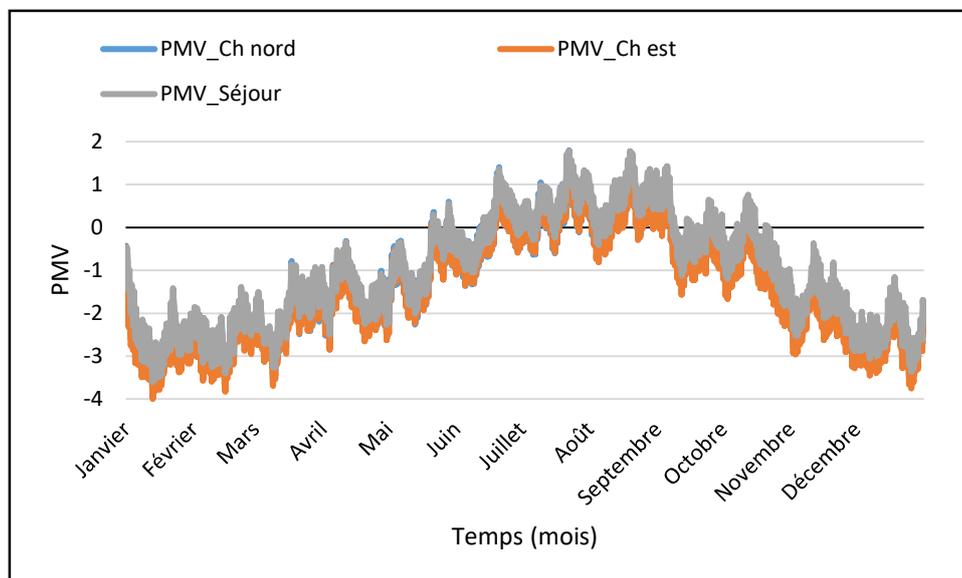
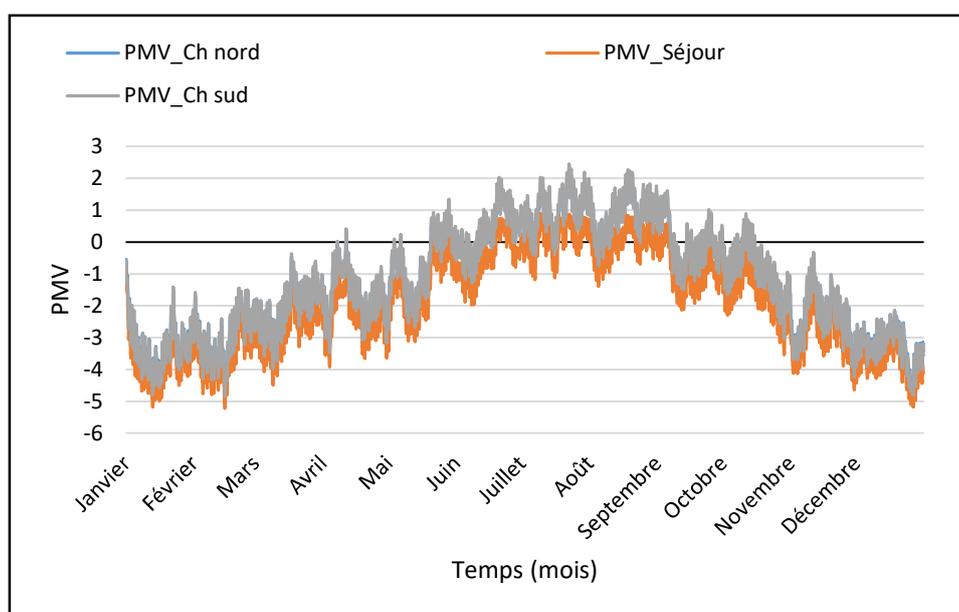


Figure V-28: Simulation de l'indice PMV pendant une année (HPE Blida). Source auteure

- **HPE Djelfa :**

La figure V-28 représente l'évaluation de l'indice de vote moyen prévisible « PMV » des trois zones thermiques du logement type du projet HPE Djelfa pendant une année entière. Le résultat de la simulation indique que l'indice PMV évolue en trois parties principales. La zone, qui s'étend des sensations légèrement froides (-1), à celles légèrement chaudes (+1), se caractérise par des sensations thermiques optimales. Les mois qui correspondent à cette zone du confort thermique, sont les mois de mai, juin, juillet, août et septembre pour l'espace de séjour. Alors que les sensations thermiques des usagers des chambres nord et sud optent pour le choix de cette catégorie optimale pendant les mois de mai, juin, septembre et octobre. Durant les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril, les usagers des trois espaces optent pour les sensations froides à très froides. Cette partie du graphe est la plus majoritaire de l'année. Les mois de juillet et août sont agréables pour le séjour et chauds pour les usagers des chambres nord et sud.



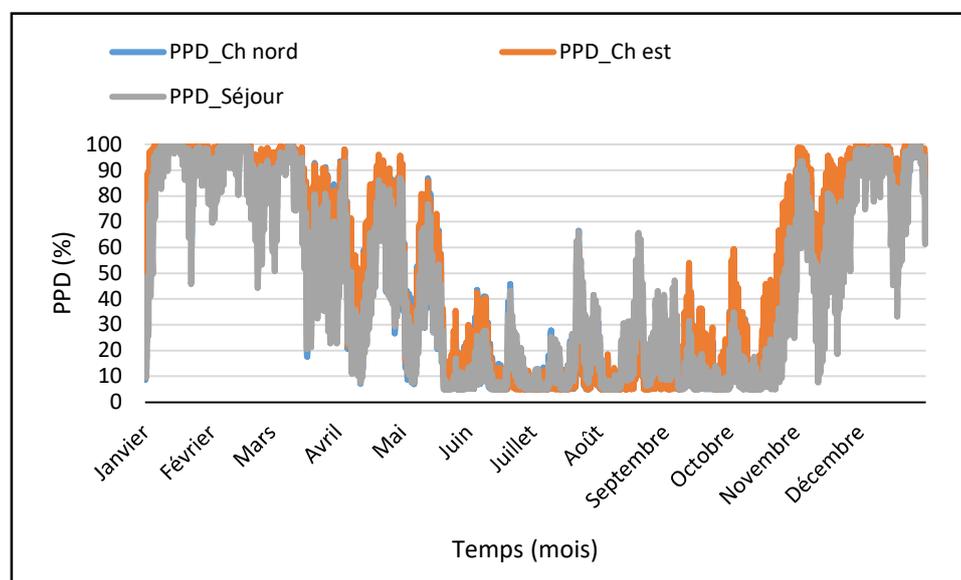
**Figure V-29:** Simulation de l'indice PMV des logements HPE Djelfa pendant une année entière.  
Sources auteure, 2023

### V.2.2.3.2 L'indice PPD :

Le graphe de la figure V-30 représente l'évolution du pourcentage prévisible des insatisfaits pendant une année entière. Le résultat de la simulation indique que le pourcentage des insatisfaits augmente pour atteindre 100 % durant les mois de froid ; décembre, janvier et février. Les mois de mars, avril et octobre se caractérisent par un pourcentage qui varie entre 40 % et 80%.

Alors que pendant les mois de mai, juin, juillet, août et septembre, le pourcentage des insatisfaits se diminue pour qu'il représente, en grande majorité, une valeur minimale de 0 à 20 %.

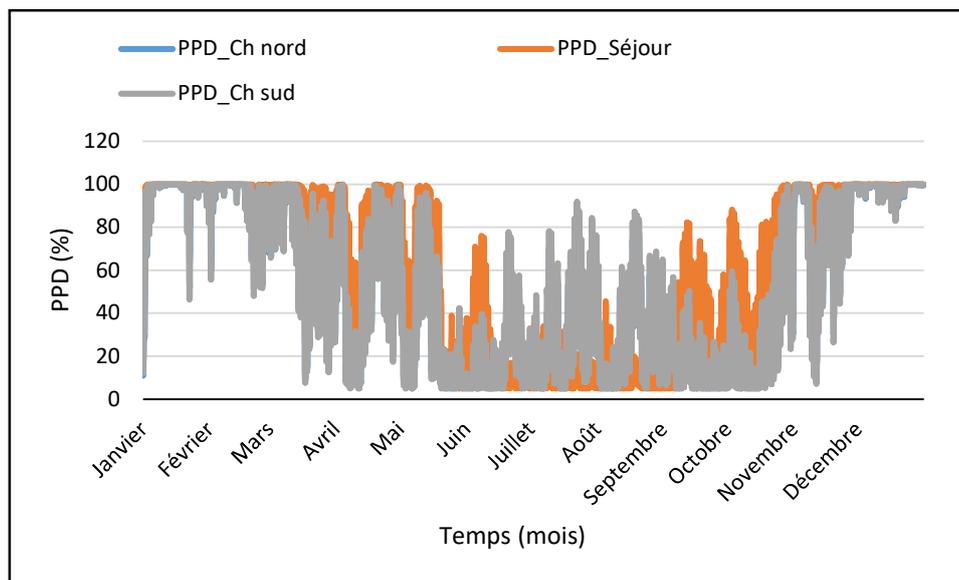
- **HPE Blida :**



**Figure V-30:** Évolution de l'indice PPD pendant une année des logements HPE Blida. Source auteure.

La perception thermique des occupants de logement HPE Blida se divise en deux parties principales, une favorable qui s'étend de mai à octobre, et défavorable, pendant la saison froide. L'absence d'inconfort thermique est liée aux conditions climatiques douces de la ville de Blida et au type des solutions proposées pour lutter contre l'inconfort thermique estival, par l'utilisation d'une protection solaire et d'un toit en pente.

• **HPE Djelfa :**



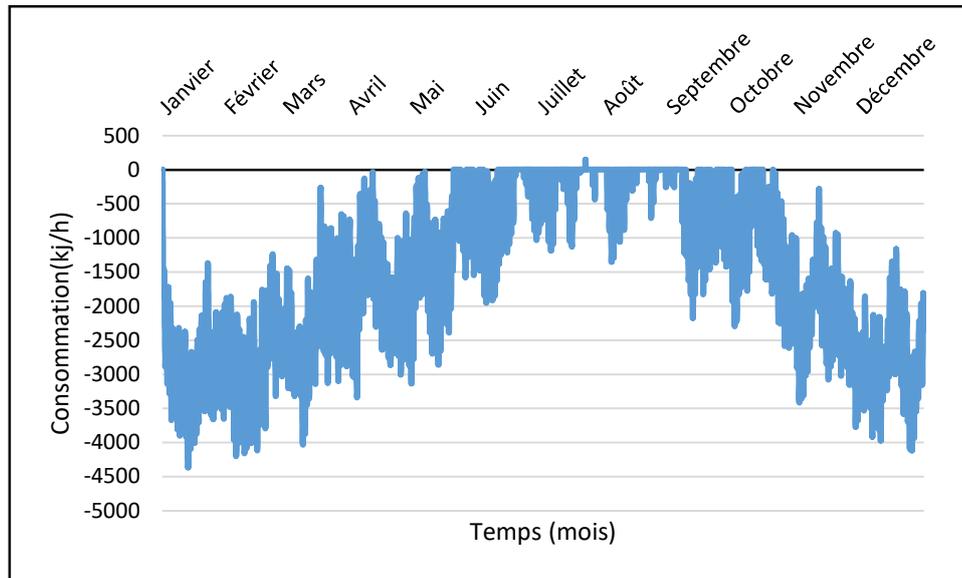
**Figure V-31** : Évaluation de l'indice PPD des logements HPE Djelfa pendant une année. Source auteure, 2023

Le graphe de la figure V-31 présente l'évolution de l'indice du pourcentage de personnes insatisfaites de trois espaces testés des logements HPE Djelfa. Le résultat favorise une augmentation du pourcentage des personnes insatisfaites pendant la période la plus froide de l'année pour atteindre les 100 % durant les mois de décembre, janvier et février pour les trois zones thermiques du logement. Le PPD de 100 % pour l'espace de séjour s'étend aux mois de mars, avril et novembre. Cela est lié aux valeurs très basses de températures durant la saison froide. L'augmentation des profils des températures favorise une diminution de l'indice PPD durant les mois qui reste de l'année pour l'espace de séjour. Alors que les autres espaces connaissent une autre augmentation pendant les mois chauds, juillet et août.

**V.2.2.4 Quantité d'énergie consommée :**

Le graphe ci-dessous présente la quantité d'énergie à consommer pour garantir les ambiances thermiques favorables selon le scénario proposé pour le déclenchement des outils mécaniques du chauffage et de la climatisation. Il s'agit d'évaluer le besoin énergétique pour créer des ambiances thermiques stables dans la plage de confort thermique entre 20 °C et 26 °C. Nous avons opté pour le choix de la température de 20 °C pour le déclenchement du chauffage, alors que 26 °C pour la mise en marche de la climatisation. La disposition du chauffage et de climatisation est dans le Hall d'entrée en faisant référence à l'état des lieux des logements d'étude.

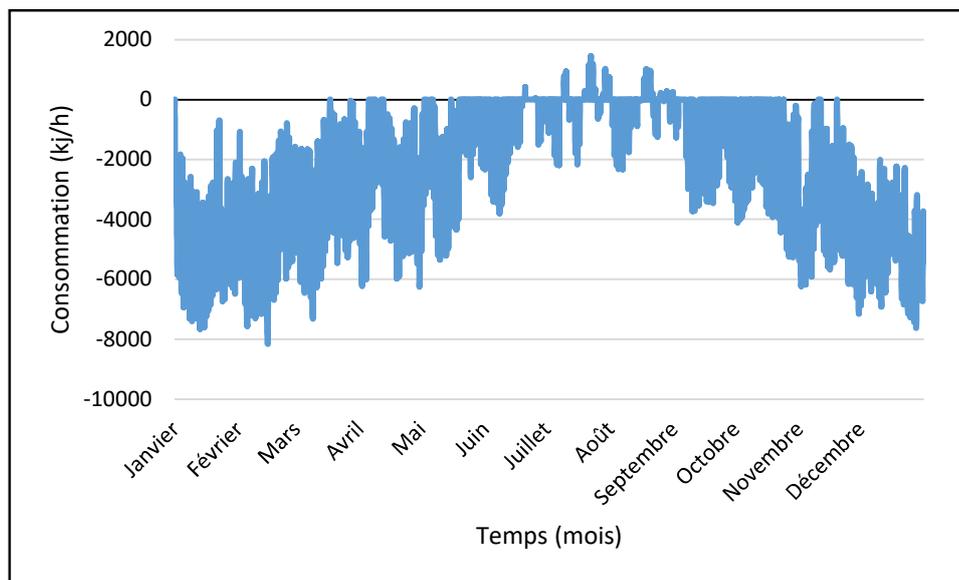
• **HPE Blida :**



**Figure V-32:** Quantité d'énergie à consommer des logements HPE Blida. Sources auteure.

Le résultat de la simulation démontre que la consommation énergétique est limitée au besoin du chauffage. Les mois de la période froide, décembre, janvier et février favorisent des valeurs maximales de la consommation énergétique qui varient entre 3500 et 4000 kJ/h. Alors que pendant les mois de mars, avril, mai, septembre et octobre, les besoins énergétiques se diminuent à 2500 et 3000 kJ/h. Durant les mois de la période chaude, les besoins de la consommation énergétique sont négligeables.

• **HPE Djelfa :**



**Figure V-33:** Evolution de la consommation énergétique pendant une année des logements HPE Djelfa. Source auteure, 2023.

La figure V-33 illustre la quantité des besoins énergétiques qui sont pour maintenir la qualité thermique du logement. Il s'agit de quantifier la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation mécanique qui sont disposés dans l'espace de la circulation. Les résultats de la simulation indiquent que la quantité de l'énergie à consommer augmente durant les mois les plus froids de l'année pour atteindre une valeur de 8000 kJ/h. Cette valeur se diminue progressivement lorsque la température augmente pendant les autres mois.

La consommation énergétique des logements HPE Djelfa est plus importante que celle des logements HPE Blida. Cela est lié au climat plus défavorable en hiver de la ville de Djelfa par rapport à celle de la ville de Blida.

**Conclusion :**

L'évaluation de l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique (HPE) nécessite des interventions sur des prototypes existant en faisant référence au type de climat de chaque cas d'étude. Ce chapitre concerne l'évaluation objective du comportement thermique et énergétique des cas d'étude ainsi que le niveau de satisfaction des sensations des usagers de l'espace pendant les saisons hivernales et estivales. Cela est par le biais de l'investigation in-situ et la simulation thermique.

## Chapitre V : Évaluation Objective du confort thermique, mesures et simulation thermique.

Les résultats des mesures in situ ont montré un manque du confort thermique aussi bien en hiver qu'en saison d'été. Ensuite, il s'agit de valider les résultats numériques. La simulation thermique, pendant une période d'une année, a favorisé une inadéquation des valeurs de la température avec la plage du confort thermique, l'insatisfaction des sensations des usagers ainsi que l'augmentation de la quantité de la consommation énergétique. Ce qui a prouvé l'insuffisance des solutions apportées aux deux projets d'étude. À cet effet, cela confirme le besoin de travailler sur l'optimisation de certains paramètres qui composent l'enveloppe thermique qui fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE VI :

*Proposition d'une nouvelle  
variante conceptuelle*

## **VI. Chapitre VI : Proposition d'une nouvelle variante conceptuelle**

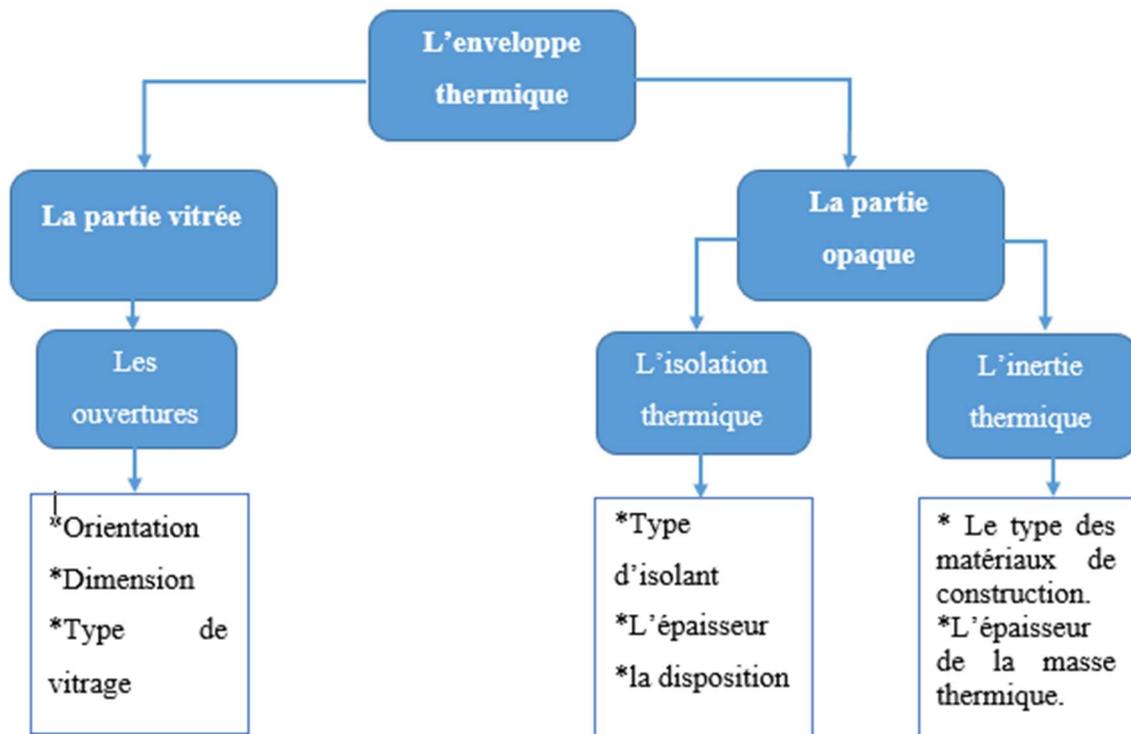
### ***Introduction***

Pour améliorer la qualité thermique des ambiances intérieures et rationaliser la consommation énergétique, notre travail consiste à intervenir au niveau de l'enveloppe thermique. Cela est par le biais de la simulation thermique des paramètres qui le composent.

La détermination de l'enveloppe en tant qu'objet des interventions est pour son effet de protection de l'intérieur de l'influence des éléments négatifs du climat extérieur. C'est le milieu des transferts de la chaleur. Alors que ce dernier est le responsable des 81 % des déperditions thermiques. (ALAIEB, 2014).

La procédure de ce travail consiste à intervenir sur les paramètres qui composent l'enveloppe thermique. La partie vitrée de l'enveloppe concerne l'orientation, la surface des ouvertures et le type de vitrage. La partie opaque est relative à l'inertie thermique, aux matériaux de construction et à l'isolation.

Le processus d'amélioration conceptuel consiste à intervenir en deux étapes principales. La première partie consiste à réaliser une série des tests de simulation en se focalisant sur un paramètre à la fois, et en faisant référence à l'espace de séjour du projet HPE Blida. Cela est pour retenir les meilleures configurations et de maîtriser l'impact de chaque paramètre sur le confort d'hiver et celui d'été. Puis, il s'agit de créer une combinaison entre les meilleures configurations, qui en résultent de cette initiation pour les appliquer aux cas d'étude, HPE Blida et HPE Djelfa afin de créer des nouvelles variantes conceptuelles. L'évaluation des nouvelles configurations sera de la même manière que l'état initial de chaque cas d'étude, la température opérative, les indices d'évaluation de confort thermique et la quantité d'énergie à consommer. Il s'agit de quantifier l'amélioration par rapport à l'état initial de chaque cas d'étude.



*Figure VI-1: Protocole de la simulation. Source auteure, 2023.*

### ***VI.1 Désignation des jours de simulation***

La sélection des trois jours les plus défavorables, en hiver et en été, vise à effectuer les comparaisons nécessaires pour mettre en évidence les paramètres optimaux afin d'améliorer la qualité des ambiances thermiques intérieures des deux cas d'étude. En hiver, nous avons désigné les jours de 13, 14 et 15 janvier pour effectuer les simulations d'amélioration. Bien qu'en été, nous avons opté aux jours de 22, 23 et 24 juillet.

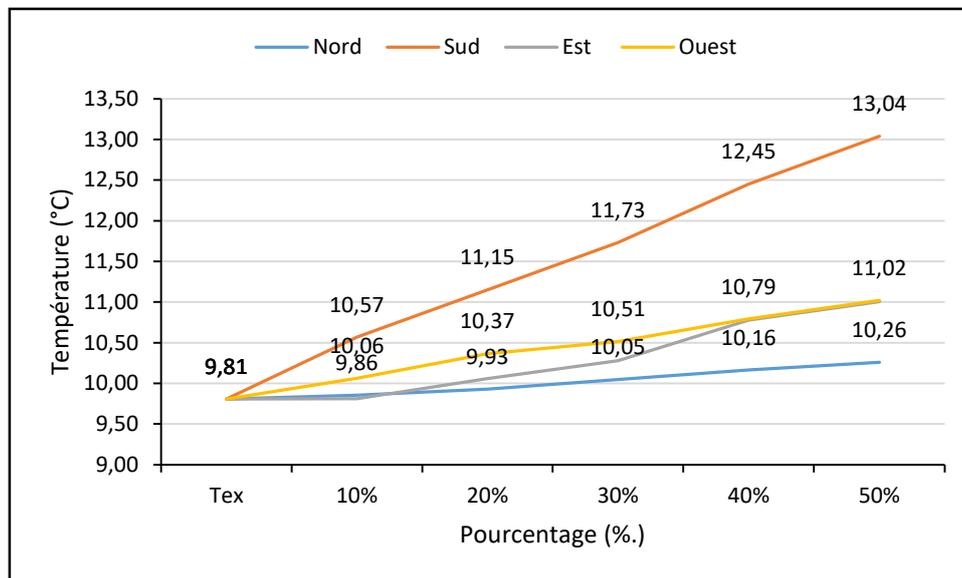
### ***VI.2 Etude paramétrique des composants de l'enveloppe thermique***

La sélection de chaque paramètre séparément est pour étudier son influence sur l'amélioration de la performance thermique et énergétique du système constructif. Ces opérations sont effectuées en faisant référence à l'espace de séjour du logement type du projet HPE Blida. La période d'essai est durant les trois jours défavorables d'été et ceux d'hiver pour les deux cas d'étude.

## **VI.2.1 L'impact d'orientation et dimension des ouvertures**

Dans la revue de la littérature, plusieurs recherches ont fait l'objet de travailler sur l'orientation la plus optimale dans des climats différents. Afin de maîtriser l'impact du pourcentage de vitrage et d'orientation d'ouverture sur la qualité thermique d'espace, nous avons effectué une série des simulations pour tester les différentes orientations et surfaces de vitrage des ouvertures.

Les figures VI-2 et VI-3 présentent l'évaluation de l'impact du pourcentage de la surface vitrée par rapport à la surface de la façade qui la comporte sur l'état du confort thermique en hiver comme en été. Il s'agit d'effectuer une comparaison entre cinq modèles (SV10 %, SV20 %, SV30 %, SV40 %, SV50 %), selon les quatre orientations principales, Nord, Sud, Est et Ouest.



**Figure VI-2:** Évaluation de l'impact du pourcentage des ouvertures dans la façade durant l'hiver. Source auteure, 2023.

Le résultat de cette simulation montre une différence d'évolution des courbes de la température ambiante en hiver entre les cinq modèles étudiés. L'orientation la plus bénéfique est celle vers le sud où la température ambiante moyenne varie entre 10,57 °C et 13,04 °C pour des surfaces des ouvertures de 10 % et 50 % de la surface de la façade. L'augmentation de la surface vitrée favorise une augmentation de la température ambiante de l'espace qui donne vers le sud. Cela est lié à la disposition du soleil en hiver qui favorise la pénétration des rayons solaires pour assurer le chauffage solaire passif. Les autres orientations favorisent moins d'ensevelissements avec une évolution plus faible vu l'absence des rayons solaires intenses.

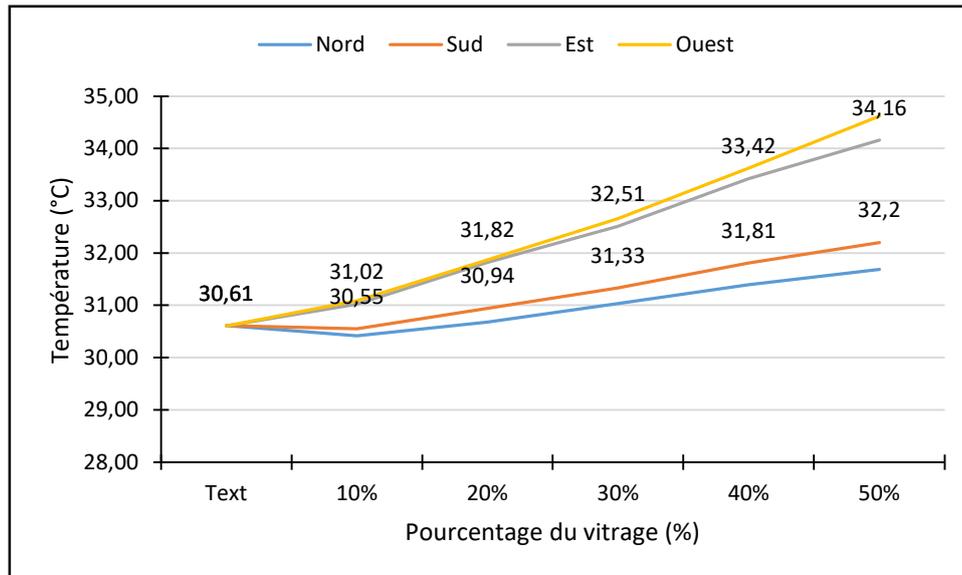


Figure VI-3: Évaluation de l'impact du pourcentage des surfaces des ouvertures dans la façade en été. Source auteure, 2023.

Le graphe de la figure VI-3 présente l'évolution des profils des températures moyennes ambiantes en été des différentes orientations selon le pourcentage de la surface des ouvertures. Le résultat de la simulation favorise une grande intensité de profils des orientations est et ouest avec l'augmentation des surfaces des ouvertures qui présentent des valeurs moyennes de la température de 34.62 °C et 34.16 °C respectivement pour une surface des ouvertures de 50 %. Alors que les courbes des orientations nord et sud s'évaluent d'une manière plus faible avec l'agrandissement des surfaces vitrées. Pour 50 % d'ouvertures, les profils des températures ambiantes des espaces qui donnent vers le nord, présentent une valeur moyenne de 31.69 °C. Alors que la façade sud favorise une température moyenne de 32.2 °C. À cet effet, nous constatons que la façade sud est la plus optimale en été comme en hiver.

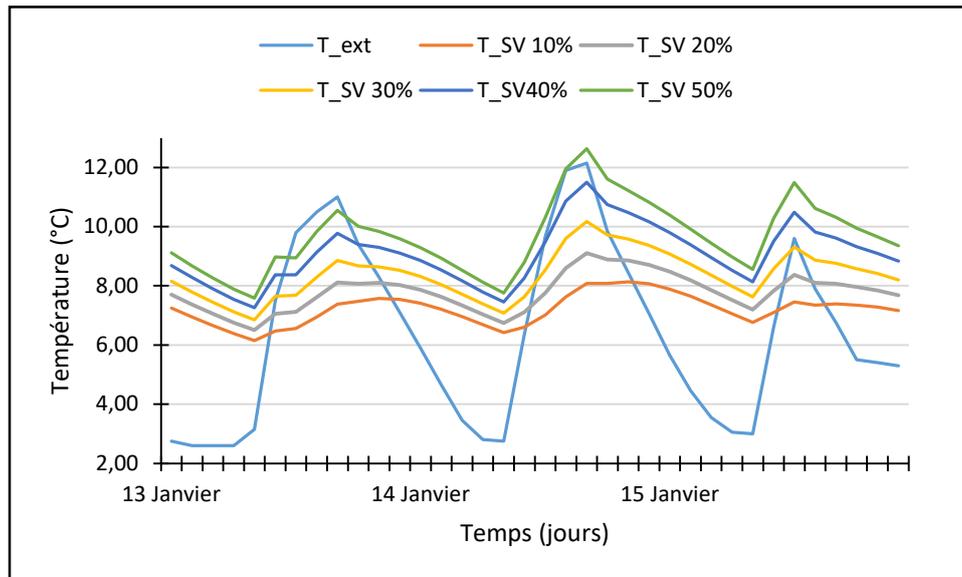


Figure VI-4: Profil des températures ambiantes en hiver. Source auteure, 2023

Le graphe ci-dessous présente l'impact d'augmentation de la surface vitrée sur l'évolution des températures ambiantes pendant les trois jours les plus défavorables en hiver. Le résultat de la simulation indique que l'accroissement de la surface vitrée de la façade sud favorise une augmentation importante des gains thermiques en hiver où la différence entre le profil des températures ambiantes de SV de 10 % et celui de SV 50 % arrive à 4,56 °C pendant les heures des températures maximales. Cela est un bon indice qui favorise plus de confort thermique pendant l'hiver. Mais cela nécessite la vérification de l'impact de cette augmentation sur la qualité thermique du logement pendant la période chaude de l'année.

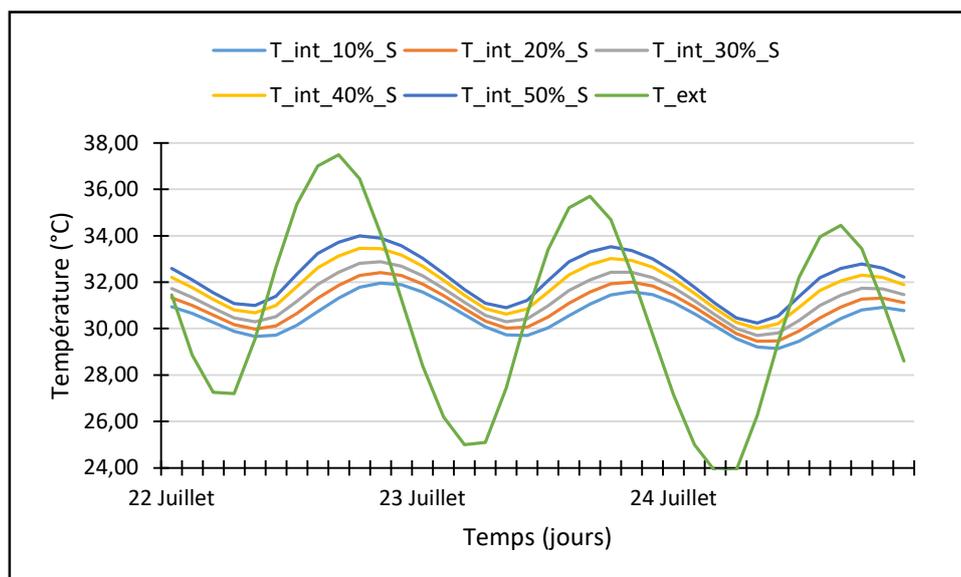


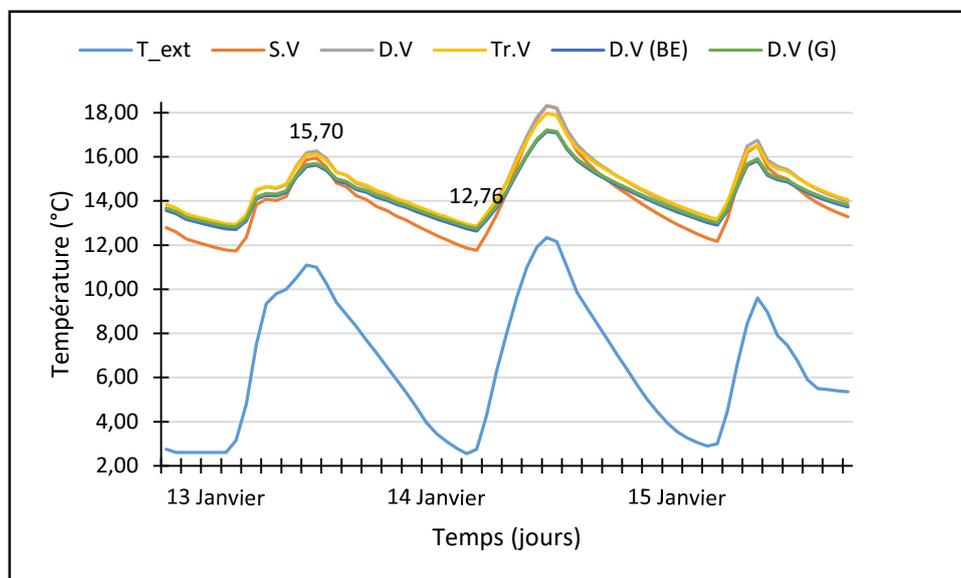
Figure VI-5: Profil des températures ambiantes en été. Source auteur

L'agrandissement de la surface vitrée de la façade sud pendant l'été favorise une augmentation des températures ambiantes journalières liées à la pénétration intensive des rayons solaires durant les heures des piques maximales. La différence entre les valeurs maximales de la courbe des températures de la surface de 10 % et du profil de 50 % arrive à 2.03 °C. À cet effet, une rationalisation de la surface vitrée est importante pour éviter qu'elle soit une source d'inconfort thermique.

Cela indique l'importance de la désignation de la dimension des ouvertures selon le type de climat et l'orientation des façades. Suivant le résultat de notre travail, nous avons retenu que le pourcentage de 30 % pour l'orientation sud est favorable afin de bénéficier de chauffage passif en hiver et d'éviter les surchauffes d'été pour plus une surface vitrée plus importante. Plusieurs études confirment ce résultat comme celle de S. Jaber et S. Ajib qui ont traité l'ensemble des façades pour le climat d'Amman en Jordanie. (Jaber & Ajib, 2011).

## **VI.2.2 L'impact du type de vitrage :**

L'augmentation de la surface vitrée pour bénéficier du chauffage solaire passif devient une source d'inconfort par l'augmentation des déperditions thermiques pendant les moments les plus défavorables en hiver. À cet effet, l'étude de l'impact de type de vitrage est un autre élément à prendre en considération.



**Figure VI-6:** L'impact du type du vitrage sur le profil des températures ambiantes en hiver. Source auteur

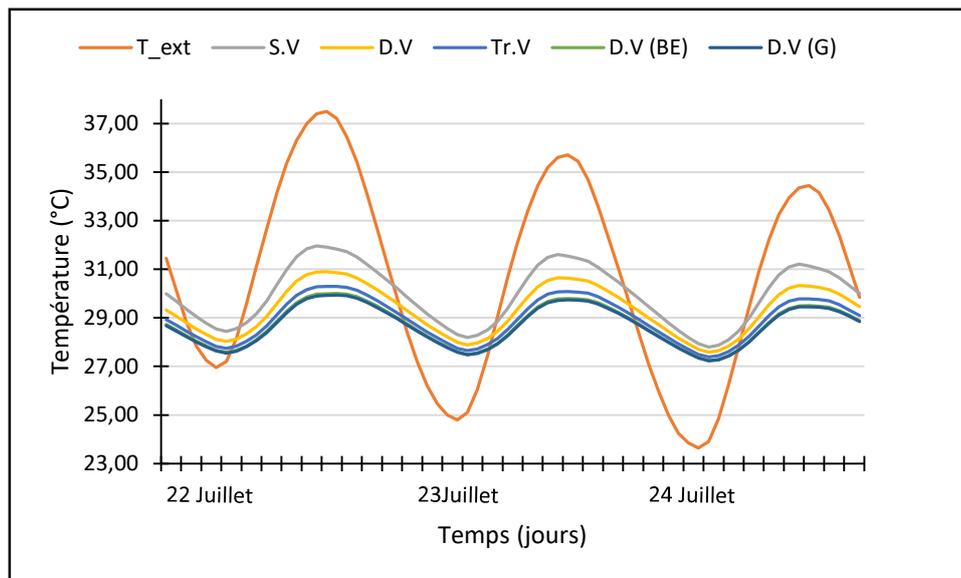
Le graphe de la figure VI-6 présente l'impact de type de vitrage sur la qualité thermique d'espace en hiver. Cinq types du vitrage seront testés par la simulation thermique. (voir tableau 14)

**Tableau 14:** Caractéristiques des types de vitrage étudié.

<b>Codification</b>	<b>S.V</b>	<b>D.V</b>	<b>Tr.V</b>	<b>D.V(BE)</b>	<b>D.V (G)</b>
<b>Type de vitrage</b>	Simple vitrage	Double vitrage	Triple vitrage	Double vitrage en basse émissivité	Double vitrage avec gaz d'argon
<b>Dimensions (mm)</b>	2.5	2.5/12.7/2.5	2.5/12.7/2.5/12.7/2.5	3/12.7/2.5	3/12.7/2.5
<b>U(w/m<sup>2</sup>.k)</b>	5.74	2.95	2	1.76	1.43

Le résultat de la simulation favorise la présentation de cinq profils des températures ambiantes selon les cinq types de vitrage étudié. Le simple vitrage présente une amplitude maximale de 6.56 °C en hiver et 3.56 °C en été. Alors que le vitrage de type double avec un gaz isolant favorise moins d'amplitude maximale d'une valeur de 2.94 °C en hiver et 2.38 °C en été. Pendant la saison hivernale, l'amélioration de type de vitrage favorise la minimisation des déperditions thermiques dont l'augmentation des températures minimales arrive à 1.11 °C en hiver pour le double vitrage avec gaz d'argon. (voir figure VI-6).

L'amélioration du type de vitrage permet de réduire la transmission thermique (Khadraoui M. A., 2019). Ce qui assure une diminution des températures ambiantes, en été, qui arrive à 2.03 °C (voir figure VI-7).



**Figure VI-7:** L'impact du type de vitrage sur le profil de la température ambiante estivale. Source auteure, 2023

Les résultats obtenus de la simulation en été et celle d'hiver indiquent l'importance de la prise en considération du type de vitrage pour assurer une amélioration de la qualité thermique et énergétique du logement. Donc le double vitrage avec un gaz isolant présente la meilleure configuration en été comme en hiver.

Le traitement de la partie vitrée de l'enveloppe thermique, par une combinaison entre deux paramètres, la surface adéquate des ouvertures et le type des ouvertures, est une phase très importante pour réussir une conception efficace énergétiquement.

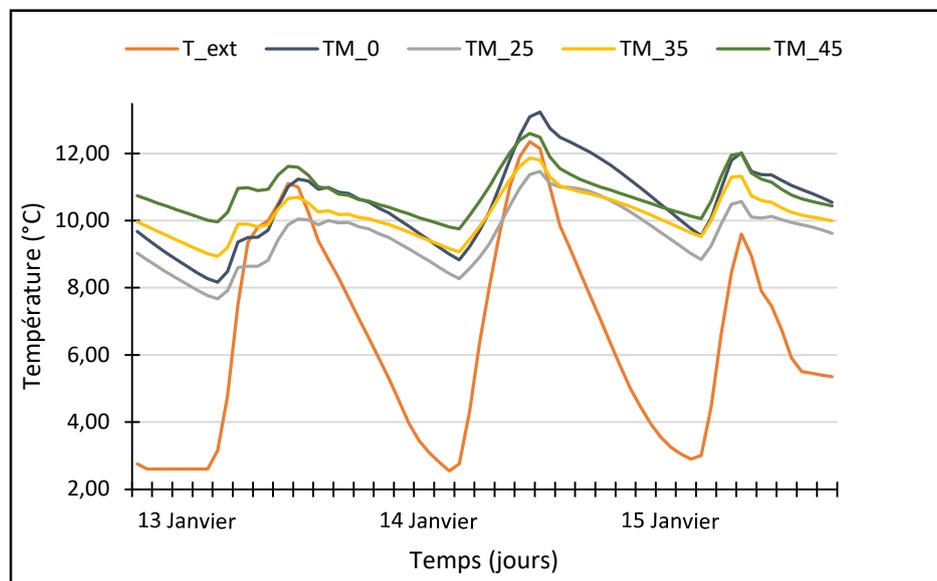
### **VI.2.3 Étude de l'impact de L'inertie thermique**

Plusieurs études ont prouvé l'intérêt de l'inertie thermique en tant qu'un système régulateur de la température ambiante intérieure de l'espace. Son rôle consiste à tirer les bienfaits du climat extérieur tout en protégeant l'intérieur de ses effets néfastes. Cela est par l'accumulation de la chaleur du jour pour la redistribuer plus tard. À cet effet, notre étude consiste à remplacer les parois extérieures, du cas d'étude composé par les briques creuses, par des briques pleines d'un côté. D'un autre côté, il s'agit de remplacer les planchers, haut et bas à corps creux par des planchers en béton plein. Cela assure l'augmentation de l'inertie thermique en premier lieu en gardant la même dimension que le cas existant (MT\_25). Par la suite, une proposition de deux autres modèles, en augmentant l'épaisseur de la masse thermique, est pour évaluer la dimension optimale d'une masse thermique pour aboutir aux objectifs d'amélioration thermique et énergétique (voir tableau 15). L'objectif de cette partie de la recherche est de vérifier l'intérêt de l'inertie thermique pour assurer

une amélioration thermique et énergétique dans le contexte d'un climat méditerranéen de la ville de Blida par le biais d'une simulation thermique.

**Tableau 15:** caractéristiques dimensionnelles des modèles simulés. Source auteur, 2023.

Modèles	Mur		Plancher bas		Plancher haut	
	Epaisseur (cm)	U (w/m <sup>2</sup> k)	Epaisseur (cm)	U (w/m <sup>2</sup> k)	Epaisseur (cm)	U (w/m <sup>2</sup> k)
<b>MT_0 (sans inertie)</b>	25	0.856	20	2.628	20	2.632
<b>MT_25</b>	25	2.38	20	2.925	20	2.930
<b>MT_35</b>	35	1.978	30	2.50	30	2.510
<b>MT_45</b>	45	1.693	40	2.190	40	2.195



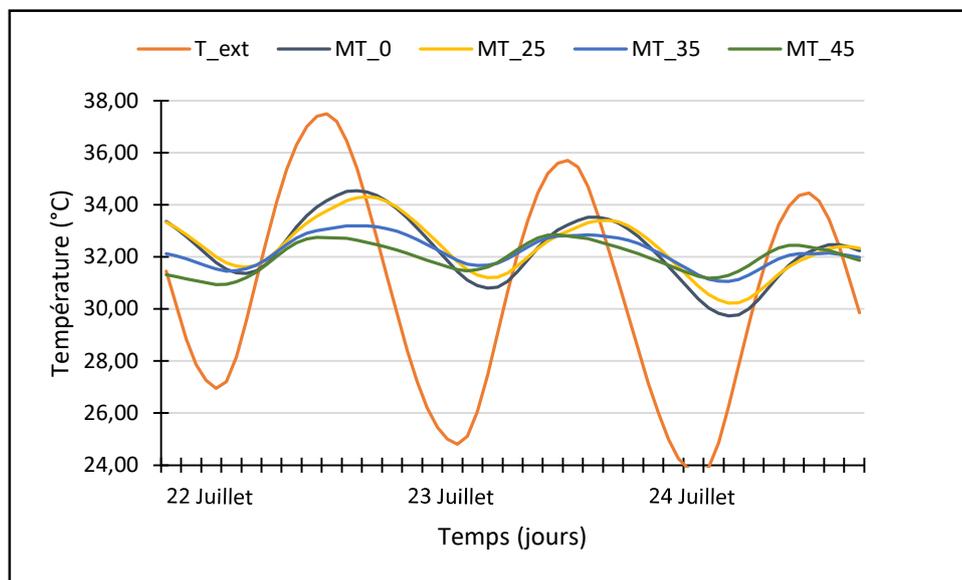
**Figure VI-8:** L'impact de l'inertie thermique sur l'évolution des températures ambiantes en hiver. Source auteure, 2023

Le graphe de la figure VI-8 présente l'impact de l'augmentation de l'inertie thermique sur la variation des températures ambiantes pendant les trois jours les plus froids en hiver. Toutes les parois traitées, par cette simulation, ne contiennent aucune isolation thermique.

Le résultat de la simulation indique que l'augmentation de l'inertie thermique, en gardant les mêmes caractéristiques géométriques, favorise une diminution des températures ambiantes en hiver qui arrive à 1.39 °C (voir figure 27). L'inertie thermique offre une diminution des amplitudes maximales de 4.17 °C à 3.09 °C pour le modèle MT\_25. Cela remonte à l'accumulation de la

chaleur dans la masse thermique. La dégradation de la qualité thermique des améliorations obtenues est liée principalement à la dimension limitée de la masse thermique testée.

L'évolution de profil des températures ambiantes du modèle MT\_45 indique que l'agrandissement de l'épaisseur de la masse thermique favorise une amélioration de la qualité thermique intérieure de l'espace. Cela est par une diminution de l'amplitude maximale pour qu'il soit 2.85 °C et l'augmentation des valeurs des températures, surtout minimales, qui arrive à 2.04 °C par rapport à la température du modèle MT\_0. La stabilisation du profil des températures ambiantes est liée à l'accumulation de la chaleur dans la masse thermique pour être restituée d'une manière plus lente que l'enveloppe thermique légère.



**Figure VI-9:** L'impact de l'inertie thermique sur l'évolution des températures ambiantes en été. Source auteure, 2023

Le graphe ci-dessus permet de visualiser l'impact de l'inertie thermique sur la variation du profil des températures ambiantes par la simulation thermique pendant trois jours de la saison estivale (voir figure VI-9). Une diminution des valeurs de la température ambiante caractérise la courbe du modèle MT\_45 qui favorise plus d'inertie thermique.

Le profil de la température du modèle MT\_25 ne reflète pas l'amélioration attendue suite à la faible épaisseur de la masse thermique. Alors que les deux modèles MT\_35 et MT\_45 favorisent des profils des températures plus performants suite à l'accroissement des dimensions de la masse thermique. La diminution des températures maximales estivales arrive à 1.62 °C pour le

modèle MT\_45. L'inertie thermique est un facteur stabilisant des températures ambiantes de l'espace qui provoque une diminution des amplitudes maximales des profils de la température.

Les résultats obtenus de cette partie valorisent l'intérêt de l'intégration de l'inertie thermique lors d'une conception d'un système constructif qui offre plus d'efficacité thermique et énergétique. L'intégration de l'isolation thermique à l'enveloppe thermique va être l'objectif de la simulation thermique pour la prochaine partie.

## **VI.2.4 Étude de l'impact de l'isolation thermique**

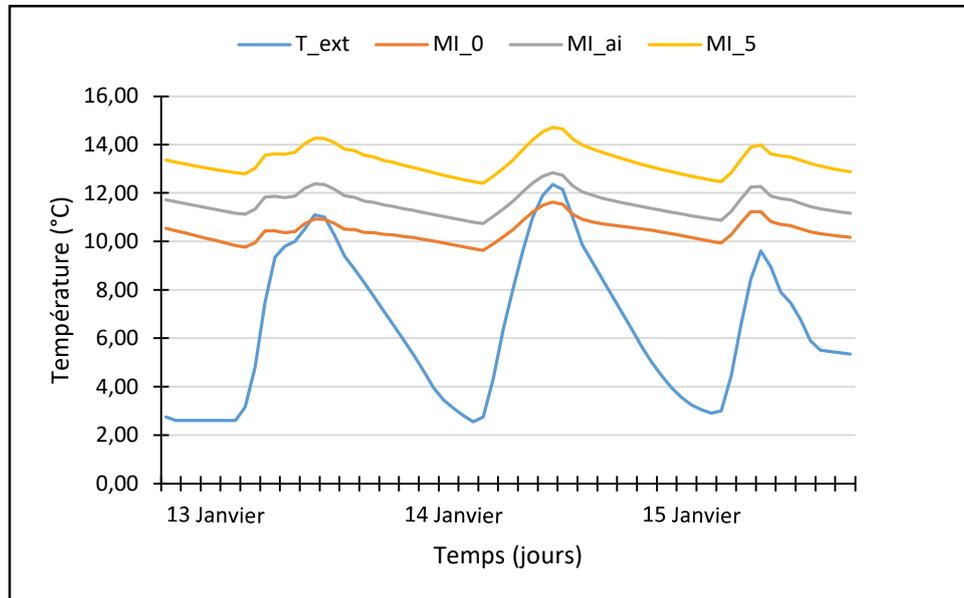
Dans le contexte d'amélioration thermique et énergétique des cas d'étude, nous allons travailler sur l'intégration de l'isolation thermique à l'enveloppe thermique. À cet effet, trois éléments principaux vont être traités par la simulation thermique. Il s'agit de prendre en considération le type d'isolant, l'épaisseur optimale et la disposition favorable par rapport à l'enveloppe thermique. Les modèles, qui vont être testés dans cette partie, sont explorés dans le tableau suivant (voir tableau 16).

**Tableau 16:** Descriptive des modèles simulés par la simulation thermique. Source auteur, 2023

<b>Modèles</b>	<b>Mur</b>	<b>Plancher haut</b>
	Epaisseur (cm)	Epaisseur (cm)
<b>MI_0</b> <b>(Sans isolation)</b>	0	0
<b>MI_AI</b>	5 (lame d'air)	0
<b>MI_5</b>	5 (polystyrène)	5
<b>MI_10</b>	10	10
<b>MI_15</b>	15	15
<b>MI_20_interm</b>	20	20
<b>MI_20_int</b>	20	20
<b>MI_20_ext</b>	20	20

Le graphe de la figure VI-10 illustre l'impact de l'intégration de l'isolation thermique sur le profil des températures ambiantes pendant trois jours de la saison d'hiver. Le résultat de la simulation indique que l'ajout d'une lame d'air à la paroi favorise une augmentation des valeurs

de la température qui varie entre 1.04 °C et 1.43 °C pour le traçant présenté. Alors que le remplacement de la lame d'air par cinq centimètres du polystyrène favorise une augmentation des températures ambiantes par des valeurs variant entre 2.54 °C et 3.34 °C pendant la période la plus défavorable en hiver.



**Figure VI-10:** Evaluation de l'impact de l'isolation thermique sur la température ambiante en hiver. Source auteur, 2023

Le graphe ci-dessous présente l'impact de l'isolation thermique sur l'évolution des températures ambiantes pendant la saison estivale (voir figure VI-11). La représentation des résultats est pendant trois jours les plus défavorables en été. Le profil de la température ambiante, issue de l'ajout d'une lame d'air de cinq centimètres, illustre une réduction des températures ambiantes par des valeurs qui arrivent à 1.06 °C et représentent une courbe presque parallèle au profil des températures de l'état initial. Alors que le remplacement de la lame d'air par l'isolant du polystyrène offre plus d'amélioration thermique en été. Le profil des températures ambiantes issu de l'ajout de la polystyrène présente une diminution des valeurs des températures qui varient entre 1.48 °C et 2.69 °C.

Les résultats obtenus lors de l'ajout d'isolation thermique sont acceptables et confirment l'intérêt porté à ce type de matériau de construction qui favorise l'amélioration des performances énergétiques et thermiques du système constructif.

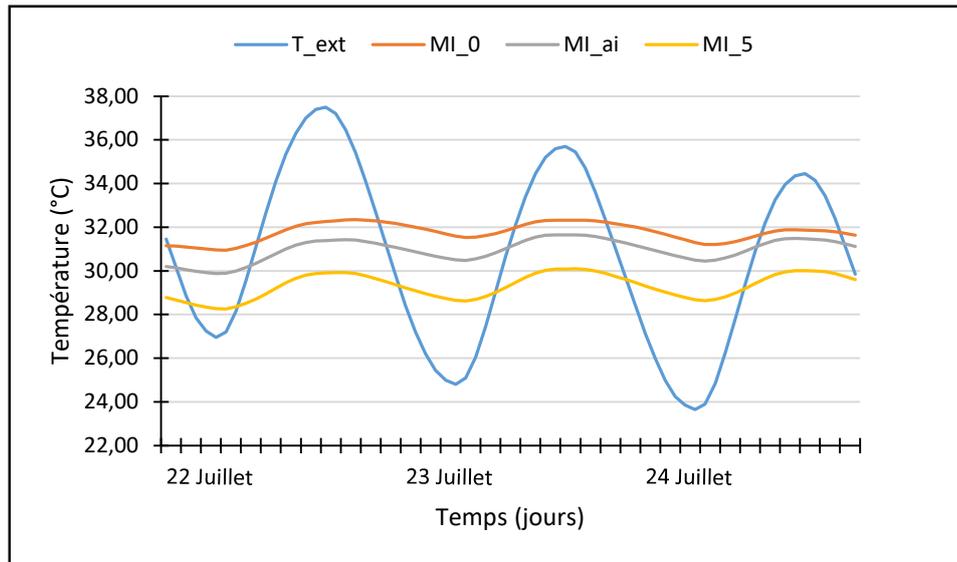


Figure VI-11: Évolution de l'impact d'isolation thermique sur la température ambiante en été.  
Source auteure, 2023

#### VI.2.4.1 Épaisseur d'isolant

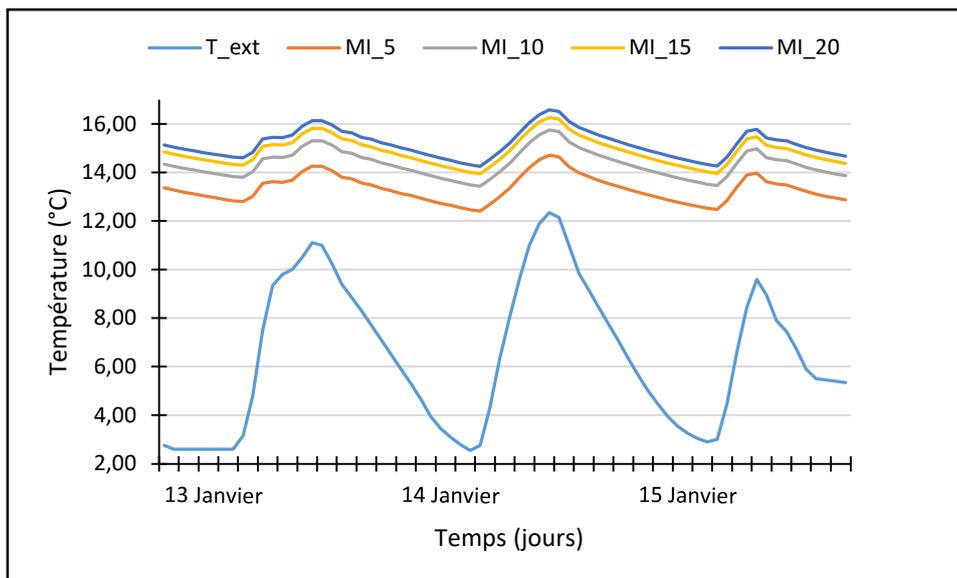
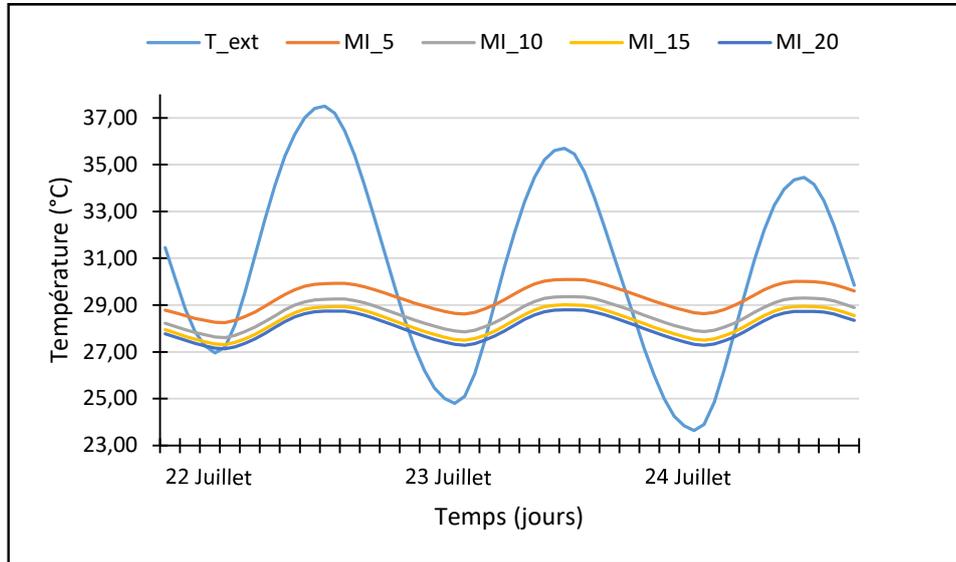


Figure VI-12: L'impact de l'épaisseur d'isolant thermique sur le profil de la température ambiante intérieur d'hiver.  
Source auteure.

Le graphe de la figure VI-12 illustre l'impact de l'augmentation d'épaisseur d'isolant thermique sur la variation du profil de la température ambiante pendant la saison d'hiver. La représentation des résultats est pendant trois jours les plus froids du mois de janvier.

Les profils de résultats indiquent qu'il existe une relation directe entre l'agrandissement de l'épaisseur d'isolant et l'augmentation des gains thermiques en hiver. Cependant, l'agrandissement

d'épaisseur d'isolant de 5 cm à 10 cm entraîne une amélioration de température maximale de 1.02°C en moyenne. Alors que l'utilisation d'une plus grande épaisseur offre moins d'amélioration thermique, où le passage de 15 cm à 20 cm d'isolant favorise une différence moyenne de 0.31 °C.



**Figure VI-13:** Étude de l'impact de l'épaisseur d'isolant sur le profil des températures ambiantes en été.  
Source auteure, 2023.

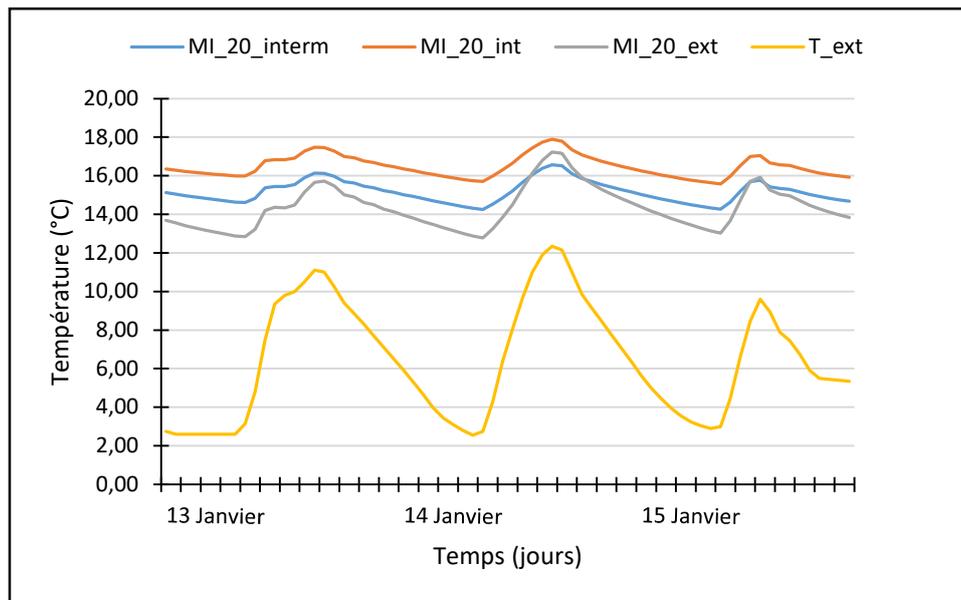
Le graphe présenté ci-dessus, illustre l'effet de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation thermique sur l'évolution des températures ambiantes estivales (voir figure VI-13). Le résultat de la simulation montre que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation thermique contribue à abaisser les profils de température ambiante. La valeur de l'amélioration thermique diminue à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente. En modifiant l'épaisseur de l'isolant de 5 cm à 10 cm, la réduction des températures estivales est d'une moyenne de 0.71 °C. Bien que l'amélioration thermique moyenne de l'espace devienne 0.20 °C avec une augmentation de l'épaisseur de l'isolant de 15 à 20 cm. À cet effet, nous constatons que l'augmentation d'épaisseur en plus de 20 cm n'a pas beaucoup d'intérêt.

#### VI.2.4.2 **Disposition d'isolant :**

Pour clarifier les résultats de la disposition optimale d'isolant dans l'enveloppe thermique, nous avons opté pour le choix de l'épaisseur de 20 cm.

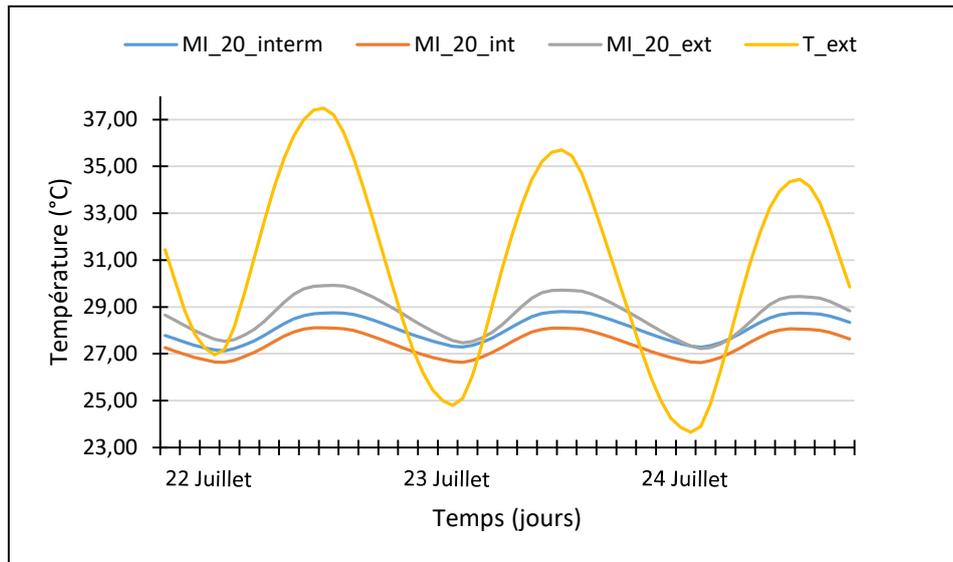
Le graphe de la figure VI-14 illustre l'impact de la disposition d'isolant thermique dans les parois verticales et horizontales sur la variation des températures ambiantes pendant trois jours les plus défavorable en hiver. Cette simulation favorise que la meilleure disposition d'isolant

thermique est celle de l'intérieur par des valeurs optimales de la température ambiante avec une augmentation moyenne par rapport à la disposition intermédiaire de 1.31 °C d'un côté. D'un autre côté, l'isolation par l'intérieur des parois offre un profil des températures ambiantes plus stables que les autres courbes. Alors que l'isolation par l'extérieur favorise une diminution des valeurs des températures ambiantes par une moyenne de 0.82 °C avec une augmentation des amplitudes maximales de 4.13 °C pour le tronçon des trois jours défavorables. (voir figure VI-14).



**Figure VI-14:** *l'impact de la disposition d'isolant thermique sur le profil des températures ambiantes en hiver.*  
Source auteure, 2023

Le graphe ci-dessous présente les résultats de l'étude numérique de l'impact de la disposition d'isolant sur l'évolution des profils des températures ambiantes pendant les jours les plus chaudes en été (voir figure VI-14). Trois variantes d'isolant thermique sont disposées de côté intérieur, intermédiaire et extérieur. Les résultats de la simulation montrent qu'une diminution de profil des températures ambiantes relatives à l'isolation intérieure avec une stabilisation de ses valeurs de température (voir modèle MI\_20\_int). L'isolation par l'extérieur favorise une courbe des températures ambiantes plus défavorable que celle de l'isolation par l'intérieur. L'écart entre les deux courbes arrive à 1.79 °C.



**Figure VI-15:** L'impact de la disposition de l'isolant thermique sur le profil de la température ambiante en été.  
Source auteure, 2023.

Les résultats de l'étude numérique confirment l'impact positif de l'isolation thermique sur l'amélioration du confort thermique intérieur. Le choix adéquat du type d'isolant, de son épaisseur et de sa disposition favorise une amélioration des performances thermiques et énergétiques pour un climat tempéré.

### ***VI.3 Optimisation paramétrique des composants de l'enveloppe thermique***

Suite à l'optimisation de quelques paramètres, notre travail consiste à réaliser des configurations liées au croisement des variables les plus optimales pour introduire une nouvelle variante conceptuelle de chaque cas d'étude afin d'améliorer le comportement thermique et énergétique du logement. Chaque graphe est composé par quatre profils qui représentent les configurations relatives aux paramètres testés auparavant (voir tableau 17).

**Tableau 17:** Descriptif des configurations des résultats. Source auteur

	<b>Config#00</b>	<b>Config#01</b>	<b>Config#02</b>	<b>Config#03</b>
<b>Description constructif</b>	L'état initial (HPE Blida).  (HPE Djelfa)	30% de vitrage sur la façade sud.	L'inertie thermique (MT 45).	Isolation thermique (MI_20_int).  Double vitrage (DV_g).

La phase finale de cette recherche est la proposition d'une nouvelle variante conceptuelle de chaque cas d'étude. Cela se fait par l'intégration des paramètres optimisés, lors de la partie précédente de ce chapitre dans un processus de combinaison. L'évaluation des résultats est par l'étude des variations de température ambiante, de température opérative, des indices PMV et PPD et de la quantification de la consommation énergétique en faisant référence à l'état initial de chaque variable. Nous avons opté pour le choix de l'espace du séjour pour représenter les étapes fondées sur l'intégration des paramètres optimisés un par un. L'objectif est de proposer une approche conceptuelle de l'amélioration thermique et énergétique de l'espace.

### **VI.3.1 Optimisation du modèle HPE BLIDA**

Le graphe ci-dessous, relatif au processus d'amélioration de l'état thermique de l'espace de séjour, illustre trois étapes d'optimisation du modèle constructif initial de projet HPE Blida (voir figure VI-16). Le résultat de la simulation présente quatre profils de la température ambiante. La courbe de modèle config #00 représente la température ambiante de l'état constructif initial du projet HPE Blida ainsi que celui de projet HPE Djelfa. Alors que les trois autres profils présentent l'amélioration progressive par l'ajout des paramètres optimisés qui composent l'enveloppe thermique.

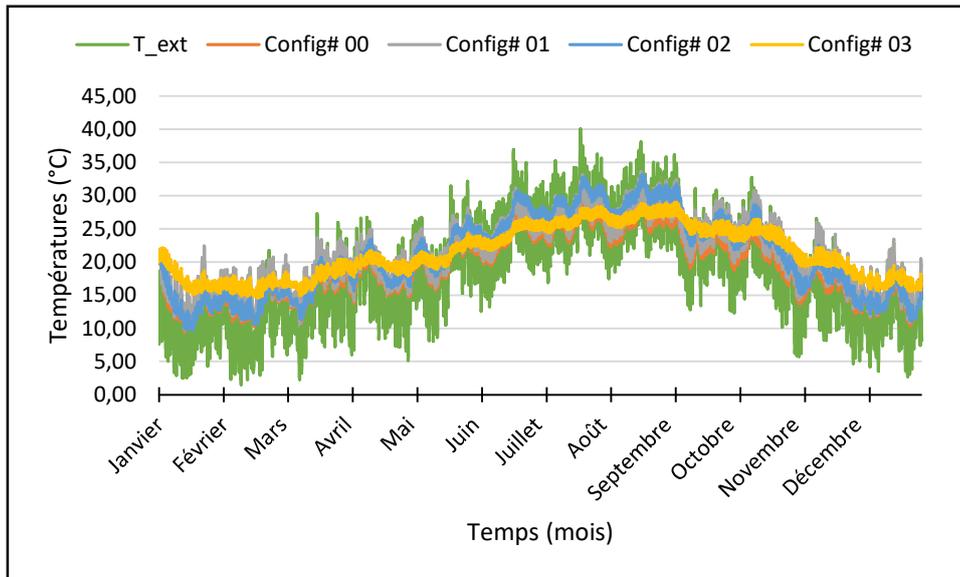


Figure VI-16: Evolution des températures ambiantes annuelles de configurations améliorées (HPE Blida). Sources auteure, 2023

### VI.3.2 Optimisation du modèle HPE Djelfa

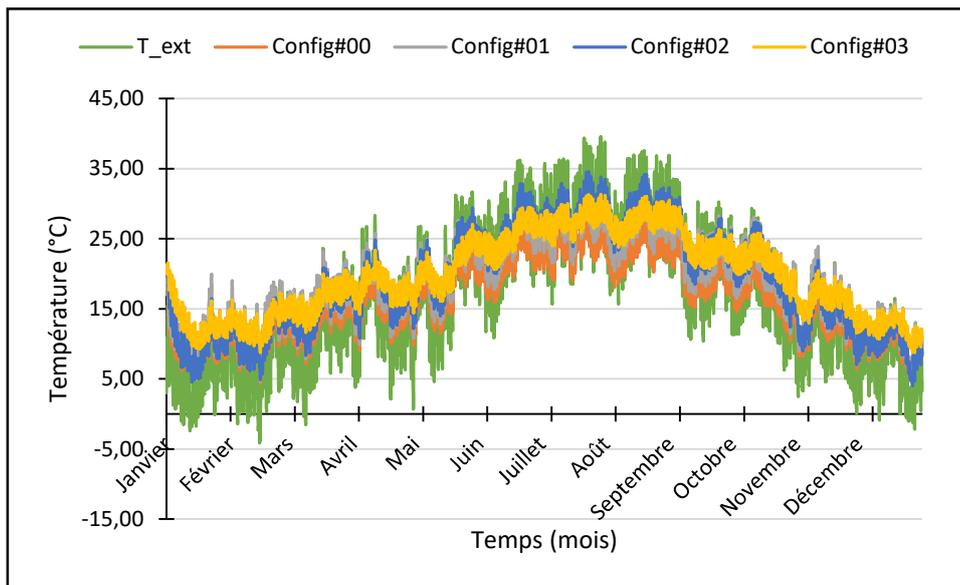


Figure VI-17: Evolution des températures ambiantes annuelles de configurations améliorées (HPE Djelfa). Sources auteure, 2023.

Le premier profil d'amélioration est lié à l'augmentation de la surface vitrée de 10 % (l'état initial). Les résultats de l'investigation montrent que l'adaptation du 30 % de la surface vitrée (Config#01) favorise une augmentation des températures maximales liées au chauffage solaire passif d'un côté. D'un autre côté, les valeurs minimales de la température diminuent suite à l'utilisation du simple vitrage qui favorise la déperdition thermique. Cela est similaire pour les

deux cas d'étude. À cet effet, l'amplitude maximale augmente pour qu'il arrive à 7.49 °C pour le climat de Blida et 9 °C pour la spécificité climatique de la ville de Djelfa.

Le graphe de la deuxième configuration optimisée représente le remplacement d'enveloppe léger (brique creuse et plancher à corps creux) par une enveloppe qui favorise plus d'inertie thermique. Cela est par l'utilisation de la brique pleine pour les parois extérieures et du béton plein pour les planchers inférieurs et ceux supérieurs (voir tableau 17). Les résultats liés au projet HPE Blida, représentent une diminution d'amplitude maximale à 4.09 °C, mais les valeurs des températures ambiantes ne représentent pas une amélioration considérable. Alors que les résultats, relatifs au projet HPE Djelfa, ont le même impact avec une diminution des valeurs des températures ambiantes par rapport au profil des températures obtenu de la ville de Blida. L'amplitude maximale est de 6.2 °C.

La configuration finale des résultats (Config#03), est obtenue suite à l'ajout d'une isolation thermique et au remplacement du simple vitrage par du double vitrage à gaz d'argon. Cela nous a permis d'obtenir le modèle final de chaque cas d'étude. Le profil des températures d'hiver du projet HPE Blida a favorisé une augmentation de 21 % par rapport à l'état initial, en ayant un régime plus stable exprimé par une réduction des valeurs des amplitudes journalières maximales qui arrivent à 2.83 °C. Cependant, la nouvelle configuration se caractérise par une stabilisation du profil des températures d'été par rapport à la configuration originale. Nous constatons que le processus d'amélioration du projet HPE Blida a permis d'atteindre les objectifs d'amélioration des performances thermiques et énergétiques des bâtiments résidentiels.

L'application du même processus d'optimisation au projet HPE Djelfa garantit une amélioration des températures hivernales par une moyenne de 20 % par rapport à l'état initial en ayant un régime plus stable par une amplitude maximale de 4.78 °C. Alors qu'il s'agit d'une stabilisation des températures de la saison d'été. Par une observation de l'allure générale de la courbe des températures ambiantes annuelles, nous constatons que les résultats du projet HPE Djelfa ne reflètent pas la même qualité des optimisations suite à son hiver rigoureux et la morphologie conceptuelle de l'appartement, objet d'étude.

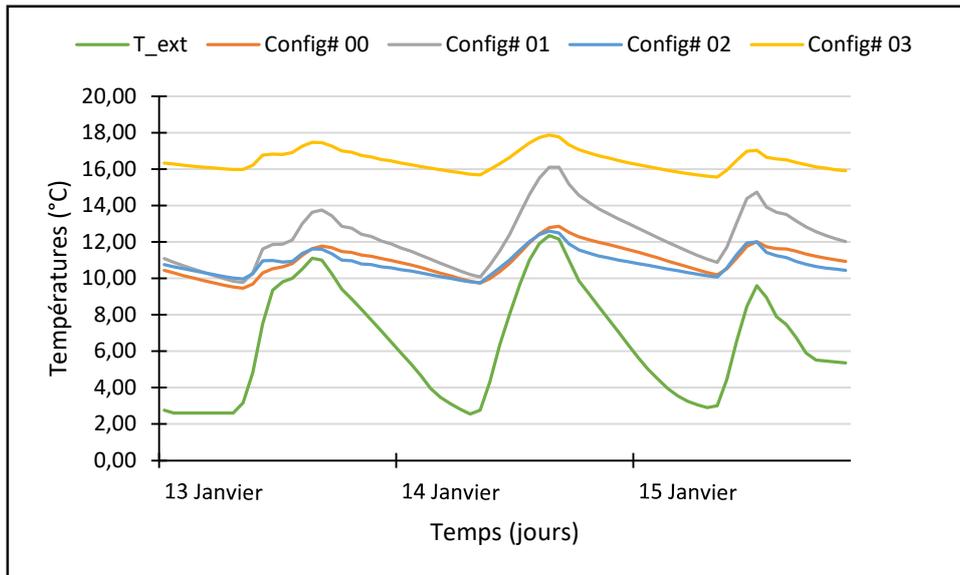


Figure VI-18: Évolution des températures ambiantes pendant trois jours en hiver (HPE Blida). Source auteure, 2023.

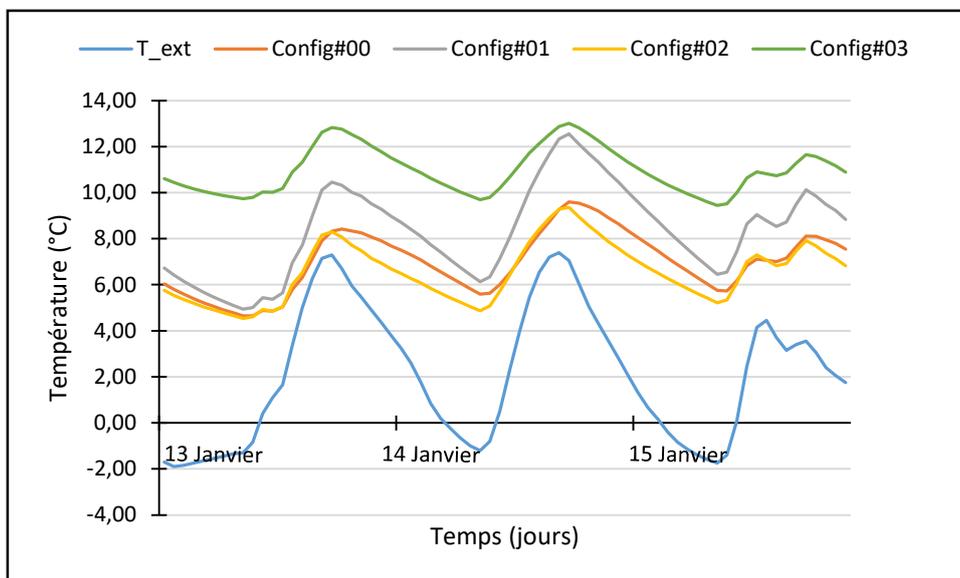


Figure VI-19: Évolution des températures ambiantes pendant trois jours en hiver (HPE Djelfa). Source auteure, 2023.

Les graphes des figures VI-18 et VI-19 illustrent une évolution des températures ambiantes pendant les trois jours défavorables de l'hiver des deux cas d'étude. Les résultats de la simulation montrent que le profil de modèle final (Config#03) possède une amélioration de 6 °C des valeurs des températures ambiantes par rapport à l'état initial du projet HPE Blida. (voir figure VI-18). Alors que le profil des températures ambiantes de la configuration finale du projet HPE Djelfa présente une augmentation d'une moyenne de 4 °C par rapport à l'état initial. (voir figure VI-19).

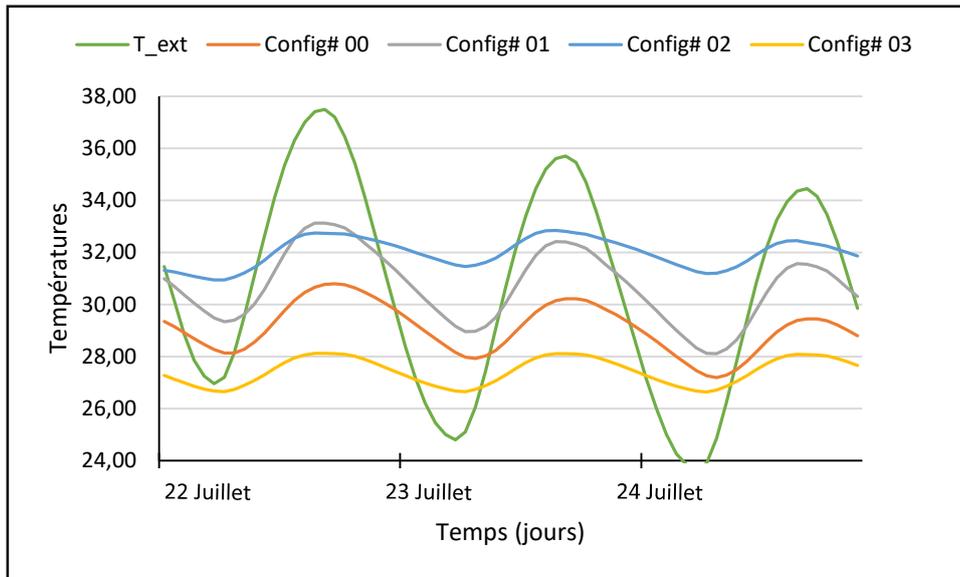


Figure VI-20: Évolution des températures ambiantes des trois jours défavorables en été (HPE Blida). Source auteure, 2023.

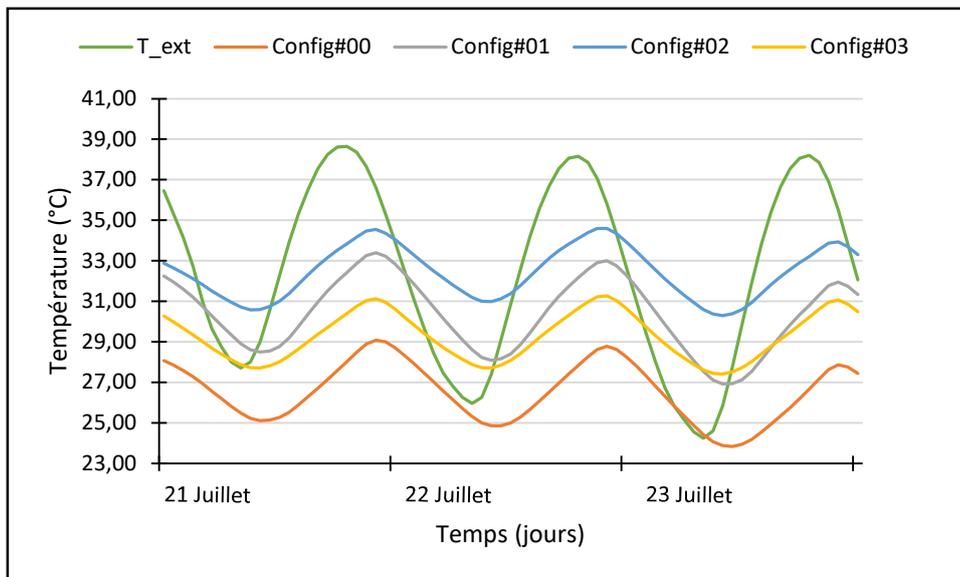
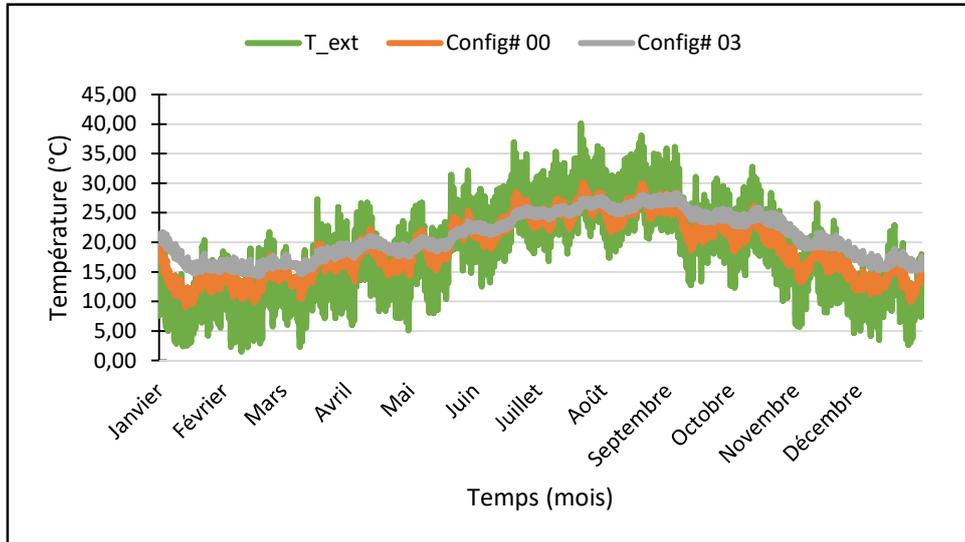


Figure VI-21: Evolution des températures ambiantes des trois jours défavorables en été (HPE Djelfa). Source auteure, 2023.

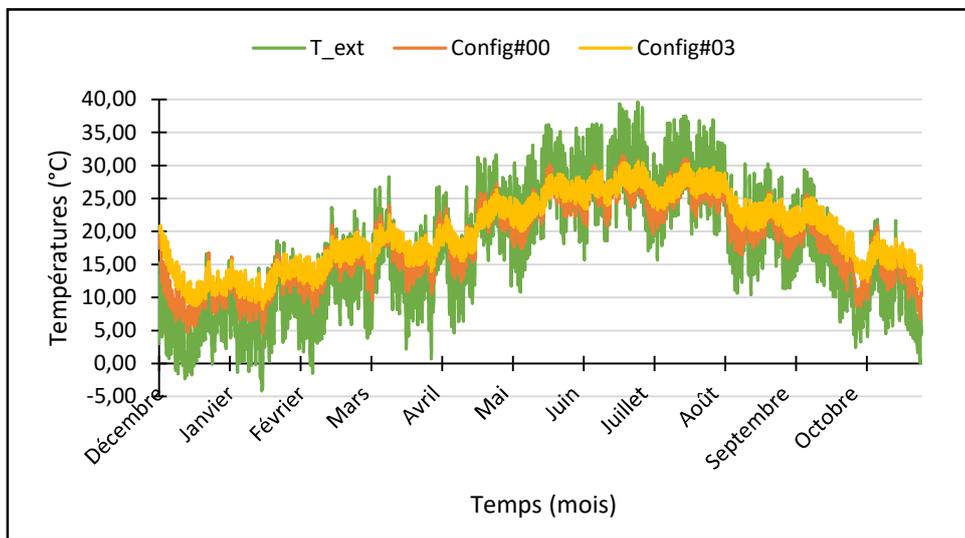
Les figures VI-20 et VI-21 illustrent les graphes de la présentation en détail des températures ambiantes de quatre configurations pendant les trois jours les plus défavorables en été des deux cas d'étude, Blida et Djelfa, respectivement. Les résultats des simulations indiquent une amélioration de la qualité thermique du modèle finale (Config#3) de l'appartement type du projet HPE Blida par une réduction des valeurs des températures ambiantes maximales qui arrive à 2.68 °C par rapport de l'état initial du même projet. Bien que le profil des températures ambiantes de la configuration finale de projet HPE Djelfa reflète moins d'efficacité thermique pendant la

période estivale. Il s'agit des températures qui varient entre 27.70 °C et 31.27 °C. Nous constatons que cela est lié principalement à l'absence de la protection solaire, le type de plancher supérieur et la morphologie conceptuelle.

### VI.3.3 Résultat de l'optimisation sur la Température opérative.



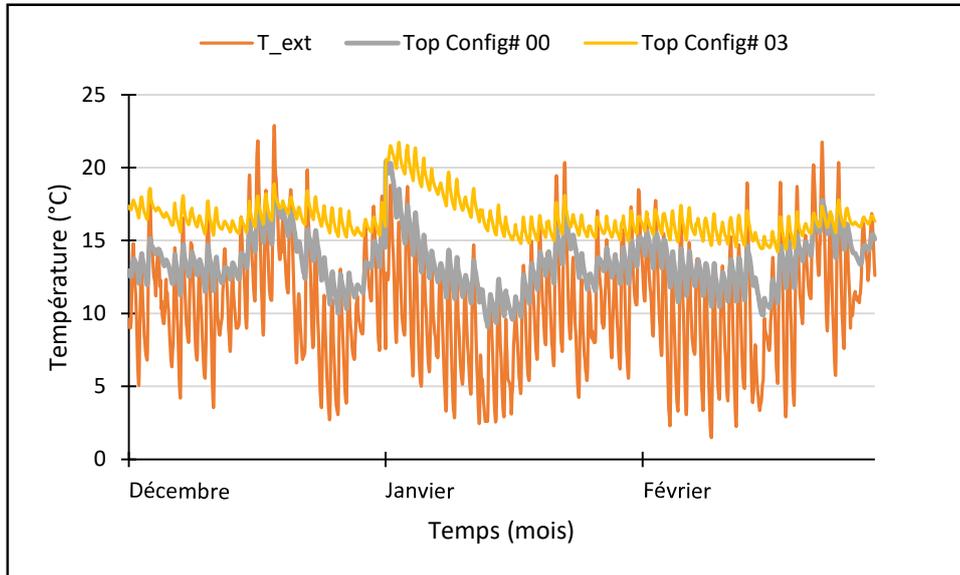
**Figure VI-22:** Évolution des températures opératives annuelles de la variante des résultats (HPE Blida). Source auteure, 2023.



**Figure VI-23:** Évolution des températures opératives annuelles de la variante des résultats (HPE Djelfa). Source auteure, 2023.

Les figures VI-22 et VI-23 présentent les profils des températures opératives hivernales des deux modèles optimisés des deux cas d'étude ainsi que les courbes des variations des températures opératives des états initiaux. Le résultat de la simulation indique que la configuration finale du projet HPE Blida est dotée d'une valeur moyenne de température opérative de 20.91 °C

et une amplitude maximale de 2.68 °C (voir figure VI-22). Alors que le profil des températures opératives du modèle finale du projet HPE Djelfa favorise une valeur moyenne de 19.07 °C et une amplitude maximale de 4.6 °C. (Voir figure VI-23).



**Figure VI-24:** Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'hiver de la nouvelle variante (HPE Blida). Source auteure, 20

Les figures VI-24 et VI-25 présentent les profils des températures opératives hivernales des espaces représentatifs des deux projets d'étude, HPE Blida et HPE Djelfa respectivement avec les courbes des états initiaux. Le résultat de la simulation indique que le modèle final qui représente le projet HPE Blida est doté d'une valeur moyenne de température opérative de 16.54 °C en hiver et une amplitude maximale de 2.68 °C (voir figure VI-24). Ce qui représente une amélioration de 3.03 °C par rapport à la température opérative moyenne de l'état initial, avec une réduction de l'amplitude maximale de 1.40 °C. Alors que la configuration finale du projet HPE Djelfa favorise un profil des températures opératives avec des valeurs qui révèle une augmentation par rapport à la courbe des températures opératives du modèle initial par 1.8 °C. L'amplitude maximale en hiver est de 4.48 °C. Alors que la température moyenne de la même saison est de 12.53 °C.

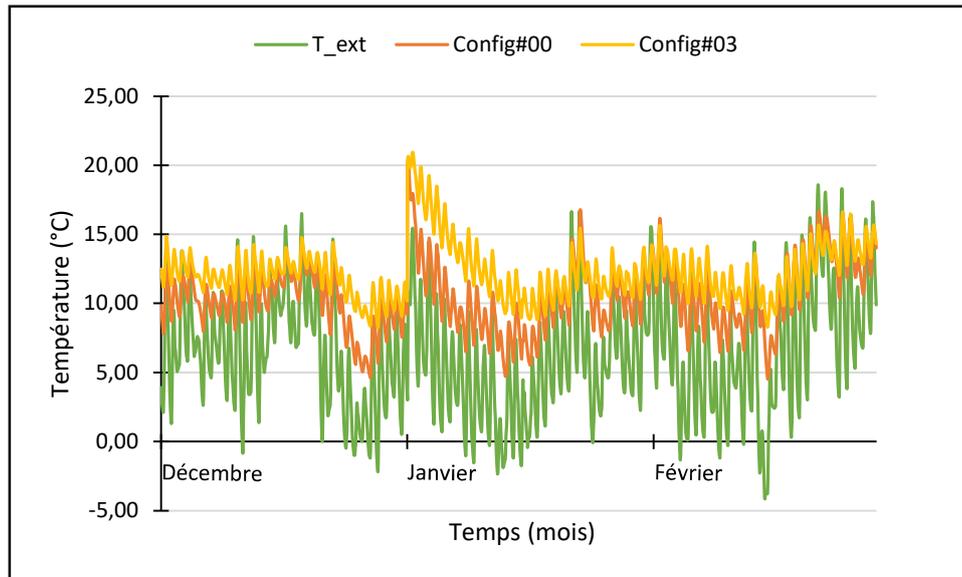


Figure VI-25: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'hiver de la nouvelle variante (HPE Djelfa). Source auteurs, 2023.

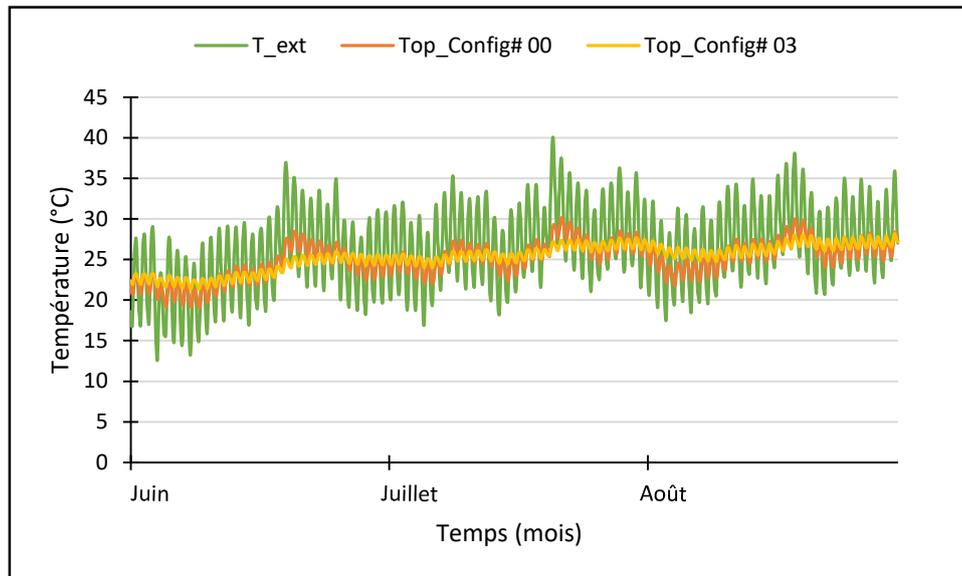


Figure VI-26: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'été (HPE Blida). Source auteure.

Les graphes des figures VI-25 et VI-26 présentent l'évolution des températures opératives estivales des modèles finales des deux cas d'étude en faisant référence aux états initiaux. Les résultats de la simulation favorisent des valeurs optimales de la température opérative de l'appartement type du projet HPE Blida. Son profil possède un régime plus stable que celui de la configuration initiale (Config#00) par une valeur maximale de 28.20 °C, et une amplitude maximale de 1.71 °C. La température opérative moyenne est de 25.29 °C. Nous constatons que l'application du processus d'amélioration au logement type du projet HPE Blida révèle des résultats satisfaisants en été.

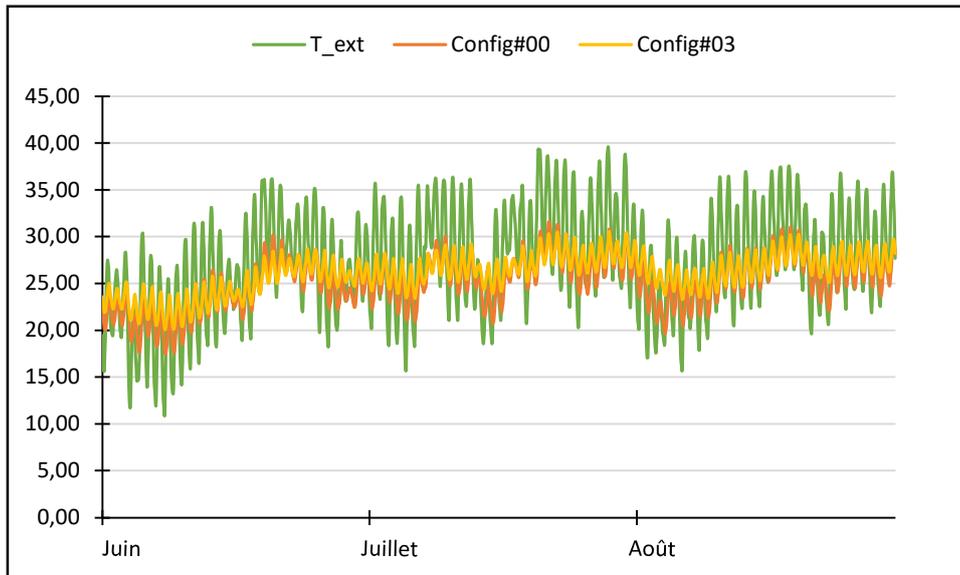


Figure VI-27: Évolution des températures opératives pendant les trois mois d'été (HPE Djelfa). Source auteure.

Alors que l'application de même processus d'amélioration au logement type de projet HPE Djelfa favorise des résultats moins satisfaisants par un profil des températures opératives qui est caractérisé par une valeur maximale de 30.42 °C pendant la période estivale. L'amplitude maximale est de 4.13 °C.

### VI.3.4 Résultat de l'optimisation sur les indices d'évaluation de confort thermique, PMV et PPD

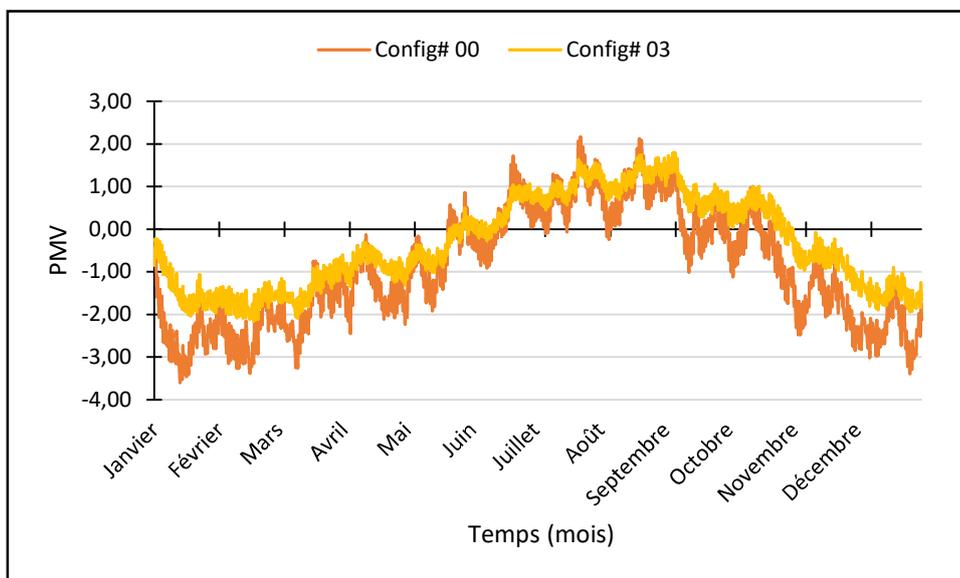
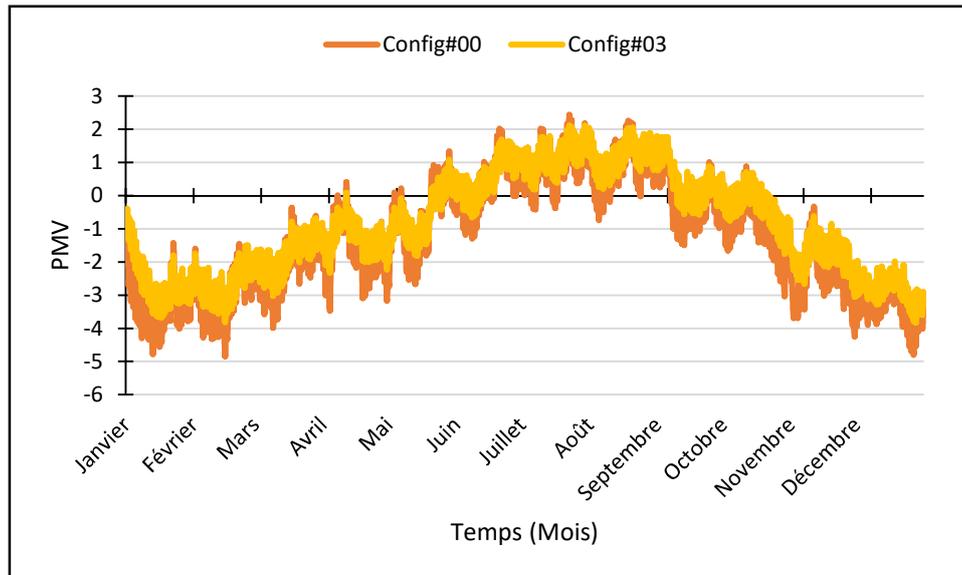


Figure VI-28: Évaluation de l'indice de vote moyen prévisible (PMV) de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Blida). Source auteure, 2023



**Figure VI-29:** Évaluation de l'indice de vote moyen prévisible (PMV) de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Djelfa). Source auteure, 2023

Les figures VI-28 et VI-29 présentent l'évaluation de l'indice de vote moyen prévisible « PMV » des deux configurations finales des deux cas d'étude, HPE Blida et HPE Djelfa respectivement. Le résultat de la simulation du modèle optimisé, du projet HPE Blida, révèle une large intégration des mois de l'année dans la zone optimale de confort thermique qui s'étend de la valeur (-1) à (+1). La période de l'année qui correspond à cette zone des sensations englobe les mois qui s'étendent d'avril à la première partie du mois de novembre. Pendant la deuxième partie du mois de novembre avec les trois mois d'hiver, les usagers optent pour les sensations froides qui caractérisent la valeur de (-2). Les deux mois de juillet et août sont caractérisés par des sensations qui dépassent légèrement la zone de confort thermique (+1.5) (voir figure VI-28). Cela favorise une amélioration par rapport au profil d'état initial de l'indice des sensations des usagers.

Alors que le profil qui correspond à l'évaluation de l'indice PMV de la configuration finale du projet HPE Djelfa révèle trois zones des sensations thermiques. Les mois qui se caractérisent par des sensations froides et très froides sont les mois qui s'étendent d'octobre à la première partie de mai. Pendant les mois d'été, Juin, Juillet et Août, les usagers optent pour des sensations chaudes. Les sensations optimales caractérisent les mois de mi-saison qui sont les mois de mai, septembre et octobre. Ces résultats reflètent une amélioration moins importante que le modèle final du projet HPE Blida.

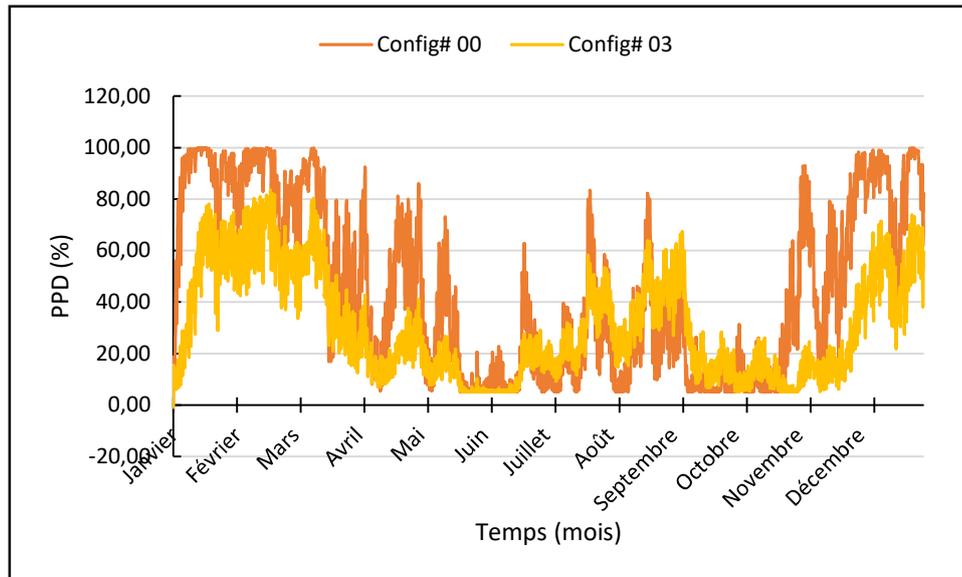


Figure VI-30: Évaluation de l'indice de pourcentage prévisible des insatisfaits de la variante améliorée (HPE Blida).  
Source auteure, 2023.

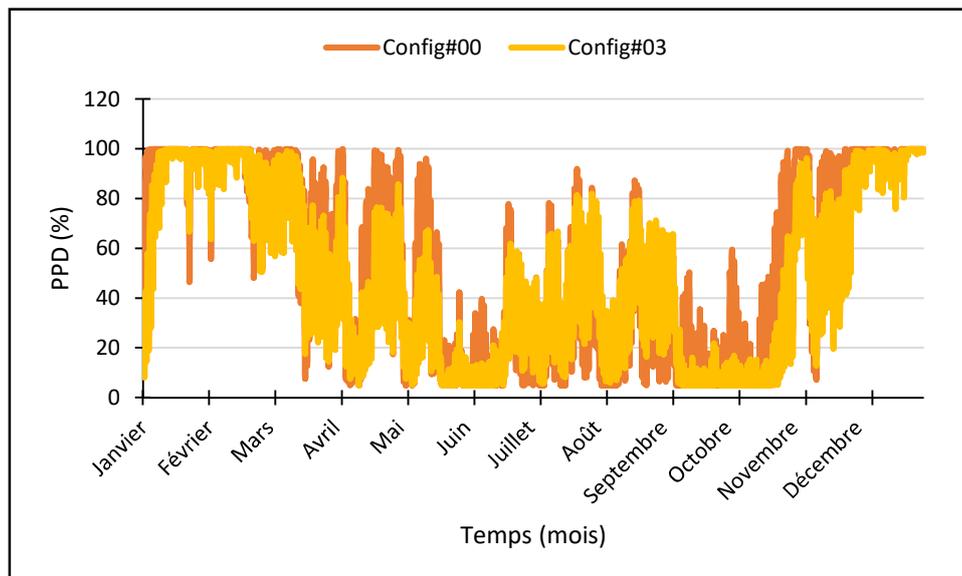


Figure VI-31: Évaluation de l'indice de pourcentage prévisible des insatisfaits de la variante améliorée (HPE Djelfa).  
Source auteure, 2023.

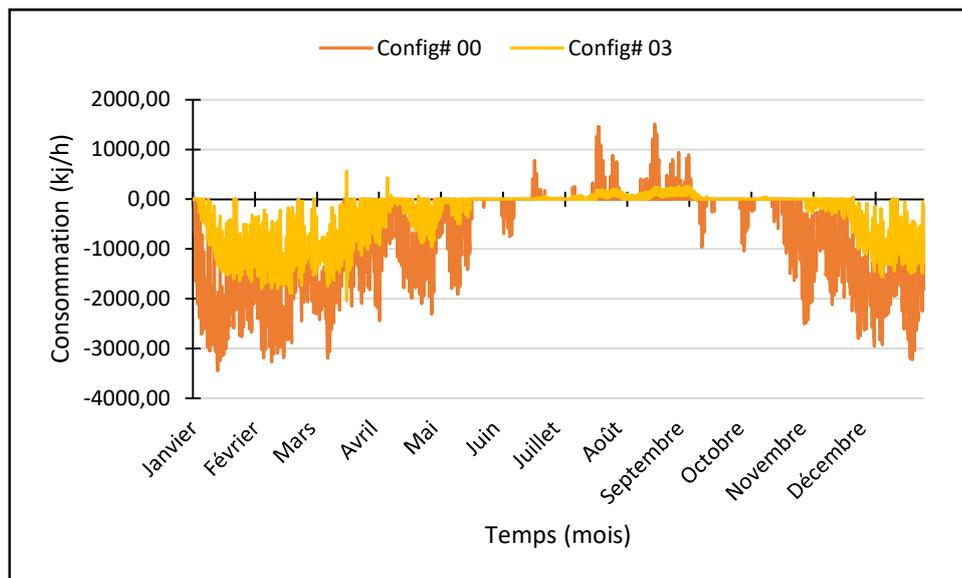
Les graphes des figures VI-30 et VI-31 présentent l'évolution de l'indice du pourcentage de personnes insatisfaites des deux modèles finales des deux cas d'études, HPE Blida et HPE Djelfa respectivement. Le profil d'évolution de l'indice PPD qui correspond à la configuration finale du projet HPE Blida favorise une réduction du pourcentage des personnes insatisfaites (PPD) pendant la période qui s'étend du mois d'avril au mois de novembre pour varier entre 0 % à 40 %. Le reste des mois révèle une augmentation de l'indice PPD pour qu'il représente un pourcentage qui varie entre 40 % et 80 % suite aux conditions thermiques défavorables pendant

cette période de l'année. À cet effet, l'indice PPD reflète une optimisation par rapport à l'état initial de projet HPE Blida.

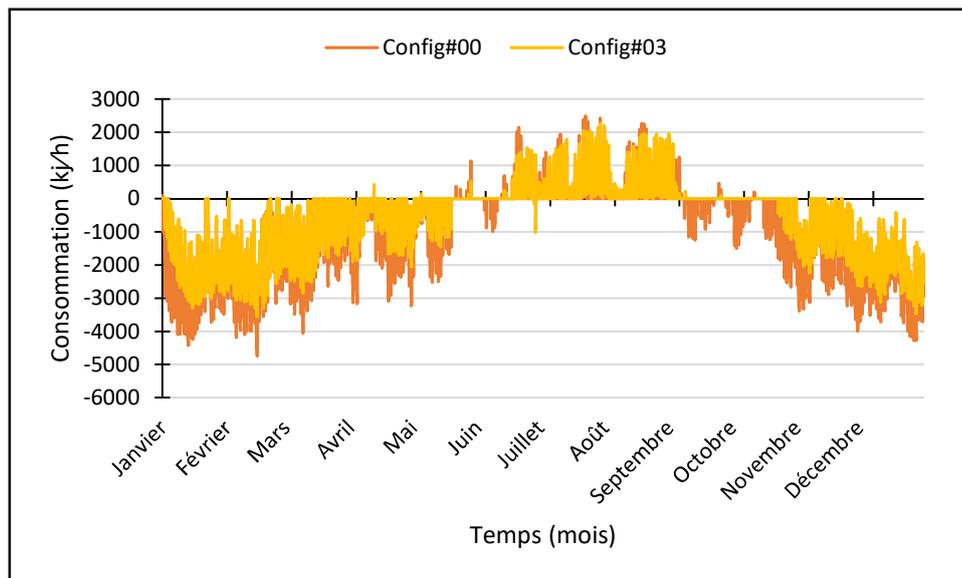
Le profil d'évolution de l'indice PPD du modèle final du projet HPE Djelfa favorise une augmentation de pourcentage des personnes insatisfaites pendant les mois qui s'étendent du mois de novembre au mois de mars et pour les mois de juillet et août. Une diminution de l'indice PPD caractérise le reste des mois, avril, mai, juin, septembre et octobre. Une légère augmentation de l'indice caractérise les mois de juin et juillet. La configuration optimisée reflète une amélioration du profil de l'indice PPD par rapport l'état initial de projet HPE Djelfa.

Suite à l'évaluation des indices PMV et PPD des modèles optimisés des deux cas d'étude, HPE Blida et HPE Djelfa, nous constatons que le résultat est plus optimal pour la configuration finale du projet HPE Blida. Cela est lié principalement à la spécificité climatique de chaque cas d'étude, la morphologie conceptuelle et formelle.

### **VI.3.5 Résultat de l'optimisation sur la consommation énergétique :**



**Figure VI-32:** Évaluation de la quantité d'énergie à consommer de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Blida).  
Source auteure, 2023.



**Figure VI-33:** Évaluation de la quantité d'énergie à consommer de la nouvelle variante conceptuelle (HPE Djelfa).  
Source auteure, 2023.

Les besoins énergétiques nécessaires pour maintenir la qualité thermique du logement sont présentés en figures VI-32 et VI-33. En faisant référence au modèle initial, les résultats de la simulation de la configuration finale de projet HPE Blida montrent une réduction de la consommation énergétique par 57 %. Alors que la consommation énergétique de modèle final de logement type du projet du Djelfa favorise une diminution de 32 % par rapport à la variante initiale du même projet. Cela démontre l'impact positif de la stratégie d'optimisation.

À cet effet, nous constatons que l'application de la stratégie d'optimisation des solutions, liées à l'enveloppe thermique, aux deux cas d'étude a favorisé l'amélioration des ambiances thermiques intérieures, la satisfaction des sensations thermiques des usagers ainsi que la rationalisation de la consommation énergétique des deux cas d'études. La satisfaction des résultats obtenue du modèle final du projet HPE Blida est plus importante que celui du cas du projet HPE Djelfa. Cela est expliqué par le besoin de travailler sur d'autres paramètres qui vont être l'objet des prochains travaux de recherche.

## ***Conclusion***

L'enveloppe thermique d'un projet est la barrière principale qui assure la protection de l'intérieur des effets néfastes de l'environnement extérieur toute en profitant de ses bienfaits. Il représente le milieu des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. À cet effet, ce chapitre a visé de comprendre l'impact d'optimisation des paramètres qui composent l'enveloppe

thermique sur le comportement thermique et énergétique de l'espace intérieur par le biais d'une simulation thermique.

Les paramètres testés par la présente étude ont concerné les deux parties qui composent l'enveloppe thermique. Pour la partie vitrée, nous avons traité l'orientation des ouvertures, le pourcentage de la surface vitrée par rapport à l'ensemble de la façade et le type de vitrage optimal. Une surface de double vitrage de 30 % d'une orientation sud a été retenue pour améliorer l'efficacité thermique et énergétique des cas d'études. D'un autre part, la partie opaque de l'enveloppe a été traitée par l'augmentation de l'inertie thermique et l'intégration de l'isolation thermique. L'épaisseur de 45 cm d'une paroi pleine avec 20 cm d'isolation thermique a constitué le choix optimal pour améliorer le comportement thermique des espaces intérieurs.

Le processus d'optimisation des paramètres étudiés a permis de faire ressortir les meilleures solutions en faisant référence au climat sub-méditerranéen de la ville de Blida. L'application de la formule d'amélioration retenue sur le projet HPE de Blida a favorisé une satisfaction des résultats obtenus pendant toute l'année. Alors que l'application du même processus conceptuel sur le projet HPE Djelfa a abouti à une amélioration moins importante que celles obtenues de la ville de Blida. Cela est lié principalement à l'effet de type de climat ainsi que l'influence de la morphologie conceptuelle et formelle. À cet effet, nous constatons qu'une conception efficace thermiquement et énergétiquement doit être relative à la spécificité climatique.

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

L'enveloppe d'une construction représente une frontière qui sépare le milieu intérieur de son environnement extérieur et favorise des échanges thermiques. Ce qui permet d'assurer une isolation des espaces intérieurs des effets néfastes du climat extérieur et de bénéficier de ces bienfaits. L'enveloppe se compose des parois extérieures, du toit, du sol et de la menuiserie. Le choix adéquat du type et d'épaisseur de chaque élément conceptuel a un impact précieux sur la qualité thermique des ambiances intérieur et la quantité d'énergie à consommer en assurant la satisfaction thermique des usagers.

Depuis la révolution industrielle, l'enveloppe des bâtiments a perdu sa massivité qui a caractérisé l'architecture vernaculaire. Cela a été lié principalement à l'adaptation des principes de la légèreté de l'architecture moderne. Cette transformation du type de l'enveloppe a engendré une détérioration de la qualité thermique des ambiances intérieures avec une augmentation excessive de la consommation énergétique. À cet effet, il y avait une nouvelle tendance architecturale à l'échelle internationale, suite à la crise énergétique de 1973, pour généraliser des politiques d'intégration du concept d'efficacité énergétique aux systèmes constructifs. Dans ce contexte, l'Algérie a adopté une politique relative à la maîtrise d'énergie à l'échelle nationale. La présente recherche consiste à exploiter les différentes méthodes de recherche quantitative et qualitative afin de contourner la problématique d'efficacité énergétique au secteur résidentiel.

Dans ce travail de recherche, nous avons adopté une étude comparative entre deux types des logements de haute performance énergétique (HPE). Une étude empirique a concerné le développement des concepts relatifs à la consistance de cette recherche. Alors que l'étude expérimentale, composée de deux parties, l'une est consacré à l'évaluation de l'état des lieux des deux logements d'étude par l'usage d'un questionnaire destiné aux occupants des logements HPE Blida. L'autre est sous forme d'investigation in-situ qui favorise la validation de la simulation thermique. Cette dernière concerne la proposition d'une nouvelle variante conceptuelle des cas d'étude, en vue d'assurer l'amélioration du comportement thermique et énergétique de la construction. Il s'agit d'une optimisation paramétrique par une série des modèles numériques qui concernent les composants de l'enveloppe thermique.

L'évaluation subjective par le biais du questionnaire a ciblé les occupants des logements HPE Blida pour maîtriser les sensations des usagers ainsi que le niveau de conscience par l'intérêt de cette expérience naissante. Son résultat indique une satisfaction thermique de 51 % des usagés

interviewés en hiver, alors que 66 % des occupants déclarent que le confort thermique est satisfaisant durant la période estivale. Plus tard l'enquête révèle une absence de la connaissance de la spécificité énergétique et thermique de ce type des logements chez 56.9 % des occupants, ce qui favorise l'ignorance du rôle des occupants pour aboutir aux objectifs de ce programme.

Dans le même contexte, l'évaluation objective des deux logements d'étude a été effectuée par le biais des mesures in-situ ainsi qu'une simulation thermique. Le résultat de l'investigation a montré une défaillance du confort thermique en hiver comme en été des deux cas d'étude. Ces résultats ont été validés numériquement par le biais d'une simulation thermique. Parallèlement, la simulation thermique, pour une durée d'une année, a favorisé des valeurs de la température hors de la plage du confort thermique. Ce qui influence la satisfaction thermique des usagers exprimée par l'évolution des indices PMV et PPD, ils ont mis en évidence des sensations favorables pendant les mi-saisons et des sensations défavorables durant la saison d'hiver et celle d'été. Dans le même contexte, la quantification de la consommation pendant l'hiver est plus importante que celle d'été. La quantité d'énergie atteint 4000 kj/h, comme une valeur maximale, pour le logement type du projet HPE Blida et 8000 kj/h. pour le logement HPE Djelfa.

Cette différenciation des résultats est relative au type du climat local. À cet effet, les résultats de l'évaluation objective prouvent l'exigence d'opter pour une nouvelle variante conceptuelle basée sur l'optimisation de quelques paramètres qui composent l'enveloppe thermique.

Dans le cadre de proposer une nouvelle variante conceptuelle, nous sommes intervenus sur les paramètres de la partie vitrée de l'enveloppe comme sur la partie opaque. La partie vitrée a été traitée par le pourcentage de la surface vitrée par rapport à la façade du logement et le type de vitrage optimale. Nous avons constaté qu'une surface de 30 % du double vitrage avec un gaz d'argon est favorable pour le climat sub-méditerranéen de Blida, ou il est question de bénéficier du chauffage solaire passif en hiver, et d'une ventilation nocturne en été, tout en assurant la protection de l'intérieur des effets néfastes des déperditions thermiques, durant les nuits d'hiver, tout autant de l'effet de surchauffe pendant l'été. Concernant la partie opaque de l'enveloppe, nous avons étudié l'impact de l'inertie thermique avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation thermique. Nous avons considéré qu'une paroi pleine d'une épaisseur de 45 cm dont 20 cm représente une isolation thermique, favorise un choix optimal pour assurer l'amélioration du comportement thermique et énergétique des ambiances intérieures. À cet effet, le processus d'optimisation des paramètres d'efficacité énergétique a permis de formuler un pack des

meilleures solutions en faisant référence au climat sub-méditerranéen de la ville de Blida. L'application de la formule d'amélioration retenue sur le projet HPE de Blida a favorisé une satisfaction des résultats obtenus pendant toute l'année. En hiver, cette amélioration a permis de bénéficier d'une augmentation de la température opérative par une moyenne de 3.03 °C par rapport à l'état initial avec une valeur d'amplitude maximale qui ne dépasse pas 2.68 °C. En été, cette optimisation a favorisé une stabilisation des températures opératives par une valeur moyenne de la variante optimisée de 29.29 °C par rapport à une moyenne de 25.02 °C de l'état initial avec une amplitude maximale de 1.71 °C. Cela a permis d'aboutir à un confort thermique optimal en été avec une amélioration des ambiances thermiques en hiver, avec un besoin d'un chauffage d'appoint durant les moments les plus défavorables.

Bien que l'application du même processus conceptuel sur le projet HPE Djelfa a abouti à une amélioration moins importante que celles obtenues de la variante conceptuelle du projet de Blida. En saison hivernale, la température opérative moyenne était de 12.53 °C avec une amélioration de l'état initial d'une moyenne de 1.8 °C. L'amplitude maximale était de 4.48 °C. Pendant la saison estivale, les résultats ont été caractérisés par une valeur moyenne de 26.08 °C avec une amplitude maximale de 4.13 °C. La quantité d'énergie à consommer a été réduite par 57% au logement type de projet HPE Blida. Alors que la consommation d'énergie, au projet HPE Djelfa a été rationalisée par 32 %.

Concernant les indices d'évolution du confort thermique, le logement type du projet HPE Blida a été caractérisé par une zone optimale du confort thermique qui comporte huit mois de l'année et s'étend du mois d'avril au mois de novembre. Les quatre mois qui restent sont dans la zone thermique des sensations froides. Alors que le projet HPE Djelfa, trois types de sensations thermique ont caractérisé les résultats de l'évaluation par le biais des indices PMV et PPD. Les sensations de la zone optimale du confort thermique sont pendant les mois de mai, septembre et octobre. Les mois qui s'étendent du mois de novembre au mois d'avril, respectivement, sont caractérisés par des sensations thermiques froides et très froides. Bien que les trois mois d'été ; juin, juillet et août présentent des sensations chaudes. Ce qui confirme l'impact de la morphologie conceptuelle et formelle ainsi que l'influence du type de climat. À cet effet, nous constatons qu'une conception efficace thermiquement et énergétiquement doit être relative à la spécificité climatique avec prise en considération de la morphologie conceptuelle.

Suite aux résultats aboutis le long de ce travail, nous constatons que l'adaptation d'une stratégie conceptuelle, liée au type de climat local, tout en intégrant un choix adéquat des paramètres qui composent l'enveloppe thermique, a un impact positif sur la qualité thermique et énergétique de l'espace intérieur. Ce qui favorise une satisfaction thermique de ses usagers.

## **1. Les recommandations :**

Afin d'aboutir à l'amélioration du confort thermique et la rationalisation de la consommation énergétique en assurant la satisfaction thermique des usagers, il s'agit de généraliser les procédures de la performance énergétique par le biais d'une politique nationale d'amélioration du système constructif. Il est recommandé de prendre en considération les points suivants :

- Un ratio moyen de 30 % est favorable pour un climat tempéré.
- L'utilisation d'un vitrage d'une qualité performante, double vitrage de basse émissivité avec gaz, suite à ses bienfaits prouvés thermiquement et énergétiquement.
- L'intégration d'une protection solaire des façades les plus ensoleillées durant la période estivale.
- L'augmentation de la masse thermique pour assurer une stabilisation des ambiances thermiques intérieures.
- L'augmentation de l'épaisseur d'isolation thermique pour bénéficier de ses bienfaits à l'échelle thermiques et énergétique.

Ces recommandations sont pour être exigée aux acteurs du domaine du bâtiment pour les généraliser à travers le territoire du pays. Cela permettrait d'assurer des ambiances thermiques favorables au secteur résidentiel tout en rationalisant la consommation énergétique.

## **2. Limites de la recherche :**

Lors de notre processus de recherche, nous avons été en face de plusieurs contraintes qui ont limités notre travail, on peut citer :

La carence des outilles d'investigation qui permettent d'effectuer des monitorings pendant une longue période, jusqu'à une année entière avec un enregistrement automatique des résultats, aux et pour les deux logements d'étude simultanément. Cela permettrait de maîtriser le régime thermique des deux cas d'étude d'une manière plus exacte.

D'un autre côté, l'absence de la possibilité de réaliser des prototypes à une échelle réduite a été un obstacle pour confirmer les résultats obtenus de l'optimisation d'une nouvelle variante conceptuelle, expérimentale.

L'occupation réduite des logements HPE Djelfa n'a pas permis une étude comparative conforme entre les deux cas d'étude. Cela a pour effet une limitation de travail qui s'est faite à leur détriment pour le compte juste des occupants des logements HPE Blida.

### **3. Perspective de la recherche :**

Afin de permettre une poursuite dans la même thématique de recherche, nous proposons des nouvelles pistes d'investigation destinées aux chercheurs intéressés par le sujet, notamment :

1. Poursuivre la présente investigation en étudiant l'évaluation du confort lumineux et de la ventilation dans les logements de haute performance énergétique.
2. L'évaluation d'autres projets type HPE à d'autres contextes climatiques, particulièrement les climats arides et chauds
3. Appliquer la même investigation sur un bâtiment de type tertiaire ;
4. L'intégration des nouveaux dispositifs architecturaux comme les murs en béton cellulaire et la brique à alvéoles pour l'enveloppe.
5. Le développement d'une stratégie conceptuelle relative à l'identité culturelle du pays.
6. L'étude de l'impact de la morphologie conceptuelle et formelle sur le comportement thermique et énergétique des projets de haute performance énergétique ;

# Bibliographie

## Bibliographie

- AFHYPAC, T. (2017).** " Situation Mondiale De L'énergie." *Fiche 2.1 Révision.*
- Alaieb. (2014).** "Thermal comfort investigation of multi-storey residential buildings in Mediterranean climate with reference to Darnah, Libya". *Thèse de doctorat*, 267 p. Université de Nottingham, Département d'architecture et environnement bâti.
- Alexandre, Freire, Teixeira, Silva, & Rouboa. (2011).** "Impact of European standard EN15251 in the energy certification of services buildings \_ A Portuguese study case" . *Energy policy*, 39(10), 6390-6399.
- APRUE. (2013).** "Récupéré sur Plusieurs projets de logements à haute performance énergétique en cours de réalisation": <http://portail.cder.dz/spip.php?article3135> .
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (1997).** "Thermal comfort". in. *PLEA Notes*, pp 68.
- Baouchi, B. (2014).** "Programme d'Éfficacité Énergétique en Algérie". *Workshop sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique pour les régions du bassins méditerranéen*, 55. Oran.
- Batier, C. (2016).** "Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen". *Thèse de doctorat*. Université de Montpellier,, France.
- Benabbou, S. (2015).** "Les enjeux de la transition énergétique en Algérie." 7-8 avril . université Sétif 1.
- Benoudjafer. (2018).** "Vers une amélioration de la performance énergétique des habitations: la certification énergétique comme une stratégie durable". Cas de la ville de Bechar. *Thèse de doctorat*. Université de Biskra.
- Benoudjfer, & al. (2012).** "Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Bechar, Algérie". *revue des énergies renouvelables, volume 15, N° 1, Alger*.
- Benslimane, E. A. (sans date).** "L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : Une composante essentielle."
- Berkouk, D. (2017).** "Entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra". *Thèse de doctorat*, 305p. Université de Biskra, Département d'architecture.
- Bernard, M. (2012).** "L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation. La place de l'énergie électrique". Récupéré sur <https://eduscol.education.fr>
- Bobin, J.-L. (2013).** "Demain, quelle terre? Dialogue sur l'environnement et la transition énergétique". France: edp science.

- Bouamama, W. (2013).** "Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : Approche systémique pour un développement durable ; cas de programme Eco-Bat". *mémoire du magister*. département de génie civil, université d'Abou Bakr Belkaid Telemcen.
- Boukheddimi, (sans date).** "Efficacité énergétique dans le secteur résidentiel, enjeux et perspectives". *Revue El- Bahith*.
- Boursas, A. (2013).** "Étude de l'efficacité énergétique d'une habitation à l'aide d'un logiciel de simulation". *Mémoire du magister*. Université de Constantine 1.
- Bughedaoui, (2015).** "Rapport D'étude Politiques nationales et propositions d'actions en faveur du développement des énergies durables dans la planification et la gestion locale".
- Candas, V. ( 2000).** "Confort thermique". Ed. Techniques Ingénieur.
- Cantin, R., & al. (2005).** "Complexité du confort thermique dans les bâtiments". *6ème congrès Européen de science des systèmes Paris*.
- Castilla, d. M., Álvarez, J. D., Rodríguez, F., & Berenguel, M. (2014).** "Comfort control in buildings". *Springer*.
- Chappoz, L. (2012).** "Les politiques d'efficacité énergétique en France et en Allemagne : quand deux voisins empruntent des chemins différents" . *Study n°04/13, Iddri, Paris, France* , 36 p.
- Charbonneau, J.-Y. ( 2004).** "Confort thermique à l'intérieur d'un établissement" . *CSST*.
- Charlier, D. (2014).** "Efficacité énergétique dans le bâtiment et paradoxe énergétique: Quelles conséquences pour la transition énergétique?" *Revue d'économie industrielle*, 229-262.
- Chenak. (2009).** "Efficacité énergétique dans le bâtiment Projet pilote Med-Enec". *La lettre APRUE N°14* , 25-26.
- CNERIB, (1998).** *Document technique réglementaire (DTR C3-2) "Règlementation thermique des bâtiments d'habitation ; règle de calcul des déperditions calorifiques"*. Alger.
- Courgey, S., & Oliva, J.-P. (2006 - 2007).** "La conception bioclimatique des maisons confortables et économes". Paris: Edition Terre vivante.
- Dali. (2017),** "Eco-construction et Efficacité énergétique et énergie solaire dans le bâtiment en Algérie". (APRUE, Éd.)
- De Dear, R. J. (1999).** "Adaptive thermal comfort in natural and hybrid ventilation". in *First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum*.
- De Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002).** "Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55". *Energy and Buildings*, 549-561.
- Derradji, L., & al. (2012).** "Etude de l'efficacité énergétique d'une maison économique en Algérie" . *2ème congrès de l'association marocaine de thermique*. Casablanca.

- Derradji, L., & al. (2012).** "Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en Algérie" . *Congrès français de thermique*. Bordeaux.
- Deval, J.-C. ( 1984).** "Le confort thermique en climat tempéré ". *revue phys. Appl N° 19, laboratoire d'Eco thermique solaire CNRS, France*.
- Fabbri, K. (2015).** "Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on children." *Springer*.
- Fanger, & O., P. (1985).** "Energy and Building". *Danish Technical Press, Copenhagen*.
- Fanger, P. O. (1970).** "Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering". *Danish Technical Press, Copenhagen*.
- Feidt, M. (2009).** "Efficacité Énergétique: Quels Critères?" *Termotehnica*, 26-33.
- Fernández, F. G. (1994).** "Clima y confortabilidad humana". Aspectos metodológicos. *Serie geográfica, 4*, , pp. 109–125.
- GIEC. (2014).** "Changement climatique" . *Rapport de synthèse*. Genève, Suisse.
- GIMELEC. (2008).** "Mener à bien un projet d'efficacité énergétique." Bâtiments et collectivités
- Givoni, B. (1978.).** "L'homme, l'architecture et le climat",. Paris. : Edition le moniteur,.
- Gonzalo, R. E. (2006).** "Architecture et efficacité énergétique ; principes de conception et de construction." Berlin: Edition Boston.
- "Guide des énergies renouvelables". (2007). Récupéré sur [www.cder.dz](http://www.cder.dz)
- Hadj Hussein, M. (2012).** "Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens. La cour: contribution environnementale et socioculturelle." *Thèse de doctorat*. Université de Bordeaux, France.
- Hall, M. (2010 ).** "Materials for energy efficiency and thermal comfort in buildings" (*1ère éd.*). Woodhead Publishing: New Delhi.
- Hegger, M., Tomas, S., Fuchs, M., & Zeumer, M. ( 2011).** "Construction et énergie." Lausanne: Editions Presses polytechniques et universitaires Romandes.
- Hensen, J. L. (1990).** "Literature review on thermal comfort in transient conditions." *Building and Environment*, 25(4),, pp. 309–316. .
- Höppe, P. (1999).** "The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment." *International journal of Biometeorology*. *Springer*, 43(2), , pp. 71–75.
- Houidef, L. ( 2009, Novembre).** "Le Programme Eco-Bat, Réalisation de 600 Logements à Haute Performance Énergétique". *Présentation APRUE*.
- <https://www.drixdemenagements.fr/>. (s.d).

- Humberset, D. E. (2012).** "L'efficacité énergétique à travers le monde Sur le chemin de la transition. L'efficacité énergétique à travers le monde."
- Jedidi, M., & Benjeddou, O. (2016).** "La thermique du bâtiment \_ du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation" (*20.pdf*. Paris: DUNOD.
- JORA, J. O. ( 2000).** Décret exécutif n°2000-90 du portant Décret exécutif n°2000-90 du portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.
- JORA, J. O. (1999).** Loi n°99-09 relative à la maîtrise de l'énergie .
- Kamouche, F., & Mokrane, A. (2022).** "La politique de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : éléments théoriques et empiriques, cas de l'Algérie" . *Journal of Financial, Accounting and Managerial Studies*, 471- 490.
- Kemajou, A. e. (2012).** "Le confort thermique en climat tropical humide vers un réaménagement des normes ergonomiques." *Revue des Energies Renouvelables*, 427- 438.
- Laponche, B. (2012).** "Efficacité énergétique : les moyens d'une politique." *Passerelle/Cahiers de Global Chance*, 19-25. Récupéré sur [www.coredem.info](http://www.coredem.info)
- Lavoye, F., & Thellier, F. (2015).** "Le confort thermique dans les bâtiments." *Researchgate*, pp 1-11.
- Liébard, A., & De Herde, A. (2005).** "Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique ; concevoir, édifier et aménager avec le développement durable." Paris: Edition le moniteur.
- Lin, Z., & Deng, S. (2008).** "A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics." *Building and Environment*, pp 12.
- Mazari, M. «. (2012).** "Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, cas du département d'architecture de Tamda". *Thèse de Doctrat*. Université Tizi-Ouzou.
- Mazouz, S. (sans date).** "Confort thermique". *département d'architecture de l'université de Biskra*.
- McIntyre, D. (1973).** "A guide to thermal comfort", *Applied Ergonomics. Elsevier*, 4(2),, pp. 66–72.
- MEM. (2014).** "Bilan énergétique national" *de l'année 2013*.
- Meunier, F. (2005).** "Domestiquer l'effet de serre Énergies et développement durable." Paris, France: DUNOD.
- Ministère de l'énergie et des mines (MEM). ( 2011).** "Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique."
- Mudjalled, B. (2007).** "Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés." *Thèse de Doctorat*. L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.

- Murer, P. (2014).** "La transition énergétique, une énergie moins chère, un million d'emploi créés." France: Mille et une nuits.
- Nait, N. (2011).** "La rehabilitation energetique dans les logements collectifs existants cas du climat semi aride de constantine." *Mémoire du magister*. Département d'architecture et d'urbanisme, Université de Constantine.
- OPGI Blida. (2014).** "Avant projet 80/ 600 logements à haute performance énergétique à Ain Romana, Blida". *par cabinet d'architecture DAR, Rekia Zouhir*.
- Robillart, M. (2015).** Étude de stratégies de gestion en temps réel pour des bâtiments énergétiquement performants." *Thèse de Doctorat*. École nationale supérieure des mines de Paris, France.
- ROMANI, Z. (2015).** "Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants." *Thèse de Doctorat*. Université de La Rochelle, , France.
- Roulet, A. C. (2004).** "Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments ". Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Sadafi, N., Salleh, E., Haw, L. C., & Jaafar, Z. (. (s.d.).** "Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation", . *Energy and Buildings*, 43(4), pp. 887–893.
- Salama, M. (2014).** "Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban)." *Thèse de doctorat*. Conservatoire national des arts et metiers-CNAM, France.
- Salamon T. et Bedel, S. (2004).** "La maison des [néga] watts". France: Terre vivante.
- Seoud, S. (2012).** "Audit énergétique de bâtiments tertiaires - Cas de trois bâtiments existants à Alger." *Mémoire de magister*. EPAU, Alger.
- Th.A, A. (2017).** "Situation mondiale de l'énergie". *Fiche 2.1*. Récupéré sur Situation mondiale de l'énergie.
- Theillier. (1989).** "Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat. Une approche de l'étude du confort." *Thèse de Doctorat*. Université PAUL SABATIER de Toulouse, France.
- Thibault, e. E. (2011).** "L'efficacité énergétique dans le bâtiment en méditerranée". *futuribles*, 47-59. doi:10.1051/futur/37647
- Thibault, H.-L., & El Andaloussi, E. H. (2011).** "L'efficacité énergétique dans le bâtiment en Méditerranée, juillet-août." *futuribles n° 376* -.
- Velázquez-Romo, E. (2015).** "Processus de conception énergétique de bâtiments durables." *Thèse de Doctorat*. Université d'Arts et Métiers ParisTech, France.

**Volkov, A. a., Sedov, A. V., & Chelyshkov, P. D. (2014).** "Modelling the Thermal Comfort of Internal Building Spaces in Social Buildings." *Procedia Engineering. Elsevier B.V.*, pp. 362–367.

**Wiesenfeld, B. (2005).** "*L'énergie en 2050, Nouveaux défis et faux espoirs.*" France: EDP Science.

*Wikipédia*, . (s.d.). Consulté le Janvier 10, 2023, sur [www.Wikipédia.com](http://www.Wikipédia.com)

[www.ctbat.net](http://www.ctbat.net). (s.d.).

[www.météo.dz](http://www.météo.dz). (s.d.).

[www.testo.com](http://www.testo.com). (s.d.).

# *Annexes*

## Annexes

### 1. Le questionnaire

**Université Mohamed Khider Biskra.**

**Faculté des sciences et technologies**

**Département d'architecture**

**Laboratoire : Conception et de Modélisation des Formes et des Ambiances Architecturales et Urbaines \_ LACOMOFA**

#### Le questionnaire

Ce questionnaire est sur la qualité des ambiances thermiques ressenties dans les logements à haute performance énergétique (HPE<sup>14</sup>) à Blida et le niveau de conscience des habitants vis-à-vis de ce type de logement et leur contribution pour sa réussite. Il s'inscrit dans le cadre d'une préparation d'une thèse de doctorat. Notre intérêt est porté aux logements à Haute Performance Energétique -HPE de Blida et nous avons besoin de collecter quelques informations anonymes auprès des habitants, à travers ce questionnaire.

De cette façon nous pouvons nous attendre à ce que vous observiez la potence du succès de cette étude et c'est ainsi que vous répondez à chaque question en cochant la case qui convient avec votre propre avis, sachant que ces informations seront seulement utilisées pour la recherche scientifique.

Votre contribution est très importante pour le succès de ce travail, merci d'avance pour la participation.

#### Ferradji Kenza : Doctorante en architecture

##### Présentez-vous :

##### 1. Quel est votre sexe ?

Homme.

Femme.

##### 2. Quel est votre âge ?

Moins de 20ans.

De 20ans à 30ans.

De 30ans à 50ans.

De 50 à 60ans.

Plus de 60ans.

---

<sup>14</sup> Ce logement dépend du confort thermique interne avec une économie d'énergie consommée.

**3. Quelle est votre situation familiale ?**

- Célibataire.  
 Marié.  
 Marié avec enfants.

**4. Combien de personnes êtes-vous dans votre logement ?**

- 2  
 3  
 4  
 5  
 >5

**5. Quel est votre emploi ?**

.....

**Présenter votre logement :**

**6. Depuis quand habitez-vous ce logement ?**

.....

**7. Savez-vous que votre logement est en HPE (Haute Performance Energétique) ?**

- Oui.  
 Non.

**8. Considérez que votre logement actuel est mieux que l'ancien ?**

- Non.  
 Oui, plusieurs différences..

.....

**9. Quelle est la période de l'année ou vous sentez que votre logement est agréable thermiquement ?**

- En hiver.  
 En été.  
 An automne.  
 Printemps.

(Vous pouvez cochez plus d'une case)

**10. Êtes-vous satisfait de fonctionnement de votre logement ? (organisation spatiale) ?**

- Oui.

Non.

**Votre logement en été :**

**11. Comment jugez-vous l'état thermique de votre logement en été ?**

Très froide.

Froide.

Confortable.

Chaude.

Très chaude.

**12. Quel est le meilleur espace, thermiquement parlant, de votre logement en été ?**

Le séjour.

Chambre sud.

Chambre nord.

Cuisine.

**13. Disposez-vous d'un climatiseur ?**

Oui.

Non.

**14. Si oui, depuis quand l'avez-vous placé ?**

.....

**15. Quelle est la fréquence de son utilisation ?**

Tous les jours.

Lorsqu'il fait trop chaud.

Rarement.

Autre (précisez).

.....

**16. Quelle est la période de la journée où vous ouvrez la fenêtre pour rafraichir ?**

Toute la journée.

Le matin.

Le soir.

La nuit.

**17. Lorsqu'il s'agit d'une journée trop chaude, quelle est votre réaction ?**

Utiliser le climatiseur.

- Utiliser un ventilateur.
- Ouvrir les fenêtres.
- Adapter les vêtements.
- Autre (précisez).

.....

**Votre logement en hiver :**

**18. Comment jugez-vous l'état thermique de votre logement en hiver ?**

- Très froide.
- Froide.
- Confortable.
- Chaude.
- Très chaude.

**19. Quel est le meilleur espace, thermiquement parlant, de votre logement en hiver ?**

- Le séjour.
- Chambre sud.
- Chambre nord.
- Cuisine.

**20. Disposez-vous d'un chauffage ?**

- Oui.
- Non.

**21. Si oui, depuis quand l'avez-vous placé ?**

.....

**22. Quelle est la fréquence de son utilisation ?**

- Toute la journée.
- Durant la nuit.
- Tous les matins.
- Le soir.

**23. Fermez-vous les volets durant la nuit ?**

- Non.
- Oui pour les chambres.
- Oui pour toutes les pièces.

**24. Ouvrez-vous les fenêtres pour aération en hiver ?**

- Oui tous les matins.
- Non.
- Rarement.

**25. Durant combien d'heures utilisez-vous les rayons solaires pour chauffer en hiver ?**

- Moins d'une heure.
- De 1 – 3.
- Plus de 3 heures.

**26. Lorsqu'il s'agit d'une journée trop froide, quelle est votre réaction ?**

- Augmenter le chauffage.
- Utiliser un chauffage d'appoint.
- Fermer les volets.
- Adapter les vêtements.
- Autre (précisez).

.....

**Votre consommation énergétique :****27. Comment évaluez-vous votre facture énergétique par rapport à votre ancien logement ?**

- Plus chère.
- Moins chère.
- La même chose.

**28. Utilisez-vous des lampes basses consommation ?**

- Oui.
- Non.

**29. Quelle est votre facture de consommation énergétique (électricité + gaz) ?**

- Moins de 1000 DA.
- 1000- 2000 DA.
- 2000 - 4000 DA.
- Plus de 5000 DA.

**30. Considérez-vous qu'il faut minimiser votre consommation énergétique pour contribuer au développement durable ?**

-

Oui.

Non.

Je ne sais pas de ce qu'il s'agit.

**31. Si vous aurez les moyens et la possibilité, qu'est-ce que vous allez modifier en priorité ?**

La finition intérieure.

Le décor.

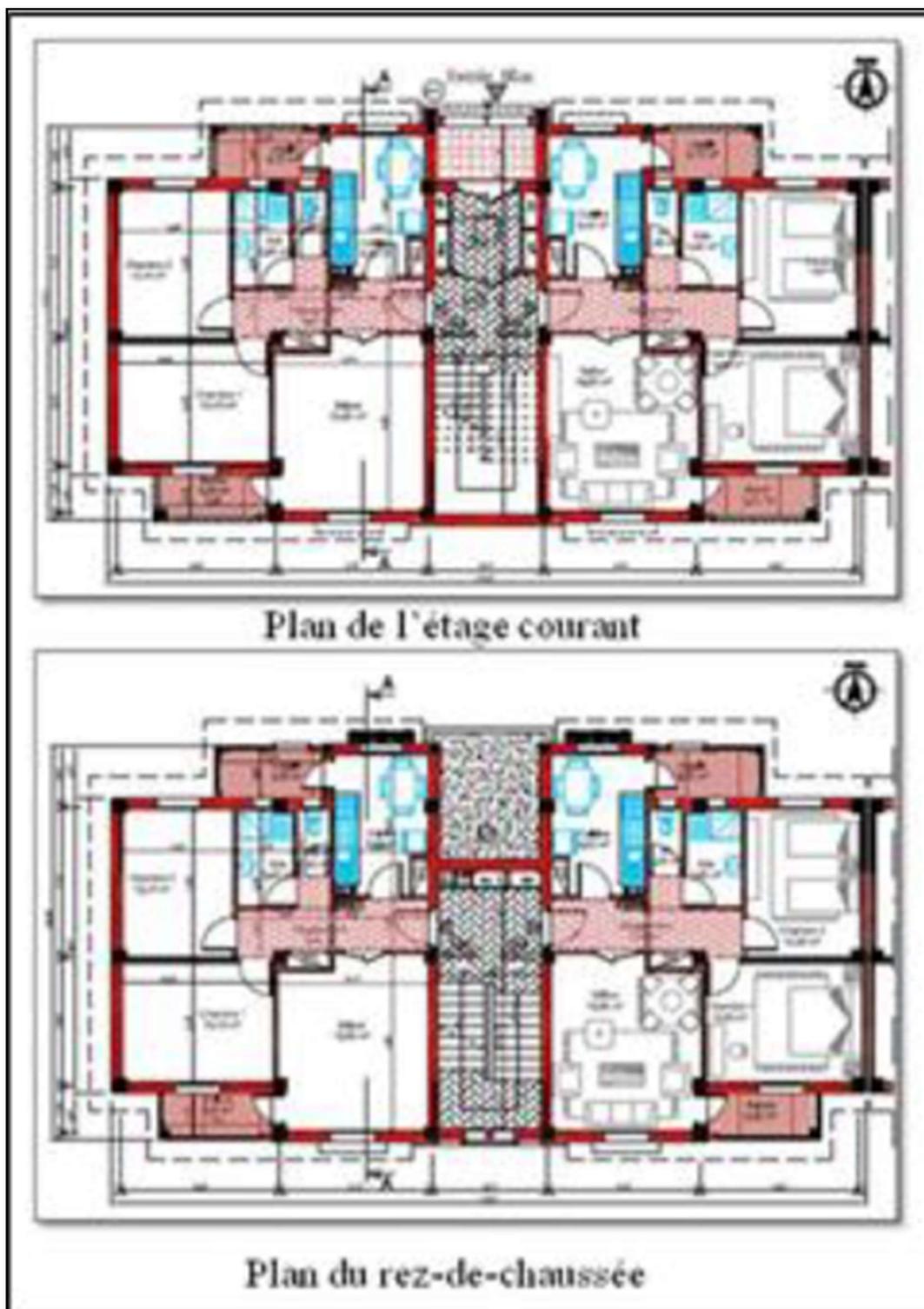
Remplacement de simple vitrage des ouvertures par le double vitrage.

L'intégration d'une énergie renouvelable (panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques).

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire et de nous avoir donné votre opinion.

## 2. Le dossier graphique du projet HPE Blida (BET DAR, 2013)

### Bloc A



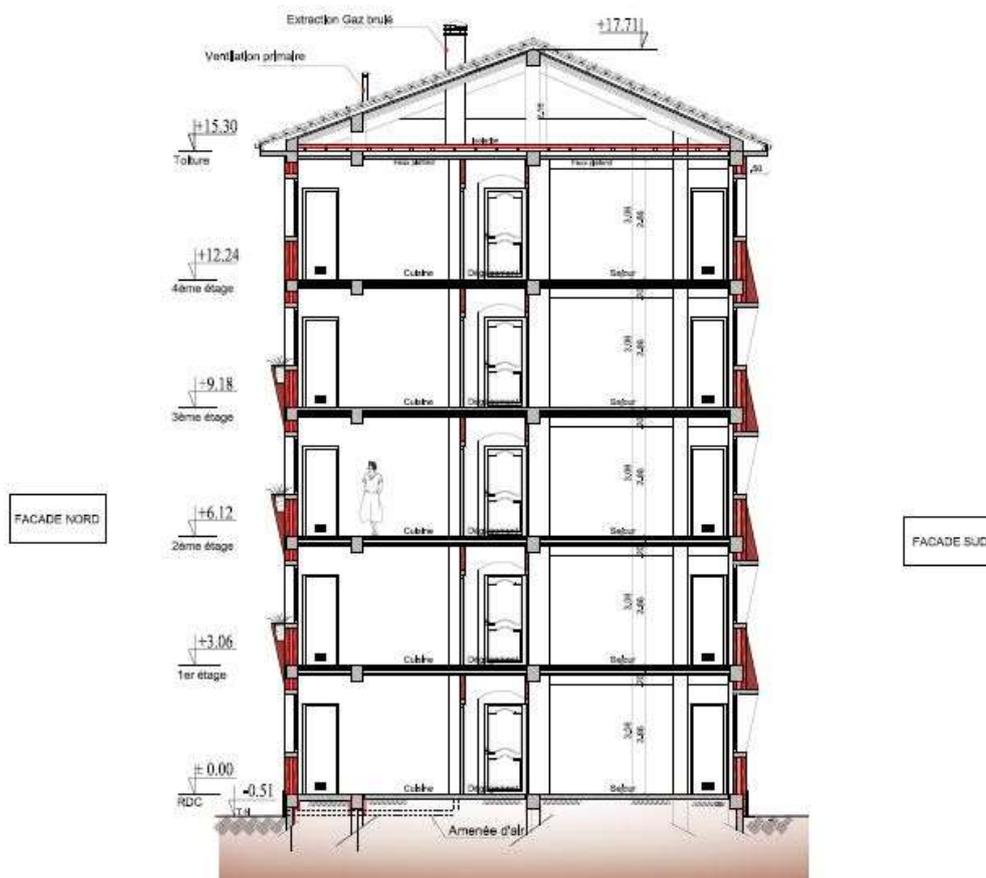
Bloc B

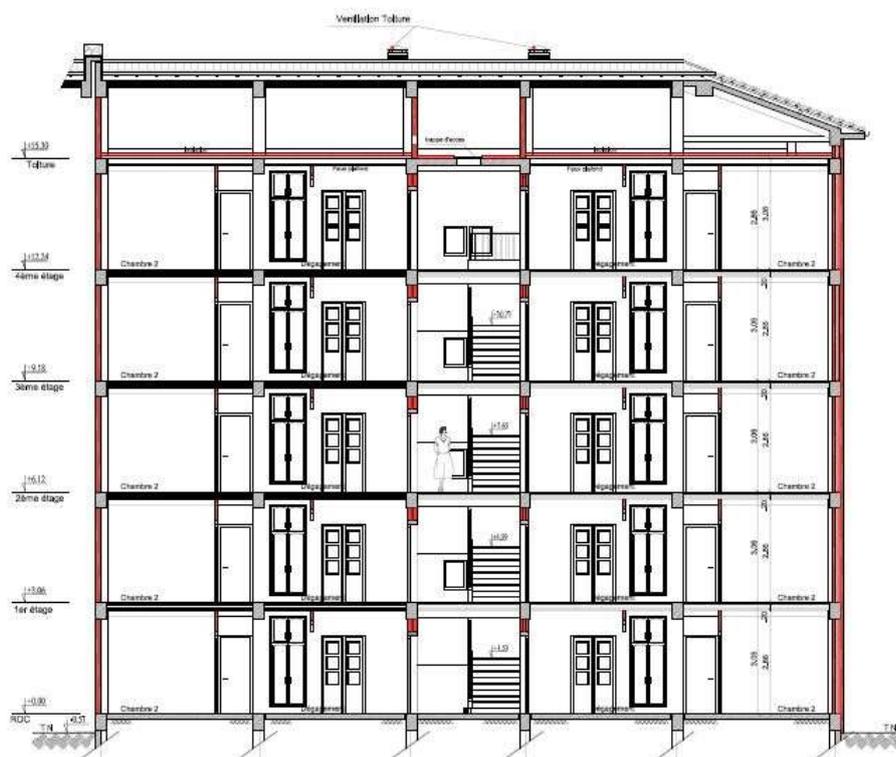


**Bloc A****Bloc B**

Désignations	Surfaces (m <sup>2</sup> )	
	F3a	F3b
Séjour	18.60	18.60
CH 01	13.15	13.65
CH 02	12.10	12.50
Cuisine	9.00	9.00
SDB	3.90	3.90
WC	1.55	1.55
Rangement 1	0.50	0.50
Rangement 2	0.50	0.50
Dégagement	7.45	7.45
Surf. Totale hab.	66.75	67.65
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Balcon	3.30	3.30
Loggia	3.70	3.70
Surf. Totale Utile	73.75	74.65
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>

Désignations	Surfaces (m <sup>2</sup> )	
	F3a	F3b
Séjour	18.60	17.30
CH 01	13.65	14.50
CH 02	12.50	12.45
Cuisine	9.00	8.30
SDB	3.90	3.50
WC	1.55	1.45
Rangement 1	0.50	0.60
Rangement 2	0.50	0.50
Dégagement	7.45	8.60
Surf. Totale hab.	67.65 m <sup>2</sup>	67.20 m <sup>2</sup>
Balcon	3.30	4.70
Loggia	3.70	3.90
Surf. Totale Utile	74.65 m <sup>2</sup>	75.80 m <sup>2</sup>

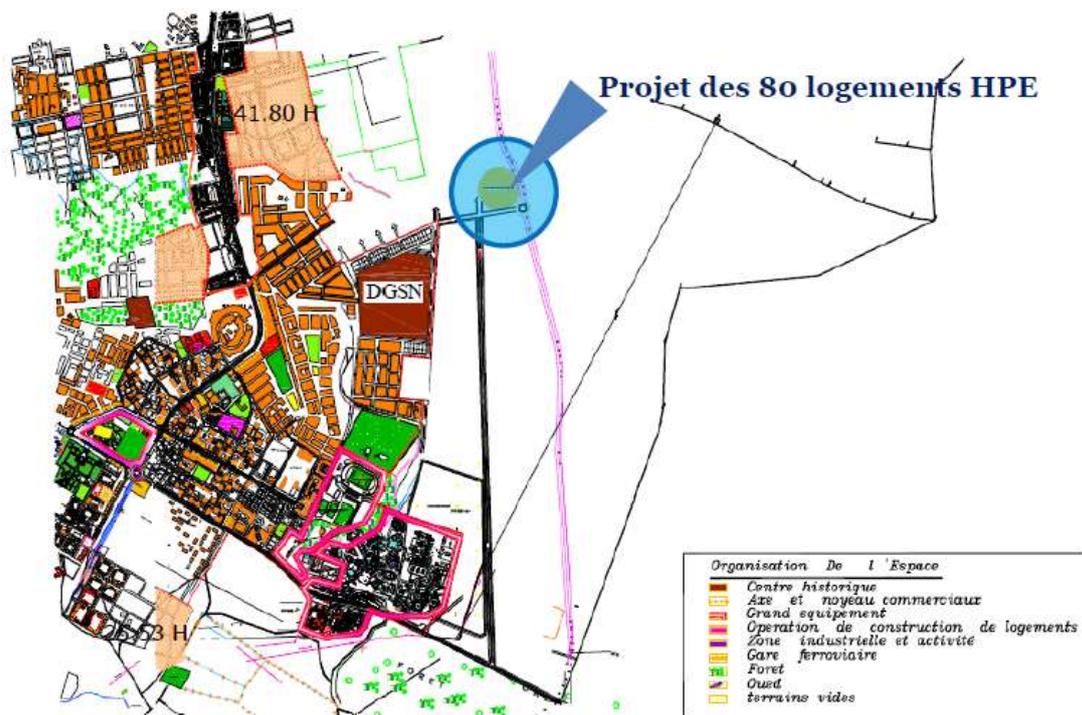
**Les coupes :**



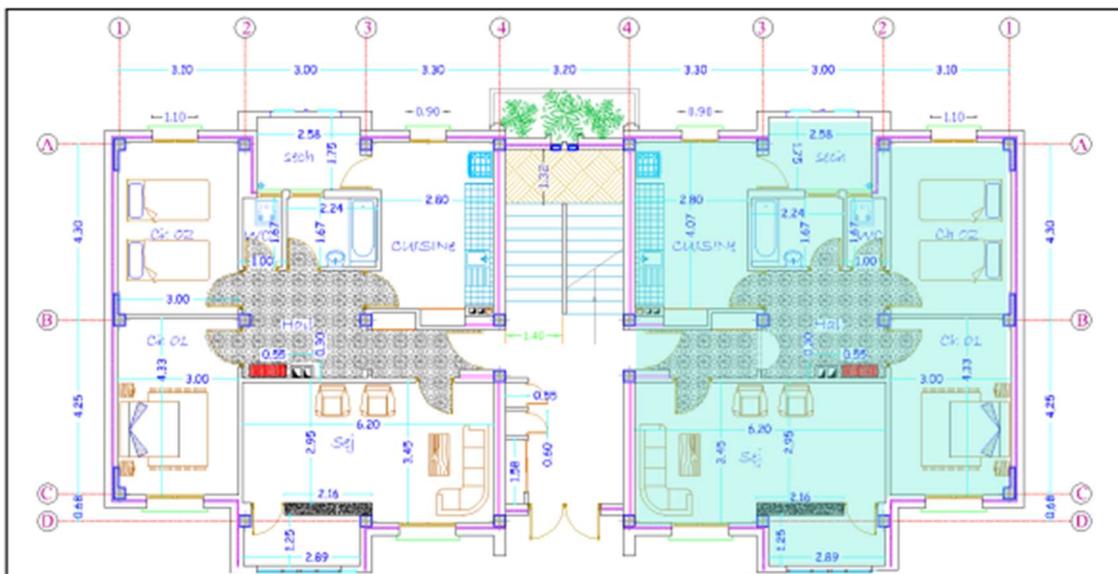
## Les façades



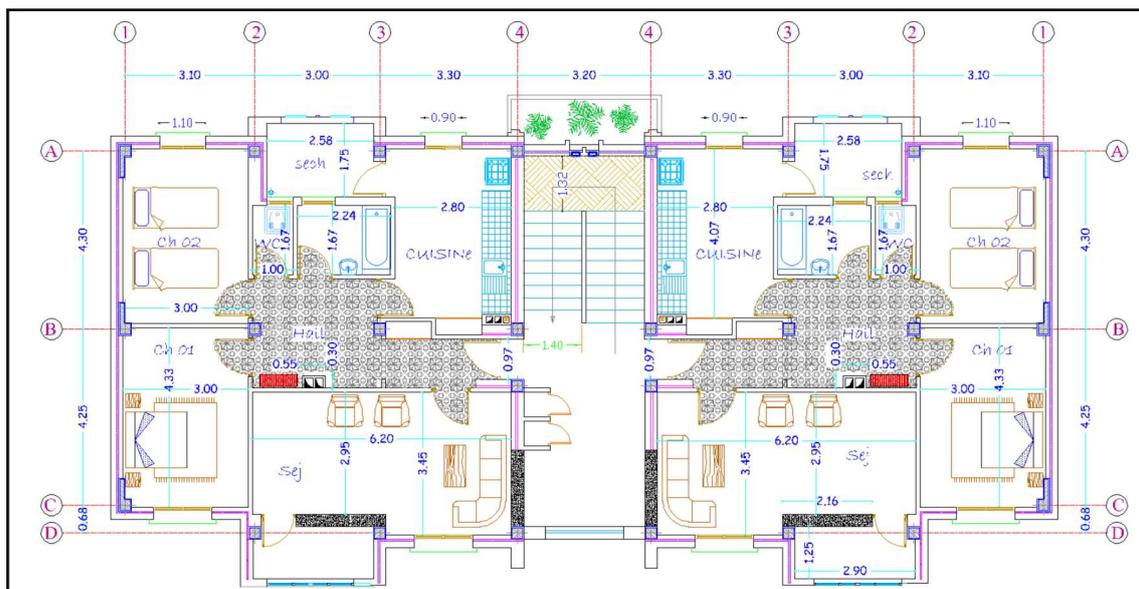
### 3. Le dossier graphique HPE Djelfa (BET Ahmed Bennaum, 2011)



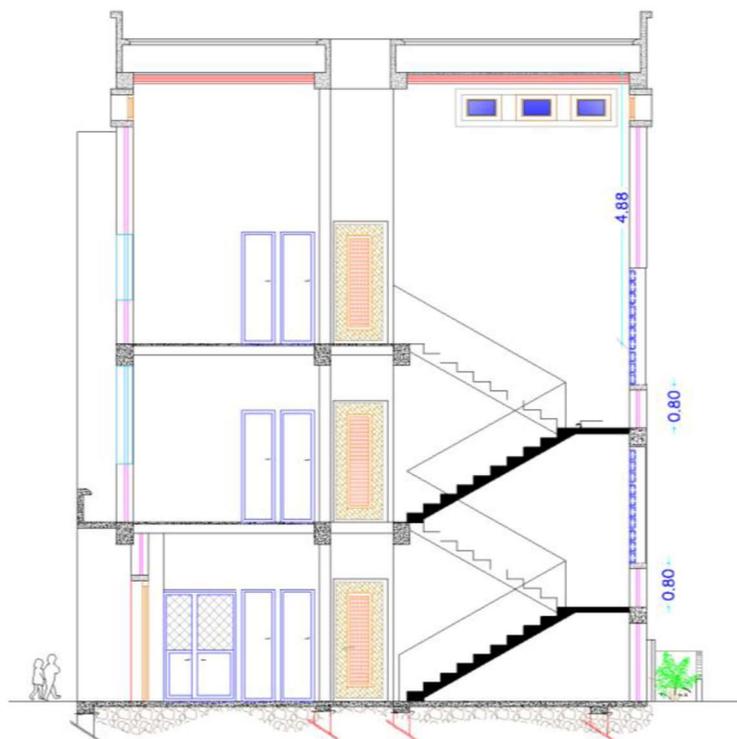
#### Plan du RDC



**Plan d'étage courant**



**Coupe :**



### Façade principale



### Façade postérieure

