

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



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم:.....
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences en : Architecture
Spécialité : Architecture

**Vers une amélioration de la performance énergétique des
habitations : la certification énergétique comme une stratégie
durable. Cas de la ville de Bechar**

Présentée par :
Mme Ibtissame BENOUDJAFER

Soutenue publiquement le 18/12/2018

Devant le jury composé de :

Dr. BOUZAHER Soumia	Maitre de Conférences 'A'	Présidente	Université de Biskra
Pr. ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. ROUAG Djamilia	Professeur	Examinatrice	Université de Constantine
Pr. ALKAMA Djamel	Professeur	Examinateur	Université de Guelma

Résumé

L'objectif principal de cette recherche consiste à améliorer la performance énergétique de l'habitation collective de la ville de Bechar qui se caractérise par un climat chaud et aride. Il consiste à évaluer le confort thermique des habitants, et réduire la consommation d'énergie, répondant d'abord aux normes minimales du logement à cette région, surtout en période estivale. À ce propos, une méthodologie de recherche proposée pour cette étude ; la première est une investigation subjective achevée à l'aide d'un questionnaire comme outil de recherche. Tandis que la deuxième est un travail expérimental et une analyse comparative entre des résultats expérimentaux et de simulation. L'analyse montre que la majorité des habitations semblent inadaptés à la rudesse du climat, où l'enveloppe provoque un environnement thermique interne très sévère. Les bâtiments résidentiels sont devenus énergivores, conséquence de l'inadaptation de ce type d'habitation au climat chaud. Cela est dû à l'utilisation d'appoints mécaniques pour le refroidissement en été, il n'existe pas d'autres solutions qui assurent un confort thermique dans ces types de logements. Cette situation d'inconfort est provoquée à l'absence totale des systèmes d'isolation ou des dispositifs architecturaux. Pour ce faire, à l'aide de la simulation thermique (TRNSYS©), nous avons proposé des solutions passives, pour améliorer la performance énergétique des logements. Les résultats de simulation montrent une évaluation remarquable des indices de la performance énergétique, sous la RT2012, et une réduction parfaite de la consommation énergétique. A la fin de notre recherche, nous allons proposer une certification énergétique, comme une stratégie durable adaptée pour la région aride et semi-aride.

Mots clés : bâtiment résidentiel, Régions arides, confort thermique, Solutions passives, consommation énergétique.

Abstract

The building sector is the largest consumer of energy in recent years and great interest has been shown to improve the energy performance of buildings in order to control the use of energy. This paper presents a study of the energy performance of the residential sector in the arid regions (Bechar, Southwest of Algeria), which characterize with dynamic urban expansion and population growth characteristics of the coastal towns of this region, with a total lack of application of heat or energy regulations. This region offers important opportunities to reduce energy consumption. The objectives of this study are to examine the thermal behavior of buildings and to foster energy efficiency to find an optimal model. In the economic and environmental context, it is necessary to study improvements different passive's solutions, using a thermal simulation under TRNSYS. In this context, this article aims at carrying out energetic performance in order to evaluate solutions that allow reconciling summer comfort improvement and reducing the consumption energy.

Keywords: building buildings, arid region, improvement, passives solutions, Comfort, Energy- Consumption.

ملخص

الهدف الرئيسي لهذه الرسالة هو تحسين الكفاءة الطاقوية للسكن في مدينة بشار التي تمتاز بمناخ حار و جاف و بطابع صحراوي. يعتبر التقليل من استعمال الطاقة تحدي في وقتنا الراهن، مقابل تازدياد في القطاع العمراني الذي يمثل أكبر طاقة مستهلكة ' لذلك يحظى مجال تطوير الكفاءة الطاقوية للمباني السكنية باهتمام كبير. يقدم هذه الأطروحة بحثاً يهدف لترقية الكفاءة الطاقوية للقطاع العمراني في المناطق القاحلة (بشار) والتي عرفت امتداداً حضارياً ديناميكياً وتطبيق مهمل للتنظيم الحراري، مما يستدعي وفي نفس الإطار يمكن اقتراح حلول فعالة، كالعزل الحراري وكذا التهوية الطبيعية ومقارنتها بمبنى مرجعي. في نفس السياق و باستعمال محاكاة ديناميكية تحت TRNSYS، يمكن تحقيق بعض الحلول الطاقوية الضرورية من أجل التخفيف من استعمال الطاقة و تحسين الوضع الحراري الداخلي للسكن خاصة الأثر العمراني والبيئي من خلال حصص التغيير الحراري العمراني وتقييم حلول توفيق بين الراحة الصيفية و استعمال الطاقة.

في الأخير نستنتج بعد هذه الدراسة انه يمكن تحسين الكفاءة الطاقوية للعمران بتطبيق حلول فعالة و مدروسة من أجل تقليل استهلاك الطاقة الغير مجددة و تفعيل توظيف القوانين البيئية للسكن الصحراوي.

الكلمات المفتاحية: مبني عمراني، كفاءة طاقوية، مناطق قاحلة، التغيير الحراري، حلول. فعالة الراحة، استعمال الطاقة.

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de cette recherche.

Je souhaite tout d'abord remercier Professeur ZEMMOURI Noureddine, mon directeur de thèse, pour m'avoir offert l'opportunité de travailler sur une thématique aussi intéressante. J'ai fortement appréciée la confiance et la grande autonomie qu'ils m'ont accordées, me permettant de découvrir le monde de la recherche sans difficulté. Merci pour les nombreuses opportunités offertes à travers la participation à des projets de recherche qui m'ont permis de m'initier aux environnements de projet.

Je remercie Professeur à l'Université de Constantine Mme ROUAG Djamila pour avoir accepté d'être l'examineur de cette thèse ainsi que de l'intérêt qu'elle lui a accordé.

Je voudrais remercier sincèrement Mrs ALKAMA Djamel, Professeur à l'Université de Galma, pour avoir accepté le rôle d'examineur.

Je tiens à remercier sincèrement Madame BOUZAHER Soumia, Maître de conférences à l'Université de Biskra qui a contribué à examiner ce travail.

– L'ensemble du personnel de l'Université de TAHRI Mohamed Bechar et l'Université de Biskra. Je remercie carrément Madame BIARA et Madame HADJ MOHAMED pour leur disponibilité et leur contribution à ce travail. Je tiens à remercier Monsieur DRAOUI et Monsieur TAMALI pour ses nombreux conseils et sa bienveillance.

Je voudrais remercier Monsieur HOUDA, pour la contribution et les remarques pertinentes sur ce travail, pour leur accompagnement. Un grand merci à tous les membres du laboratoire ENERGARID à l'Université de Bechar tout au long de ce travail. L'ensemble du personnel de laboratoire de Biskra pour m'avoir accueilli à plusieurs reprises dans leurs équipes. Je remercie particulièrement l'équipe d'architecture pour m'avoir accueilli et facilité le séjour.

Mes remerciements vont également à ma mère, mon père, en premier lieu, mes sœurs Imane et Fadhila et mes frères Mohamed et Youcef.

Je voudrais remercier mon mari Hamid et ma belle-mère pour leurs aides multiformes et pour leur gentillesse. A la fin, je tiens à remercier mes amis doctorants et anciens doctorants, surtout AOUI Salima, SALAM Fatima.

Nomenclature

- A : surface, [m²]
- BM : métabolisme basal, [W/m²]
- c : la capacité thermique massique, [J · K⁻¹ · kg⁻¹]
- C : flux de chaleur sensible échangé par convection à la surface de la peau, [W/m²]
- Cres : flux de chaleur par convection
- fcl : facteur d'habillement
- G : coefficient volumique de déperdition globale, [W/m³ · °C]
- HR : humidité relative de l'air, [%]
- hc : coefficient d'échange convectif, [W/m² · K]
- hr : coefficient d'échange radiatif linéarisé, [W/m² · K]. respiratoire, [W/m²]
- Ds : déperditions surfaciques de la paroi, [W]
- Dl : déperditions linéiques de la liaison, [W]
- Dr : déperditions par renouvellement d'air, [W]
- Dt : déperditions par transmission à travers les parois, [W]
- DR : le gêne par courant d'air, [%]
- DISC : indice d'inconfort thermique
- e : épaisseur, [m]
- E : l'effusivité thermique, [J · m⁻² · K⁻¹ · s^{-1/2}].
- ET* : température effective, [°C]
- Esk : échange de chaleur évaporative cutanée, [w/m]
- Eres : flux de chaleur par évaporation respiratoire, [W/m²]
- E rsw,req : débit sudoral
- he : coefficient d'échange de chaleur par évaporation [W/m² k Pa] (similaire à h)
- K : flux de chaleur sensible échangé par conduction à la surface de la peau, [W/m²]
- K : coefficient de transmission surfacique de la paroi, [W/m² · °C]
- k : coefficient de transmission linéique de la liaison, en watts par mètre et degré Celsius [W/m · °C]
- L : longueur de la liaison, [m]
- L : l'écart dans le bilan thermique entre chaleur produite et perdue, [W/m²]
- M : production de chaleur interne (taux de métabolisme), [W/m², Met²]
- MP : composante posturale, [W/m²]
- MW : composante d'activité, [W/m²]
- MM : composante de déplacement du corps en fonction de la vitesse, [W/m²]
- Pexp : pression de vapeur d'eau dans l'air expiré, [k Pa] (5,87 k Pa à 34°C)
- Pa : pression de vapeur d'eau dans l'air, [k Pa].
- Pm : la puissance, [kPa].
- pe : la puissance dissipée par transpiration, vapeur d'eau dans la respiration, [k Pa].
- Pc : la puissance transmis convection et conduction, [k Pa].
- Pr : la puissance perdue par rayonnement, [k Pa].

TABLE DES MATIERES

RESUME	I
ABSTRACT	II
ملخص	III
REMERCIEMENT	IV
NOMENCLATURE	V
LISTES DES FIGURES	VI
LISTE DES TABEAUX	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : LA CERTIFICATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS RESIDENTIELS (CONTEXTE ET ENJEUX)	
1.1. INTRODUCTION	15
1.2. ANALYSE DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT	16
1.2.1. Le bâtiment et la performance énergétique	16
1.2.2. Méthodes d'évaluation de la performance énergétique du bâtiment	18
1.2.3. Méthode globales	19
1.3. LE BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT RESIDENTIEL	19
1.3.1. Consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement	20
1.3.2. Consommation d'énergie pour la production d'eau chaude	21
1.3.3. Ventilation	22
1.3.4. Apport internes de chaleur	22
1.3.5. apport solaires de chaleur	23
1.3.6. Éclairage	23
1.4. LA CERTIFICATION ET LA LABELLISATION INTERNATIONALES	24
1.4.1. La définition de la certification énergétique	25
1.4.2. Les différentes procédures existantes	25
1.4.3. Critères de classement des différentes certifications	26
1.5. LE CERTIFICAT ENERGETIQUE ET FORMES D'APPLICATION	28
1.5.1. La définition du certificat énergétique	28
1.5.2. Les formes d'application	28
1.5.3. Champs d'application	29
1.5.4. Méthode de certification énergétique	29
1.6. LES LABELS DE LA CONSTRUCTION	29
1.6.1. Les méthodes d'évaluation environnementale	30

1.6.2. Poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale	30
1.6.3. Le certificat de performance énergétique PEB	31

CHAPITRE 2. ENQUETES IN SITU ET ANALYSE DU CONTEXTE

1.6.4. Certificats d'économies d'énergie (CEE)	33
1.7. LES DEMARCHES ENERGETIQUES EN FRANCE (HQE ET REGLEMENTS THERMIQUES) HQE	34
1.8. COMPARAISON DES CRITERES MAJEURS DES CERTIFICATIONS REFERENTIELS ENERGETIQUES	35
1.10.1. Comparaison entre les labels	35
1.10.2. Adoption des critères et des exigences selon le cas d'étude	37
1.10.3. Synthèse de la comparaison	38
1.11. CONCLUSION	39
2.1. ENQUETE SUR LES BATIMENTS RESIDENTIELS DE LA VILLE DE BECHAR	54
2.2. CONTEXTE ENERGETIQUE A BECHAR	57
2.3. ENQUETE IN SITU ET ANALYSE	58
2.3.1. Confort thermique en hiver et en été	58
2.3.2. Facteurs d'inconfort	58
2.3.3. Comportement des occupants	60
2.3.4. Système de chauffage en hiver	61
2.3.5. Système d'eau chaude sanitaire	62
2.3.6. Système de climatisation en été	62
2.3.7. Les factures énergétiques	63
2.3.8. Des améliorations possibles pour atteindre du confort	64
2.3.9. L'environnement	65
2.4. CONCLUSION	66
Chapitre 3 : TRAVAIL EXPERIMENTAL ET SIMULATION D'UN APPARTEMENT	
3.1. INTRODUCTION	68
3.2. DESCRIPTIONS DU BATIMENT DE REFERENCE (LOCALISATION, CLIMAT, GEOMETRIE)	68
3.2.1. Le choix du bâtiment de référence	68
3.2.2. Géométrie de l'immeuble et de son environnement	70
3.2.3. Géométrie de l'appartement de référence	70
3.3. BASE DE DONNEES	72
3.3.1. Choix des instruments de mesure du confort (T° et HR)	72
3.3.2. Base de données (enveloppe, matériaux de construction, et usages)	74
3.3.3. Les installations électriques dans l'appartement	75
3.3.4. Niveau d'éclairage	76

3.3.5.	Consigne de température	76
3.3.6.	Taux d'occupation	77
3.3.7.	Taux de ventilation	78
3.4.	RESULTATS DES MESURES SUR SITE ET ANALYSE	78
3.4.1.	Résultats des mesures de température et d'humidité intérieures et analyse de confort	78
3.4.2.	Résultats pour la chambre	80
3.4.3.	Résultats pour le salon	81
3.4.4.	Résultats pour la cuisine	82
3.5.	COMPARAISON ENTRE RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DE SIMULATIONS	84
3.5.1.	Les incertitudes dans le modèle	84
3.5.2.	Simulation du comportement thermique du bâtiment	84
3.5.3.	Résultats des mesures des températures intérieures	85
3.5.4.	Résultats des mesures des consommations énergétiques	87
3.5.	CONCLUSION	89
Chapitre 4 : EVALUATION DES CRITERES DE PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS RESIDENTIELS DANS LES ZONES ARIDES		
4.1.	INTRODUCTION	90
4.1.1.	Comparaison des données climatiques et météorologiques de la ville de Bechar	90
4.1.2.	Les scénarios d'usage conventionnels.	92
4.2.	ANALYSE CRITIQUE DE LA RT2012 POUR UNE EXTENSION	93
4.2.1.	Les exigences de résultats quant aux performances énergétiques (2012)	94
4.2.2.	Les exigences de moyens	95
4.2.3.	Évaluation de l'application de la RT2012 dans le contexte sub-saharien	97
4.3.	SIMULATION DU BATIMENT DE REFERENCE ET EVALUATION DES INDICES DES PERFORMANCES ENERGETIQUES	99
4.3.1.	Modélisation à partir de TRNSYS	99
4.3.2.	Description de l'enveloppe de l'appartement de référence	100
4.3.3.	Simulation de bâtiment et évaluation	102
4.4.	AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE PAR DES SYSTEMES PASSIFS	103
4.4.1.	Les principes bioclimatiques de l'amélioration thermique du bâtiment	103
4.4.2.	Les choix de solutions bioclimatiques	104
4.4.3.	Les systèmes passifs proposés pour améliorer la performance énergétique du bâtiment	105
4.5.	EVALUATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE DU BATIMENT	109
4.5.1.	Évaluation du comportement thermique du bâtiment (hiver/été)	109
4.5.2.	Évaluation du comportement thermique pour la zone nord en été	109
4.5.3.	Évaluation du comportement thermique de la zone sud en été	111
4.5.4.	Évaluation du comportement thermique de la zone nord en hiver	113

4.5.5.	Évaluation du comportement thermique de la zone sud en hiver	114
4.6.	ÉVALUATION DES INDICES DE PERFORMANCE POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES	115
4.6.1.	Performances des systèmes sur la base de l'indice IPS pour le confort d'été	115
4.6.2.	Performances énergétique sur la base de l'indice IPS pour la Zone sud	115
4.6.3.	Performances énergétique sur la base de l'indice IPS pour la Zone nord	117
4.6.4.	Performances des systèmes sur la base de l'indice Iéco et IPR	118
4.6.5.	Performances des systèmes sur la base de besoin bioclimatique Bbio et Cep bât	119
4.6.6.	Synthèse des résultats	121
4.7.	UN COUPLAGE DES SUYSTEMES	123
4.7.1.	Classification des systèmes d'amélioration selon leur comportement	123
4.7.2.	Réalisation des couplages entre les systèmes	123
4.7.3.	Conclusion sur les résultats des couplages	123
4.8.	NOTIONS DE COUT D'INVESTISSEMENT ET DE TEMPS DE RETOUR	124
4.9.	CONCLUSION	127
Chapitre 5 : PROPOSITION D'UNE CERTIFICATION ENERGETIQUE EN REGION DESERTIQUE COMME UNE STRATEGIE DURABLE		
5.1.	INTRODUCTION	129
5.2.	INTERETS DE LA CERTIFICATION ENERGETIQUE DU BATIMENT RESIDENTIEL	129
5.2.1.	Intérêts pour la mise en place d'une certification énergétique à la région « Sub-Saharienne » d'Algérie	130
5.2.2.	L'objectif et limites d'application	131
5.2.3.	Poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale	131
5.2.4.	La prise en compte du confort d'été	132
5.2.5.	Méthode d'évaluation des environnements divers	132
5.2.6.	Adoption des critères et des exigences selon le cas d'étude	133
5.3.	LES CRITERES D'EVALUATION POUR LA CERTIFICATION ENERGETIQUE	134
5.3.1.	Les critères d'évaluation choisis pour la certification énergétique	134
5.3.2.	Évaluation des solutions choisies selon une analyse multicritère	136
5.3.3.	Préconisation de valeurs limites pour les indices de performance	138
5.4.	STRUCTURATION DE LA CERTIFICATION ENERGETIQUE PROPOSEE AUX REGIONS DESRTIQUES	139
5.4.1.	Description les phases de la certification énergétique proposée	139
5.4.2.	Calcul la Consommation « standard », « réelle » et « eco »	141
5.4.2.1.	Calcul de la Consommation « standard »	141
5.4.2.2.	Calcul de la consommation « réelle »	141
5.4.2.3.	Calcul des économies d'énergie « ECO »	142

5.4.3.	L'amélioration thermique pour les parois opaques	143
5.4.4.	Des améliorations thermiques du système de chauffage et de refroidissement	144
5.5.	PROPOSITION D'UN CERTIFICAT DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE « CPE-Sub-Saharien »	145
5.5.1.	Qu'est-ce que le certificat de performance énergétique (CPE) des bâtiments résidentiels ?	145
5.5.2.	Quelles sont les indications contenues dans le CPE?	146
5.5.3.	Etablissement du CPE sur base de la consommation mesurée	146
5.5.4.	Obligation d'affichage	146
5.5.5.	Classement énergétique selon les critères	147
5.5.6.	Les indicateurs globaux de la performance énergétique	148
5.5.7.	Les indicateurs spécifiques de la performance énergétique	149
5.5.8.	PROPOSITION DE CERTIFICATION	153
5.6.	LA FESABILITE DU CERTIFICAT PROPOSE	157
5.6.1.	Contrôle réglementaire des certificats de performance énergétique pour les habitations aux régions désertiques	157
5.6.2.	Données de base et exigences réglementaires	158
5.6.3.	Définition et encodage de l'enveloppe thermique	158
5.6.4.	Relevé des consommations et recommandations de modernisation pour les bâtiments existants	159
5.7.	NOTION DE VALIDATION	160
5.8.	SYNTHESE	161
5.9.	CONCLUSION	162
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	164
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	169
	ANNEXES	

1. INTRODUCTION

La maîtrise d'énergie reste un défi majeur dans le domaine de construction, un des secteurs clés pour le gisement d'économie d'énergie. Aujourd'hui, l'exploitation intensive et non maîtrisée des ressources énergétiques a des conséquences néfastes sur l'environnement. On note déjà, à l'échelle du globe, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau moyen de la mer. » [FALCON M., 2013]. Face aux impacts environnementaux liés aux consommations énergétiques, l'Humanité est en train de faire des capacités d'adaptations et d'innovation seront déterminantes avec un niveau de développement atteint. Bien que réaliser une évaluation fiable sur tous les contextes, surtout les constructions, soit extrêmement délicat compte tenu de la complexité du contexte énergétique mondial. La demande d'énergie de nos jours, augmente de manière continue tandis que la production est dans une phase de transition complexe pleine d'incertitudes.

Au-delà des questions énergétiques, les bâtiments ont le rôle majeur à jouer en termes de biodiversité. En conséquence, il est apparu essentiel d'améliorer la performance énergétique dont ce secteur résidentiel, en milieu urbain qu'en milieu rural en raison de la densité de la population due au mode de vie urbain conjugué à la fois un système de réseaux urbains (éclairage, transports, etc.). Le secteur du bâtiment (résidentiel) est pleinement concerné par cette problématique car il représente le principal consommateur d'énergie en Algérie, devant celui du transport. Ces derniers consomment à eux seuls près de 40 % de la consommation globale. De ce fait, il présente un fort potentiel d'amélioration à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux.

Il convient de souligner que l'Algérie a pris conscience de valoriser toute les ressources pour améliorer le cadre énergétique des constructions. Citons la mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment, et un décret exécutif n°2000-90 qui a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.[FIZZIOUI N., 2016]

Afin d'amorcer une réglementation, on souligne ici trois documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment à savoir: DTR C 3-2 et DTR C 3-4 qui visent la limitation de la consommation énergétique relative au chauffage et la climatisation des locaux et DTR C-3.31 qui fournit les principes généraux qu'il y a lieu d'adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle. Le premier texte est largement inspiré des règles françaises dites règles Th. Le second est tout simplement une application de la méthode de Carrier pour l'Algérie [LARBI Y., 2001].

Malgré tous ces efforts, la situation d'inconfort de la majorité d'habitations et l'augmentation des prix des factures d'électricité produites par l'absence d'application de la réglementation thermique aux logements construits. Dans ce contexte, le domaine de construction en général n'est soumis à aucune obligation en termes de confort thermique et de consommation énergétique. A l'heure actuelle, le secteur des bâtiments résidentiels en Algérie, a cherché tout développement d'une utilisation rationnelle de l'énergie vis-à-vis des ressources énergétiques, et plus particulièrement de l'électricité. C'est dans ce contexte que s'insère notre problématique, l'amélioration des bâtiments résidentiels au climat chaud et sec en général et à Bechar en particulier, est notre objectif. Il s'agira d'explorer des solutions passives permettant d'évaluer le confort dans l'environnement intérieur du bâtiment et par conséquent diminuer la consommation d'énergie.

Dans notre recherche, on s'emploiera à améliorer la performance énergétique du cadre bâti, en proposant des systèmes passifs qui seront élaborés sur la base de programme de la performance énergétique cohérent et adaptés aux régions à climat chaud et sec, et la ville de Béchar, a choisis comme cas d'étude. Cette thèse s'inscrit en premier lieu, dans le contexte énergétique des bâtiments à usage d'habitations. Nous nous appuyons dans ce travail de recherche d'amélioration de la performance énergétique du secteur résidentiel, d'une part et d'autre part, la mise en place d'une certification énergétique des habitations en Algérie, plus précisément dans la région aride et semi-aride. Le choix de la ville de Bechar, comme ville typique de la région sud-ouest d'Algérie, a été fait, car nous constatons un manque de recherche pour cette région malgré la richesse naturelle et historique de son extension urbaine. De ce faire, la

production d'une conception architecturale à haute qualité environnementale devient une préoccupation obligatoire des producteurs et une exigence essentielle des consommateurs.

Nous pouvons récolter des informations nécessaires sur la situation énergétique des constructions dans cette ville. A l'aide des enquêtes in situ, nous avons remarqué un état d'inconfort pour la majorité de ces constructions. à travers son histoire récente, la ville de Bechar est passée par différents contextes politiques, sociaux et économiques qui ont influencé directement sur la production des habitations adaptées aux éléments climatiques.

En vue de l'aridité de cette région, l'évolution de l'architecture a connu trois grandes époques : précoloniale, où l'architecture vernaculaire des ksour est façonnée par le climat, en gardant la forme bâtie compacte, avec une cour intérieure pour refroidir les espaces intérieurs et utiliser des matériaux locaux de grande inertie thermique. Certains ksour restent des sites remarquables aujourd'hui par l'originalité de l'adéquation entre les besoins en habitat et les paramètres locaux (climat, matériaux...etc.). Après l'avènement français, l'architecture dite arabisante est devenue plus confortable en répondant aux conditions climatiques de la région. Les techniques de constructions sont développées par d'autres techniques universelles, comme l'utilisation de terre cuite et le béton armé.

La demande sur le bâtiment s'est accrue après l'indépendance. La situation de la région se présente comme un taux de concentration de la population très élevé, a engendré une demande forte de la production des constructions à usage d'habitation. Ces nouveaux logements permettent de maintenir le niveau d'occupation de la population et de répondre aux exigences les plus urgentes héritées par la période coloniale.

Actuellement, la conception architecturale de la plupart des édifices n'est pas appropriée aux conditions climatiques. Même les procédés constructifs ne sont pas conformes aux notions hygrothermiques. Pour cela, les bâtiments à usage d'habitation consomment beaucoup d'énergie non renouvelable pour arriver au bien-être des occupants vis-à-vis de leur environnement. Dans ce contexte, le but de notre recherche est d'évaluer l'état actuel de confort et le niveau des dépenses énergétiques des locaux résidentiels.

La problématique est sans doute l'évaluation de la performance énergétique du cadre bâti, et plutôt leur élaboration pour réaliser des rénovations performantes. Le problème principal ici est l'inconfort des habitations malgré la consommation élevée d'électricité en période surchauffe. Il devient d'étudier le montant des rénovations à assumer par les ménages pour atteindre un confort. Il faut en outre veiller à ne pas « tuer » le gisement d'économies d'énergie, c'est-à-dire à ne pas raisonner à court terme en cherchant le retour sur investissement le plus court possible. Par exemple, les travaux d'isolation des murs extérieurs doivent être très performants du premier coup, car la part de la main-d'œuvre est de l'ordre de 80 à 90 % avec des techniques artisanales. Donc, une nouvelle intervention pour augmenter l'isolation ne sera jamais justifiée économiquement à l'avenir. [MADI K., 2015]

La mise en place d'une certification énergétique pour le contexte saharien n'est pas évident, c'est une technique de motiver les professionnels locaux à adopter des conceptions du bâti efficaces énergétiquement et d'intégrer des équipements techniques performants et innovants. Toutefois, cette procédure énergétique, n'est pas nouvelle, plusieurs de certifications européennes existantes comme Passiv'hausse, RT2012, ou venant des États-Unis (LEED), qu'elle doit être adaptée au contexte régional visé, et prendre en compte les habitudes professionnelles, les conditions climatiques, les modes de vie, etc. La proposition d'une nouvelle certification adaptée à cet environnement est l'objectif de cette recherche.

Pour atteindre notre objectif, il est nécessaire d'une étude pluridisciplinaire, et multicritères du comportement énergétique du parc résidentiel. Des solutions passives proposées, nécessitent être cohérentes et adaptées à la région désertique.

Vu l'ampleur du parc de ce secteur, la question de départ qui se pose est :

- Comment améliorer le cadre bâti des bâtiments résidentiels existants ou neufs, toute en minimisant la consommation d'énergie et assurer un confort ?
- Quelles sont les conditions requises pour une certification énergétique pour le contexte saharien, sur les plans énergétiques, environnementaux et économiques? Quels sont les outils nécessaires tout au long du processus d'amélioration énergétique?

Pour y répondre, cette thèse explore la possibilité de réaliser un diagnostic sur la performance énergétique des bâtiments et d'identifier les critères pertinents à intégrer dans une proposition de certification énergétique.

Par ailleurs, on peut constater que la performance énergétique des bâtiments résidentiels, est liée aux quatre critères essentiels: confort d'été, coût, délai et bilan énergétique. Aujourd'hui, l'opération de la rénovation des bâtiments est non seulement freinée par son coût et son délai, mais aussi par le manque de compétences de la filière qui ne parvient pas à réaliser. Il faut donc proposer un nouveau processus d'amélioration énergétique avec un moindre coût, un délai minimum, une meilleure qualité et un bilan énergétique optimal. Pour réduire le coût, il faut réduire le coût d'investissement, mais aussi le coût d'utilisation et de déconstruction. Il faut donc raisonner en coût global.

C'est dans ce contexte que la maîtrise d'énergie du secteur résidentiel, consiste à agir sur son enveloppe lors de sa construction ou de sa rénovation. C'est l'objectif principal des réglementations thermiques qui visent à fixer un seuil maximum de besoins annuels en énergie primaire, en fonction du type de bâtiment et de sa localisation. Mais, la consommation d'énergie peut aussi être réduite grâce à la mise en place de stratégies passives d'amélioration de la performance énergétique. Le travail de thèse se situe dans ce contexte: minimiser ou la maîtrise d'énergie des bâtiments et améliorer le confort des occupants grâce à des améliorations de performance passives et la gestion énergétique et économiques appropriées.

On s'attachera également à évaluer le niveau du confort, où la grande partie du parc de bâtiments est climatisé à l'électricité, ce qui induit un problème de gestion de la pointe électrique à Bechar, surtout en été. Il est donc nécessaire de trouver des solutions passives pour réduire cette demande d'électricité. Afin de satisfaire ces exigences élevées de confort, d'économie d'énergie et d'effacement de la pointe électrique, l'amélioration de la performance énergétique des enveloppes des résidentiels doit ainsi être affinée.

Pour cette raison, il faut en plus être des limites d'évaluer la performance énergétique, due à l'utilisation des solutions techniques accessibles sur le site, avec une valorisation globale des points de vue énergétique, économique et de confort, qui vont être pilotés et leur interaction avec l'enveloppe. Il est ainsi

nécessaire de réduire la consommation d'énergie, tout en assurant un confort des occupants. Il est cependant possible de proposer une certification énergétique des bâtiments résidentiels comme une stratégie durable dans la région aride et semi-aride (sud-ouest l'Algérie Bechar). Le certificat énergétique développé, destiné aux différents acteurs du bâtiment pour la conception de bâtiments résidentiels neufs, vise à promouvoir une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, grâce à des bâtiments à basse consommation énergétique.

2. LES REVUES LITERATURES

CHAHWANE et all., a considéré que le confort des édifices dépend, en grande partie, l'enveloppe et ses matériaux. On est obligé de choisir la composition de l'enveloppe de manière intuitive ou de procéder à de nombreux tests pour évaluer une solution qui soit meilleure parmi d'autres [CHAHWANE L., 2011].

FIZIOUI et all. a proposé d'étudier le comportement thermique de parois mono ou multicouche de différentes compositions afin d'identifier celles qui permettent un bon confort et une plus grande économie d'énergie en cas de conditionnement dans le contexte de Kenadsa (sud de Bechar). Ce travail tient compte des conditions économiques de la région d'étude. On vise à fournir aux architectes et aux autres intervenants du bâtiment de la région des solutions pour un choix judicieux plus efficace sur le plan énergétique et environnemental. Ces solutions ont été voulues simples et faciles à mettre en œuvre, ce qui garantit leur applicabilité générale. [FIZIOUI N., 2016]

Dans le cadre de la certification énergétique, quelque études ont été réalisées, citons l'étude rédigée par ADRA Nadine, dans sa thèse intitulée : Proposition d'une procédure de certification énergétique au Liban qui a proposé une démarche méthodique pour proposer une procédure d'une certification selon l'évaluation de comportement des occupants. [ADRA N., 2001]

En outre, l'étude effectuée par SALAMA Mothanna, dans sa thèse intitulée : Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban). Une série

d'enquêtes sur le terrain pour mettre en évidence les problématiques énergétiques des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, et établir une base de données servant de référentiel sur les modes de construction et les systèmes utilisés. L'originalité de cette étude est d'aborder la réalité du terrain en adoptant un outil de STD et en nous appuyant sur les spécificités de fonctionnement et d'usage du bâtiment et ses équipements de chauffage, de climatisation, d'eau chaude sanitaire et d'électroménager. Des systèmes d'amélioration étudiés, permet de déterminer des nouvelles indices réglementaires caractérisant un nouveau label énergétique RT2012-EM. [SALAMA M., 2015]

S'inscrivant dans le même registre, d'autres recherches, comme celle de Layachi (2005), Plusieurs travaux [Roucoult & al, 1999] [Shaviv & al, 2001] [Stephan, 2010] se sont intéressés à la prédiction de l'efficacité d'une stratégie de rafraîchissement nocturne par l'inertie et la ventilation nocturne. Si les conditions climatiques sont favorables, cela favorise par la dissipation de la chaleur en excès stockée dans les parois et permet de l'évacuer vers l'extérieur par ventilation. Certains ont démontré une relation linéaire entre la température intérieure maximale et l'écart de température jour/nuit. [Shaviv & al, 2001]

La simulation dans le bâtiment a pour but d'imiter les conditions physiques réelles en utilisant des modèles mathématiques pouvant représenter tous les flux d'énergies ainsi que leurs interactions. Plusieurs efforts sont menés pour augmenter le niveau de confiance à l'égard des résultats de ces simulations. Les projets PASSYS 2 et IEA-BESTEST 3 sont des projets à l'échelle internationale qui se sont intéressés à la validation des outils de simulation appliqués à la thermique du bâtiment. Modélisation et simulation sont devenues indispensables pour les acteurs du domaine de la conception et de l'exploitation des bâtiments (Wetter, 2011a; Sahlin et al. 2004, 2000; MacQueen, 1997; Clarke et al., 2004; Augenbroe et al., 2004).

Citons aussi l'étude menée par Stéphane THIERS, intitulée : Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, a répandu à ces défis énergétiques et environnementaux, par plusieurs éléments de solution qui peuvent être mis en œuvre de manière complémentaire. Du point de vue énergétique, les solutions concernent les différents maillons de la chaîne

énergétique et passent par la réduction des besoins énergétiques la « sobriété », l'efficacité des équipements et l'adaptation de la chaîne énergétique aux usages. Du point de vue environnemental, les solutions sont très nombreuses et concernent notamment la rationalisation de l'utilisation des matières premières, la réduction des émissions polluantes et des déchets et le recyclage des matériaux. [Stéphane T., 2008]

Les récentes avancées permettent d'avoir des outils performants, des codes validés, des possibilités de couplage et des méthodologies permettant de simuler de façon globale le comportement du bâtiment. Citons l'étude menée par MADI K., présente une étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne par la simulation. Les motivations de cette étude est la simulation thermique dynamique comme outils de diagnostic à l'aide d'une conception des bâtiments passifs et de basse consommation énergétique dans le climat tropical en général et au Burkina Faso en particulier.[MADI K. , 2015]

A la fin, il s'agira d'approfondir les connaissances sur le comportement thermique des bâtiments résidentiels par l'expérimentation et la simulation d'une part, et d'autre part d'explorer des solutions passives permettant d'évaluer le confort de l'environnement intérieur du bâtiment et par conséquent diminuer les heures d'inconfort. Au cœur de la transition énergétique, la thématique de notre recherche a concerné celle de la maîtrise de l'énergie attachée au secteur résidentiel. Le périmètre d'action étant lui centré sur l'efficacité énergétique à l'égard de la conception de bâtiments neufs ou existants. La sobriété énergétique a été abordée durant cette thèse et possède de réelles conséquences sur la performance énergétique du bâtiment. Le thème de l'énergie renouvelable quant à lui ne sera pas abordé dans ce cadre de recherche.

L'approfondissement de cette recherche s'orientera vers la compréhension des enjeux énergétiques, environnementaux, sociétaux et économiques du secteur résidentiel.

3. HYPOTHESES ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE LA THÈSE

La certification énergétique spécifique aux régions sud Algérien est un outil d'amélioration de la performance énergétique et maintenir un confort des bâtiments à usage d'habitation.

Nous nous proposons dans cette thèse d'étudier par la simulation des systèmes passifs proposées pour une amélioration performante. Enfin, nous allons voir s'il est possible d'améliorer des indices de la performance énergétique et sa gestion de l'investissement économique.

Il est ensuite possible de comparer les résultats obtenus avec ceux d'une régulation de référence, n'anticipant pas les sollicitations à venir pour le bâtiment.

Les objectifs de la thèse s'inscrivent de développer une certification énergétique visant à déterminer un modèle pouvant être optimal. Le critère objectif d'optimisation dépend du cas d'application :

- évaluer les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, tout en essayant d'améliorer le confort thermique dans les résidences;
- estimer et calculer les consommations globales en énergie « en été et hiver », en tenant compte des comportements des habitants ;
- évaluer le confort d'été selon chaque solution proposée afin d'arriver au scénario qui réponde au mieux aux besoins de confort ;
- exécuter un choix des systèmes de production d'énergie conventionnelle pour le chauffage et la climatisation, plus répandus techniquement et financièrement sur notre site, pour but de réduire les factures énergétiques des bâtiments dans notre cas d'étude.
- Proposer une certification énergétique pour la région à climat sec et chaud ;

4. METHODOLOGIE

4.1. Enquête in situ

À l'aide d'une série des enquêtes in situ, nous pouvons élaborer un diagnostic sur la situation de l'habitat de la ville de Bechar. Un résultat de questionnaires pour une étude plus spécifique sur les bâtiments résidentiels actuels permettra de mettre en évidence les défauts de ces constructions. Cette démarche empirique sera consacrée à la mise en place des enquêtes à destination des ménages et des professionnels. À la suite du travail, après avoir exposé les difficultés de cette démarche (accès aux informations, validité des données, manque d'études et de statistiques récentes), nous présentons les spécificités des constructions dans le contexte saharien.

4.2. Confrontation des Mesures expérimentales et de simulation

A l'aide des outils de mesures, cette démarche sera effectuée pour décrire l'état réel d'une habitation en termes de confort et la consommation énergétique. Pour cela, des mesures judicieusement choisie pour un appartement de référence qui sera retenu pour la réalisation d'une série de mesures et d'acquisitions des données.

4.3. Effectuer une simulation dynamique thermique

A l'aide des logiciels de simulation dynamique et thermique, nous pouvons de comparer les résultats expérimentaux avec les résultats de la simulation thermique dynamique. Le différentiel entre les résultats expérimentaux et ceux issus de la simulation permettant de conforter notre démarche.

5. PLAN DU MANUSCRIT DE LA THESE

L'objectif principal de notre recherche est de comprendre l'état actuel de la construction du secteur résidentiel dans le contexte saharien et d'améliorer la performance énergétique pour développer une procédure de certification énergétique spécifique de notre contexte.

Pour cette raison, ce manuscrit de thèse est organisé en cinq chapitres. Le premier chapitre de ce document fait une revue bibliographique sur le contexte

et les enjeux des certifications énergétiques. Dans ce chapitre, nous présenterons les certifications et les labels énergétiques les plus répandus dans le monde. En partant de leur description technique, nous comparerons les critères énergétiques en vue d'une hiérarchisation. La comparaison nous permet de servir une évaluation afin d'adopter des critères et des exigences cohérents avec notre site, dans le but de réaliser une certification énergétique spécifique à notre région.

Pour le deuxième chapitre, nous faisons un recueil des informations et des données nécessaires sur l'état de la construction, à l'aide d'une enquête in situ et une série de questionnaires pour un diagnostic plus spécifique sur les bâtiments résidentiels, permettront de mettre en évidence les défauts et les problèmes en terme énergétique de cet habitat. Sont encore présentées les solutions envisageables pour une politique énergétique saine du secteur résidentiel à Bechar. Ce chapitre sera consacré à la mise en place d'une démarche empirique basée sur des enquêtes à destination des ménages et des professionnels. Il donnera également des éléments quant à nos sources d'information, notre démarche de collecte et de traitement des données, ainsi qu'à la phase d'analyse des données.

Nous décrivons dans le troisième chapitre, un travail expérimental pour décrire l'état de confort et la consommation énergétique. Cela aboutit à la sélection d'une méthodologie qui prendra en compte la description du bâtiment, de ses systèmes, de ses équipements, et des spécificités de fonctionnement et d'usage ainsi que des mesures judicieusement choisies. Dans ce chapitre, nous présenterons notre démarche de simulation et d'expérimentation. Nous commencerons par justifier le choix du bâtiment de référence, qui sera retenu pour la réalisation d'une série de mesures et d'acquisitions des données. Les résultats de ce travail expérimental seront comparés avec les résultats de la simulation thermique dynamique réalisée par un logiciel. Le différentiel entre les résultats expérimentaux et ceux issus de la simulation donnera un cadre d'analyse permettant de conforter notre démarche.

Nous présentons dans le quatrième chapitre, à l'aide de simulations numériques, les interactions de l'enveloppe. Nous nous intéressons de simuler des systèmes passifs proposés d'amélioration de la performance énergétique

pour les bâtiments résidentiels existants ou neufs, qui vont être pilotés et leur interaction avec l'enveloppe. Le but à promouvoir sera la réduction de la consommation d'énergie, tout en assurant un confort des occupants. Cette étude multicritère est menée pour connaître l'influence des paramètres d'optimisation sur la performance énergétique du bâtiment obtenue. Dans un second temps, une semaine très chaude est utilisée pour se placer dans les conditions les plus défavorables possibles, l'objectif principal est alors l'effacement de la consommation énergétique de pointe d'un bâtiment basse consommation. Une deuxième fonction objective est également étudiée avec la diminution des émissions de CO₂ du système de chauffage du bâtiment.

Enfin, dans le cinquième et le dernier chapitre, le développement de certification énergétique fait l'objet de dernier chapitre où nous identifierons les critères de la procédure énergétique retenue en vérifiant que la structure du certificat peut s'appliquer aux bâtiments de la ville de Bechar. Nous chercherons les solutions techniques disponibles sur le marché local, permettant de rendre le bâtiment de référence le plus efficace possible en termes énergétiques et thermiques. La mise en place des valeurs réglementaires des indices adaptés, spécifiques de notre région, et l'évaluation logique des solutions d'améliorations en termes techniques, économiques et sociaux seront la préconisation de notre nouvelle procédure énergétique. Il est également en mesure de développer une procédure de certification choisie, comme une stratégie durable. Pour cette raison, nous détaillons les différentes phases de la procédure. À la fin de cette thèse, un traitement de la mise en œuvre et la sensibilité de la procédure développée dans son domaine d'utilisation. L'application in situ permettront de prouver l'applicabilité de la procédure et de mieux connaître ses avantages et ses limites ainsi que ses possibilités de développement.

La trame de notre démarche de recherche est structurée en figure 0.1. Le schéma ci-dessus montre l'organigramme de la présente thèse. Nous avons déjà expliqué chaque chapitre de ce manuscrit. Il est nécessaire de mettre en exergue la problématique du secteur résidentiel de la ville de Bechar en particulier, qui est une présentation de villes similaires dans la région Sud-Ouest d'Algérie, où nous chercherons à illustrer les enjeux en matière de

construction face aux situations énergétiques. Pour ce faire, des enquêtes in situ seront utiliser et une expérimentation pour montrer la faisabilité de notre recherche. Ensuite, la simulation thermique dynamique est un outil numérique pour collaborer d'avoir des résultats cohérents et rationnels. La mise en place des valeurs réglementaires des indices adaptés, spécifiques de notre région, et l'évaluation logique des solutions d'améliorations en termes techniques, économiques et sociaux seront la préconisation de notre nouvelle procédure énergétique.

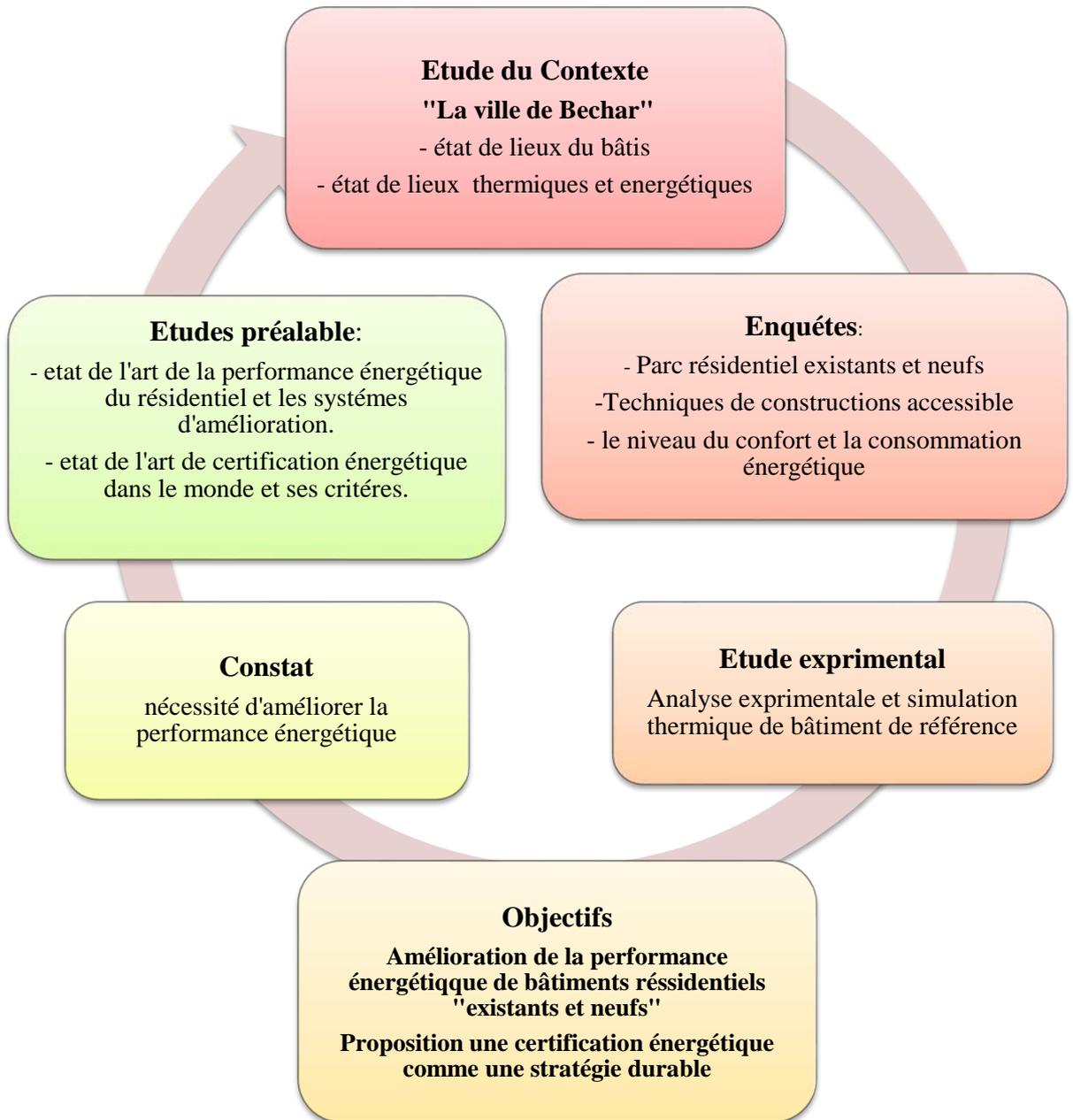


Figure 0.1 : Organigramme de notre démarche de recherche

1.1. INTRODUCTION

L'objectif du présent travail est d'effectuer une certification énergétique des bâtiments résidentiels pour aborder une démarche de certification afin de mettre en lumière leur qualité énergétique. Parmi les travaux observés, la plupart sont examinés des paramètres d'améliorer la performance énergétique des bâtiments en zones tempérées ou tropicales, mais il est rare de trouver des études spécifiques en zone à climat sec et chaud. Nous développerons, dans ce chapitre, le contexte de la certification énergétique du bâtiment, puis nous devrons analyser les critères énergétiques et leur champ d'application, afin de mener une approche comparative des différentes certifications et des labels, choisis dans le domaine énergétique.

Dans un climat sub-saharien, nous cherchons un type de certification qui réponde à la fois à l'exigence énergétique en matière de basse consommation d'énergie et qui tire amplement parti de l'énergie solaire, fortement disponible dans cet environnement. Face à ces exigences, il est indispensable d'avoir des certifications et des labels qu'ils prennent en compte le contexte local qui prévaut en cette région.

1.2. ANALYSE DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT

1.2.1. Le bâtiment et la performance énergétique

De manière générale, le bâtiment peut être défini comme une construction dotée d'un toit et de murs, dans laquelle de l'énergie est utilisée pour réguler le climat intérieur [Parlement européen, 2010].

L'Union Européenne à l'horizon 2020, définit la performance énergétique d'un bâtiment comme la quantité d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques liés à une utilisation normale du bâtiment, ce qui inclut l'énergie utilisée par ses systèmes techniques. Les systèmes techniques représentant les sources de consommation énergétique à considérer selon la directive européenne sont définis par la figure 1.1. [ROMO E. E., 2015]

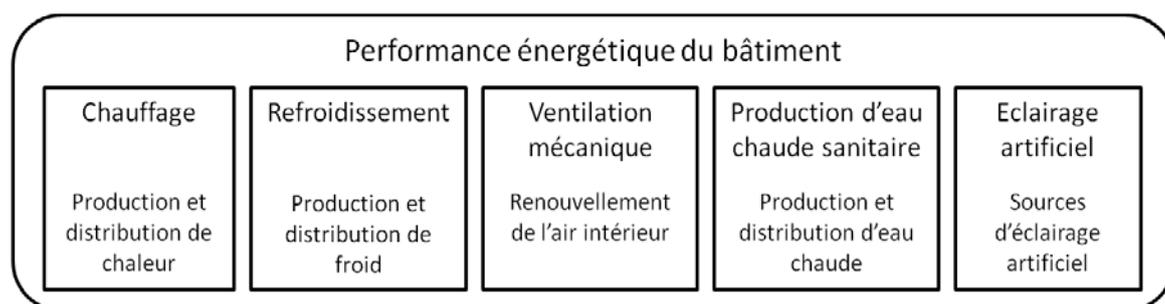


Figure 1.1. Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne 2010/31/UE. [ROMO E. E., 2015]

Un bâtiment peut être défini du point de vue énergétique par des aspects ayant une influence déterminante sur les consommations d'énergie décrivant sa performance énergétique. De manière particulière, quatre types d'aspects de la composition d'un bâtiment peuvent être identifiés :

- Géométrie : Eléments géométriques et organisationnels du bâtiment, y compris les dimensions du bâti, sa relation avec l'environnement et la répartition des espaces intérieurs.
- Enveloppe : Eléments associés aux échanges avec l'extérieur, y compris les pertes thermiques et les apports solaires. Les éléments du bâtiment concernés sont les murs et baies vitrées des façades, le toit et le plancher bas.
- Matériaux : Eléments associés à l'inertie thermique du bâtiment. Les éléments concernés sont principalement les planchers intermédiaires et les cloisons verticales.
- Systèmes : Eléments associés aux équipements techniques du bâtiment, y compris les systèmes de ventilation, d'éclairage, de chauffage, de refroidissement et de production d'eau chaude. [ROMO E. E., 2015]

Pour ne développer que la performance énergétique des bâtiments résidentiels, le chauffage est encore dimensionné et considéré comme un besoin indispensable pour la réglementation RT2012. L'illustration ci-contre nous montre le rapport qui existe entre l'énergie d'usage et l'énergie grise d'un bâtiment. Les performances des bâtiments devenant de plus en plus maîtrisées, l'écart entre ces deux aspects se réduit entement, au point où l'énergie grise devient le levier d'action.

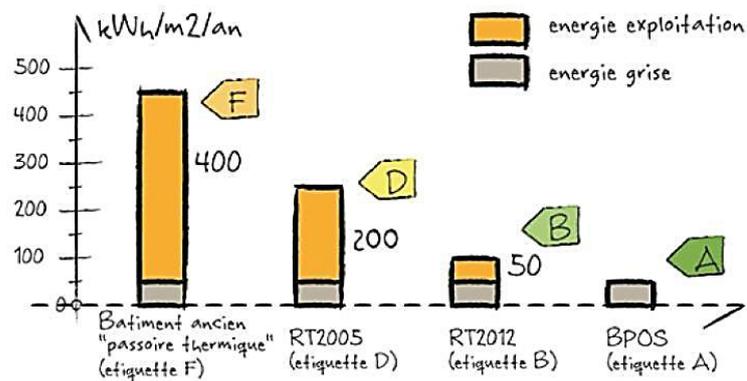


Figure 1.2 : Évolution de la proportion entre énergie grise et énergie d’exploitation

Et pour cause, si pour les bâtiments énergivores l’énergie grise représente 1/8 de la consommation d’énergie d’usage annuel, cela pourrait représenter plus de 50% pour le cas d’un bâtiment « passif ». Le rôle du levier de l’efficacité énergétique est donc pleinement déterminant dans cet enjeu. [OUEDRAGO, I M., 2010]

1.2.2. Méthodes d’évaluation de la performance énergétique du bâtiment

L’étude bibliographique sera présentée sur les différentes approches les plus répandues et pertinentes pour l’évaluation de la performance énergétique du bâtiment. Elle permet d’identifier les critères et indicateurs pris en compte par ces méthodes et d’étudier leur pertinence à l’aide des premières phases de conception d’un bâtiment.

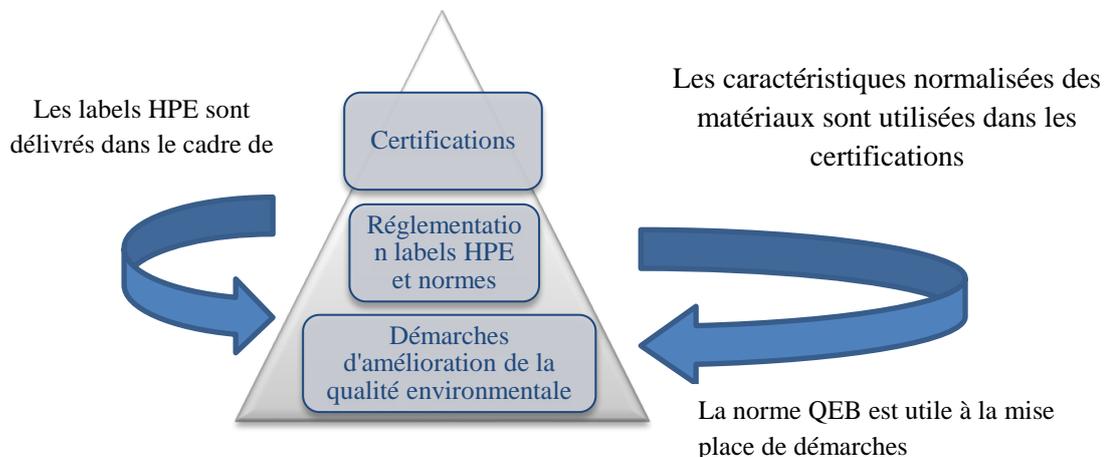


Figure 1.3 : Pyramide de la performance environnementale dans le bâtiment [PLATZER M., 2009]

Les certifications environnementales constituent le troisième niveau de la pyramide de la qualité environnementale des bâtiments. Au premier niveau se situent les normes et réglementations qui permettent de tracer les bases d'un cadre commun pour l'appréciation des démarches, et de fixer des minimums pour les différentes qualités des produits et des ouvrages. La performance énergétique sont au premier plan, selon les conclusions du Grenelle de l'environnement. [TITTELIN P., 2008]

1.3. LA CERTIFICATION ET LA LABELLISATION

En vue de la maîtrise d'énergie en limitant les impacts environnementaux, le secteur du bâtiment, joue un rôle important pour tenir compte du développement durable. Pour ce faire, tous les acteurs de ce secteur se tournent vers des systèmes d'évaluation les performances énergétiques environnementales des bâtiments à l'aide des labels, certifications, ou des normes pour mesurer la qualité environnementale et énergétique. Au niveau universel, la recherche de la qualité environnementale et de performance énergétique des bâtiments est inspirée de la conception bioclimatique des années soixante-dix. Des approches portées par des entreprises ou des gouvernements, visent à généraliser les des solutions architecturales passives, pour promouvoir des normes référentiels et constructives. [JOHANSON T et al., 2016]

Dans ce secteur de la construction, les termes « label », « certification » ou « norme » ont des sens bien précis. La certification est un processus de vérification du respect d'un référentiel qui reconnaît officiellement les caractéristiques environnementales d'un bâtiment. La certification est réalisée par un organisme indépendant de la structure ayant conçu le référentiel.. [STEEMERS K., 2002]

1.4.1. La définition de la certification énergétique des bâtiments

Le terme « certification » est défini comme une procédure d'évaluation de la consommation d'énergie d'un bâtiment ; présente une valeur du niveau de performance énergétique d'un bâtiment. La directive européenne (N.93/76/EEC, 1993) stipule que la certification énergétique des bâtiments consistent une description des caractéristiques énergétiques et fournir aux utilisateurs des informations sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Quand cela est possible, la certification peut aussi inclure des solutions pour l'amélioration de ces caractéristiques énergétiques. [ADRA N., 2001]

La certification, telle que nous la définissons, est le terme le plus utilisée dans les méthodes existantes d'analyse de performance énergétique (label, indicateur de performance, rang, audit énergétique). Nous donnons ci-après la différence entre la certification et chacune de ces méthodes :

- Le **label** : permet d'afficher des valeurs standards de performance énergétique du bâtiment en considérant.
- Un **indicateur** de performance : peut indiquer la consommation énergétique du bâtiment sur une échelle d'une procédure de normalisation performance.
- le classement ou '**ranking**' : une analyse multicritère permet de vérifier que le bâtiment étudié est plus ou moins performant qu'une référence (une classification soit valable).
- **l'audit énergétique** : permet d'analyser les points faibles du bâtiment et de ses équipements afin de donner des propositions d'amélioration techniques et économique. [Despretz H., 1994].

1.4.2. Les différentes procédures et les outils d'évaluation

Plusieurs procédures de certification sont existés, qu'elles soient obligatoires ou volontaires. Divers outils d'évaluation pouvant permettre l'affichage des consommations sous forme manuelles ou logicielles.

i. Les certifications européennes

Les certifications européennes impliquent plus forte des pays du Nord où les besoins en climatisation sont importants comme le Danemark, le Royaume Uni et l'Irlande.

- En Danemark, la procédure réglementaire obligatoire est basée sur une méthode informatisée (EK-pro) de calcul des consommations d'énergie d'un bâtiment et d'identification des opportunités d'économie d'énergie
- En Irlande, la certification pour les nouvelles maisons reste volontaire. [Hendersen G., 2000].
- Les Anglais : la procédure s'appuie sur un outil SAP (Standard Assessment Procedure) qui évalue la performance énergétique des bâtiments suivant un calcul standard. Le SAP est obligatoire pour les constructions neuves depuis 1995, à partir du logiciel BREDEM (Building Research Establishment Domestic Energy Model).
- Au Pays-Bas, l'apparition de la certification des logements a été en 1991, développé par l'organisation nationale des producteurs et distributeurs d'énergie. [Loncour X., 2000]
- En Allemagne, des certifications pour les nouveaux bâtiments ont été développés en 1995.
- En France, une méthode de calcul des consommations pour un usage standard du bâtiment.

ii. Les certifications américaines

- Aux Etats-Unis, l'utilisation des 'ranking', permettent de donner une note au bâtiment pour guider un acheteur ou un locataire vers un choix judicieux.
- En Australie, la méthode appliquée concerne surtout la qualité de l'enveloppe.
- Au Canada, l'Office de l'Efficacité Énergétique (OEE) des Ressources Naturelles Canadiennes qui s'appuie sur plusieurs principes de base pour inciter les consommateurs à modifier leur comportement.
- Critères de classement des différentes certifications

La certification énergétique des bâtiments reste une préoccupation des responsables de la maîtrise de l'énergie, pour obtenir un confort. Dans certains pays, l'aspect thermique est le plus mis en avant. Ces méthodes sont basées sur des outils pertinents, selon des valeurs normalisées. Nous pouvons classer les certifications selon les critères suivants :

- Année de traitement, Mode d'application
- Secteur de bâtiment considéré
- Energie
- Outil de calcul
- Suggestions de mesures d'économie d'énergie

La comparaison entre ces certifications, permet d'identifier le champ d'application et les possibilités d'amélioration. (Voir le tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Les critères de classement des différentes certifications

Pays	Année de traitement	Secteur de bâtiment considéré	Energie	Outil de calcul	Suggestions de mesures d'économie d'énergie	Mode d'application
Danemark	1996	Maisons (existantes)	Chauffage	EK-Pro	Oui	Obligatoire (achat ou vente)
Irlande	1997	Résidentiel (neuf)			Chauffage, eau chaude	Volontaire
Pays-Bas	2000	Résidentiel Ecoles (existants)	Chauffage, eau chaude, éclairage, ventilation	EPA	Oui	Volontaire
Royaume-Uni	1993	Résidentiel (neuf + existant)	Chauffage, eau chaude	SAP	Non	Obligatoire dès 1995 pour le neuf et réhabilitation de l'existant
Canada	Depuis 1990	Maisons (neuves) Maisons (existantes)	Chauffage	R-2000 EnerGuide	Oui Oui	Volontaire Volontaire (achat ou vente)
Etats-Unis	1998	Résidentiel	Chauffage, climatisation	Energy gauge	Oui	Volontaire
Colorado	1999	Résidentiel	Chauffage, climatisation eau chaude	E-star	Oui	Volontaire
Australie		Résidentiel (existant)	enveloppe	First Rate	Oui	Volontaire

1.5. LE CERTIFICAT ENERGETIQUE ET FORMES D'APPLICATION

1.5.1. La définition du certificat énergétique

Le certificat : est une fiche livrée à la fin de la procédure de certification et permettant de délivrer des informations ou des explications aux usagers en plus de la performance énergétique. Le certificat peut donner plusieurs types de renseignements, comme suit :

- La consommation totale en énergie
- Le coût total des consommations
- Une description du logement (superficie, nature et type du système de chauffage, etc),
- Les limites ou l'exactitude de la méthode de calcul
- la performance énergétique du logement,

1.5.2. Les formes d'application

Nous pouvons constater quatre formes d'application de la certification, comme suivant :

- **Obligatoire** : lors de la vente ou de la location d'un logement,
- **Réglementaire** : Où l'état fixe des exigences auxquelles l'occupant doit répondre à sa charge,
- **Volontaire** : où l'occupant demande à l'organisme chargé de la procédure,
- **Incitative** : l'occupant partage à agir par des contreparties financières (subventions ou réduction d'impôt).

1.5.3. Champs d'application

Nous distinguons les logements occupés et les logements non occupés.

1. **Location ou vente d'un logement** : le certificat est un outil pour informer les futurs acquéreurs ou locataires sur les consommations et les dépenses d'énergie conventionnelles de ces logements. Ceci permettrait aux

consommateurs de prévoir les dépenses énergétiques de leur futur logement afin de mieux les budgétiser.

- 2. Réhabilitation ou certification pour un logement occupé :** l'intérêt de la certification est d'informer les usagers d'un logement occupé sur la performance de leur habitat et de (équipements et leur comportement) et donner des choix pour réduire leur facture d'énergie.

1.5.4. Méthode de certification énergétique

Il existe deux grandes méthodologies de la certification énergétique des bâtiments décrites, se basant sur deux systèmes d'évaluation distincts :

- **Asset-rating** : Cette méthode permet d'identifier immédiatement les mesures d'économie d'énergie et de quantifier leur effet (conventionnel) sur la consommation. Il s'agit de la seule méthode applicable aux nouvelles constructions. Elle ne tient pas compte des consommations réelles et peut s'en éloigner plus ou moins fortement. La qualité de mise en œuvre ou du réglage et de la régulation réelle des systèmes n'est généralement pas prise en compte dans les calculs. [AKASAH Z., 2013]
- **Operational-rating** : Certification énergétique basée sur les consommations réelles normalisées du bâtiment en fonctionnement (telles que relevées au niveau des compteurs). [AUSTIN, et al., 2013]

1.6. LES LABELS DE LA CONSTRUCTION

En vue d'amélioration de la performance environnementale et énergétique, les labels ont cherché à standardiser des définitions de notions qui reposent sur des visions diverses, variant selon l'observateur, ses priorités ainsi que ses jugements de valeurs, mais également sur le contexte géographique, environnemental et culturel de chaque bâtiment. L'apparition de concepts climatique ou énergétique, tel que le « facteur 4 » qu'il faut replacer l'apparition des labels de la construction. (Figure 1.6) [VIOLLET et al. 2009]

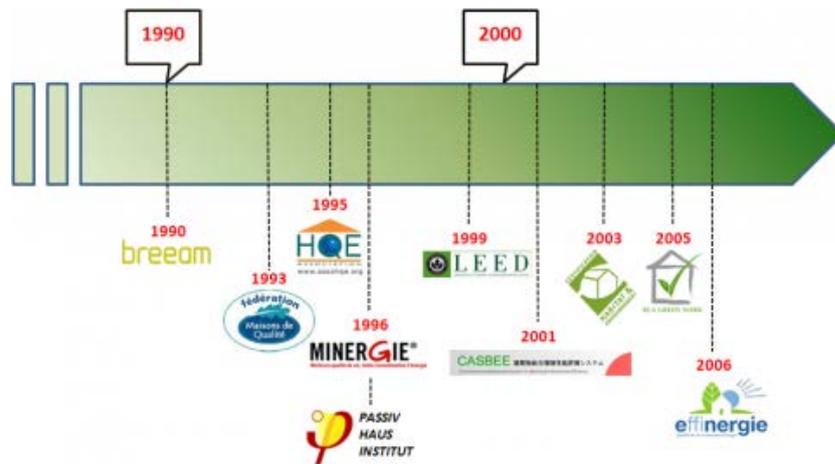


Figure 1.6 : Échelle chronologique de création de quelques labels [VIOLLET et al. 2009]

1.6.1. Les méthodes d'évaluation environnementale

Dans le domaine de la construction, l'évaluation environnementale connaît un plein essor depuis le début des années 1990. Au niveau mondial, l'étude a dénombré pas moins d'une soixantaine de méthodes d'évaluation ou d'analyse environnementale des bâtiments. L'analyse des documents se rapportant à ces méthodes nous a permis de les classer. « Globalement, il existe deux catégories principales de méthodes d'évaluation » [IDRISSI A. et al. 2014]:

1. Les méthodes d'évaluation environnementale de type **check-list** ;
2. Les méthodes d'évaluation environnementale par analyse du cycle de vie (ACV).
3. les méthodes d'évaluation qui proposent un système de **notation /ou pondération**

1.6.2. Poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale

L'analyse de notre comparaison entre les labels choisis montre qu'il existe trois catégories :

a. Les labels basse consommation d'énergie, pour des bâtiments sur isolés

Le label allemand Passiv'Haus, l'économie réalisée est de l'ordre de 75 % par rapport à un bâtiment neuf ordinaire, avec suppression du chauffage

conventionnel. Le label suisse Minergie est moins sévère, est de l'ordre de 50 % par rapport à un bâtiment neuf ordinaires.

Il faut signaler que Minergie et Passiv'Haus sont les seuls à imposer une valeur pour l'exigence primaire d'enveloppe, 15 kWh Eu/m²/an pour Passiv'Haus, 60 % de la SIA pour Minergie. La RT2012, quant à elle, exige dans sa valeur Bbio le besoin bioclimatique de bâtiment étudié. [SALAMA M., 2014]

b. Les labels d'économie en production d'énergie

Le label espagnol **OST** et le label américain **LEED** sont fondés sur la mixité de production de l'électricité par les panneaux photovoltaïques et sur l'amélioration de l'isolation du bâtiment. Ce modèle est la meilleure dans les pays chauds, où l'économie de chauffage n'est pas une priorité.

L'économie d'énergie réalisée dans le label LEED est de l'ordre de 30 à 35 % par rapport à un immeuble usuel de bureaux. Le label LEED avait, sur le plan énergétique, des exigences moins fortes que les labels BBC, RT2012, Passiv'Haus ou Minergie. Dans une perspective de basse consommation, le succès de ce modèle passe par un renforcement de ses exigences énergétiques. [SYSNNEFA A. M., et al. 2007]

1.6.3. Le certificat de performance énergétique PEB

Il s'agira d'identifier, pour chaque certification :

- ses limites d'application, plus précisément sur le climat, techniques de construction, équipements techniques, usages ;
- la facilité de transposition à un environnement différent de l'environnement d'origine ;
- le poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale,
- la prise en compte du confort (en été en hiver) ;
- la pertinence des outils et de la méthode d'évaluation dans des environnements différents ;
- l'acceptabilité technique et socio-économique dans l'environnement considéré.

Il existe plusieurs types de certificats et des certifications : énergétique ou environnementale.

Le certificat de performance énergétique est un outil qui permet à l'acheteur ou au locataire de comparer de manière objective la performance énergétique des bâtiments sur le terrain. Pour déterminer l'efficacité énergétique du bâtiment, le certificateur relève uniquement les caractéristiques propres à la géométrie et à la composition des parois du bâtiment ainsi que les données des systèmes principaux installés dans le bâtiment (le chauffage, le refroidissement et la production d'eau chaude sanitaire). À noter que les consommations électriques pour l'équipement électroménager ou encore l'éclairage ne sont pas considérées dans la méthode de certification des bâtiments résidentiels. [CHATELET A. , 1998]

La figure 1.10, montre une fiche de certificat, qui se comporte les données suivantes :

- La description du bâtiment et Numéro du certificat
- Deux indicateurs très importants :
 - a. La consommation totale d'énergie primaire du bâtiment par an ;
 - b. La consommation spécifique est reprise dans une échelle de catégorie, s'inspirée de celle des électroménagers ;
- une flèche inversée indique qu'il s'agit d'une maison à énergie positive, produisant plus d'énergie qu'elle n'en consomme ;
- une ligne pointillée du haut indique l'exigence minimale pour les maisons neuves ;
- une ligne pointillée du bas indique la performance moyenne actuelle des habitations,

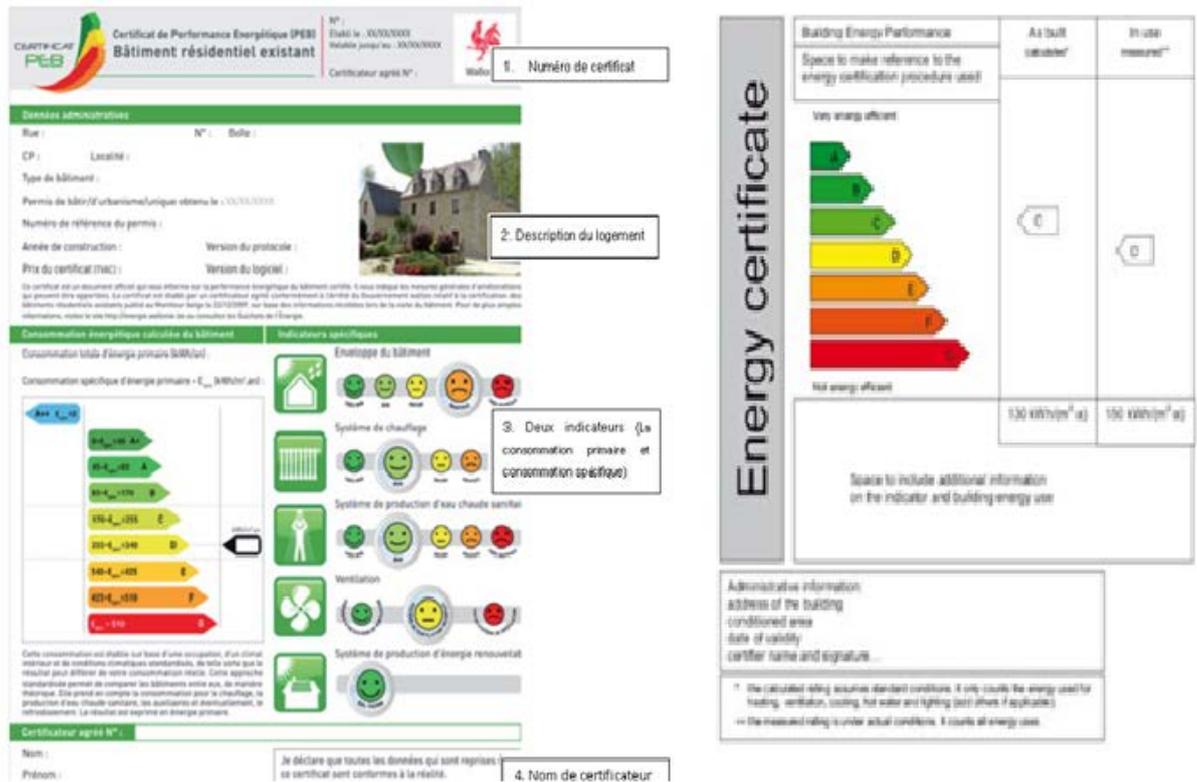


Figure 1.10 : Exemple de certificat avec plusieurs indicateurs sans évaluation

1.6.4. Certificats d'économies d'énergie (CEE)

Les certificats d'économie d'énergie (CEE) ou Certificat blanc, est un programme introduit par le gouvernement français qui vise d'une part, à améliorer l'efficacité énergétique dans les secteurs industriel, résidentiel, tertiaire et d'autre part, à obliger les fournisseurs d'énergie à obtenir de leurs clients la réalisation d'économies d'énergie et à le justifier. [CHILEA F., 2008]

Deux types d'actions peuvent donner droit à un certificat d'économie d'énergie :

1. **Les actions standards** : ensemble d'actions définies par la DRIRE permettant l'obtention d'un CEE. Le remplacement d'une lampe ancienne par une lampe basse consommation est un exemple d'une action standard permettant l'obtention d'un certificat d'économie d'énergie.
2. **L'action spécifique** : une action ne figurant pas sur la liste des actions standards, et pour laquelle il faut monter un dossier spécifique.

Le dispositif des certificats d'économie d'énergie vise à inciter les investisseurs à agir immédiatement. Ils sont attribués aux acteurs qui réalisent des économies d'énergie, mais surtout ils peuvent être échangés et négociés. Son architecture technique vise le patrimoine existant, mais une opération de construction neuve peut également être éligible dans sa globalité aux certifications d'économie d'énergie, dans la mesure notamment où elle éteint l'un des 5 niveaux du label Haute performance énergétique (label HPE). [PLATZER M., 2009]

1.7. LA DEMARCHE ENERGETIQUE EN FRANCE (HQE ET REGLEMENTS THERMIQUES) HQE ®

La Démarche HQE, promue par l'Association HQE, vise à améliorer la Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB) neufs et existants, c'est-à-dire à offrir des ouvrages sains et confortables dont les impacts sur l'environnement sont les plus faibles possibles.

L'Association se définit comme un lieu d'échanges, de concertation, d'information, de formation et d'action. Elle met en réseau les compétences et les expériences des membres au service des projets individuels et collectifs. Elle est composée d'organismes publics ou collectifs (associations, syndicats) représentant l'ensemble des acteurs du bâtiment : maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprises, fabricants de produits de construction, experts, réseaux d'acteurs régionaux, etc., regroupés en cinq collèges assurant la pluralité des points de vue au sein du conseil d'administration. Par décret du 5 janvier 2004, l'Association HQE est maintenant reconnue d'utilité publique.

Le référentiel HQE est un référentiel français de certification des performances environnementales des bâtiments développé par l'Association HQE et géré par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Le référentiel HQE est composé de 2 normes :

- NF Bâtiments tertiaires qui est la démarche HQE pour la construction et rénovation
- NF Bâtiments tertiaires en exploitation qui est la démarche HQE pour les bâtiments existants et leur exploitation

Toutes les certifications des démarches HQE sont délivrées par l'organisme Certivéa, filiale du CSTB. [FLORY C., 2008]

1.8. COMPARAISON DES CRITERES MAJEURS DES CERTIFICATIONS ENERGETIQUES

1.8.1. Comparaison entre les labels

Ci-dessous la répartition mondiale des principales démarches de certification environnementales, LEED (USA) et DGNB (Allemagne) une démarche récente implantée uniquement en Allemagne :

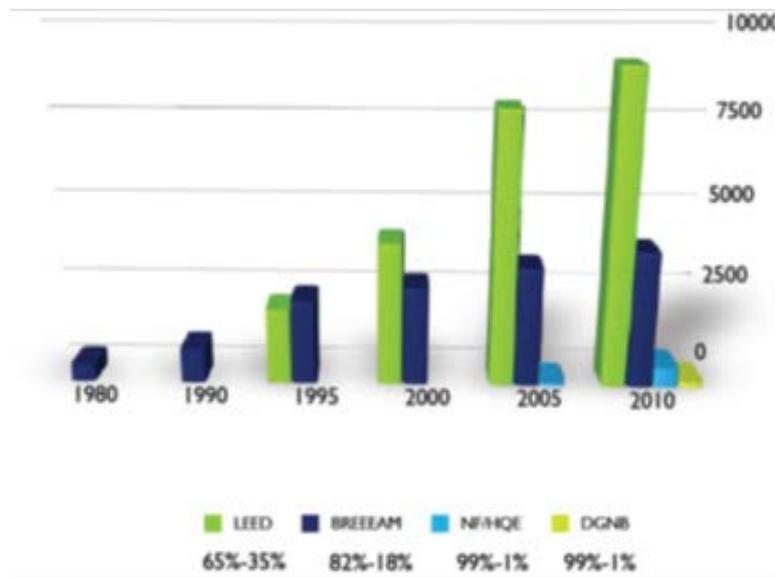


Figure 1.13 : Répartition mondiale des principales démarches de certification environnementale

En tentant de comparer les labels BREEM, LEED et HQE, le tableau 1.9 montre que les approches de différents pays ne représentent pas l'incohérence manifeste, tout en demeurant sensiblement distinctes. Il convient de signaler que les dispositifs BREEM et LEED visent directement l'attribution de certification(ou d'écolabels), alors que la structure HQE fait l'objet d'application variées. [PLATZER M., 2009]

Tableau 1.9 : Comparatif des labels BREEM, LEED et HQE. [PLATZER M., 2009]

HQE (France)	BREEM (Royaume-Unis)	LEED (états- Unis)	Commentaires
Système de management d'opération	Système de management	Innovation et méthodes de conception	Sur ce thème, LEED se limite à la conception, BREEM et HQE se convergent
Maintenance et pérennité des performances environnementales			
Gestion de l'énergie	Energie	Energie et atmosphère	Convergence de principe
Confort hygrothermique	Santé et bien-être	Qualité de l'environnement intérieur	Fort déploiement des cibles HQE par rapport aux approches LEED et BREEM
Confort acoustique			
Confort olfactif			
Confort visuel			
Quantité sanitaire de l'eau			
Quantité sanitaire de l'air			
Gestion des déchets d'activités	pollution		Peu de convergence entre les approches
Chantier à faible impact environnemental			
Relation du bâtiment avec son environnement immédiat	Pollution	Gestion environnementale du site	Fort déploiement de la méthode BREEM
	transport		
	Occupation des sols		
	Ecologie biodiversité		
Gestion de l'eau	EAU	Gestion de l'eau	Convergence de principe
Choix intégré des produits, systèmes de procédés de construction	Matériaux	Matériaux et ressources	Convergence de principe

Nous pouvons récapituler dans le tableau ci-dessous, les avantages et les inconvénients de chaque procédure de certification (BREEM, LEED et HQE), à prendre en évaluation dans notre recherche :

Tableau 1.10 : les avantages et les inconvénients des certifications BREEM, LEED et HQE [PLATZER M., 2009] et [SUUSANTI L. H., 2011]

NF Bâtiments Tertiaires	Démarche HQE®'	BREEAM	LEED
+	<ul style="list-style-type: none"> - Rôle de « démarche » - Mise en place d'un SME - Visibilité en France 	<ul style="list-style-type: none"> - Réputation mondiale (1990) - Retour d'expérience - Adaptation internationale - Pragmatisme, visibilité des résultats - Coûts réduits - Planning flexible 	<ul style="list-style-type: none"> - Retour d'expérience - Visibilité internationale - Comparaison aisée
-	<ul style="list-style-type: none"> - Faible visibilité à l'international - Flexibilité difficile à l'international - Coût élevé - Contraintes de planning - Difficulté pour classer différents 	<ul style="list-style-type: none"> - Documentation anglophone - Certaines démarches sont peu connues en France (commissioning, réutilisation des - Difficultés d'adaptation en Europe (unités, normes, matériaux, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Documentation anglophone - Difficultés d'adaptation en Europe (unités, normes, ...) - Comparaison géographique plus difficile

1.8.2. Adoption des critères et des exigences selon le cas d'étude

Nous pouvons résumer comme suit les critères à prendre en compte dans notre recherche :

1. Le critère « **bioclimatique** » : ce critère nous focaliser sur la adhérence entre le climat et le cadre bâti, et donc sur la conception de l'enveloppe, les solutions passives capables d'améliorer le niveau de confort thermique dans l'habitation.
2. Le critère « **énergétique** » : ce critère se base sur le calcul de la consommation énergétique primaire spécifique de l'appartement étudié, de maintenir des systèmes les plus économes, en termes de consommation énergétique, pour atteindre un confort d'hiver et d'été.
3. Le critère « **d'évaluation** » du **confort d'été** : l'importance de ce critère vient du climat particulier, très chaud en été, comme le cas de la ville de Bechar, notre cas d'étude. [VARENIO C., 2012]

Notre choix de critères se base sur les exigences particulières du site choisi. Ces choix convergent avec la logique et les critères établis par le règlement thermique français RT2012. Cela se traduit par la mise en place des valeurs correspondantes sur notre site, en Algérie, pour les indices suivants : le Bbio (indicateur des conceptions bioclimatiques), le Cep (indicateur de la consommation énergétique) et le Tic (indicateur de confort d'été) afin de répondre à la fois aux cinq exigences principales (Tableau 1.12)

Tableau 1.11 : Choix de critères et les exigences particulières du site étudié [THIBAUT C., 2007]

critère	indices	Cinq exigences principales
« bioclimatique »	Le Bbio (indicateur des conceptions bioclimatiques), énergétique)	<ul style="list-style-type: none"> - promouvoir l'efficacité énergétique, - être facilement évaluable, - pouvoir être mis en œuvre avec la technologie disponible,
« énergétique »	Le Cep (indicateur de la consommation	<ul style="list-style-type: none"> - être économiquement rentable, - être socialement acceptable
« évaluation du confort d'été »	Le Tic (indicateur de confort d'été)	<ul style="list-style-type: none"> - taux de confort, - surcoût additionnel.

1.8.3. Synthèse de la comparaison

La certification énergétique pourra alors servir à :

- Rendre les occupants conscients de leur consommation d'énergie, de combien elle leur coûte, et ce qu'elle coûte à l'environnement ;
- Mettre en place des réglementations thermiques et énergétiques pour les logements neufs et pour la réhabilitation des logements existants ;
- Modifier la demande des usagers ;
- Inciter à améliorer la qualité énergétique des logements neufs et à la réhabilitation des logements existants ;
- Améliorer le confort et réduire le coût d'exploitation des bâtiments ;
- Offrir davantage d'occasions d'utiliser des techniques et des produits nouveaux et innovateurs.

- Elle encourage les promoteurs et les concepteurs à envisager des solutions de remplacement en vue de limiter les coûts de la construction tout en améliorant l'efficacité énergétique ;
- Offrir des débouchés pour les nouveaux produits et les nouvelles technologies, ce qui crée en retour de nouveaux emplois et favorise l'essor économique du pays [CMNEB] ;
- Promouvoir des systèmes et des équipements performants, des enveloppes isolées et de l'architecture bioclimatique [Ademe-DBC, 1997] ;
- Prendre conscience des enjeux économiques, social et environnemental liés aux dépenses énergétiques et donc inciter à comparer différentes solutions lors d'une réhabilitation ou de tout type de transaction immobilière ;
- Servir comme un instrument de politique énergétique locale ou régionale quand elle est appliquée aux plus importantes catégories de bâtiments [Despretz H., 1994

1.9. CONCLUSIONS

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différents certifications et procédures énergétiques et environnementales dans le monde, en provoquant la performance énergétique et environnementales selon des critères énergétiques. Nous avons constaté que les critères de la majorité des certifications, sont basés sur des méthodes existantes proposent d'évaluation des performances sur un calcul standard de la consommation d'un bâtiment en fixant des conditions normalisées pour le climat et l'usage.

Parfois une liste d'améliorations propres au bâtiment et des systèmes sont proposée. Ces méthodes ne correspondent pas tout à fait aux souhaits donnés par les utilisateurs, davantage préoccupés par leur facture énergétique, répartie par usage, et basée sur des informations réelles.

.

2.1. INTRODUCTION

Nous devons développer dans ce chapitre, des enquêtes ont été effectuées dans le but de discerner des considérations énergétiques et thermiques des bâtiments résidentiels. Cette enquête concernait le confort thermique, les systèmes énergétiques utilisés (chauffage, climatisation et Électroménagers), le type des appareils électroménagers et le niveau de consommation énergétique. Pour compléter cette phase, nous avons visité trois quartiers existants afin de récolter des informations manquantes en terme énergétique et vérifier la qualité confortable et l'aspect technique des constructions.

2.2. APERCU HISTORIQUE DU PARC RESIDENTIEL A BECHAR

Le secteur résidentiel de la ville de Béchar a connu une mutation radicale et très récente depuis le IXème siècle de l'Hégire, jusqu'à nos jours. Suite à la découverte de l'eau potable, une installation des premiers peuples vers le XIVème siècle, avec l'apparition d'une tradition construction dite «Ksar de Bechar» à gauche de l'oued et près de la palmeraie. Après 1930, l'occupation française a été présentée par un Colomb Béchar, qui a pris un caractère militaire et la construction devient coloniale au nord du Ksar. La ville a connu par la suite une extension par la construction du quartier arabe Debdaba à l'ouest, la construction du quartier de la gare au nord, celui de la Barga à l'est constitué de logements individuels et de HLM. Après la découverte de charbon dans la région, le quartier des ouvriers appelé «Bidon II». [MOUSSAOUI A., 2002]

Après l'indépendance, la ville de Béchar connaît une croissance plus rapide liée à la politique du pays de développement du secteur de bâtiment. On assiste alors à la construction de nouveaux parcs de logements collectifs et individuels (quartier 220 logements, cité 622 logements dans le cadre de la ZHUN de Béchar, quartier de la SNTV, Debdaba et Béchar Djeddid). A travers cette évolution, il est facile d'observer que Béchar, en tant qu'organisme urbain, est constituée d'une agglomération principale et des quartiers éloignés constituant des agglomérations

secondaires. Ainsi, la structure urbaine actuelle fait apparaître les signes du passé et les moments distincts d'un présent en mouvement rapide. [HADJ MOHAMED N., 2016]

2.2.1. L'habitat colonial : (1903 - 1962)

La première implantation française en 1903, la redoute dite " Colomb " est construite au nord du Ksar. Un nouveau quartier européen " Le Village " se forme entre le Vieux Ksar et la redoute. Une grande expansion urbaine et une explosion démographique s'effectuant entre les deux guerres mondiales. C'est en cette période que la ville de Béchar assume un rôle économique bien précis ayant des incidences sur la structure urbaine et sur l'ensemble de l'organisation territoriale.

Les édifices coloniaux constitués autour d'une place dite « Tanezrouft ». Ces édifices ont pour l'objet d'abriter trois exigences : religion (Eglise), administratif (la mairie et la poste) et culturel (l'école). Aujourd'hui, ces édifice symboliques, exprimaient la relation entre la conception architecturale "architecture spécifique" et la rudesse du climat saharien qui caractérise la région de la Saoura.

Nous pouvons remarquer les caractéristiques architecturales et constructives des édifices coloniaux d'après ces exemples d'édifices :

- **Etude du premier cas : La cité de la SELIS**

La cité de la SELIS est réalisée par l'entreprise Allemande, Missenard, datant de 1958, se situe dans un des plus importants quartiers de la ville de Bechar, implantée sur un espace de 8 ha de superficie, dans le côté nord de la ville entre la Barga et la route nationale n°06.

Les logements de la cité SELIS varient du studio au F5 et sont dotés d'un balcon, des loggias et d'une buanderie. Les logements de type F1 sont dotés uniquement de balcon.

La SELIS forme un ensemble composé de 232 logements répartis en huit bâtiments orientés nord-sud. Du point de vue topographique, l'habitation étudiée se trouve sur un site ouvert à tout vent, compte tenu du manque de masques naturels (absence de végétation) favorisant l'exposition des façades au rayonnement solaire.

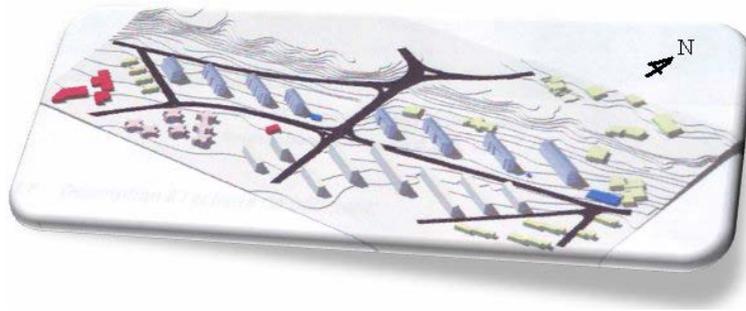


Figure 2.1: La cité de la SELIS et son site. [BENOUDJAFER I., 2010]

Le rayonnement solaire, la température extérieure et la vitesse du vent sont les paramètres qui influent le plus sur le comportement thermique d'un bâtiment. Les bâtiments de la SELIS, possèdent une forme rectangulaire allongée le long de l'axe Est-ouest ; c'est le mur pignon qui fait face au vent dominant. Cet allongement permet de faciliter la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur de la construction pendant l'hiver et l'éviter pendant l'été. (Voir la figure 2.2)

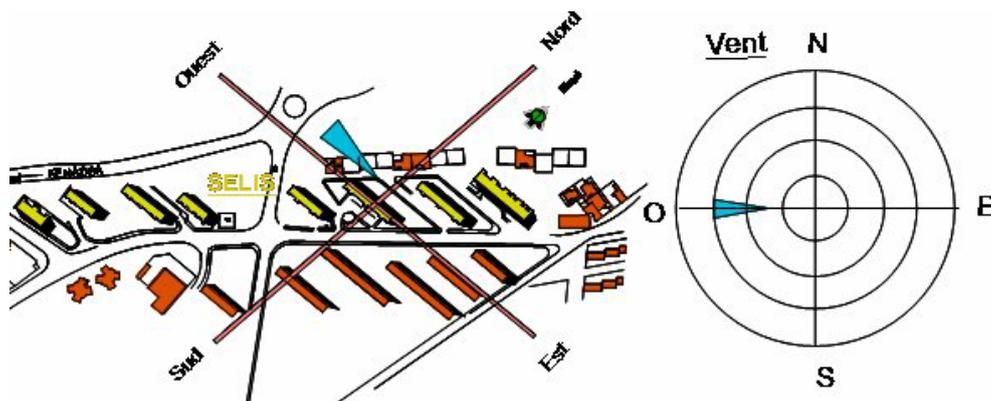


Figure 2.2 : L'allongement de la forme des bâtiments dans la direction Est-ouest, [Source, l'auteur du mémoire]

La forme des bâtiments est compacte, un minimum d'ouverture permet de limiter la circulation de l'air. Cette compacité est très importante car elle engendre des économies tant en énergie qu'en investissement. Une habitation plus compacte consomme moins d'énergie. (Figure 2.3)

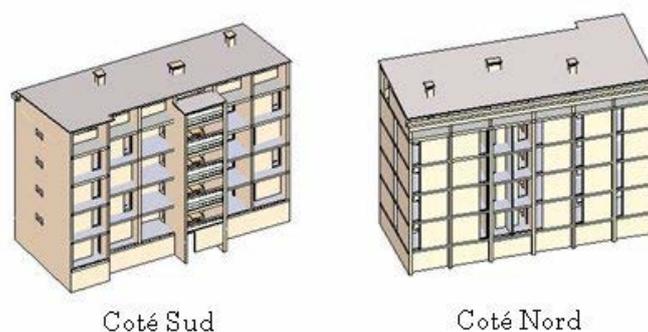


Figure 2.3: Le bâtiment en 3D, [Source, l'auteur du mémoire]

Des brises soleils horizontales sont installées dans la cage d'escaliers au sud et verticales au Nord au niveau du balcon pour protéger l'espace des rayons solaires. La façade principale, orientée vers le sud, est traitée par des ouvertures vitrées et des balcons « comme espace de Serre » qui a pour objet de :

- Stockage de la chaleur du matin par la masse de la structure en été, surchauffer les pièces de service en hiver,

Le système de ventilation naturelle appliqué au bâtiment se présente sous deux formes :

- Ventilation verticale aux niveaux des murs opaques en utilisant des vides d'air entre les panneaux iso thermiques et le mur voile (cotés Est et Ouest) (Voir fig.2.5)
- Ventilation horizontale au niveau de la toiture inclinée avec des ouvertures sur les côtés qui permet de dégager l'air chaud et renouveler l'air dans les parties supérieures.

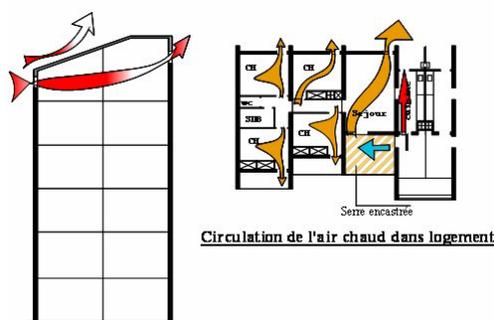
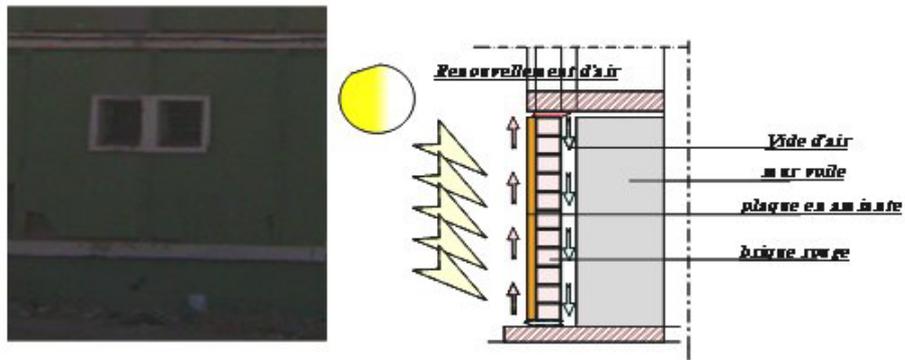


Figure 2.4: Le système de ventilation naturelle, [Source, l'auteur du mémoire]

La cité de la SELIS est composée de huit bâtiments, construits en portiques, voiles et panneaux iso thermiques. Le tableau 2.8 présente la composition de chaque élément (Voir tableau 2.1)



Coupe verticale d'un mur extérieur

Figure 2.5 : le système de ventilation naturelle verticale aux niveaux des parois,

Tableau 2.1 : Composition des parois verticales et horizontales des bâtiments de la SELIS

	Elément	Composition	Coefficient K
Parois extérieures	Mur extérieur, coté Est et Ouest	1. Plaque en ciment amiante (Isolation par l'extérieur) 2. Brique rouge 3. Plaque en bois 4. Lame d'air 5. Mur voile en béton armé 6. Enduit au plâtre à l'intérieur	K= 0.67 W/m2. °C
	Mur extérieur, côté Nord et Sud	1. Enduit au mortier 2. Bloc en béton (parpaing) 3. Enduit au plâtre	K= 2.38 W/m2. °C
Parois intérieures	Mur intérieur	1. Enduit au plâtre 2. Mur voile 3. Enduit au plâtre.	K= 2.70 W/m2. °C
Plancher	Plancher bas	Le plancher est en dalle pleine en béton armé, de 15 cm d'épaisseur	K= 2.85 W/m2. °C
	Terrasse	les terrasses avec les combles répartis entre les résidents ont pour but d'isoler les parties postérieures contre les rayons solaires.	K= 2.17 W/m2. °C
	La toiture	La toiture inclinée apporte une bonne étanchéité et une forte imperméabilité	K= 2.17 W/m2. °C

Ouvertures	Portes et fenêtre	en menuiserie en bois avec un vitrage simple simple vitrage et de menuiserie en bois
Technique d'isolation	Type d'isolation	plaques en ciment d'amianté, fixées par des chevilles sur des poutres en bois de 5 cm. Un vide d'air vertical ventilé, entre les plaques et le voile
Transformation	Transformation extérieures	Remplacer les plaques d'amianté ciment par le parpaing, et négliger le vide d'air.
	Transformation intérieures	L'agrandissement de la cuisine Création d'un hall Séparation du W.C et la salle de bain Installation du cumulus d'eau chaude et de la bache à eau dans les combles

2.2.2. L'habitat postcolonial

La demande sur le bâtiment s'est accrue après l'indépendance. La situation de la région se présente comme suit :

- Le taux de concentration de la population au sein de la ville est très élevé.
- Définition d'un nouveau mode de rapport avec le sol urbain : les actes de propriétés individuels.
- La construction de nouveaux logements permettent de maintenir le niveau d'occupation de la population et de répondre aux exigences les plus urgentes héritées par la période coloniale.

La ville de Béchar garde alors le caractère de ville tertiaire où les activités dominantes sont: les services militaires, commerce et administration. L'activité industrielle reste quasi inexistante malgré l'implantation d'une zone d'activité et d'une zone industrielle.

On peut faire une classification des bâtiments à usage d'habitation, type collectif selon trois critères :

1. Critère lié à la conception ;
2. Critère lié au procédé constructif ;
3. Critère d'appréciation lié à l'approbation.

Cette classification a permis de connaître les paramètres architecturaux, énergétiques et constructifs des bâtiments collectifs de la ville pour arriver à comprendre la situation réelle et ce que nous allons promouvoir : une construction prépondérante au climat en répondant à la notion de confort thermique.

Les informations figurant dans l'annexe II, concernent pratiquement tous les bâtiments à usage d'habitation, de type collectif de l'habitat social à Bechar. Nous les avons classés en cinq pôles de la ville de Bechar : Pôle 1 (la ZHUN), Pôle 2 (La BARGA), Pôle 3 (Centre-ville), Pôle 4 (Bechar Djedid) et Pôle 5 (Debdaba-Ouakda). Elles constituent la base d'une analyse comparative et sont le résultat d'une observation de l'habitat dans sa conception originelle, ses caractéristiques actuelles complétées par une appréciation. (Voir l'annexe II)

Le descriptif de ces systèmes de trois catégories et la composition des systèmes de construction sont détaillés dans le tableau suivant:

Tableau 2.2: Récapitulatif de l'ensemble des systèmes de construction, avec une comparaison entre les constructions de ces trois catégories

Matériaux/Système	Précolonial	Colonial	Postcolonial (actuel)
Mur extérieur	Mur extérieur en Pierre de rocher de sable de 50cm + enduit	Mur extérieur en voile (rocher/béton)+ brique rouge+ avec vide de 5 cm et enduit	Parpaing de 20 cm + enduit deb ciment, non isolé Deux parpaings de 10 cm avec vide de 5 cm et enduit, non isolé
Mur intérieur simple	Mur extérieur en pierre + enduit intérieur	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment, non isolé
Plancher intermédiaire	Plancher intermédiaire en palmier	Dalle pleine en béton armé de 15 à 20 cm,	En hourdi et béton, 16 à 20 cm, non isolé
Plancher toiture	En béton armé de 10 à 15 cm,	Plancher toiture En béton armé de 15 à 20 cm, et toiture en pente	Plancher toiture En béton armé de 15 à 20 cm, non isolé
Plancher bas en contact avec le sol	Sur terre	En béton armé de 15 à 20 cm, non isolé	En béton armé de 15 à 20 cm, avec décharge de 50 cm, non isolé

Les menuiseries extérieures	Bois	Bois ou acier	Aluminium
Le chauffage	Poêle au bois	Poêle au gasoil ou bois	Poêle au gasoil ou gaz
Climatisation	Cour ou patio « wastdar »	Ventilateur	Split ou climatiseur

• Exemple de la cité des 470 logements

De 1984 à 1987, en raison d’une forte demande en logement, les autorités locales ont lancé des opérations de lotissements, 1055 lots. La cité 400 Logements est située à l’est de la ZHUN de Bechar, exécuté 1993. Les bâtiments s’organisent essentiellement en forme des barres définissant des cœurs d’îlots exploités, comme des parking ou airs des jeux. Les façades principales sont exposées sur les voies principales, comme la cour. L’accès aux bâtiments se fait par la rue.

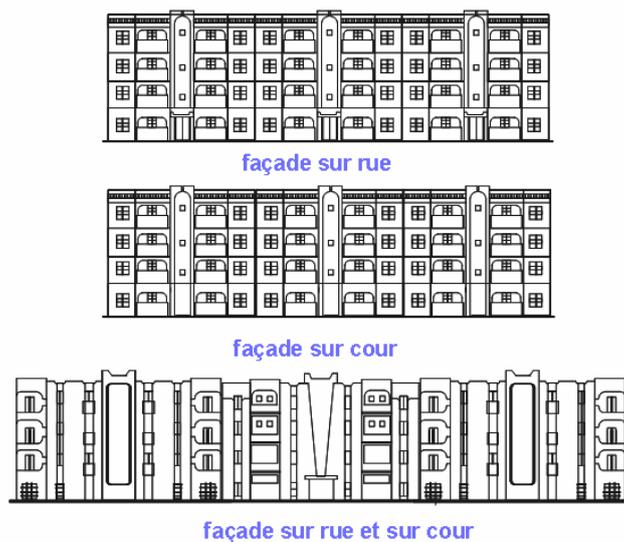


Figure 2.6: Les façades principales de la cité de 470 logements. [Source, l’auteur du mémoire]

Les bâtiments de la cité 470 logements se disposent entour d’une cour, se prolongent dans la direction est-ouest, ce qui permet d’exposer les façades au sud. Le tableau 2.3 présente la composition de chaque paroi des bâtiments des 470 logements.

Tableau 2.2 : Composition des parois verticales et horizontales des bâtiments des 470 logements

	Élément	Composition	Coefficient K
Parois verticales	Murs extérieurs	<ul style="list-style-type: none"> - Enduit de ciment de 2cm - Bloc béton (parpaing de ciment) de 15cm - Plâtre courant pour enduit intérieur de 2cm 	K= 2.53 W/m2. °C
	Murs intérieurs	<ul style="list-style-type: none"> - Enduit de ciment de 2cm - Bloc béton (parpaing de ciment) - Enduit au plâtre à l'intérieur de 2cm 	K= 2.38 W/m2. °C
Plancher	Plancher bas	<ul style="list-style-type: none"> - Plancher à poutrelles - hourdis avec dalle de réparation 20cm d'épaisseur. 	K= 2.52 W/m2. °C
Toiture	Toiture	<ul style="list-style-type: none"> - dalle plate avec des puits rectangulaires, une perméabilité très vigoureuse selon l'étanchéité 	K= 2.52 W/m2. °C

2.2.3. Les techniques de construction actuelles du résidentiel

La caractérisation énergétique du parc de logements en Algérie nous a révélés des différentes morphologies des immeubles collectifs, et des dates de construction plus ou moins lointaines. Notre choix de bâtiment type s'est porté sur l'habitat postcolonial pour les raisons suivantes :

- Elle représente une grande part du parc de logements actuel.
- Les techniques et les matériaux de construction utilisés sont applicables pour les constructions actuelles.
- Très peu de rénovations ont été réalisées et les bâtiments sont toujours dans leur état d'origine.

Le tableau 2.3 sera un récapitulatif de système de construction actuel. L'objectif de cette description étant d'établir une typologie de référence.

Tableau 2.3: Descriptif technique des constructions actuelles « L'habitat postcolonial »

Système	Composition	Descriptif
Mur extérieur en parpaing	Bloc de parpaing – mortier – lame d'air	Deux parpaings de 10 cm avec vide de 5 cm et enduit, non isolé.
Mur intérieur simple	Bloc de parpaing – mortier ou enduit de ciment – enduit deux faces.	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment, non isolé.
Mur intérieur intermédiaire entre les appartements	Bloc de parpaing – mortier ou enduit de ciment – enduit deux faces.	Parpaing de 20 cm + enduit de ciment, non isolé.
Plancher intermédiaire	Bloc de hourdis – dalle béton 4 cm souvent – mortier-carrelage – enduit pour la face basse.	En hourdis et béton, 25 à 30 cm, non isolés.
Plancher toiture	Bloc de hourdis – dalle béton 4 cm souvent – mortier.	En hourdis et béton, 25 à 30 cm, non isolés.
Plancher bas en contact avec le sol	Dalle béton armée – mortier – carrelage –isolation avec enduit d'asphalte —décharge.	En béton armé de 15 à 20 cm, avec décharge de 50 cm, isolé en contact avec la terre.
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes	Cadre en bois – simple vitrage – store bois. Porte extérieur et cadre en chêne.	Fenêtres extérieures : souvent cadre et store en bois avec simple vitrage non traité, Porte principale : souvent en chêne avec son cadrage.
Menuiseries intérieures	Chêne avec les cadres.	Les portes intérieures sont souvent en bois
Volets	En bois	Volet roulant en bois.
Chauffage l.	Souvent individuel	Poêle à gaz ou chauffage électrique.
Appareil de climatisation		Selon le volume de la pièce, capacité

	Toujours appareil en deux pièces (extérieur et intérieur) individuel.	comprise entre 1 et 2 tonnes.
--	---	-------------------------------

Il fallait tout d'abord identifier les modes de construction de ces bâtiments. Dans ce qui suit, nous résumons ces modes de constructions selon :

- Une structure appelée « système poteaux-poutre », qui a pour spécificité d'utiliser dans les immeubles, sachant que les éléments structurels sont coulés sur place.
- Les murs extérieurs en bloc en béton font 15 cm d'épaisseur dans les nouveaux bâtiments.
- Les murs extérieurs, en parpaing creux ou en brique cuite dans les bâtiments existants, font 15 à 20 cm d'épaisseur, avec un enduit ciment deux couches de 2 à 3 cm à l'intérieur et à l'extérieur.
- Une paroi double, constituée de deux couches de parpaing de 10 cm, avec un vide de 5 cm entre les deux, et d'un enduit de ciment des deux côtés de la paroi afin d'améliorer l'isolation.
- les murs intérieurs de séparation des appartements, dits « de cloison », qui séparent les pièces des appartements, faits une couche de parpaing de 10 cm, avec un enduit ciment des deux côtés.
- Le plancher hourdi est fait de poutrelles en béton armé placées entre des lignes d'agglomérés avec une dalle de compression pour répartir les charges. L'épaisseur totale est de 10 à 16 cm.
- La toiture est un système en plancher intermédiaire, non isolée ou isolée par une couche simple d'asphalte, qui ne protège pas bien, induisant des problèmes d'isolation thermique et d'humidité.
- Le chauffage traditionnel est le poêle à gasoil ou à gaz installé dans le salon et rarement on trouve des radiateurs électriques complètent le système de chauffage.
- Les appareils de climatisation sont souvent des climatiseurs ou des split. Une unité intérieure est généralement installée dans le salon, ou la chambre.

Nous voulons conclure que la plupart de ces constructions n'est pas appropriée aux conditions climatiques. Même les procédés constructifs ne sont pas conformes aux notions hygrothermiques. Pour cela, les bâtiments à usage d'habitation consomment beaucoup d'énergie non renouvelable pour arriver au bien-être des occupants vis-à-vis de leur environnement. Alors, il faut rechercher à appliquer des critères bien identifiés, selon son contexte en appliquant des principes de l'architecture bioclimatique. Et aussi, un choix judicieux de l'utilisation des matériaux et des techniques d'isolations de construction pour toute l'année surtout à la période surchauffée.

2.3. APERCU CLIMATIQUE GENERALE DE LA VILLE DE BECHAR

L'homme, le climat et l'architecture constitue ainsi à ce jour la source sur les relations de l'architecture avec le milieu climatique et avec l'homme qui y habite. L'analyse climatique et météorologique de la ville de Bechar indique deux périodes importantes : surchauffe (un été long, chaud et sec) et un hiver modéré par moments. La période surchauffée est plus importante parce qu'elle présente une grande partie de l'année où les conditions de vie sont inconfortables exigeant une grande consommation énergétique.

Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de la température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents durant le cycle annuel complet. Les climats régionaux représentent des figures de climats zonaux et se subdivisent en climats locaux et une infinité des nuances microclimatique. [PAGNEY P., 1994].

On rencontre les climats désertiques dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie centrale, d'Amérique de Nord-Ouest et du Sud, et de l'Australie centrale et occidentale. [GIVONI B., 1978]

L'aridité et la semi-aridité des territoires que l'on rencontre aux latitudes tempérées « moyennes » et « chaudes » résultent pour l'essentiel de facteurs « géographiques », mais ces territoires s'étirent longuement à travers les parallèles, de sorte que leur tonalité thermique tend vers la chaleur au plus près des tropiques et que, dans

certains cas, leur limite est peu marquée à l'égard des déserts chauds subtropicaux (déserts de latitude liés fondamentalement aux effets aérologiques). [PAGNEY, 1994].

Le désert est apparemment simple à définir. L'état désertique paraît caractériser tout pays où l'aridité réduit à néant la vie végétale et animale. En fait, le désert parfait (douze mois consécutifs sans pluie) est relativement rare. [ESTIENNE P., GODARD A., 1998]

2.3.1. Les zones climatiques en Algérie

On distingue, en considérant les exigences hygrothermiques, quatre zones climatiques en Algérie :

- La zone I (climat méditerranéen maritime) : qui comprend le littoral de la mer et une partie du versant Nord des chaînes côtières.
- La zone II (climat méditerranéen continental) : qui comprend les vallées entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien.
- La zone III (climat méditerranéen montagneux) ; comprend les Hauts-plateaux situés entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien ;
- La zone IV (climat chaud et sec- désertique) : qui comprend le Sahara, au-delà de l'Atlas Saharien. [VALCEA, 1986].

Cette surface est caractérisée par un climat chaud et sec, divisée en trois zones climatiques d'été et une seule zone climatique d'hiver.

- La zone E3 du présaharien et Tassili, elle subit l'influence de la latitude, de plus elle a des étés très chauds et très secs.
- La zone E4 du Sahara, elle subit l'influence de la latitude et possède des étés plus pénibles que ceux de la zone E3.
- La zone E5 du Tanezrouft, elle subit l'influence de la latitude et c'est la zone la plus chaude en Algérie.

2.3.2. Etude climatique de la ville de Bechar

La Wilaya de Béchar est caractérisée par un climat de type désertique continental.

On y distingue deux types de zones :

- La zone de transition : délimitée par Béni Ounif au nord et le parallèle d'Igli au sud, très chaude en été (+ 45°C) et froid rude en hiver (2°C à 3°C) .Les précipitations sont de l'ordre de 60 mm/an. Les vents de sable sont fréquents et souvent violents (100 km/h).
- La zone désertique: s'étend au-delà de Béni Abbès. Les précipitations sont de l'ordre de 40 m/an. Les vents de sable sont très fréquents. Selon une étude climatologique de la ville de Bechar, les données climatiques sont enregistrées de 1976 jusqu'à 2005 sur le tableau 2.5.

Tableau 2.5 : L'interprétation des données météorologiques de Béchar (période 2013-2014)
[Wunderground C.W.H., 2014]

Température	MAX	AVG	MIN	SUM
T maximum	43C°	28C°	11C°	-
TEMPERATURE MOYENNE	38C°	21C°	6C°	-
TEMPERATURE MINIMALE	32C°	16C°	-2C°	-
PRECIPITATION	14.0mm	0.1mm	0.0mm	2691mm
SNOWDEPTH	-	-	-	-
VENT	111km/h	12km/h	0km/h	-
GUST VENT	93km/h	67km/h	47km/h	-
PRESSION AU NIVEAU DE LA MER	1056 hPA	1018 hPa	948 hPa	-

2.4. CONTEXTE ENERGETIQUE DE LA VILLE DE BECHAR

D'après l'aperçu climatique de la ville de Bechar, nous allons additionner une étude de la consommation énergétique, afin de maintenir les occupants des bâtiments dans le confort thermique pendant les périodes chaudes qui occupent une grande partie de l'année.

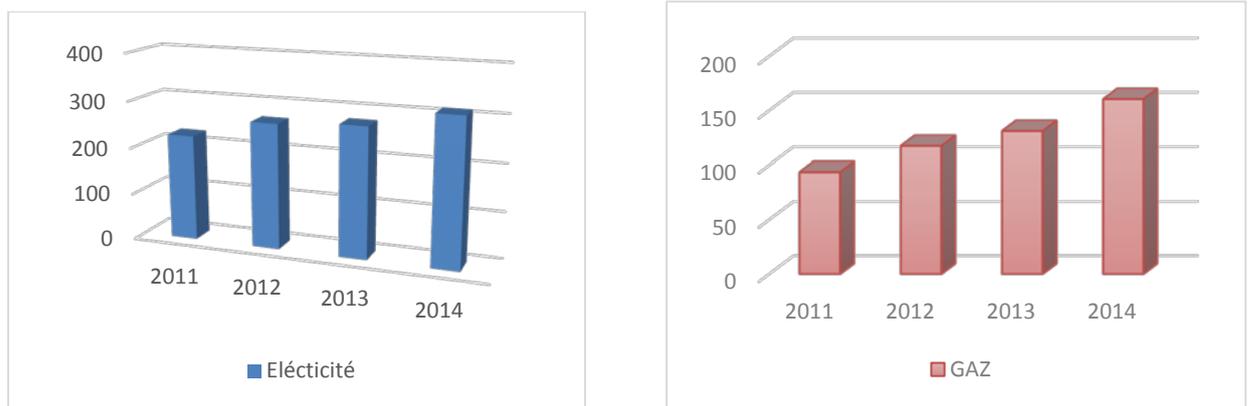


Figure 2.8: Consommation énergétique annuelle d’Electricité et de Gaz de la ville de Béchar en GWh
[S.D.O. Bechar 2014]

A Bechar, Une augmentation importante de la consommation annuelle d’énergie électrique dernièrement montre qu’il y a un besoin important auquel il y a lieu de répondre. Tandis que la consommation annuelle de gaz, qui apparaît au début de 2006, est moins importante. (Voir fig.2.8)

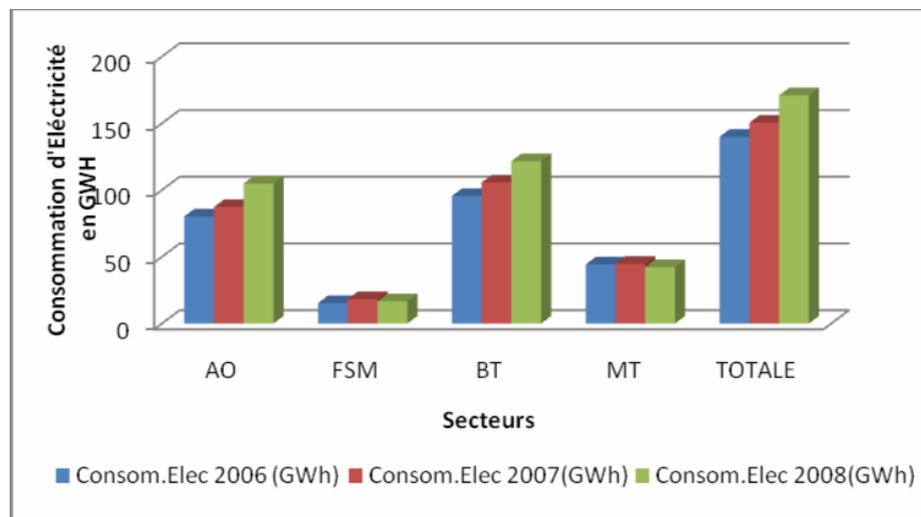


Figure 2.9: Consommation énergétique électrique annuelle de la ville de Bechar en GWh
[Source, S.D.O Bechar 2014]

Le secteur d’habitation AO (Bâtiments à l’usage d’habitations et commerces) est le secteur le plus consommateur 104,99 GWh d’Electricité en comparant par les FSM (bâtiments à l’usage administratifs) 16,86GWh. Par contre, le secteur MT (bâtiments

industriels) consomme 42,32 GWh. Même la consommation de GAZ est négligeable pour ce secteur, et élevée pour les autres secteurs. (Voir la figure 2.10).

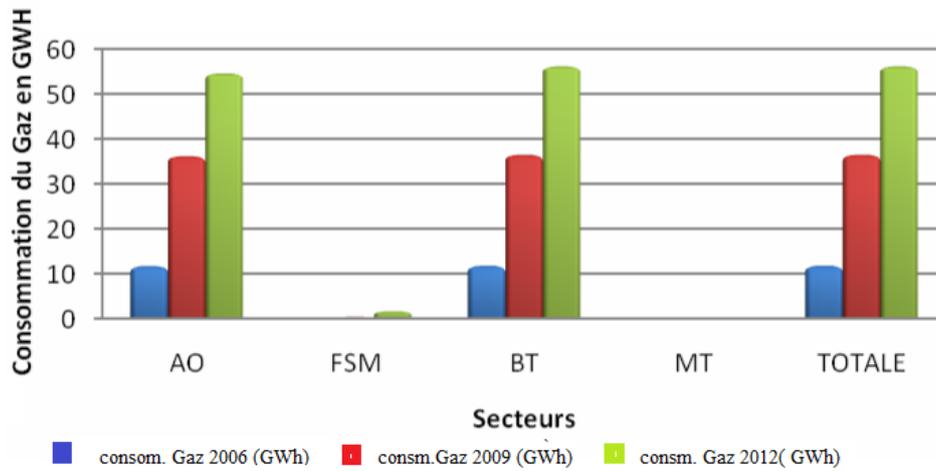


Figure 2.10: Consommation énergétique du Gaz annuelle de la ville de Bechar en GWh
 [Source, S.D.O Bechar 2014]

La figure 2.11 présente la consommation énergétique de d'Electricité par trimestre de l'année 2014, de la ville de Bechar. Au troisième trimestre, la consommation est élevée sur les secteurs AO et MT. Ce trimestre est présenté la période surchauffe où les bâtiments à l'usage d'habitation et les bâtiments industriels doivent être climatisés. Par contre, la consommation énergétique trimestrielle du Gaz est élevée pour le premier et le deuxième trimestre. Elle est réduite au troisième et quatrième trimestre. (voir la fig.2.11 et 2.12).

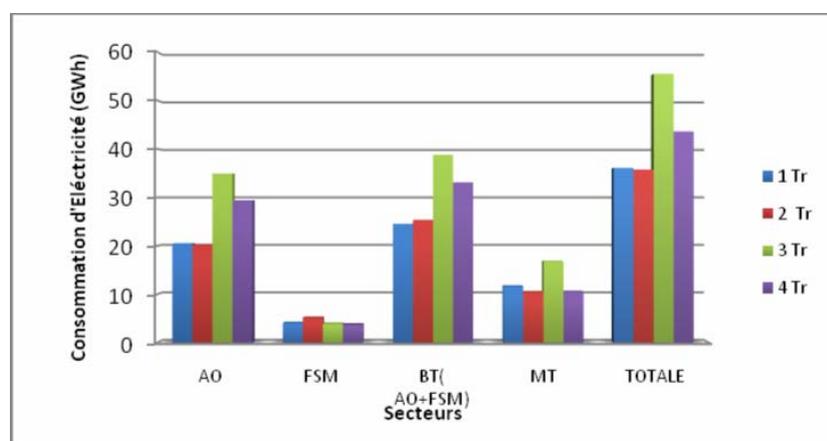


Figure 2.11 : Consommation énergétique électrique trimestrielle de la ville de Bechar en GWh, [Source, S.D.O Bechar 2014]

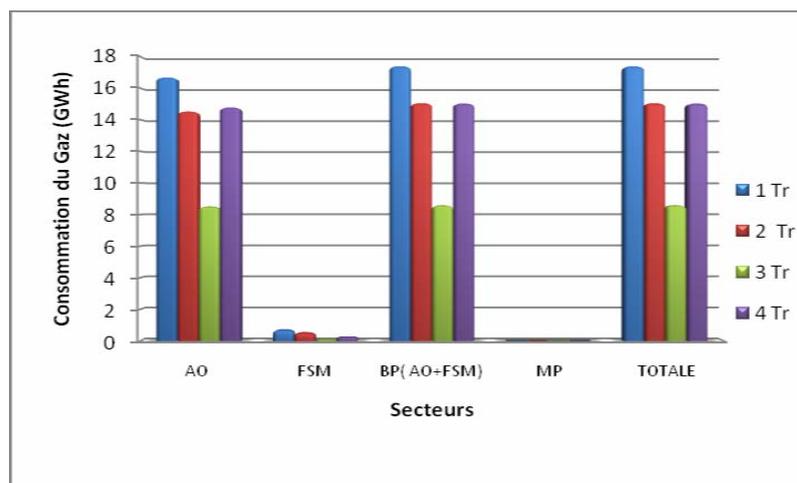


Figure 2.12 : Consommation énergétique de Gaz trimestrielle de la ville de Bechar en GWh, [Source, S.D.O Bechar 2014

]

2.5. CONTEXTE ACTUEL DE CONSTRUCTION ET DE MATERIAUX DE LA VILLE DE BECHAR

La région de Béchar, malgré la présence de plusieurs ressources capables de combler le besoin en matière de matériaux de construction, demeure dépendant de celle qui provient des autres wilayas :

- **Le ciment** : constitue l'ingrédient numéro 1 dans la construction dans la région, utilisé pour la fabrication du béton armé et le parpaing, il est importé essentiellement des wilayas de Saïda, Mascara et M'sila. [FIZZIOUI N., 2016]
- **Le parpaing en ciment** : est disponible, fabriqué localement, il est utilisé en particulier dans la construction individuelle mais reste lié à la crise du ciment.
- **La brique rouge** : présente une isolation thermique et sonore, et une étanchéité ainsi que sa résistance au feu, est utilisée dans différents types de construction.
- **La construction en terre** : ou la brique de terre crue 'adobe', est absolument abandonnée dans la région d'étude.
- **SIPOREX (Béton cellulaire autoclave)**: il présente une bonne isolation thermique pour les planchers et les murs extérieurs.

2.6. ENQUETE IN SITU ET ANALYSE

Dans le but d'améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels, il est intéressant d'établir un questionnaire afin de connaître les systèmes énergétiques utilisés et l'avis des occupants. La méthode choisie a été de réaliser une enquête par le biais d'un questionnaire détaillé, ou des interviews directes avec un champ de commentaires libres en donnant des conseils aux personnes interrogées puissent ajouter leurs commentaires si elles le souhaitent.

Les points mentionnés sont comme suivant :

- Appréciation sur le confort d'hiver et l'été et les facteurs d'inconfort,
- Les systèmes de climatisation et de chauffage, leur mode d'utilisation ; le choix des appareils électroménagers du point de vue énergétique.
- Les solutions adoptées par les habitants ; les connaissances des habitants en matière d'efficacité énergétique des bâtiments et de solutions proposées sur le marché ; les coûts énergétiques dans les bâtiments résidentiels.

L'échantillon le plus représentatif est composé de 150 personnes, des deux sexes, d'âges, d'activités professionnelles et de classes sociales différents. La répartition de cet échantillon s'établit comme suit :

- 55 % d'hommes et 45 % de femmes.
- 25 % d'ingénieurs, 20 % de techniciens, 10 % de retraités, 10% d'enseignants, 10 % d'employés, 10 % de cadres, 4 % d'étudiants, 6 % de chômeurs et 5 % de commerçants.

2.6.1. Confort thermique en hiver et en été

- Le résultat de notre questionnaire sur la question du confort a été probable, et la majorité des personnes interrogées ont trouvé que leur résidence n'était pas confortable (peu l'ont trouvée peu confortable).

En hiver, 20 % des personnes ont trouvé leur résidence confortable, 22 % peu confortable, 38 % inconfortable, et 20 % très inconfortable. Ce résultat montre que les gens n'utilisent pas de chauffage centralisé, et certaines pièces, dans les appartements, ne sont pas chauffées, surtout la cuisine, les chambres, les corridors. Le soir, les gens chauffent seulement le séjour par un poêle au gaz, et rarement on

chauffe les chambres à coucher avec des appareils électriques (mobiles ou fixes). (Figure 2.13)

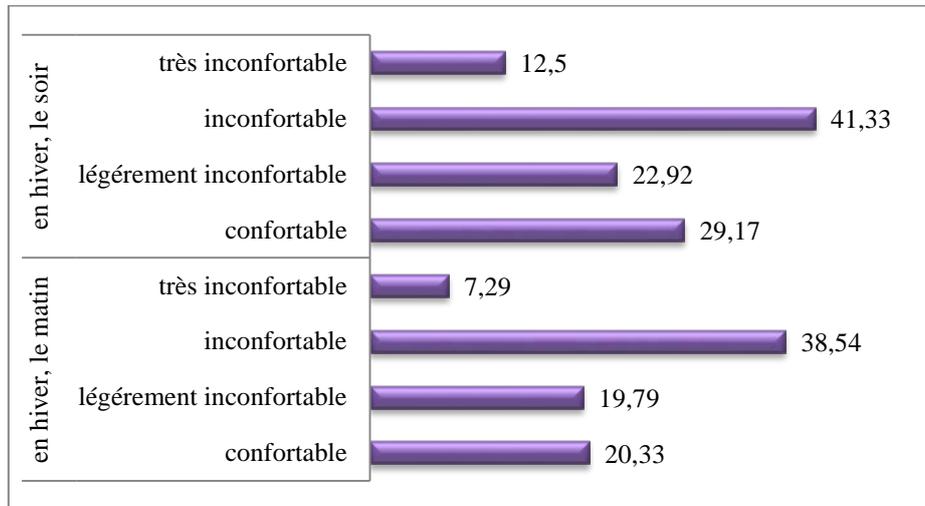


Figure 2.13: Appréciation sur le confort thermique en hiver.

Pour l'été, les personnes n'ont trouvé leur résidence confortable, 2 % peu confortable, 38 % inconfortable, et 60 % très inconfortable.

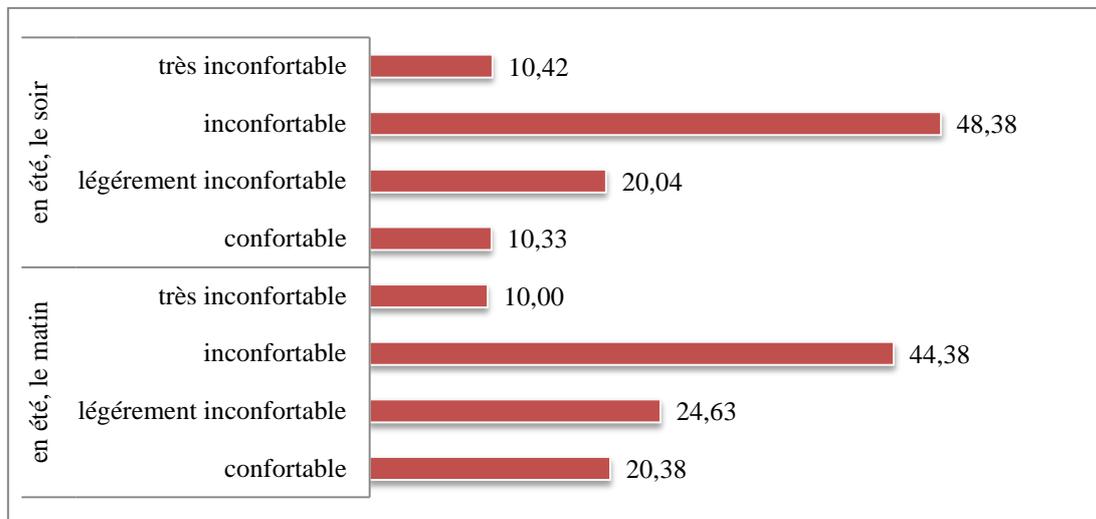


Figure 2.14: Appréciation sur le confort thermique en été.

Nous avons trouvé que l'avis des personnes interrogées était plutôt que leur résidence était inconfortable en été. Cela peut être justifié par plusieurs raisons, d'abord pour une raison climatique, du fait de températures estivales élevées (plus de 45°C). Une autre raison vient du réseau électrique dans la ville, avec des coupures de courant fréquentes pendant les mois d'été, car le réseau électrique ne supporte pas les charges lourdes induites par l'utilisation permanente des

systèmes de climatisation dans la majorité des appartements. Enfin, il y a la difficulté de générer des courants d'air en ouvrant les fenêtres, du fait du bruit, de la pollution et des odeurs extérieures.

En été, 93% des personnes interrogées trouvent leur habitat inconfortable. (Sans l'utilisation des systèmes de climatisation). L'inconfort est augmenté surtout en été, le soir (58%), cela est dû à l'augmentation de la température extérieure.

2.6.2. Facteurs d'inconfort

Pour le soir en hiver, 70% des gens trouvent leur habitat inconfortable et cela est dû à la diminution de température au cours de cette période de temps. Les gens ressentent moins les problèmes provenant de l'extérieur (odeurs, poussières, bruits, etc.) et sont plus sensibles à la température et aux courants d'air (Figure 2.15).

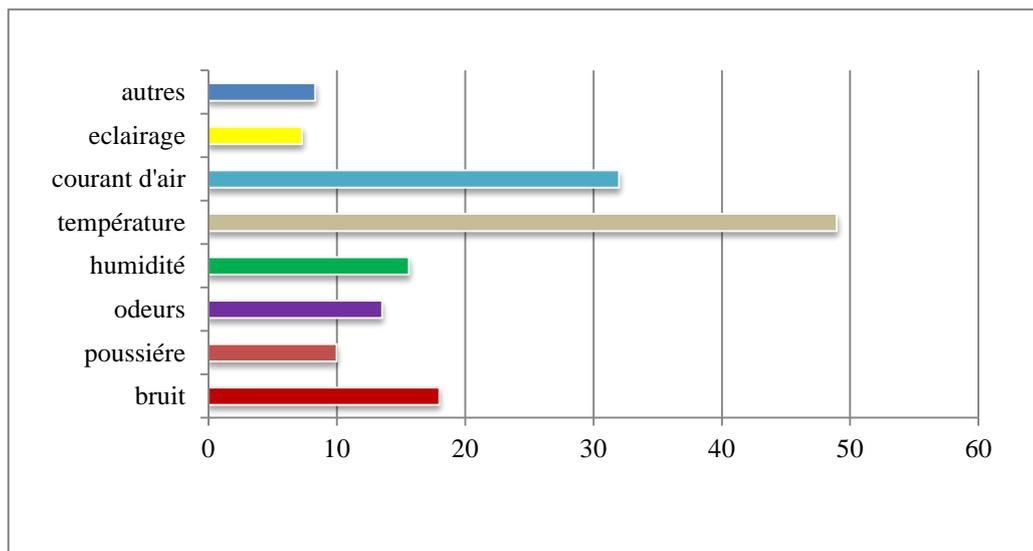


Figure 2.15 : Facteur d'inconfort en hiver.

Pour cette question, plusieurs réponses étaient possibles. En été, les facteurs d'inconfort les plus importants sont respectivement la poussière, la chaleur, et les bruits (figure 2.16). La poussière et les bruits sont liés au fait qu'en été les gens cherchent les courants d'air et ont tendance à ouvrir les fenêtres.

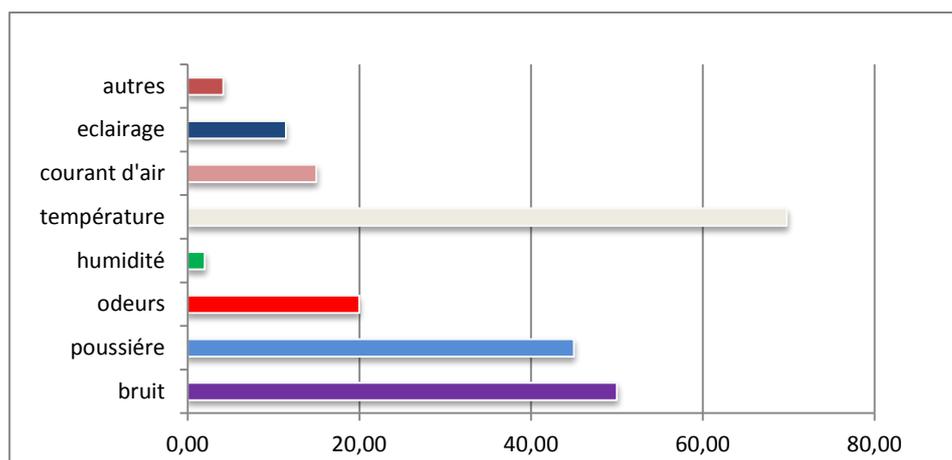


Figure 2.16 : Facteur d'inconfort en été.

Parmi ces facteurs d'inconfort, les odeurs provenant de la défaillance des systèmes d'évacuation des eaux usées et des ordures. En hiver, les gens ressentent moins les problèmes provenant de l'extérieur (odeurs, poussières, bruits, etc) et sont plus sensibles en été (figure 2.16). Ceci est dû aux défauts de la construction évoqués et les aménagements extérieurs.

2.6.3. Comportement des occupants

Les comportements des occupants dans la saison d'hiver et celle d'été sont semblables. Les habitants vivent dans le séjour, mais leurs comportements changent selon les saisons. En général, les maisons ne sont ni isolées ni étanches, d'où les changements de réaction des habitants entre hiver et été.

1. En hiver :

- les gens ferment les portes et les fenêtres, et utilisent des rideaux de tissu à l'intérieur, le séjour, est toujours chauffé, et les autres pièces, qui ne sont souvent pas chauffées. Ils sentent qu'il y a des courants d'air qui pénètrent souvent à l'intérieur de leur résidence. Essayant de mettre des vêtements chauds. Des poêles au gaz naturel et parfois des radiateurs sont utilisés.

2. En été :

- ils ouvrent les fenêtres de temps en temps pour provoquer des courants d'air, mais le problème du bruit et de la pollution les oblige à fermer. Les habitants vivent entre le séjour et le balcon, ils sentent une situation insupportable. En général, les personnes portent des vêtements légers en été.

- Des ventilateurs électriques sont souvent utilisés pour rafraîchir leur cuisine et d'autres pièces. Des splits de climatisation ont été installés dans la majorité des résidences, dans le séjour, car leur prix est devenu accessible pour les classes moyennes.

2.6.4. Système de chauffage en hiver

En général, le système de chauffage dans les résidences est le poêle au gaz, souvent installé dans le séjour ou hall, ou des radiateurs électrique pour les autres chambres. Le chauffage est fréquemment utilisé pendant les mois de novembre jusqu'à février. Les horaires d'utilisation sont le matin tôt et toute la soirée, à partir de 18 heures jusqu'à minuit. La consommation élevée en électricité fait obstacle à une utilisation fréquente dans toutes les des appartements.

L'ordonnée de la figure 2.17 représente le rapport des ménages utilisant le chauffage à l'heure indiquée (par rapport au total des ménages interrogés).

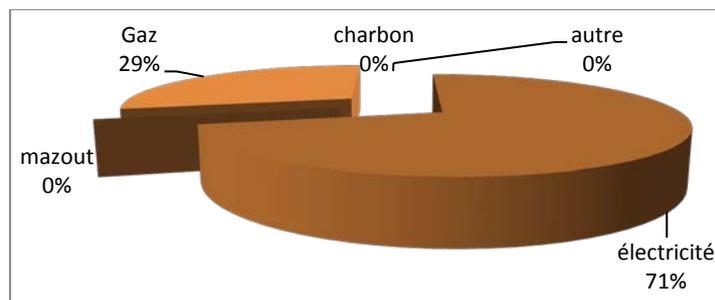


Figure 2.17: Répartition d'utilisation du chauffage dans les logements

2.6.5. L'eau chaude sanitaire

54% des habitations utilisent le gaz comme énergie pour l'eau chaude, 43% des gens qui ont un chauffe-eau électrique chauffent l'eau en permanence.

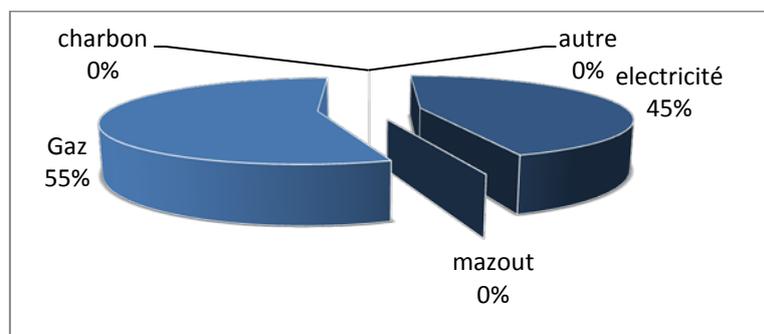


Figure 2.18 : Energie de l'eau chaude sanitaire dans les logements.

2.6.6. Système de climatisation en été

En été, nous avons constaté que la majorité des appartements sont installés des appareils de climatisation (split), pour rafraîchir les résidences. La figure 2.19 montre l'utilisation des unités de climatisation dans les bâtiments résidentiels des ménages interrogés dans notre enquête.

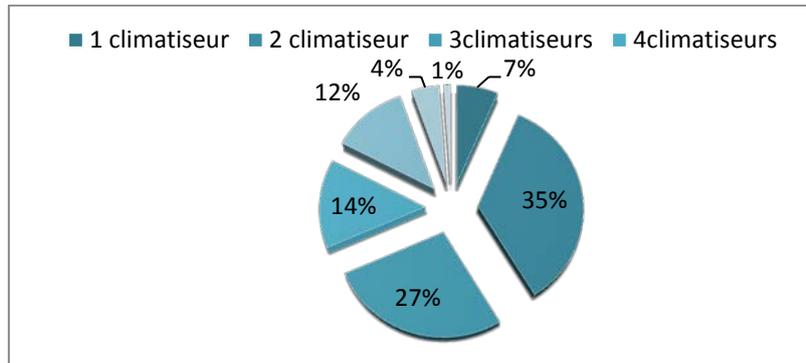


Figure 2.19 : Répartition de l'utilisation des climatiseurs dans les logements

L'utilisation de ces systèmes de climatisation commencent à rafraîchir leur appartement du mois de juin jusqu'au mois de mi-octobre. L'utilisation hebdomadaire est liée à la présence des occupants et à la température extérieure.

2.6.7. Les factures énergétiques

Les factures énergétiques sont variées dans les bâtiments résidentiels selon les types d'énergie utilisées, entre l'électricité, et le gaz naturel. Principalement, l'électricité est pour les utilisations telles que l'éclairage, la climatisation, l'usage des équipements électroménagers. Le gaz est pour l'utilisation de chauffage et de cuisson. La figure 2.20 montre les avis des interrogées sur leurs factures énergétiques.

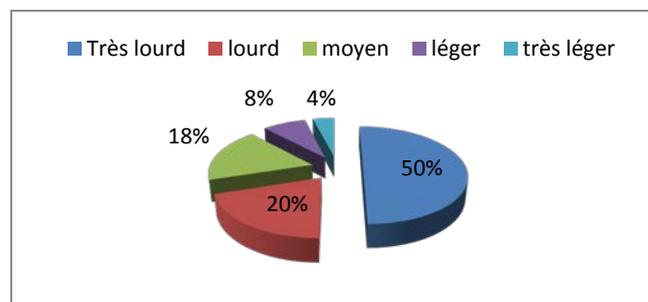


Figure 2.20: Avis sur les factures énergétiques

Le résultat de cette enquête a révélé que les occupants trouvent généralement leurs factures d'énergie lourdes, pour les deux saisons. Pour l'été, une consommation d'électricité est assez importante et très élevée. Pour l'hiver, une facture d'électricité et du gaz naturel souvent lourde.

Notre objectif est principalement trouvé des solutions passives et justifiés pour alléger leurs dépenses énergétiques. Pour les deux saisons, il y a plus d'inconfort le soir que le matin. On conclue que les gens cherchent un arrangement entre leur confort et leur facture : 49% préfèrent baisser la facture en gardant le même confort et 51% préfèrent d'améliorer le confort en gardant la même facture. Ceci montre bien l'importance des deux facteurs : le confort et l'économie d'énergie.

2.6.8. Des améliorations possibles pour atteindre du confort

Pour améliorer leur confort thermique en été, 80% des gens allument la climatisation et 29% utilisent le ventilateur, 27% tendance à chercher les courants d'air.

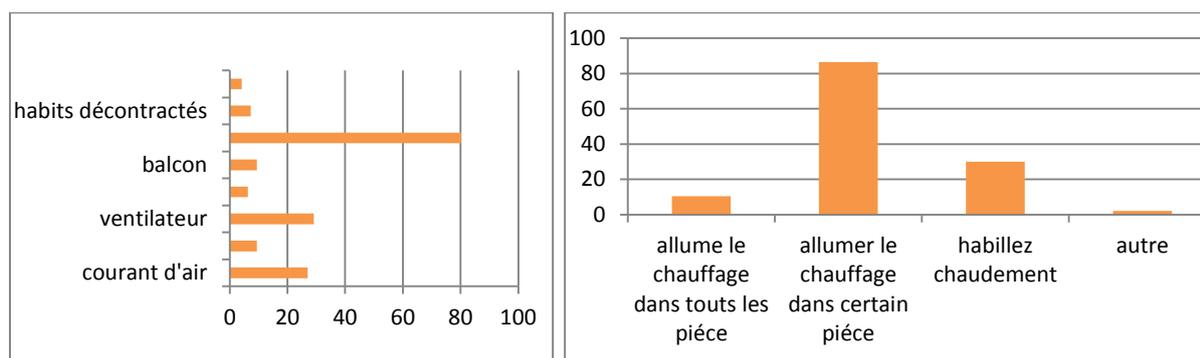


Figure 2.21: Les améliorations possibles en été et en hiver.

En hiver, la plupart des gens chauffent certaines pièces (86.45 % chauffent les pièces les plus utilisées surtout la chambre) et mettent des vêtements chauds quand ils se déplacent vers les autres pièces.

La dernière question est basé sur les types d'amélioration les plus envisageable. Le résultat est présenté sur la figure 2.22. La plupart des gens, environ 73%, trouvent que la solution pour améliorer leur confort c'est l'amélioration des systèmes de chauffage ou de climatisation. Cette solution atteint le confort thermique d'une part, mais d'autre part il augmente la consommation d'énergie

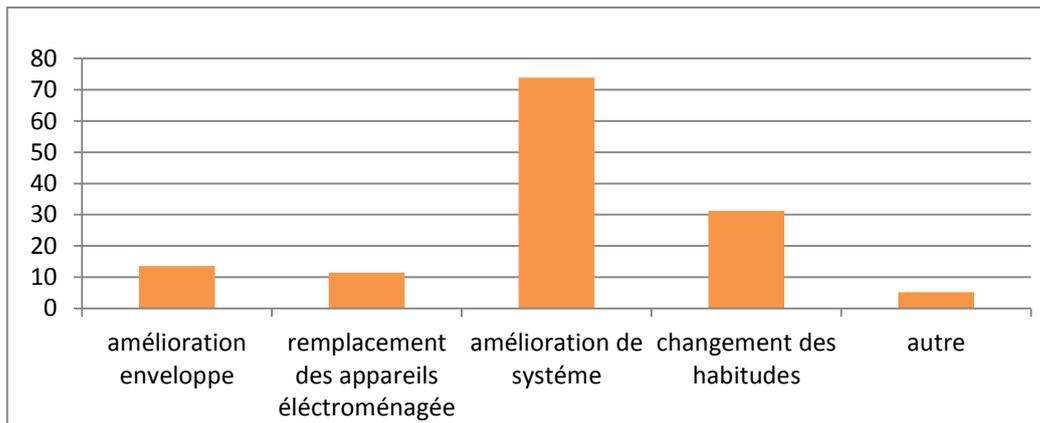


Figure 2.22 : Types d'améliorations les plus envisageables.

2.6.9. L'environnement

Les problèmes de l'environnement sont devenus de plus en plus délicat pour le secteur résidentiel. Le problème des ordures ménagères reste non résolu au Bechar et présente un problème majeur pour la majorité des habitants.

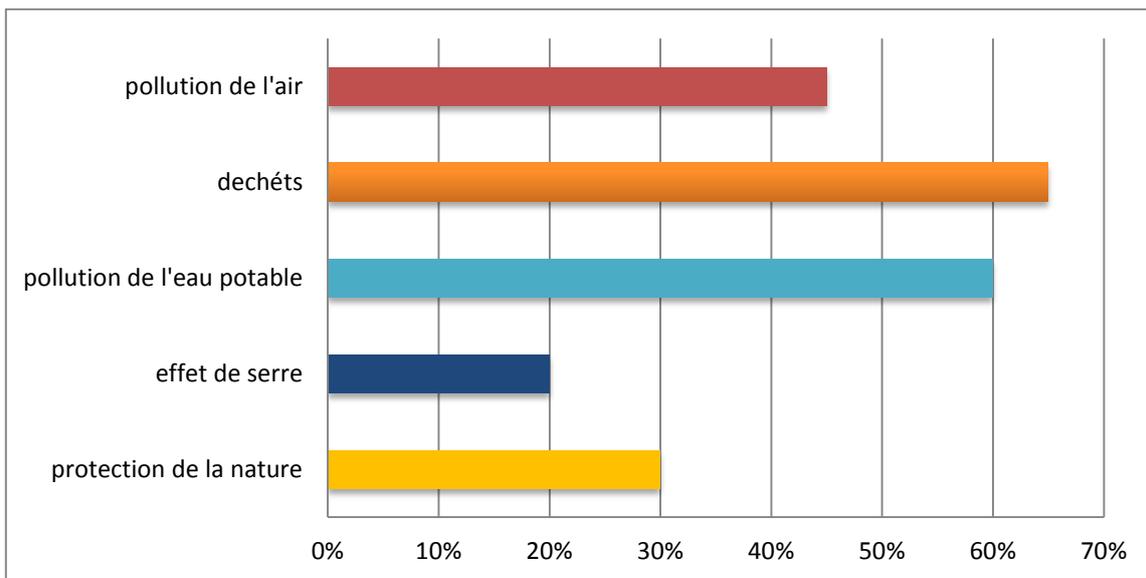


Figure 2.22:L'impact sur l'environnement.

Cette enquête sur les systèmes et les consommations énergétiques pour les bâtiments résidentiels ont permis d'éclairer la situation énergétique actuelle, que nous résumons ainsi :

- Un inconfort thermique en hiver comme en été pour la plupart des bâtiments résidentiels à cause des conditions climatiques extrêmes et inadaption des constructions avec cet environnement.

- le système de climatisation est basé principalement sur l'Electricité et le système de chauffage est basé complètement sur le Gaz.
- La facture énergétique est bien lourde pour les habitants, et ceux-ci souhaitent trouver des solutions pour l'alléger. Les systèmes de chauffage ou de climatisation n'assurent pas un confort thermique dans toutes les pièces.

2.7. CONCLUSION

La première partie de ce chapitre a révélé une enquête liée à la construction dans la ville de Bechar, entraînant une augmentation dans la consommation énergétique et produisant de l'inconfort pour les habitants.

Nous avons présenté les différents types représentant les bâtiments résidentiels dans la ville de Bechar, qui constitue une architecture non dominante, représenté par l'orientation des bâtiments et les baies vitrées, incluant les matériaux de construction, les techniques de construction et l'absence d'isolation. Un problème lié aux systèmes du chauffage et de climatisation utilisés avec la mauvaise application du règlement thermique existant.

Cette enquête nous a permis de mettre en évidence que la majorité des habitations se caractérise par un inconfort en hiver et en été; avec une facture énergétique lourde pour la plupart des ménages. Les systèmes de chauffage utilisés ne sont pas suffisants pour assurer le confort des usagers. Aussi, pour les systèmes de climatisation, quand ils existent, ne sont pas utilisés tout le temps dû à des températures élevées. Ces systèmes sont souvent mal dimensionnés et son grand consommateurs d'énergie. Cette enquête nous a permis de mettre en évidence les points suivants :

- La construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été (dû essentiellement à des températures) ;
- l'utilisation du système de climatisation diminue les problèmes d'inconfort provenant de l'extérieur (chaleur, bruit, poussière, ...).
- L'électricité est l'énergie de climatisation la plus utilisée. Le gaz est l'énergie utilisée pour le chauffage et l'eau chaude.

- Les plupart des gens trouvent que la solution d'amélioration des systèmes de chauffage et de climatisation, mais elle ne contribue pas à la diminution de consommation de l'énergie.

Dans l'étape suivante, nous allons procéder à une étude expérimentale d'un appartement existant afin de valider l'outil de simulation choisis. Cette étape montre la nécessité à imposer des solutions dans les bâtiments résidentiels afin de pouvoir maîtriser la consommation énergétique et améliorer l'état de confort des occupants. Ceci peut être réalisé par la mise en place d'une mesure expérimentale à l'aide des appareils, quelque paramètre, pouvant contrôler à la fois les ambiances internes et alléger les consommations énergétiques dans les bâtiments résidentiels.

3.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de valider une méthodologie de travail pour l'amélioration de la performance énergétique des habitations pour les régions sub-sahariennes. Des questionnaires destinés aux occupants nous permettront d'éclairer également les différents usages qui ont cours dans l'appartement.

Dans ce cadre, nous allons d'abord choisir un bâtiment de référence « type » pour effectuer notre suivi expérimental.

3.2. DESCRIPTIONS DU BATIMENT DE REFERENCE

3.2.1. Le choix du bâtiment de référence

Une description complète de l'enveloppe nécessite une connaissance des éléments entrant dans la construction pour établir un modèle du bâtiment. Ces informations sont résumées en trois points:

1. types et composition des parois opaques (épaisseurs, matériaux) avec leurs caractéristiques thermo physiques ;
2. caractéristiques des menuiseries (vitrages et cadres) ;
3. mode constructif, pour essayer de déterminer les ponts thermiques linéaires et l'infiltration d'air.

Dans ce cadre, il est nécessaire de créer un fichier météologique pour effectuer une comparaison avec des mesures expérimentales. Les données météorologiques locales sont obtenues à partir d'une station météorologique automatique sur le site de l'Université TAHRI Mohammed Bechar.(Voir la figure 3.1 et l'annexe 3)

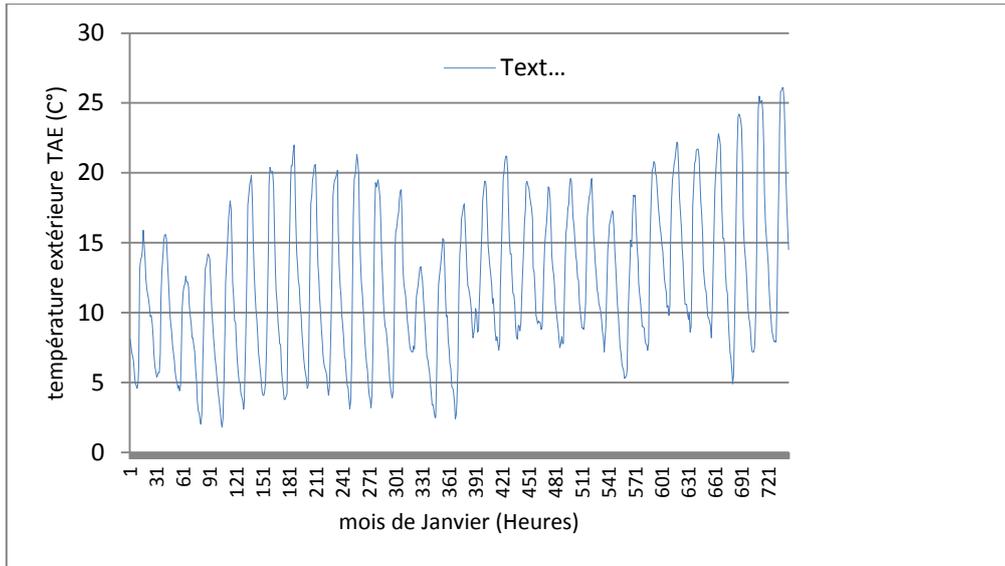


Figure 3.1 : Température de l'air extérieur TAE pour le mois de Janvier (2017) [Station Météo, 2017]

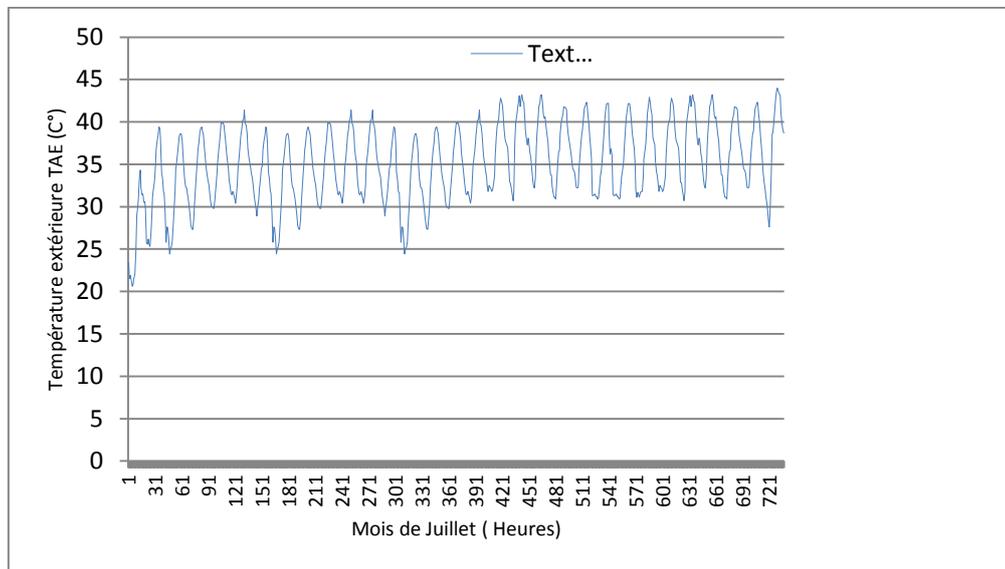


Figure 3.2 : Température de l'air extérieur TAE pour le mois de Janvier (2017) [Station Météo, 2017]

Ces données météo ont été présentés aux figures 3.1 et 3.2 pour servir de données d'entrée au programme de simulation du modèle détaillé du bâtiment. Ces données horaires présentent deux périodes : la première période concerne le mois de Janvier, et la deuxième période pour le mois de Juillet. Elles nous ont fourni plusieurs informations, telles que : les données climatiques quasi-complète de notre site, les températures, l'irradiation globale et diffuse horizontale, les vitesses des vents dominants et les durées d'irradiation solaire.

3.2.2. Géométrie de l'immeuble et de son environnement

L'immeuble est situé dans un quartier résidentiel, avec une vue sur la façade nord-est. L'autre façade (orientée sud-ouest) donne sur des immeubles de basse hauteur et sur un jardin dans lequel il y a des arbres peu élevés. L'appartement étudié se trouve au RDC d'un immeuble constitué deux étages. La géométrie verticale de ce bâtiment est illustrée dans la figure 3.3 :

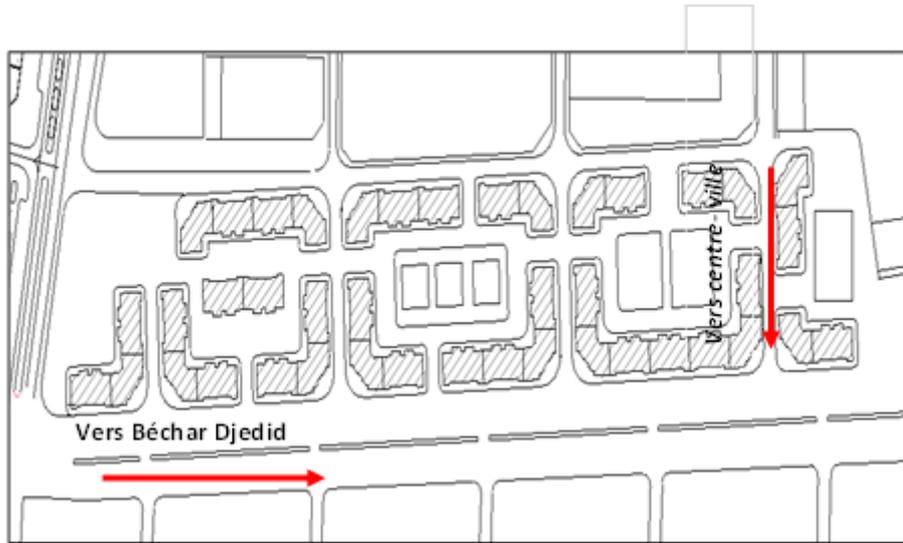


Figure 3.3: Position de l'appartement sur la cité 800 logements

Notre immeuble, d'une hauteur de 11,5 m, est situé entre deux immeubles adjacents, En ce qui concerne les autres immeubles autour (sur les deux façades principales), ils ont souvent des hauteurs plus ou moins proches de la nôtre. La largeur de la rue, en face de l'immeuble, est de 10 m (trottoirs inclus). La figure 3.4 montre une photo de la façade sud-ouest avec une coupe verticale de l'immeuble.



Figure 3.4 : Vue sur la façade sud-ouest avec les immeubles adjacents l'immeuble

3.2.3. Géométrie de l'appartement de référence

L'appartement de référence comprend trois pièces principales, deux chambres, et un séjour donnant sur la façade sud-ouest avec un balcon ; la cuisine donne sur la salle à manger ouverte directement sur l'extérieur ; un espace loggia accueille les équipements électroménagers principaux (lave-linge et sèche-linge). La surface totale de cet appartement est de 75 m². Une description de l'appartement à l'intérieur est présentée dans la figure 3.5

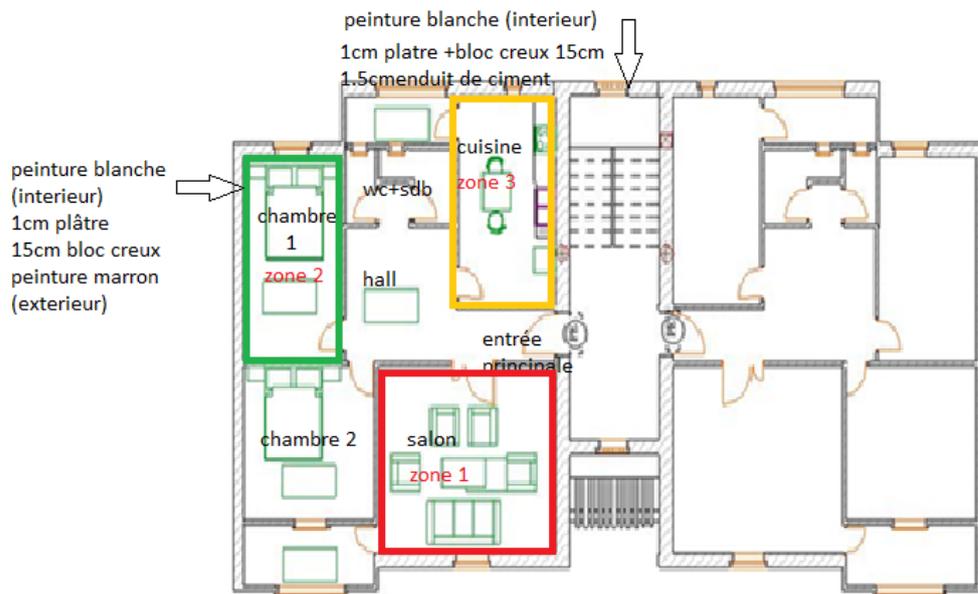


Figure 3.5 : Description de l'appartement de référence (meublé)

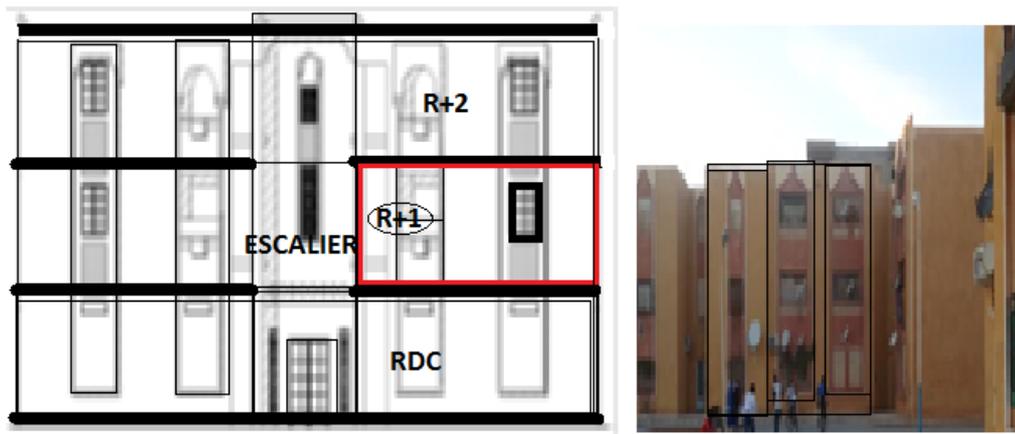


Figure 3.6 : Coupe sur l'immeuble de l'appartement de référence

Il convient de souligner que la composition du mur est construite avec des agglomérés de ciment alvéolés de 15cm et sont recouverts à l'extérieur d'un enduit de ciment d'une épaisseur estimée à 1cm et une couche minérale de couleur rouge orangée (Figure 3.6).

Le toit est en bloc en hourdis de 16 cm avec une dalle pleine de 4cm. La face extérieure est pré-laquée d'une couleur rouge. Les fenêtres sont de dimensions 1.2mx1.2m avec vitrage pour les zones de vie, 0.60mx0.60m pour la salle de bain et de 1mx0.60m pour la cuisine.

3.3. BASE DE DONNEES ET MESURE SUR SITE

Après le choix de notre appartement de référence, nous avons commencé à préparer une visite afin de faire des mesures sur site concernant l'enveloppe de l'appartement de référence, les niveaux de confort, les équipements énergétiques et la consommation énergétique de l'appartement. Pour ce faire, le choix des instruments de mesure ont été nécessaires.

Après notre première visite, nous pouvons sélectionner des pièces pour les mesures de confort (l'utilisation des pièces, en fonction des appareils électriques); et déterminer les différentes couches de matériaux de construction en recherchant des trous existants pour vérifier par un simple regard.

3.3.1. Choix des instruments de mesure du confort (T° et HR)

Pour la première phase, nous pouvons déterminer les instruments nécessaires pour effectuer nos mesures :

1. Mesure du confort thermique (la température T° et d'humidité et HR) ;

Le bâtiment a été instrumenté avec des capteurs de température et d'humidité. La température et l'humidité relative de l'air ont été enregistrées en deux points de mesure dans la zone. Les températures des surfaces intérieures du bâtiment sont également mesurées.

Les capteurs sont de type *TM 906A* avec une mémoire permettant le stockage de données. Les températures internes des surfaces opaques sont mesurées par contact avec des capteurs ayant une précision de 0,36°C. Les capteurs ont été intégrés aux murs au niveau de l'enduit interne des murs. La température et

l'humidité de l'air sont mesurées à l'aide des capteurs de type "TH" dont les précisions sont de 0,12°C et entre 2 et 3% respectivement. Le bâtiment n'était pas occupé pendant les campagnes de mesures et il n'y avait aucun équipement électrique ou source de chaleur. Les fenêtres et les portes sont fermées en dehors des périodes de collecte des données.[MADI K., 2015]



Figure 3.7 : DUAL THERMOMETER (capteurs de température T° TM 906A.et humidité HR %) [Laboratoire Génie électrique, l'université TAHRI Mohamed BECHAR]

2. *Mesure de la consommation énergétique*

Avoir un outil pour mesurer les consommations électriques de l'appartement. La facture d'électricité par exemple, permet de donner la consommation réelle de l'appartement pour chaque trimestre de l'année).

3. *Mesure de confort visuel (l'éclairage)*

La mesure du confort visuel est instrumenté et réalisée à l'aide des capteurs d'éclairage que nous avons installé dans la pièce : deux unités dans l'appartement : une dans le salon et une dans la chambre.

- Pour l'éclairage: il faut connaître la puissance des lampes installées ainsi que la durée d'utilisation des lampes. Nous avons testé l'utilisation de capteurs capteur LIGHT METER et LUX MATER pour confronter les dires des occupants quant à la durée d'éclairage (Figure 3.8).



Figure 3.8: un capteur LIGHT METER et LUX MATER pour l'éclairage [Laboratoire Génie électrique, l'université TAHRI Mohamed BECHAR]

3.3.2. Base de données (enveloppe et matériaux de construction, équipements et usages)

Dans notre étude, nous cherchons les caractéristiques quantitatives présentées par les paramètres thermo physiques de chaque élément. Nous présentons, dans le tableau suivant 3.1, les caractéristiques des matériaux de construction du bâtiment : plancher, toiture, murs (intérieurs et extérieurs) et menuiseries (fenêtres, portes et porte-fenêtre).

Tableau 3.1 : Paramètres thermo physiques pour les éléments du bâtiment

Élément	Paramètre thermo physique	Symbole	Unité
Mur	Résistance thermique	R	(m ² .K)/W
	Conductivité thermique	λ	W/(m. K)
Toiture	Masse volumique	ρ	kg/m ³
Plancher	Facteur solaire vitrage	Sw	–
	Coefficient de déperditions vitrage	U	W/m ² .K
	Coefficient de déperditions cadres	U	W/m ² .K

Tableau 3.2 : Description des matériaux et des systèmes de construction.

Enveloppe « référence »	Description	Epaisseur r (m)	Conductivité λ W/(m. K)	Densité ρ (kg/m ³)	U-value (W/m ² k)	Epaisseur total (m)
Mur extérieur	Enduit extérieur en plâtre	0.015	0.35	750	2.71	0.18
	Bloc en parpaing	0.15	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		

Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.015	0.35	750	2.67	0.14
	Bloc en parpaing	0.10	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		
Plancher bas en contact avec le sol	Carrelage	0.03	1	936	2.48	0.27
	Mortier	0.02	0.23	1000		
	Sable du gravier	0.05	0.03	25		
	Dalle en béton lourd	0.150	1.75	2200		
	Mortier	0.010	1.75	2200		
Plancher/Toiture	Mortier	0.03	0.23	1000	0.25	0.30
	Sable du gravier	0.05	0.03	25		
	Dalle en béton armé	0.04	1.75	2200		
	Bloc en hourdis	0.16	1.14	1850		
	Enduit en mortier	0.02	0.35	1600		
Menuiseries extérieures Vitrage	Facture solaire Sw Ug vitrage V/H Uf cadre Vitrage simple					
	u-value	5.74				
	g-value	0.87				
Fenêtres/portes	Bois	0.05	0.20	600		

3.3.3. Les installations électriques dans l'appartement

Il est donc très important de connaître les détails techniques de chaque appareil électrique, sa consommation et sa puissance, ainsi que sa position dans l'appartement. Toutes ces informations sont détaillées dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Installations électriques dans chaque pièce de l'appartement de référence

Pièces	Type	Appareils	N°
Salon	Lampe spot 40W	Unité split 18000 Btu. 5 275 W 1	1
Cuisine	Lampe 50 W	Réfrigérateur 200 W	1
		Lave-linge 2 400 W	1
		Micro-ondes 1200 W	1
		Four du Gaz Hood (ventilation) 400Cmf. 220 W	1
Chambre parentale	Lampe 50 W	Unité split 12000Btu. 3 517 W	1
Chambre d'enfant	Lampe 20 W	Unité split 12000Btu. 3 517 W	1
Toilette et SDB	Lampe 20 W	Séchoir 1000W	2
Hall	Lampe 20 W	-	1

Tableau 3.4 : Les Consommations des appareils en fonctionnement [CONDOR, 2014]

Appareil	Puissance w	Emissions horaires de CO ₂ (en grammes)
Ordinateur	80-360	52-234
Aspirateur	700-2000	455-1300
Sèche-cheveux	800-2000	520-1300
Bouilloire électrique	300-3200	195-2080

3.3.4. Niveau d'éclairage

Ce scénario définit l'éclairage en lux souhaité au niveau du plan de travail de référence. En fonction des appareils d'éclairage de notre appartement de référence, nous pouvons estimer la valeur d'éclairage artificiel. Dans le tableau 3.5, nous indiquons les appareils d'éclairage artificiel de notre appartement de référence.

Tableau 3.5 : Caractéristiques des éclairages artificiels dans l'appartement de référence

Type d'éclairage	Nombre	Puissance (W)	Efficacité lumineuse (lm/W)	Éclairage lumineux total (lm)	Éclairage lumineux total (lux)
Lampe fluorescente 20 cm	5	36	60	10800	11352 lm /75 m²
Lampe incandescence	3	23	8	552	
Lampe spot	2	20	30	1200	
Σ W/appart =	289W		Σ lux/appart = 11352		151.36 lux

Nous pouvons constater que la puissance d'éclairage total dans l'appartement est de 289 W, qui est le résultat de l'utilisation des appareils d'éclairage dans l'appartement, tout dépend de la présence humaine et la durée d'utilisation de chaque appareil d'éclairage. Cette valeur est équivalent à 3.85 W/m^2 , et la valeur d'éclairage lumineux (lux) pour chaque mètre carré en divisant la valeur de l'éclairage lumineux total par la surface de l'appartement : $11352/75 = 151.36 \text{ lux}$.

3.3.5. Taux d'occupation

Dans notre cas d'appartement d'étude, nous avons 5 personnes (2adultes (les parents) et 3 enfants), et leur présence dans l'appartement est constatée de 17 heures à 8 heures du matin en semaine.

Pour notre recherche, nous avons préparé des tableaux (par pièce et par heure de présence) et nous avons sollicité les habitants pour qu'ils complètent ces tableaux. Un exemple de taux d'occupation pour les pièces séjour et cuisine en semaine est présenté dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Exemple de scénario d'occupation dans le séjour (3 présents : 2 adultes et 3 enfant)

Heures	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
De 0à 1h	0	0	0	0	0	0	0
De 1 à 2h	0	0	0	0	0	0	0
De 2h à 3h	0	0	0	0	0	0	0
De 3h à 4h	0	0	0	0	0	0	0
De 4h à 5h	0	0	0	0	0	0	0
De 5h à 6h	0	0	0	0	0	0	0
De 6h à 7h	0	0	0	0	0	0	0
De 7h à 8h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
De 8h à 9h	0	0	0	0	0	0	0
De 9h à 10h	0	0	0	0	0	100 %	100 %
De 10h à 11h	0	0	0	0	0	0	0
De 11h à 12h	0	0	0	0	0	0	0
De 12h à 13h	0	0	0	0	0	0	0
De 13h à 14h	0	0	0	0	0	0	0
De 14h à 15h	0	0	0	0	0	0	0
De 15h à 16h	0	0	0	0	0	0	0
De 16h à 17h	0	0	0	0	0	0	0
De 17h à 18h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0
De 18h à 19h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0
De 19h à 20h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0
De 20h à 21h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0
De 21h à 22h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0

De 22h à 23h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0
De 23h à 24h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100	0

3.3.6. Taux de ventilation

Le scénario de ventilation, défini par zone thermique, peut servir de consigne pour une ventilation extérieure ou une ventilation intérieure. Il est caractérisé par un débit nominal et une modulation horaire de ce débit par. un pourcentage.

Pour la ventilation naturelle, le débit d'air doit correspondre à la valeur la plus grande comprise entre 0,5 m³/h et le débit nominal. Dans le cas où aucune information nationale n'est disponible, il est possible d'évaluer le taux de renouvellement d'air à partir du niveau d'étanchéité du bâtiment. [ADRA N., 2001]

3.4. RESULTATS DES MESURES SUR SITE ET ANALYSE

Notre mesure a été réalisée dans les deux saisons d'été et d'hiver pour mesurer le niveau du confort thermique dans l'appartement de référence, par des capteurs individuels de température et d'humidité. À l'aide des capteurs d'éclairément, on peut mesurer le confort visuel. Des factures énergétiques, nous permet de constater les consommations électriques pour plusieurs postes de notre appartement.

3.4.1. Résultats des mesures de température et d'humidité intérieures (analyse de confort)

Il est obligatoire d'identifier la plage de confort selon la méthode d'évaluation du confort suivie avant de présenter les résultats des mesures prises dans notre appartement de référence. Nous pouvons définir le confort thermique comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant.

Plusieurs méthodes qui peuvent être exprimés sous forme de représentations graphiques, de diagrammes ou de tableaux, et qui sont basés sur des expérimentations. Parmi ces méthodes, on peut citer : les diagrammes bioclimatiques de V. Olgyay, B. Givoni et S. Szokolay. V. Olgyay. Pour la méthode de Givoni, la zone de confort est située entre 18 °C et 25 °C en hiver, et entre 20 °C et 27 °C en été. Le diagramme bioclimatique de Givoni ne

considère que les effets combinés de la température sèche et de l'humidité absolue (cf. figure 3.9).

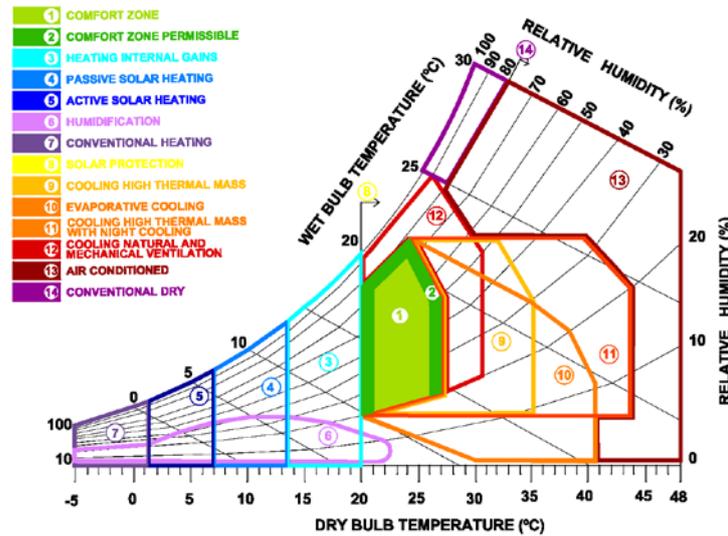


Figure 3.9: Tableau psychrométrique adapté de Givoni [Givoni 1992 ; Manzano Agugliaro et al. 2015]

Les caractéristiques de ces zones peuvent être observées dans le tableau 3.8.[BERKOUK D., 2017]

Tableau 3.8 : Les caractéristiques de ces zones peuvent être observées. [BERKOUK D., 2017]

Paramètre	Période estivale	Période hivernale
Température de l'air intérieure [°C]	23-26	20-24
Humidité relative [%]	40-60	40-60

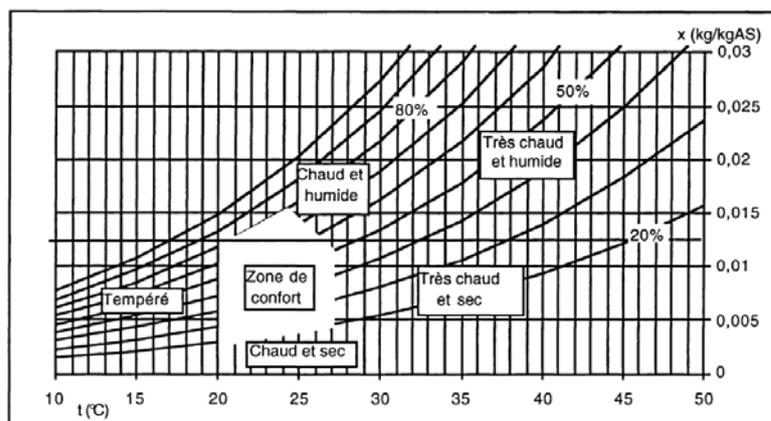


Figure 3.10: Diagramme bioclimatique de Givoni (où t est la température sèche, x l'humidité absolue) [GIVONI B., 1978]

Pour notre étude, trois pièces ont été choisies pour les mesures de température et d'humidité, pour leur occupation et de leur position dans l'appartement :

1. la chambre principale du fait de son orientation vers le nord et de l'installation qui y a été faite d'un appareil de climatisation (split) qui est souvent actif quelques heures par jour durant les mois d'été ;
2. le salon, de par son orientation au sud ;
3. la cuisine, un espace de vie principale dans l'appartement et le fait de ses équipements électriques

3.4.2. Résultats pour la chambre

La figure 3.17 montre les variations de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la chambre de l'appartement.

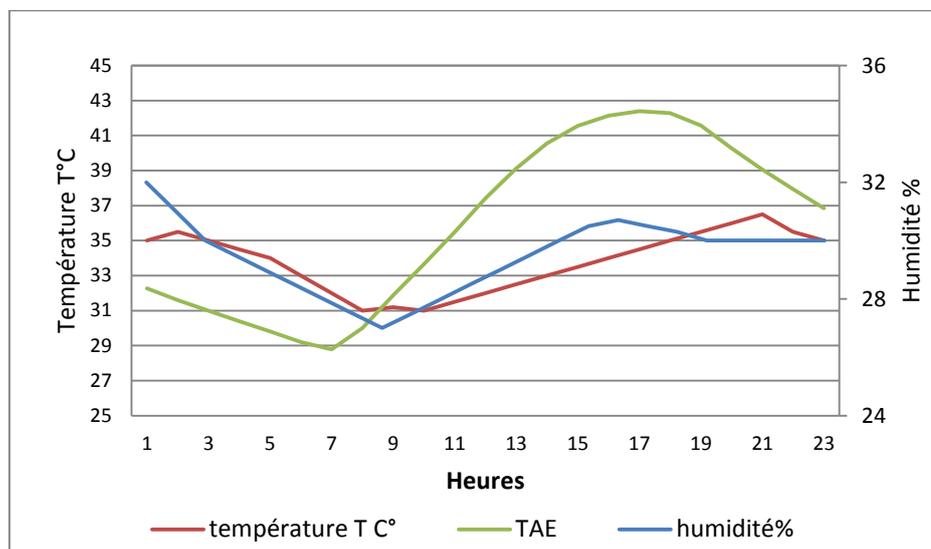


Figure 3.11 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la chambre et la température extérieure. (21 juillet 2017)

Nous remarquons que la température se réduit dans la chambre, entre 36 °C à 31 C° à 8 h et augmente jusqu'à 37.5C° à 21h. Ceci est dû à plusieurs raisons : le pic de température survient l'augmentation de la température extérieure atteint 42 C°. Dans cette pièce, nous remarquons des pics de température qui peuvent atteindre 36.5 °C entre 10 heures et 21 heures. Cette température élevée provient de l'orientation des fenêtres au sud-ouest, donc d'un apport solaire important et l'absence de protection solaire. Par contre, nous remarquons une baisse de température à 35 °C à partir de 22 heures jusqu'à 31 C°. Ceci reflète le démarrage de de climatisation (split), entre 14heures jusqu'à 19heures et toute la nuit pour maintenir une température ambiante autour de 26 °C.

Pour évaluer le confort en été dans cette pièce pour une journée type, nous avons tracé les points correspondant aux valeurs des températures sèches et de l'humidité relative dans le diagramme de Givoni :

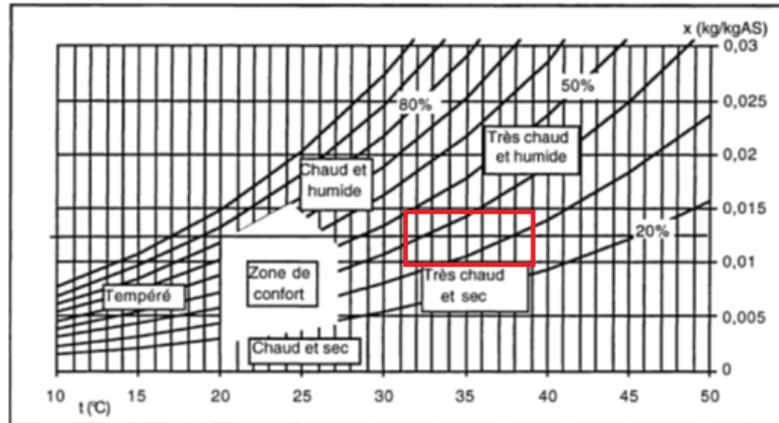


Figure 3.12 : Diagramme bioclimatique de Givoni appliqué à la chambre (21 juillet 2017)

La figure 3.12 montre que l'ambiance, dans cette pièce, est très chaude et sèche toutes les 12 heures, avec une absence quasi-totale de confort.

3.4.3. Résultats pour le salon

Le salon est une pièce principale l'appartement, orientée vers le sud-ouest, par une porte et une fenêtre. La figure 3.16 montre la variation de la température intérieure dans cette pièce dans une journée type de la mesure (21 juillet). Ainsi la figure 3.13 exprime le diagramme bioclimatique de Givoni appliqué dans cette pièce.

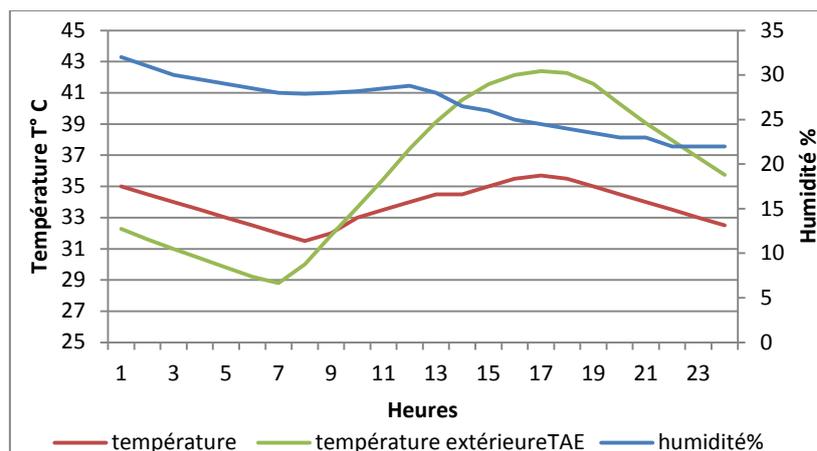


Figure 3.13 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans le salon et la température extérieure. (23 juillet au 21 août 2013)

En ce qui concerne le salon, nous observons que la température est stable, entre 29 et 31 °C. Ceci provient de l'orientation nord de cette pièce, avec un apport

solaire faible. Les balcons de l'étage au-dessus jouent le rôle de masques solaires qui protègent cette pièce de l'effet du rayonnement solaire direct et diffus.

Pour évaluer le confort dans cette pièce pour une journée type (la journée n° 213, par exemple), nous avons tracé les points correspondant aux valeurs des températures sèches et de l'humidité relative dans le diagramme de Givoni.

La figure 3.14 montre que l'ambiance, dans cette pièce, pendant la climatisation est assez confortable et très chaude pendant toute la période sans climatisation, avec une absence de confort à 100 %.

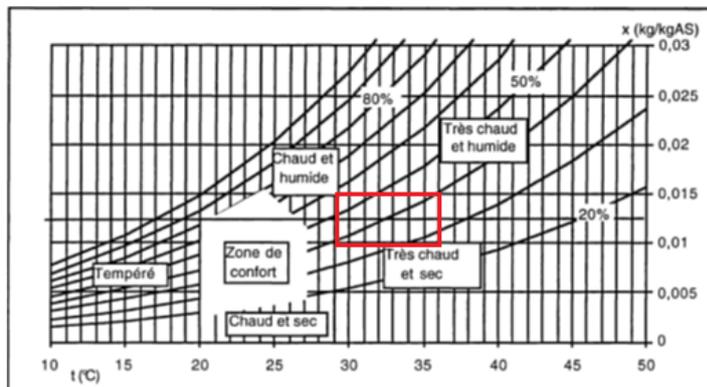


Figure 3.14 : Diagramme bioclimatique de Givoni appliqué au salon (21 juillet 2017)

3.4.4. Résultats pour la cuisine

Nous rappelons que la cuisine est située à l'intérieur de l'appartement. La figure 3.15 montre la variation de température intérieure dans cette pièce dans une journée type (la journée 21 juillet 2017).

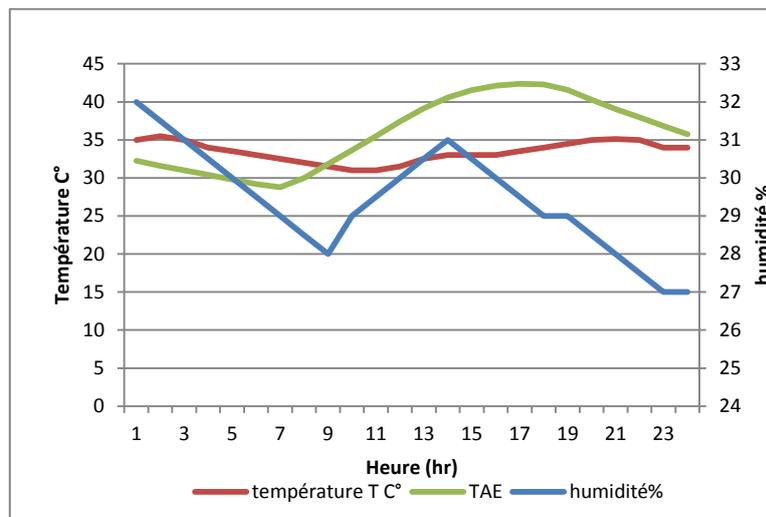


Figure 3.15 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la cuisine et la température extérieure. (21 juillet 2017)

Nous pouvons remarquer que la température est quasi stable, d'environ 35°C. Après, une augmentation de la température pendant la préparation des repas, du fait de la chaleur libérée par la cuisson et d'autres appareils électroménagers, ce qui fait monter la température. L'absence d'une ventilation permanente pour évacuer la chaleur de cette pièce, et l'absence d'apports solaires directs, connaisse une température élevée.

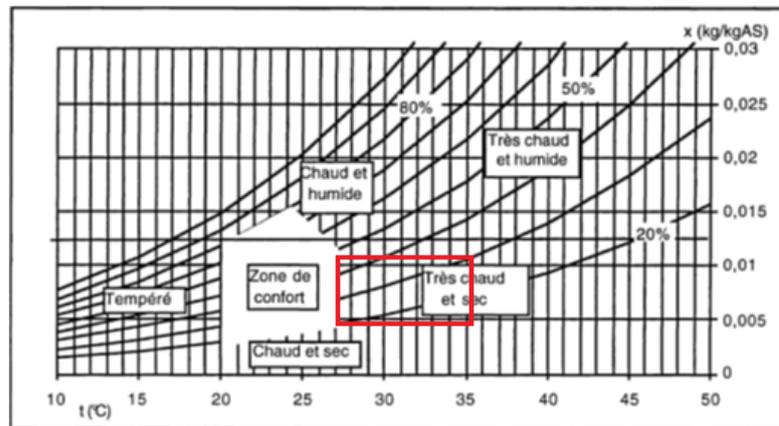


Figure 3.16 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans et la température extérieure.

(21juillet 2017)

La figure 3.16 montre que l'ambiance, dans cette pièce, est inconfortable pendant la préparation de repas, c'est-à-dire, l'ambiance est chaude et un peu humide : il y a alors absence totale de confort.

3.5. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DE LA SIMULATION

3.5.1. Les incertitudes dans le modèle

Les outils de simulation du bâtiment nous permet de prédire des études sur les performances énergétiques pour avoir des solutions d'amélioration les plus possibles. Pour cela, des écarts observés posent un problème d'incertitude des paramètres de la simulation.

De Wit and Augenbroe (2002) classe les différentes sources d'incertitudes de la simulation thermique du bâtiment en quatre domaines que sont :

1. les incertitudes de spécification : il peut s'agir d'une connaissance imparfaite de la géométrie, des propriétés des matériaux, les spécifications des systèmes CVC1 ;
2. Les incertitudes liées à la modélisation : il s'agit des hypothèses et des simplifications dans la description des phénomènes physiques complexes (formulation mathématique et algorithmique).
3. Les incertitudes liées aux méthodes de résolution.
4. Les incertitudes liées à l'exploitation : Il s'agit des informations relatives aux conditions extérieures du bâtiment, y compris les données météorologiques et le comportement des occupants. [KABORE M., 2015]

3.5.2. Simulation du comportement thermique du bâtiment

Les outils de simulation thermique dynamique ont pour but d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées, basées sur des bilans mensuels. Nous avons choisi TRNSYS et EnergyPlus pour le comparer avec les résultats obtenus par le travail expérimental.

1. TRNSYS :

La méthode de calcul utilisée par le logiciel TRNSYS est basée sur un système de multi zone dont nous décrivons ci-après. Le bâtiment étudié est modélisé par une ou plusieurs zones thermiques, chaque zone étant considérée à température homogène. Une zone est délimitée par un certain nombre de parois.

2. ENERGYPLUS

Les dimensions du bâtiment ainsi que les formes géométriques ont été modélisées grâce à OpenStudio et google sketchup qui permettent une modélisation en 3D. Il s'agit des différentes parois (Les murs, le plancher, et la toiture et les ouvertures) et de l'auvent.

3.5.3. Résultats des mesures des températures intérieures

Après avoir saisi toutes les données de notre appartement, nous avons opéré une simulation thermique dynamique sur la journée type (21 à 30 juillet 2016).

Deux types de résultats étaient recherchés : le premier concerne les courbes de température intérieure dans les zones 1, 5 et 6 (la chambre, la cuisine et le salon), qui sont les pièces où nous avons effectué notre mesure expérimentale et le deuxième, les consommations électriques de l'appareil de climatisation et de chauffage.

Comparons à présent les résultats des températures entre la simulation thermique dynamique et les mesures expérimentales.

- **La chambre**

Il est nécessaire de rappeler que cette pièce expose une unité de climatisation (split) en fonction quasi permanent selon la présence des occupants. La figure 3.17 montre les variations des températures dans cette pièce entre mesures expérimentales et de simulation dans la journée type.

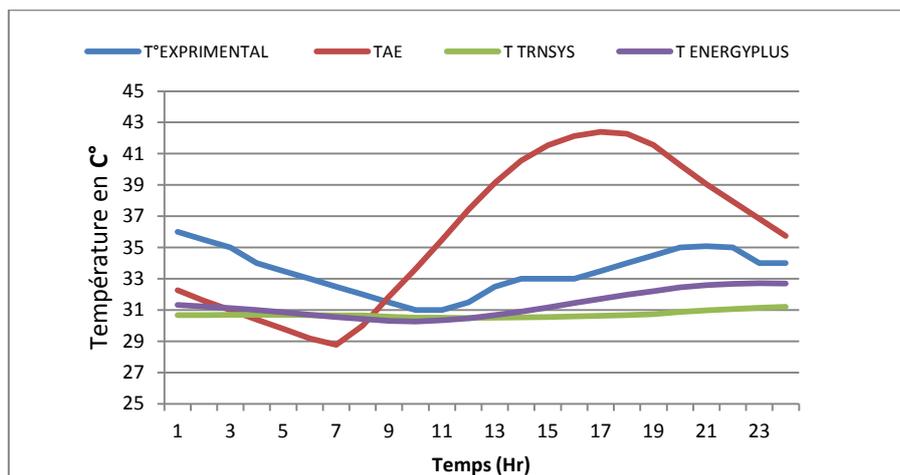


Figure 3.17: Comparaison des mesures expérimentales et Simulation sous TRNSYS et ENERGY PLUS de la température d'une journée type pour la chambre

L'observation des courbes montre une évolution des températures très proches, avec des valeurs maximum un peu plus supérieures pour la courbe de la température des mesures expérimentales. Nous pouvons expliquer ces différences par le comportement des occupants.

- **Le salon**

Pour le salon, la présence d'une unité de climatisation (split) dans cette pièce, a facilité les mesures car son utilisation est totalement présente dans la période de 11heures à 14heures et entre 17heures à 22heures. La figure 3.18 montre les variations des températures dans cette pièce entre des mesures expérimentales et de simulations dans la journée type.

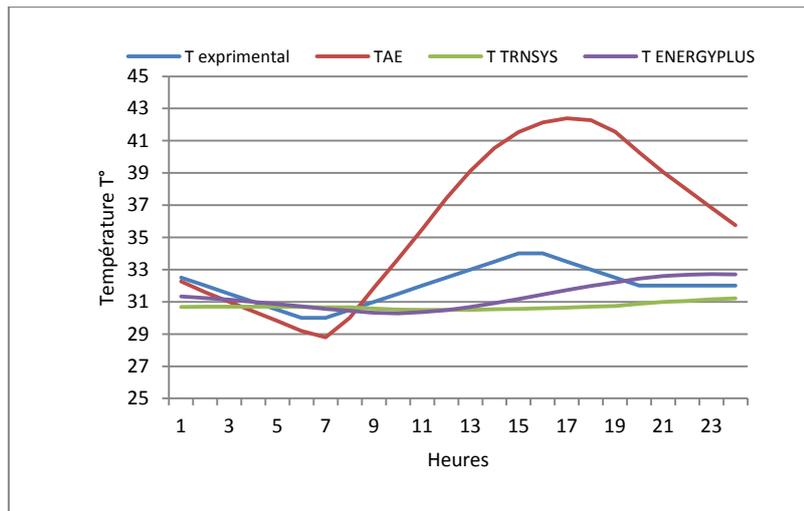


Figure 3.18 : Comparaison des mesures expérimentales et Simulation de la température d'une journée type pour le salon

La figure 3.18 montre deux courbes de température de simulation quasi similaires, du fait de la présence d'appareils de climatisation dans la période de mesure.

- **La cuisine**

La cuisine est la pièce qu'occupe des appareils électrique présente une puissance dissipée un facteur principal dans la variation de la température intérieur. La figure 3.19 montre les variations des températures dans cette pièce entre mesures expérimentales et de la simulation dans la journée type.

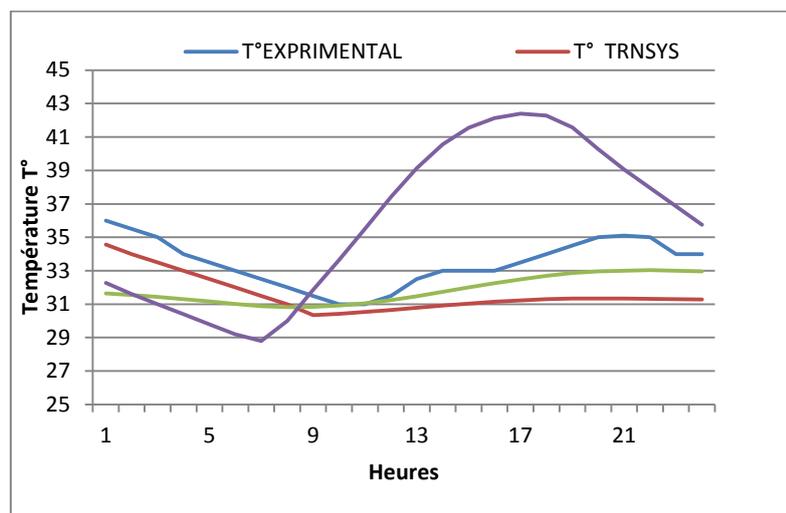


Figure 3.19 : Comparaison des résultats expérimentaux et de simulation pour la cuisine

Nous observons, dans la figure 3.19, que les évolutions des températures de deux résultats sont proches avec un écart entre les deux valeurs pour la même heure de

1.5 °C., causé par la présence des puissances dissipées de ces appareils (cuisinière, microonde, réfrigérateur et la machine à laver).

3.5.4. Résultats des mesures des consommations énergétiques selon les factures (par trimestre)

Les résultats, concernant la consommation énergétique, d'Electricité et du Gaz selon les factures SONELGAZ durant 4 trimestres, sont présentés dans le tableau suivant 3.9

Tableau 3.9 : La consommation d'Electricité et du Gaz selon les factures SONELGAZ durant 3 trimestres [SONELGAZ, 2017]

	<i>1^{er}</i> <i>Trimestre</i> <i>2018</i>	<i>4^{eme}</i> <i>Trimestre2017</i>	<i>3^{eme}</i> <i>Trimestre</i> <i>2017</i>	<i>2eme trimestre</i> <i>2017</i>
Electricité (KWh/Th)	281.00	878.00	1644.00	960.00
Mentant Ht	972.53	3845.30	7961.22	950.25
TOTAL ELECTRICITE(1)	1074.97	4493.57	9391.51	1350.25
Gaz (KWh/Th)	1109.20	385.40	498.00	250.00
Montant Ht	972.53	150.32	169.30	154.50
TOTAL GAZ (2)	296.56	163.85	184.54	124.25
Total Droits et taxes (3)	200.00	250.00	250.00	250.00
<i>Total CONTRIBUTION (4)</i>	632.14	2499.45	5174.79	521.23
Total des éléments Facturés (1+2+3-4)	939.39	2407.97	4651.26	1202.77

D'après avoir les factures existants de l'appartement de référence pour chaque trimestre, nous pouvons remarquer que la grande valeur de la consommation d'électricité est présenté au troisième trimestre durant la période estivale (d'environ 1644 kWh). Ainsi que le premier trimestre présente une consommation de 498 kWh pour le Gaz.

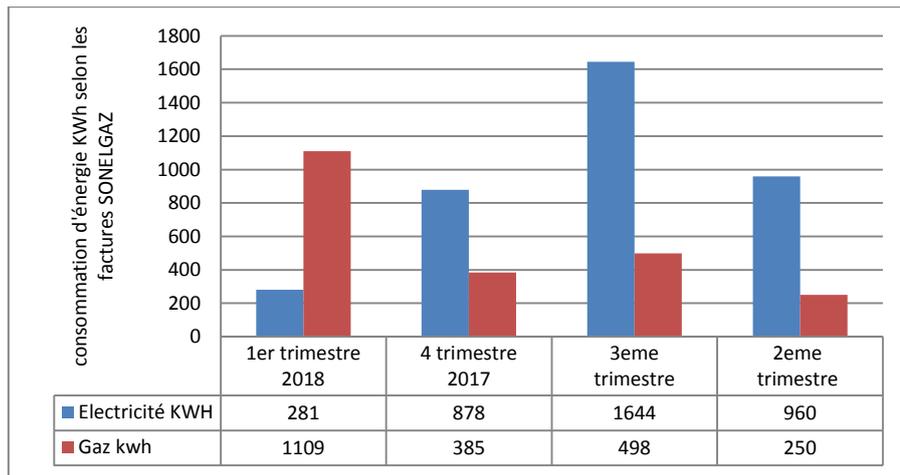


Figure 3.20 : Comparaison des consommations par trimestre KWh selon les factures SONELGAZ

Les résultats recueillis par les factures SONELGAZ sont considéré comme des résultats expérimentaux. Ces mesures sont à comparer avec les résultats d’analyse thermique dynamique qui seront l’objet de notre prochaine étape.

Les résultats, concernant la consommation énergétique, mesures expérimentales et de simulation durant toute l’année sont présentés dans le tableau suivant 3.10.

Tableau 3.10: Comparaison des consommations énergétiques pour l’Electricité et du Gaz entre la mesure expérimentale et la simulation

	1 ^{er} Trimestre 2018	4 ^{eme} trimestre 2017	3 ^{eme} Trimestre 2017	2 ^{eme} trimestre 2017
Consommation énergétique KWh expérimentale (facture)	1390.20	1263.4	2142.2	1278.65
Consommation énergétique KWh simulée	1420.25	1248.23	2130.75	1045.25

Pour les résultats de la facture, on observe que ses valeurs sont légèrement plus élevées que celles de la simulation. Pour les deux cas on observe un léger déphasage entre simulations et mesures. L’analyse thermique dynamique sur le logiciel TRNSYS donne une consommation énergétique de l’appareil de climatisation, dans l’appartement, de 215 kWh/m²/an comme une consommation annuelle.

3.6. CONCLUSION

L'objectif principal de ce chapitre est de valider notre travail en adoptant la simulation thermique dynamique comme une méthode de calcul de notre procédé énergétique et choisir l'outil le plus fiable.

Notre travail, fondé sur notre propre expérience acquise en traitant différents types de données, a montré que les résultats obtenus sont tout à fait adaptées aux questions posées. En particulier, elles permettent d'aborder dans le cadre thermique ou énergétique, d'identifier le comportement thermique de notre habitation réelle. De même, la possibilité d'analyser simultanément les résultats d'expérimentations et de simulation, laisse envisager l'étude de la permanence spatiale. Par ailleurs, ce travail a montré l'apport dans de nombreux cas des méthodes par comparaison avec d'autres stratégies ou méthodes d'analyses de données plus couramment utilisées. En revanche, il s'est également révélé une difficulté de mesurer ces paramètres, liés à la présence des occupants.

Finalement, l'intérêt d'une comparaison de résultats de simulation et de l'expérimentation pour un appartement de référence, est fortement lié à l'objectif de l'étude. Ainsi, les résultats de travail expérimental et de simulation montrent que l'ambiance, dans les pièces étudiées, est confortable pendant la période de climatisation. Les heures restantes, l'ambiance est très chaude et sèche : il y a alors absence de confort.

4.1. INTRODUCTION

Dans le but d’atteindre une amélioration de la performance énergétique des bâtiments résidentiels, nous allons proposer une certification énergétique comme une stratégie durable, en prend en compte la spécificité de la région à climat sec et chaud (la ville de Bechar). Pour cette raison, nous avons proposé d’étudier des systèmes passifs et mener des critères de performance selon la réglementation RT2012, adaptés au contexte. A ce faire, nous avons choisis un outil de simulation thermique dynamique TRNSYS pour évaluer les indices de performance énergétique retenus et du confort d’été. Pour l’étape suivante, une analyse économique et énergétique, de ces solutions sous la forme d’une étude multicritère est indispensable, afin de déterminer les meilleures valeurs limitées de chaque indice de performance.

4.1.1. Comparaison des données météorologiques des villes : Bechar, Tartous et Nice

Dans le but s’adapter des exigences de la règlementation RT2012, il est obligatoire de comparer les besoins en rafraîchissement de la ville de Bechar, Tartous et Nice. Les figures 4.1 ,4.2 et 4.3 présentent une comparaison du nombre de degrés-heures de chauffage et de rafraichissement par an, pour ces trois villes : Bechar, Tartous et Nice (la zone H3 selon RT2012).

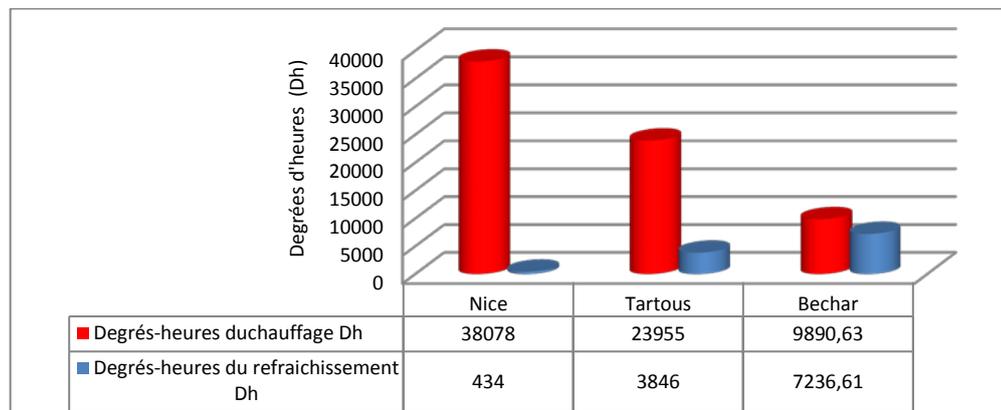


Figure 4.1 : Comparaison du nombre de degrés-heures de chauffage et de rafraichissement par an (Bechar, Tartous et H3Nice)

Lorsque l’écart de température entre le bâtiment et l’extérieur est de 1 [°C] pendant une heure, le « besoin de chauffage » est de 1 [Dh]. [MAES P., 2009]

La figure 4.2 signifie un besoin en chauffage très faible pour la ville de Bechar que pour le site de Tartous et de Nice. La différence en degrés-heures entre les climats de Bechar, et de Nice est de 28 187.37 Dh et 14064.37 Dh pour Tartous.

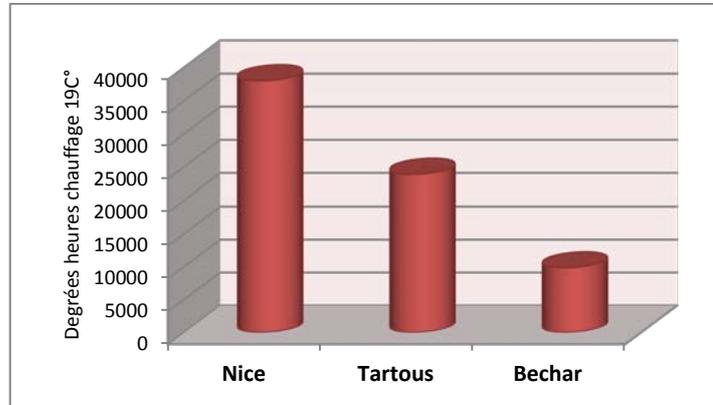


Figure 4.2 : Comparaison du nombre de degrés-heures par an de chauffage par an (Bechar, Tartous et H3Nice)

Nous pouvons observer, dans la figure 4.2, un besoin en rafraîchissement de notre site est plus important à celui de Nice et de Tartous, causé par la rudesse du climat (chaud et sec), où la grande période est estivale, nécessite un besoin de rafraichissement.

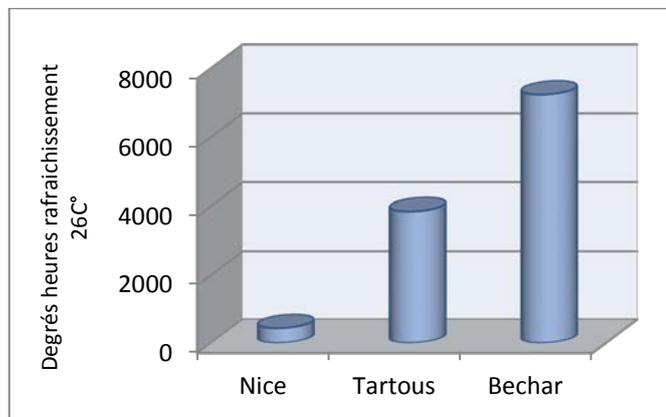


Figure 4.3 : Comparaison du nombre de degrés-heures de rafraichissement (Bechar, Tartous et H3Nice)

Rappelons que le nombre d’heures présentant une température entre 19 et 26 °C correspond à la période de confort sans chauffage ni climatisation est pour la ville de Bechar est de 3 045 h. (Figure 4.4)

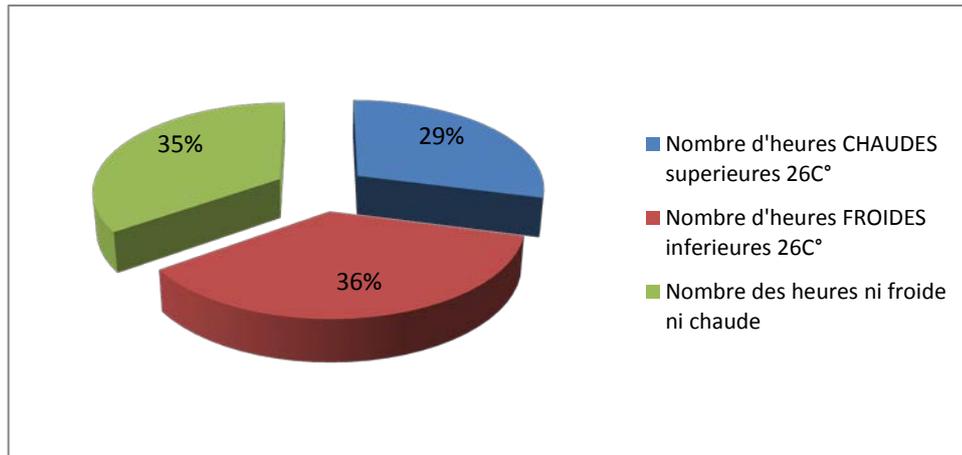


Figure 4.4 : Nombre des heures chaudes et froides pour la ville de Bechar

4.1.2. Les scénarios d'usage conventionnels

- a. **Consigne de température :** C'est la température de chauffage ou de climatisation souhaitée par les habitants pour leur confort. La température souhaitée en été est inférieure à 26 °C, et, en hiver, supérieure à 19 °C. Ces températures de confort sont liées à la présence des occupants dans les pièces, en fonction de son usage celle-ci implique donc la température de confort.

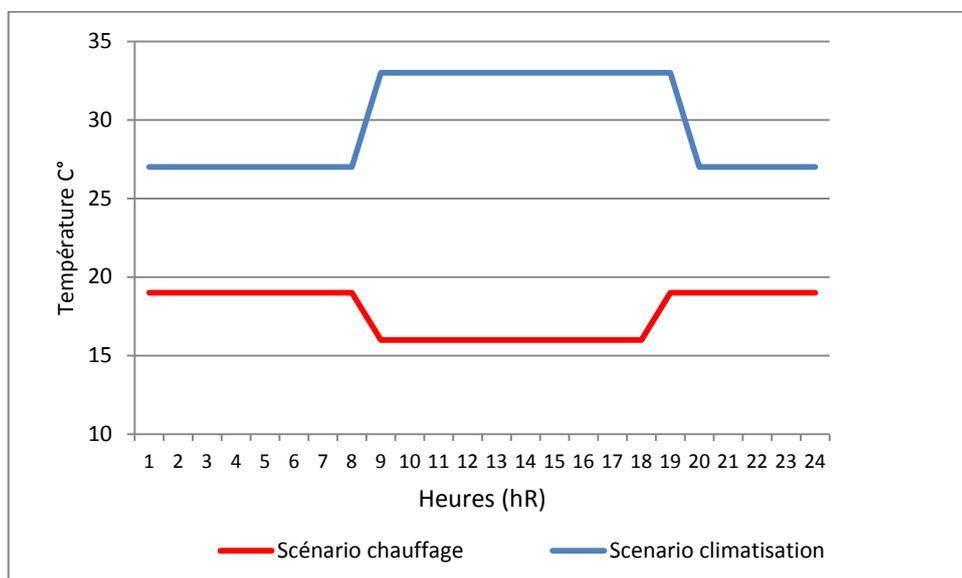


Figure 4.5 : Températures de consigne dans les logements collectifs en mode de chauffage et climatisation

Pour notre appartement de référence, nous avons choisi les scénarios les plus exigeants sans différencier les pièces (jour/nuit). Dans la figure 4.5, nous présentons deux scénarios hebdomadaires, l'un pour un jour d'hiver (en rouge), pendant lequel l'appartement est donc chauffé de 18 heures jusqu'à 8 heures du

matin, et l'autre pour un jour d'été (en bleu), pendant lequel l'appartement est climatisé de 12 heures jusqu'à 8 heures du matin.

b. Taux d'occupation

Ce scénario permet de prendre en compte les apports internes de chaleur et d'humidité liés à la présence humaine.

c. Puissance dissipée par les appareils électriques

La chaleur dégagée est présentée par la puissance dissipée par les appareils électriques (électroménager, ordinateur...), qui a un impact important sur les besoins énergétiques en chaleur et en refroidissement.

La réglementation RT2012 prend en compte la puissance de chaleur dégagée par des équipements en période d'occupation. Ces puissances ont été définies en prenant en compte les équipements suivants :

Tableau 4.1: Apports internes de chaleur [Guide RT2012., 2012]

Équipements pris en compte	Apport interne de chaleur en kWh/(m2.an)
Cuisson	3,7
Audiovisuel	6,8
Informatique	5,0
Lavage	0,6
Froid (fonctionnement continu)	8,0
Appareils ménagers	2,2
Total	26.3

4.2. ANALYSE CRITIQUE DE LA RT2012 POUR UNE EXTENSION A LA REGION DESERTIQUE

La RT 2012 se compose en trois exigences, focalisant sur la performance globale du bâtiment.

1. *Bbio_{max}* : l'exigence sur l'efficacité énergétique du bâti ou le besoin *bioclimatique* : est un indicateur de la performance énergétique du bâti, valorise les conceptions bioclimatiques comme l'orientation, la surface vitrée, la mitoyenneté et l'isolation. C'est donc une conception optimisée et plus performante pour l'enveloppe, composé de nombreux points de mesure (besoins en chauffage, refroidissement, éclairage...), indépendamment des systèmes. Le coefficient *Bbio_{max}* d'un projet est calculé comme suit :

$$Bbio_{max} = Bbio_{max} \text{ moyen} * (Mb_{géo} + Mb_{alt} + Mb_{surf}) \quad (\text{Équation 4.1})$$

[DURAND P., 2010]

- Moyen est une valeur moyenne définie par type d'occupation et par catégorie CE1/CE2 ;
- $Mb_{géo}$ est le coefficient de modulation selon la localisation géographique ;
- Mb_{alt} représente le coefficient de modulation selon l'altitude ;
- Mb_{surf} est, pour les maisons individuelles ou accolées, le coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou d'une partie du bâtiment.

2. Cepmax : L'exigence de consommation maximale en énergie primaire

Cepmax est présente les consommations énergétiques (chauffage, ESC, refroidissement, éclairage, auxiliaires). Il est modulé selon les émissions de gaz à effet de serre, afin d'encourager l'utilisation des énergies les moins émettrices de CO₂.

En moyenne, la valeur de Cep max s'élève à 50 kWhep / (m².an) d'énergie primaire, et comme pour le Bbiomax, des modulations sont introduites dans le Cep max selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur les moins producteurs de CO₂. [DURAND P., 2010]

La consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire, ou Cep max, est définie comme suit :

$$Cep \text{ max} = 50 * Mctype * (Mcgéo + Mcalt + Mcsuf + McGES) \quad (\text{Équation 4.2})$$

[DURAND P., 2010]

Où :

- Mctype représente le coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou d'une partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;
- $Mcgéo$ est le coefficient de modulation selon la localisation géographique ;
- $Mcalt$ est le coefficient de modulation selon l'altitude ;
- $Mcsuf$ est, pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, le coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou d'une partie du bâtiment.
- $McGES$: le coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur et de froid faiblement émetteurs en CO₂.

3. Tic : l'exigence de confort d'été dans les bâtiments non climatisés

La réglementation thermique de 2012 définit deux catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Ces catégories (CE1 et CE2) dépendent du type d'occupation et de la localisation (zone climatique, altitude, proximité de zones de bruit). Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de cinq jours très chauds d'été, n'excède pas un certain seuil. [BRIGITTI V., 2006]

4.2.1. Les exigences de moyens de la RT2012

Les exigences de moyens sont cinq exigences, dans la RT2012.

1. *Utilisation d'énergie renouvelable :*

C'est le rôle du maître d'ouvrage de mettre en place une solution d'ER :

- soit l'eau chaude sanitaire solaire thermique, alors le logement est équipé en minimum de 2 m² de capteurs solaires pour assurer la production de l'ECS ; [VELÁZQUEZ ROMO, 2015]
- soit raccordement à un RCU alimenté à plus de 50 % par une ENR de récupération ;

2. *Ratio de vitrage, ouverture*

Pour assurer un confort visuel en habitation, il est nécessaire de respecter le rapport entre la surface totale des baies et la surface habitable : Surface totale des baies \geq 1/6 de la surface habitable. Pour assurer un confort d'été, nous pouvons limiter le facteur solaire des baies et minimiser la surface ouvrante.

3. *Traitement des ponts thermiques*

Il est essentiel de traiter des ponts thermiques pour limiter les longueurs et leurs valeurs. Les articles 18 et 19 de la RT2012 stipulent :

« Les parois séparant des parties de bâtiment à occupation continue de parties de bâtiments à occupation discontinue doivent présenter un coefficient de transmission thermique, U, tel que défini dans la méthode TH-BCE 2012, qui ne peut excéder 0,36 W/ (m².K) en valeur moyenne » [GUIDE RT2012, 2016]

« le ratio de transmission thermique linéique moyen global, ratio des ponts thermiques du bâtiment, n'excède pas $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{ShonRT.K})$ ».

4. Perméabilité à l'air résidentiel

Il existe deux options :

- i. Mesure de perméabilité à l'air, réalisée par des opérateurs autorisés par le ministère en charge de la Construction. La perméabilité mesurée doit être inférieure à $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ de parois déprédatives, hors plancher bas en maison individuelle (MI) ; $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ de parois déprédatives, hors plancher bas en immeuble collectif d'habitation.
- ii. Application d'une démarche qualité agréée par le ministère en charge de la Construction. [VARENIO C., 2012]

5. Comptage d'énergie résidentielle

C'est un système à visée pédagogique, à l'adresse des occupants, de comptage (ou d'estimation) de la consommation d'énergie de chaque logement, par type d'énergie : chauffage, refroidissement, ECS, réseau de prises électriques, autres.

La méthodologie d'évaluation de ce label est simple :

- Une demande d'inscription à la phase de conception du projet via un formulaire disponible sur le site www.e-rt2012.fr ;
- une étude thermique complète est effectuée pour vérifier les exigences (Bbio, Cep, Tic), [VARENIO C., 2012]
- une attestation de prise en compte de la RT2012 sera délivrée pour avoir le permis de construire ;
- enfin, une fiche de synthèse est à transmettre à un contrôleur indépendant qui éditera l'attestation T2012 de fin de travaux. Il y a deux niveaux de certification : une étude thermique RT2012 intermédiaire (Bbio), ou une étude thermique RT2012 complète (Bbio, Cep et Tic).

En résumé, nous pouvons dire que seulement deux exigences (Cep et Tic) principales de la réglementation thermique 2012 sont applicables dans un environnement sub-saharienne, en raison de :

- la spécificité de choix dans la conception de l'enveloppe, comme la performance des équipements ;

- la difficulté d'intégrer les effets des zones climatiques (aride et semi-aride) et dans les calculs, la prise en compte du critère de confort d'été, déterminant sous les climats chauds et l'indisponibilité des logiciels pour calculer tous ces exigences.

Il nous semble que certaines exigences de moyens sont inadaptées dans notre environnement, par exemple : l'ECS solaire, le ratio d'ouverture et le comptage d'énergie résidentielle.

4.2.2. Évaluation de l'application de la RT2012 dans le contexte saharien

Pour avoir une vision complète sur la possibilité d'appliquer la RT2012 dans la région Saharienne, il nous paraît de vérifier des exigences figurant dans le règlement RT2012 (ECS solaire thermique, ENR, RCU, ratio de vitrage, ouverture, etc.).

Les calculs des températures intérieures et des besoins de chauffage, refroidissement et d'éclairage sont effectués au niveau du groupe ou zones. Ces calculs sont réalisés au travers d'un modèle dynamique, au pas de temps horaire, fondé sur des simplifications de transfert de chaleur entre le milieu intérieur et extérieur. [HANNACHI B., 2013]

a. Calcul de l'indice Bbio de notre cas d'étude

Le calcul de besoin bioclimatique Bbio est simple, et donné dans l'équation suivante :

$$B_{bio} = 2 B_{chauffage} + 2 B_{froide} + 5 B_{Éclairage} \quad (\text{Équation 4.3})$$

Il nous faut calculer Bbiomax. Pour cela, nous cherchons les valeurs des paramètres de l'équation suivante :

$$B_{biomax} = B_{biomax\ moyen} * (M_{b_{géo}} + M_{b_{alt}} + M_{b_{urf}}) \quad (\text{Équation 4.4})$$

— En ce qui concerne le Bbiomax moyen, la réglementation RT2012 exige deux valeurs de CE (CE1 = 60 pour les logements non climatisés, et CE2 = 80 pour les logements climatisés). [HQE association, 2014]

— En ce qui concerne le MB géo, la réglementation RT2012 impose des valeurs en fonction de la zone climatique et de la zone géographique du site, soit :

Nous pouvons remarquer que le paramètre Mbgéo atteint une valeur de **0,7** pour la zone la plus chaude en France (H3 qui correspond au sud de la France).

Une analyse logique de ces valeurs montre leur corrélation avec les besoins en chauffage. [HQE association, 2014]

La valeur de M_{balt} est donnée selon l'altitude du bâtiment :

Altitude (m)	0 à 400 m	401 à 800	≥ 800 m
M_{balt}	0	0.2	0.4

Pour notre site, l'altitude est de 809 m, donc $M_{balt} = 0.4$

Pour notre cas où le SHONRT = 78.75 m², nous allons considérer que $M_{surf} = 0$. Nous pouvons considérer que $M_{cGES} = 0$, du fait de l'absence d'utilisation de bois-énergie, et de ce qu'aucun réseau de chauffage ou de climatisation n'existe dans notre cas.

$$B_{biomax} = B_{biomax \text{ moyen}} * (M_{b_{géo}} + M_{b_{alt}} + M_{b_{surf}}) \text{ (Équation 4.5)}$$

La valeur de B_{biomax} est donc la suivante :

$$B_{biomax} = 80 * (0.7 + 0 + 0.4) = 88 \text{ (pour les bâtiments climatisés)}$$

b. Calcul de l'indice Cep de notre cas d'étude

Cette valeur est présentée dans l'équation suivante :

$$Cep = Cep_{-ch} + Cep_{-clim} + Cep_{-ecl} + Cep_{-ECS} + Cep_{-auxv} + Cep_{-auxs} \text{ (Équation 4.6)}$$

En ce qui concerne le M_{ctype} , le coefficient de modulation selon le type de bâtiment CE1/CE2, (CE1 = 1 pour les logements non climatisés, et CE2 = 1,2 pour les logements climatisés). Compte tenu du climat de notre région, on garde la valeur **CE2=1,2**.

- Pour le coefficient M_{cgeo} , nous adoptons la valeur de **0,8** pour notre site (l'altitude pour notre site, est de 809 m, donc **$M_{calt} = 0,4$**).

- Nous allons considérer que **$M_{c surf} = 0$** et **$M_{cGES} = 0$** , du fait de l'absence d'utilisation de bois-énergie, et de ce qu'aucun réseau de chauffage ou de climatisation n'existe dans notre cas.

La valeur de Cep max est donc la suivante :

$$Cep \text{ max} = 50 \times M_{ctype} \times (M_{cgeo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES}) \text{ (Équation 4.6)}$$

La valeur de Cep max est donc la suivante : $Cep \text{ max} = 50 \times 1.2 \times (0.8 + 0.4 + 0 + 0) = 72 \text{ kWhEP/m}^2$ (pour les bâtiments climatisés)

4.2.3. Vérification de l'application des exigences de moyens

La possibilité d'appliquer ces exigences, demande d'avoir la disponibilité technique sur notre terrain d'étude, ce qui implique un surcoût raisonnable. L'analyse nous montre d'avoir la possibilité d'adopter quelques exigences de moyens, et d'en écarter d'autres. Les exigences de moyens à adopter seront :

- la fixation d'un ratio de vitrages et d'ouvertures (qui existe déjà dans les habitudes de construction).
- L'exécution d'une bonne isolation sur site par un coefficient de transmission thermique U qui ne peut excéder 0,36 W/ (m².K) en valeur moyenne.
- Traitement des ponts thermique

4.3. SIMULATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DE BATIMENT DE REFERENCE

4.3.1. Modélisation à partir de TRNSYS

Contrairement à la grande majorité des autres logiciels de simulation, TRNSYS n'est pas axé que sur l'évaluation de la performance des systèmes d'énergie thermique et électrique. Il peut aussi être utilisé pour effectuer la modélisation d'autres types de systèmes dynamiques, tels que les flux de trafic ou les processus biologiques. [DJELLOUL A. et al., 2013]

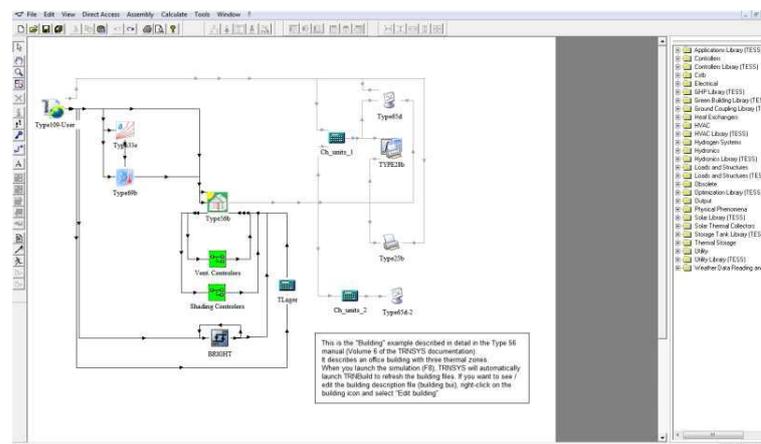


Figure 4.6 : Schéma de fonctionnement de TRNSYS

Nous effectuons la simulation thermique dynamique de l'appartement de référence en utilisant le logiciel TRNSYS. En ce qui concerne le système de chauffage, nous avons modélisé des radiateurs électriques dans les pièces pour

le chauffage. Pour le système de climatisation, des climatiseurs splits installée dans la chambre et le salon.

4.3.2. Description de l’enveloppe de l’appartement de référence

Le bâtiment de référence choisi dans ce cadre tant en termes d’architecture et d’usage ainsi que les conditions climatiques de la ville Bechar sont représentatives d’une grande part des logements résidentiels de la région aride et semi-aride, et plus particulier la ville de Bechar.



Figure 4.7 : Plan de l’appartement étudié

Tableau 4.2 : Description des matériaux et des systèmes de construction. Rappelons que nous nous sommes basé sur le cahier technique du CS-32(de l’intérieur à l’extérieur)[Règlementation algérienne CS-32 des habitations, 1979]

Enveloppe « référence »	Description	Epaisseur en m	Conductivité KJ/m	Densité Kg/m ³	U-value (W/m ² k)	Epaisseur (m)
Mur extérieur	Enduit extérieur en plâtre	0.015	0.35	750	2.71	0.18
	Bloc en parpaing	0.15	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.015	0.35	750	2.67	0.14
	Bloc en parpaing	0.10	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		
Plancher bas en contact avec le sol	Carrelage	0.03	1	936	2.48	0.27
	Mortier	0.02	0.35	1600		
	Sable du gravier	0.05	0.03	25		
	Dalle en béton lourd	0.150	1.75	2200		
	Mortier	0.010	1.75	2200		
Plancher/Toiture	Mortier	0.03	0.23	1000	0.25	0.30
	Sable du gravier	0.05	0.03	25		
	Dalle en béton armé	0.04	1.75	2200		
	Bloc en hourdis	0.16	1.14	1850		

	Enduit en mortier	0.02	0.35	1600	
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes Vitrage	Facture solaire Sw Ug vitrage V/H Uf cadre Vitrage simple				
	u-value	5.74			
	g-value	0.87			
Ouvertures	Bois	0.05	0.20	600	

Une deuxième description, concerne les équipements énergétiques, deux types d'informations sont recherchés : les consommations énergétiques de ces appareils et systèmes et sa position dans l'appartement. Toutes ces informations sont détaillées dans le tableau 4.3 :

Tableau 4.3: Installations électriques dans chaque pièce de l'appartement de référence [CONDOR, Algérie]

Pièces	Type	Appareils	N°
Salon	Lampe spot 40W	Unité split 13000 Btu.	1
		TV 120 w	1
Cuisine	Lampe 50 W	Réfrigérateur 312KWH/ans 0.856kwh/jour	1
		Lave-linge 370 W pour 7kg	1
		Micro-ondes 700 W pour 25l	1
		Four du Gaz	1
		Ventilateur 40-60W	1
Chambre parentale	Lampe 50 W	Unité split 12000Btu.	1
Chambre d'enfant	Lampe 20 W	-	1
Toilette et SDB	Lampe 20 W	-	2
Hall	Lampe 20 W	-	1

Tableau 4.4 : Consommations des appareils en fonctionnement [CONDOR, Algérie]

Appareil	Puissance w	Emissions horaires de CO ₂ (en grammes)
Ordinateur	80-360	52-234
Aspirateur	700-2000	455-1300
Sèche-cheveux	800-2000	520-1300
Bouilloire électrique	300-3200	195-2080

4.3.3. Simulation du bâtiment de référence et évaluation de la performance énergétique

L'indice « Taux d'inconfort » présenté dans le tableau 4.5 (présente le pourcentage de temps d'occupation durant lequel la température de la zone est supérieure à 27 °C).

Le résultat de simulation sous TRNSYS de l'appartement de référence (avec un appareil de climatisation dans le salon, et la chambre parentale pour une période d'exemple choisie (la semaine la plus chaude en été) donne les nombres d'heures d'inconfort et le taux d'inconfort indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 4.5 : Valeurs des apports solaires et taux de confort dans chaque pièce (période : semaine 30)

<i>Zones</i>	<i>Apports solaires bruts KWh</i>	<i>Heures > T°Inconfort h</i>	<i>Amplification de T°Ext %</i>	<i>Taux d'inconfort %</i>
Salon	54	24	64.30	25.12
Chambre parentale ch1	48	51	55.2	42.75
Chambre bébé ch2	35	70	23.17	100
Cuisine	4	56	31.5	100
SDB+WC	10	14	14.75	100

Nous pouvons constater dans ce tableau que le taux d'inconfort pour la chambre parentale est de 42,75 %. Ces heures d'inconfort se produisent durant le temps où l'appareil de climatisation est en veille et que les occupants sont à l'extérieur. Pour les autres zones thermiques, nous pouvons remarquer un état d'inconfort constant.

En été, la température de confort pour les occupants est de 26 °C (la température de consigne). La mesure de simulation dynamique dans toutes les pièces montre que la température dépasse la valeur de température de confort. Il nous faut donc chercher des solutions passives pour améliorer cette situation d'inconfort.

4.4. AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE PAR DES SYSTEMES PASSIFS

En vue d'un état de l'absence du confort des habitations, il est indispensable de rechercher des solutions techniques adoptables et cohérentes avec la région en matière de conditions climatiques extrêmes et d'application (techniques disponibles et savoir-faire locaux). L'objectif est de mettre en place un confort et améliorer des valeurs limites aux indices réglementaires afin de réduire la consommation énergétique dans les logements résidentiels à Bechar.

Dans notre cas de notre étude, nous devons proposer des solutions passives sur l'enveloppe, vis-à-vis leurs rentabilités financière. Cela se traduit par la mise en place de principes bioclimatiques et avoir une construction optimale au niveau énergétique, en évitant l'utilisation de systèmes actifs.

4.4.1. Les principes bioclimatiques de l'amélioration thermique du bâtiment

Dans le cadre de l'amélioration thermique du bâtiment, pour la région saharienne, il est nécessaire de la mise en place des principes bioclimatiques pour des solutions passives sur l'enveloppe, vis-à-vis leurs rentabilités financière.

1. Réduire les apports internes :

Il est nécessaire de limiter les apports internes de chaleur, surtout en été. Malgré tous les efforts, il est difficile de réduire les apports internes de chaleur, qu'ils sont variable en fonction de l'activité de l'occupant.

2. Focaliser les apports externes :

Il s'agit essentiellement de réduire les apports de chaleur extérieure dus à :

- la pénétration directe du soleil par les surfaces vitrées,
- la pénétration indirecte par les murs et la toiture,
- la pénétration de l'air extérieur par les ouvertures et infiltrations, lorsque celui-ci est plus chaud que l'air intérieur.

Des solutions à mettre en œuvre pour ce faire sont:

- a) un vitrage performant ;
- b) une protection solaire

c) une isolation qui joue un rôle très important, notamment pour le confort d'hiver, car les pertes thermiques sont réduites.

En été, l'isolation permet tout de même de diminuer les apports de chaleur par les parois, mais, pour cela, elle doit être mise en œuvre par l'extérieur et être couplée à la ventilation et bénéficier de l'effet d'inertie des parois. Si l'isolation est à l'intérieur du bâtiment, la chaleur peut entrer mais reste stockée dans les structures intérieures. L'isolation par l'extérieur limite également les ponts thermiques et permet d'utiliser l'inertie des murs. [CHAHWANE L., 2011] [IBRAHIM M., 2015]

4.4.2. Les choix des solutions bioclimatiques pour la région désertique

- a) **En période estivale** : pour cette période, il doit choisir ces solutions suivantes pour assurer un confort d'été :
- Choisir *des dispositifs d'ombrage* comme brise soleil, masques architecturaux et des stores pour empêcher la pénétration des rayons solaires. l'énergie solaire pénètre dans les locaux au travers de vitres non protégées sous diverses formes, et surtout de manière directe. [BRIGITTI V., 2006]
 - Créer *une ventilation naturelle passive* par des concepts architecturaux, intégrant l'environnement du bâtiment, son orientation par rapport au soleil et aux vents dominants
 - Choisir une forte *Inertie* par des matériaux d'une masse thermique qui permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe ; cette masse peut jouer un rôle d'accumulateur au cœur du bâtiment.
 - Choisir une bonne orientation selon le vent dominant et de l'ombre.
- b) **En période hivernale : confort d'hiver**
- Utiliser *Fenêtres performantes* : c'est un élément essentiel de l'approche bioclimatique, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel.
 - Choisir *Isolation extérieure* : peut d'améliorer le confort pour l'hiver comme pour l'été.

- Intégrer **des masques horizontaux** pour provoquer une ombre à rayonnement direct.
- Utilisation de systèmes de rafraîchissement passive

Les systèmes de rafraîchissement peuvent être divisés en deux catégories : les systèmes actifs qui consomment de l'énergie (sur-ventilation mécanique, climatisation par dessiccation, ventilateur de plafond...) et les systèmes passifs qui n'en consomment pas (la ventilation naturelle). Ces systèmes ont généralement des impacts environnementaux plus faibles que ceux des appareils de climatisation mais ont l'inconvénient d'avoir une capacité de refroidissement limitée et ne permettent-ils pas toujours d'obtenir un confort total comme le permettrait une climatisation bien dimensionnée. [NIELSEN S., 2012]

- *Passive* : par la mise en œuvre de concepts architecturaux intégrant l'environnement du bâtiment, son orientation par rapport au soleil et aux vents dominants, [JEAN SOUME, 2004]
 - *ou active*, par une ventilation forcée la nuit pour évacuer l'air intérieur chaud et le remplacer par l'air extérieur frais. Il faut noter que ce principe fonctionne lorsque la différence de température entre le jour et la nuit est importante.
- Utiliser des matériaux de constructions d'une grande masse thermique permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe ; d'une part et d'accumulateur au cœur du bâtiment, d'autre part.
 - préférer une orientation de la conception selon le vent et de l'ombre pour le besoin en chauffage en hiver.
 - Choisir des dispositifs d'ombrage par des protections solaires, horizontales ou verticales, comme des stores, des masques ou des brises solaires.

4.4.3. Les systèmes passifs proposés pour l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment

- **Système 1: Inertie thermique**

Pour augmenter l'inertie de notre bâtiment, nous allons remplacer les murs extérieurs par une double paroi avec une lame d'air qui augmentent la résistance thermique R. Nous montrons ces détails dans la figure 4.8.

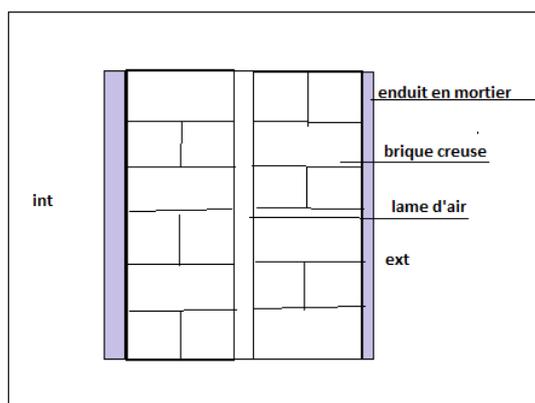


Figure 4.8 : Composition des murs extérieurs et intérieurs [ROULET C.A., 1987]

- Système 2 : Fenêtres performantes

Nous allons remplacer les fenêtres à simple vitrage, sur le bâtiment existant, par des fenêtres performantes (fenêtres composées de double vitrage peu émissif, de type fenêtre 1 vantail, avec un facteur de clair de 0,7) valeur tabulée de la réglementation thermique algérienne CS32. Les caractéristiques de ces vitrages sont données dans le tableau suivant :

Tableau 4.6 : Caractéristiques des vitrages (simple et double)[DTR CS32, 1998]

Description	Nature de menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Simple vitrage	Bois	5.0	5.5
	métal	5.80	5.6
Double vitrage	Bois	3.3	3.5
	métal	4.0	4.3
Triple vitrage	-	-	-

- Système 3 et 4 : L'isolation par l'extérieur des parois verticales et horizontale

Selon notre enquête sur site, plusieurs techniques d'isolations sont existantes sur le marché local aujourd'hui. Les matériaux d'isolation choisis dans notre étude est une technique d'isolation thermique par l'extérieur, utilisant des plaques en polystyrènes expansées, de 8 cm placés à l'extérieur, et 4cm pour les toitures.

Il faut isoler au maximum le bâtiment vis-à-vis de l'extérieur. Le matériau isolant doit être placé à l'extérieur, ce qui permet de supprimer les ponts thermiques (Voir la figure 4.9) et d'augmenter l'inertie thermique. [MARCHAL T., 2014]

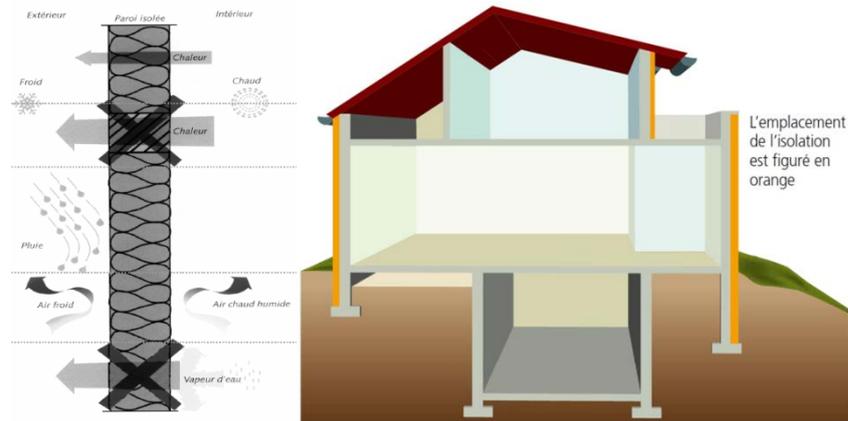


Figure 4.9 : L'effet de l'isolation thermique par l'extérieur

- **Système 5 : Protection solaire horizontale**

Les protections solaires retenues dans notre étude sont : des masques intégrés horizontaux, qui sont choisis avec une largeur constante au-dessus de la toiture pour provoquer une ombre à rayonnement direct qui est fonction de son azimut α et de sa hauteur h . [FERNANDEZ P. LAVIGNE P, 2009]

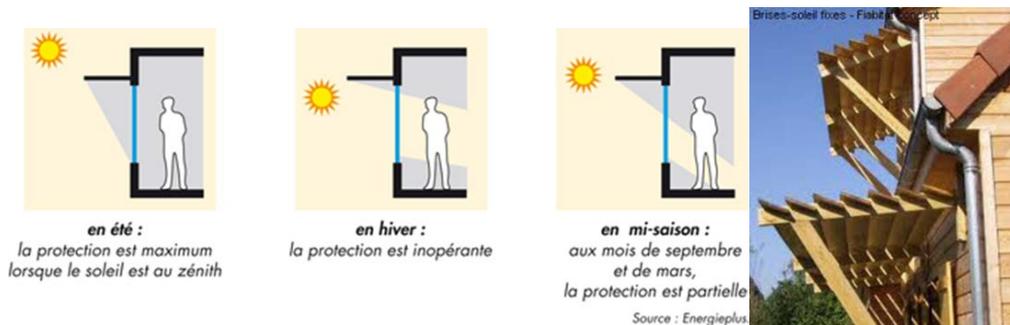


Figure 4.10 : La protection horizontale en été, l'hiver et en mi-saison [FERNANDEZ P. LAVIGNE P, 2009]

Les casquettes constituées par le bâtiment lui-même sont intéressantes. Ils limitent la pénétration du rayonnement solaire en été tout en permettant l'apport solaire en hiver en façade sud principalement (Figure 4.12).

- **Système 6 : Ventilation nocturne et compacité**

La ventilation des bâtiments répond à la satisfaction des besoins d'hygiène et de confort des occupants. Dans le cadre du rafraîchissement passif, la ventilation est un principe majeur pour évacuer l'air chaud de l'intérieur de bâtiment et importer l'air frais de l'extérieur.

Ce système présente plusieurs avantages, notamment l'absence de coût énergétique, mais il exige une bonne conception du bâtiment, qui doit permettre un courant d'air traversant les fenêtres, lesquelles doivent être bien positionnées par rapport à la direction des vents dominants (voir figure 4.11).

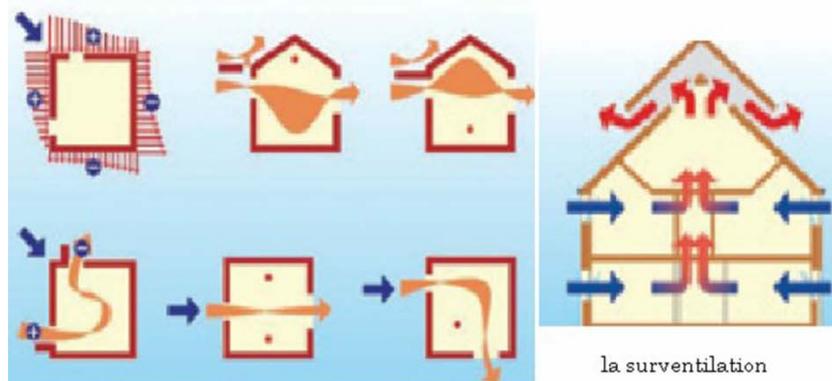


Figure 4.11 : La surventilation naturelle en coupe et en plan [FERNANDEZ P. LAVIGNE P, 2009]

Tableau 4.7 : Description de différents systèmes passifs étudiés

Composition	Description	Epaisseur en (m)	U-Value (W/m ² K)
Isolation des parois opaques extérieures	- Enduit extérieur	0.02	0.29
	- Enduit de finition	0.02	
	- Enduit en polyuréthane	0.02	
	- Plaque en polystyrène expansé	0.08	
	- Brique rouge	0.02	
	- Enduit en plâtre	0.02	
Isolation de la toiture	- carrelage	0.02	0.77
	- mortier	0.02	
	- sable et gravier	0.05	
	- béton lourd	0.04	
	- Polystyrène expansé	0.04	
	- Enduit de finition	0.02	
	- Bloc en hourdis	0.16	
	- mortier	0.01	
- Peinture blanche	0.03		
Isolation du plancher bas	- carrelage	0.02	0.27
	- mortier	0.02	
	- sable et gravier	0.05	
	- béton lourd	0.25	
	- mortier	0.01	
Inertie thermique	- Enduit Extérieur	0.015	0.69
	- Brique rouge creuse	0.20	
	- Lamé d'air	0.02	
	- Brique rouge creuse	0.10	
	- Enduit en plâtre	0.02	
Ventilation naturelle Compacité	<i>Facteur de compacité</i> A/V m ² /m ³		
	Bâtiment référence	Bâtiment avec une cour	Bâtiment avec un patio
	0.64	0.40	0.09

Protection horizontale	Dalle horizontale de 1m dans la façade Sud compose de : (Toi terrasse inversé) : - Placoplatre - Béton lourd - Feutre bitumeux			0.29	0.32
Fenêtre performante	<i>U-value</i>	<i>g-Value</i>	<i>T.sol</i>	<i>Rf- sol</i>	<i>Facteur solaire</i>
	2.95	0.7 7	0.72	0.12	0.45

4.5. EVALUATION DES SYSTEMES PASSIFS POUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE

4.5.1. Évaluation du comportement thermique du bâtiment (hiver/été)

Après avoir saisi toutes les données de notre appartement, nous avons effectué une simulation thermique dynamique sur deux périodes, la première (Du 7janvier au 13janvier) et la deuxième d'une semaine (du 18 juillet au 24 août). Deux types de résultats étaient recherchés : le premier concerne les courbes de température intérieure dans les zones (Nord : la chambre et Sud : Cuisine).

4.5.2. Comportement de la zone thermique nord (chambre) en été

La simulation est effectuée, premièrement, pendant la semaine la plus chaude de notre site. Il s'agit de la semaine 30 (du 18 juillet au 24 Juillet).

Le choix de cette zone a pour but de définir l'effet des systèmes passifs proposés sur une zone à faible exposition au soleil, par rapport aux autres pièces. Dans la figure 4.12 nous pouvons voir l'évolution de la température extérieure TAE et celle de la température de référence sans système Tréf et température intérieure des systèmes appliqués Tai. Nous pouvons constater une diminution de température intérieure selon le système appliqué. L'effet des systèmes proposés est très faible, de l'ordre de 0,25 C par rapport à la température de référence. Ce résultat est justifié du fait de l'orientation au nord, qui est caractérisée par l'absence des apports solaires directs.

L'observation de ces courbes montre que l'évolution de la température est très proche de celle de la température de référence, ce qui est normal dans le cas d'une amélioration passive.

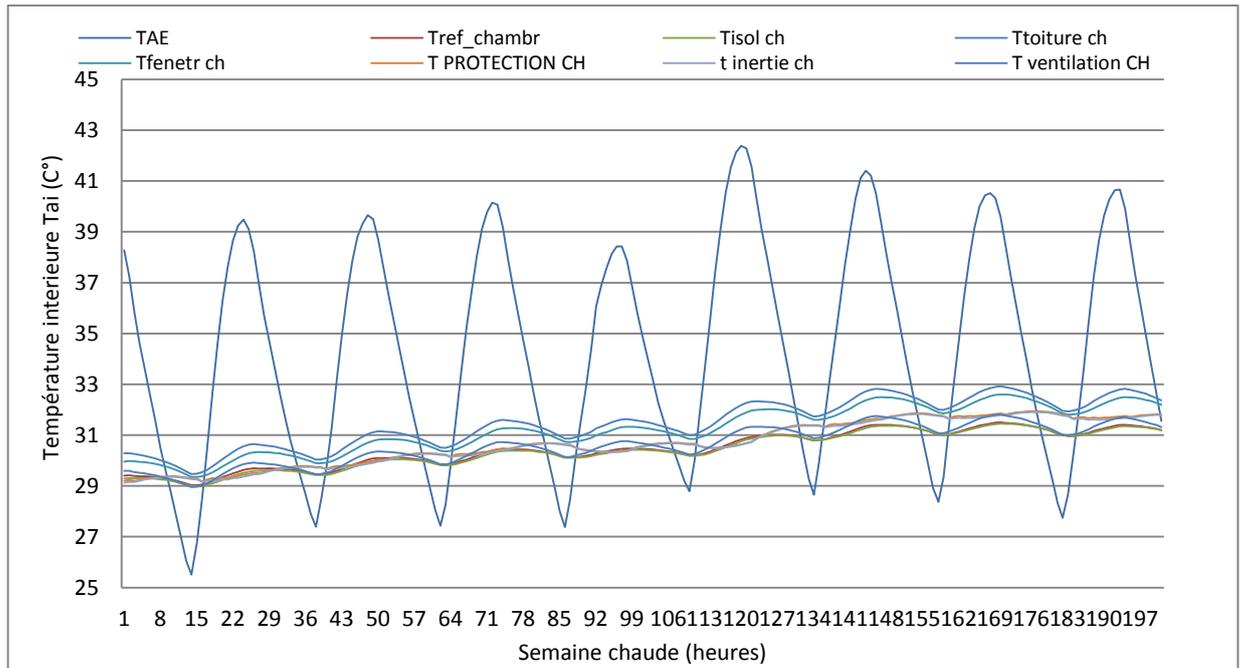


Figure 4.12: Évolution de la température selon les systèmes passifs de la zone nord « la chambre » pour une semaine la plus chaude (semaine 30, zone nord)

Pour la majorité des systèmes appliqués, une diminution de température de 0,6 °C en moyenne est constatée pour l'isolation des parois opaques et 0,8 °C pour la ventilation nocturne montre une baisse dans la journée et de 1,6 °C la nuit. Le système d'inertie nous permet une diminution des amplitudes de température, ce qui se traduit par des températures maximales plus faibles (0,9 C), mais également des températures minimales plus élevées (0,7 °C). De la même manière, les fenêtres performantes permettent de réaliser une diminution de la température maximale de l'ordre de 0,3 °C, et une augmentation des températures minimales de 0,1 °C. (Voir la figure 4.13)

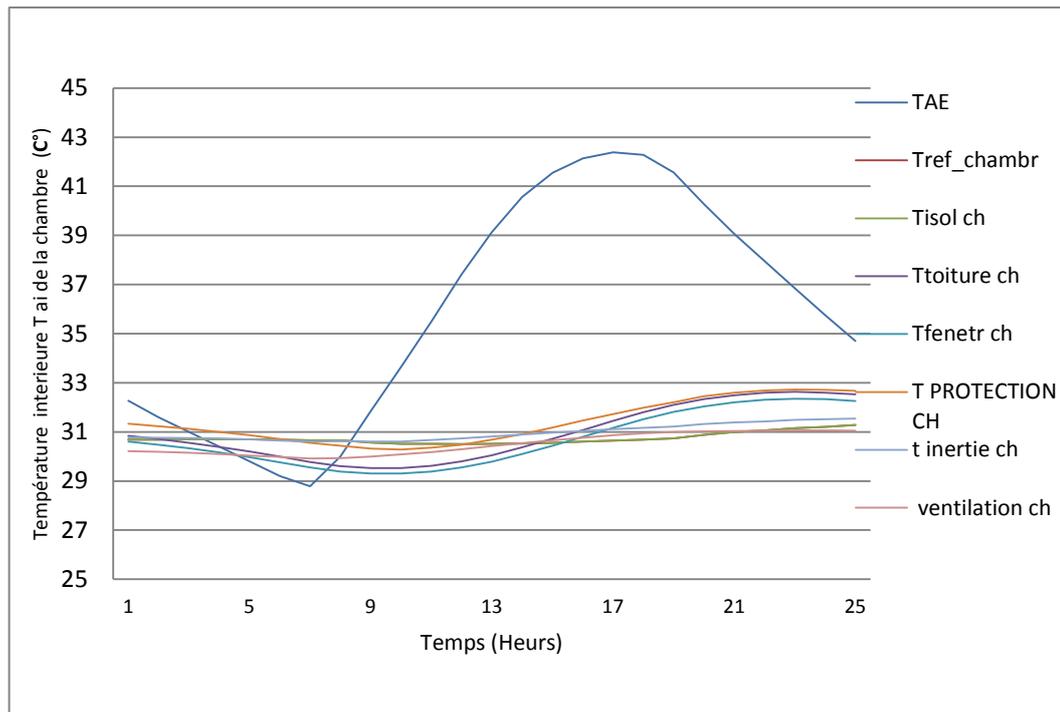


Figure 4.13 : Évolution de la température selon les systèmes passifs de la zone nord « la chambre » pour une journée (21 JUILLET, zone nord)

4.5.3. Comportement de la zone thermique sud (Cuisine)

Nous allons présenter les courbes de température intérieure T_{ai} dans la zone située au sud la plus exposée au soleil du fait de son orientation : la cuisine. Les mêmes systèmes sont appliqués pour déterminer l'évolution des températures.

L'observation des figures 4.14 et 4.15 montrent des résultats similaires pour les systèmes étudiés. Une baisse moyenne en température de 0,45 °C et 0,1 °C de la protection horizontale et l'isolation de la toiture. Les résultats obtenus pour l'isolation donnent un meilleur résultat, en diminuant la température en moyenne de 1,25 °C durant la journée et de 0,95 °C durant la nuit. C'est l'effet de l'isolation de diminuer les apports solaires et de chaleur extérieure, a un impact fort qui explique cet effet positif. La diminution des amplitudes de température, qui a pour origine le phénomène de déphasage, caractérise la courbe de température du système d'inertie, avec une augmentation de la température dans la nuit de 0,7 °C en moyenne.

Au contraire des systèmes précédents, les fenêtres performantes augmente la température intérieure dans la journée de 0,62 °C, en moyenne, ce qui traduit la conservation de la chaleur à l'intérieur. Cette augmentation de la température due au fait de l'augmentation du facteur solaire de ces vitrages SW. (vitrage double)

Nous pouvons conclure que systèmes permettent une diminution de la température (sauf les fenêtres performantes), qui reste toujours plus élevée que la température de confort (27 °C°). Il y a donc nécessité d'assembler entre ces systèmes.

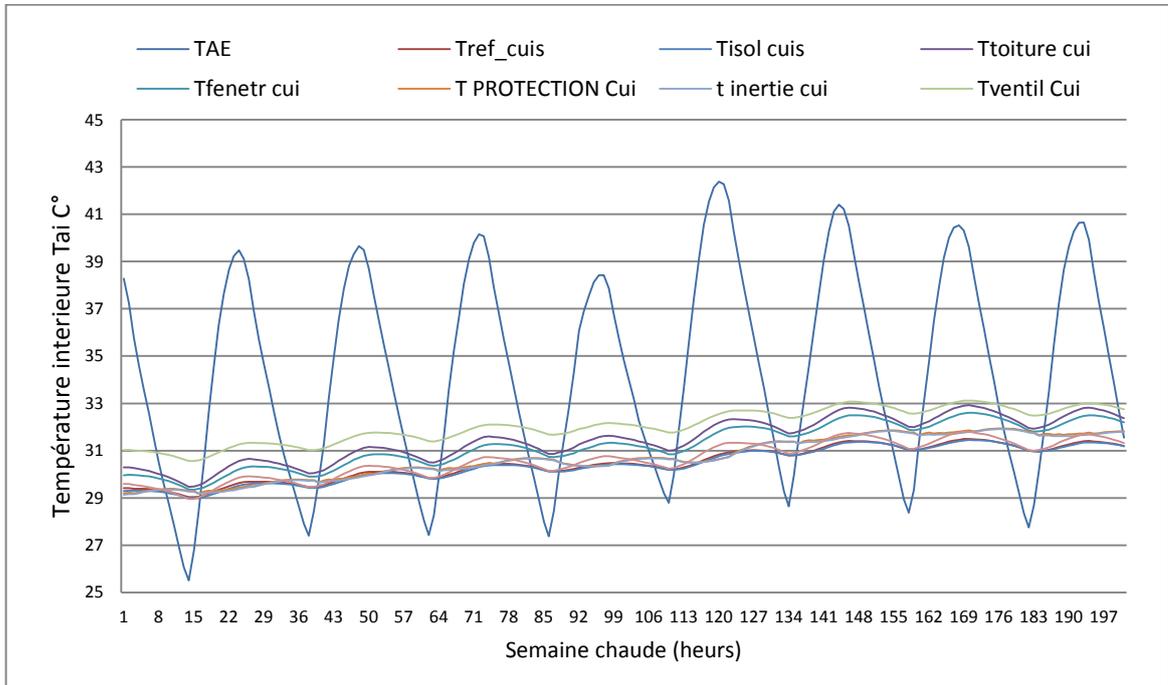


Figure 4.14: Évolutions de la température selon les systèmes passifs de la zone sud « la cuisine » (semaine 30, zone sud)

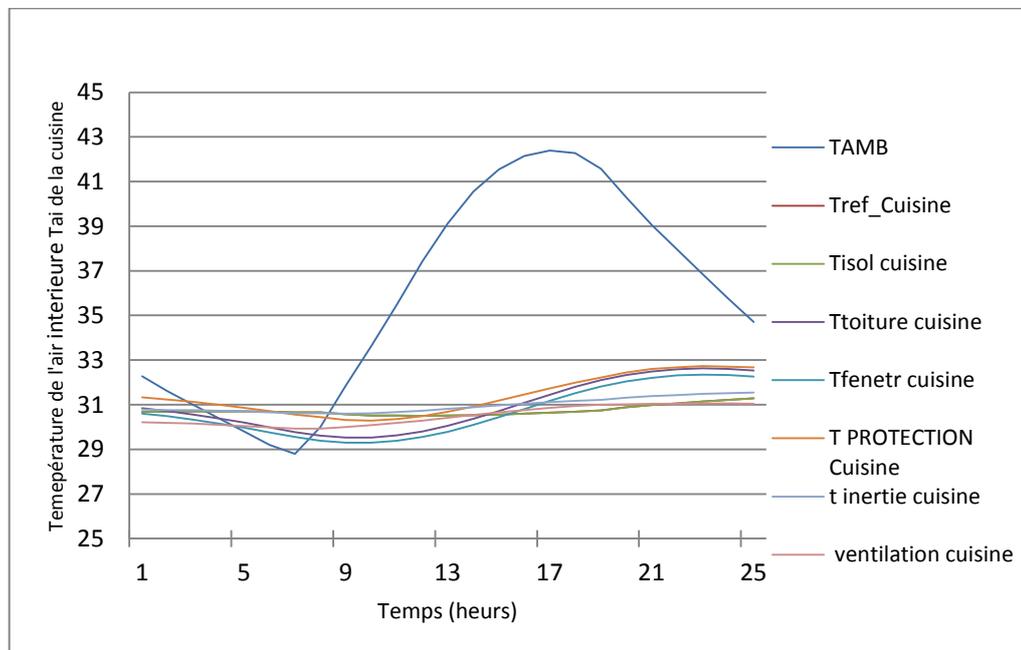


Figure 4.15 : Évolution de la température selon les systèmes passifs de la zone sud « la cuisine » (21 juillet, zone sud)

4.5.4. Comportement de la zone thermique nord (chambre) en hiver

La simulation est effectuée, en deuxième phase, pendant la semaine la plus froide de notre site. Il s'agit de la semaine 10 (du 7 janvier au 13 Janvier).

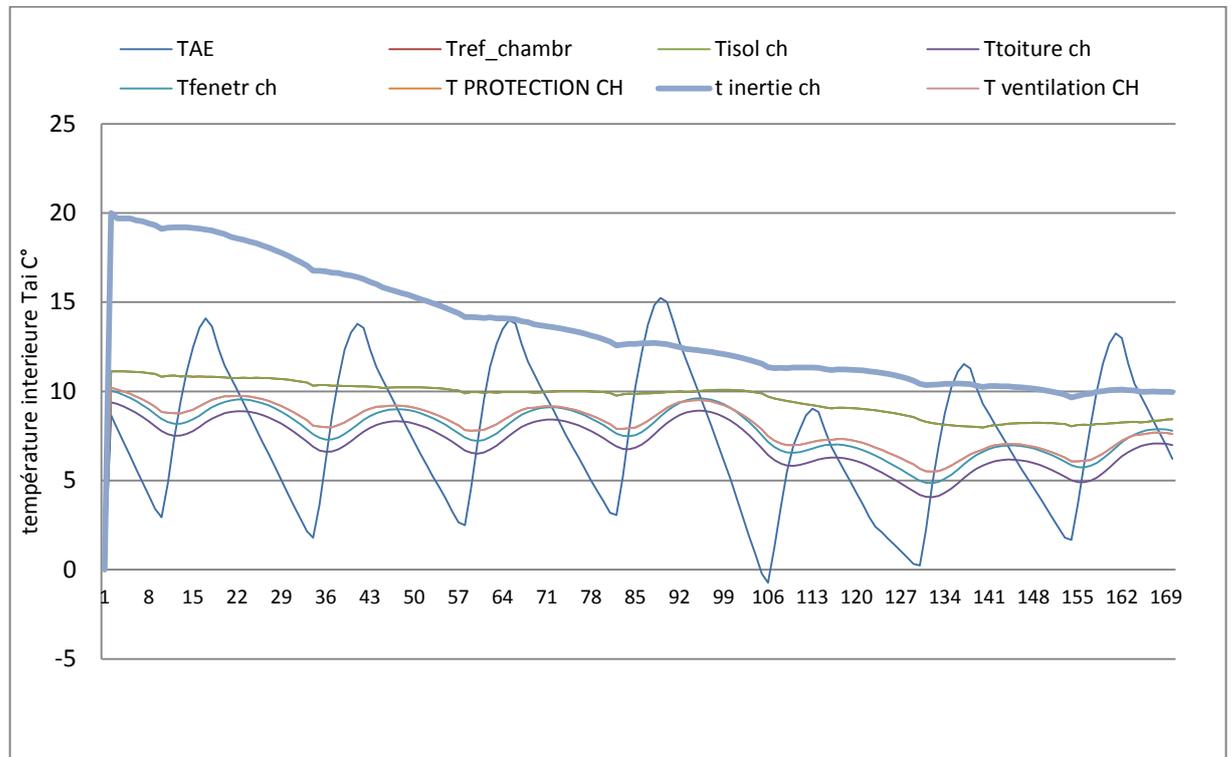


Figure 4.16 : Évolution de la température Tai selon les systèmes passifs pour la semaine 10 (7 janvier à 13 janvier, zone nord)

Le système ayant le plus d'effet positif en hiver est le système d'inertie, puis l'isolation des parois opaques. Une augmentation de 3 °C en moyenne durant la journée comme durant la nuit grâce au phénomène de déphasage en diminuant l'amplitude de la température de 3.5 °C en moyenne.

Les fenêtres performantes augmentent aussi la température de 1.2 °C en moyenne durant la nuit, grâce à leur effet d'isolation ; par contre, l'augmentation du facteur Sw (FS) a plus d'influence sur la période d'été que d'hiver. Les systèmes d'isolation de la toiture, la protection horizontale et La ventilation naturelle, ont permis d'augmenter la température de 0.75 °C en moyenne pendant toute la journée, ce qui nous semble logique, du fait qu'il empêche les airs froids et les rayons solaires directs de pénétrer. (Figure 4.17)

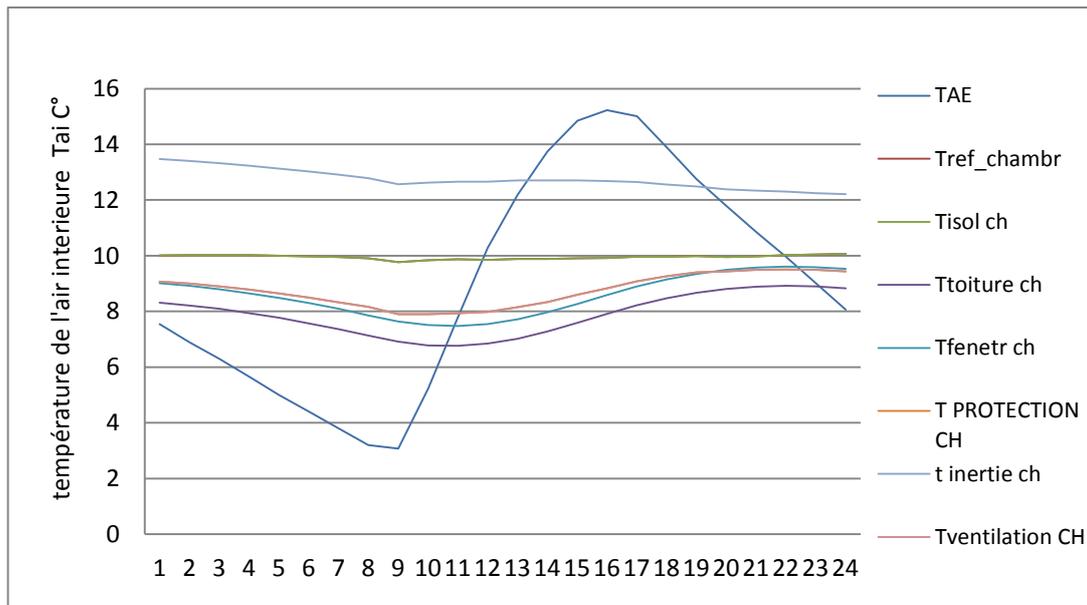


Figure 4.17 : Évolution de la température Tai selon les systèmes passifs (13 janvier, zone nord)

4.5.5. Comportement de la zone thermique sud (cuisine) en hiver

Nous montrons, dans la figure 4.18, les résultats de la simulation de température pour chacun des systèmes dans la zone sud pour la période froide (la semaine 2).

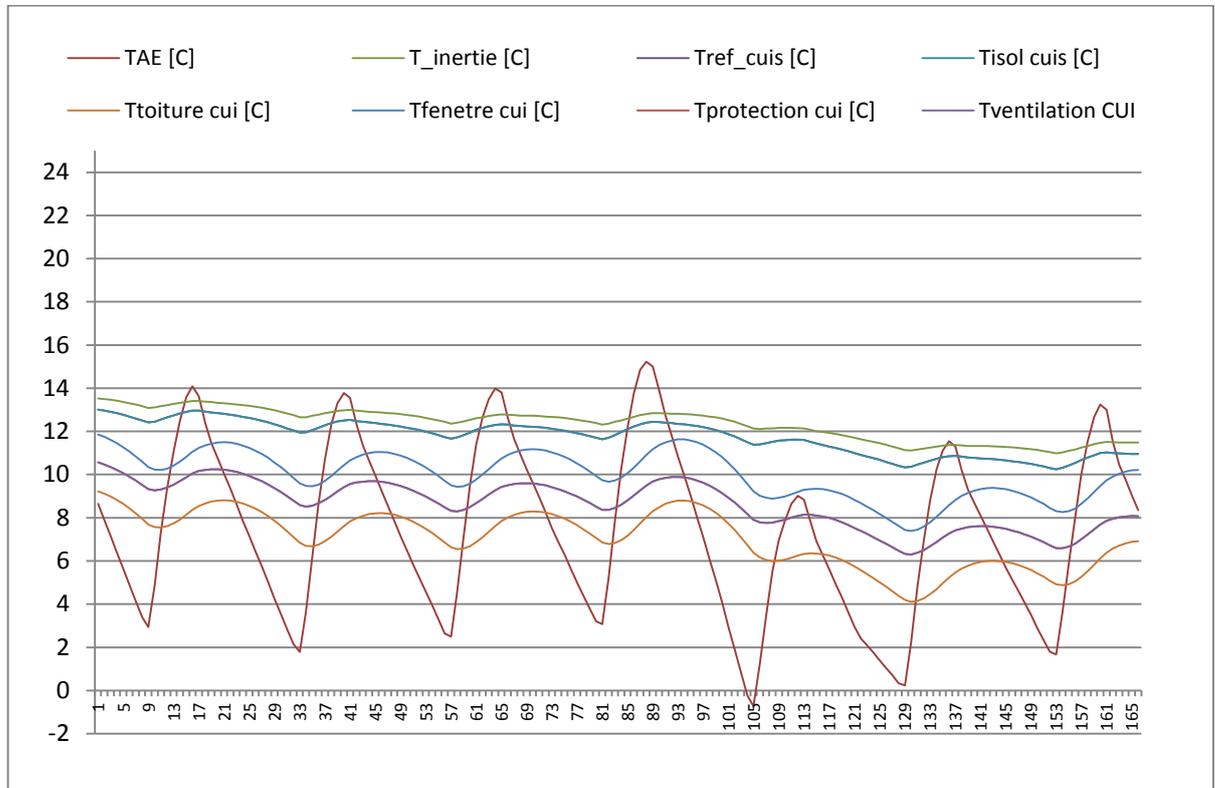


Figure 4.18 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 10, zone SUD)

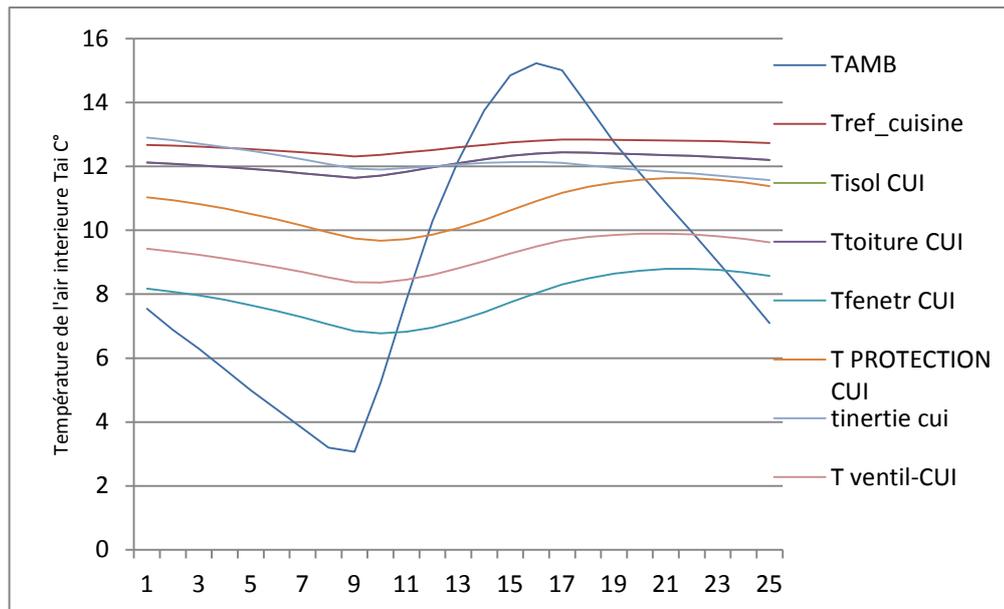


Figure 4.19 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (13 JANVIER, zone SUD)

L'observation de ces courbes montre que l'isolation des parois opaques et de la toiture sont les meilleures solutions pour l'hiver, c'est grâce à la conservation de la chaleur à l'intérieur de l'enveloppe. Aussi la protection solaire qui joue le même rôle.

4.6. ÉVALUATION DES INDICES DE PERFORMANCE POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES TECHNIQUES

4.6.1. Performances des systèmes sur la base de l'indice IPS pour le confort d'été

Notre étude a pour but d'améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels afin de proposer une certification énergétique. L'analyse des températures maximum et moyenne pour chaque système d'amélioration pendant la semaine la plus chaude de l'été est un paramètre très important pour savoir la meilleure solution. Donc, il est intéressant d'examiner la température de l'air intérieure de chaque système, et de les comparer avec les températures maximum/moyenne de référence durant la période estivale.

4.6.2. Calcul de l'indice de confort d'été « IPS » pour la Zone Sud

Il nous convient de rappeler que l'indice de performance de chaque système est défini par la relation suivante :

$$IPS = \sum \frac{T^{\circ}réf - T^{\circ}sys}{T^{\circ}réf - 27^{\circ}C} \quad (\text{Équation 4.7})$$

D'après les résultats de la simulation, nous pouvons constater que l'abaissement maximal des systèmes d'isolation thermiques des parois opaques, de la ventilation naturelle, et l'inertie est plus important que l'abaissement moyen, car c'est la base de leur fonctionnement de diminuer les apports solaires. Le système de ventilation montre deux valeurs proches de l'abaissement maximal et moyen, ce qui traduit l'amplification de la température par rapport à la température de référence. L'amplification observée pour le système d'inertie traduit une valeur plus importante de l'abaissement maximal par rapport à l'abaissement moyen.

En premier lieu, nous devons étudier, la zone sud qui reçoit les maxima en apport solaire, c'est logiquement que la ventilation naturelle montre une performance plus importante. Aussi, l'isolation des parois opaques et de la toiture donnent de bons résultats. L'inertie thermique et la protection horizontale montrent une performance positive. Nous constatons par contre, une performance négative pour le système des apports internes (présence des occupants et les appareils), avec un effet marginal des fenêtres performantes. Nous pouvons observer de ce tableau que la meilleure performance est celle du système de ventilation naturelle, puis de l'isolation parois opaques, toiture isolée, l'inertie thermique, et enfin, la protection horizontale.

Tableau 4.8: Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone sud, semaine 33)

CUISINE chaude	T Référence	T ° isolation parois opaque	T ° toiture isolée	T ° fenêtre performante	T ° protection horizontale	T ° ventilation	T ° inertie thermique	T ° apports internes
T max	36.82	31.94	32.68	32.37	32.99	31.86	32.23	33.5
AT Max		4.88	4.14	4.45	3.83	4.96	4.59	3.32
T Moyenne	32.94	30.85	30.81	33.56	31.40	30.52	31.11	33.54
AT moyenne	-	2.09	2.13	- 0.62	1.54	2.42	1.83	-0.6
T confort	26	26	26	26	26	26	26	26
IPS	-	0.30	0.30	- 0.08	0.22	0.34	0.26	- 0.08

La réduction en apports solaires directs réalisée par les fenêtres performantes, en améliorant le coefficient S_w , se traduit par une réduction en température maximale dans la journée, mais le rôle des fenêtres performantes reste marginal en matière d'abaissement de la température moyenne. Ce système des fenêtres performantes présente un effet négatif par l'augmentation en températures moyenne et maximale.

Nous pouvons expliquer ce comportement par le phénomène de « bouteille thermos », c'est-à-dire par la présence d'une résistance à l'évacuation des chaleurs internes qui est plus importante que la réduction des apports solaires opérés par ce système. [FERNANDEZ P., 2001]

4.6.3. Calcul de l'indice de confort d'été « IPS » pour la Zone Nord

Le tableau 4.9 montre le calcul de l'indice d'IPS de chaque système pour la chambre (la zone nord), en conséquence cette zone reçoit le minimum d'apport solaire. Nous pouvons observer que le système de la ventilation nocturne est plus performant que les autres systèmes, avec une performance positive pour la toiture isolée, la protection horizontale, et de l'inertie.

Tableau 4.9 : Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone nord, semaine 30)

Chambre chaude	T ° Référence	T ° isolation parois opaque	T ° toiture	T ° fenêtres performantes	T ° protection horizontale	T ° ventilation	T ° inertie thermique	T ° apports internes
T_{max}	37.54	31.50	32.78	32.88	32.54	30.86	30.23	32.25
AT_{Max}		6.04	4.76	4.66	5.00	6.68	7.31	5.29
T_{Moyenne}	32.50	31.85	30.63	31.74	33.40	30.34	31.57	31.01
AT_{moyenne}	-	0.65	1.87	0.76	-0.9	2.16	0.93	1.49
T_{confort}	26	26	26	26	26	26	26	26
IPS	-	0.10	0.28	0.11	- 0.13	0.33	0.14	0.22

Il convient de constater un abaissement remarquable en température maximale du système de la ventilation naturelle et l'inertie thermique, et la température moyenne, reste marginale pour l'isolation. En été, il est nécessaire d'évacuer la

chaleur interne et le dégager à l'extérieur. La protection horizontale présente un effet négatif pour l'été, au contraire que l'hiver. Il reste que le système des fenêtres performantes qu'il est une valeur négatif en été.

4.6.4. Performances des systèmes sur la base de l'indice $I_{\text{éco}}$

Il est obligatoire de chercher la rentabilité et la pertinence de chacun de ces systèmes. Un nouveau critère va donc nous aider à juger chaque système en termes de rentabilité en valeur de consommation (chauffage et climatisation). La consommation en chauffage et en climatisation est calculée par TRNSYS en kWh. Nous pouvons donc exprimer l'indice $I_{\text{éco}}$ dans la relation suivant :

$$I_{\text{éco}} = (C_{\text{ep-chauffage-Réf}} - C_{\text{ep-chauffage-Sys}}) + (C_{\text{ep-froide-Réf}} - C_{\text{ep-froide-Sys}}) \quad (\text{Équation 4.8}) \text{ [MAZRIA E., 2005]}$$

- Si $I_{\text{éco}} > 0$ Système économe (retenu)
- Si $I_{\text{éco}} < 0$ Système pas économe (à éliminer)

Tableau 4.10 : Valeurs de l'indice $I_{\text{éco}}$ selon chaque système d'amélioration

Chambre chaude	B Référence	B isolation parois opaques	B toiture	B fenêtres performantes	B protection horizontale	B ventilation	B inertie thermique	B apports internes
$C_{\text{ep-chauffage}}$	277.71	101.44	185.01	223.00	160.12	101.4	112,95	169,52
$C_{\text{ep-froide}}$	51.73	47.25	37.25	40.33	41.25	47.50	48,67	44,31
TOTAL	329.44	144.69	222.26	263.33	200.45	148.94	161,62	213,83
$I_{\text{éco}}$	-	184.75	107.18	66.11	128.99	180.5	167.82	115.61
Réduction %	-	56,08	32,53	20,067	39,15	54,78	50,94	35,092
Jugement	-	Retenue	Retenue	Retenue	Retenue	Retenue	Retenue	Retenue

L'observation de ce tableau montre que les systèmes d'isolation, l'inertie, et la ventilation nocturne sont économes en termes de consommation énergétique. Par contre, le système des fenêtres performantes sont moins économe. Ce résultat permet de valider les choix en systèmes d'amélioration vis-à-vis de l'économie en consommations énergétiques.

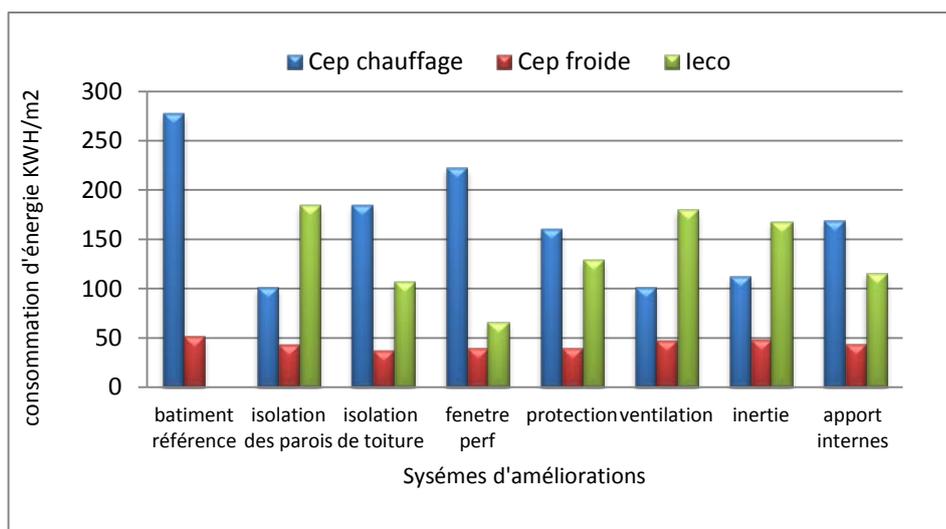


Figure 4.20 : Calcul de l'indice Iéco pour chaque système d'amélioration

La figure 4.20 montre les besoins annuels en chaleur, froid et Iéco de l'appartement de référence et les systèmes étudiés en kWh/m².an. Nous pouvons observer que les différentes valeurs en besoins de chauffage, climatisation sont en cohérence avec le comportement de chaque système. Il faut noter que le calcul des composants de l'indice Iéco s'effectue avec des systèmes de chauffage et de climatisation qui correspondent aux équipements et aux systèmes du site.

4.6.5. Performances des systèmes sur la base de besoin bioclimatique B_{bio} et Cep max

Le tableau ci-dessous montre les besoins annuels en chaleur, froid et éclairage de l'appartement de référence en kWh/m². Ces éléments sont nécessaires pour calculer l'indice Bbiobât.

Tableau 4.11 : Calculer l'indice Bbiobât selon chaque système dans l'appartement de référence

Système/ Indices	Bâtiment Référence	isolation parois opaque	toiture	fenêtres performantes	protection horizontale	ventilation	inertie thermique
B _{chauffage} (%)	123.42	45.08	82.22	99.11	74.16	45.06	50.02
B _{froide} (%)	43.10	39.37	31.04	33.6	34.37	39.58	40.55
B _{éclairage} %	2.25	2.25	2.25	3.05	2.25	2.25	2.25
B _{biobât} (points)	344.29	180.15	237.77	276.67	228.31	180.53	192.39

Nous pouvons observer que les différentes valeurs en besoins de chauffage, climatisation et éclairage sont en cohérence avec le comportement de chaque système et les valeurs des Bbioât sont présentées dans le tableau 4.11.

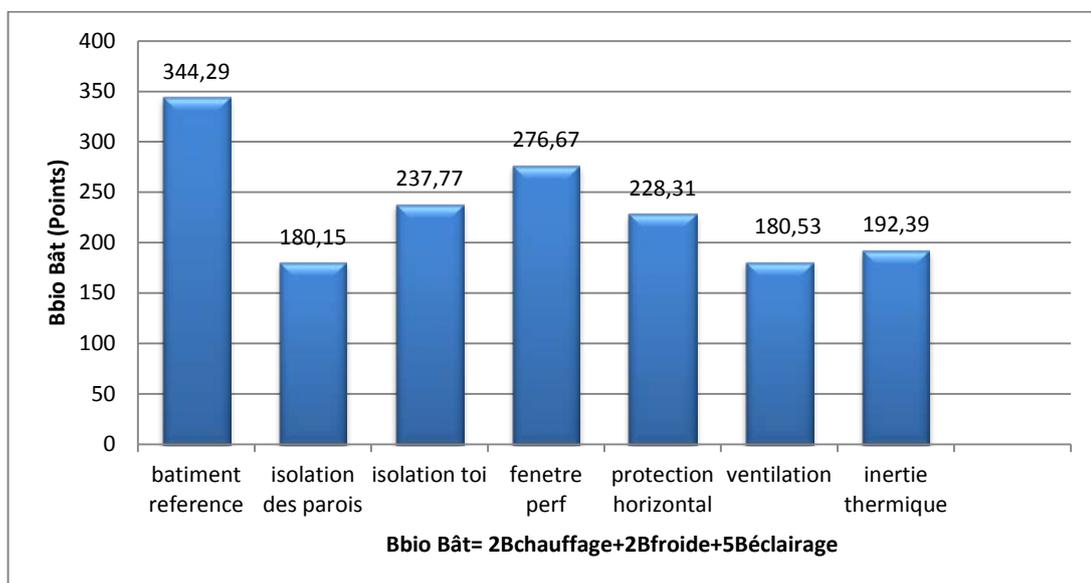


Figure 4.21 : Valeurs de l'indice Bbioât pour chaque système d'amélioration

On peut constater que les meilleures réductions sont réalisées par l'isolation et la ventilation naturelle, avec une réduction en valeur de Bbioât de l'ordre de 52%. L'inertie thermique prend la troisième place avec une réduction de 44%. Pour l'isolation de la toiture montre une réduction de 30.9 %, et les fenêtres performantes de 19 %.

Tableau 4.12 : Calcul de l'indice Cep pour les différents systèmes étudiés

Système/ Indices	Bâtiment Référence	isolation parois opaque	toiture	fenêtres performantes	protection horizontale	ventilatio n	inertie thermiqu e
Cep climatisation	277.71	101.44	185.01	223.00	160.12	101.4	112,95
Cep chauffage	51.73	47.25	37.25	40.33	41.25	47.50	48,67
Cep éclairage	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Cep ECS	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
Cep (KWh/m²)	379,44	198,69	272,26	313,33	251,37	198,9	211,62

Pour l'indice Cep, le tableau 4.12 et la figure 4.22 montrent les consommations énergétiques en énergie primaire pour chaque poste (chauffage, climatisation, éclairage, ECS).

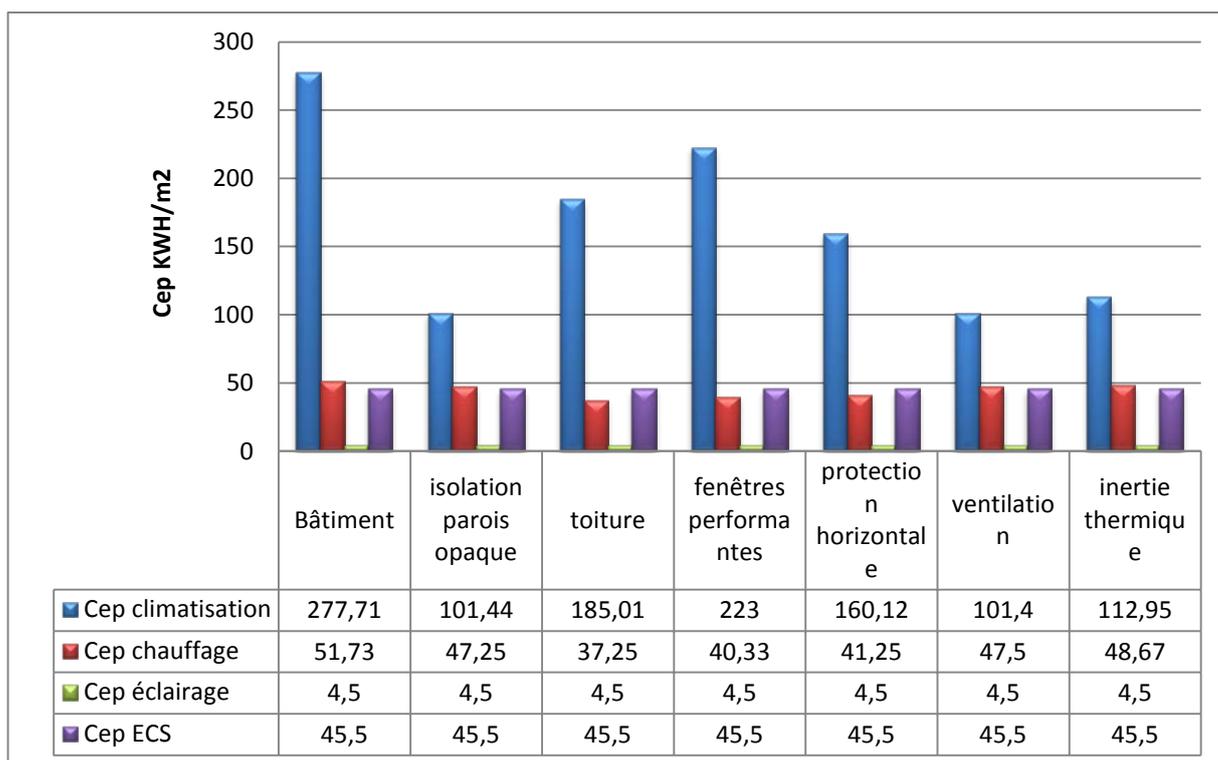


Figure 4.22: Valeurs de l'indice Cep KWh /m2.an pour chaque système d'amélioration

Nous pouvons constater, si nous comparons les résultats de l'indice Cep bât, que la meilleure économie en consommation énergétique est réalisée par les deux systèmes d'isolation et de ventilation nocturne en été, avec une réduction de 47.5 %. Par contre, Le système de fenêtres performantes permet une faible réduction de 17 %, et ne produit pas de changement important au niveau de la consommation énergétique globale.

4.6.6. Synthèse des résultats

D'après ces calculs, nous pourrions assembler les points suivants :

- **Le système d'isolation des parois verticale** : nous permet une performance importante en confort d'été, grâce aux plaques d'isolations, empêchant la pénétration de la chaleur à l'intérieur.

Des études a été réalisés par FIZZIOUI N., sur l'impact de l'isolation (toiture et des murs) est significatif des quelque maisons de Kenadsa (sud de Bechar), montrent un impact qu'était relativement important, en utilisant l'adobe avec 30cm d'épaisseur. L'augmentation de l'épaisseur de l'adobe a entraîné une réduction des heures chaudes de 7%. L'augmentation de l'épaisseur d'isolation

de 4cm a augmenté les heures froides de 2% pour l'appartement, ce qui est surprenant. Les variations pour les heures froides de viennent pas seulement de l'isolation du toit, mais aussi de l'inertie des toits (qui dépend de l'isolation). De plus, il est possible qu'il y ait plus d'heures froides parce que la chaleur du soleil est moins transmise par un toit isolé, mais que la température intérieure moyenne pendant la saison froide soit plus confortable. [FIZZIOUI N., 2016]

- **Le système de protection horizontale** : malgré la rudesse du climat de Bechar, il est nécessaire de se protéger l'enveloppe du soleil, surtout en été. Ceci a un impact marqué sur le besoin de climatisation, traduit par une réduction 39.15%.
- **Le système de ventilation naturelle** : la cour intérieure permet une amélioration importante en performance de confort d'été comme l'hiver. Ceci se traduit par une baisse des valeurs des indices IPS et l'Iéco. Plus le facteur de compacité est faible, plus les améliorations dans les trois indices sont donc effectives. En effet, la fonction d'échangeur thermique de la cour se présente sous deux aspects :
 1. Ventilation par « *effet de cheminée* » : la partie la plus haute, insolée est plus chaude et induit une ascendance, la prise d'air basse s'effectuant dans des zones fraîches (cave, citerne, zone d'ombre, jardin),
 2. La cour, *un déficit calorifique* : dû au rayonnement vers le ciel nocturne de certaines surfaces de la cour, s'échauffant peu pendant le jour et rayonnant la nuit vers le ciel clair entretenant un déficit stationnaire par rapport à l'extérieur qui fait que les ambiances restent très différentes. [MAZOUZ S., 2004].
- **Le système des fenêtres performantes** : sont accompagnées une augmentation en consommation d'énergie primaire, et à l'origine de la hausse en besoin de chauffage en hiver.
- **Le système d'inertie thermique** : C'est un facteur qui agit principalement en été, en amplifiant les températures maximum et minimum, ce déphasage dans notre site, qui présente un climat chaud, apporte des bénéfices en été comme en hiver. Plus l'inertie est élevée, plus les améliorations dans les trois indices sont donc effectives.

4.7. COUPLAGE DES SYSTEMES CHOISIS POUR UN MODEL OPTIMAL

D’après les calculs des indices de la performance énergétique, nous avons trouvé que les valeurs de l’indice IPS sont toujours éloignées de la valeur optimale égale à (1). Ceci montre l’importance qu’il est essentiel de coupler entre les systèmes techniques choisis afin d’améliorer les valeurs de ces indices. Il est indispensable de classer les systèmes proposés selon leur fonctionnement.

4.7.1. Classification des systèmes d’amélioration selon leur comportement

Il nous semble de revenir aux principes des stratégies bioclimatiques pour classer chaque système selon leur comportement. L’évaluation de l’interaction est obligatoire entre les différents classements afin de réaliser un couplage bénéfique. (Voir le tableau 4.13)

Tableau 4.13 : Classification des systèmes et leur comportement selon les deux stratégies bioclimatiques.

Systèmes	Stratégie bioclimatique au froid		Stratégie bioclimatique au chaud	
	Diminuer les apports solaires	Conserver la chaleur en hiver	Refroidir/ventiler	Évacuer la chaleur
Ventilation naturelle			✓	✓
Inertie		✓		✓
Toiture isolée	✓	✓		✓
Isolation des parois		✓		✓
Fenêtres performantes	✓			
Protection horizontale	✓			✓

Dans cette étape, il est indispensable de classer les systèmes selon l’exigence de notre région désertique. Par exemple, nous pouvons saisir les phénomènes suivants:

- L’isolation des parois opaques : permet à la fois d’évacuer la chaleur en été et de conserver la chaleur en hiver par leur capacité.

- L’inertie, en été, fait absorber le froid durant la nuit et l’évacue durant la journée ; c’est l’inverse en hiver. C’est le même fonctionnement de l’isolation par l’extérieur.
- La ventilation nocturne : permet d’évacuer la chaleur intérieure en été, et fait dissiper et rentrer l’air frais extérieur à l’intérieur durant la nuit.

Le couplage choisi permet d’améliorer l’indice de l’IPS par une valeur de 0,59, qui signifie une température moyenne dans l’appartement de 29,30 °C, donc une baisse effective de 3,41 °C par rapport à l’état de référence, et une température maximum de 31,7 °C, donc une baisse de 4,30 °C durant la semaine la plus chaude (Voir le tableau 4.14).

Tableau 4.14: Comparaison entre bâtiment de référence et model optimal

Indice/Système	Bâtiment référence	OPTIMAL
Cep chauffage KWh/m ² .an	277,71	88,6
Cep froide KWh/m ² .an	51,73	37,53
I' éco	-	203.31
IPR %	-	+61 ,71
IPS	-	0.59

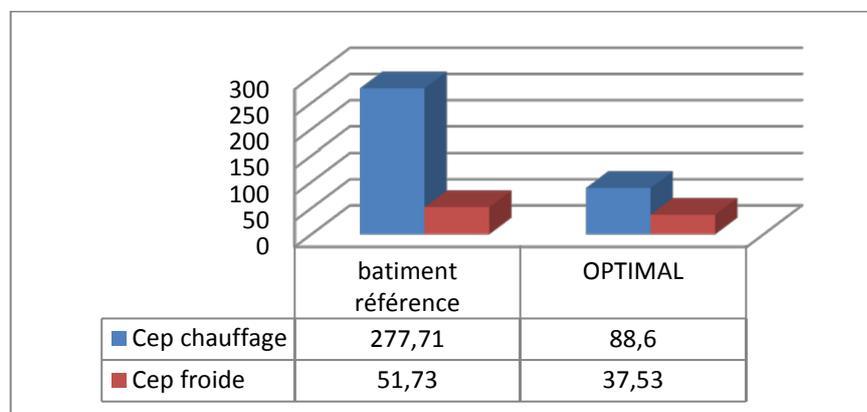


Figure 4.23 : comparaison entre le bâtiment de référence et le model optimal

4.8. NOTIONS DE COUT D'INVESTISSEMENT ET DE TEMPS DE RETOUR

Dans le cadre d’évaluation globale de la performance énergétique, il est indispensable d’apprendre la notion économique pour ces solutions d’amélioration, de prendre en compte le coût d’investissement et de temps de retour sur investissement.

Pour étudier le coût d'investissement d'un bâtiment, il faut calculer:

- les coûts définis (selon le marché local) ;
- les consommations énergétiques mensuelles et annuelles (chauffage, climatisation, éclairage, ECS, etc.),
- Le coût de chaque charge annuelle en fonction des tarifs de l'électricité, imposés en Algérie par tranches ;
- le temps de retour réel est l'apport entre le coût d'investissement d'un système et l'économie réalisée.

Le tableau 4.15 présente les données économiques de l'ensemble des systèmes techniques et de l'ensemble des couplages sous la forme des coûts d'investissement, de consommations électriques (sur la base des tarifs d'électricité, et d'économie réalisées et de temps de retour sur l'investissement.

D'après cette évaluation économique, nous pouvons distinguer par la diversité des solutions techniques et de leur poids économique (la solution la plus réduite et celle la plus couteuse). Des économies potentielles d'électricité grâce à des solutions techniques disponibles comme l'isolation thermiques des parois opaques et maintenir une ventilation nocturne dans la région spécifique comme la ville de Bechar (climat sec et chaud). Pour le calcul des temps de retour, des valeurs très variées, entre 6mois pour les solutions simples telles que le changement des fenêtres (F) et 5 ans pour des solutions complexes associant plusieurs techniques (model optimal).

Tableau 4.19 : Analyse économique de l'ensemble des solutions technique

Systemes	Coût d'investissement	Coût d'investissement DA/m ²	Consommation électrique kWh/bât/an	Cef Bât Kwh/m ² .an	Prix de l'électricité par tranche/an	Consommation électrique par mois	Économie réalisée en électricité kWh/m2/mois	Économie réalisée	Temps de retour
Bâtiment référence	-	-	25943,4	329,44	103773.6	8647,8	-	-	-
Isolation des parois	27000	22,5	11394,33	144,69	45577.35	3798.11	56.08	58195.25	6mois
Isolation de la toiture	94500	78.75	17502.97	222,26	70011.9	5834.32	32.53	33761.7	2ans 8 mois
Protection solaire	12600	10.5	15785.43	200.45	63141.75	52641.81	39.15	40631.85	5mois
Inertie thermique	37800	22.5	12727.57	161,62	50190.3	4242.52	50.94	53583.3	8mois
Fenêtres Performances	-	-	20737.23	263.33	83948.95	6912.41	20.06	19824.65	-
Ventilation	-	-	11729.02	148.94	4619.1	3909.67	54.78	-	-
Modèle optimal	134100	111.50	9932.73	126.13	39730.95	3310.91	61.71	64042.65	5ans 1mois

4.9. CONCLUSION

L'évaluation de la performance énergétique du bâtiment Référence a permis d'effectuer une réduction significative de la consommation énergétique et, d'améliorer le confort dans les régions arides et semi arides.

Cette évaluation a commencé par des calculs des indices réglementaires de la performance énergétique IPS, Bbio et Cep concernant un bâtiment de référence, ont montré des valeurs élevées qui traduisent une qualité énergétique médiocre du bâtiment actuel de référence. C'est pour cette raison, nous avons proposé des solutions passives afin d'améliorer ces valeurs de la performance énergétique.

Nous pouvons constater que la meilleure solution et la plus économe en consommation énergétique est réalisée par le système d'isolation, avec une réduction de 56,08 %, et 54% pour l'inertie thermique. Aussi, le système de ventilation naturelle, créant par une cour intérieure, présente une réduction 50,94%. Les systèmes de la toiture isolée et la protection horizontale permettent une réduction de 32,53% 20,067% 39,15% en été uniquement. Par contre, le système des fenêtres performantes ne produit pas de changement important au niveau de la consommation énergétique globale.

Cette amélioration effectuée par application des systèmes passifs disponibles et tous les couplages entre eux a permis de mettre en place des valeurs limites de ces indices que nous pourrions atteindre dans notre contexte spécifique à climat sec et chaud. Par la suite, nous avons réalisé une analyse multi critère, afin d'apprécier les meilleures solutions de point de vue énergétique, économique et de confort. Cette étude nous permet de fournir une certification énergétique simple et basée sur des sources d'information réelles qui produit une amélioration importante en performance énergétique et en confort, limité pour la rénovation des bâtiments résidentiels existants et les bâtiments neufs.

Cette analyse nécessite de replacer les systèmes techniques proposés dans un contexte plus large que la seule amélioration thermique. Une évaluation globale du bâtiment est donc à mettre en place, en perspective avec l'aspect économique et énergétique des systèmes proposés. Elle permettra d'adopter une vision transversale concernant la construction d'un bâtiment.

Après une analyse technico-économique, l'ensemble des systèmes techniques sont étudiés sous trois aspects : le a coût d'investissement, d'économie réalisée et de temps de retour sur l'investissement.

Nous avons montré, dans ce chapitre, la difficulté d'adapter toutes les exigences de moyens de la RT2012 sur notre site d'étude, du fait de la limite des savoir-faire et des connaissances techniques actuelles. Parmi ces exigences de moyens, nous avons trouvé la difficulté d'appliquer qui sont :

- l'installation de solaire thermique pour couvrir le besoin en ECS ;
- le ratio de vitrages et d'ouvertures.

A la fin, l'évaluation de la performance énergétique nous permet de préconiser une certification énergétique basée sur des indices pertinents, un choix cohérent des solutions techniques acceptables, en vue des contraintes technico-économiques et les savoir-faire locaux propres à la région étudiée.

5.1. INTRODUCTION

Dans ce dernier chapitre, nous allons proposer une certification énergétique en régions sub-saharienne. Cette proposition est organisée en trois étapes ; la première présente l'acquisition des résultats d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments résidentiels, obtenus au chapitre précédent, la seconde étape définit une étude multicritère des indices de la performance énergétique, prend les exigences principales et les moyens de la RT2012. Dans la troisième étape, nous allons décrire le certificat proposé, sa structure et ses domaines d'application, en donnant une interprétation de chacune de ces étapes.

Il convient de souligner que le certificat énergétique proposé, prend en considérant les spécifications et la particularité de notre site d'étude et les résultats des enquêtes réalisées auprès des occupants et les professionnels. Les résultats obtenus montrent des valeurs des indices plus importantes du bâtiment d'étude que les valeurs limités de la RT2012 (cf. chapitre 4).

Une évaluation globale du bâtiment est donc à mettre en place, en perspective avec l'aspect économique et énergétique des systèmes proposés. Elle permettra d'adopter de nous rapprocher au maximum des valeurs réglementaires. Pour cette raison, il est essentiel de chercher des solutions bioclimatiques appropriées et disponibles sur notre contexte d'étude, en matière de matériaux et de techniques, afin d'évaluer ces valeurs limites logiques qui soient cohérentes avec notre site d'étude.

Donc, notre proposition d'un certificat de la performance énergétique, avec son propre structure, un mode de calcul et des poids des exigences considérées dans l'environnement d'origine.

5.2. INTERETS DE LA CERTIFICATION ENERGETIQUE DU BATIMENT RESIDENTIEL

Les solutions passives adoptées ont produit une amélioration en valeur d'un ou plusieurs indices retenus, comme l'indique d'IPS ou IPR, qui nous montre que la combinaison entre ces solutions a pour but d'améliorer ces indices. Dans ce cadre, l'évaluation globale selon l'aspect économique nous semble

indispensable à prendre en compte à évaluer ces améliorations par une vision économique afin de valider nos choix d'amélioration.

5.2.1. Intérêts de la certification énergétique de la région « Sub-Saharienne » d'Algérie

Plusieurs intérêts sont attendus de la mise en place de cette certification, à savoir :

1. Intérêt thermique et énergétique du cadre bâti :

- Améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels, tout en minimisant la consommation énergétique et maintenir un confort de vie.

2. Intérêt réglementaire :

- La mise en place des règlements thermiques destinés aux bâtiments à usage d'habitation existants ou neufs.

3. Intérêt économique :

- Réduire la consommation énergétique dans les bâtiments existants ;
- Valoriser les nouveaux bâtiments certifiés par l'économie énergétique réalisée.
- Montrer l'importance de l'économie énergétique aux habitants, et les informer sur leurs futures factures énergétiques ;
- Créer des nouveaux critères énergétiques dans le domaine de la construction de la région à climat sec et chaud, en général, et de sud-ouest l'Algérie en particulier. Il est cependant possible de conduire une construction durable pour cette région, toute en évaluant leur performance énergétique du bâti, et assurer un bien-être des habitants ;
- prendre conscience de l'importance du problème énergétique aux pouvoirs publics et l'État, interprété par développer des instituts techniques professionnels.

5.2.2. L'objectif et limites d'application

L'objectif de notre certificat est double :

1. réduire la dépense énergétique, atteindre le niveau de confort souhaité par les occupants.

2. L'extension d'un certificat spécifique des bâtiments résidentiels pour la région à climat chaud et sec, doit satisfaire tous les types d'usages considérés, à savoir : chauffage, refroidissement, ECS, éclairage.

5.2.3. Poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale

Pour notre région sub-saharienne (à climat chaud et sec), nous devons chercher un type de certificat qui réponde à la fois à l'exigence énergétique en matière d'une basse consommation d'énergie et l'emploi raisonnablement une partie de l'énergie solaire, qu'est tout disponible dans cet environnement. D'après la recherche bibliographique des certifications énergétique, nous avons montré qu'il existe un faisceau de critères :

- enveloppe bien isolée, avec une exigence minimum de la valeur de Bbio ;
- ventilation maîtrisée ;
- gain solaire passif ;
- recours aux énergies renouvelables ;
- utilisation d'appareils électroménagers économes.

5.2.4. La prise en compte du confort d'été

Tous les certifications et les labels étudiés mettent l'accent sur le chauffage et le confort d'hiver, en raison de la nature du climat « froid » dominant dans les pays d'origine de ces labels (Suisse pour *Minergie*, Allemagne pour *Passiv'haus* et France pour *RT2012*). Bien que, dans le cas des autres labels, le climat des pays d'origine soit chaud, le critère de confort d'été y est absent (*LEED* aux USA, *OST* en Espagne).

En conséquence, le critère d'évaluer le confort d'été est dans notre région est un élément important. Pour ce faire, nous avons remarqué la négligence de ce critère dans tous les labels examinés, sauf la *RT2012*, qui définit un indice (Tic) afin d'évaluer le confort d'été. C'est la raison pour laquelle l'extension du label français vers notre région d'étude (caractérisée par un climat chaud et sec) est possible. [STRACHAN P.A., 2008]

5.2.5. Méthode d'évaluation des environnements divers

Chaque certification énergétique, qu'il soit volontaire ou obligatoire, a une méthode d'évaluation pour vérifier la pertinence de sa démarche dans un environnement différent du contexte d'origine. Ces outils sont souvent présentés comme une fiche disponible sur les sites internet (ex. : RT2012 et Minergie), ou avec un logiciel de calcul (ex : le label Passiv'Haus exige un pré vérification à l'aide du logiciel PHPP de l'Institut Passiv'Haus en phase APS/APD). [TAHMASEBI F., et all., 2012]

Les méthodes d'évaluation de tous les labels et les certificats se déroulent en trois étapes :

1. **Enregistrement du projet** : en phase de conception auprès de l'organisme de certification;
2. **Attestation provisoire** : de prendre en compte des exigences posées par le label ou le certificat ;
3. **Attestation finale** : transmise par l'organisme ou un contrôleur indépendant agréé par l'organisme de certification.

C'est dans cette logique d'évaluation que nous inscrivons notre futur certificat énergétique. Nous allons pouvoir à présent mettre en place un certificat de la performance énergétique, répondant à des exigences locales nouvelles et à des critères compatibles ou cohérents avec l'environnement sub-saharien.

Il ressort de notre étude que la réglementation thermique française de 2012 est la plus appropriée au terrain de l'Algérie. En effet, l'accessibilité des exigences de la RT2012 en milieu sub-saharien, le Bbio, la liberté en matière de choix techniques, le poids énergétique remarquable de ce label (critère Cep) et la prise en compte du confort d'été, tous ces éléments désignent le label français – inspiré par le Grenelle de l'environnement – comme le plus adapté au pays considéré, l'Algérie.

En conséquence, les choix des critères à adopter dans notre future procédure énergétique seront basés sur les exigences de la RT2012.

5.3. LES CRITERES D'EVALUATION POUR LA CERTIFICATION ENERGETIQUE

5.3.1. Les critères d'évaluation choisis pour la certification énergétique

Notre proposition de certification consistera à déterminer des critères majeurs destinés aux bâtiments existants ou neufs, pour évaluer les aspects suivants :

- évaluer les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, optimiser les différents types d'enveloppe et leurs composants, en essayant d'améliorer le confort thermique dans les résidences tout en prenant en compte la localisation énergétique du site ;
- estimer les consommations annuelles en
- effectuer le choix des systèmes de production d'énergie été et hiver, en tenant compte des comportements des habitants ;
- évaluer l'indice de confort d'été selon chaque solution proposée; conventionnelle pour notre site (chauffage et climatisation), qui devra correspondre aux offres des techniques locales, pour choisir les systèmes les plus répandus techniquement et financièrement sur notre site, pour réduire les factures énergétiques des bâtiments. [PEDRINI A., et al, 2002]

Nous pouvons résumer les critères à prendre en compte dans notre proposition, comme suivants:

- **Le premier critère** est *bioclimatique*: nous allons nous focaliser sur la cohérence entre le climat et le bâtiment, et donc sur la conception de l'enveloppe, les solutions passives capables d'améliorer le degré de confort thermique dans le bâtiment.
- **Le deuxième critère** est *énergétique*: il s'agit de se baser sur la consommation énergétique primaire spécifique du site étudié, de favoriser des systèmes passifs disponibles sur notre terrain pour atteindre un confort d'hiver et d'été en minimisant les dépenses d'énergie.
- **Le troisième critère** d'évaluation est **le confort d'été**: l'importance de ce critère vient du climat particulier, très chaud en été, qui rend sa prise en compte absolument nécessaire dans notre cas d'étude.

- **Le quatrième critère est économique** : il s'agit de favoriser sur des systèmes disponibles techniquement sur notre terrain, et plus économes, en termes de consommation énergétique, et du confort, en fixant une valeur conventionnelle cohérente avec notre site.

Ce choix des critères se fonde sur les exigences particulières du site choisi et en convergeant avec la logique et les critères établis par le règlement thermique français RT2012. Cela se traduit par la mise en place des valeurs correspondantes sur notre site, en sud-ouest d'Algérie, pour les indices suivants :

- le Bbio (indicateur des conceptions bioclimatiques),
- le Cep (indicateur de la consommation énergétique)
- le Tic (indicateur de confort d'été)

5.3.2. Évaluation des solutions choisies selon une analyse multicritère

L'analyse multicritère doit être menée différentes valeurs pour chaque critère (énergétique, confort, économique). La grille représentée en tableau 5.1 donne les plages de performance notées de 1 et 6. On a choisi pour évaluer les différentes solutions techniques étudiées de pondérer selon les différents critères de la façon suivante :

- Critère n°1 : **PONDERATION IDENTIQUE** pour le critère énergétique, confort, et économique
- Critère n°2 : **CRITERE CONFORT** : on multiplie les notes de confort par 3, alors que sont maintenus identiques les notes en énergétique et économique
- Critère n°3 : **CRITERE ECONOMIQUE** ; on multiplie par 3 les notes économiques alors que sont maintenues identiques les notes en énergétique et en confort
- Critère n°4 : **CRITERE ENERGETIQUE** ; on multiplie par 3 les notes énergétiques alors que sont maintenus identiques les notes en confort et économique

Les solutions techniques étudiées présentent par ailleurs un temps de retour sur investissement très avantageux et très rentables (5 ans et 3 mois) et un indice de confort de qualité. Nous pourrions donc préconiser une pondération de chaque solution, et les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

5.3.3. Préconisation de valeurs limites pour les indices de performance

L'objectif de notre travail de recherche est de proposer une certification énergétique des bâtiments résidentiels dans la région à climat chaud et sec en générale, et de la ville de Bechar en particulier. Cette proposition a pour but de réduire les dépenses énergétiques et d'améliorer l'état de confort, en appuyant donc aux contraintes énergétiques, ce qui nous conduit à choisir les valeurs maximales des indices de performance retenus à partir du couplage des solutions techniques les plus performantes.

La meilleure réduction en matière de dépense énergétique se présente par le couplage entre l'isolation des parois opaques verticale et de la toiture, tout en maintenir une ventilation naturelle et une protection horizontale afin de protéger l'enveloppe au soleil. Ce modèle optimal donne comme des indices de performance pour trois notes de certification proposée, et les valeurs des indices de performances présentées au tableau ci-dessous.

Tableau 5.1 : Valeurs des indices pour une certification très énergétique.

	Cep max	B biomax	IPS min
Certification très économique	150 kWh/m ² .an	120 points	0,60
Certification économique	230 kWh/m ² .an	170 points	0,55
Certification moyenne « moyenne »	190 kWh/m ² .an	220 points	0,4

Il est indispensable de préconiser ces valeurs limites comme limites référentielles pour un bâtiment de très bonne qualité économique dans le contexte Sub-saharien (Niveau I). Autre part, nous pouvons définir deuxième niveau, de moindre qualité énergétique (Niveau II). Dans le but d'élargir l'application de la certification proposée, il sera judicieux d'étendre des valeurs limites des indices de performance, toute en privilégiant des solutions peu coûteuses et d'un faible temps de retour sur investissement. Nous décrirons

donc troisième niveau plus bas de performances énergétiques qui prenne en compte en premier lieu les contraintes économiques. (Niveau III)

Ces trois niveaux de qualité constituent notre certification énergétique RT2012-CS (contexte saharien), et nous les désignons sous les appellations suivantes :

Tableau 5.2 : Les Indices de performance de trois niveaux de certification énergétique proposée.

Indices de performance	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Bbio max	250	180	120
Cep max	200	150	100
IPsmin	0.25	0.45	0.55

Cette répartition par niveau, en prenant en compte toutes les contraintes d'évaluation entre les critères économiques, de confort et énergétiques, peuvent être accessibles à toutes les catégories sociales de la ville de Bechar, afin que soit effectuée une réduction des dépenses énergétiques des bâtiments résidentiels.

5.4. STRUCTURATION DE LA CERTIFICATION ENERGETIQUE PROPOSEE

5.4.1. Description les phases de la certification énergétique proposée

La procédure que nous avons présentée à l'originalité de considérer la structure du bâtiment, ses systèmes et les différents scénarios d'usages comme un ensemble mais également de répondre aux contraintes locales des professionnels et du marché. Notre proposition est appuyée à la fois sur une description du bâtiment, de ses systèmes, ses équipement et ses spécificités de fonctionnement. Elle est constituée trois phases :

- **Phase 01 : Analyse sur site et de mesures**

- **Description de l'enveloppe** : Effectuer une description détaillée de l'enveloppe, de la géométrie et de système
- **Le mode d'occupation** : Des informations concernant le mode d'occupation des habitants, à l'aide d'un questionnaire.

- **Phase 02 : Calcul de la consommation standard, réelle et l'économie d'énergie,**

Cette phase comprend

1. La consommation d'énergie du logement est calculée pour un comportement standard des occupants
2. Calculer la différence entre la consommation du bâtiment modifié et celle du bâtiment réel (selon des améliorations proposées de l'enveloppe et ses systèmes)
3. Selon les indices des performances énergétiques calculées auparavant (IPS, IPR, Iéco.....)

- **Phase 03 : Délivrance d'un certificat énergétique**

Les résultats obtenus sont figurés sous forme d'un « **certificat énergétique** » traduisant un label énergétique ou un plan d'efficacité énergétique :

- Selon un label énergétique, nous avons classé la consommation standard selon une échelle fixée par les instances nationales ou internationales. La consommation réelle doit également être présentée (selon les résultats de l'enquête) avec la répartition des consommations ou la facture énergétique.
- Le plan d'efficacité énergétique offre quelques recommandations et des possibilités d'économie d'énergie chiffrées.

- **Phase 04 : phase d'évaluation- certificats**

Chaque section comporte plusieurs critères sélectionnés suivant leurs pertinences

- Chaque crédit validé rapporte des points ;
- Chaque crédit obtenu est additionné puis pondéré par section ;
- La somme des crédits pondérée donne le score final de l'opération.

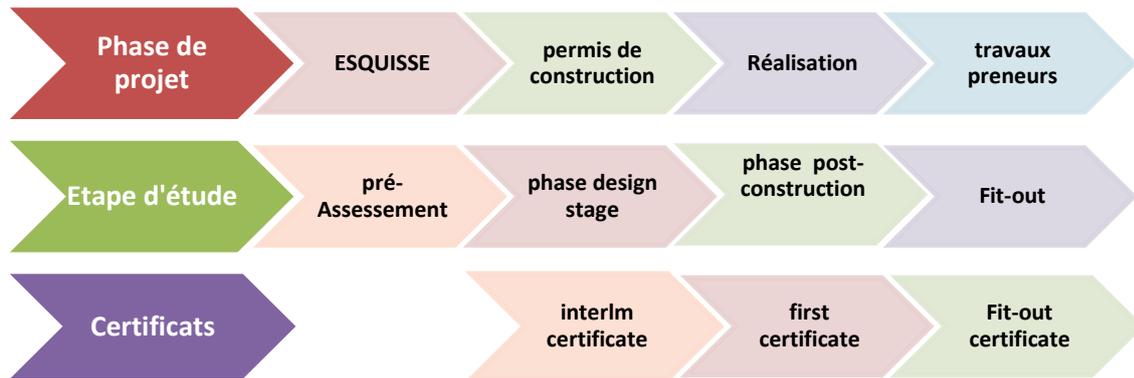


Figure 5.1 : Phase d'évaluation de certificat[HOYAUX A.F., 2000]

5.4.2. Calcul de la Consommation « standard », « réelle » et « eco »

5.4.2.1. Calcul de la Consommation « standard »

Pour la consommation standard, les données suivantes doivent être utilisées :

- Comportement standard des occupants en terme de gains gratuits : $5w/m^2$ et de besoins en ECS : $1KWH/m^2$
- Température de consigne fixe : $19C^{\circ}$
- Taux minimum de renouvellement d'air : $0.5 h^{-1}$;
- Climat standard fonction de la zone géographique.[ADRA N., 2001]

5.4.2.2. Calcul de la consommation « réelle »

Pour le calcul de la consommation réelle, les données suivantes sont considérées:

- Climat local ;
- Température intérieure réelle, obtenue soit à partir de l'indication du thermostat soit à partir des mesures sur site ;
- Les gains internes et les besoins en ECS sont calculés à partir du comportement réel des occupants. [THIERRY C., 1982]

Le calcul des gains internes demande d'utiliser un questionnaire pour avoir les informations sur le comportement des occupants et analyser les données des

mesures (Chapitre 2). Les résultats de ce calcul (quantité des gains internes par mois et les besoins en ECS) sont transférés à l'outil de calcul.

5.4.2.3. Calcul des économies d'énergie « ECO »

Le calcul des économies d'énergie ('ECO') est basé sur la consommation réelle (égale à la consommation standard si le comportement des occupants n'a pas été défini). Chaque économie potentielle est calculée par la différence entre la consommation réelle de départ et la consommation obtenue après amélioration des composants selon un processus itératif :

- Parois opaques
- Parois vitrées
- Système de chauffage
- Comportement des occupants

Cet indice est calculé au chapitre précédent, selon des systèmes proposés seulement pour les parois opaques et vitrées (l'isolation extérieure des parois verticales et horizontales, fenêtre performantes).

Tableau 5.3 : Calcul de la Consommation « standard », « réelle » et « l'eco » des systèmes étudiés

	Bâtiment référence	Isolation des parois	Isolation de la toiture	Protection solaire	Inertie thermique	Fenêtres Performances	Ventilation naturelle	optimal
Consommation « standard »	329,44	-	-	-	-	-	-	-
consommation « réelle »	-	144,69	222,26	200.45	161,62	263.33	148.94	126.13
Calcul des économies d'énergie « ECO »	-	184.75	107.18	66.11	128.99	180.5	167.82	203.31

5.4.3. L'amélioration thermique pour les parois

- **Pour les parois opaques**

- Si $U > U_{limit}$ (avec U_{limit} est le seuil à partir duquel on demande une amélioration de U défini pour chaque pays), alors U est remplacé par une nouvelle valeur égale à:
 - U_{eco} si elle a été spécifiée dans les données d'entrée avec $e_{i_{min}}$ est l'épaisseur minimale de l'isolant (cm). U_{perf} est la valeur optimale de U dépendant des standards nationaux (W/m^2K). [TRCHA M., et al., 2010]

La capacité et les ponts thermiques sont également remplacés par des valeurs correspondant au nouveau mur isolé. Le coût de l'investissement est calculé en multipliant le coût par mètre carré par la surface du mur.

Pour le cas européen, nous avons utilisé les valeurs d'isolation proposées dans les « solutions techniques » pour une maison individuelle (tableau 5.4) [CSTB, 2005]. Ces valeurs sont à adapter au niveau de chaque pays et selon les zones climatiques. Pour la ville de Bechar, notre cas d'étude, nous essaierons de proposer des valeurs qui seront expliquées dans le tableau suivant :

Tableau 5.4: Liste des différentes valeurs utilisées pour le calcul des économies d'énergie selon RT2012

Type de surface	RT 2012		RESULTATS AMELIORES	
	U_{limit} (W/m^2K)	U_{perf} (W/m^2K)	U_{perf} (W/m^2K)	$e_{i_{min}}$ (cm)
Mur vertical	0.5	0.35	0.65	6
Toiture horizontale	0.35	0.25	0.65	16
Plancher élevé	0.65	0.35	0.75	6
Vitrage	4	1.9	4	2
Partition verticale opaque	0.65	0.65	0.65	0.5
Partition horizontale opaque (plafond)	0.35	0.35	0.35	0.35
Partition horizontale opaque (plancher)	0.65	0.65	0.65	0.5
Plancher sur sol	0.45	0.35	0.45	0.30
Partition transparente	4	-	4	-

- **Pour les parois vitrées:**

Si $U > U_{limit}$ alors U est remplacée par U_{eco} (précisée dans les données d'entrée). Les facteurs solaires et d'encadrement sont également remplacés. Le coût de l'investissement est calculé en multipliant le coût par mètre carré par la surface du vitrage.

5.4.4. Des améliorations thermiques du système de chauffage et de refroidissement

Les mesures d'économie d'énergie utilisées concernent les données suivantes :

- *Température de contrôle :*

Si la température de consigne est supérieure à 19 °C, nous la réduisons à 19 °C. S'il n'y a pas d'intermittence, nous proposons un ralenti de nuit à 17°C.

- *Isolation des conduites :*

Si les conduites sont situées dans un espace non chauffé ou à l'extérieur, et si l'épaisseur de l'isolation est inférieure à une valeur choisie e_{perf} , nous devons alors utiliser $e_i = e_{perf}$ (prise égal à 30 mm). [ADRA, 2001]

- *Rendement de génération*

Le calcul final reprend la combinaison des **ECO** retenues en les combinant dans l'ordre suivant : amélioration de l'enveloppe, puis des composants du système de chauffage et finalement la température de contrôle. Les économies d'énergie sont converties en économie annuelle d'argent et le temps de retour brut **TR** est calculé par : le rapport entre l'investissement et l'économie annuelle ($TR = \text{Investissement} / \text{Economie annuelle}$)

La liste des mesures d'économie d'énergie est proposée pour l'ensemble des améliorations proposées, avec les coûts d'investissement et les économies d'énergie réalisables par chaque système prise indépendamment des autres. L'utilisateur peut alors choisir les mesures qui lui apparaissent les plus intéressantes parmi cette liste de propositions. (Voir chapitre 4)

5.5. PROPOSITION D'UN CERTIFICAT DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE (CPE)

5.5.1. Qu'est-ce que le certificat de performance énergétique(CPE)

Le **certificat de performance énergétique CPE** sur la base de la consommation mesurée, étend aux bâtiments fonctionnels les critères de performances pour les bâtiments d'habitation. Sur la base de consommation mesurée, l'efficacité énergétique globale d'un bâtiment informe sur fonctionnel du point de vue des valeurs de consommation de chaleur et d'électricité mesurées. Dans ce but, le bâtiment est comparé à un bâtiment de référence de même utilisation et de même géométrie. Ainsi, il peut être classé dans une catégorie de consommation d'énergie, afin que les futurs propriétaires ou locataires du bâtiment puissent évaluer la qualité énergétique du bâtiment. [AUDE P., 1997]

5.5.2. Quelles sont les indications contenues dans le CPE ?

Le **CPE** sur la base de la consommation mesurée tient compte du zonage, des utilisations, ainsi que des différentes techniques d'installation telles que chauffage, eau chaude, ventilation, climatisation, éclairage. Il donne en outre des informations sur les émissions de CO₂ et des recommandations de rénovation avec des indications sur l'énergie primaire économisée en cas de réalisation des mesures proposées. [BISSON E., 1994]

5.5.3. Etablissement du CPE sur base de la consommation mesurée

Le CPE est établi pour le bâtiment dans son ensemble (y compris les unités d'habitation éventuellement présentes). Les frais sont à la charge du propriétaire ou de la société propriétaire du bâtiment fonctionnel.

Pour les bâtiments fonctionnels existants, le CPE sur base de consommation mesurée est exigé en cas de vente ou de location depuis le 1er janvier 2011. Il doit également être établi pour toute transformation substantielle ne requérant pas d'autorisation de bâtir pour le bâtiment fonctionnel existant ou pour les

installations techniques qui affectent de manière substantielle le comportement énergétique du bâtiment :

- en cas de modification de plus de 10 % d'éléments similaires de l'enveloppe du bâtiment
- en cas de modification de la technique d'installation dans le cas d'un immeuble à appartements, ou pour une maison unifamiliale.
- Lors d'une extension d'un bâtiment fonctionnel ainsi qu'en cas de modifications énergétiques soumises à autorisation, le certificat de performance énergétique est également obligatoire.

5.5.4. Obligation d'affichage

- Date d'établissement et durée de validité
- Tableau comparatif pour la chaleur
- Tableau comparatif pour l'électricité
- Indications sur des consommateurs supplémentaires et les énergies renouvelables
- Informations concernant le bâtiment, le propriétaire et l'expert
- Tableau comparatif pour les indices
- Diagramme avec la consommation spécifique par an (chaleur et électricité) en comparaison avec l'indice de référence
- Description de l'installation technique du bâtiment
- Informations concernant le zonage du bâtiment
- Informations concernant la surface thermique et l'installation technique du bâtiment
- Propositions d'assainissements et estimations de la réduction des coûts énergétiques
- Tableau avec indicateur de consommation (chaleur & électricité)
- Explication des paramètres caractéristiques (Information générales)

5.5.5. Classement énergétique selon l'analyse globale

Il convient de signaler que notre proposition de certificat compose six classes, et la classe A est le meilleur en énergétique, économique et du confort ainsi

que pour les scénarios « exigence énergétique » et « exigence confort ». Nous remarquons aussi que la classe F est le plus énergivore en termes d'énergie. Il se présente en dernier catégorie.



Figure 5.2 : Classification énergétique selon quatre poids (similaire, confort, économique et énergétique)

5.5.6. Les indicateurs globaux de la performance énergétique

Les indicateurs de performance énergétique globaux sont :

1. La consommation totale d'énergie primaire et émissions de CO₂ du bâtiment

- Cette consommation prend en compte la consommation pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, les auxiliaires (circulateur, ventilateur, ...) et, éventuellement, le refroidissement. Elle ne prend ni en compte les consommations électriques pour l'équipement électroménager, ni l'éclairage. Elle permet de valoriser la production d'énergie thermique issue de panneaux solaires thermiques mais aussi la production d'énergie électrique produite par des panneaux solaires photovoltaïques ou une installation de cogénération.

Cette consommation s'exprime en kWh/an et reflète la consommation annuelle en énergie primaire du bâtiment. Cette consommation est convertie pour donner l'émission annuelle de CO₂ du bâtiment. Elle s'exprime en kg de CO₂.

2. **La consommation spécifique d'énergie primaire et l'émission de CO₂ spécifique** : Cette consommation spécifique **Espec** est le rapport entre la consommation annuelle totale d'énergie primaire et la surface de plancher chauffée. Elle s'exprime en kWh/m². an.

- C'est l'indicateur qui classe les bâtiments selon leurs niveaux de consommation et permet la labellisation de ceux-ci suivant leur performance énergétique (de A++ à G).
- Cette consommation est également convertie suivant les vecteurs énergétiques en **kg de CO₂** par **m²** par an pour donner l'émission annuelle de CO₂ par m² de plancher chauffé.
- **Surface de plancher chauffée (Ach)** : Somme des surfaces de planchers de chaque niveau du bâtiment situés dans le volume protégé, mesurées entre les faces externes des murs extérieurs. Sont comptabilisées les surfaces présentant une hauteur sous plafond minimale de 1m50.

5.5.7. Les indicateurs spécifiques du certificat de la performance énergétique proposé

Les indicateurs de performance énergétique spécifiques sont :

1. La qualité de l'enveloppe ;
2. La qualité du système de chauffage et de climatisation;
3. La qualité du système de production d'eau chaude sanitaire ;
4. La présence d'un système de ventilation ;
5. L'existence d'un système de production à base d'énergie renouvelable.

1. La qualité de l'enveloppe, niveau d'isolation ou performance de l'enveloppe du bâtiment

Cet indicateur représente l'énergie nette nécessaire pour compenser les pertes par transmission à travers l'enveloppe et les pertes par ventilation diminuées des gains solaires et des gains internes. Cette quantité d'énergie est aussi appelée « besoins nets en énergie de chauffage » (BNE).

Il s'exprime par m^2 de plancher chauffé et se présente sur une échelle partant d'une catégorie très favorable de consommation inférieure à $60 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ (couleur verte, smiley labellisé « très bon ») jusqu'à une catégorie de consommation très défavorable supérieure à $250 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ (couleur rouge, smiley labellisé « très mauvais »).

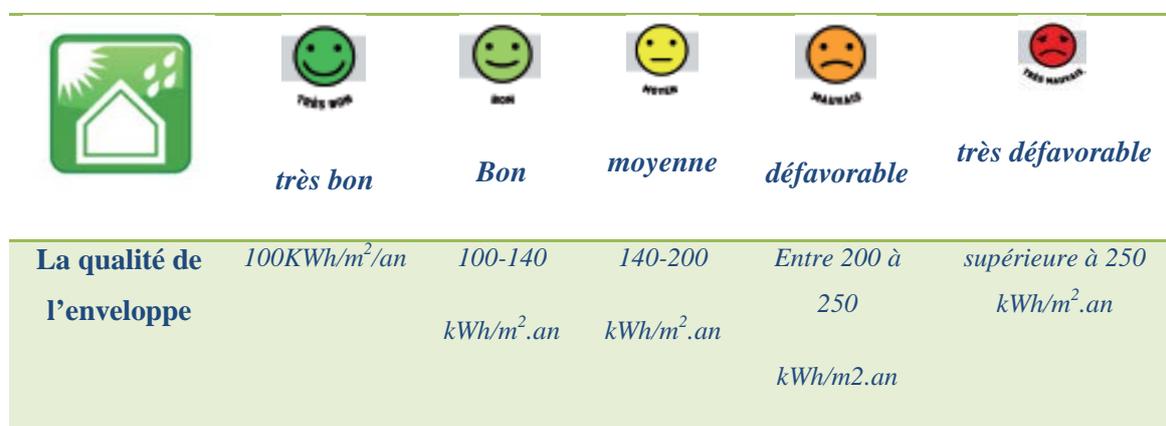


Figure 5.3 : Classement de la qualité de l'enveloppe selon certificat proposé CPE

Une maison basse énergie, très basse énergie voire passive est labellisée « très bon » et se trouve dans la catégorie inférieure à 60 kWh/m².an.(PEB)

2. La qualité du système de chauffage et de climatisation

Cet indicateur informe sur la qualité du ou des système(s) de chauffage des locaux et représente le rendement global en énergie primaire des installations. Le calcul de cet indicateur intègre les rendements d'émission, de régulation, de distribution, de stockage éventuel et de production de chaque installation de chauffage.

Il est représenté sur une échelle débutant à une catégorie de système dont le rendement global est supérieur ou égal à 80% (couleur verte, smiley labellisé «très bon») jusqu'à un niveau de rendement inférieur à 50% (couleur rouge, smiley labellisé «très mauvais»).

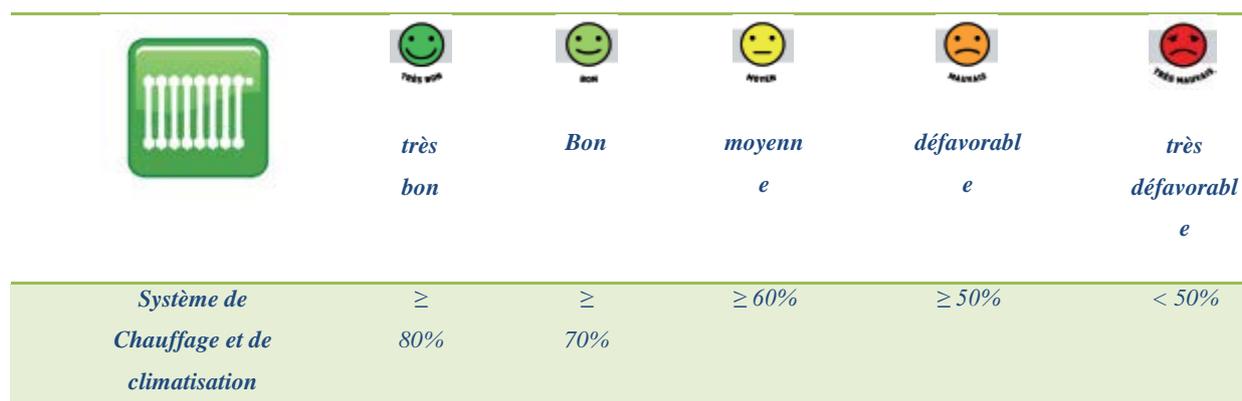


Figure 5.4 : Classement des Système de Chauffage et de refroidissement selon le certificat proposé CPE

Cet indicateur ne prend pas en compte l'utilisation d'énergie renouvelable pour le chauffage des locaux telle que la production d'énergie thermique issue de panneaux solaires thermiques ou la production d'énergie électrique produite par des panneaux solaires photovoltaïques ou une installation de cogénération.

Ces dernières sont néanmoins prises en compte pour le calcul de la consommation spécifique d'énergie primaire et interviennent donc dans l'attribution du label principal (Voir l'annexe V).

3. La qualité du système de production d'eau chaude sanitaire (ECS)

De façon similaire au chauffage des locaux, l'indicateur de la qualité de production d'ECS caractérise la performance globale en énergie primaire des installations de production, distribution et stockage éventuel de l'eau chaude sanitaire.

Il est représenté sur une échelle partant d'un rendement global supérieur ou égal à 60% (couleur verte, smiley labellisé «très bon») jusqu'à un rendement inférieur à 30% (couleur rouge, smiley labellisé «très mauvais»).

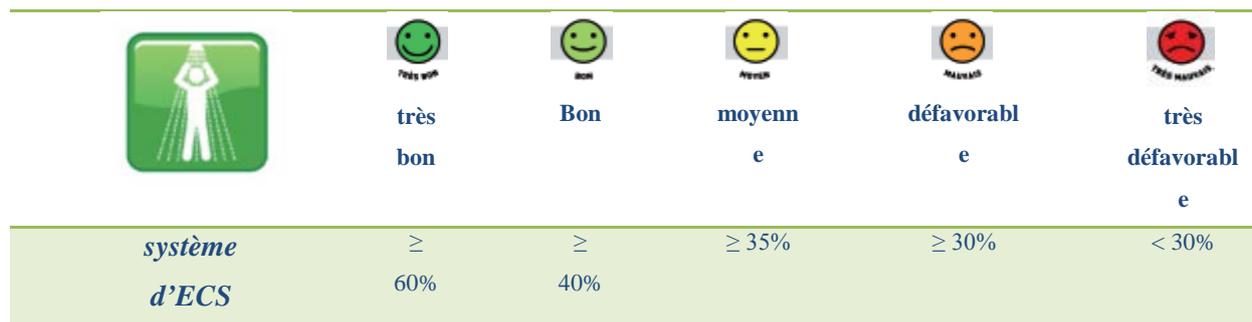


Figure 5.5 : Classement des *Système d'ECS* selon le certificat de la performance énergétique CPE

Cet indicateur est négligeable pour notre région désertique, et il ne prend pas en compte les systèmes de production d'énergie renouvelable pour la production d'eau chaude sanitaire tels que les chauffe-eau solaires. Néanmoins, ceux-ci sont pris en compte pour l'attribution du label principal et sont labellisés séparément dans la rubrique « Energie renouvelable » du certificat (voir Annexe v).

4. La qualité de la ventilation :

La présence d'un système de ventilation hygiénique dans l'habitation est observée par le certificateur.

Par exemple, l'absence de système de ventilation ou la présence d'un système incomplet donnent lieu à l'attribution d'un smiley respectivement rouge ou jaune.

5.5.8. Proposition d'un Certificat de la performance énergétique

La proposition du certificat a été définie en considérant les résultats des enquêtes réalisées auprès des occupants, les caractéristiques du logement, la

consommation énergétique calculée, la consommation par usages et les performances des appareils domestiques.

Nous allons proposer un certificat formé de deux pages :

- **La première page** : comprend des informations générales concernant le logement étudié. Les mesures nécessaires à notre procédure de certification sont :
 - Les dimensions du logement
 - La composition des parois (la nature de différentes couches)
 - La température moyenne de chaque pièce
 - La température moyenne extérieure
 - Le taux de renouvellement d'air : est le facteur pour calculer les pertes de chaleur par le bâtiment
 - L'éclairage : il faut connaître la puissance de lampe installé
 - L'eau chaude sanitaire : mesure la T° de production de l'eau chaude
 - Le système de chauffage.
 - La consommation électrique pour chaque appareil domestique (calculer la consommation moyenne (KWh pour les appareils qui fonctionnent continue)

- **La deuxième page** : comprend un sommaire des données et des conditions du calcul pour des consommations standard et réelle ; les mesures d'économies d'énergie possibles pour les systèmes, l'enveloppe et les équipements et des commentaires et des informations jugés utiles par le technicien. Cette page comprend:
 - La consommation énergétique annuelle pour des conditions standard, le coût énergétique annuel, et un indicateur de la performance selon une échelle de consommation d'énergie par surface chauffée et le coût annuel avec la surface du plancher (cette échelle est à établir pour chaque pays par rapport à la typologie de l'habitat et les performances souhaitées par les pouvoirs publics) ;
 - La consommation réelle, son coût et la répartition selon les différents postes de consommation (chauffage, eau chaude sanitaire, abonnement et maintenance, appareils domestiques et éclairage).

CPB-SS

Certificat de Performance Energétique des
Bâtiments résidentiels aux régions Sub-Sahariens
CPB-SS

CERTIFICAT N° :
Etablie le :.....
Valable
jusqu'au :.....

Certificat de performance énergétique des bâtiments résidentiels

Données administratifs

Rue :N° :boite : Photo du bâtiment

Localité :

Type de bâtiment :

Permis de bâtir /d'urbanisme/ unique obtenue le :

Numéro du permis :

Année de construction :

Prix de certificat :

Consommation énergétique calculée du bâtiment

Consommation totale d'énergie primaire :KWh/an

Consommation d'énergie spécifique primaire :KWh/an/m²

Indicateurs spécifiques

Indicateurs spécifiques

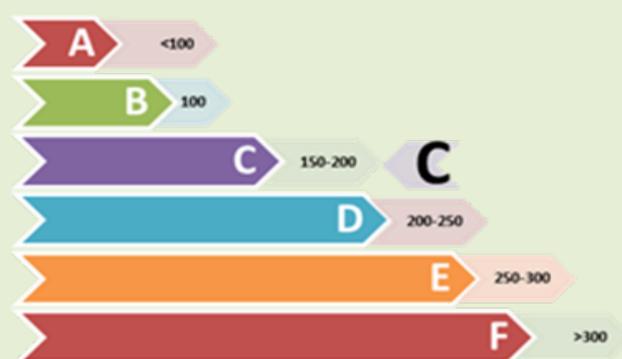
Enveloppe du bâtiment

Système de chauffage

Système de production d'eau chaude sanitaire

Ventilation

Système de production d'énergie renouvelable



Classe	Consommation (KWh/an)
A	<100
B	100
C	150-200
D	200-250
E	250-300
F	>300

Certificateur N° : Nom : Prénom : Rue : boîte : Localité :	Je déclare que toutes les données qui sont reprise de ce certificat sont conformes à la réalité. Date : Signature :
Page 1/2	

Figure 5.8 : Exemple d'un Certificat de Performance Energétique des Bâtiments résidentiels proposé pour les régions Sub-Saharien CPB-SS (page 1/2) [Source, l'auteur de mémoire]

CPB-SS

Certificat de Performance Energétique des Bâtiments résidentiels aux régions Sub-Saharien CPB-SS

CERTIFICAT N° :
 Etablie le :
 Valable jusqu'au :
 ...

Evaluation énergétique sommaire du bâtiment et des installations

1. Isolation façades	6. production de chaleur
2. Isolation toiture	7. production de froid
3. Fenêtres	8. production de vapeur
4. Protection solaire	9. ventilation et traitement de l'air
5. Système d'éclairage	10. autre systèmes thermique de l'enveloppe

Légende : moyenne très bon défavorable

Situation au moment d'établissement de certificat de performance énergétique

	Valeur spécifique de la consommation KWh/m ² .an	Valeur de référence KWh/m ² .an	Rapport (%)
Chaleur	71	168	90 %
Electricité	171	84	10%
Energie primaire	379	401	80%

Certificat de performance énergétique des bâtiments résidentiels

Emission CO₂	93	90	90%
Recommandations de modernisations prioritaires :			
1. Renforcer l'isolation des murs extérieurs			
2. Isolation de la toiture			
Consommation totale d'énergie primaire :KWh/an			
Consommation d'énergie spécifique primaire :KWh/an/m ²			
Page 2/2			

Figure 5.9 : Exemple d'un Certificat de Performance Energétique des Bâtiments résidentiels proposé pour les régions Sub-Saharien CPB-SS (page 2/2) [Source, l'auteur de mémoire]

5.6. Relevé des consommations et recommandations de modernisation pour les bâtiments existants

- **Des recommandations de modernisation** doivent être indiquées au certificat de performance énergétique.
- **Les données encodées** dans le relevé des consommations sont peu plausibles.
- **Les économies réalisables** par l'adoption des mesures d'amélioration indiquées au certificat de performance énergétique.
 - Ces économies ne s'appliquent pas à chaque mesure individuelle mais bien au cumul de ces mesures.
 - L'économie totale réalisable en appliquant les recommandations de modernisation a été calculée comme la somme des économies individuelles réalisées pour chacune des mesures d'amélioration. Cela ne tient pas compte des interactions entre les différentes mesures.
- Concernant les recommandations de modernisation, le prix du combustible utilisé dans le calcul du coût énergétique économisé sur 20 ans (DA/kWh) est incorrect ou ne correspond pas au combustible employé.
- **Un relevé des consommations** doit être présenté en page du certificat de performance énergétique.

Tableau 1.9 : Comparatifs des labels EFFINERGIE, MINERGIE, PASSIVHAUS et CPE proposé

Label(s) bâtiments basse consommation énergétique	Minergie® (Suisse)	BBC-effinergie (France)	Effinergie+® (France)	Passivhaus® (Allemagne)	CPE proposé
Énergie considérée	Primaire	Primaire	Primaire	Primaire (postes) Utile	Primaire

		(chauffage)				
Température de consigne		20°C	19°C	19°C	20°C	19°C
Niveau de performance pour l'habitat neuf 40kWhEP/m ² /an (pondéré par rapport à la zone géographique)		38kWhEP/m ² /an (pondéré par rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	50kWhEP/m ² /an (pondéré par rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	40kWhEP/m ² /an (pondéré par rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	15kWhEU/m ² /an 120kWhEP/m ² /an pour les postes	120kWh/m ² /an pour les postes (pondéré par rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)
Niveau de performance pour la rénovation		60kWhEP/m ² /an	80kWhEP/m ² /an		15kWhEU/m ² /an 120kWhEP/m ² /an pour les postes	120kWh/m ² /an pour les postes
Rapport énergie primaire/énergie finale	Électricité	2,7	2	2,58	2,58	2,7
	Fossile	1	1	1	1,1	-
	Bois	0,5	0,6	0,6	0,2	-
	PV	2	2,58	2,58	0,7	-

5.6. Conclusion

La procédure que nous avons présentée à l'originalité de considérer le bâtiment, ses systèmes, ses appareils et son mode d'occupation comme un ensemble. En outre, sa structure nous a permis de l'appliquer à Bechar.

Nous avons élaboré une procédure de certification énergétique cohérente avec les spécificités de la région Sub-Saharienne, dit « RT2012-SH ». À l'aide de méthode française RT2012, présentée dans le quatrième chapitre, et sur l'outil de simulation thermique dynamique, nous avons présenté en premier lieu les spécificités de la région et des bâtiments résidentiels dans la ville de Bechar, en commençant par une comparaison entre les données météorologiques de la ville de Bechar et les données météorologiques de la ville française la plus chaude. Puis nous avons cherché et présenté tous les scénarios d'usages conventionnels du site.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

L'amélioration de la performance énergétique des habitations, à climat sec et chaud, est influencée principalement sur l'utilisation des techniques et spécifications adéquates tant au niveau énergétique que mécanique. Une vision globale sur l'architecture vernaculaire a mis en exergue d'une architecture en forte relation appropriées avec la rudesse du climat. Malgré cela, les bâtiments actuels sont basés sur des technologies provenant d'autres contextes climatiques. Par conséquent, on observe des incohérences dans ce secteur qu'expose actuellement sur les ressources naturelles et le bien-être des utilisateurs. Cet état de fait et le fort taux d'urbanisation offre un énorme potentiel pour la démarche écologique en général, et bioclimatique en particulier. Il est primordial de se pencher sur les enjeux de conception des bâtiments durables, de grande performance énergétique. Pour ce faire, les outils de simulation ont été utilisés pour l'étude de la performance énergétique des bâtiments sous le climat sec et chaud de la ville de Bechar (sud-ouest d'Algérie).

Une présentation de l'univers des certifications énergétiques et des performances énergétique du bâtiment révèle une proposition d'une démarche d'évaluation de la qualité thermique et énergétique de l'enveloppe des constructions.

A l'échelle internationale, l'amélioration de la performance énergétique du cadre bâti existants ou neufs, s'intègre progressivement dans les processus de la démarche écologique et durables, en général et particulièrement la certification et des labels énergétique des bâtiments passifs et de haute efficacité énergétique. La simulation thermique constitue un moyen pertinent en termes de coût et de temps de mis en œuvre. Dans le cadre de cette thèse, nous appliquons des outils de simulation pour l'étude des bâtiments existants et aussi comme outils d'aide à la conception.

Concernant le diagnostic des bâtiments existants, il est nécessaire d'un modèle représentatif la réalité. Pour ce faire, une expérimentation d'un bâtiment type à Bechar a été mise en place et les résultats ont été confrontés aux prédictions de la simulation du modèle numérique «TRNSYS» et «Energy Plus» du bâtiment. Un processus pour la comparaison des résultats, basé sur l'analyse de l'optimisation des paramètres, a été appliqué. Une configuration satisfaisant les conditions de validation a été trouvée. Des améliorations pourraient également être apportées à cette recherche effectuée, par une proposition d'étudier des systèmes techniques

innovants et efficaces énergétiquement, appropriée de la région à climat chaud et sec, pourrait donc induire une réduction de la consommation énergétique, en assurant un confort malgré des conditions climatiques extrêmes.

En l'état actuel, nous avons proposé d'un certificat de la performance énergétique, simple et complet, basé sur des sources d'information réelles, qui produit une amélioration importante en performance énergétique et en confort limité aux bâtiments résidentiels. Une autre perspective serait de développer un certificat pour les bâtiments individuels, tertiaires et publics, à l'aide de la simulation dynamique, afin de déterminer les limites réglementaires des indices de performance et les solutions techniques adaptées pour ces types de bâtiments.

La première contribution scientifique de la thèse est une recherche bibliographique sur la performance énergétique et un état de l'art sur la typologie de la certification énergétique, de manière générale.

Pour la deuxième contribution scientifique, une enquête liée à l'état actuel de la construction des habitations de la ville de Bechar, entraînant une augmentation de la consommation énergétique et produisant une situation d'inconfort pour les habitants. Nous avons présenté le contexte énergétique du résidentiels de la ville de Bechar, qui constitue une forte consommation d'électricité et du gaz. Un problème lié aux systèmes du chauffage et de climatisation utilisés avec la mauvaise application du règlement thermique existant.

Cette enquête nous a permis de mettre en évidence que la construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été (dû à des températures élevés) ; avec une facture énergétique lourde pour la plupart des ménages. Les systèmes de chauffage utilisés ne sont pas suffisants, pour assurer le confort des usagers pour la période hivernale. Pareillement, les systèmes de climatisation, sont utilisés tout le temps dû à des températures élevées. Ces systèmes sont souvent mal dimensionnés et son grand consommateurs d'énergie.

Dans l'étape suivante, nous avons procédé à une étude expérimentale d'un appartement existant afin de valider l'outil de simulation choisis. Cette étape montre la nécessité à imposer des solutions des bâtiments résidentiels afin de pouvoir maîtriser la consommation énergétique et améliorer l'état de confort des occupants. Ceci peut être réalisé par la mise en place d'une mesure expérimentale à l'aide des

appareils, pouvant contrôler à la fois les ambiances internes et alléger les consommations énergétiques des espaces habités.

Par la suite, des indices de la performance énergétique ont été calculés pour évaluer le comportement thermique du bâtiment et le confort thermique. Cela nous a permis de mettre en évidence des études comparatives menées dans le but de l'amélioration de leur performance thermique. Il a alors été question de se focaliser des systèmes passifs implémentés au moyen d'outils d'interopérabilité, et d'optimisation.

Au terme de cette recherche, nous avons montré que la proposition des systèmes passifs adaptés a permis de répondre aux besoins aux contextes énergétiques et climatiques de la région sub-saharienne. Pour ce faire, un travail important devra être réalisé pour doter le secteur d'une base de données qualitative sur les propriétés des matériaux de construction.

Exclusivement, nous avons élaboré une proposition d'une certification énergétique cohérente avec les spécificités de la région Sub-Saharienne, dite « RT2012-SS ». À l'aide de méthode française RT2012, nous avons effectué une analyse critique de l'appliquer pour une extension vers la région Sub-Saharienne, en gardant la même structuration du bâtiment et en choisissant les systèmes énergétiques les plus accessibles dans la ville de Bechar, afin de valider la possibilité d'appuyer la forme générale de la méthode RT 2012 dans le contexte de notre région d'étude.

Nous avons ainsi simulé le bâtiment de référence par l'outil de simulation TRNSYS choisi dans le but de calculer les indices réglementaires de performance. Le résultat de cette simulation nous a montré qu'il était possible d'adapter certains indices (Tic Cep) et qui sera remplacés par un nouvel indice (IPS) et d'en rejeter d'autres (Bbio).

Une série de solutions techniques susceptibles d'apporter une amélioration énergétique du bâtiment de référence est proposée. Après, nous avons effectué tous les couplages possibles entre les solutions techniques retenues, dans le but de mettre en évidence les limites des améliorations énergétiques et thermiques possibles pour les bâtiments résidentiels de la ville de Bechar. Concernant l'amélioration des performances des parois opaques, nous avons examiné la configuration d'une isolation par l'extérieur (la technique des plaques en polystyrène expansé), pour les murs et la toiture.

D'autres solutions passives suivantes ont été proposées : la ventilation, la protection horizontale, les fenêtres performantes et l'inertie thermique. De simples solutions conduisent à l'amélioration des performances thermiques tant répandue dans notre zone climatique. L'impact d'une isolation thermique des parois opaque permet d'atteindre un confort thermique ($28.5C^{\circ}$), c'est-à-dire un abaissement de $3C^{\circ}$. La configuration de toiture avec protection horizontale ne permet pas une amélioration efficace de la performance énergétique. La ventilation nocturne, par des cours intérieures, est une solution passive pertinente pour nos régions et donne un résultat optimal en période estivale.

L'utilisation des fenêtres performantes, en posant un double vitrage est nouvelle dans notre région. Cette solution passive a été proposée en se focalisant sur les apports solaires et l'éclairage naturel. L'utilisation des fenêtres performantes dans le bâtiment étudié entraîne une réduction de l'ordre de 22% sur l'énergie extraite pour le refroidissement du bâtiment climatisé et une réduction de l'ordre de 5% sur les périodes d'inconfort.

Renforcer l'inertie thermique des parois opaques a aussi fait l'objet d'étude d'optimisation dans notre contexte climatique. Enfin dans ce travail, l'utilisation des techniques d'analyse du bâtiment nous ont permis d'émettre des recommandations sur la conception des bâtiments dans notre contexte climatique. Cette évaluation a commencé par des calculs des indices réglementaires de la performance énergétique IPS, Bbio et Cep concernant un bâtiment de référence, qui ont montré des valeurs élevées traduisant une qualité énergétique médiocre du bâtiment actuel de référence. C'est pour cette raison, nous avons proposé des solutions passives afin d'améliorer ces valeurs de la performance énergétique.

Nous pouvons constater que la meilleure solution et la plus économe en consommation énergétique est réalisée par le système d'isolation, avec une réduction de 56,08 %, et 54% pour l'inertie thermique. Aussi, le système de ventilation naturelle, créant par une cour intérieure, présente une réduction 50,94%. Les systèmes de la toiture isolée et la protection horizontale permettent une réduction de 32,53% , 20,067% et 39,15% en été uniquement. Par contre, le système des fenêtres performantes ne produit pas un changement important au niveau de la consommation énergétique globale.

Cette amélioration effectuée un couplage entre des systèmes passifs choisis, a permis de mettre en place des valeurs limites de ces indices que nous pourrions atteindre dans notre contexte spécifique. Par la suite, nous avons réalisé une analyse multicritère, afin d'apprécier les meilleures solutions de point de vue énergétique, économique et de confort. Cette étude nous permet de fournir une certification énergétique simple et basée sur des sources d'information réelles qui produit une amélioration importante en performance énergétique et en confort, limitée pour la rénovation des bâtiments résidentiels existants et les bâtiments neufs.

Enfin, nous avons élaboré une étude globale des solutions techniques retenues et de leurs couplages, sur une base économique, afin de préconiser des valeurs de référence pour les indices de performances retenus dans cette proposition de la certification énergétique destinée aux bâtiments résidentiels de la région Sub-saharienne. L'analyse technico-économique a été effectuée de l'ensemble des systèmes techniques sous la forme des coûts d'investissement, de consommations, d'économie réalisée et de temps de retour sur l'investissement.

La procédure que nous avons présentée à l'originalité de considérer la structure du bâtiment, ses systèmes et les différents scénarios d'usages comme un ensemble mais également de répondre aux contraintes locales des professionnels et du marché. En outre, sa structure, similaire à la réglementation française RT2012, nous permet d'espérer une application dans la région Sub-Saharienne, similaire à la RT2012 en France.

Ce travail a donc permis de structurer un certificat énergétique susceptible d'être appliqué aux bâtiments de référence dans la région Sub-Saharienne (à climat chaud et sec), ce qui peut permettre d'effectuer une réduction significative de la consommation énergétique et, en même temps, d'améliorer l'état du confort de ces bâtiments. Cette proposition d'une certification énergétique, comme une stratégie durable, sollicite une diffusion auprès d'un outil pertinent de la simulation thermique dynamique du bâtiment. Les certifications énergétiques sont un des mécanismes utilisés pour mettre en œuvre une amélioration de la performance et l'efficacité énergétique. Ils ont pour objectif de faciliter les investissements permettant de réduire la consommation d'énergie, à la fois par un soutien financier, la fourniture d'informations et de conseils aux investisseurs et la structuration des professionnels.

Références bibliographiques

[ADEME, 2010] **ADEME C.**, Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum , 2013.

[ADRA N., 2001] **ADRA N.**, Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale, 2001.

[AGARWAL, A. et all., 2013] **AGARWAL A., COLAK S., et ERENGUC S.**, A neurogenetic approach for the resource-constrained project scheduling problem. In : Computers & Operations Research , Vol. 38, n° 1, p. 44-50. 2013.

[AHI P., 2013] **AHI, P., et SEARCY C.**, A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. In : Journal of Cleaner Production, Vol. 52, p. 329-341, 2013.

[AKASAH Z., 2013] **AKASAH Z.A., ALIAS M.**, 2009. Application of the generic process modelling in the preservation of heritage school buildings. In : Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XI, p. 323-333, 2009.

[APRUE, 2007] **APRUE** Rapport Scientifique, 'Consommation Energétique Finale de l'Algérie', APRUE, 2007.

[ARTIGUES C, et al 2013] **ARTIGUES C., DEMASSEY S., NÉRON A.**, Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications, London; Hoboken, 2008.

AUDE P., 1997] **Aude P.**, Contribution à l'amélioration des protocoles de validation des modèles numériques de simulation du comportement thermo-aéraulique des bâtiments, Thèse de doctorat, Institut, National des Sciences Appliquées de Lyon, 1997.

[BARAKAT S.A., 1983] **Barakat S.A., Sander D.M.**, A method for estimating the utilization of solar gain through windows, Vol.89, p:12-22, AHRAE Transactions, 1983,

Références bibliographiques

[BEYDOUN M., et al., 1986] **Beydoun M., et Ouaida B.**, Evaluation thermique de l'habitat au Liban. Beyrouth, Centre de recherche sur l'énergie solaire, Beyrouth, Liban, 1986.

[BEZIAN J.J., 1998] **Bezian J.J.**, Transferts de chaleur et lampe basse consommation, Rapport, Ecole des mines de Paris, Centre d'énergétique, Sophia Antipolis, 1998.

[BISSON E., 1994] **Bisson E.**, Building certification, The building energy certification: state of progress and perspectives, Sophia Antipolis, France, 1994.

[BOUSNINA M., 2004] **BOUSNINA M.**, Caractéristiques et particularités de l'habitation saharienne traditionnelle à Béchar, Mémoire de Magister, Université de Tahri Mohammed Béchar, 2004.

[BENNIS A et al. 2011] **BENNIS A., BOMBARDIER V., THIRIET P., et BRIE D.**, Recalage d'un nuage de points de scanner laser terrestre avec une image de bâtiment. In : XXIIIe Colloque GRETSI Traitement du Signal & des Images , Bordeaux, France , 2011.

[BERDOULAY et al. 2002] **BERDOULAY V., et SOUBEYRAN O.**, L'écologie urbaine et l'urbanisme: aux fondements des enjeux actuels. Paris, France : La Découverte. Recherches, 2002.

[BRIGITTI V., 2006] **BRIGITTI V.**, L'habitat écologique et les aides de l'état, Eyrolles, 2006.

[CHATELET A., et all 1998] Chatelet A., Fernandez. P., Lavigne. P., Architecture climatique : une contribution au développement durable : Concepts et dispositifs, Aix-en-Provence, Edition Edisud, 1998.

[CHAHWANI. L., 2011] **CHAHWANI. L.**, Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, France, 2011.

[CHEN J., 2005] **CHEN J.**, colloque d'Environnement et santé durable, Dangles, 2005.

Références bibliographiques

[CHERQUI F., 2005] **CHERQUI F.**, Thèse de doctorat : méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier, Méthode ADEQUA, 2005.

[CHILEA F., 2008] Chilea. F, Développement d'une méthodologie de conception de bâtiment à basse consommation d'énergie, Thèse de doctorat, université de La Rochelle, France, 2008.

[COURGEY S., 2006] **COURGEY S., et OLIVE J.P.**, 2006, La conception bioclimatique des maisons confortables et économes, Eurografica, Italie, 2006.

[CSTB, 1988a] **CSTB**: Centre Scientifique et technique du bâtiment, Règles Th-C, règles de calcul du coefficient de performance thermique globale des logements, 1988.

[CSTB, 1988b] **CSTB**: Centre Scientifique et technique du bâtiment, Th-BV, règles de calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements, 1988.

[COTE M., 1990] **COTE M.**, L'Algérie, espace et société : Dynamique urbaine au Sahara, Paris, Masson-Conn Édition, 1990.

[DEHAUSSE R., 1988] **DEHAUSSE R.**, Energétique des bâtiments, Tome 2 : Calcul des enveloppes, Edition Pyc , Paris, 1988.

[DEPLAZES A.B. ,1997] **DEPLAZES A.B.**, Construire l'architecture du matériau brut à l'édifice, 1997.

[DEBEUSSCHER P et al., 1994] **DEBEUSSCHER P., SOPHIA A.**, The building energy certification: state of progress and perspectives, Ademe et CSTB, France, 1994.

[DJELLOUL A. et al., 2013] **DJELLOUL A.**, Simulation du comportement des batiments résidentiels au sud Algérien, Courrier de savoir, université de Biskra, 2013.

[DILLENSEGER J.P., 1986] **DILLENSEGER J.P.**, Habitation et santé : éléments d'architecture biologique, colloque vie et Survie, Dangles, 1986.

Références bibliographiques

[DOUGLAS C., 1997] **DOUGLAS C.**, Design and analysis of experiments, 4^{ème} édition John Wiley, New York, 1997.

[DESPRETZ H., et all 1994] **DESPRETZ H., CONTI F., Despretz H., Conti F.**, Different approaches to the building energy certification in EU member countries, The building energy certification: the state of progress and perspectives, Sophia Antipolis, France, 1994.

[DURAND P.G, 2010] **DURAND P.G**, Bâtiments et performance énergétique, France, 2010.

[DTR, 2005] **Document Technique Réglementaire** Des Bâtiments d'Habitation " DTR. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques ' Climatisation', Fascicule 2, ISBN: 9961-845-19-6, 2005.

[ECHALLIER J.C, 1968] **ECHALLIER J.C**, Essai sur l'habitat sédentaire traditionnel au Sahara algérien, Université de Paris, Institut d'urbanisme, Éditions Paris, 1968.

[ESTIENNE P., 1998] **ESTIENNE P., et GODARD A.**, Climatologie, Nouvelle présentation, S.E.S.J.M, Armand Colin, Paris , 1998.

[FALCON M., 2011], **FALCON M.**, Proposition de modélisation d'un processus de rénovation industrialisée des immeubles de logements collectifs. In : 12^{ème} congrès des doctorants, Toulouse, France , 2011.

[FAURA M., 2005] **FAURA M.**, Histoire critique de l'architecture, Evolutions et transformations en architecture pendant le 18^é 19^é et 20^é siècles, 2005, OPU (Office des publications universitaires), Algérie, 2005.

[FERNANDEZ P. LAVIGNE P, 2009] **FERNANDEZ P., LAVIGNE P.**, Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondement et méthodes, Paris 2009,

[FERNANDEZ P., 2001] **FERNANDEZ Pierre**, Haute qualité environnementale : la démarche en question, le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, n° 5077, Edition du Moniteur, Paris, 2001.

Références bibliographiques

[FEZZIOUI N. et al., 2008] **FEZZIOUI N., DRAOUI K., et BENYAMINE M.,** Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 25-34, 2008.

[FLORY C., 2008] **FLORI C.,** Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, Thèse de doctorat, université Lyon 1, France, 2008.

[FURBRING J.M., 1994] **FURBRINGER J.M.,** Sensibilité de modèles et de mesures en aérodynamique du bâtiment à l'aide de plan d'expérience, Thèse de doctorat, École polytechnique supérieure fédérale de Lausanne, Lausanne, 1994,

[FRANCOIS D.S., 1998] **FRANCOIS D.S,** Habitat et relations familiales, Paris, Plan Construction et Architecture Éditions. 1998.

[GRATIA E., ANDRE D H., 2006] **GRATIA E., ANDRE D.H,** Thermique des immeubles de bureaux, UCL, presses, Université de Louvain, Belgique, 2006.

[GIEC, 2001] **GIEC,** Bilan des changements climatiques, Rapport de synthèse, Résumés des groupes de travail, IPCC, 2001.

[GIVONI B., 1978] **GIVONI B.,** l'homme, l'architecture et le climat, Edition du Moniteur, Paris, 1978.

[GIVONI B., 1998] **GIVONI B.,** Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the Indoor Daytime Temperatures. Part I: 1993 Experimental periods', Energy and building, Vol.28, N°1, pp. 25-32, 1998.

[GONZALO R., H. K., 2006] **GONZALO R., et HABERMENN Karl J.,** Architecture et efficacité: principe de conception et de construction, BIRKHAUSER, Paris,2006.

[GUYOT G., 1999] **GUYOT G.,** Climatologie de l'environnement, Cours et exercices corrigés, 2^{ème} Edition, Dunod, Paris. P.525,1999.

Références bibliographiques

[HAMOUDA, M., 2006] **HAMOUDA M.**, Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna, Revue des Energies Renouvelables, Vol.9, N°3, pp. 211-228,2006.

[HANNACHI B K, 2013] **HANNACHI-BELKADI K.**, Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie, Thèse de doctorat, université de Tlemcen, 2013.

[Henderson. G., 2000] **HENDERSON G.**, Standard Assessment Procedure, National Home energy rating, BELAS Mechanisms for energy labeling of existing buildings, Country report, United Kingdom, 2000.

[HQE, 2014] **HQE association**, Performance, Règles d'application pour l'évaluation environnementale des bâtiments existants, 2014 .

[INSEE et al., 2011] **INSEE, SOES, CITEPA, CCNUCC**, Stratégie nationale de développement durable, Rapport, France, 2011.

[IDRISSI A. 2014] **IDRISSI A** , La Banque mondiale, Perspective monde, Rapport, Université de Sherbrooke, Québec. Canada, 2014.

[JAFFAR A., 1990] **JAFFAR A.**, Comptabilité énergétique urbain. Le cas de l'agglomération d'Amman, Thèse de doctorat, Université de Paris XII, France, 1990.

[KONYA A., et al 1980] **Konya A., Konya A.**, Design primer for hot climates, Londres, The Architectural Press, 1980.

[LAVIGNE P., 1981] **LAVIGNE P.**, Energie, climat, confort, soleil et architecture, volume2, UPAG, Grenoble, 1981.

[MAES P., 2009] **MAES P.**, Labels d'efficacité énergétique, France, Bâtiment 2030: quels bâtiments pour l'avenir?, Sophia, Antipolis, 2009.

[MAJORIE M., 2008] **MAJORI M.**, Approches physiques des ambiances urbaines, rapport CERMA, Nantes, 2008.

[MAZRIA E., 2005] **MAZRIA E.**, Le guide de la maison solaire, Edition Parenthèses, 2005

Références bibliographiques

[MAZOUZ S., 2004] **MAZOUZ S.**, Elément de conception architecturale, OPU (Office des publications universitaires), Algérie, 2004.

[MOUJALLED B., 2007] **MOUJALLED B.**, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de doctorat, Ecole doctorale : MEGA, spécialité Génie Civil , 2007,

[MARGARITA N.A., 2004] **MARGARITA N.A.**, Développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électro-chromique pour des applications des bâtiments, Thèse de doctorat , Université de , 2004.

[PAGNEY.M., 1987] **PAGNEY.M.**, Les climats de la terre, 1994, Masson 2^{ème} édition, Paris, 1994.

[PLATZER M., 2009] **PLATZER M.**, Mesurer la qualité environnementale des Bâtiments, méthodes globales, normes et certifications : Cas pratiques, Le Moniteur, paris, 2009.

[PLATZER M., 2009] **Michel P.**, Mesurer la qualité environnementale des bâtiments, Le Moniteur, Paris, 2009.

[MADJELAKH D., et al., 2008] **MADJELAKH D., ABDOU S.**, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Revue des Energies Renouvelables, Vol.11 N° 3, pp.329-341.,2008.

[M.H.A.B L. Y., et al., 2001] **M.H.A.B L. Y., BOUKADOUM F., FLEURY E., BOLHER A.**, Etude de Sensibilité de Paramètres des Bâtiments Climatistes en Algérie, Revue des Energies Renouvelables : Journées de Thermique, 2001. pp.133-138, 2001.

[MOREL N., 2008] **MOREL N., GNANSOUNOU.E**, Énergétique du bâtiment, faculté d'environnement naturel, architectural et construit, EPA (École polytechnique fédérale de Lausanne. 2008.

[MULLER D.G., 2001] **MULLER D.G.**, L'architecture écologique, 29 exemples européens, le Moniteur, Paris, 2001.

Références bibliographiques

[OUALI S., et al., 2007] **OUALI S., KHELLAF A. et BADDARI K.**, Etude des ressources géothermiques du sud algérien, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3, 2007. pp.407 – 414, 2007.

[ROULET C.A., 1987a] **ROULET C.A.**, Énergétique du bâtiment I, Presse Polytechnique Romandes, Suisse, 1987.

[ROULET C.A., 1987b], **ROULET C.A.**, Énergétique du bâtiment II, Presse Polytechnique Romandes, Suisse, 1987.

[ROUGERON C., 1979] **ROUGERON C.**, 1979, L'isolation acoustique et thermique dans le bâtiment, 3^{ème} édition Eyrolles, 1979.

[S.D.O 2016] **SDO** Données d'Electricité et du Gaz SONELGAZ Société Nationale d'Electricité et du GAZ, SONELGAZ, la ville de Bechar , 2016.

[THIBAUT C., 2007] **THIBAUT C.**, Habiter entre ville et nature, Edition France terre, France, 2007.

[THIERRY C., 1982] **THIERRY C., FAURE.D, ROUX.D**, Chauffage de l'habitat et énergie solaire, Tome I : Confort thermique et techniques de chauffage, Edition Edisud, Provence, 1982.

[TROIN J.F., 1986] **TROIN J.F.**, Le Maghreb - homme et espace, Annales, Economies, Sociétés, Civilisation, Volume 41, Numéro 6. P 1341-1343,1986.

[TOURNUS. J, 1982] **TOURNUS J.**, La maison sur mesure, Moniteur, Paris,1982.

[VARENIO C., 2012] **VARENIO C.**, L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement, Céline Varenio, 2012.

[VELÁZQUEZ R., 2015] **VELÁZQUEZ R.**, Processus de conception énergétique de bâtiments durables, thèse de doctorat, Université de 2015.

[WRIGHT D., 2005] **WRIGHT D.**, Manuel architecture naturelle, Edition Parenthèses, 2004.

ANNEXE 1 : Les labels énergétiques et environnementaux de la construction

Les premières certifications ISO9000 sont apparues en 1994, a pour objectif de mieux maîtriser la qualité de la construction. Mais elle n'étant pas reconnue par les maîtres d'ouvrage. Ces initiatives de performance des bâtiments ont été menées par certains pays anglo-saxons avant d'être adoptées par d'autres États, chaque pays les ayant adoptées selon leurs conditions climatiques, leur environnement propre et leur volonté politique et sociale.[IDRISSI et al., 2014]

i. Les labels énergétiques «Minergie, Effinergie BBC »

Pour la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, les labels de la construction, et plus particulièrement les labels énergétiques, montrent un intérêt généralisés visés à l'atteinte du facteur 4 énergétique et climatique. Ce constat peut être établi en étudiant les labels dits « énergétiques ». Pour respecter le facteur 4 énergétique et climatique, chaque bâtiment devra consommer moins de 60 kWh_{ep}/m²/an (Chauffage+ECS) en 2050, et émettre au maximum 9 kgCO₂/m²/an (hypothèse de division par 4 par rapport aux émissions actuelles) [BANFI S. et al., 2013] et [Grenelle Groupe 1, 2008b]. (Voir le tableau 1.2).

Tableau 1.1 : Consommations et usages concernés [IDRISSI et al., 2014]

Minergie	Effinergie BBC	Passivhaus	Facteur 4 (2050)	Minergie	Effinergie BBC
Seuil de consommations bâtiment neuf	38 kWh _{ep} /m ² /an	50 kWh _{ep} /m ² /an	120 kWh _{ep} /m ² /an	60 kWh _{ep} /m ² /an	Seuil de consommations bâtiment neuf
Seuil d'émissions équivalent*	6 kgCO ₂ /m ² /an	7 kgCO ₂ /m ² /an	17,5 kgCO ₂ /m ² /an	9 kgCO ₂ /m ² /an	Seuil d'émissions équivalent*
Usage concernée pour les seuils de consommations	Chauffage + ECS + Ventilation + Climatisation	Chauffage + ECS + Ventilation + Refroidissement + Éclairages + Auxiliaires -Photovoltaïque	Toutes consommations d'énergie, énergie spécifique incluse	Chauffage + ECS	Usage concernée pour les seuils de consommations

Annexes

Seuil de consommations bâtiment neuf	38 kWh _{ep} /m ² /an	50 kWh _{ep} /m ² /an	120 kWh _{ep} /m ² /an	60 kWh _{ep} /m ² /an	Seuil de consommations bâtiment neuf
---	--	--	---	--	--------------------------------------

Source : Auteurs : Source : auteurs à partir du site de www.alterre-bourgogne.fr [1]

Tous les labels, énergétiques comme environnementaux, expriment les consommations énergétiques des bâtiments en kWh. Cependant, selon les cas, ces données peuvent faire référence.

- **L'énergie primaire** : est la première forme de l'énergie directement disponible dans la nature (bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique). L'énergie primaire n'est pas toujours directement utilisable et fait donc souvent l'objet de transformations. . [TRIBU Énergie, 2006].
- **L'énergie finale** : est l'énergie livrée aux consommateurs pour être convertie en énergie utile (par exemple : électricité, essence, gaz, gazole, fioul domestique, etc.). [SRITI L., 2013]
- **L'énergie utile** : est l'énergie dont dispose le consommateur, après transformation par ses équipements (chaudière, convecteurs électriques, ampoule électrique). La différence entre l'énergie finale et l'énergie utile tient essentiellement au rendement des appareils utilisés pour transformer cette énergie finale. Ces trois énergies sont toutes reliées entre elle par les équations suivantes (équation 1) : [YVAN D., et al., 2012]

Tableau 1.2 : Comparatifs des labels EFFINERGIE, MINERGIE ET PASSIVHAUS[WETTER M., et al., 2011]

Label(s) bâtiments basse consommation énergétique	Minergie® (Suisse)	BBC-effinergie (France)	Effinergie+® (France)	Passivhaus® (Allemagne)
Énergie considérée	Primaire	Primaire	Primaire	Primaire (postes) Utile (chauffage)
Température de consigne	20°C	19°C	19°C	20°C
Niveau de performance pour l'habitat neuf	38kWhEP/m ² /an (pondéré par	50kWhEP/m ² /an (pondéré par	40kWhEP/m ² /an (pondéré par	15kWhEU/m ² /an 120kWhEP/m ² /an

Annexes

40kWhEP/m ² /an (pondéré par rapport à la zone géographique, à		rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	rapport à la zone géographique, à l'altitude et à l'utilisation du bâtiment)	pour les postes
Niveau de performance pour la rénovation		60kWhEP/m ² /an	80kWhEP/m ² /an		15kWhEu/m ² /an 120kWhEP/m ² /an pour les postes
Rapport énergie primaire/ énergie finale	Électricité	2,7	2	2,58	2,58
	Fossile	1	1	1	1,1
	Bois	0,5	0,6	0,6	0,2
	PV	2	2,58	2,58	0,7

ii. Les labels environnementaux

Grâce à des démarches multicritère, les labels environnementaux, sont désignés comme les seuls à viser à la prise en compte de l'ensemble des objectifs de la construction souvent définie comme « durable ». Bien sûr, la majorité des labels environnementaux utilise des critères pondérés. La pondération utilisée sur un critère ou un groupe de critères permet au demandeur du label de choisir quels sont pour lui les objectifs primordiaux pour la réussite de son projet de construction (rationalité procédurale). [DING G., 2008]. Nous pouvons distinguer les labels suivants :

a. Quatre labels français :

1. Le label Haute Qualité Environnementale (HQE) [CERTIVEA, 2008]
2. Le label Habitat et Environnement (Qualitel, 2008) ;
3. Le label Maisons de Qualité (Envirobat, 2007) ;
4. Le label Bâtiment Basse Consommation (BBC) [Association Effinergie, 2008].

b. Deux labels à vocation internationale :

Annexes

1. Le label Leadership in Energy and Environmental Design (**LEED**) (Canada Green Building Council, 2004);
 2. Le label BRE Environmental Assessment Method (**BREEAM**) (BRE, 2008)
- c. **Quatre labels d'origine étrangère :**
1. Le label Minergie (Association Minergie, 2008) ;
 2. Le label Passivhaus (La maison passive France, 2007) ;
 3. Le label Green Mark (Green Mark, 2008) ;
 4. Le label CASBEE (JSBC, 2008).

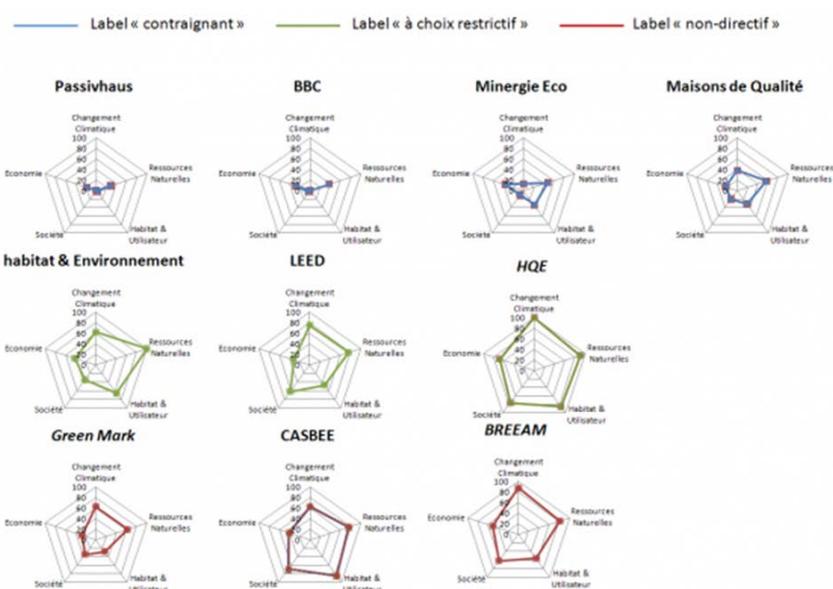


Figure 1.7 : Cartographie des labels selon 5 dimensions du développement durable « Cartographié » [TIAN Z., et al. 2009]

1.4. PRÉSENTATION DES STANDARDS ENVIRONNEMENTAUX

Aujourd'hui, il existe un grand nombre de standards environnementaux à travers le monde. Nous considérerons ici les principaux standards en termes de notoriété. Parmi les standards, nous distinguerons deux grandes familles :

1. Standards environnementaux généraux,
2. Standards énergétiques.

Dans chacune de ces catégories, nous tenterons tout d'abord de mettre en avant les caractéristiques générales de ces standards, avant d'aborder leur mode opératoire dans un second temps.

Certains standards applicables aux bâtiments tertiaires n'ont pas suffisamment de recul pour pouvoir être appréciés correctement, aussi nous pourrions exploiter d'autres informations concernant ce standard afin d'essayer d'estimer son impact.

1.4.1. Standards environnementaux généraux

Les sept standards appartenant à cette catégorie et étant les plus connus sont les suivants : LEED™, BREEAM, DGNB, Green Star, CASBEE et HQE®. On constate sur la figure qui suit que le programme LEED est de loin le plus mis en œuvre à travers le monde (figure 1.8)

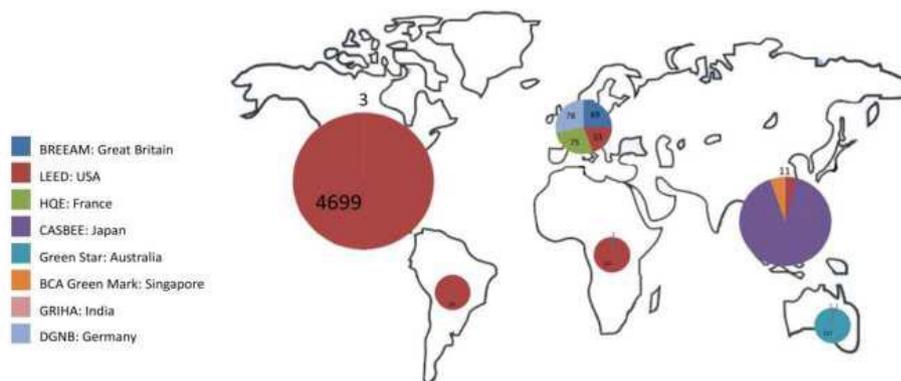


Figure 1.8 : Répartition des certifications à travers le monde en 2009 [STRACHAN P.A., 2008]
Tous ces standards sont évalués selon un système de points attribués sur une échelle comportant un maximum et des niveaux de performance, sauf HQE. Il faut noter que le fait de classer ces labels dans la catégorie « Standards énergétiques » ne réduit pas l'exigence et la maîtrise de la performance énergétique. En effet, bien que l'objectif est identifié et repose sur les consommations d'énergies, confort, et la qualité de l'air. [STRACHAN P.A., 2008]

1.4.2. Certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®))

LEED est un système Nord-américain de normalisation de bâtiments. Il a été fondé en 1998 par le Conseil du bâtiment durable des États-Unis (United States Green Building Council). Cette certification est considérée pour les habitations

Annexes

écologiques et saines, programmée comme un point de référence international pour le design, la construction et l'opération des bâtiments durables à haute performance. Le tableau 1.4 présente les différents niveaux de certification de LEED® Canada. [FALCON M., 2011],

Tableau 1.4 : Les différents niveaux de certification de LEED® Canada

	Niveau de certification de LEED® Canada	Nombre de points requis
	Certifié	45-59
	Argent	60-74
	Or	75-89
	Platine	90-136
Total	Nombre total de points disponibles	136

La certification constitue pour les habitations avec 8 domaines ayant des impacts positifs tant sous l'aspect environnemental que social. Voici ces huit domaines

1.4.3. La démarche BREEAM « BRE Environmental Assessment Method »

BREEAM In Use est une démarche anglo-saxonne développée et gérée par le Building Research Establishment (BRE, équivalent anglais du CSTB) qui est une fondation pour les constructions dont les principaux objectifs sont la recherche, la formation, l'innovation et la communication. Tous les documents d'origine sont en anglais et comme c'est une démarche nouvelle en France, j'ai dû tout traduire afin de l'adapter à EDF.

a. *BREEAM Bespoke ?*

BREEAM Bespoke est applicable aux : " Simple ou Multiple Buildings ". Cela signifie qu'un ou plusieurs bâtiments aux caractéristiques

Annexes

identiques peuvent suivre les mêmes types de critères pour leur certification.

b. BREEAM Communities ?

BREEAM Communities aide les développeurs et concepteurs de quartiers à mesurer et certifier de façon indépendante le caractère durable de leur projet. Il vise à améliorer la durabilité des bâtiments, une grande importance est mise sur les quartiers à caractères durables. Principalement les quartiers combinant les activités de travail, habitation, jeux, commerces, dans lesquels les habitants utilisent peu leur véhicule. BREEAM est conçu pour :

- Réduire les impacts environnementaux des bâtiments
- Etablir des critères et des standards qui vont au-delà de ceux requis par la législation
- Fournir un label environnemental crédible
- Différencier les bâtiments en fonction de leur performance environnementale
- Permettre une comparaison transparente des bâtiments
- Stimuler la demande pour les bâtiments durables
- Permettre aux entreprises de démontrer leurs objectifs de responsabilité sociétale [OZDEIZ M., et al., 2005]

➤ **Champ d'application (UK)**

- BREEAM *Buildings* : pour la réhabilitation, extension neuve de bâtiments existants ou une rénovation légère d'un bâtiment existant
- BREEAM *In Use* : pour les bâtiments existants
- BREEAM *Fit-out Only* : Aménagements, bâtiments existants ou partie de bureaux dans un complexe, ...
- BREEAM *International* : Se décline pour le moment sur deux « régions » : BREEAM Europe et BREEAM Gulf. Il concerne les typologies de bâtiments de commerce ou industriels. [DOUGLAS C., 1997]

➤ **Contenu et domaine**

Annexes

La démarche BREEAM In Use couvre les 9 thèmes environnementaux suivant : Management, Pollution, Transport, Santé & Bien-être, Eau, Déchets, Ecologie, Energie et Matériaux.

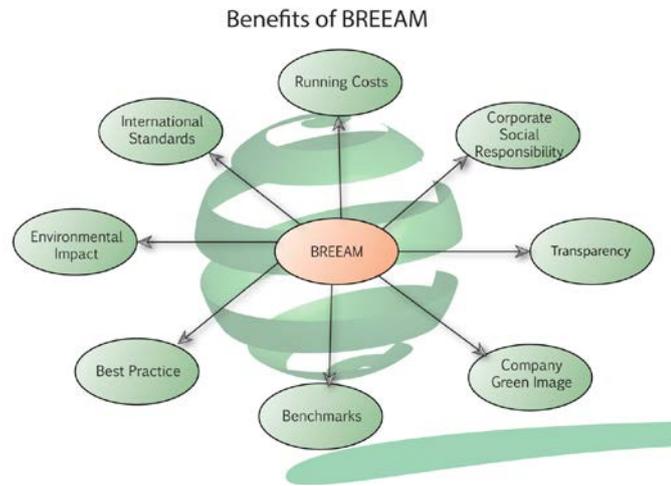


Figure 1.9: Les neuf domaines environnementaux couverts par BREEAM In Use

Le référentiel BREEAM In Use est divisé en 4 étapes, une « carte d'identité » et 3 parties abordant tous les thèmes ci-dessus mais d'un point de vue différent.

1. Première étape : La « carte d'identité » de l'immeuble

Il est demandé dans cette « carte d'identité » de renseigner les informations générales telles que :

- Une brève description (date de construction, localisation)
- Les dimensions (longueur, largeur, hauteur, forme, surfaces)
- L'activité (bureaux)
- L'occupation (nombre de personnes et leur temps de travail puis la durée d'exploitation du site en heures par jour)

2. Deuxième étape : Performance de l'actif « Asset Management » ;

Dans cette partie, tous les 9 thèmes environnementaux sont couverts, en s'attachant pour chacun à évaluer les qualités intrinsèques du bâtiment.

Par exemple dans le thème Energie, ils ont fait une revue des systèmes en place en Chauffage, Climatisation, Ventilation, Eclairage tout en indiquant les performances, les caractéristiques et les systèmes de régulation. On évalue également dans ce thème l'enveloppe (vitrages, étanchéité à l'air, etc.) du bâtiment.

3. *Troisième étape* : Performance de l'exploitation du bâtiment « *Building Management* »

Dans cette partie des questions sont posées sur les enquêtes ou les modalités mises en place de manière à sonder et à conserver l'état de satisfaction des occupants du bâtiment. Dans le même ordre il nous est demandé la fréquence de nettoyage des locaux, les procédures qui permettent de limiter le risque de contamination bactérienne et de conserver le confort (inspection, fréquence de ces inspections et traitement choisi pour les réseaux aérauliques et les installations d'Eau Chaude Sanitaire). Les parties 1 et 2 sont regroupées ensemble dans le questionnaire. [SUUSANTI L. H., 2011]

4. *Quatrième étape* : Efficacité organisationnelle « *Organisational effectiveness* » ;

Cette partie requiert un état des lieux des documents de politique générale, on indique leur niveau de développement et leur champ d'application. L'efficacité organisationnelle consiste également à mettre en place des stratégies de suivi de la mise en œuvre de ces politiques. Enfin dans cette partie est effectuée une revue des objectifs qui ont pu être fixés en amont. Ci-dessous un tableau récapitulatif des problématiques abordées dans chaque partie et pour chaque thème environnemental.

Annexes

Tableau 1.5 : Récapitulatif des thèmes abordés par BREEAM In Us. [MAZRIA E., 2005]

	Partie 1 : Performance de l'actif	Partie 2 : Performance de l'exploitation	Partie 3 : Efficacité organisationnelle
Management	Non évalué	Système de management environnemental Politique d'achat	Politiques
Energie	Systèmes et performance en Chauffage Climatisation Ventilation ECS Eclairage	Maintenance, planification des interventions	Stratégie de suivi de mise en œuvre
Santé & Bien-être	Qualité d'air Confort	Enquête de satisfaction Procédures permettant de conserver le confort	Politiques
Eau	Efficacité des équipements et systèmes d'optimisation (récupération)	Maintenance du réseau, des stockages et réserves	Stratégie de suivi de mise en œuvre
Déchets	Emplacement pour le stockage	Non évalué	Revue d'objectifs
Matériaux	Sûreté, Sécurité Incendie	Recherche de conseils, évaluation régulière	
Ecologie	Type d'environnement Mesures spécifiques pour la biodiversité	Réalisation d'études pour la biodiversité, application des recommandations Partenariats avec des associations	Autres informations : économies d'énergie, quantité totale de déchets évacués, impact carbone transport, ...
	Pollution spécifique Equipements à risque	Entretien et maintenance des équipements à risque	
Transport	Equipements pour les cyclistes Proximité des transports publics et des commerces	Non évalué	

- **La méthode de : Une note par partie**

Pour chaque partie du référentiel BREEAM In Use on obtient une note sous forme d'un nombre d'étoiles, qui correspond à un pourcentage de points obtenus.

- **Le système de pondération**

Dans chaque partie on obtient donc une note mais cette note est le résultat d'un calcul en appliquant pour chaque thème environnemental une pondération. Le schéma ci-dessous décrit ce calcul et ses différentes étapes. Certains domaines ont donc un poids plus important que d'autres, on constate ainsi que l'Energie est prépondérante dans le poids

Annexes

de la note finale. Le tableau ci-dessous récapitule les poids en pourcentage de chaque thème environnemental.

Tableau 1.6: Poids des domaines BREEAM In Use [BRIGITTI V., 2006]

Domaines	Partie 1 (en %)	Partie 2 (en %)	Partie 3(en %)
Management		15	
Energie	26.5	31.5	19.5
Santé & Bien-être	17	15	15
Pollution	14	-	-
Eau	-	-	-
Déchets	-	-	-
Matériaux	-	-	-
Ecologie	-	-	-
Transport	-	-	18.5

1.4.4. Standards énergétiques : PassivHaus® et BBC-Effinergie®.

Les standards énergétiques dont nous parlerons ici sont les suivants : MINERGIE®, PassivHaus®et BBC-Effinergie®.

- Le standard **MINERGIE®** est un standard de construction facultatif qui permet une utilisation rationnelle de l'énergie et une mise en œuvre plus large des énergies renouvelables, tout en assurant une amélioration de la qualité de vie, une meilleure compétitivité et une diminution des atteintes à l'environnement. Le principe général est que les réalisations MINERGIE® doivent satisfaire à deux exigences :
 1. la performance thermique de l'enveloppe doit être inférieure à une première limite (exigence primaire),
 2. la consommation d'énergie primaire doit également se situer au-dessous d'un certain seuil. MINERGIE-P® et MINERGIE-A® nécessitent de respecter une limite d'étanchéité à l'air.

1.4.5. Les cibles de la HQE et l'application de la démarche

Annexes

La qualité environnementale d'un bâtiment se décompose en 14 exigences particulières, appelées "cibles" et organisées en deux domaines : maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur et produire un environnement intérieur satisfaisant. Ces 14 cibles appartiennent à quatre principales familles : l'éco construction, l'éco gestion, la santé et le confort. La démarche HQE est une démarche volontaire qui s'appuie sur un objectif de "Qualité Environnementale (QE) des bâtiments" et un "Système de Management.

Pour chaque cible, il existe 3 niveaux de performance possibles :

1. **BASE** : niveau correspondant à la performance minimum acceptable. Cela peut correspondre à la réglementation si celle-ci est suffisamment exigeante.
2. **PERFORMANT** : niveau correspondant à de bonnes pratiques
3. **TRES PERFORMANT** : niveau calibré par rapport aux performances maximales constatées

Tableau 1.7 : Les domaines de la HQE et les 14 cibles [FERNANDEZ P., 2001]

Les domaines	Les cibles
1. L'éco-construction	<ul style="list-style-type: none"> - Cible 1 : Relation du bâtiment avec son environnement immédiat. - Cible 2 : Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction - Cible 3 : Chantier à faibles impact environnemental
2. L'éco-gestion	<ul style="list-style-type: none"> - Cible 4 : Gestion de l'énergie - Cible 5 : Gestion de l'eau - Cible 6 : Gestion des déchets d'activités - Cible 7 : Maintenance - Pérennité des performances environnementales
3. Le confort	<ul style="list-style-type: none"> - Cible 8 : Confort hygrothermique - Cible 9 : Confort acoustique - Cible 10 : Confort visuel - Cible 11 : Confort olfactif
4. La santé	<ul style="list-style-type: none"> - Cible 12 : Qualité sanitaire des espaces - Cible 13 : Qualité sanitaire de l'air - Cible 14 : Qualité sanitaire de l'eau

Annexes

Les niveaux de performance définis pour chaque cible constituent le profil de qualité environnementale du bâtiment. Pour être certifié HQE, il faut au minimum respecter les conditions ci-dessous :

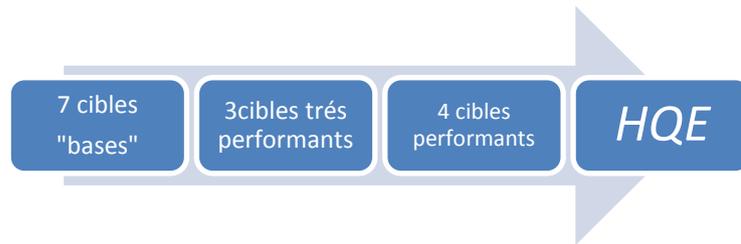


Figure 1.11 : Profil minimal de la certification HQE Exploitation

Cette démarche connaît un intérêt grandissant et de plus en plus d'opérations se revendiquent en accord avec la démarche HQE. D'après l'actuel président de l'association, Dominique Bidou: "si l'Association HQE se félicite de voir la progression importante de l'idée HQE au sein du monde de la construction, elle ne peut que regretter que trop de ces auto proclamations HQE ne respectent pas les principes et les contenus que l'Association développe dans ses référentiels". Ainsi, l'association travaille à la reconnaissance des opérations HQE en particulier par la certification « NF (ouvrage) – Démarche HQE ». [CHERQUI. F., 2005]

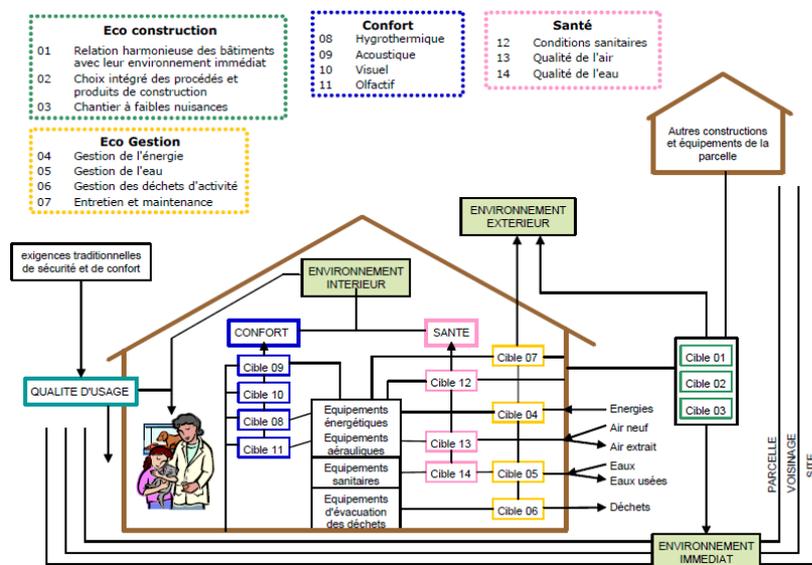


Figure 1.12 : Présentation de la démarche HQE et des 14 cibles [CHERQUI., F, 2005]

1.4.6. La Qualité Environnementale du Bâtiment en Exploitation (QEBE)

La Qualité Environnementale du Bâtiment en Exploitation (QEBE) est composé de deux sous référentiels :

1. la Qualité Environnementale Intrinsèque du Bâtiment (QEIB)
2. la Qualité Environnementale de l'Exploitation (QEE).

En fonction de ses préoccupations, de l'analyse de site dans lequel s'intègre le bâtiment, des exigences légales et réglementaires, de l'évaluation des coûts, le porteur doit hiérarchiser ses enjeux environnementaux.

Définir un niveau de performance environnementale via les 14 cibles « La Qualité Environnementale » d'un Bâtiment est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques du bâtiment, des équipements et de la parcelle à satisfaire les exigences liées à la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur confortable et sain. » [CHILEA F., 2008]

1.4.7. Les indicateurs de performance

4 indicateurs sont définis pour chiffrer et évaluer de manière quantitative les performances environnementales du bâtiment :

1. Consommation de ressources énergétiques non renouvelables : en kWh ep/m² SHON/an
2. Changement climatique : en kg eq-CO₂/m² SHON/an
3. Consommation d'eau : m³/m² SHON/an
4. Production de déchets : kg/m² SHON/an

1.4.8. Certificat énergétique cantonal des bâtiments: CECB

Annexes

Le CECB est le «certificat énergétique cantonal des bâtiments». Il indique la quantité d'énergie nécessaire à un bâtiment en fonctionnement normal sans les différences liées à la manière dont le bâtiment est utilisé. Le besoin en énergie calculé est toutefois parfaitement approprié pour permettre de comparer différents bâtiments entre eux. [DEBEUSSCHER P., 1994]

Le CECB Light est gratuit et n'a aucune valeur légale; il vise en premier lieu à informer les propriétaires. Pour cela, il permet de réaliser une classification du bâtiment et établit une liste de mesures pertinentes permettant de réduire la consommation d'énergie. Il comprend deux chiffres desquels résulte la classification sous forme d'étiquette Energie avec des lettres colorées (A à G) :

- **Efficacité de l'enveloppe du bâtiment** : elle indique la qualité de l'enveloppe du bâtiment. Cela comprend l'isolation thermique des murs, du sol et du toit, mais également la qualité des fenêtres. Elle concerne le besoin en chaleur utile.
- **Efficacité énergétique globale**, tous les autres consommateurs d'énergie sont également pris en compte, c'est-à-dire les déperditions du chauffage, la production d'eau chaude, les appareils et les éclairages.

Tableau 1.8 : Principales caractéristiques des classes CECB de l'étiquette Energie [DEBEUSSCHER P., 1994]

	Efficacité de l'enveloppe du bâtiment	Efficacité énergétique globale
A	Excellente isolation thermique avec vitrages isolants triples.	Excellents appareils électriques. Utilisation d'énergies renouvelables.
B	D'après la législation en vigueur, exigence minimum pour les constructions nouvelles.	Le standard des constructions nouvelles en matière d'enveloppe et d'installations techniques.
C	Pour les constructions anciennes: bâtiment dont l'enveloppe a subi une réhabilitation complète.	Bâtiment ancien entièrement réhabilité (enveloppe et installations techniques). Le plus souvent avec utilisation d'énergies renouvelables.
D	Bâtiment bien et complètement isolé après coup, avec toutefois des ponts thermiques qui subsistent. Egalement: construction nouvelle des années 80.	Bâtiment réhabilité dans une large mesure, avec toutefois un certain nombre de lacunes manifestes ou sans l'utilisation d'énergies renouvelables.
E	Bâtiment dont l'isolation thermique a été amélioré considérablement, notamment	Bâtiment partiellement réhabilité, avec par exemple un nouveau générateur de chaleur

Annexes

	avec la pose de nouveaux vitrages isolants.	et éventuellement de nouveaux appareils et un éclairage réévalué.
F	Bâtiment partiellement isolé thermiquement.	Bâtiment tout au plus réhabilité partiellement, avec remplacement de certains équipements ou l'utilisation d'énergies renouvelables
G	Bâtiment non rénové, avec tout au plus une isolation incomplète ou défectueuse, posée après coup, et dont la réhabilitation apporterait un changement radical.	Bâtiment non rénové, sans utilisation d'énergies renouvelables, et dont la réhabilitation apporterait un changement radical.

La méthode de calcul à la base du CECB détermine les besoins en énergie du bâtiment à l'aide d'une série de données à saisir, qui concernent l'enveloppe et les installations techniques.

1.5. AUTRE CERTIFICATIONS: CASBEE® et TERI GRIHA

1.9.1. CASBEE® (CASBEE : Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency) Japon

CASBEE est Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency, fondé en Japon. Ce concept est basé principalement sur une comparaison entre deux types d'impacts : ceux dus à la construction et ceux ayant un impact à l'extérieur. Quatre familles de réalisations sont concernées : Les Habitations, Les Immeubles, Les Quartiers et Les villes.

- **Notation du système** : Les thèmes traités par ce label :

1. Qualité Environnement Intérieure (Q),
2. Qualité des Services (Q),
3. Environnement Extérieur du Site (Q),
4. Énergie (L),
5. Ressources et Matériels (L),
6. Impact Environnemental Global (L).

- **Les classifications / niveaux** :

Annexes

Le système de classement repose sur le calcul d'un rapport, Q / L . Q étant le nombre de points obtenu sur les trois critères correspondants (Qualité Environnement Intérieure, Qualité des Services, Environnement Extérieur du Site) et L sur les trois autres critères (Énergie, Ressources et Matériels, Impact Environnemental Global). [FLORY C., 2008]

Le résultat correspond à un classement de une à cinq étoiles. Par ailleurs, un deuxième classement évalue l'impact du projet durant tout son cycle de vie sur les émissions de gaz à effet de serre :

- Au-dessus de 100 % (bâtiment non efficace énergétiquement), une seule étoile verte est attribuée,
- En dessous de 100 % (bâtiment répondant au niveau standard d'un point de vue énergétique), deux étoiles sont attribuées,
- En dessous de 80 % (et de 30 % d'énergie économisée durant la construction), trois étoiles vertes sont attribuées,
- En dessous de 60 % (et de 50 % d'énergie économisée durant la construction), quatre étoiles vertes sont attribuées,
- En dessous de 30 % (et de 0 énergie consommée durant la construction), cinq étoiles vertes sont attribuées. [OZDEIZ M., et al., 2005]

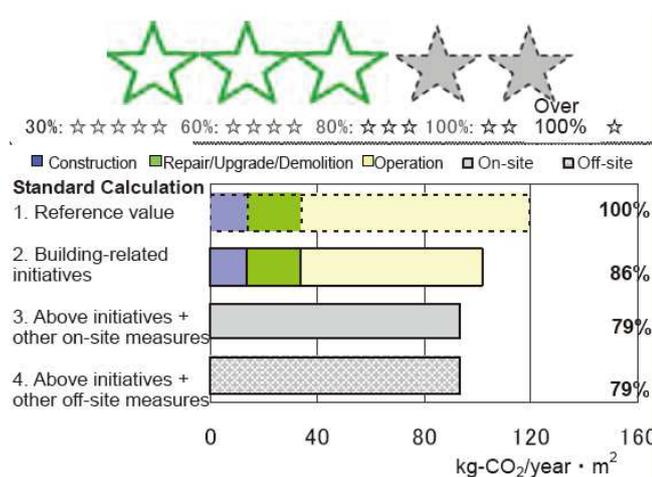


Figure 1.12: Classification de différents niveaux [OZDEIZ M., et al., 2005]

1.9.2. TERI GRIHA : The Energy and Resources Institute / Green Rating for Integrated Habitat Assessment (<http://www.grihaindia.org>)

Annexes

TERI GRIHA est Standard indien exclusivement (The Energy and Resources Institute / Green Rating for Integrated Habitat Assessment), fondé en Inde, appliquée pour tout type de construction hormis les complexes industriels et les lotissements, pourvu qu'ils soient dans la phase de conception. Les thèmes traités par ce label sont :

- Conservation des ressources et efficacité de leur utilisation,
- Santé et Bien-être durant la construction,
- Eau,
- Énergie : utilisation finale,
- Énergie grise,
- Énergies renouvelables,
- Recyclage, traitement et réutilisation de l'eau
- Management des déchets,
- Santé et Bien-être durant l'occupation,
- Exploitation et maintenance,
- Innovation.

Le thème supplémentaire n'est pas obligatoire, mais permet de valoriser l'innovation en attribuant des points supplémentaires, portant ainsi la notation globale à 110 %.

Les classifications / niveaux :

- 1 étoile 50 à 60 points
- 2 étoiles 61 à 70 points
- étoiles 71 à 80 points
- étoiles 81 à 90 points
- étoiles 91 à 100 points

annexe 2 : les données météorologiques de la ville de Bechar

Tableau 2.6 : Données météorologiques mensuelles de Béchar (2007-2011) D'après la station météorologique de Béchar. (Source : Wunderground, 2012)

Annexes

		jan	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	aout	sep	oct.	nov.	déc.
Température		14.7	19.6	22.6	26.8	30.2	35.8	40.2	39.8	34.4	27.2	19.8	17.6
	Température moyenne Min en c°	4	7	10.4	14.8	18	23.6	29.6	27.2	22.6	15.8	9.2	5.2
	Température moyenne mensuelle Min (c°)	10.6	13.8	16.4	20.6	23.8	29.4	35	33.2	28.2	21.4	15	11
Humidité	Humidité relative moyenne Max (%)	78.6 2	75.4 6	58.33	54.62	46.6 8	41.2 8	30.7	35.5	55.2	71.3 6	74.0 2	79.46
	Humidité relative moyenne Min (%)	32.2 4	29.4 4	22.53	20.54	16.8 4	14.7 2	12.08	14.3	24.0	31.9 2	34.7 6	36.1
	Humidité relative moyenne (%)	54.6 6	50.4	39.26	35.34	29.4 2	25.7 2	19.58	23.3	37.8	49.7	53.3 2	58.04
Précipitation	Précipitation moyenne (mm)	10	8	6	9	7	2	1	2	7	10	11	9
vent	Vitesse moyenne du vent (m/s)	1.92	2.76	3.68	4.48	4.62	3.82	3.88	3.62	3.58	2.8	2.56	1.96
insolation	Insolation (Wh/m ²)	338 0	424 0	5480	6590	709 0	744 0	7620	693 0	548 0	457 0	357 0	3090

Les humidités relatives sont basses, ceci est dû à l'absence des surfaces d'eau aux alentours, d'autre part l'effet des Oasis autour de la ville et les jardins reste local, comparatives à l'effet du rayonnement solaire et des vents chauds qui élèvent la siccité de l'air surtout en été où l'humidité relative moyenne est de 19% pendant le mois de juillet, avec une valeur moyenne minimal de 9% enregistrées depuis avril jusqu'à Aout. Par contre en hiver, elle augmente pour atteindre la valeur de 53% en décembre.

A l'origine des pénuries, on trouve les aléas climatiques, mais également des lacunes dans la gestion des risques et d'exploitation des ressources. [Evaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride. Cas de la ville de Bechar (Sud-Ouest algérien) [KABOUR et al. 2014]

4.1. PRESENTATION DES SPECIFICITES DES BATIMENTS RESIDENTIELS DE LA VILLE DE BECHAR

Il est logique de commencer par identifier tous les paramètres spécifiques du secteur résidentiel, et une présentation des spécificités constructives et architecturales des bâtiments résidentiels de cette ville. Rappelons que cette étape est détaillée dans le chapitre 2. La description de l'enveloppe et la géométrie de notre appartement de référence sont bien détaillées et représentative de la majorité des logements résidentiels de la région saharienne.

4.1.1. Les données climatiques et métrologiques

En ce qui concerne les données climatiques, nous utilisons les données climatiques de la ville de Bechar. Pour les données d'occupation et d'usage, nous établissons des scénarios cohérents avec notre site à partir des enquêtes réalisées sur le terrain.

a. La température de l'air

La constitution de ces données a été effectuée sur la base de fichiers annuels sur la période de 1976 à 1992 pour la température, et les valeurs du rayonnement solaire. Pour notre étude, nous avons choisi un fichier annuel récent (2017) sur un pas de temps horaire pour effectuer les calculs de simulation thermique dynamique.

Les données métrologiques montrent un climat chaud et sec pendant la saison estivale, avec une température maximum des moyennes à 37 °C, et une humidité relative à 50 %. La saison hivernale est froide, avec une température minimum des moyennes de 11,8 °C. L'irradiation solaire est de 5000 kWh/m²/an, et la durée d'ensoleillement est de 3 895 h/an. Une analyse approfondie de ces données météorologiques est nécessaire pour apprécier les caractéristiques majeures du climat chaud et sec (zone climatique (D) d'Algérie). [Règlementations thermique DTR C32, 1976]

b. Vitesse du vent

La représentation de la vitesse sous forme de quatre cartes, a deux objectifs :

Annexes

1. Le premier est d'identifier les vastes régions avec de bonnes promesses d'exploitation de l'énergie éolienne.
2. Le second est de mettre en évidence la variation relative de la ressource à travers l'Algérie.

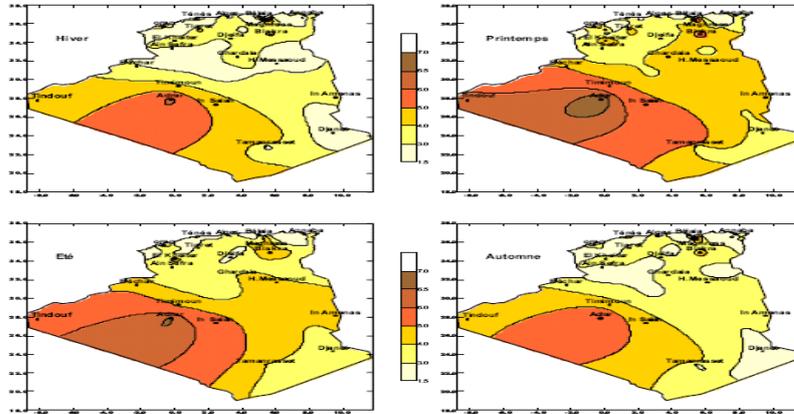


Figure 4.2 : Cartes saisonnières de la vitesse du vent (m/s). [BENOUDJAFER C., 2012]

La carte représentée en figure 4.2 montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. [BENOUDJAFER C., 2012]

Tableau 4.1 Direction du vent annuel et la vitesse moyenne du vent à 10m du sol (en m/s).

Direction	Nord	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
Fréquence selon chaque direction	13,0%	10,1%	12,7%	8,7%	14,2%	11,0%	5,0%	4,7%
La ville de Bechar	Latitude : 31° 39'00''N			Longitude : 02° 15'00''W			Altitude : 809m	

ENQUETE 3 : SUR LES BATIMENTS RESIDENTIELS DE LA VILLE DE BECHAR

La première étape consiste à établir une enquête s'appuie sur des observations descriptives de qualités des bâtiments résidentiels : hauteur, couleur, revêtement des façades, orientation, d'implantation des réseaux d'électricité, d'eau potable, et d'assainissement.

Annexes

Cette observation est réalisée à partir de visites sur le terrain de trois quartiers (deux en centre-ville et un situé dans les nouvelles extensions de Bechar).

Nous pouvons constater les points suivants :

- A l'aide des différents plans donnés, nous avons observé les modifications actuelles. Signalons par exemple, quelques irrégularités au niveau des balcons, qui ont été transformés en espaces vitrés habitables, ou fermé.
- Les nouvelles extensions, ont intégré dans un ensemble urbain (quartier ou rue). Nous pouvons avoir quelques lots bâtis et d'autres en attente d'être bâtis.
- Des travaux de finitions sont aperçus pour quelque appartement. En plus, les câbles des réseaux d'électricité sont suspendus à des poteaux et la distribution d'électricité vers les immeubles se fait au moyen de compteurs individuels par appartement. Parfois, des fils électriques apparents et désordonnés à l'entrée d'immeubles, ce qui constitue un risque grave pour les résidents. Notamment l'exposition des réseaux aux intempéries, la possibilité de vol de l'électricité par connexions pirates et l'augmentation de la déperdition en électricité.
- Outre, la distribution de l'eau potable est bien organisée, des tubes arrivent à chaque bâtiment, comme le réseau d'eau usée, avec des regards bien disposés.
- Les hauteurs des immeubles sont différentes : il n'y pas d'homogénéisation de la règle de hauteur, ou un rapport entre la hauteur d'un immeuble et la surface totale du terrain de construction.
- La majorité des bâtiments résidentiels dans la ville sont couvertes par des enduits classiques de couleur claire. Les volets sont en bois.
- L'orientation des appartements et des baies vitrées, suit la trame des rues, souvent vers l'ouest et le sud si l'implantation des terrains le permet, les conditions climatiques n'intervenant pas dans leur décision.
- Les baies vitrées sont caractérisées par de grandes dimensions pour les bâtiments coloniales et des dimensions quasi uniformes, avec de simples vitrages pour les bâtiments postcoloniales.

2.1.1. Enquête sur quatre quartiers résidentiels

Annexes

Il est nécessaire, donc d'identifier un bâtiment de référence, avec un descriptif détaillé de son enveloppe et de ses systèmes énergétiques (chauffage, climatisation, électroménager, etc.), où effectuer notre suivi expérimental afin d'approcher la réalité du site, après d'envisager des appareils de mesures physiques pour assurer le suivi des paramètres (température, l'humidité et les consommations énergétiques) dans ce bâtiment.

Il faut noter que notre choix de bâtiment type s'est porté sur la visite des quatre quartiers de la ville de Bechar, nous avons eu la possibilité de nous rendre sur site pour réaliser les mesures énergétiques nécessaires. Pour cette raison, cette visite a pour but de découvrir l'appartement et de récolter plusieurs informations sur l'immeuble en matière d'enveloppe, d'équipements, d'usages et de climat. (Tableau 2.6)

Tableau 2.6: Synthèse de visites des quatre bâtiments visités sur terrain

	Bâtiment 4 La SELIS	Bâtiment 3 Cité de 222logts	Bâtiment 2 Cité de 622logts	Bâtiment 1 Cité de 800logts
Date de construire	1960	1980	1995	2001
Nombre d'étages	5	4	3	4
Nombre d'appartements par l'étage	32	4	4	2
Nombre de pièces par appartement	4-3	3	3	2-3
Surfaces d'habitation sans balcons (m ²)	64	69	75	69.5
Hauteur de chaque étage en m	15	15	12	16
Sous-sol	Partielle (35 m ²)	-	-	-
Éléments porteurs (poteaux, poutres, murs porteurs, planchers)	murs porteurs et pour les parois extérieurs Dalle pleine pour les planchers toiture ventilé en pente en acier	Béton armé et hourdis pour les planchers	Béton armé et hourdis pour les planchers	Béton armé et hourdis pour les planchers
Éléments non porteurs (murs extérieurs entre poteaux, cloisons intérieures)	Squelettes en Murs voile et des plaque d'amiante pour les parois extérieurs (est ouest): 20 cm Brique rouge	Squelettes en hourdis : 15 cm (ext.), 10 cm (int.)	squelettes en hourdis : 15 cm (ext.), 10 cm (int.)	Squelettes en hourdis : 15 cm (ext.), 10 cm (int.)

Annexes

	10cm lame d'air 2cm et des plaques d'amiante 2 cm			
Surfaces vitrées nord (m ²)	15%	25%	25%	30%
Surfaces vitrées sud (m ²)	65%	25%	25%	30%
Surfaces vitrées est (m ²)	5%	25%	25%	20%
Surfaces vitrées ouest (m ²)	5%	25%	25%	20%
Ratio : surface vitrée/surface totale appart.	17,7 %	29,4 %	25,5 %	23.5%
Vitrages dans le cahier des charges	Simple	Simple	Simple	Simple
Menuiseries dans le cahier des charges	bois	Aluminium	bois	-
Isolation thermique dans le cahier des charges	Non	Non	Non	Non
Étanchéité dans le cahier des charges	Oui	Oui	Oui	Oui
Revêtements des façades dans le cahier des charges	Enduit	Pierre / Enduit	Enduit	Enduit
Chauffage dans le cahier des charges	Oui	Non	Non	Non
Climatisation dans le cahier des charges	Oui	Non	Non	Non

ANNEXE 1 : Enquête sur la consommation énergétique dans les bâtiments résidentiels

I – IDENTIFICATION DE L’HABITATION					
Localité :					
<u>Type d’habitation</u> Appartement Etage:.....				Maison Nb de niveaux	
<u>Statut d’occupation du logement</u>					
1. Propriétaire		2. Locataire		3. Autre:	
<u>Energie principale utilisée pour le chauffage ?</u> Electricité Mazout Gaz Charbon Autre			<u>Energie utilisée pour l’eau chaude sanitaire ?</u> Electricité Mazout Gaz bois Autre		
INTERET GLOBAL					
<u>Connaissez-vous le montant des dépenses d’énergie pour votre habitation ?</u>					
1. OUI		2. NON			
- Si OUI, pouvez-vous indiquer les chiffres globaux en kWh ? en DA?					
1. KWh		2. DA			
- Si NON, expliquez pourquoi:					
<u>Souhaiteriez-vous que la consommation de votre habitation soit comparée aux consommations des habitations similaires ?</u>					
1. Oui		2. Non		3. Ne sait pas	
				4. Indifférent	
<u>Etes-vous demandeur d’une information détaillée sur vos dépenses d’énergie et votre consommation ?</u>					
1. Oui		2. Non		3. Ne sait pas	
				4. Indifférent	
SENSATION THERMIQUE					
<u>Comment ressentez-vous l’air ambiant de votre appartement ?</u>					
Très froid	froid légèrement	froid	ni froid ni chaud	Chaud	très chaud
<u>En ce moment, vous souhaiteriez qu’il fasse ?</u>					
Plus frais	Froid	Ni chaud ni froid	plus chaud	aucun changement	
Page 1/3					

Annexes

Comment trouvez-vous l'ambiance de ce local ?

Confortable légèrement confortable inconfortable intolérable

CONSOMMATION

Avez-vous un système de climatisation ?

Oui non

Si oui, combien de pièce sont climatisée ?.....

Nombre de climatiseurs :

Puissance de climatiseurs :

Les mois pendant lesquelles vous utilisez le climatiseur :

Trouvez-vous que votre système de climatisation est suffisant ?:

.....

.....

Vous utilisez votre climatisation :

Le jour en continu après-midi pendant la nuit la nuit parfois

Type de chauffage

Quel type d'énergie utilisée ?

Nombre de pièces chauffées

Les mois pendant lesquelles vous utilisez le chauffage :

Trouvez-vous que votre système de chauffage est suffisant ?:

.....

.....

Vous utilisez votre chauffage :

Le jour en continu après-midi pendant la nuit la nuit parfois

EVALUATION DES INFORMATIONS SOUHAITEES

Que pensez-vous de l'importance des informations suivantes dans la certification énergétique :

La consommation globale d'énergie

1. Très utile 2. Plutôt utile 3. Utile 4. Inutile 5. Sans opinion

Les consommations d'énergie par usages (chauffage, eau chaude, appareils, éclairage,...)

1. Très utile 2. Plutôt utile 3. Utile 4. Inutile 5. Sans opinion

Les performances de vos équipements électroménagers et de votre éclairage

1. Très utile 2. Plutôt utile 3. Utile 4. Inutile 5. Sans opinion

Les caractéristiques techniques de votre habitation

Très utile 2. Plutôt utile 3. Utile 4. Inutile 5. Sans opinion

INFORMATION LIEE AUX POSSIBILITES D'AMELIORATIONS

Seriez-vous prêt à recevoir un expert en énergie chez vous, pour qu'il collecte les informations et fasse les mesures nécessaires à l'établissement d'un certificat indiquant les possibilités d'amélioration(s) énergétique(s) ?

1. Oui 2. Non 3. Ne sait pas

- Si ce service était payant, jusqu'à quelle somme seriez-vous prêt(e) à payer un tel service (indication des travaux permettant des économies d'énergie) ?

10 000 DA 10 000 à 30 000 DA 30 000 à 70 000 DA

Plus de 70 000 DA Autre:.....

Annexes

Quel type d'amélioration vous paraît le plus envisageable ? (plusieurs choix sont possibles)

1. Amélioration de l'enveloppe
2. Remplacement d'appareils électroménagers
3. Amélioration des systèmes
4. Changement des habitudes
5. Autre:

Commentaires

.....
.....

Que pensez-vous globalement du principe consistant à fournir un "certificat énergétique" pour informer les occupants sur leur consommation?

Très bien Bien Assez bien Moyen Mauvais

IDENTIFICATION DE LA PERSONNE ENQUÊTÉE

Votre catégorie Socio-Professionnelle

1. Cultivateur, exploitant agricole
2. Commerçant, Artisan, Cadre supérieur
3. Cadre moyen, Enseignant
4. Employé
5. Ouvrier
6. Sans emploi
7. Etudiant
8. Retraité
9. Autre

Votre âge

1. - 25
2. 26 à 35 ans
3. 36 à 45 ans
4. 46 à 55 ans
5. 56 à 65 ans
6. 66 à 75 ans
7. 76 ans et plus

COMMENTAIRES:

.....
.....
.....
.....

Contenu :

1. Questionnaire sur l'intérêt des habitants pour une certification énergétique
2. Enquête sur l'énergie
3. Consommation
4. Sensation thermique
- 5. Commentaires**

Objectif :

- Analyse de l'intérêt de la certification énergétique du secteur résidentiel à Bechar
- Questionnaire sur la consommation énergétique dans l'habitat
- Sensation thermique et consommation et la facture énergétique

Merci de répondre à ces questions en libres choix

ANNEXE 2 : Etat des habitations de la ville de Bechar

Tableau III.5. Classification d'habitat collectif pour les cinq pôles, [source, L'auteur du mémoire]

L'habitat collectif		Z.H.U.N			Pôle 1
		622 logts 1962-1988	470 logts 1992-2005	395+100logts 1992-2005	250+100logts 1992-2005
Caractéristiques liées à la conception	Localisation, orientation	Tissu existant Sur les quatre directions	Limite occidentale sur les quatre directions	Tissu existant Sud de ZHUN	Tissu existant Sud-Nord de ZHUN
	Continuité de la trame viaire	Oui	Oui	Oui	non
	Equipements d'accompagnement	Partielle	Partielle	non	non
	Etat initial de l'aménagement extérieur	réalisés	réalisés	non	En cours
	Principe de composition urbaine	Barre répétitive	Barre en boucle	Régulier logiquement	Barre en boucle
	Typologie de bâti	En module, espèce en clos	Régulier/irrégulier	Cœur ilot : Centre. périphérie	Régulier/irrégulier
Procédé constructif	Système constructif	Portique : Poteau-poutre	Portique : Poteau-poutre	Portique : Poteau-poutre	Portique : Poteau-poutre
	Mur extérieur	double parois	double parois	seule paroi	double parois
	Toiture	plate en corps creux	plate en corps creux	plate en corps creux	plate en corps creux
	Type d'isolation	inexistant	inexistant	inexistant	inexistant
Critères d'appréciation liée à l'approbation	Type du logement	F2, F3, F4	F3,	F3	F3
	Surface, niveau du confort	Inconfort,	Inconfort,	inconfort	inconfort
	Etat du bâti	Bon (modifié)	Bon (modifié)	Assez bon	bon
	Etat d'espace EXT	dégradés	dégradés	non	non

Annexes

L'habitat Collectif Les critères d'évaluation		La BARGA					Pôle 
		Cité La Barga	Cité SELIS	220Logts	20Logts	84 Logts	
Caractéristiques liées à la conception	localisation	Nord de a ville	Périphérie de la ville	Périphérie de la ville	Périphérie de la ville	Périphérie de la ville	
	Continuité de la trame viaire	oui	non	oui	non	oui	
	Equipements d'accompagnement	oui	oui	oui	oui	oui	
	Etat initial de l'aménagement extérieur	En cours	En cours	bon	En cours	bon	
	Principe de composition urbaine	Barres en parallèles poursuivant Est-Ouest	Barres en parallèles poursuivant Est-Ouest	irrégulier	Barres en parallèles poursuivant Sud-ouest	Barre en boucle	
	Typologie de bâti	llot ouvert	ponctuel	llot ouvert	llot ouvert	llot cœur	
Procédé constructif	Système constructif	Poteau-poutre	Préfabriqué	En portique	En portique	en portique	
	Mur extérieur	voile en béton	voile en béton	double parois	double parois	seule paroi	
	Toiture	Toiture plate en dalle pleine avec des plots	Toiture incliné en métallique	Toiture plate en corps creux	Toiture plate en corps creux	Toiture plate en corps creux	
	Type d'isolation	Vide d'air	ciment-amiante	lame d'air	lame d'air	non	
Critères d'appréciation liée à l'approbation	Type du logement	F3, f4	F2, F3, F4,F5	F3	F3	F3	
	Surface, niveau du confort	confort	confort	inconfort	inconfort	inconfort	
	Etat du bâti	Assez bon	bon	bon	bon	mauvaise	
	Etat d'espace extérieur	dégradé	bon	bon	Assez bon		

Annexes

Annexes

Tableau III.6, Consommation d'Electricité par groupe (zone délimitée) [source, S.D.O Bechar, 2009'

LOCALISATION	GROUPE	Vente d'énergie électrique en GWh			
	Gr	2008	2009	écart	Taux (%)
Debdaba	2	819487	873091	53604	6,54
Centre ville-Debdaba	4	914426	960133	45707	5
Bidon II	6	723480	792753	69273	9,57
Centre ville	8	847379	866237	18858	2,23
Debdaba	10	1308385	1451235	142850	10,92
Bidon II	12	743681	823967	80286	10,8
Centre ville	14	768877	860923	62045	11,97
Debdaba	16	1019117	1156767	137650	13,51
Bidon II	18	90211	99539	9328	10,34
Centre ville	20	1155734	1168756	13022	1,13
Bidon II	22	0	42842	42842	100
C D	24	320705	487885	167180	52,13
Centre ville	26	1360818	1438333	77515	5,7
Bidon II	28	510519	536873	26354	5,16
Centre ville	30	1273975	1455687	181712	14,26
Bidon II	32	765728	796027	30299	3,96
Bidon II	34	*	*	*	*
Centre ville	36	703867	731555	27688	3,93
Centre ville	38	790769	878833	88064	11,14
Debdaba	40	804103	1014496	210393	26,16
Centre ville	42	774891	832522	57631	7,44
Debdaba	44	712966	765836	52870	7,42
Centre ville	46	904986	935481	30495	3,37
Bidon II	48	372299	395053	22754	6,11
Bidon II	50	761842	935606	173764	22,81
Debdaba	52	651093	725569	74476	11,44
Bidon II	54	648567	683063	34496	5,32
Debdaba	56	1235291	1201761	-33530	2,71
Centre ville	58	1418903	1544082	155179	8,82
Centre ville	60	1891250	2434702	543452	28,74

ANNEXE 3 : Résultats de simulation

TIME	TAMB	Tref_chambr	Tisol ch	Ttoiture ch	Tfenetr ch	T PROTECTION CH	t inertie ch	TCOUR CH	
240	7,54	10,01	10,01	8,31	9,01	9,07	13,47	9,07	9,01
241	6,89	10,02	10,02	8,21	8,92	9	13,4	9	8,94
242	6,3	10,02	10,02	8,09	8,8	8,9	13,32	8,9	8,84
243	5,65	10,02	10,02	7,94	8,65	8,78	13,23	8,78	8,73
244	5	10	10	7,77	8,48	8,65	13,13	8,65	8,6
245	4,4	9,98	9,98	7,57	8,3	8,5	13,03	8,5	8,46
246	3,8	9,95	9,95	7,36	8,09	8,33	12,91	8,33	8,3
247	3,2	9,91	9,91	7,13	7,86	8,16	12,78	8,16	8,12
248	3,07	9,77	9,77	6,91	7,64	7,9	12,57	7,9	7,88
249	5,23	9,84	9,84	6,78	7,51	7,9	12,62	7,9	7,8
250	7,81	9,87	9,87	6,76	7,48	7,93	12,66	7,93	7,78
251	10,28	9,85	9,85	6,84	7,55	7,98	12,66	7,98	7,82
252	12,19	9,88	9,88	7,02	7,72	8,15	12,7	8,15	7,96
253	13,75	9,88	9,88	7,28	7,97	8,34	12,7	8,34	8,15
254	14,85	9,91	9,91	7,59	8,27	8,6	12,71	8,6	8,4
255	15,23	9,92	9,92	7,91	8,59	8,83	12,68	8,83	8,65
256	15,01	9,96	9,96	8,22	8,9	9,08	12,65	9,08	8,9
257	13,89	9,96	9,96	8,47	9,15	9,26	12,56	9,26	9,09
258	12,75	9,99	9,99	8,67	9,35	9,4	12,49	9,4	9,25
259	11,79	9,95	9,95	8,81	9,49	9,44	12,38	9,44	9,34
260	10,85	9,98	9,98	8,89	9,58	9,49	12,34	9,49	9,4
261	9,95	10,02	10,02	8,92	9,61	9,51	12,3	9,51	9,43
262	9,01	10,05	10,05	8,9	9,59	9,49	12,25	9,49	9,42
263	8,06	10,07	10,07	8,83	9,53	9,44	12,21	9,44	9,37

TIME	TAMB	Tref_chambr	Tisol ch	Ttoiture ch	Tfenetr ch	T PROTECTION CH	t inertie
240	7,54	10,01	10,01	8,31	9,01	9,07	
241	6,89	10,02	10,02	8,21	8,92	9	
242	6,3	10,02	10,02	8,09	8,8	8,9	
243	5,65	10,02	10,02	7,94	8,65	8,78	
244	5	10	10	7,77	8,48	8,65	
245	4,4	9,98	9,98	7,57	8,3	8,5	
246	3,8	9,95	9,95	7,36	8,09	8,33	
247	3,2	9,91	9,91	7,13	7,86	8,16	
248	3,07	9,77	9,77	6,91	7,64	7,9	
249	5,23	9,84	9,84	6,78	7,51	7,9	
250	7,81	9,87	9,87	6,76	7,48	7,93	
251	10,28	9,85	9,85	6,84	7,55	7,98	
252	12,19	9,88	9,88	7,02	7,72	8,15	

Annexes

253	13,75	9,88	9,88	7,28	7,97	8,34
254	14,85	9,91	9,91	7,59	8,27	8,6
255	15,23	9,92	9,92	7,91	8,59	8,83
256	15,01	9,96	9,96	8,22	8,9	9,08
257	13,89	9,96	9,96	8,47	9,15	9,26
258	12,75	9,99	9,99	8,67	9,35	9,4
259	11,79	9,95	9,95	8,81	9,49	9,44
260	10,85	9,98	9,98	8,89	9,58	9,49
261	9,95	10,02	10,02	8,92	9,61	9,51
262	9,01	10,05	10,05	8,9	9,59	9,49
263	8,06	10,07	10,07	8,83	9,53	9,44

TIME	TAMB	Tref_Cuisine	Tisol cuisine	Ttoiture cuisine	Tfenetre cuisine	T PROTECTION Cuisine	t inertie cuisine	ventilation cuisine
4824	32,27	30,68	30,68	30,84	30,6	31,33	30,78	30,22
4825	31,6	30,69	30,69	30,71	30,48	31,23	30,76	30,19
4826	31	30,7	30,7	30,56	30,33	31,13	30,75	30,15
4827	30,4	30,7	30,7	30,39	30,16	31	30,73	30,1
4828	29,8	30,7	30,7	30,2	29,97	30,86	30,7	30,04
4829	29,2	30,68	30,68	29,99	29,76	30,71	30,65	29,98
4830	28,79	30,66	30,66	29,77	29,55	30,55	30,61	29,92
4831	30	30,66	30,66	29,61	29,39	30,44	30,62	29,93
4832	31,86	30,57	30,57	29,53	29,3	30,32	30,6	30
4833	33,65	30,52	30,52	29,53	29,3	30,28	30,61	30,08
4834	35,5	30,51	30,51	29,62	29,38	30,36	30,67	30,18
4835	37,42	30,5	30,5	29,8	29,55	30,48	30,73	30,29
4836	39,13	30,51	30,51	30,05	29,79	30,68	30,81	30,42
4837	40,56	30,53	30,53	30,37	30,1	30,91	30,89	30,54
4838	41,55	30,56	30,56	30,72	30,44	31,18	30,97	30,66
4839	42,14	30,6	30,6	31,08	30,8	31,46	31,04	30,76
4840	42,39	30,64	30,64	31,45	31,17	31,73	31,11	30,86
4841	42,28	30,69	30,69	31,8	31,51	31,99	31,17	30,95
4842	41,57	30,74	30,74	32,1	31,81	32,21	31,22	31
4843	40,28	30,88	30,88	32,33	32,04	32,45	31,32	31,02
4844	39,05	30,99	30,99	32,49	32,2	32,6	31,39	31,04
4845	37,95	31,06	31,06	32,59	32,31	32,68	31,43	31,05
4846	36,85	31,15	31,15	32,63	32,35	32,73	31,49	31,06
4847	35,75	31,21	31,21	32,6	32,33	32,71	31,51	31,06
4848	34,7	31,28	31,28	32,53	32,26	32,67	31,54	31,05

Annexes

ANNEXE 3 : Résultats de simulation

TIME	TAMB	Tref_chambr	Tisol ch	Ttoiture ch	Tfenetr ch	T PROTECTION CH	t inertie
4824	32,27	30,68	30,68	30,84	30,6	31,33	
4825	31,6	30,69	30,69	30,71	30,48	31,23	
4826	31	30,7	30,7	30,56	30,33	31,13	
4827	30,4	30,7	30,7	30,39	30,16	31	
4828	29,8	30,7	30,7	30,2	29,97	30,86	
4829	29,2	30,68	30,68	29,99	29,76	30,71	
4830	28,79	30,66	30,66	29,77	29,55	30,55	
4831	30	30,66	30,66	29,61	29,39	30,44	
4832	31,86	30,57	30,57	29,53	29,3	30,32	
4833	33,65	30,52	30,52	29,53	29,3	30,28	
4834	35,5	30,51	30,51	29,62	29,38	30,36	
4835	37,42	30,5	30,5	29,8	29,55	30,48	
4836	39,13	30,51	30,51	30,05	29,79	30,68	
4837	40,56	30,53	30,53	30,37	30,1	30,91	
4838	41,55	30,56	30,56	30,72	30,44	31,18	
4839	42,14	30,6	30,6	31,08	30,8	31,46	
4840	42,39	30,64	30,64	31,45	31,17	31,73	
4841	42,28	30,69	30,69	31,8	31,51	31,99	
4842	41,57	30,74	30,74	32,1	31,81	32,21	
4843	40,28	30,88	30,88	32,33	32,04	32,45	
4844	39,05	30,99	30,99	32,49	32,2	32,6	
4845	37,95	31,06	31,06	32,59	32,31	32,68	
4846	36,85	31,15	31,15	32,63	32,35	32,73	
4847	35,75	31,21	31,21	32,6	32,33	32,71	
4848	34,7	31,28	31,28	32,53	32,26	32,67	

indice/système	batiment référence	isolation des parois	isolation de toiture	fenetre perf	protection	ventilation	inertie
Cep chauffage	277,71	101,44	185,01	223	160,12	101,44	112,95
Cep froide	51,73	43,25	37,25	40,33	40,33	47,5	48,67
leco		184,75	107,18	66,11	128,99	180,5	167,82
Jugement	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue
TOTAL	329,44	144,69	222,26	263,33	200,45	148,94	161,62
%		43,91998543	67,46600291	79,9326129	60,8456775	45,2100534	49,0590092
reduction IPR %		56,08001457	32,53399709	20,0673871	39,1543225	54,7899466	50,9409908
IPR %		54,86	32,53	20,06	39,15	54,78	50,94

indice/système	batiment référence	isolation des parois	isolation de toiture	fenetre perf	protection
Cep chauffage	277,71	101,44	185,01	223	160,12

Annexes

Cep froide	51,73	43,25	37,25	40,33	40,33
leco		184,75	107,18	66,11	128,99
Jugement	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue
TOTAL	329,44	144,69	222,26	263,33	200,45
%		43,91998543	67,46600291	79,9326129	60,8456775
reduction IPR %		56,08001457	32,53399709	20,0673871	39,1543225
IPR %		54,86	32,53	20,06	39,15

indice/système	batiment référence	isolation des parois	isolation de toiture	fenetre perf	protection	ventilation	inertie	apport internes	OPTIMAL
Cep chauffage	277,71	101,44	185,01	223	160,12	101,44	112,95	169,52	67,53
Cep froide	51,73	43,25	37,25	40,33	40,33	47,5	48,67	44,31	50,53
leco		184,75	107,18	66,11	128,99	180,5	167,82	115,61	104,2
Jugement	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue	retenue		
TOTAL	329,44	144,69	222,26	263,33	200,45	148,94	161,62	213,83	
%		43,91998543	67,46600291	79,9326129	60,8456775	45,2100534	49,0590092	64,9071151	
reduction IPR %		56,08001457	32,53399709	20,0673871	39,1543225	54,7899466	50,9409908	35,0928849	
IPR %		54,86	32,53	20,06	39,15	54,78	50,94	35,09	

ANNEXE 4 : Certifications énergétique

Certificate n° 12

Delivered by: consultant

Date: 21 - march - 2000



General Information

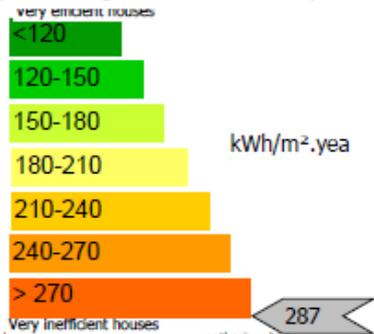
Adress of the house	Meyzieu - France
Year of construction	1975
House type	Single-family house
Total heated area	127 m ²
Type of walls	Cavity wall, U-value = 1.47 W/m ² K
Type of glazings	Single glazing windows
Description of the heating system	Gas boilers, convectors
Description of the hot water system	Gas boiler, no storage

Annual consumption

Standard consumption *

38 726 kWh
1527 Euros

Energy Consumption indicator
(Space Heating & Domestic Hot Water)

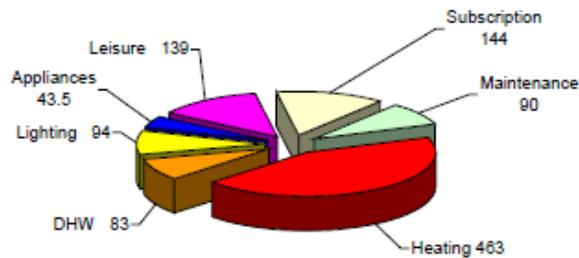


* This calculation is based on a standard basis using a unique weather data set and standard hypothesis, which leads to inscription on a scale of comparable existing houses.

Actual consumption **

30 773 kWh
1057 Euros

Energy costs breakdown (Euros)



** This calculation is based on actual local weather data, real occupation behaviour and taking into account the present situation.

Certificate n° 12

Delivered by: consultant

Date: 21 - march - 2000

E
N
E
R
G
Y

Summary of calculation assumptions

	Standard	Actual
Climate	Macon	Lyon
Set-point temperature	19 °C	20.0 °C
Air change rate	0.6 vol/h	0.6 vol/h
Heating efficiency	0,94	0,94
Length of the heating season	212 days	222 days
Casual gains	5 W/m ²	6 W/m ²
DHW needs	21 kWh/m ² .year	13 kWh/m ² .year
Electricity for household	2290 kWh/year	3194 kWh/year

Energy Conservation Options



Heating system

Proposed solutions:

Insulate pipes in the garage.
cost = 35 Euros

Estimated economy:

308 kWh/year (6 Euros)



Hot water

Proposed solutions:

none

Estimated economy:



Equipments

Proposed solutions:

Change lamps for fluorescent ones

Estimated economy:

700 kWh/year (56 euros)



House

Proposed solutions:

Fill air gap with blown insulation.

Estimated economy:

Add 20 cm glasswool on upper ceiling
9173 kWh (183 Euros)

General comments

If the occupants are in comfort agreement, the set-point temperature could be lowered by 1 °C (set to 19°C) which would lead to additional 806 kWh yearly savings (16 Euros).

This would probably require to change the existing heating convectors for radiator ones.

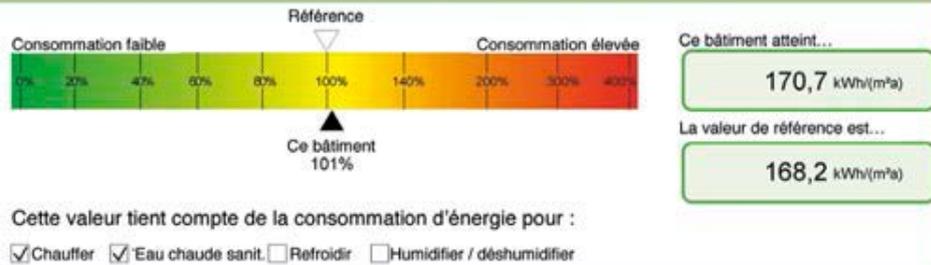
P
L
A
N

Sur base de la
consommation
énergétique mesurée

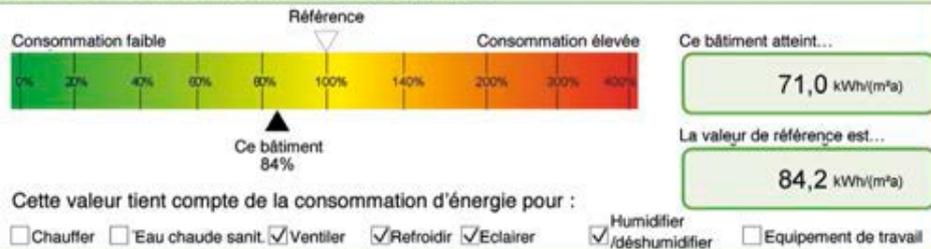
E_e Passeport énergétique
Certificat de performance énergétique d'un bâtiment fonctionnel 1/5

No. Passeport	No. Expert	Date d'établissement	Mise à jour	Date d'expiration
P.20110513.L-12.1.I.V	LUXEEB.R.00020	07.06.2011	2015 2018	07.06.2021

Indice de consommation de chaleur



Indice de consommation d'électricité



Remarques sur d'autres équipements consommateurs d'énergie et énergies renouvelables

Informations concernant le bâtiment

Désignation du bâtiment	Centre Culturel
Type de bâtiment	Bâtiment public
Motif d'établissement	Evaluation d'un bâtiment existant
Adresse	Musterstraße 1
Code postal/localité	L-1234 Musterstadt
Année de construction	1993
Surf. de réf. énergét. An	1 552 m ²
dont ventilé méc.	1 022 m ²
dont refroidie	6 m ²

Expert

Bart, Ludmila
Agence de l'Energie S.A.
28, Michel Rodange
L-2430 Luxembourg
+352 40 65 64

Propriétaire

Herr Mustermann
Mustergemeinde
Musterstraße 1
L-1234 Musterstadt
+352 123456789

Signature expert

Lieu, date

E_e **Passeport énergétique** Sur base de la consommation énergétique mesurée

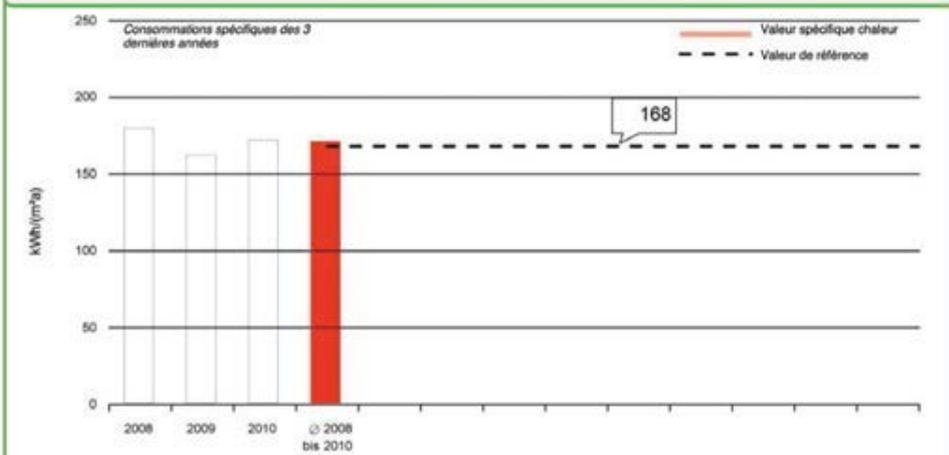
ENERGY EFFICIENT **Certificat de performance énergétique d'un bâtiment fonctionnel** 2/5

No. Passeport P.20110513.L-12.1.L.V	No. Expert LUXEEB.R.00020	Date d'établissement 07.06.2011	Mise à jour 2015 2018	Date d'expiration 07.06.2021
---	-------------------------------------	---	---------------------------------	--

Situation au moment de l'établissement du certificat de performance énergétique

	2008	2009	2010	Valeur spécifique de consommation	Valeur de référence		Rapport
Chaleur	179	161	172	171	168	kWh/(m²a)	101%
Electricité	81	72	60	71	84	kWh/(m²a)	84%
Energie primaire	414	370	351	378	411	kWh/(m²a)	92%
Emissions CO₂	102	91	86	93	101	kgCO ₂ /(m²a)	92%

Evolution des consommations spécifiques annuelles – consommation de chaleur



Evolution des consommations spécifiques annuelles – consommation d'électricité

