

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade** de **DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Architecture

Spécialité : Énergétique du bâtiment

Par : DJEBBAR ép. BENSAFI KHADIDJA EL-BAHDJA

Sujet

Approche multi-objectif d'optimisation de la performance énergétique et environnementale de l'habitat en Algérie par techniques solaires passives – un pas vers la durabilité : Cas d'étude les immeubles collectifs à Tlemcen

Soutenue publiquement, le 28/06/2018, devant le jury composé de :

Mr OUISSI Mohamed Nabil	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr MOKHTARI Abderrahmane	Professeur	U.S.TO-MB. Oran	Directeur de thèse
Mme ZINAI SALEM Souria	Professeur	U.S.TO-MB. Oran	Co-Directeur de thèse
Mme MEBIROUK Hayet	MCA	Univ. Constantine 3	Examinatrice 1
Mme KACEMI Malika	MCA	U.S.TO-MB. Oran	Examinatrice 2

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تَقْوَى اللَّهِ الْعَاقِبَاتِ

الاية 88 سورة هود

Remerciements

En préambule à cette thèse je remercie ALLAH le tout puissant et miséricordieux qui m'aide et me donne l'énergie, la force, la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et m'a permis d'accomplir ce travail.

Faire une thèse de doctorat c'est comme voyager par voie maritime sur bateau. Vous avez une idée où vous allez mais vous ne savez pas comment cela va se passer. Il pourrait être un cauchemar parfois et un vrai plaisir à d'autres moments. De plus, vous ne savez pas ce dont vous avez réellement besoin pour votre voyage, sauf de la patience et de l'obstination pour vous mener à la fin. Quant au voyage, il faut parfois s'arrêter pour s'approvisionner afin de continuer à voyager. Mais ce qui est le plus important pour réussir, c'est de garder son lien avec le bon Dieu afin de préserver son moteur de motivation intact et d'être obstiné. C'est ce qui suffira à faire la différence.

De nombreuses personnes se retrouvent ainsi de manière fortuite ou non, pour le pire ou le meilleur, entre le doctorant et son doctorat. Ce sont certaines de ces personnes que j'aimerais mettre en avant dans ces remerciements.

Je veux présenter mes chaleureux remerciements à mon encadreur «Monsieur le professeur MOKHTARI Abderrahmane». Je veux également lui témoigner ma gratitude pour sa patience, son soutien, sa grande disponibilité et ses nombreux conseils qui m'ont été précieux afin de mener mon travail à bon port. Je tiens à remercier également mon co-encadreur « Madame le professeur ZINAI SALEM Souria », pour ses conseils, sa grande disponibilité et l'intérêt incontestable qu'elle porte à ce travail.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury composé de « Madame le Docteur MEBIROUK Hayet » et « Madame le Docteur KACEMI Malika » présidé par « Monsieur le professeur OUISSI Mohamed Nabil » pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs suggestions.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la disponibilité et l'accueil chaleureux que m'ont témoignés mes enseignants à l'Université de Jordanie à Amman. Mes sincères gratitude à « Mr le Dr. Magdy T. SAAD », « Mr le Pr. Dr. Kamel O. MAHADIN » et « Mr le Dr. Jawdat GASSOUS » pour la qualité de leurs enseignements, leurs conseils et leurs intérêts incontestables qu'il porte à tous les étudiants. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers l'ensemble du personnel de l'Association Scientifique Royale en Jordanie « Royal Scientific Society », notamment le directeur de l'Institut des matériaux et des technologies de construction « Mr le Dr. Bashar NABULSI » et « Mme Tala AWADALLAH », « Mr Haitham ADAS » et « Mr Nidal ABDALLAH » à la division de la rationalisation de l'usage de

l'énergie et de l'énergie solaire thermique à Amman, « Mme OUHACINE Karima » et « Mlle BOUCHAIB Amina » à la Station Météorologique de Béni-Saf, mon enseignant « Mr ABDELKOUI Ahmed » à l'URBAT de Tlemcen, « Mr GHELLAÏMI Sid Ahmed » et « Mr ATTAR Mohamed Islam », qui m'ont fourni des informations, des documents et des outils précieux pour avancer dans cette recherche.

Mes remerciements s'adressent également aux services commerciaux de l'usine KNAUF Plâtre d'Oran, de Grupo Puma de Sidi Bel Abbes, de NAWAFID d'Oran, de Polystyrène des Oasis de Boumerdes qui m'ont fourni de devis estimatifs servant à accomplir l'étude économique.

J'adresse de sincères remerciements au rédacteur en chef « Monsieur Dr., Dr., Habil. Alexandru PETRISOR » de la revue Urbanism. Arhitectura. Constructii pour ses précieux conseils et remarques.

Mes vifs remerciements vont également à « Mme le Docteur MEBIROUK Hayet », à « Mme DJEBBAR Karima » et à « Monsieur le Docteur AMRANI Abdelhamid » de Béni-Saf pour leur support et leurs encouragements.

Au terme de ce parcours, je remercie de tout cœur celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse. Leurs attentions et encouragements m'ont accompagnée tout au long de ces années. Je suis redevable à mes parents, mes beaux-parents, mon mari, mes enfants, ma famille et ma belle famille pour leur soutien moral et matériel et leur confiance indéfectible dans mes choix.

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mes études et à l'élaboration de ce travail.

Résumé

Le secteur résidentiel est à l'origine 43% de la consommation d'énergie finale en Algérie (Ministère de l'Énergie, 2017). De ce fait, il a une part égale et importante en matière de délivrance de CO₂. Les perspectives de développement du parc de logements conduiront à un accroissement exponentiel de cette consommation énergétique. Cette thèse vise à développer un diagnostic de la performance énergétique et environnementale (PEE) des logements collectifs à Tlemcen, au nord ouest d'Algérie, afin de fournir des mesures optimales pour leur réhabilitation thermique à travers deux études complémentaires basé sur une approche ascendante. Pour y parvenir, une base de données sur la performance thermique et énergétique des logements, construits dans cette ville entre 1872 et 2016, est établie. Ainsi qu'une méthodologie multicritère appropriée est développée en établissant une stratégie multi-objectif d'optimisation de la PEE à travers deux méthodes l'une statique et l'autre dynamique en utilisant le logiciel de simulation DesignBuilder. Par conséquent, cette étude a utilisé le potentiel de la méthode d'évaluation paramétrique pour investiguer l'impact des mesures d'efficacité énergétique (MEÉ) passives relatives à l'enveloppe du bâtiment d'un point de vue économique, énergétique, environnemental et de confort thermique.

Les résultats du balisage ont démontré que les logements construits entre 1872 et 1920 ont une meilleure PEE par rapport aux cinq périodes retenues et consomment 130kWh/m²/an. Par contre, les bâtiments construits entre 1974 et 1989 sont les plus énergivore et consomment 300kWh/m²/an. Les résultats de l'optimisation de ces derniers démontrent que l'isolation combinée à la réduction de la ventilation est la plus principale mesure économisant plus que 75% d'énergie et 44% d'émissions de CO₂ et le confort d'hiver est nettement amélioré.

Outre l'intérêt scientifique de ce travail, cette thèse apporte une contribution à l'enrichissement de la réglementation thermique algérienne par le classement des actions à mener à court, à moyen et à long terme en matière de réhabilitation thermique des bâtiments d'habitation existants et neufs, dans des régions urbaines ayant un climat similaire. Ce qui peut constituer une feuille de route en deux étapes applicable aux autres villes constituant les zones climatiques en Algérie.

Mots clés

Approche ascendante, Logement collectif, Performance énergétique, Simulation thermique dynamique, Techniques solaires passives, Tlemcen.

Abstract

The residential sector in Algeria is the source of 43% of final energy consumption (Ministry of Energy, 2017). Thereby, it has an equally important share in the CO₂ release. The perspectives of Housing stock Development will drive to an exponential increase of this consumption. This thesis aims to develop a diagnosis of the energy and environmental performance (EEP) of multi-storey buildings built in Tlemcen, northwestern Algeria, to provide optimal measures for their thermal rehabilitation through two complementary studies based on bottom up approach. To achieve that, a database on the thermal and energy performance of housing built in this city between 1872 and 2016 is established. As well as an appropriate multicriteria methodology is developed by establishing a multi-objective strategy for optimizing EEP using two methods, one static and the other dynamic, using the DesignBuilder simulation software. Therefore, this study is led to use the potential of the parametric evaluation method to investigate the impact of passive energy efficiency measures (EEM) on the building envelope from an economic, energy, environmental and thermal comfort point of view.

The results of the benchmarking showed that the dwellings built between 1872 and 1920 have better EEP compared to the five periods retained and consume 130kWh/m²/year. On the other hand, those built between 1974 and 1989 are the most energy-intensive and consume 300kWh/m²/year. The results of the optimization of these last ones demonstrate that the insulation combined with the reduction of ventilation is the most important measure saving more than 75% of energy and 44% of CO₂-emissions. Besides, the winter comfort is significantly improved.

In addition to the scientific interest of this work, this thesis contributes to the enrichment of Algeria's thermal regulation by establishing a list of actions to be taken in short, medium and long term, in terms of thermal rehabilitation in existing housing areas as well as in new ones, in urban regions with a similar climate. This can constitute a two-step roadmap applicable to the other cities constituting the climatic zones in Algeria.

Key words

Bottom-up-approach, Dynamic-thermal-simulation, Energy-performance, Multi-storey-dwelling, Solar-Passive-techniques, Tlemcen.

ملخص

يمثل قطاع السكن في الجزائر 43% من الاستهلاك النهائي للطاقة (وزارة الطاقة، 2017). مما يسهم في انبعاث حصة مماثلة وكبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الجو. كما أن آفاق التنمية في المساكن ستؤدي، حتماً، إلى زيادة هائلة في هذا الاستهلاك. تهدف هذه الأطروحة إلى تطوير تشخيص الفعالية الطاقوية و البيئية للمساكن المتعددة الطوابق في مدينة تلمسان، شمال غرب الجزائر، من أجل توفير أفضل التدابير لإعادة تأهيلهم حرارياً من خلال دراستين تكمليتين تقومان على مقارنة تصاعدية. ولتحقيق ذلك، تم إنشاء قاعدة بيانات عن الأداء الطاقوي والحراري للمساكن المبنية في هذه المدينة بين عامي 1872 و 2016. فضلاً عن وضع منهجية متعددة المعايير تقوم على إستراتيجية متعددة الأهداف لتحقيق أفضل فعالية طاقوية و بيئية لهذه المباني بطريقتين، واحدة ثابتة وأخرى ديناميكية، باستخدام برنامج المحاكاة *DesignBuilder*. لذلك، أدت هذه الدراسة إلى استخدام إمكانات طريقة التقييم المعاملي لدراسة تأثير تدابير كفاءة الطاقة السالبة المتعلقة بغلاف المبنى من وجهة نظر اقتصادية، طاقوية وبيئية وكذا من ناحية الراحة الحرارية. أظهرت نتائج المقارنة أن المساكن التي بنيت بين عامي 1872 و 1920 لديها أفضل أداء طاقوي وحراري مقارنة /سنة. في حين أن تلك التي بنيت بين عامي 1974 و 1989 هي الأكثر²بالفترات الخمس الأخرى وتستهلك 130 كيلوواط/م²/سنة. كما بينت نتائج تحسين هذه الأخيرة أن العزل مع خفض التهوية هو²استهلاكاً للطاقة حيث تستهلك 300 كيلوواط/م² التدبير الأكثر أهمية، حيث يوفر أكثر من 75% من الطاقة و 44% من انبعاث ثاني أكسيد الكربون. كما تم تحسين الراحة الحرارية في فصل الشتاء بشكل ملحوظ. بالإضافة إلى القيمة العلمية لهذا العمل، تسهم هذه الأطروحة في إثراء التنظيم الحراري الجزائري من خلال تصنيف الإجراءات القصيرة والمتوسطة والطويلة الأجل التي يجب اتخاذها لإعادة التأهيل الحراري للمباني السكنية القائمة والجديدة في المناطق الحضرية ذات المناخ المماثل. ما قد يشكل خارطة طريق من خطوتين تنطبق على المدن التي تشكل المناطق المناخية الأخرى في الجزائر.

الكلمات الرئيسية للبحث:

المحاكاة الحرارية الديناميكية، المقارنة التصاعدية، تلمسان، تقنيات الطاقة الشمسية السالبة، فعالية الطاقة، مسكن متعدد الطوابق.

Sommaire

Objet	Page
Introduction générale	1
Motivation de choix de thème et de cas d'étude.....	3
Problématique.....	3
Hypothèses	5
Objectifs de l'étude.....	6
Méthodologie.....	7
Capacité et Limites de l'étude.....	8
Structure des chapitres.....	9
Partie I	11
Introduction de la première partie	12
Chapitre 1 : Problématique de l'énergie entre enjeux et durabilité	13
1-1) Energie dans la nature	14
1-2) L'énergie dans le monde : Les énergies fossiles au cœur du mix mondial.....	15
1-3) La situation énergétique en Algérie	17
1-4) Bilan de consommation énergétique en Algérie.....	19
1-5) Intensité énergétique en Algérie	22
1-6) Le secteur des bâtiments : des enjeux énergétiques mondiaux et régionaux importants.....	23
1-7) La politique national de maîtrise de l'énergie et son cadre réglementaire.....	32
1-8) Concept de la durabilité et son volet environnemental.....	40
1-9) Voie de la durabilité de l'énergie : le cas du bâtiment.....	42
1-10) Conclusion	44
Chapitre 2 : État de l'art sur la réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels : Techniques, méthodes et outils	45
2-1) La réhabilitation thermique	46
2-2) Performance énergétique d'un bâtiment	49
2-3) Techniques de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel	50
2-4) Critères d'évaluations de la performance énergétique des bâtiments résidentiels.....	58
2-5) Recherches récentes d'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment dans le contexte algérien	62
2-6) Problématique d'aide à la décision multicritère.....	65
2-7) Optimisation multi-objectifs de la performance énergétique	66
2-8) Méthode et outils d'évaluation de la performance énergétique de son immeuble.....	67
2-9) Conclusion.....	82
Chapitre 3 : Conception solaire passive des bâtiments	86
3-1) Climat en Algérie.....	86
3-2) Soleil et bâtiment : Interactions entre le bâtiment et son environnement.....	87
3-3) Les échanges thermiques dans le bâtiment.....	88
3-4) Propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment	89
3-5) Confort thermique ou thermohygrométrie.....	91
3-6) Conception bioclimatique.....	99
3-7) Conception solaire	100
3-8) Conception solaire passive.....	101
3-9) Techniques passives	104

3-10) Techniques actives.....	128
3-11) Conclusion	129
Conclusion de la première partie.....	130
Partie II	131
Introduction de la deuxième partie	132
Chapitre 4 : Etudes sur le terrain	133
4-1) Objectifs de l'étude et methodologies.....	134
4-2) Tlemcen comme champ d'étude.....	137
4-3) Analyse architecturale et technique de l'échantillon choisi	152
4-4) Diagnostic: Analyse thermique et énergétique du bâti.....	161
4-5) Benchmarking de consommation d'énergie dans les logements (Balisage externe)	172
4-6) Conclusion.....	173
Chapitre 5: Étude multicritère par méthodes: statique et dynamique	176
5-1) Méthode.....	177
5-2) Cas d'étude.....	178
5-3) Méthode statique.....	181
5-4) Simulation thermique dynamique.....	186
5-5) Conclusion.....	199
Chapitre 6: Discussion des résultats	200
6-1) Analyse des résultats des études de simulation thermique.....	201
6-2) Conclusion.....	227
Conclusion de la deuxième partie.....	230
Conclusions générale et perspectives	232
Bibliographie	241
Annexe	i
Glossaire	xxii
Table des matières	xxix

Liste des tableaux		Page
Tableau 1	Bilan des émissions CO ₂ par secteur.....	28
Tableau 2	Evolution des émissions de CO ₂ en Algérie.....	29
Tableau 3	Textes réglementaires.....	35
Tableau 4	Capacités cumulées du programme EnR en Algérie, par type et phase, sur la période 2015 – 2030.....	40
Tableau 5	Voie de la durabilité de l'énergie : le cas du bâtiment.....	43
Tableau 6.	Méthodes pour l'aide multicritère à la décision.....	65
Tableau 7	Benchmarking des réglementations thermiques internationales et des labels et référentiels d'économie d'énergie existants.....	69
Tableau 8	Comparaison du coefficient de transfert thermique maximal (valeur U, W / m ² K) des enveloppes de bâtiments autorisé dans certains pays développés et en développement.....	71
Tableau 9	Désignation du groupe de critères.....	78
Tableau 10	Exemple de programmes ou logiciels de modélisation des bâtiments.....	82
Tableau 11	Propriétés thermique de quelques matériaux de construction.....	90
Tableau 12	Taux métaboliques en faisant différentes activités (moyenne pour adultes).....	92
Tableau 13	Valeurs approximatives des clo pour vêtements variés.....	93
Tableau 14	Echelles de sensation Thermique (Basé d'une part sur Markus et Morris 1980).	96
Tableau 15	Les caractéristiques et les recommandations de conception dans différentes zones climatiques en Algérie.....	103
Tableau 16	Absorption et transmission de quelques matériaux de construction.....	109
Tableau 17	Isolation des éléments de l'enveloppe.....	113
Tableau 18	Comparaison de transfert de chaleur typique à travers différentes options de vitrage	117
Tableau 19	La valeur U Effective Nette prenant en compte le gain de chauffage solaire.....	118
Tableau 20	Avantages et inconvénients des différentes ventilations.....	123
Tableau 21	L'échantillon du champ d'étude.....	136
Tableau 22	Evolution du T O L depuis 1998 à Tlemcen.....	143
Tableau 23	Structure des logements habités selon le type de construction à Tlemcen.....	144
Tableau 24	les besoins en logements à Tlemcen.....	145
Tableau 25	Le tableau de Mahoney.....	149
Tableau 26	Les Recommandations générale et détaillé de Mahoney.....	150
Tableau 27	Caractéristiques architecturales des logements construits à Tlemcen.....	158
Tableau 28	Perméabilité thermique des parois établies selon la composition des murs.....	169
Tableau 29	Points forts et points faibles du bâti.....	174
Tableau 30	Eléments du bâtiment, cite des 1060 logements, Tlemcen.....	180
Tableau 31	Résultats du calcul et du recalcul des caractéristiques thermiques des éléments de l'enveloppe, des déperditions par transmission (D _T) avant et après réhabilitation thermique ainsi que la vérification réglementaire.....	182
Tableau 32	Évaluation multicritère du cas d'étude selon le système d'évaluation de l'efficacité énergétique et la durabilité algérien	183
Tableau 33	Propriétés thermiques de chaque matériau et les totaux des propriétés thermiques des éléments composant le bâtiment.....	184
Tableau 34	Les apports internes de cinq occupants et appareils.....	182
Tableau 35	Taux de ventilation dans les renouvellements d'air par heure (Vol/h).....	196
Tableau 36	La stratégie de contrôle de la protection solaire	197

Tableau 37	La stratégie de contrôle de l'éclairage artificiel.....	197
Tableau 38.	Gains dus aux appareils électriques utilisés dans le cas d'étude.....	198
Tableau 39	Récapitulation des mesures d'efficacité énergétique.....	198
Tableau 40	Matrice de différentes actions d'économie d'énergie. Tentative d'économie pour un logement collectif typique (intermédiaire) dans le climat de Tlemcen, basé sur l'étude de simulation.....	228

Liste des figures et des photos		Page
Figure 1	Évolution de la demande primaire mondiale à l'horizon 2040 dans le scénario « Nouvelles politiques » de l'AIE (WEO 2016).....	16
Figure 2	Répartition de la consommation par forme d'énergie pour l'année 2015.....	20
Figure 3	Structure de la consommation finale par produit.....	21
Figure 4	Etat comparatif des intensités énergétiques.....	22
Figure 5	Prospective de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur des bâtiments dans le monde.....	23
Figure 6	Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030).....	24
Figure 7	Structure de la consommation finale par secteur.....	25
Figure 8	Les usages des logements en matière d'énergie en Algérie.....	25
Figure 9	Consommation énergétique domestique en matière d'électricité.....	26
Figure 10	Émission de CO2 liées à la combustion de l'énergie de 1990 à 2016.....	27
Figure 11	Consommation d'énergie par ménage en fonction du revenu (2010).....	29
Figure 12	Consommation spécifique des clients BT.....	30
Figure 13	Consommation spécifique des clients BP.....	31
Figure 14	Le dispositif d'ensemble la maîtrise de l'énergie.....	33
Figure 15	Programme 2015-2030 : Répartition des capacités à installer par filière.....	39
Figure 16	Le principal défi consiste à faire plus avec moins.....	43
Figure 17	Techniques de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel.....	50
Figure 18	Familles et approches de modélisation d'après l'AIE (1998).....	57
Figure 19	Représentation schématique des étiquettes énergie et climat du label BBC.....	73
Figure 20	Représentation schématique du label tunisien.....	74
Figure 21	Le «triangle». Relation entre les « trois pierres angulaires » de l'étude: Mesures sur le terrain, études Paramétriques et Bâtiment expérimental.....	75
Figure 22	Application CT BAT : structure et présentation interne des données.....	79
Figure 23	Les zones climatiques en Algérie.....	86
Figure 24	Les aspects complexes reliés au soleil.....	87
Figure 25	Les pertes thermiques du corps humain dépendent de 6 paramètres physiques	91
Figure 26	Approche de zone de confort.....	97
Figure 27	Un exemple de diagramme de confort pour DISC ± 0.5 ; 0.6-1.0 habillement Image.....	98
Figure 28	L'interprétation de Rosenlund <i>et al.</i> du même exemple de diagramme de confort pour DISC ± 0.5 ; 0.6-1.0 habillement.....	98
Figure 29	Température et éveil.....	99
Figure 30	Schéma représentant les principes de l'architecture bioclimatique.....	100
Figure 31	Projection stéréographique du parcours du soleil pour le cas de Tlemcen.....	102
Figure 32	Principe du confort d'hiver.....	105
Figure 33	Principe du confort d'été.....	105
Figure 34	Principe des dispositifs d'ombrage.....	106
Figure 35	Types de dispositifs d'ombrage.....	107
Figure 36	Les concepts de déphasage et d'atténuation des éléments de construction.....	109
Figure 37	Notion de la valeur R.....	110
Figure 38	Facteur solaire d'un vitrage.....	118
Figure 39	Coefficient de transmission et de réflexion lumineuse d'un vitrage.....	119
Figure 40	La présence de végétaux ou de mobilier peut contrarier le chargement des masses inertielles d'une serre.....	119

Figure 41	Phénomène du pont thermique.....	120
Figure 42	Bénéfices de la compacité.....	125
Figure 43	Orientation optimale des bâtiments.....	125
Figure 44	Illustration de l'influence de l'orientation des bâtiments et des masques liés aux bâtiments et à la végétation sur les apports solaires.....	127
Figure 45	Illustration de la règle de prospect L=H.....	127
Figure 46	Illustration de la transmission des arbres caduques en été/hiver et de la hauteur du soleil dans le ciel.....	127
Figure 47	Positionnement de la végétation pour maximiser la prise en compte des apports solaires passifs.....	128
Figure 48	Maison rurale en Algérie, avec panneaux photovoltaïques sur le toit.....	128
Figure 49	Situation de Tlemcen.....	138
Figure 50	Principales étapes de croissance de Tlemcen.....	138
Figure 51	Différentes périodes de l'évolution historique de Tlemcen.....	140
Figure 52	Caractéristique de l'habitat traditionnel à Tlemcen	141
Figure 53	Caractéristique de l'habitat contemporain durant la période coloniale à Tlemcen.....	142
Figure 54	Evolution de la consommation énergétique à Tlemcen.....	146
Figure 55	Accroissement de la clientèle de gaz naturel et de l'électricité à Tlemcen	146
Figure 56	Lumière et Radiation Solaire sur une surface horizontale à Tlemcen.....	147
Figure 57	Moyenne maximale et minimale de Température de Tlemcen.....	147
Figure 58	Moyenne de l'humidité Relative et de précipitation maximale et les données moyennes per moi à Tlemcen.....	147
Figure 59	Les vents dominants à Tlemcen.....	147
Figure 60	Profil annuel de température.....	148
Figure 61	Profil annuel d'humidité.....	148
Figure 62	Le Diagramme Bioclimatic (Givoni) pour le climat de Tlemcen.....	151
Figure 63	Répartition des batiments de logements collectifs sur le territoire tlemcenien par époque.....	154
Figure 64	Bâtiment en face du marché avec des façades très riches en décorations qui correspondent au style Néoclassique.....	155
Figure 65	Bâtiment de Mr et Mme Melis donnant sur la place El-Amir Abdelkader avec des façades qui correspondent au style international à balcon filant, marquet à partir du 1ier étage par deux travées munies d'ouvertures plâtes à encadrement simple et saillant.....	156
Figure 66	À droite : Les HLM destinées aux algériens ; à gauche : les HLM destinées aux français.....	156
Figure 67	Tours et barres de logements construits entre 1974-1989.....	157
Figure 68	Logements construits durant la période 1990-2016.....	158
Figure 69	Toiture/plancher en voutains.....	160
Figure 70	Système de coffrage de dalle PASCHAL.....	161
Figure 71	Unité de coffrages Tunnels sur chantier.....	161
Figure 72	Résistance thermique des murs selon les techniques constructive à Tlemcen...	163
Figure 73	Temperature ambiante mesurée dans le séjour des logements construits entre 1974-1989.....	165
Figure 74	Temperature ambiante mesurée dans la cuisine des logements construits entre 1974-1989.....	165
Figure 75	Temperature ambiante mesurée dans la chambre des logements construits entre 1974-1989.....	166
Figure 76	Effet de la paroi froide sur un mur de 40cm en moellon.....	167
Figure 77	Effet de la paroi froide sur un mur de 19cm en brique pleine.....	167
Figure 78	Effet de la paroi froide sur un mur de 16cm en brique creuse.....	167
Figure 79	Effet de la paroi froide sur un mur de 50cm en béton armé.....	167
Figure 80	Effet de la paroi froide sur un mur de 30cm en double parois de brique creuse (5cm/10cm) séparé de 11cm d'air non isolé.....	167

Figure 81	Effet de la paroi froide sur un mur de 17cm de béton armé non isolé.....	168
Figure 82	Effet de la paroi froide sur un mur de 28cm en double parois de brique creuse (10cm/10cm) séparé de 5cm d'air non isolé.....	168
Figure 83	Effet de la paroi froide sur un mur de 34cm en double parois de brique creuse (10cm/15cm) séparé de 5cm d'air non isolé.....	168
Figure 84	Systemes de chauffage et de rafraichissement des logements collectifs à Tlemcen.....	171
Figure 85	Types de systemes de chauffage et de rafraichissement des logements collectifs à Tlemcen.....	171
Figure 86	Emplacement des systemes de chauffage et de rafraichissement dans les logements collectifs à Tlemcen.....	172
Figure 87	Les équipements de production d'eau chaude sanitaire dans les logements collectifs à Tlemcen.....	172
Figure 88	Consommation énergétique des logements collectifs à Tlemcen (Chauffage + Eau Chaude Sanitaire).....	173
Figure 89	Vue de l'extérieur du bâtiment contenant le cas d'étude, cité 1060 logements, quartier d'Imama-Mansourah à Tlemcen.....	179
Figure 90	Photo Satellite de la cite 1060 logements, le spot photo de la figure (90) est indiqué.....	179
Figure 91	Plan du logement.....	179
Figure 92	Le programme EnergyPlus.....	187
Figure 93	Diagramme du logiciel DesignBuilder.....	191
Figure 94	Logogramme qui schématise le processus d'optimisation des éléments des bâtiments.....	191
Figure 95	Modèle de simulation 3D de l'appartement.....	192
Figure 96	Profil de d'occupation du logement	192
Figure 97	Gammes de confort adaptatif suivant le modèle de confort ASHRAE 55.....	195
Figure 98	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que émissions CO ₂ par metre carré pour un logement non isolé (le coin de l'étage intermédiaire du batiment) avec simple vitrage. Ce cas représente le cas de base du batiment existant.....	201
Figure 99	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions par mètre carré d'un logement intermédiaire faisant coin avec vitrage simple.....	202
Figure 100	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émission CO ₂ par mètre carré pour un logement intermédiaire faisant coin, isolé avec double vitrage.....	203
Figure 101	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré pour un logement intermédiaire faisant coin, non isolé avec double vitrage.....	203
Figure 102	Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré du scenario de base (non-isolé avec simple vitrage dans l'étage intermédiaire) placé dans les trois autre orientations.....	204
Figure 103	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré pour un logement non-isolé des années 1990-2000 (faisant coin de l'étage intermédiaire), avec simple vitrage.....	205
Figure 104	Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré pour un logement non-isolé du coin du dernier étage avec simple vitrage.....	206
Figure 105	Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré du scenario de base serré (non-isolé avec simple vitrage dans l'étage intermédiaire) avec un logement isolé avec double vitrage en agrandissant les fenêtres dans les façades sud à 1 & ½.....	207

Figure 106	Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré entre le scénario de base étanche avec serre et un logement intermédiaire isolé avec double vitrage et loggia de la cuisine vitrée.....	208
Figure 107	Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions CO ₂ par mètre carré entre le scénario de base étanche et le logement intermédiaire isolé, avec double vitrage et dispositifs d'ombrage combinés à une loggia vitrée.....	209
Figure 108	Température ambiante du cas de base avant réhabilitation thermique en hiver (12/01) et en été (21/07).....	210
Figure 109	Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 12/01.....	211
Figure 110	Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 21/07.....	211
Figure 111	Température ambiante avant et après optimisation par l'isolation en hiver (12/01).....	212
Figure 112	Température ambiante avant et après optimisation par l'isolation en été (21/07)	212
Figure 113	Température ambiante avant et après optimisation par le remplacement du simple vitrage par le double en hiver (12/01).....	213
Figure 114	Température ambiante avant et après optimisation par le remplacement du simple vitrage par le double en été (21/07).....	213
Figure 115	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation et le double vitrage en hiver (12/01).....	214
Figure 116	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation et le double vitrage en été (21/07).....	214
Figure 117	Comparaison entre des températures ambiantes des logements dans les différentes orientations en hiver (12/01).....	215
Figure 118	Comparaison entre des températures ambiantes des logements dans les différentes orientations en été (21/07).....	216
Figure 119	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et l'agrandissement des fenêtres orientées sud en hiver (12/01).....	217
Figure 120	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et l'agrandissement des fenêtres orientées sud en été (21/07).....	217
Figure 121	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et les dispositifs d'ombrage en hiver (12/01).....	218
Figure 122	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et les dispositifs d'ombrage en été (21/07).....	218
Figure 123	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage, l'agrandissement des fenêtres orientées sud et les dispositifs d'ombrage en hiver (12/01).....	219
Figure 124	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage, l'agrandissement des fenêtres orientées sud et les dispositifs d'ombrage en été (21/07).....	219
Figure 125	Température ambiante avant et après optimisation par l'installation d'une serre en simple vitrage en hiver (12/01).....	220
Figure 126	Température ambiante avant et après optimisation l'installation d'une serre en été (21/07).....	220
Figure 127	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison tous les paramètres en hiver (12/01).....	221
Figure 128	Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison tous les paramètres en été (21/07).....	222
Figure 129	Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 12/01.....	222

Figure 130	Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 21/07.....	223
Figure 131	Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans le séjour le 12/01et le 21/07.....	223
Figure 132	Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans la cuisine le 12/01et le 21/07.....	224
Figure 133	Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans la chambre le 12/01et le 21/07.....	224
Figure 134	Comparaison de la température ambiante du cas de base avec celle d'un autre muni de l'enveloppe des logements construits entre 1990-2016 en hiver.....	225
Figure 135	Comparaison de la température ambiante du cas de base avec celle d'un autre muni de l'enveloppe des logements construits entre 1990-2016 en été (21/07)...	225
Figure 136	Comparaison de la température ambiante du cas de base (intermédiaire) avec celle d'un autre au dernier étage en hiver (12/01).....	226
Figure 137	Comparaison de la température ambiante du cas de base (intermédiaire) avec celle d'un autre au dernier étage en été (21/07).....	227

Liste des annexes		Page
Annexe A	Textes réglementaires relatifs à la maîtrise de l'énergie.....	i
Annexe A-1	Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.....	i
Annexe A-2	Décret exécutif n° 2000-90 du 19 Moharram 1421 correspondant au 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.....	xii
Annexe B	Formulaire d'enquête	xv
Annexe C	Le logogramme schématisant la méthode développée par cette étude.....	xxi
Annexe D	Système d'évaluation de l'efficacité énergétique et durabilité en Algérie	xxii
Annexe E	Publications.....	xxiii

Liste des abréviations et des acronymes

Ademe : Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AIE : Agence Internationale de l'Energie

AME : Agence méditerranéenne de l'environnement

ANER : Agence nationale des énergies renouvelables

ANME : Agence nationale tunisienne pour la maîtrise de l'énergie

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

PIB : Produit Intérieur Brut

BBC : Bâtiment basse consommation

BIRD : Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement (Banque Mondiale)

CCNUCC : Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique

CDER : Centre pour le développement des énergies renouvelables

CNERIB : Centre National de la Recherche de l'Industrie du Bâtiment

CREG : Commission de régulation de l'électricité et du gaz

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

DA : Dinar Algérienne

DT : Dinar Tunisien

DTR : Documents Techniques Réglementaires

EE : Efficacité énergétique

ER : Energie renouvelable

ECS : Eau Chaude Sanitaire

FEM : Fonds pour l'environnement mondial

FFEM : Fonds français pour l'environnement mondial

FMI : Fonds Monétaire International

FNME : Fonds national de maîtrise de l'énergie

GES : Gaz à effet de serre

GJ : Giga Joule

GNL : Gaz naturel liquéfié

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

GTZ : Coopération technique allemande

GWh : Giga Watt heure

HPE : Haute Performance Energétique

IC : Immeuble collectif

kWh : Kilowatt- heure

LEED: The Leadership in Energy and Environmental Design

ME : Ministère de l'Énergie

MED-ENEC : Projet Euro-Med pour l'EE dans le secteur du bâtiment dans les PSEM

MEDENER : Association méditerranéenne des Agences Nationales de la Maîtrise de l'Energie

MEÉ : Mesure d'Efficacité Energétique

MEPS : Normes minimales de performance énergétique

MPE : Marchés Publics Ecologiques

Mtep : Million de tonnes d'équivalent de pétrole

MtCO₂ : Millions de tonnes d'équivalent CO₂

MW : Mégawatt

OCDE : Organisation de la coopération et du développement économique

OMO : Optimisation Multi-Objectif

PEE : Performance Energétique et Environnementale

PNME : Programme National de Maîtrise de l'Energie

PNUD : Programme des Nations Unis pour le développement

PSEM : Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée

RCREEE : Centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique

RTMB : Réglementation Thermique Maghrébine des Bâtiments

STD : Simulation Thermique Dynamique

Tep : Tonne équivalent pétrole

TWh : Téra watt-heure

UE : Union Européenne

UTCf : Utilisation des terres, leurs changements et la forêt

Introduction générale

Introduction :

قال الله تعالى: بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"ظهر الفساد في البر والبحر بما كسبت أيدي الناس ليذيقهم بعض الذي عملوا لعلهم يرجعون"

(سورة الروم- الآية 40)

Dieu Tout-Puissant a dit: Au nom de Dieu, Celui qui fait miséricorde, le Miséricordieux.
« *La corruption est apparue sur la terre et sur la mer par suite des actes accomplis par les mains des hommes afin que Dieu leur fasse goûter une partie de ce qu'ils ont fait. Peut-être reviendront-ils!* ».

(Verset 40, Sourate Les Romains)

Depuis le début de l'ère industrielle, les civilisations ont fondé leur développement sur l'utilisation toujours croissante d'énergie fossile pour le chauffage des bâtiments ainsi que pour les usages domestiques qui prennent une part grandissante dans la consommation d'électricité du fait de l'évolution du mode de vie. Mais, la consommation des énergies fossiles n'est pas renouvelable, leur conversion en énergie utilisable est onéreuse et génère beaucoup de pertes et de sous-produits toxiques. De plus, leur coût, sans cesse croissant, pèse lourd sur les finances des foyers et influe sur le confort. Ainsi, au 19^{ème} siècle, les chercheurs ont noté que les émissions de carbone provenant de la combustion de combustibles fossiles pourraient contribuer au réchauffement planétaire, en découvrant que 60% de l'effet de serre est induit par le CO₂ (Ozturk et Acaravci, 2010). Des études récentes ont estimé que la combustion de combustibles fossiles contribue à 70% des émissions totales de carbone et que l'activité humaine et les consommations d'énergie sont les principales causes du changement climatique. D'une part, la croissance économique dépend de la consommation d'énergie, ce qui entraîne des émissions de carbone. D'autre part, la réduction des émissions de carbone réagira à la consommation d'énergie et restreindra le développement économique (Zhang et Duan, 2012).

La communauté internationale a mis beaucoup plus l'accent sur le changement climatique global depuis des décennies. En 2014, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié son cinquième rapport d'évaluation qui analysait la relation entre la maladie humaine et le changement climatique mondial et soulignait la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'atténuer les effets du changement climatique (Qin, 2014). Bien que la question concernant le réchauffement climatique ait été soulevée depuis plus d'un siècle, les recherches sur la consommation d'énergie et les émissions de carbone ont récemment fait des progrès (Shen et Sun, 2016).

Motivation du choix du thème et du cas d'étude

À l'instar des pays en voie de développement, l'Algérie connaît ces dernières années un accroissement de ses consommations énergétiques, corrélé à celui de sa population et au développement socio-économique des ménages. La nécessité de rationaliser l'usage de l'énergie domestique dans le secteur résidentiel en Algérie est une exigence afin de protéger l'environnement.

Le choix de la ville de Tlemcen est argumenté par sa richesse sur le plan du patrimoine architectural. De plus, il y a la diversité de typologie architecturale et formelle des bâtiments résidentiels collectifs. Ce qui permet des résultats plus significatifs en matière de maîtrise de l'énergie dans le parc de logement existant et dans la conception du neuf dans cette ville ; ainsi que dans les régions avec un climat similaire.

L'espace habité -soit l'un des phénomènes architecturaux- est choisi, car il reflète de manière claire et directe les changements que l'architecture a subit, plus que les autres édifices (les équipements d'activités et de services). Il représente une part majeure de l'environnement bâti dans les pays en voie de développement. Il est plus facile à délimiter que les édifices publics qui dépendent plus d'expression des architectes.

Cette recherche se concentre sur l'étude des logements collectifs, vue l'augmentation, ces dernières années, des tranches de logements en immeubles collectifs (IC) dans le parc immobilier résidentiel en Algérie.

Problématique:

La consommation moyenne d'énergie primaire, en Algérie, a été estimée à environ 0,89 Tep/habitant en 1981. Elle a atteint 1,35 Tep/habitant en 2010 (Agence Internationale de l'Énergie AIE, 2013). Selon l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), cette consommation pourrait atteindre 1,88 Tep/habitant en 2020. Outre les émissions de CO₂ induites par ce type d'énergie, l'accroissement des consommations aurait un impact économique majeur, puisque l'industrie des hydrocarbures demeure le principal moteur économique du pays (Ouahab, 2015). En effet, le secteur des hydrocarbures représente 97 % des recettes d'exportation et 70 % des recettes de l'État, via la fiscalité pétrolière (FMI, 2013). Le secteur résidentiel en Algérie est à l'origine de 43% de la consommation d'énergie finale (Ministère de l'Énergie, 2017). En plus, il ya lieu de signaler que la consommation de gaz en Algérie représente environ 34% de la consommation globale d'énergie, au moment où la moyenne mondiale ne dépasse pas 22% (Ait-Cherif, 2016). De ce fait, il a une part égale et importante en matière de délivrance de CO₂. Il est à ce titre considéré comme la deuxième source d'émissions de CO₂ après les transports. Les

perspectives de développement du parc de logements conduiront à un accroissement exponentiel de cette consommation énergétique. La pression populaire sur le logement pousse à des réalisations quantitatives et non qualitatives : absence totale d'efficacité énergétique. En témoigne l'inefficacité du mécanisme de contrôle et de sanctions et par là même la non application de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs qui devait prendre effet dès 2005 (Sénit, 2008).

D'après Thibault & El-Andalousi (2011), un potentiel d'économies d'énergie dans les Pays du Sud et de l'Est méditerranéen (PSEM) est estimé à plus de 320Mtep de gains cumulés d'énergie finale sur la période 2010-2030 dans le secteur du bâtiment. Les plus importantes réductions, selon les usages, émanent du chauffage et de la climatisation pour environ 60%. La réduction annuelle des émissions de CO₂ serait, selon ce scénario, de l'ordre de 179 MtCO₂ dans ces pays. Les résultats de cette étude sont confirmés par ceux de l'étude d'Ouahab (2015) à l'échelle nationale, qui constata qu'en poursuivant les tendances actuelles à l'horizon 2050, les consommations d'énergie du secteur résidentiel dans le scénario tendanciel pourraient atteindre près de 413,4TWh/an, alors que celles-ci sont de l'ordre de 117,4TWh/an en 2008. Ceci correspond à un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 250%. On note dans ce scénario que la part du chauffage représenterait 57% de la consommation totale, soit 233TWh par an, et celle des appareils électroménagers près de 19% (78,2TWh). A eux deux, ces postes totaliseraient plus de 75% des besoins du parc. Les parts des autres usages resteraient relativement faibles : 7% pour l'ECS, 7% pour le refroidissement et 10% pour la cuisson. On constate globalement que la part de la consommation d'énergie du segment des maisons individuelles est en décroissance au profit des logements en IC. Elle passerait en effet de 66% en 2008 à près de 62% en 2050. La part des logements en IC passerait, quant à elle à plus de 17%, contre seulement 9% en 2008. En ce qui concerne l'évolution des émissions de CO₂, il a été constaté que les émissions progresseraient au rythme de l'accroissement des besoins d'énergie, puisqu'elles augmenteraient de plus de 270%, soit 112,7MtCO₂, par rapport aux émissions de 2008 (30,6MtCO₂). Les émissions moyennes par habitant atteindraient l'équivalent de 2,1tCO₂/habitant en 2050, alors qu'elles n'étaient que de 0,9 tCO₂/habitant en 2008. Donc, en Algérie, nos logements sont considérés comme des passoires d'énergie. À cause de toutes ces fuites, nos logements consomment 3 à 5 fois plus que le nécessaire pour se chauffer. Et c'est cette énergie gaspillée qui génère d'avantage la pollution et participe au réchauffement climatique. L'Algérie est nantie sur le plan énergétique, mais elle ne doit pas dilapider cette richesse à travers des logements non isolés et donc à forte déperdition énergétique.

Alors, cette étude est réalisée pour répondre aux **questionnements principaux** suivants :

- Comment réduire cette facture qui pèse autant sur la planète que sur notre économie nationale et sur nos portemonnaies ?
- Quels sont les gisements d'économies d'énergie dans le secteur résidentiel en Algérie, et comment les exploiter ?
- Quelle est l'identité thermique des enveloppes actuelles des logements collectifs composants le parc immobilier de la ville de Tlemcen? Et combien consomment-ils d'énergie?
- Quelles sont les stratégies de maîtrise d'énergie à entreprendre dans le parc de logement existant et dans la conception du neuf, permettant de répondre à la croissance future des consommations d'énergie domestique ?
- Quelles sont les mesures appropriées pour l'amélioration de la performance énergétique et environnementale dans le climat de Tlemcen ?
- Est-il possible d'éviter les systèmes de chauffage et de refroidissement actifs avec des solutions passives appropriées ? Et Quelles sont les mesures les plus efficaces et les plus rentable ?

D'où notre **question de départ** :

Les mesures d'efficacité énergétique (MEÉ) passives peuvent-elles réduire efficacement la facture énergétique du parc immobilier résidentiel, dans un climat arrière littoral montagne, sans réduire le confort des usagers ?

Hypothèses :

Ce qui nous amène à **l'hypothèse n°1** :

La réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels existants à Tlemcen, en utilisant les mesures d'efficacité énergétique (MEÉ) passives, permet de satisfaire le besoin thermique des occupants, de réduire d'une manière efficace et rentable l'usage de l'énergie pour le chauffage et la climatisation et de limiter l'impact négatif sur l'environnement.

Cependant, est-ce que le cadre réglementaire thermique en Algérie, tel qu'il est déterminé aujourd'hui, peut aider à la gestion du flux énergétique dans nos logements et peut guider les architectes à concevoir des logements efficaces en énergie ?

Ce qui nous amène à **l'hypothèse n°2** :

Le cadre réglementaire algérien actuel guide les architectes à concevoir des logements efficaces en énergie.

Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer et de fournir des mesures optimales pour la réhabilitation énergétique des immeubles collectifs à Tlemcen.

Objectifs généraux

Les objectifs généraux de l'étude sont décrits ci-après :

- Mener une étude architecturale et technique des logements collectifs représentatifs des différentes périodes d'urbanisation de cette ville. Du fait que, cette typologie de bâtiment résidentiel à Tlemcen peut être classée dans différentes période historique, chacune d'elles avec ses particularités.
- Créer une base de données qui fournit des clés d'interprétation dans l'analyse thermique et énergétique des bâtiments et des éléments d'arbitrage dans l'analyse des solutions possibles.
- Analyser les mesures qui conviennent au type de bâtiment, au climat et à l'environnement, compte tenu de leurs coûts, de leurs économies d'énergie primaire, de leurs potentiels de réduction des émissions de CO₂ et leurs impacts sur le confort thermique des occupants.
- Estimer la consommation d'énergie du bâtiment en utilisant des simulations de construction dynamiques du logement.
- Réduire les incertitudes et améliorer l'estimation de la consommation d'énergie primaire à l'aide d'un modèle de construction détaillé avec une caractérisation réaliste du bâtiment et son interaction avec l'utilisateur.
- Évaluer comment le confort des occupants peut être amélioré avec la mise en œuvre de stratégies passives (comme la ventilation naturelle, l'amélioration de l'enveloppe, l'orientation, la protection solaire) dans le logement.
- Avoir une relation directe entre les résultats de l'étude et les dépenses énergétiques des ménages en considérant les utilisations de : chauffage, rafraîchissement, eau chaude sanitaire.
- Analyser les économies d'énergie réalisées avec des mesures optimales pour les coûts.
- Aider à enrichir de futurs règlements et politiques de construction, en particulier pour les bâtiments existants en fonction des informations relatives aux dépenses énergétiques des ménages.
- Fonder une méthodologie d'étude applicable aux autres villes constituant les autres zones climatiques en Algérie.

- Rédiger un document sur l'énergétique du bâtiment servant comme référence bibliographique pour la formation pédagogique de la graduation et de la post graduation.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de l'étude sont décrits ci-après :

- Développer un modèle pour reproduire le comportement d'occupation dans le bâtiment et son interaction avec les systèmes. En utilisant ce modèle, il est possible de reproduire la variabilité des occupants.
- Relier les paramètres du bâtiment avec les résultats des enquêtes et des données expérimentales, afin de définir le modèle de simulation avec des informations réalistes.
- Introduire des stratégies passives de chauffage/rafraîchissement basées sur des techniques passives.
- Améliorer l'intégration de ces stratégies dans le modèle de construction.
- Utiliser une méthode économique qui permet de comparer de manière neutre les différentes mesures d'efficacité énergétique. La méthode doit inclure tous les coûts d'investissement générés et des coûts énergétiques.

Méthodologie :

Cette étude a pris comme point de départ la caractérisation des stocks de bâtiments et les mesures d'efficacité énergétique à travers cinq activités principales :

- Analyse précédente : collecte d'informations provenant d'études et de méthodologies antérieures liées à la caractérisation des stocks de bâtiments. Présélection des typologies du bâtiment et définition des informations nécessaires ;
- Définition et validation de la typologie à travers le choix d'un échantillon qui représente le stock de logements existant dans cette ville : Campagne d'enquête pour recueillir les informations manquées et mettre en évidence les aspects liés à la consommation d'énergie, à la propriété des systèmes et des appareils et des informations sur le comportement de l'utilisateur. Vérification des typologies de présélection. Définition de la typologie finale ;
- Analyse architecturale et technique : un diagnostic a été établi pour chaque typologie de bâtiment. Au cours de cette première étude on analysera les performances thermiques de chaque type de bâtiment en prenant en compte tous les éléments du confort thermique ;

- Mesures d'efficacité énergétique : Une deuxième étude, initiée par les résultats de la première étude, se base sur deux méthodes : statique et dynamique en utilisant le logiciel *DesignBuilder*, en réduisant la consommation d'énergie d'un logement collectif à Tlemcen (le type le moins efficient), sans la perte de confort, ainsi que de réduire l'impact environnemental négatif, en utilisant la méthode d'évaluation paramétrique pour améliorer des éléments composants l'enveloppe du bâtiment par des mesures d'efficacité énergétique (MEE) à travers des techniques passives abordables. Les mesures sont définies avec des informations techniques et économiques. L'évaluation du confort thermique du bâtiment est nécessaire afin de garantir une combinaison confortable de mesures.
- Développer des recommandations concernant la conception appropriée à des nouvelles habitations ainsi qu'aux améliorations dans l'habitat existant, dans cette ville et même dans d'autres régions urbaines avec un climat similaire à Tlemcen. En essayant de combler les manques de la réglementation thermique algérienne pour se mettre à niveau au moins avec le contexte régional.

Capacité et limites de l'étude :

La portée de cette étude est limitée aux aspects suivants : le contexte géographique, social, culturel et économique est limité à l'Afrique du nord, de l'Egypte au Maroc. Ces pays partagent un contexte culturel commun et leurs situations économiques subissent des développements similaires.

L'expérience pratique provient de l'Algérie. L'accent est mis sur les plaines derrière le rivage de la mer, avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais.

L'étude se concentre sur le logement collectif, mais les résultats peuvent être partiellement valables aussi pour les bâtiments à petite échelle. Le modèle de gains de chaleur interne utilisé dans les simulations thermiques est déduit du schéma des activités résultant des études sur le terrain.

L'estimation de l'aspect économique des différents cas de simulation est limitée à l'évaluation de la consommation d'énergie primaire pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments, au potentiel d'économie d'énergie et celui de réduction des émissions CO₂, à l'évaluation du confort thermique et à l'évaluation économique.

Dans cette étude seulement les paramètres qui influent sur l'environnement thermique sont investigués au moyen des simulations numériques. Ce sont l'effet de la ventilation, de l'isolation, de l'orientation, des contrôles solaires, de la taille des ouvertures, et l'effet de

l'installation d'une serre dans la loggia. D'autres aspects tels que l'analyse de l'éclairage ne sont pas analysés dans cette étude.

Structure des chapitres

En fonction des éléments que l'on vient de présenter, le plan de l'étude est le suivant :

Cette thèse est organisée en deux parties principales, introduites par une introduction qui comprend les concepts de la recherche : la problématique, l'objectif de l'étude et les hypothèses qui seront examinées et testées tout au long de l'étude sont formulées.

La première partie comporte trois chapitres. Dans le premier chapitre, un aperçu général sur la situation énergétique en Algérie, le rôle du secteur résidentiel dans la consommation énergétique et sa contribution aux émissions de gaz à effet de serre sont présentés. Ce chapitre expose également la politique actuelle de la maîtrise d'énergie en Algérie.

Dans le deuxième chapitre de cette thèse, un cadre théorique sur la performance énergétique est fondé. Le début est consacré à un état de l'art relatif aux différentes techniques de modélisation (*bottom-up, top-down...*). Ensuite, ce chapitre propose un cadre général des méthodes d'évaluation durable des mesures d'efficacité énergétique (MEE) et décrit la méthode multicritère et l'approche multi-objectif. Il se concentre sur les critères à travers une grille d'analyse portant sur un ensemble d'études et de recherches en adéquation avec notre thèse. Ce chapitre présente également le concept de la réhabilitation énergétique et ses outils d'évaluation.

Le troisième chapitre se concentre sur la Conception solaire passive des bâtiments. On propose de porter d'abord un regard historique sur ce processus. Puis, à travers l'analyse bibliographique, on évoque l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments pour révéler les techniques utiles (Passives et actives) qui couvrent les bâtiments. En outre, les principes de la conception solaire passive, ayant un impact sur la rationalisation de la consommation d'énergie, ont été présentés.

La deuxième partie englobe trois chapitres. Le quatrième chapitre représente l'étude de terrain sous forme de deux sections. La première comprend la description du site de Tlemcen avec un bref aperçu historique, un regard sur l'habitat traditionnel et contemporain, l'état du parc de logements, des consommations énergétiques et le climat. Afin de permettre une compréhension de la forme architecturale dans la seconde section de ce chapitre, servant comme information clé pour la définition des archétypes. Ce chapitre comprend également la méthode et les outils utilisés décrivant notre modèle *bottom-up.*, ainsi que les résultats des études architecturale et technique. Les chapitres cinq et six constituent une étude de

simulation pour l'optimisation de la performance énergétique et environnementale du type le moins efficient à Tlemcen. Ils comprennent la méthode, les outils et les résultats. Enfin, la recherche est résumée par une conclusion qui comprend une discussion générale des résultats pertinents et les contributions de la thèse comme tentative de vérification des hypothèses et des recommandations.

Partie I
Cadre théorique

Introduction de la première partie :

La première partie de cette thèse représente une partie théorique et comporte trois chapitres.

Le premier chapitre évoque la problématique de la consommation de l'énergie notamment dans le secteur résidentiel. Il présente également la politique actuelle de la maîtrise d'énergie en Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré à un état de l'art relatif aux différentes techniques de modélisation, méthodes et outils d'évaluation de la performance énergétique pour la réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels.

Le troisième chapitre se concentre sur la définition de la conception solaire passive des bâtiments et l'utilisation des techniques utiles (Passives et actives) qui couvrent les bâtiments, ayant un impact sur la rationalisation de la consommation d'énergie.

Chapitre 1
Problématique de l'énergie
entre enjeux et durabilité

Ce chapitre présente principalement les enjeux mondiaux, régionaux et nationaux importants liés à la croissance de la consommation énergétique dans les différents secteurs notamment celui des ménages par secteur d'activité, par source d'énergie et par usage et ceux liés à l'impact économique et environnemental. Ainsi qu'il expose la politique nationale de la maîtrise de l'énergie dans le secteur résidentiel et son cadre réglementaire. Il illustre ensuite la voie de la durabilité de l'énergie dans le bâtiment à travers les notions de l'économie et de l'efficacité d'énergétique.

1-1) Energie dans la nature :

قال الله تعالى: بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"الذي جعل لكم من الشجر الأخضر نارا فإذا انتم منه توقدون"

(سورة يس- الآية 80)

Dieu Tout-Puissant a dit: Au Nom de Dieu, Celui qui fait miséricorde, le Miséricordieux.

« C'est lui qui, pour vous, a dans l'arbre vert placé du feu dont vous utilisez la flamme ».

(Verset 80, Sourate Ya. Sin)

وقال: بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"أفرأيتم النار التي تورون (74) ءانتم أنشأتم شجرتها أم نحن المنشئون (75)

نحن جعلناها تذكرة للمقوين (76) فسبح باسم ربك العظيم (77)"

(سورة الواقعة)

Et a dit: Au Nom de Dieu, Celui qui fait miséricorde, le Miséricordieux.

« Avez-vous considéré le feu que vous obtenez par frottement ?

Est-ce vous qui en faites croître le bois ? Ou bien en sommes-nous les producteurs ?

Nous avons fait tout cela comme un Rappel et une chose utile pour les voyageurs du désert

Glorifie donc le Nom de ton Seigneur, le Très-Grand »

(Versets 74-77, Sourate Celle Qui Est Inéluctable)

Tous les systèmes vivants utilisent de l'énergie pour subvenir à leurs besoins. L'énergie se définit comme de la « force exploitable » ou la capacité d'un système physique de « travailler ». L'énergie solaire est le moteur de toute vie sur terre. La chaleur du soleil est à l'origine du mouvement des vents et de celui de l'eau à travers le cycle hydrologique (Venolia et Lerner, 2007, pp. 128-29). Les végétaux et certaines bactéries utilisent la lumière solaire via la phase claire de la photosynthèse pour permettre directement la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique permettant de synthétiser de la matière organique

(sucres simples) qui alimentent leurs organismes. La seconde phase de la photosynthèse, dite sombre, permet l'assimilation du gaz carbonique. Les énergies fossiles proviennent également du soleil, au moins à l'origine. L'essentiel des gisements de combustibles fossiles dérive directement ou non, de la matière organique (MO) des êtres vivants incorporés dans les sédiments lors de leur dépôt. Les énergies fossiles pourraient être assimilées à des batteries géantes qui stockent l'équivalent de millions d'années de lumière solaire. En méditant ce verset, on peut dire que dans la chaîne des espèces, l'arbre est un aboutissement en soit, une sculpture vivante et parfaite. *Gloire à Allah le Meilleur des Créateurs.*

1-2) L'énergie dans le monde : Les énergies fossiles au cœur du mix mondial

En 2015, la population mondiale a progressé de 1,2%, correspondant au rythme annuel moyen observé depuis le début des années 2000. Elle s'élève désormais à plus de 7,3 milliards d'habitants, et devrait atteindre 9,7 milliards d'individus en 2050 et 11,2 milliards en 2100, d'après la projection actualisée de l'ONU (*World Population Prospects : The 2015 Revision*) (ENGIE¹, 2016). Avec un tel nombre de population, la consommation mondiale d'énergie primaire, en 2016, a encore augmenté de 1% et atteint 13 276 Mtep.

Les énergies fossiles ont encore satisfait 85,5% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2016 (86% en 2015) selon les dernières données de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE). Près d'un tiers de cette consommation mondiale est couverte par le pétrole, dont la demande a augmenté de 1,6 million de barils par jour (Mb/j) en 2016, notamment sous l'effet de la baisse des cours (©Connaissance des Énergies, 2017). La figure 1 nous démontre que le pétrole, première énergie consommée dans le monde (32% en 2015), devrait le rester dans les trois prochaines décennies (27% en 2040 dans le scénario *New Policies* de l'AIE), bien que sa part s'érode continuellement en raison de son retrait de la production électrique, de sa moindre utilisation pour le chauffage et de la meilleure efficacité énergétique des véhicules.

La consommation de charbon, la deuxième énergie la plus consommée, cible des politiques environnementales, est en net recul en 2015 – sa part, de 28,1% du mix en 2015 – devrait baisser à 23% en 2040 selon le scénario NP. Mais sa part recule au profit du gaz naturel (21% de la consommation primaire) a bénéficié d'une meilleure compétitivité prix face au charbon

¹ Fournisseur d'énergie et gestionnaire du réseau de distribution d'électricité et de gaz naturel. Ce Groupe développe des solutions performantes et innovantes pour les particuliers, les villes et les entreprises en s'appuyant notamment sur son expertise dans quatre secteurs clés : les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, le gaz naturel liquéfié et les technologies numériques. ENGIE compte 154 950 collaborateurs dans le monde pour un chiffre d'affaires en 2015 de 69,9 milliards d'euros. Coté à Paris et Bruxelles (ENGIE), le Groupe est représenté dans les principaux indices internationaux.

et du soutien des politiques environnementales ; sa part devrait à minima se maintenir dans les prochaines décennies (ENGIE, 2016).

En 1973, cette part atteignait 86,7% (dont 46,2% pour le seul pétrole) et les énergies décarbonées ont ainsi légèrement progressé dans le mix énergétique mondial. L'utilisation de la biomasse, en particulier du bois, est loin d'être négligeable, même dans les pays développés ; elle est encore la seule énergie disponible dans une grande partie de l'Afrique. Notons que les productions mondiales de gaz naturel et de charbon ont respectivement triplé et plus que doublé depuis 1973. Les émissions mondiales de CO₂ relatives à la combustion d'énergie ont pour leur part doublé durant cette période.

L'électricité a compté pour 18,5% de la consommation finale d'énergie dans le monde en 2015 (contre 9,4% en 1973). Le mix de la production électrique mondiale reste encore largement dominé par le charbon (39,3% de la production mondiale en 2015), pourtant montré du doigt pour les fortes émissions de gaz à effet de serre associées à sa combustion.

Les énergies décarbonées progressent rapidement dans le mix électrique mais elles restent pour l'heure minoritaires dans ce mix (33,7% de la production mondiale). L'hydroélectricité a en particulier produit 3 978 TWh dans le monde en 2015 (16% du mix), soit davantage que les productions nucléaires (2 571 TWh en 2015), éolienne (838 TWh en 2015) et photovoltaïque (247 TWh en 2015) réunies. Enfin, les EnR électriques, encore marginales au niveau mondial, connaissent un développement remarquable en Europe, Chine, États-Unis, au point d'y modifier profondément les systèmes électriques.

Le développement des énergies renouvelables hors hydroélectricité, aux premiers rangs desquelles l'éolien et le solaire photovoltaïque, est très soutenu (+ 14,1% en 2016) mais ces énergies ne comptaient encore que pour 3,2% de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2016 (2,8% en 2015). La consommation d'énergie nucléaire est enfin en légère croissance (+ 1,3%), grâce à la mise en service de 5 nouveaux réacteurs en Chine en 2016 (20 autres réacteurs étant en cours de construction dans ce pays).

L'AIE rappelle par ailleurs ses projections de l'évolution de la consommation mondiale d'énergie finale. Cette dernière a atteint 9 384 Mtep en 2015 et pourrait augmenter d'un tiers à l'horizon 2040 (12 538 Mtep) selon le scénario « New Policies » de l'AIE (basée sur les

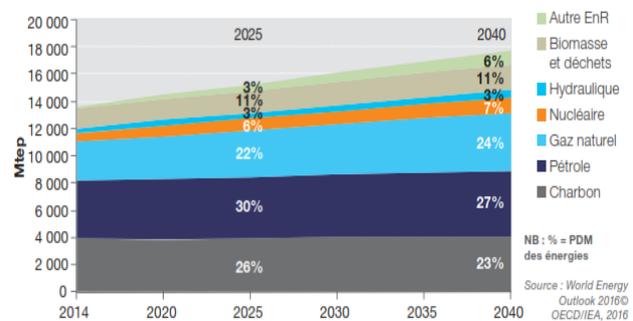


Figure 1. Évolution de la demande primaire mondiale à l'horizon 2040 dans le scénario « Nouvelles politiques » de l'AIE (WEO 2016) (source : ENGIE, 2016)

politiques actuellement envisagées). Pour suivre la trajectoire des « 2°C » d'ici à 2100, de l'Accord de Paris, la consommation mondiale d'énergie finale devrait se limiter à 10 706 Mtep en 2040 selon l'AIE (scénario « 450 »). Ainsi, les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indiquent qu'il faudrait réduire les émissions mondiales de l'ensemble des gaz à effet de serre² de 40% à 70% d'ici à 2050 (par rapport au niveau de 2010) (©Connaissance des Énergies, 2017).

La consommation d'énergie en 2015 (+0,7%), et en 2016, a moins progressé que la croissance économique mondiale (+3,1% en 2015) grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Le marché de l'énergie en 2015 et en 2016 se caractérise par une dé-corrélation entre croissance économique mondiale (+3,1% en 2015) et croissance de la demande énergétique (+0,7%), avec de surcroît un léger décrochage entre demande énergétique et évolution des émissions de CO₂ (-1%). Le ralentissement du PIB mondial en 2015, +3,1% (s'établissant à 74 849 milliards de dollars) après +3,4% en 2014, devrait se prolonger en 2016. De même, la consommation d'énergie, quasiment stable en 2015 avec une évolution de +0,8% (à 12 778 Millions de tep), devrait le rester en 2016. Cette stagnation de la demande d'énergie entraîne à la fois une surproduction d'énergies fossiles, la chute de leur prix et un recul historique des émissions de CO₂ (ENGIE, 2016).

1-3) La situation énergétique en Algérie :

L'Algérie est le premier producteur de gaz naturel en Afrique, le deuxième fournisseur de gaz naturel en Europe et figure parmi les trois premiers producteurs de pétrole en Afrique. On estime que l'Algérie détient la troisième plus grande quantité de gaz de schiste au monde après la Chine et l'Argentine. Cependant, la production brute de gaz naturel et de pétrole brut a progressivement diminué au cours des dernières années, principalement parce que de nouveaux projets de production et d'infrastructure ont été retardés à plusieurs reprises.

L'Algérie est le premier producteur de gaz naturel en Afrique, le deuxième fournisseur de gaz naturel en Europe en dehors de la région et figure parmi les trois premiers producteurs de pétrole en Afrique. L'Algérie est devenue membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) en 1969, peu après le début de la production pétrolière en 1958. Et a

² Le protocole de Kyoto définit 6 Gaz à Effet de Serre (GES) : le CO₂ (Dioxyde de carbone), le CH₄ (Méthane), le N₂O (Protoxyde d'azote), les HFC (Hydrofluorocarbures), les PFC (Perfluorocarbures) et le SF₆ (Hexafluorure de soufre). Le CO₂ représente 78% des émissions de GES (lié à 90% à la combustion d'énergie), le méthane (CH₄) 13% (lié principalement à l'agriculture, mais aussi aux émissions fugitives et aux décharges), le N₂O 6% (lié à l'agriculture). Les trois derniers (HFC, PFC et SF₆) représentent 3% (répartition basée sur les émissions totales de GES des pays de la CCNUCC). Ainsi, la consommation d'énergie fossile contribue pour 76% aux émissions de GES (hors captation du CO₂ par l'UTCFC (*Land Use, Land Use Change and Forestry–LULUCF*– en anglais) (ENGIE, 2016).

également joué un rôle précurseur dans le développement du gaz naturel liquéfié (GNL). La première installation de GNL au monde a en effet été mise en service en 1964 à Arzew. L'économie algérienne dépend fortement des revenus générés par son secteur des hydrocarbures, qui représente environ 30% du PIB brut (produit intérieur brut PIB), plus de 95% des recettes d'exportation, et 60% des recettes budgétaires, selon le Fonds monétaire international (FMI).

Selon une étude commanditée par l'Administration américaine de l'information sur l'énergie (EIA), l'Algérie détient la troisième plus grande quantité de gaz de schiste au monde. L'étude d'EIE estime que l'Algérie contient 707 billions de pieds cubes (Tcf) et 5,7 milliards de barils de gaz de schiste et de ressources pétrolières techniquement récupérables, respectivement. Certains analystes de l'industrie sont prudents quant aux perspectives de l'Algérie de devenir un important producteur de schiste. Une analyse de MEES souligne les obstacles auxquels l'Algérie sera confrontée, notamment : l'éloignement de la superficie des schistes, le manque d'infrastructures et d'accessibilité aux sites, la disponibilité de l'eau, le manque de routes et de pipelines pour transporter les matériaux, plates-formes parce que les puits de schiste s'épuisent plus rapidement.

Les revenus de l'Algérie liés aux exportations de pétrole et de gaz naturel s'élèvent à 63,8 milliards d'euros en 2013, soit plus de 95% de ses revenus totaux provenant des exportations. L'entreprise publique Sonatrach contrôle près de 80% de la production d'hydrocarbures du pays. Cela en fait la principale compagnie de pétrole et de gaz naturel dans toute l'Afrique.

L'Algérie s'appuie également sur sa propre production de pétrole et de gaz naturel pour la consommation domestique, fortement subventionnée. Le gaz naturel et le pétrole représentent la quasi-totalité de la consommation totale d'énergie primaire de l'Algérie. Selon le FMI, les prix intérieurs des produits pétroliers (diesel, essence et gaz de pétrole liquéfié) et du gaz naturel sont très bas en Algérie selon les normes régionales et mondiales. Le FMI estime que l'Algérie a le deuxième prix national le moins cher pour le gaz naturel en Afrique, après la Libye, les prix de détail n'ayant pas changé depuis 2005 et étant désormais inférieurs aux coûts opérationnels. Le FMI estime que le coût des subventions implicites sur les produits pétroliers et le gaz naturel (aux stades intermédiaire et final) s'est élevé à 22,2 milliards de dollars en 2012, soit 10,7% du PIB.

Le gaz naturel représente 98% de la production d'électricité en Algérie, selon le FMI. Comme le gaz naturel, les prix de l'électricité sont également inchangés depuis 2005. Cependant, le coût d'une connexion électrique pour obtenir l'accès peut être long et coûteux. Néanmoins, plus de 99% de la population algérienne a accès à l'électricité. Le gouvernement algérien tente

de réduire la dépendance du pays vis-à-vis du gaz naturel dans le secteur de l'électricité en lançant davantage de projets d'énergie renouvelable. Sonelgaz, le service public d'électricité et de gaz de l'Algérie, a signé des contrats pour la mise en service de projets solaires en ligne et a récemment lancé un programme pilote de parcs éoliens (EIA, 2014).

La production d'électricité est passée de 7 492 MW en 2005 à 17 238,6 MW en 2015, soit près de 10 000 MW additionnelle mise en service en dix ans. Jusque-là, l'entreprise Sonelgaz détenait le monopole sur la production, le transport, la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz. Sonelgaz en tant qu'entreprise publique au terme du monopole conféré par l'Etat, assumait seule la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz.

La promulgation de la nouvelle loi n° 02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations a donné le coup d'envoi pour la réorganisation du secteur et l'ouverture du marché électrique à la concurrence, dominé jusque-là par l'entreprise publique Sonelgaz. La promulgation de cette Loi a également permis la réorganisation de Sonelgaz qui s'est achevée en 2011, avec la création de la société holding « Sonelgaz » ainsi que l'ensemble de ses sociétés filiales. Sonelgaz est aujourd'hui érigé en Groupe industriel composé de 39 filiales et 5 sociétés en participation. Des filiales métiers sont chargés des activités de production de l'électricité, de transport et de la distribution de l'électricité et du gaz par canalisations. Cette loi a également permis la création de La commission de régulation de l'électricité et du gaz « CREG » installée en 2005, qui encadre et régule les activités du secteur de l'électricité et gaz.

1-4) Bilan de consommation énergétique en Algérie :

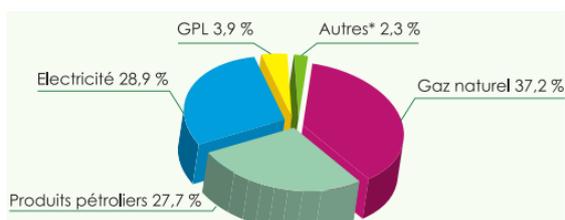
Selon le bilan énergétique national de l'année 2016 (ME, 2017), la consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) a atteint 58,3 M TEP en 2016, reflétant une quasi-stagnation par rapport à 2015. Soit pratiquement le même niveau (+0,1%) qu'en 2015. Elle représente plus d'un tiers (35,1%) de la production totale. Ceci constitue une inflexion majeure dans la tendance haussière observée depuis 2001, où la consommation avait évolué à un rythme moyen élevé autour de 5% par an.

Cette situation résulte de la conjonction de plusieurs facteurs notamment le relèvement des prix de produits énergétiques depuis janvier 2016, une faible croissance du parc automobile et un hiver relativement doux.

1-4-1) Evolution par forme d'énergie :

La structure de la consommation nationale reste dominée par le gaz naturel (37%) suivi par l'électricité (29%) et les produits pétroliers (28%). Le reste (6,2%) est réparti entre les GPL et les autres produits (Voir figure 2). Il est à noter la croissance continue de la consommation d'électricité, qui a vu sa part portée à près de 29%, soit un point de

Total: 58,3 M Tep



*Produits solides, pétrole brut, condensat, GNL, GHF...etc.

Figure 2. Répartition de la consommation par forme d'énergie pour l'année 2015 (Source : MEM, 2016).

plus par rapport à 2015, pour s'établir à 16,9 M Tep, reflète les besoins induits par le développement socio-économique du pays et l'amélioration du niveau de vie de la population (ME, 2017, pp.17-18). Selon le rapport de la Commission de régulation de l'électricité et du gaz (CREG) de l'année 2010, la consommation d'énergie pourrait doubler à l'horizon 2019. La hausse de la demande d'énergie électrique durant l'été observé ces dernières années peut être raisonnablement expliquée par le recours de plus en plus à la généralisation de la climatisation. Par ailleurs, Il est à signaler aussi la baisse (-5%) des pertes d'électricité à 10,7 TWh, suite aux mesures & procédures engagées par les sociétés de distribution de Sonelgaz. La répartition des pertes est donnée ci-dessous :

- Pertes de distribution (78%), y compris les pertes non techniques causées par le phénomène du piratage du réseau, qui ont baissé de 6,3% en 2016 ;
- Pertes de transport (22%), en baisse de 2% par rapport à 2015 (MEM, 2015).

1-4-2) Consommation finale :

La consommation finale, qui représente 73,5% de la consommation nationale, comprend tous les usages à caractère final d'énergie. Elle est passée de 42,5 M Tep en 2015 à 42,9 M Tep en 2016, reflétant une légère hausse de 1,0%, tirée par celles de l'électricité(+4,3%) et du gaz naturel (+3,3%)qui ont plus que compensé la baisse des produits pétroliers et GPL(-2,8%).

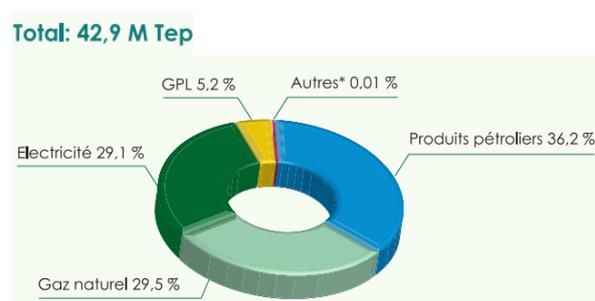
a) Par produit :

L'évolution de la consommation finale par produit fait ressortir ce qui suit :

- Baisse de 2,8% de la consommation des produits pétroliers à 15,5 M Tep, tirée par celle de la demande de gasoil et des essences, suite notamment à l'augmentation des prix ;

- Hausse de 3,3% de la demande de gaz naturel à 12,7 M Tep, induite par les besoins croissants des clients de la basse pression (+3,0%) dont le nombre a augmenté de 7,4% pour atteindre 4,9 millions d'abonnés en 2016 ;
- Croissance de la consommation d'électricité (4,3%) pour atteindre 12,5 M Tep, suite notamment à la hausse de la demande des clients de la basse tension (essentiellement les ménages), dont le nombre est passé de 8,5 millions d'abonnés en 2015 à 8,8 millions d'abonnés à fin 2016 ;
- Légère baisse de la consommation finale des GPL (-0,8%) à 2,2 M Tep, qui s'explique par la poursuite de la pénétration du gaz naturel citée ci-dessus et un hiver relativement doux.

La répartition de la consommation finale par produit est comme suit : de la figure 3, il ressort que la structure de la consommation finale reste dominée par les produits pétroliers (36,2%). L'évolution de cette structure par rapport à 2015, indique une croissance des parts de l'électricité et du gaz naturel au détriment de la part des produits pétroliers qui a baissé de près de 2 points en 2016.



*Autres : Bois, coke sidérurgique.

Figure 3. Structure de la consommation finale par produit (Source : ME, 2017, pp. 19).

b) Par secteur :

Par secteur d'activité, l'évolution de la consommation finale en 2016, fait ressortir ce qui suit:

- Baisse de la consommation du secteur des « transports » de 2,8% par rapport à l'année précédente à 15,1 M Tep, tirée par celle des carburants routiers, suite à la hausse des prix citée plus haut;
- Hausse de la consommation du secteur « Industries et BTP » de 4,8%, passant de 8,8 M Tep à 9,2 M Tep, suite à la hausse de la consommation du sous-secteur des matériaux de construction (+7,4%) ;
- Croissance de la consommation des « Ménages et autres » de 2,4% pour s'établir à 18,6 M Tep, tirée par celle du sous-secteur résidentiel (1,9%) et notamment des besoins en gaz et électricité induits par l'augmentation du nombre de clients BT et BP.

1-5) Intensité énergétique en Algérie :

L'intensité énergétique reflète le degré de dépendance d'une économie par rapport au facteur énergie. Plus elle est élevée plus l'économie devient vulnérable aux fluctuations des prix de l'énergie. L'intensité énergétique est également un indicateur pertinent vis-à-vis des obligations souscrites dans le cadre de Kyoto (APRUE, 2007, p.10).

L'intensité de l'énergie primaire en Algérie est en grande partie tributaire du développement du PIB national. Pour l'année 2006, une estimation situe la parité du pouvoir d'achat à 0.14-0.18 koe/\$95. Entre 1990 et 2006, l'intensité énergétique n'a été réduite que de très peu (source : desk-study-Algerie.doc). L'intensité énergétique s'est stabilisé entre 2000 et 2003 autour de 0.6 tep /1000\$.

Elle s'est améliorée entre 2000 et 2005 en passant à 0,36 tep / 1 000 \$, soit 2 fois plus que dans les pays de l'OCDE (Voir figure 4). Ainsi l'économie nationale consomme le double d'énergie pour créer la même unité de valeur ajoutée (APRUE, 2007). Cette amélioration est due à une optimisation du taux d'utilisation des capacités (TUC) du système de production (Ibid., p. 10). A titre comparatif, au niveau

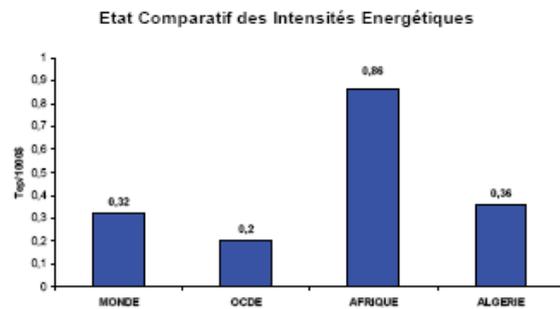


Figure 4. Etat comparatif des intensités énergétiques
(Source : APRUE, 2007, p.10)

mondial et pour la même période, le montant de l'énergie par unité de PIB a baissé de 1.6% par an. Les petites réductions réalisées en Algérie au niveau de l'intensité énergétique sont dues au développement des secteurs du pétrole et du gaz naturel à forte teneur en carbone orientés vers l'exportation.

En outre, le rendement de conversion dans l'économie algérienne est faible par rapport aux pays industrialisés. Par exemple, le rendement énergétique en Algérie est en dessous de 30% en 2006 alors que la moyenne mondiale a été de 34%. Pour l'Union Européenne, la moyenne du rendement énergétique a atteint 40%.

Toutefois, la demande présente un potentiel de réduction de l'intensité énergétique encore plus grand. En Algérie, la marge de manœuvre pour réduire la consommation d'énergie est très grande, par exemple, en substituant les combustibles conventionnels et en utilisant des appareils électriques plus efficaces particulièrement dans le secteur résidentiel. Cette surconsommation interne d'énergie, dont nous gaspillons une bonne partie, est due essentiellement à l'effet prix de cette énergie bon marché et aux équipements énergivores.

L'indice de l'intensité énergétique en Algérie est une fois et demie plus élevée que celui des pays de la CEE. Ceci veut dire que nous consommons 50% d'énergie de plus que ces pays pour produire la même quantité de biens. Plus grave, cet indice ne fait que se dégrader depuis 2004.

1-6) Le secteur des bâtiments : des enjeux énergétiques mondiaux et régionaux importants :

Le secteur des bâtiments (résidentiel et tertiaire) représente aujourd'hui un peu plus du tiers de la consommation mondiale en énergie finale. Dans l'ensemble des pays en développement, la part de sa consommation dépasse 40%. Selon le scénario de référence de l'Agence Internationale de l'Energie, la consommation d'énergie finale des bâtiments dans le monde, dans la figure 5, pourrait atteindre environ 3 800 millions de tonnes équivalent pétrole en 2030, dont environ la moitié (1800 Mtep) proviendrait des pays en développement (FFEM et ANME, 2010).

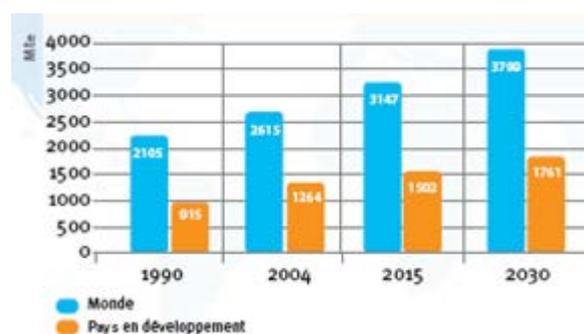


Figure 5. Prospective de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur des bâtiments dans le monde (Source : FFEM et ANME, 2010).

Par ailleurs, il est estimé que le potentiel d'économies d'énergie dans ce secteur au niveau mondial est de l'ordre de 40%, et ce en grande partie via des mesures économiquement rentables³. C'est également un secteur éminemment stratégique du fait de la longue durée de vie des bâtiments : les constructions d'aujourd'hui conditionneront durablement les consommations de demain et un bâtiment bien pensé dès sa conception sera toujours plus performant et moins coûteux qu'un bâtiment rénové a posteriori. Si le secteur de la rénovation est crucial aux vues du parc de logements existant, la construction neuve se doit d'être exemplaire (ADEREE, 2011).

1-6-1) La région Méditerranée particulièrement concernée :

La région du sud de la méditerranée ne déroge pas à ce constat puisque, en moyenne, le secteur du bâtiment représente environ 38% de l'énergie consommée (ce pourcentage varie entre 27 et 65% selon les pays) (ADEREE, 2011). Le Plan Bleu a estimé que la demande d'énergie primaire pourrait se trouver multipliée par 1,5 en Méditerranée à l'horizon 2025, les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) connaissant des taux de croissance de leur

³ Selon le scénario 450 de l'AIE, 2009.

demande énergétique quatre fois plus élevés que les pays du Nord (PNM) (FFEM et ANME, 2010).

Ce secteur représente, par ailleurs, le gisement d'économie le plus important qui se situe souvent autour de 40% dans la plupart des pays de la région⁴. Ce potentiel peut être atteint à travers l'agrégation de l'effet de plusieurs mesures individuelles, comme le montre le graphique suivant issu d'une étude réalisée par Plan Bleu en 2009 (Voir figure 6). Notons que la mesure de l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments couvre à elle seule 50% de ce potentiel, grâce aux économies d'énergie qu'elle implique pour les besoins de chauffage et de climatisation. Il en découle l'importance des mesures réglementaires relatives aux performances thermiques des bâtiments (ADEREE, 2011).

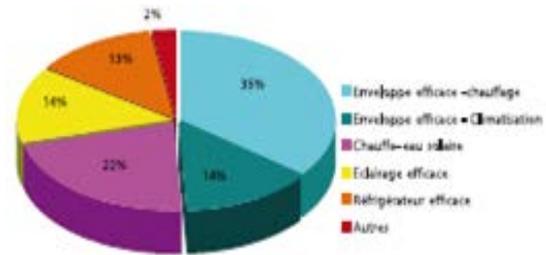


Figure 6. Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030 (Source : ADEREE, 2011)

En outre, 72% des émissions de GES de l'ensemble des pays méditerranéens sont constituées de CO₂ issu de l'utilisation de l'énergie. Les secteurs les plus émetteurs sont la production d'électricité et le chauffage dans les PSEM et le transport dans les PNM. Cette forte croissance de la demande provient des besoins liés au développement économique, à la croissance de la population et à l'évolution des modes de vie. Les enjeux sont particulièrement majeurs en ce qui concerne la généralisation de l'équipement des foyers en appareils électroménagers et en climatiseurs souvent fortement énergivores (FFEM et ANME, 2010).

1-6-2) Le rôle de secteur résidentiel dans la consommation énergétique en Algérie:

Les immeubles d'habitation représentent un des plus importants utilisateurs finaux sur les marchés d'énergie internationaux et domestiques et doivent absolument représenter un élément principal du programme d'économie d'énergie. Le niveau d'urbanisation est en augmentation en Algérie, les statistiques prévoient que 82% de la population algérienne sera concentrée dans les villes dès 2020. De ce fait, le secteur résidentiel existant possède un très grand potentiel d'économies d'énergie, il est celui qui fait face à plus d'obstacles aussi, comme l'a démontré l'étude de Thibault and El-Andaloussi (2011) confirmé par celle de Ouahab (2015).

⁴ Etude sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment dans la région méditerranéenne, Plan Bleu, 2010.

D'après le bilan national d'énergie de 2016, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire en Algérie est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 43,3% de la consommation énergétique finale nationale qui a atteint les 42,9 millions de TEP en 2016. Croissance de la consommation des « Ménages et autres » de 2,4% pour s'établir à 18,6 M Tep, tirée par celle du sous-secteur résidentiel (1,9%) et notamment des besoins en gaz et électricité induits par l'augmentation du nombre de clients Basse Tension (BT) qui a avoisiné 350 000 nouveaux clients en 2015 et notamment ceux du Basse Pression (BP);

La structure de la consommation finale reste dominée par la demande du secteur des «Ménages & autres» (43%), suivi par le «transport» (35%) et enfin le secteur de «l'industrie et BTP» avec une part de 22%. Cependant, il est à signaler le recul de près de 2 points de la part du secteur des transports comparativement à 2015, suite à la baisse de la consommation de carburants, au profit des deux autres secteurs (MEM, 2017, pp.19-20) (Voir figure 7).

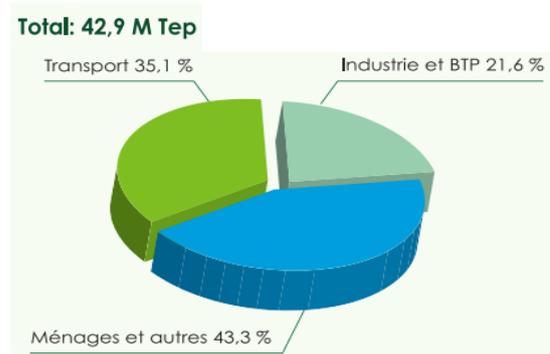


Figure 7. Structure de la consommation finale par secteur (Source : MEM, 2017, pp. 19-20).

Concernant les usages des logements, le chauffage représente 46% de la consommation énergétique totale, la cuisson des aliments 22%, la production d'eau chaude sanitaire 13% et les utilisations électriques 19% (Voir la figure 8). En outre, l'étude menée par l'APRUE précise que la consommation finale du secteur résidentiel a atteint 18,1 M Tep en 2015 avec un parc de logement de 8 040 932 unités dont 70 % sont urbains. Le taux d'occupation par logement est passé de 7,41 personnes par logement en 1998 à 6,4 personnes par logement en 2008 et doit évoluer à la fin de 2014 à 4,5 personnes par logement. Le taux d'équipement des ménages est de 70%. Le taux d'électrification est de 99,1 % et le taux de raccordement au réseau gaz est de 55%. La consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est de 1,2 tep.

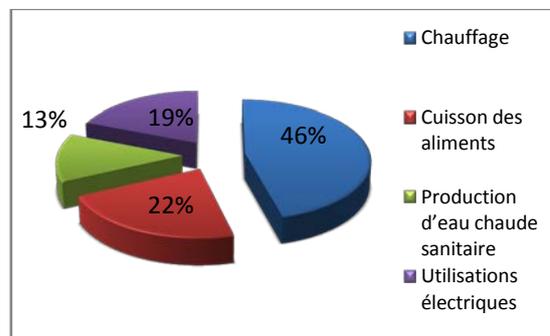


Figure 8. Les usages des logements en matière d'énergie en Algérie (Source: Aprue, 2012).

L'analyse de la consommation d'énergie montre que le secteur résidentiel consomme 40% de la consommation nationale totale d'électricité. Ainsi, il est le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national et 60% de la consommation finale en combustible. Par usage électrique, la consommation résidentielle, est répartie ainsi : 33% éclairage ; 27% réfrigérateur ; 17% téléviseur ; 5% climatiseur ; 4% chauffage ; 10% usages spécifiques et 3% usage thermique (Voir figure 9).

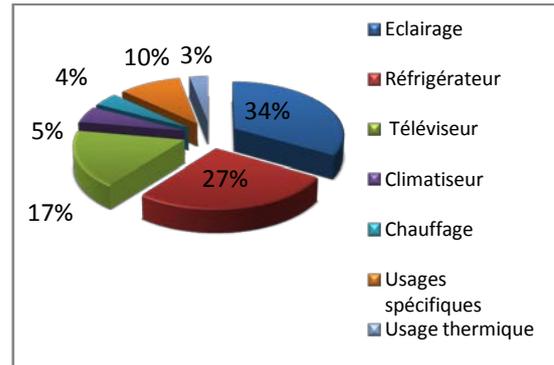


Figure 9. Consommation énergétique domestique en matière d'électricité (Aprue, 2012).

Selon le rapport de l'APRUE, dans le bilan des émissions de dioxyde de carbone par secteur, le bâtiment est classé deuxième (30%) après le transport (50%) et avant l'industrie (12%) soit une émission de 25.3MTEq CO₂ (Million tonnes Equivalent de CO₂). Enfin, l'analyse de l'évolution des consommations a montré qu'entre 2000 et 2012, la consommation énergétique finale nationale a enregistré un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 6.5%, alors que le secteur résidentiel-tertiaire a enregistré un taux de 7.4%. Ce dernier est appelé à augmenter rapidement au regard des programmes de développement du parc immobilier. Une étude menée par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) montre que le bilan énergétique d'un logement en Algérie (non climatisé) est important et peut atteindre près de 630MJ/m². Cette valeur est à comparée à la valeur de 400MJ/m² qui correspond à une construction européenne bien isolée.

Ce constat a conduit le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme (MHU) à publier un Document Technique Réglementaire (DTR) en 1997 qui vise à réduire les déperditions calorifiques du bâtiment. Ce document a été actualisé en 2014 (Denker *et al.*, 2014). En conséquence, des études détaillées sont nécessaires pour examiner tous les éléments qui ont une influence sur la consommation énergétique des bâtiments: le climat, les caractéristiques de construction, les caractéristiques des usagers et leur mode de vie, la performance des systèmes énergétiques et des appareils et leur utilisation.

1-6-3) Les changements climatiques : Un enjeu en termes d'adaptation au changement climatique

La consommation d'énergie a continué sa forte progression dans le monde. Elle a pour conséquence la dégradation de l'environnement et le réchauffement climatique. Ce dernier résulte à l'augmentation de la part des gaz à effets de serre dans l'atmosphère (Voir figure 10).

Les estimations du rapport Stern de 2006 suggèrent qu'avec une hausse des températures moyennes de 3 à 4 °C, l'adaptation des infrastructures et des bâtiments pour faire face au changement climatique pourrait coûter jusqu'à 10 % des coûts de construction totaux dans les pays de l'OCDE, soit une facture annuelle pouvant atteindre les 110 milliards d'euros. Avec des émissions de gaz à effet de serre (GES) représentant environ 20% des émissions dues à la consommation d'énergie finale (hors électricité), le secteur du bâtiment contribue fortement au changement climatique. Ces émissions pourraient s'élever à près de 4 300 millions de tonnes équivalent CO₂ à l'horizon 2030, dont plus de la moitié seraient générées par les pays en développement (FFEM et ANME, 2010).

Le secteur du bâtiment constitue un enjeu crucial en matière d'adaptation au changement climatique. Les variations climatiques d'une année à l'autre, liées à la rigueur des hivers ou à des étés très chauds, peuvent impacter significativement les tendances de consommation d'énergies des ménages (pour les usages chauffage et climatisation). Une étude menée par Nouaceur *et al.* (2013), sur le littoral algérien, montre de réels changements climatiques au cours de la période 1970-2012. Les variations climatiques ont eu un impact non négligeable sur les consommations spécifiques des ménages sur la période 2005-2010, surtout en France, Tunisie, et Algérie du fait d'un hiver 2010 en moyenne 5% plus chaud que l'hiver 2005 et un été légèrement plus chaud également. De ce fait, ces corrections climatiques donnent une vision plus précise des variations de consommations spécifiques (ADEM et MEDENER, 2014).

Les objectifs de réduction des émissions prévus par le Cadre de Convention des Nations Unies sur les changements climatique devraient accroître considérablement la demande d'énergie provenant de sources renouvelables ainsi que la demande de mesures d'efficacité

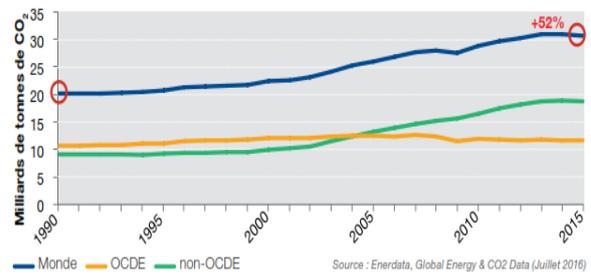


Figure 10. Émission de CO₂ liées à la combustion de l'énergie de 1990 à 2016 (Source : ENGIE, 2016).

énergétique. Les émissions de CO₂⁵ ont diminué pour la première fois en 2015 de -1% ; si cette tendance se confirme en 2016, cela fera la 3ème année consécutive de pause après un accroissement continu depuis 1990, date de référence dans les accords internationaux ; au cours de cette période les émissions mondiales ont augmenté de 56%. La faible croissance de la consommation mondiale d'énergie (+0,7% en 2015) ne suffit pas à expliquer entièrement ce léger découplage. Un recours moindre au charbon, la place grandissante des énergies renouvelables et enfin l'amélioration de l'efficacité énergétique sont des facteurs structurels qui permettent de voir dans ce mouvement un petit pas vers la «décarbonisation » de l'économie mondiale. 195 pays représentant 175 parties (174 plus l'Union européenne) ont – à l'issue de la COP21 le 12 décembre 2015 – approuvé l'Accord de Paris sur le climat ; ils l'ont ensuite signé le 22 avril 2016 et enfin ratifié le 4 novembre 2016 Son grand mérite a été d'avoir rassemblé l'ensemble des pays de la planète (175 parties l'ont signé, soit 174 pays et l'UE) ; les modalités d'application ont commencé à être dessinées lors de la COP22 de novembre 2016, avec la décision d'anticiper leur adoption de deux ans, soit en 2018.

1-6-4) Energie et Environnement en Algérie :

Les émissions en GES dues à la consommation d'énergie, en Algérie, ont atteint 40 Milliers de TeqCO₂. Soit un niveau d'émissions par habitant de 1,22kg eq CO₂ ; un niveau d'émissions par TEP consommé de 1,752kg eq CO₂ et soit un niveau d'émissions par Milliards de DA produit de 5,334Teq CO₂ (Aprue, 2007) (voir tableau 1).

Tableau 1. Bilan des émissions CO₂ par secteur (Source : Aprue, 2007).

	Consumption (ktep)	Emissions CO ₂ (Teq CO ₂)
Agriculture & Hydraulique	1 130	1 538
Industrie & BTP	3 226	3 881
Résidentiel & Tertiaire	7 047	6 312
Transport	5 536	9 574
Industries Energétique	5 889	18 544

Pour l'ensemble de la période 1960-2014, on enregistre une moyenne annuelle de 65 903,46. Le changement enregistré entre la première et la dernière année est de 2260 %. C'est en 2014

⁵ Les contenus CO₂ sont évalués selon deux conventions :

- soit en émissions directes : comptabilisation des émissions uniquement lors de l'utilisation de l'énergie par le consommateur,
- soit en Analyse du Cycle de Vie (ACV) afin de prendre en compte l'ensemble des émissions de l'extraction à l'utilisation finale : extraction, production, transport, distribution, utilisation, voire gestion des déchets.

qu'on enregistre la valeur la plus élevée (145 400,22) et c'est en 1963 qu'on enregistre la valeur la plus basse (5 427,16). Le tableau ci-dessous illustre les émissions de CO₂ en Algérie et par année selon les données officielles fournies par la Banque mondiale. L'année de base - ou de référence- est généralement 1990, du moins selon le protocole de Kyoto (<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/DZA/fr/EN.ATM.CO2E.KT.html>).

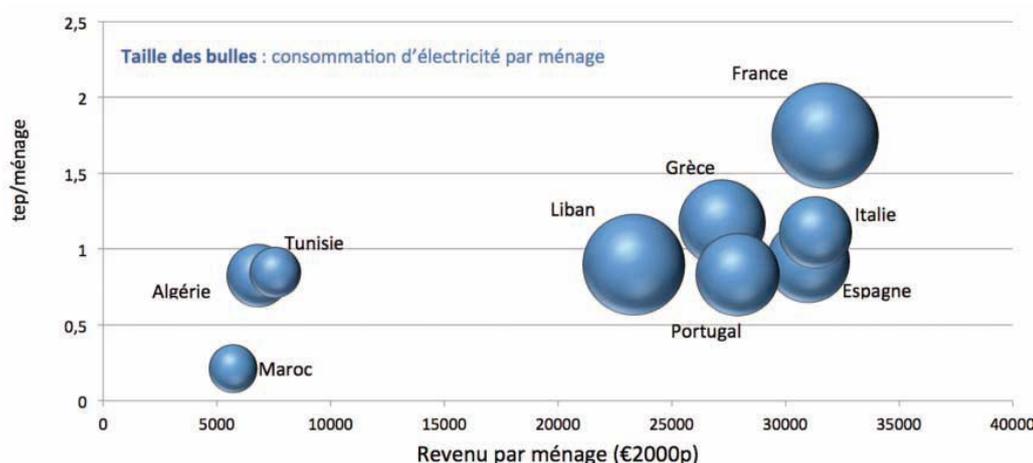
Tableau 2. Evolution des émissions de CO₂ en Algérie (Source : Perspective monde d'après la Banque Mondiale, 2011)

	1990	2011	Variations %
Emissions*	76 970 330	121 187 016	57,446
Emissions mondiales	22 149 402 400	34 847 501 000	57,329
% des émissions mondiales	0,348	0,348	0,074
Emissions par habitant	0,003	0,003	10,805
Emissions (kg) par \$ de PIB	0,290	0,253	-12,681

*en tonnes

1-6-5) Energie et revenus des ménages :

Les pays du sud (Maroc, Tunisie, Algérie) sont caractérisés par une faible consommation et un niveau de revenu d'environ 7000 €ménages, soit 4 fois plus faible que le revenu moyen du groupe des pays de l'UE et du Liban (Voir figure 11). A niveau de revenu identique ou proche, il existe une dispersion non négligeable des consommations par ménage, que ce soit pour le total ou l'électricité (ADEM et MEDENER, 2014).



*. La taille des bulles mesure le niveau d'électricité.

Figure 11. Consommation d'énergie par ménage en fonction du revenu (2010)
(Source : ADEM et MEDENER, 2014).

1-6-6) Energie et localisation des ménages :

- Clientèle électricité

L'accroissement enregistré durant l'exercice 2012 est de 326 377 clients, représentant une hausse de 10,2% par rapport à 2011.

L'accroissement de la clientèle alimentée en Basse Tension a été de 324 618 clients en hausse de 10,2% par rapport à 2011 (294 521 clients). Cette clientèle est répartie sur le territoire national comme l'indique la figure 12. Les réalisations en Moyenne Tension sont au nombre de 1 758 nouveaux clients en hausse de 4,5% par rapport à 2011. Il y a lieu de noter la mise en service d'un (01) nouveau client alimenté en Haute Tension (Direction des Relations avec les Médias SONELGAZ, 2013).

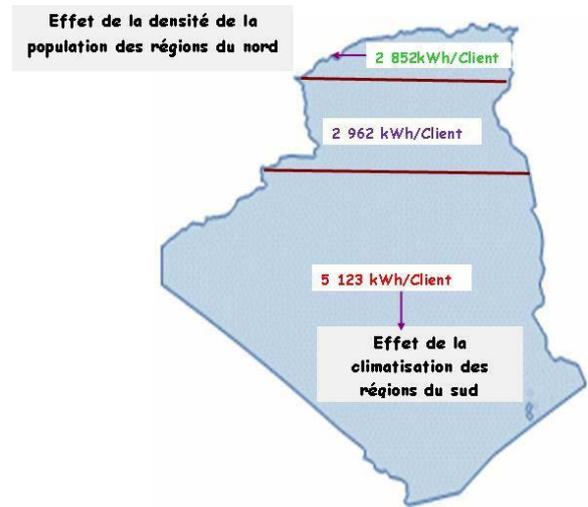


Figure 12. Consommation spécifique des clients BT (Direction des Relations avec les Médias SONELGAZ, 2013, p.12)

- Clientèle gaz

L'accroissement de la clientèle Gaz enregistré pour l'exercice 2012 est de 322 416 clients, en hausse de 28,7% par rapport à 2011, cette hausse est expliquée par l'augmentation importante de l'apport en clientèle basse pression. Cette clientèle est répartie sur le territoire national comme l'indique la figure 13.

L'accroissement de la clientèle alimentée en Basse Pression a été de 322 117 clients représentant une augmentation de 28,7% par rapport à 2011 induite essentiellement par la hausse de l'apport en clientèle RCN.

Les réalisations en matière d'accroissement de la clientèle Moyenne Pression sont au nombre de 295 nouveaux clients, en baisse de 3,3% par rapport à 2011 (305 clients).

Le nombre de clients HP en 2012 est de 4 contre 7 en 2011 (suite à la résiliation de 2 clients), soit en baisse de 42,9% par rapport à 2011. (Direction des Relations avec les Médias SONELGAZ, 2013).

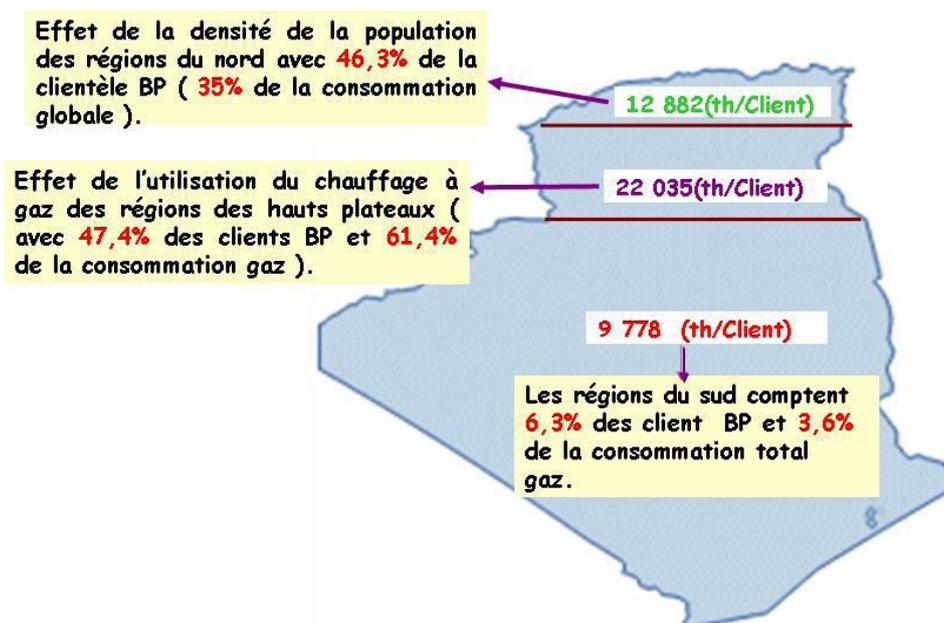


Figure 13. Consommation spécifique des clients BP (Direction des Relations avec les Médias SONELGAZ, 2013)

1-6-7) Prix de l'énergie en Algérie :

En raison du prix bas de l'énergie et d'un faible niveau de conscience, les moyens de baisser de manière significative la consommation énergétique ne sont pas encore exploités. Il faut donc sensibiliser les différents acteurs pour espérer obtenir un comportement intelligent dans l'utilisation des énergies.

Les prix de l'énergie pratiqués en Algérie sont jugés très bas. A titre d'exemple, le tarif de l'électricité appliqué au secteur résidentiel est de 4,179 DA/kWh (environ 4 centimes d'euros) pour la tranche la plus élevée (source Sonelgaz). Pour ce même secteur et pour la tranche la plus élevée, le tarif appliqué en Tunisie est de 15 centimes d'euros (source : Société Tunisienne de l'électricité et du Gaz – STEG), tandis qu'au Maroc, le tarif appliqué est de 13 centimes d'euros (source : Office National de l'Electricité et de l'Eau potable – ONEE). C'est le moins cher d'Afrique, même les pays moins développés paient le prix réel. Pour le gaz il est cédé à Sonelgaz au dixième du prix international 612 DA par millier de m³, soit environ 0,21 dollar le million de BTU contre un niveau moyen de 2,2 dollars mBTU. Les prix en Algérie sont bloqués depuis la Décision D/06-05/CD du 30 mai 2005). On le voit, en Algérie, l'électricité est vendue 4 à 5 fois moins cher que chez nos voisins (Chitour, 2012)

Les prix de l'énergie à la consommation dans toutes ses formes sont subventionnés par l'Etat. Ils sont fixés sur la base de critères socio-économiques. Les subventions sont indirectes, elles ne sont pas assurées à travers des transferts directs du budget de l'Etat mais par le biais d'une réduction appliquée sur les bénéfices des sociétés étatiques de production, i.e. NAFTEC pour

les combustibles et SONELGAZ pour l'électricité et le gaz. (Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency, 2010).

Selon Denker *et al.* (2014) ces prix subventionnés par l'Etat sont à l'origine de grands gaspillages. Pour les éviter (et les coupures d'électricité répétitive), de nombreux spécialistes plaident pour la pratique du juste prix de l'électricité. Selon eux, une augmentation des tarifs d'électricité de 2 dinars par kilowattheure permettrait un retour à l'équilibre.

1-7) La politique national de maitrise de l'énergie et son cadre réglementaire :

1-7-1) La politique national de maitrise de l'énergie :

Le gouvernement algérien a adopté une stratégie d'efficacité énergétique mais l'impact du programme d'EE sur la période s'étalant entre 2007 et 2011 est estimé à l'équivalent du report d'une centrale de 161 MW. La capacité installée de production électrique est de 8.5 GW limitant l'objectif d'économie à seulement 2% de l'appel de puissance de pointe. L'efficacité énergétique est régie par plusieurs lois.

Dans le prolongement de l'esprit de la loi sur la maîtrise de l'énergie, les lignes principales de la stratégie nationale pour la maîtrise de l'énergie ont été arrêtées en 2003. Celle-ci précise l'articulation du dispositif institutionnel destiné à assurer une mise en œuvre cohérente et une utilisation optimale des principaux instruments mis en place par les pouvoirs publics en faveur de la maîtrise de l'énergie, à savoir : L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) est l'institution nationale chargée de la promotion de la mise en œuvre des politiques en matière d'énergie. Cette agence, placée sous la tutelle du ministère de l'énergie et des mines, a été créée par décret présidentiel en 1985. C'est cette institution qui a élaboré le Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME). Ce dernier rassemble de nombreux projets, actions et mesures dans divers domaines. Les actions concernant l'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel sont : la réhabilitation thermique, les appartements à haute performance énergétique, l'eau chaude solaire, le refroidissement haut performance et l'éclairage haut performance. 80% des coûts liés à ces opérations seront fournis par le Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie (FNME). En plus du Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME), un organe consultatif placé à côté chargé de l'énergie du Ministère pour assurer l'animation politique de contrôle de l'énergie et la coordination (Voir figure 14).

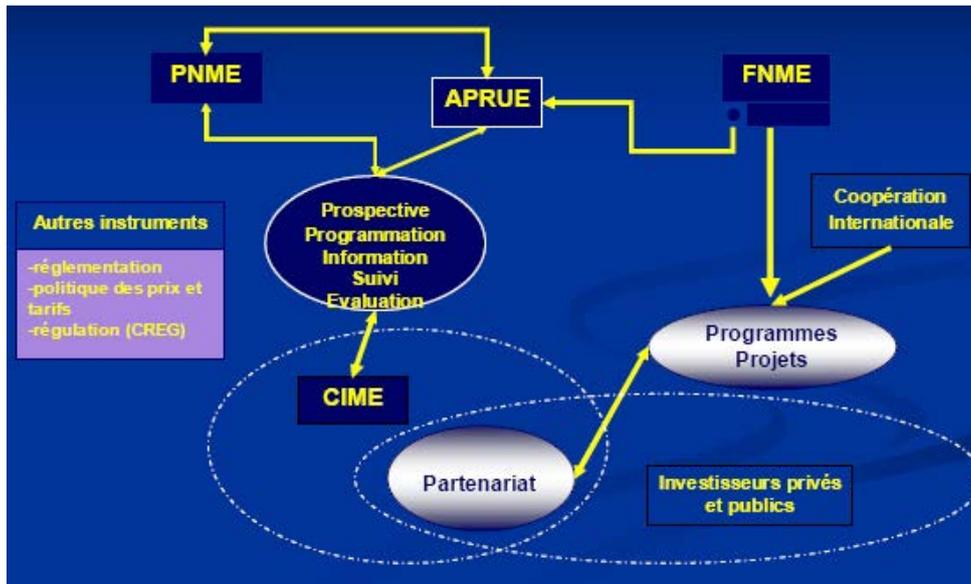


Figure 14. Le dispositif d'ensemble (Source : APRUE. 2005).

L'Algérie s'est fixée l'objectif de ramener la contribution des énergies renouvelables à 6% du total des approvisionnements en énergie primaire jusqu'à 2015 avec l'expérience de la filière solaire photovoltaïque pour 20 villages isolés du sud introduite par Sonelgaz. Cet objectif semble être une cible interne fixée par le ministère de l'énergie et des mines mais n'a jamais été adopté par le gouvernement en tant qu'objectif national. Certains projets existent et de petites incitations sont accordées pour l'établissement de dispositifs d'énergie renouvelable de petite taille. Le gouvernement algérien a même adopté une tarification incitative au profit des centrales solaires à concentration. Mais les tarifs sont très bas et n'arrivent pas à stimuler les investissements dans le domaine des énergies renouvelables (Norsk-Data-Str.1 & Döppersberg, 2010). Et pour répondre à la pénurie de logements, la politique des décideurs publics algériens a été axée sur les critères de construction, ayant comme priorités la rapidité et le faible coût, et aucune réflexion sur la conception des bâtiments est engagée. En témoigne l'inefficacité du mécanisme de contrôle et de sanctions et par là même la non application de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs qui devait prendre effet dès 2005 (Sénit, 2008).

1-7-2) Cadre réglementaire de maîtrise d'énergie dans les bâtiments résidentiels en Algérie :

L'Algérie a pris conscience très tôt de la nécessité de maîtriser et rationaliser l'utilisation de l'énergie. Déjà, au milieu des années 70, le passage à l'heure d'été, à l'instar des pays européens, devrait permettre une économie d'énergie, en diminuant notamment la consommation d'énergie liée à l'éclairage électrique. Cette décision politique était motivée à

l'époque par la nécessité de préserver les réserves stratégiques, en pétrole et en gaz, du pays dont l'économie dépendait et qui étaient source de financement des grands projets de développement lancés durant cette période (Denker *et al.*, 2014).

Les premières actions de recherches dans le domaine de l'habitat, en Algérie, ont été initiées, début 1980, dans les universités algériennes. Ces actions éparses, sans coordination, ni cadre réglementaire et avec peu de moyen, se sont limitées à la formation dans le domaine de l'architecture bioclimatique (Hamouda, 2006).

Durant la même période et dans le souci de mieux structurer sa politique énergétique, l'état a créé, en 1981, le Conseil national de l'énergie qui était chargé des réunir les données nécessaires à la définition de la politique nationale en matière d'énergie, de coordonner sa mise en œuvre et d'en contrôler l'exécution. Puis, en 1982, le Commissariat aux énergies nouvelles a été créé et avait pour mission de mettre en œuvre la politique nationale dans le domaine des énergies nouvelles notamment nucléaire, solaire, éolienne, géothermique et biomasse et ceci dans la perspective d'affranchir la dépendance des énergie fossiles (Denker *et al.*, 2014). Ensuite en 1985, le décret présidentiel n° 85-235 du 25 août 1985, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) qui est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines. Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique.

L'Algérie ayant adhéree aux différentes conventions comme les changements climatiques et la protection de l'environnement, dans le cadre du développement durable, se devait adapter sa législation au nouveau contexte international. Depuis, un ensemble de textes réglementaires, en rapport avec les économies d'énergie dans le bâtiment, ont été adopté (Hamouda et Malek., 2006).

Dans les années 1990, l'Algérie a développé plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite à une réflexion sur la consommation active et passive des logements neufs initiée en 1995, le Centre National de la Recherche de l'Industrie du Bâtiment (CNERIB) sous la tutelle du ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme a mené des travaux de recherches et a mis en place des Documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. C'est en 1999, avec la promulgation de la loi relative à la maîtrise de l'énergie et au vu des développements scientifiques nouveaux que la préoccupation environnementale est clairement affichée. Depuis, de nombreux textes (lois, décrets, arrêtés, documents techniques) ont été promulgués en faveur de l'économie de l'énergie et la diversification de ses sources,

relatifs au développement durable, au Fonds national pour la maîtrise de l'énergie, ou encore les textes relatifs à l'APRUE et les arrêtés ministériels portant approbation des documents techniques réglementaires pour le secteur de l'habitat (voir le tableau 3).

Tableau 3. Textes réglementaires (Source : Auteur d'après APRUE, 2010).

Textes relatifs à la maîtrise de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> * Loi n° 99- 09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'Energie ; * Décret exécutif n°2000-90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs ; * Décret exécutif n° 04-149 du 29 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 19 mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME); * Décret exécutif n° 05-16 de l'Aouel Dhou El Hidja 1425 correspondant au 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers ; * Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie ; * Arrêté interministériel du 5 Dhou El Kaada 1429 correspondant au 3 novembre 2008 fixant les appareils et les catégories d'appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n°69 du 07/12/2008 ; * Arrêté interministériel d'Aouel Dhou El Hidja 1429 correspondant au 29 novembre 2008 définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n°12 du 22/02/2009 ; * Arrêté interministériel d'Aouel Dhou El Hidja 1429 correspondant au 29 novembre 2008 définissant les dispositions générales relatives aux modalités d'organisation et d'exercice du contrôle d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n° 12/du 22/02/2009 ; * Arrêté du 25 safar 1430 correspondant au 21 février 2009 relatif à l'étiquetage des réfrigérateurs , des congélateurs et des appareils combinés à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n° 22 du 15/04/2009 ; * Arrêté du 25 safar 1430 correspondant au 21 février 2009 relatif à l'étiquetage énergétique des lampes domestiques soumises aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n°22 du 15/04/2009 ; * Arrêté du 25 safar 1430 correspondant au 21 février 2009 relatif à l'étiquetage énergétique des climatiseurs à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique, jo n° 22 du 15/04/2009 ; * Arrêté interministériel du 29 septembre 2010 portant sur les cahiers des charges
---	---

	<p>définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation ainsi que les modalités d'agrément des auditeurs.</p>
Textes relatifs au développement durable	<p>* Décret présidentiel n° 94-465 du 25 décembre 1994 portant création du Haut conseil de l'environnement et du développement durable et fixant ses attributions, son organisation et son fonctionnement ;</p> <p>* Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;</p> <p>* Décret exécutif n° 02-115 du 03 avril 2002 portant création de l'Observatoire national de l'environnement et du développement durable ;</p> <p>* Loi n° 03-10 du 14 août 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;</p> <p>* Loi n° 04-09 du 27 Jomada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 relative à la Promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable</p> <p>* Décret exécutif n° 15-69 du 21 Rabie Ethani 1436 correspondant au 11 février 2015 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats.</p>
Textes relatifs aux Fonds national pour la maîtrise de l'énergie	<p>* Article n° 64 de la loi de finances 2000 instituant la taxe sur les ventes des produits du secteur énergétique ;</p> <p>* Article n° 91 de la loi de finances 2000 portant création du compte d'affectation spéciale n°302-101 intitulé «Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie» et textes d'application ;</p> <p>* Décret exécutif n° 2000-116 du 25 Safar 1421 correspondant au 29 mai 2000 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie ;</p> <p>* Arrêté interministériel du 18 Jomada Ethania 1421 correspondant au 17 septembre 2000 déterminant la nomenclature des recettes et des dépenses imputables sur le compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé «Fonds national pour la maîtrise de l'énergie» ;</p> <p>* Arrêté interministériel du 18 Jomada Ethania 1421 correspondant au 17 septembre 2000 précisant les modalités du suivi et de l'évaluation du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé «Fonds national pour la maîtrise de l'énergie» ;</p> <p>* Arrêté interministériel du 29 Jomada El Oula 1426 correspondant au 6 juillet 2005 précisant les modalités du suivi et de l'évaluation du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé «Fonds national pour la maîtrise de l'énergie» .</p>
Textes relatifs à l'APRUE	<p>* Décret n° 87-08 du 6 janvier 1987 portant modification de la nature juridique et de l'organisation de l'Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (A.P.R.U.E.) ;</p> <p>* Décret exécutif n° 92-73 du 18 février 1992, modifiant et complétant le décret n° 87-08 du 6 janvier 1987 relatif à l'organisation de l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (A.P.R.U.E)</p> <p>* Décret exécutif n° 04-314 du 10 Chaâbane 1425 correspondant au 25 septembre 2004</p>

modifiant et complétant le décret n° 85-235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

Textes relatifs au ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme	<p>* Arrêté ministériel du 10 Décembre 1997 portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3-2 relatif aux règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation (fixant les méthodes de : détermination des déperditions calorifiques des bâtiments, vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique, dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments)</p> <p>* Arrêté ministériel du 18 Aout 1998 portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3-4 relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments, fascicule , climatisation (fixant les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments et la méthode de vérification de leur conformité à la réglementation thermique d'été) ;</p> <p>* Arrêté ministériel du 12 Avril 2006 portant approbation du document technique réglementaire le DTR.C3-31 du relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation (fixant les principes généraux qu'il y a lieu d'adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle, les méthodes de calcul permettant leur dimensionnement).</p>
--	--

1-7-3) Développement durable et marché public écologique :

L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment est en parfait accord avec les exigences du développement durable. En effet, avec les projets importants d'expansion du parc immobilier, l'introduction des techniques permettant de réduire la consommation énergétique est un levier pour le développement économique car créatrice de nouveaux marchés. C'est aussi un levier pour le développement social avec la création d'emplois, l'acquisition de nouvelles compétences et l'amélioration du confort du citoyen. Enfin, l'économie, de ressources fossiles et la réduction des émissions de gaz à effet de serre qui résultent de la baisse de la consommation d'énergie contribuent à la protection de l'environnement.

Il faut constater qu'à la date d'aujourd'hui, très peu de logements sur les dizaines de milliers nouvellement construits l'ont été dans le respect des mesures d'efficacité énergétique. En 2011, l'APRUE a lancé le programme ECO-BAT qui vise à construire 600 unités de logements en tant que projet-pilote pour sensibiliser le public sur les bâtiments éco-énergétiques et mobiliser les acteurs de l'industrie de la construction. En outre, la diversité des systèmes constructifs intégrant des matériaux d'isolation est très limitée et les prix (comme par exemple, celui du double vitrage) sont souvent élevés en raison d'une faible demande.

La part du gouvernement sur le marché de la construction (des marchés publics) est élevée en Algérie, les conséquences sur la fourniture de produits et services écologiques paraissent donc considérables. Il existe bien des normes de construction pour les marchés publics en place, cependant elles n'englobent pas les aspects énergétiques et de développement durable. Une solution consisterait à mettre en place un cadre juridique pour des marchés publics dits écologiques (MPE).

L'utilisation de spécifications écologiques, appliquées avec succès dans d'autres pays, est un moyen efficace pour développer le marché des produits durables et pour donner envie aux fournisseurs locaux d'investir ce marché.

On doit garder à l'esprit que les marchés publics écologiques peuvent favoriser l'élimination des fournisseurs locaux du marché algérien, s'ils ne sont pas suffisamment soutenus par des mesures d'aide pour améliorer leurs produits et services. De ce fait, il faut mettre en place un concept de marchés publics écologiques en Algérie allant de pair avec des mesures de renforcement des capacités des professionnels locaux.

Selon Denkers *et al.* (2014) les MPE pourraient être axés sur les points suivants :

- Spécifier des normes minimales de performances énergétique pour le bâtiment final à chaque phase de la procédure d'appel d'offres ;
- Octroi de points supplémentaires lors de l'attribution des marchés pour les projets dont les performances sont supérieures au minimum requis ;
- Préférence pour les conceptions qui intègrent les systèmes d'énergie renouvelable ;
- Restriction de l'utilisation de substances dangereuses ;
- Encouragement de l'utilisation de matériaux naturels d'origine durables et de matériaux recyclés et réutilisés ;
- Accorder de l'importance à la qualité de l'air ambiant et donc à la ventilation ;
- Prévoir des conditions contractuelles relatives à la gestion des déchets et des ressources et au transport des matériaux de construction ;
- Dans le cadre de marché, charger les contractants de contrôler la performance énergétique pendant plusieurs années après la construction, et de former les utilisateurs du bâtiment à une utilisation durable de l'énergie (Denker *et al.*, 2014).

1-7-4) Programme des énergies renouvelables en Algérie :

D'ici 2030, 37 % de la capacité installée et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable (<http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=34>). La consistance du programme en énergies

renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020. La répartition de ce programme par filière technologique, se présente, dans la figure 15, comme suit:

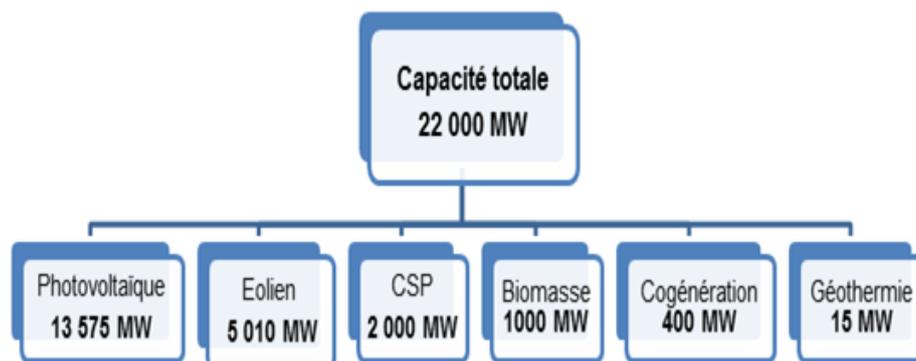


Figure 15. Programme 2015-2030 : Répartition des capacités à installer par filière
(Source : <http://www.creg.gov.dz/index.php/fr/split-menu/2014-03-09-10-13-30>).

Conformément à la réglementation en vigueur, la réalisation du programme est ouverte aux investisseurs du secteur public et privé nationaux et étrangers.

Les retombées de ce programme seront très significatives en termes de création d'emplois, d'industrialisation, de développement technologique et d'acquisition de savoir-faire, contribuant ainsi à la croissance et à la modernisation économique du pays ainsi qu'à la préservation de l'environnement.

Aussi et afin d'encourager et soutenir les industriels dans la réalisation de ce programme, il est prévu, entre autres, la réduction des droits de douane et de la TVA à l'importation pour les composants, matières premières et produits semi-finis utilisés dans la fabrication des équipements en Algérie, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (<http://www.creg.gov.dz/index.php/fr/split-menu/2014-03-09-10-13-30>).

Près de six ans après le lancement du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, adopté en février 2011 par le Gouvernement, il est apparu dans sa phase expérimentale et de veille technologique, des éléments nouveaux et pertinents sur la scène énergétique, aussi bien nationale qu'internationale, nécessitant la révision du programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Parmi ces éléments, il convient de citer :

- Une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables à travers les études engagées, lors de cette première phase, notamment les potentiels solaire et éolien;

- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer (maturité technologique, coûts compétitifs ...);

- Les coûts de la filière CSP (solaire thermique) qui restent élevés associés à une technologie non encore mature notamment en termes de stockage avec une croissance très lente du développement de son marché.

Ainsi, le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.

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

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4000 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 500 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoun et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

Le tableau suivant donne les capacités cumulées du programme EnR, par type et phase, sur la période 2015 - 2030 :

Tableau 4. Capacités cumulées du programme EnR en Algérie, par type et phase, sur la période 2015 – 2030 (Source : <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=34>). visité le 29/10/2015 à 13h48

	1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	TOTAL
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2 000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22000

1-8) Concept de la durabilité et son volet environnemental :

Au développement durable correspond une démarche politique globale dont la finalité est de concilier la croissance économique et le progrès social sans gaspiller et/ou dilapider les ressources non renouvelables et sans mettre en péril les équilibres écologiques au profit des générations futures. Croissance démographique, croissance économique et consommation d'énergie, ces trois axes structurent la problématique du développement « durable » ou « soutenable » à l'échelle urbaine.

Kibert (2005) a défini la construction durable comme la création et la gestion responsable d'un environnement bâti sain sur les principes écologiques et efficaces en matière de ressources.

L'architecture durable vise à minimiser l'impact environnemental négatif des bâtiments en améliorant l'efficacité et la modération dans l'utilisation des matériaux et de l'énergie. Un bâtiment économe en énergie équilibre tous les aspects de la consommation d'énergie dans un bâtiment. À savoir L'éclairage, le conditionnement de l'espace et la ventilation, en fournissant un mélange optimisé de stratégies de conception solaire passive, d'équipements éco-énergétiques, de sources d'énergie renouvelables, en plus de l'utilisation de matériaux à faible énergie incorporée. La conception appropriée des éléments de construction, comme le pare-soleil statique, le mur de cavité et le toit creux, peut réguler les besoins énergétiques dans les bâtiments dans les régions avec un été chaud et un hiver froid. Une protection supplémentaire contre le rayonnement solaire direct peut être obtenue par l'ombrage du mur avec des projections de briques optimales. En plus de cela, la ventilation peut être introduite dans la cavité de l'air du mur, selon les besoins saisonniers. La cavité d'air ventilée et la zone ombrée sur le mur en raison des projections de briques aideraient à réguler la température de l'air intérieur.

Tandis qu'Armstrong *et al.* (2005) voient qu'aucune société ne soit en équilibre ni en harmonie avec la nature, sauf que si son habitat soit durable. L'habitat durable doit assurer une meilleure qualité de vie, pas seulement pour l'instant, mais aussi pour les générations futures ; il doit combiner la protection de l'environnement, l'usage sensible des ressources naturelles, la croissance économique et le progrès social. Ils définissent l'habitat durable comme étant « l'habitat qui répond aux besoins perçus et réels du présent dans une mode de ressource efficiente au même moment qu'il doit fournir un voisinage attractif, sure, sain et riche écologiquement ». Et voient que la ressource efficiente ne veut pas dire « zéro impact », mais elle doit impliquer le contrat de Brundtland entre l'usage courant des ressources et la future demande. D'une autre manière, la définition accepte une responsabilité de créer un capital physique dans une forme d'habitat qui représente une ressource robuste à long terme et

flexible. Pour eux, la durabilité est un processus, et le développement durable est le produit. Ce processus doit, dans le domaine de l'habitat, adresser cinq domaines distincts :

- Préservation et économie des ressources naturelles ;
- Réutilisation sensible des ressources produite par l'homme ;
- Maintenance des écosystèmes et leurs potentiels régénératifs ;
- Equité entre les générations, les populations et les classes ;
- Fournitures de santé, de sureté et de sécurité (Armstrong *et al.*, 2005)

Ces auteurs placent, à travers les cinq points prioritaires de l'habitat durable, l'usage de l'énergie parmi les premiers cibles et objectifs. Qui veut dire que, la quantité d'énergie utilisée par ménage, par type de conception est le centre de n'importe quelle stratégie à fin de réduire les émissions de carbone. Et ils font référence aux accords internationaux enrichis au Sommet de la Terre de Rio en 1992 et consolidés par la conférence des Changements Climatiques de Kyoto en 1997 qui dépendent des cibles fermes d'énergie dans l'habitat.

1-9) Voie de la durabilité de l'énergie : le cas du bâtiment

Economie d'énergie et efficacité énergétique : Quelle différence ? Ces deux termes (économie d'énergie et efficacité énergétique) renferment un gisement d'économie d'importance et contribueraient sans nul doute à un développement durable. Tandis que, ces deux termes ont tendance à être utilisés de façon interchangeable. « Efficacité énergétique » signifie, techniquement une baisse de consommation d'énergie tout en gardant un niveau équivalent d'activité économique ou de service ; en revanche, « économie d'énergie » est une notion plus générale signifiant une réduction de consommation d'énergie, soit à travers des changements de comportement, soit par une baisse d'activité économique : une baisse du chauffage de la maison en hivers, une réduction de l'utilisation de la voiture sont des exemples d'économie d'énergie, sans amélioration d'efficacité énergétique au plan technique. Inversement, une amélioration de l'efficacité énergétique n'implique pas nécessairement une baisse de consommation d'énergie (Voir tableau 5).

Selon Ait Cherif (2016), un expert en économie d'énergie, l'objectif d'une politique d'efficacité énergétique n'est pas de réduire à tout prix la consommation d'énergie, mais plutôt d'améliorer le rendement énergétique. Autrement dit, la promotion de l'efficacité énergétique est nécessaire mais pas toujours suffisante si elle ne fait pas l'objet d'objectifs absolus en matière de réduction de la consommation d'énergie.

Tableau 5. Voie de la durabilité de l'énergie : le cas du bâtiment (Source : <http://fr.slideshare.net/GIP-GERRI/la-reunion-energie-durable-pour-les-batiments>).

	1 Autosuffisance/ sobriété énergétique	2 Efficacité énergétique	3 Energie renouvelables
Stratégie énergétique	Réduire les Besoins énergétiques	Réduire la Consommation d'énergie	Augmenter la part des énergies renouvelables
Instrument de politique	<ul style="list-style-type: none"> Politique d'utilisation du sol ; Codes du bâtiment de l'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> Etiquetage énergétique des bâtiments ; Normes des appareils et étiquetage. 	<ul style="list-style-type: none"> La facturation nette ; Tarif d'achat d'électricité renouvelable
Initiatives concrètes	<ul style="list-style-type: none"> Principes de conception bioclimatique ; Utilisation de solutions passives. 	Norme obligatoire et étiquetage pour : <ul style="list-style-type: none"> Rendement global du bâtiment ; Éléments de construction et d'équipement. 	Part obligatoire de l'approvisionnement à partir de sources d'énergie renouvelables

Afin de réduire la nécessité pour les services énergétique, on peut opter pour :

- des conceptions optimisées (à travers la planification du site, la forme, l'orientation, la fenestration et l'ombrage, la ventilation naturelle, le refroidissement passif, etc.) ; et/ou
- une meilleure mise en œuvre (par le choix des matériaux et la technologie, optimisation de l'isolation des murs et des toitures, le vitrage de haute performance).

Surmonter la perception générale de bâtiment économe en énergie étant très couteux, donc :

- Mettre d'avantage l'accent sur l'adoption de la science du bâtiment et moins de dépendance sur les technologies de construction à coût élevé
- Mieux comprendre la science expliquant la manière dont les bâtiments fonctionnent et éviter de hautes sophistications technologiques (voir figure 16).

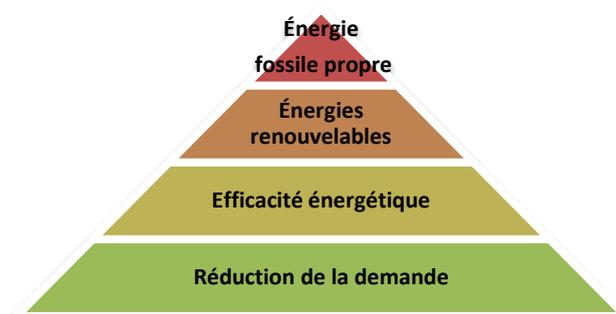


Figure 16. Le principal défi consiste à faire plus avec moins (Source : <http://fr.slideshare.net/GIP-GERRI/la-reunion-energie-durable-pour-les-batiments>).

1-10) Conclusion :

Ce premier chapitre a donné, tout d'abord, un aperçu sur la consommation énergétique mondiale et nationale. Puis, il a mis en exergue, le rôle du secteur résidentiel dans la consommation énergétique et la politique de la maîtrise d'énergie dans le bâtiment en Algérie. Il a démontré que le modèle de consommation énergétique en Algérie est insoutenable et que la rationalisation de la consommation d'énergie s'avère plus que jamais nécessaire dans les secteurs des ménages et du transport. Sa mise en œuvre requiert un nouveau modèle économique et énergétique basé sur :

- L'économie et l'efficacité énergétique ;
- L'application d'une réglementation technique ;
- La mise à niveau de nos équipements avec les standards internationaux ;
- La réorientation de la demande nationale d'énergie vers la consommation des produits énergétiques les plus disponibles localement et
- L'usage des énergies renouvelables.

Ce chapitre a démontré, également, que ce qui fait défaut en Algérie, ce ne sont pas le manque des textes de lois en matière de maîtrise de l'énergie ou les insuffisances des institutions en charge ; mais, la non application des textes en matière d'efficacité énergétique et des engagements par les instances concernées, corrélée au manque d'adhésion du citoyen, expliqué par l'absence de sensibilisation et au manque de mesures incitatives sont les obstacles qui bloquent la voie de la durabilité dans le secteur énergétique en Algérie.

L'optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments est donc urgente et doit prendre en compte des critères économiques, environnementaux et sociaux. Le chapitre suivant se concentrera sur la notion d'économie d'énergie à travers la réhabilitation thermique et énergétique dans le secteur du bâtiment résidentiel.

Chapitre 2 :
État de l'art sur
la réhabilitation thermique
des bâtiments résidentiels :
Techniques, méthodes et outils

L'ambition de ce chapitre est de décrire, dans un premier temps, la réhabilitation thermique et énergétique. Ensuite, une analyse bibliographique des différents travaux en relation avec les objectifs de la thèse est effectuée. Il s'agit d'établir un fond théorique sur la performance énergétique dans le bâtiment mettant en relation les techniques, les méthodes, les critères et les outils dédiés à l'évaluation et à la modélisation de la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ dans les parcs de logements.

2-1) La réhabilitation thermique :

2-1-1) Pourquoi réhabilité ?

Le choix de réhabilité un bâtiment est rarement liés à la seule amélioration de ses qualités énergétiques. Parallèlement à l'abaissement des coûts énergétiques, d'autres objectifs sont visés comme, par exemple, le traitement de désordres de construction (surtout l'humidité due aux ponts thermique et aux problèmes d'étanchéité), le remplacement de matériaux toxiques (peinture, amiante) ou la modernisation de l'équipement technique. L'adaptation aux nouvelles exigences et amélioration des conditions d'habitation et d'utilisation des bâtiments sont les conséquences les plus visibles d'une rénovation d'une telle envergure (Gonzalo et Habermann, 2006).

L'énergie est rarement le moteur de la réhabilitation et l'objectif est de faire en sorte qu'elle devienne une réelle préoccupation dans tous les projets de réhabilitation de logements. Par ailleurs, lorsqu'elle est l'objectif majeur, il convient de l'intégrer dans un ensemble de préoccupations. Dans ce sens, il faut promouvoir des démarches globales et intégrées de réhabilitation, lesquelles doivent prendre en compte les différentes techniques possibles et les contraintes sociales, d'une part, et intégrer simultanément les objectifs écologiques environnementaux et économiques, d'autre part.

2-1-2) Réhabilitation énergétiquement efficace :

a) Définition :

D'après Joffroy (1999), la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. En fait, elle ne concerne pas seulement le patrimoine historique connu, mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire méconnu, c'est-à-dire les bâtiments sans qualités auxquels il faudra en donner.

Dans cette définition, la réhabilitation thermique du bâtiment correspond donc à l'amélioration thermique de l'édifice notamment son enveloppe, car elle constitue un

échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur (Alexandroff et Alexandroff, 1982). Elle consiste en de légères modifications, comme l'ajout par exemple de l'isolation par l'extérieur, le changement des fenêtres... etc., ou lourdes telles que l'isolation par l'intérieur, le réaménagement du plan du logement, selon la trajectoire du soleil,... etc., ainsi que l'ajout d'une partie neuve comme une serre ou une véranda.

La réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti concerne :

Les parois opaques verticales et ce en renforçant l'isolation thermique, soit de l'intérieur ou de l'extérieur, selon les composants de la paroi et le style architectural de l'édifice pour ne pas défigurer la façade.

Les planchers : Il s'agit d'isoler les planchers bas, donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés, ainsi que le plancher terrasse.

Les fenêtres : Elles sont les plus vulnérables aux déperditions calorifiques. Leurs améliorations thermiques permettent des économies d'énergie de l'ordre de 10 à 15 %. Et cela par le remplacement des vitrages simples en vitrages isolants, et le redimensionnement des surfaces vitrées selon l'orientation et la zone climatique (Kadri et Mokhtari, 2011)

b) Avantage :

Selon Gonzalo et Habermann (2006) l'optimisation énergétique des bâtiments neufs est déterminante pour l'avenir car ceux-ci seront utilisés pendant des décennies. Si l'on observe cependant la situation actuelle, les principaux gisements d'économies d'énergie se trouvent dans la rénovation de l'ancien.

La rénovation énergétique d'un bâtiment fait baisser sa consommation d'énergie tout en prolongeant la durée d'utilisation. La dépense d'énergie pour sa construction et sa démolition finale peut être répartie sur une plus longue période. Enfin, une rénovation thermique améliore nettement le confort.

Les terrains constructibles sont de plus en plus rares en ville et l'extension des limites de celle-ci n'est pas souhaitable en raison des conséquences négatives bien connues (trajets domicile/lieu de travail, imperméabilisation des surfaces, infrastructures, etc.), de telle sorte qu'à l'avenir, la rénovation du tissu urbain est inévitable.

La rénovation thermique est la meilleure façon de recycler un bâtiment, dans la mesure où il est apte à être réutilisé. On évite alors les dépenses en énergie primaire pour la démolition et la reconstruction.

Au niveau de l'énergie et de l'économie, les objectifs à viser en ce qui concerne le bâti existant sont les suivant :

- Réhabilitation au lieu de construction nouvelle ;
- Prolongation du cycle de vie des matériaux par utilisation des bâtiments existants ;
- Economie de matériaux ; on évite de construire du neuf et d'imperméabiliser davantage des sols ;
- Amélioration thermique du bâti existant et donc réduction des émissions polluantes (Gonzalo et Habermann, 2006).

2-1-3) Conditions pour la réhabilitation :

Les critères essentiels pour la construction dans l'ancien résident dans sa capacité à être rénové et dans l'intérêt de cette opération. Lors de l'étude d'une réhabilitation, il importe pour chaque projet de lister les différents critères et de les pondérer. Outre l'état du bâti (situation urbanistique, la structure existante, l'aptitude du bâtiment à rénové, etc.), d'autres aspects sont à considérer au moment d'une réhabilitation pour en définir le bien-fondé :

- Rentabilité par rapport à une construction neuve ;
- Faisabilité fonctionnelle ;
- Considérations liées à la protection du patrimoine ;
- Aspects écologiques et énergétique.

Ces deux derniers aspects sont évalués tout d'abord en fonction des économies potentielles d'énergie et de ressources.

Il existe certes pour différentes époques un certain nombre de caractéristiques constructives pour lesquelles on a mis au point des solutions éprouvées ; néanmoins il n'existe pas de règles générales. L'isolation de l'enveloppe du bâtiment, le remplacement des fenêtres et la modernisation du système de chauffage sont souvent les premières mesures à prendre. Seul un état énergétique des lieux permettra de fixer les priorités.

La portée d'une réhabilitation ne peut s'apprécier de façon globale. Les mesures et le potentiel d'économies d'énergie doivent plutôt se baser sur une analyse de l'état des lieux. Différentes solutions constructives et techniques sont envisageables en fonction des éléments apportés par le bilan énergétique.

2-1-4) Principes de la réhabilitation énergétique :

D'après Charlot-Valdieu et Outrequin (2011), toute réhabilitation ou rénovation énergétique devrait s'appuyer simultanément sur les principes suivant :

- La sobriété énergétique, qui consiste à supprimer les gaspillages et les besoins superflus par une meilleure gestion de l'énergie et des gestes verts ;

- La prise en compte du confort et de la santé des usagers, notamment par le renouvellement de l'air et la recherche du confort thermique (d'hiver et d'été) ;
- L'efficacité énergétique, qui permet de réduire les consommations d'énergie pour un usage de l'enveloppe mais aussi en ce qui concerne les générateurs de chaleur ;
- Le recours aux énergies renouvelables, qui répondent à nos besoins énergétiques avec un faible impact sur notre environnement et une gestion décentralisée.

2-2) Performance énergétique d'un bâtiment :

C'est la quantité d'énergie consommée (ou estimée) pour répondre aux besoins de bon fonctionnement et de confort d'un bâtiment. Les performances d'un bâtiment portent sur ses relations au site d'implantation, les espaces et leurs ambiances (thermique, acoustique, éclairage, etc.), à la protection contre les intempéries et les catastrophes naturelles, aux relations et activité humaine induites, à la protection des biens et outils, à son sens dans la société. Le calcul de la performance énergétique porte principalement sur les performances de chauffage, d'éclairage, d'eau chaude sanitaire, de systèmes de refroidissement, de ventilation et d'alimentation des moteurs.

Une architecture énergétiquement efficace selon Gonzalo et Habermann (2006) suppose un bon équilibre entre les mesures en faveur des économies d'énergie et celles mise en œuvre pour la produire. Les premières concernent surtout la compacité et une bonne enveloppe isolante alors que l'utilisation passive de l'énergie solaire relève des secondes. En matière de conception, ce sont surtout les proportions d'un bâtiment et son orientation qui sont concernées.

La performance énergétique d'un bâtiment se réfère au processus de modélisation de transfert d'énergie entre un bâtiment et ses alentours. Pour un bâtiment conditionné, il estime les chargements de chauffage et de refroidissement et de là, le dimensionnement et la sélection des équipements de CVC peuvent être correctement faite. Pour un bâtiment non conditionné, il calcule la variation de température à l'intérieur du bâtiment en plus du temps spécifié et aide quelqu'un à estimer la durée des périodes d'inconfort. Ces quantifications permettent à quelqu'un de déterminer l'efficacité de la conception du bâtiment et aide à développer les conceptions améliorées pour réaliser des bâtiments efficaces en énergie avec des conditions intérieures confortables. Le manque d'une quantification appropriée/correcte/adéquate/convenable/juste/pertinente est des raisons pourquoi l'architecture passive solaire n'est pas populaire parmi/entre les architectes.

La performance énergétique et thermique d'un bâtiment dépend d'un grand nombre de facteurs. Ils peuvent être résumé comme (i) les variables de conception (dimensions géométriques des éléments du bâtiment comme les murs, le toit et les fenêtres, l'orientation, les dispositifs d'ombrage, etc.); (ii) les propriétés des matériaux (densité, chaleur massique/spécifique, conductivité thermique, transmissivité, etc.); (iii) les données climatiques (radiation solaire, température ambiante, vitesse du vent, humidité, etc.) and (iv) les données d'usage du bâtiment (les apports internes dus aux occupants, l'éclairage et l'équipement, le renouvellement d'air, etc.) (Ministry of New and Renewable Energy, 2013). Un bâtiment performant en énergie est celui qui consomme peu avec un confort et un usage équivalent et qui fonctionne en utilisant des systèmes adaptés et optimisés efficient en énergie (R. Gonzalo & K. J. Habermann, 2006).

2-3) Techniques de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel :

Au cours des dernières années, plusieurs études à travers le monde ont été faites ayant l'objectif de caractériser le parc immobilier et d'évaluer son potentiel d'économies d'énergie. D'après Swan et Ugursal (2009), les principales techniques utilisées pour modéliser l'usage de l'énergie domestique peuvent être regroupées en deux grandes catégories: top-down et bottom-up (Voir figures 17). Chaque technique repose sur un type d'entrée d'information ; la distinction entre les deux approches s'opérait en fonction de l'utilisation des données et selon le niveau hiérarchique du secteur dans son ensemble. Cependant, ces deux techniques peuvent être combinées dans certains cas, notamment pour les modèles réputés les plus « sophistiqués» (Ouahab, 2015).

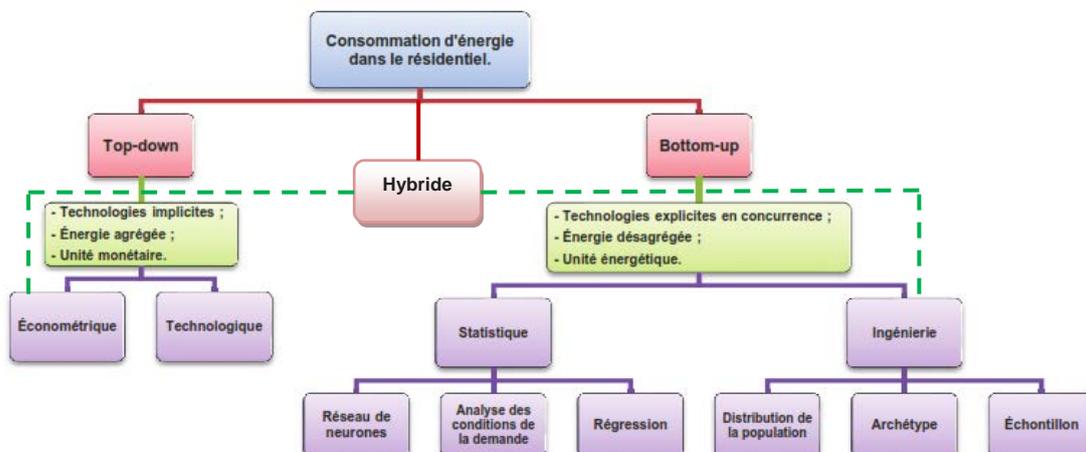


Figure 17. Techniques de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel (Source : Lukas G. Swan et Ugursal (2009) adaptées par Ouahab (2015) et modifiées par l'Auteur (2018).

2-3-1) Modèles *top-down* ou économiques (approche descendante):

Les modèles descendants ont subi un développement important au cours de la crise énergétique des années 1970 (Ortiz *et al.*, 2016). Le principal objectif de cet effort de recherche était de mieux comprendre le comportement des consommateurs à l'évolution de l'offre et les prix. Ces modèles analysent le secteur résidentiel dans son ensemble et leur objectif était de déterminer et d'analyser les tendances du secteur. La force des modèles *top-down* c'est qu'ils ne nécessitent pas de données d'entrée très détaillées pour travailler. Il utilise les valeurs historiques de l'énergie globale et régresse la consommation d'énergie du parc immobilier en fonction de variables de haut niveau telles que les indicateurs macroéconomiques (par exemple, le produit intérieur brut, le chômage et l'inflation), le prix de l'énergie et le climat general (Swan et Ugursal, 2009).

2-3-2) Modèles *bottom-up* ou technologiques :

Tandis que, l'approche en profondeur *bottom-up* va au-delà des limites du *top-down*, ce qui représente en détail les maisons individuelles et les usages d'énergie finale. Après cela, les résultats du modèle peuvent être extrapolés pour représenter une région ou une nation, selon le niveau de détail des entrées et se compose de deux méthodes distinctes: la méthode statistique et la méthode d'ingénierie basée sur la physique du bâtiment. Chaque technique repose sur différents niveaux d'information, différentes techniques de calcul ou de simulation et fournit des résultats avec une applicabilité différente (*Ibid.*, 2009). Cela signifie qu'à partir d'un tel paramétrage du type de valeurs d'entrée et de la conception de la structure du modèle, on peut définir la technique qui correspond au modèle *bottom-up* (Ouahab, 2015).

a) Technique statistiques :

La méthode statistique est basée essentiellement sur les données historiques pour identifier la relation entre la demande en énergie finale et la production. De nombreux chercheurs appliquent cette méthode pour évaluer la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel. Cette technique s'appuie, pour construire ses bases de données, sur les informations fournies par les facturations énergétiques des clients (*Ibid.*, 2015). Les chercheurs ont développé plusieurs méthodes pour estimer les consommations d'énergie. On peut citer :

- ✓ L'analyse de régression est utilisée pour déterminer les coefficients correspondant à chaque paramètre d'entrée des données dans le modèle.
- ✓ La technique d'analyse des conditions de la demande, selon Swan et Ugursal (*Op.cit.*, 2009), évalue la consommation d'énergie finale des différents appareils dans un logement. La régression de la consommation d'énergie finale totale d'un logement sur

la liste des appareils (qui sont indiqués comme une variable) détermine ainsi le coefficient relatif à la consommation d'énergie. Ce dernier représente simultanément le niveau et le taux d'utilisation. L'utilisation de cette technique nécessite une enquête de recueil de données sur les appareils utilisés par l'occupant et les factures du fournisseur d'énergie. Cependant, pour produire des résultats fiables en fonction des nombreuses variables, il est nécessaire de traiter les données de plusieurs logements. C'est cette technique qui nous semble être utile pour la création de la base de donnée dans le chapitre quatre.

- ✓ La technique « *Neural Network* » (NN) ou technique du réseau de neurones artificiels est un modèle de calcul dont la conception est très schématiquement inspirée du fonctionnement des neurones biologiques. Elle repose sur des modèles mathématiques de réseaux de neurones.

b) Approche par ingénierie ou par caractéristiques physiques du bâtiment

Cette méthode détermine explicitement l'utilisation finale de l'énergie. Elle se base généralement sur les caractéristiques physiques du bâtiment pour estimer les consommations énergétiques. Cette approche de modélisation utilise des méthodes de calcul énergétique pour calculer la consommation d'énergie d'un échantillon de logements, représentant le parc de logements, qui sera ensuite extrapolée pour estimer la consommation totale d'énergie du parc dans son ensemble. À l'inverse de nombreuses autres approches de modélisation, l'approche par l'ingénierie peut estimer pleinement la consommation d'énergie sans aucune information quant à l'historique de la consommation d'énergie.

Wilson et Swisher (1993) soulignent que la combinaison de la physique du bâtiment et des données empiriques des enquêtes sur le logement, ainsi que des hypothèses sur l'exploitation des bâtiments, donnent aux modélisateurs des outils pour estimer la consommation d'énergie dans les habitations passées, présentes et futures. Ce qui permet d'identifier les mesures technologiques à l'aide divers scénarios, les modèles *bottom-up* et fournir aux décideurs des estimations sur l'efficacité des politiques énergétiques.

En revanche, Ouahab (2015) souligne la principale limite de la méthode d'ingénierie, qui est celle du manque de transparence dans la quantification de l'impact des facteurs comportementaux des occupants sur la consommation d'énergie (par exemple : l'impact issu du changement du facteur démographique, à savoir l'âge de la population, sur l'évaluation des apports calorifiques induits par les occupants afin d'estimer les besoins en termes de chauffage). De plus, ce type d'approche nécessite un certain nombre de données détaillées et précises, démographiques ou technologiques, concernant le parc, qui s'avèrent parfois difficiles à recueillir (car non accessibles au public), ce

qui constitue donc un véritable obstacle à la réalisation de cette méthode de modélisation. Précisons en outre que cette méthode fournit des résultats basés sur des calculs théoriques.

Dans le domaine de la modélisation énergétique à l'échelle macroscopique, la technique de l'archétype est utilisée pour structurer l'organisation du parc de logements selon : la taille du parc, la typologie de logements, la surface habitable, etc. Swan et Ugursal (2009) définissent comme un archétype chaque catégorie principale de logement dont on utilise les descriptions comme des données d'entrée pour la modélisation d'énergie. Ainsi, l'estimation de la consommation d'énergie des archétypes représentatifs du parc de logements régional ou national est extrapolée en multipliant la consommation unitaire par le nombre de logements correspondants.

La construction de typologies peut être un instrument utile pour faciliter l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment et peut être utilisée dans les analyses des stratégies politiques pour la planification de l'amélioration future de la performance énergétique des bâtiments résidentiels. L'archétype ou la typologie des bâtiments est un génie de l'approche bottom-up et il est défini comme un échantillon de bâtiment représentatif des bâtiments réels. Comme le parc immobilier d'un pays se compose de bâtiments avec des caractéristiques différentes, plusieurs typologies de construction sont nécessaires afin d'en tirer les caractéristiques thermiques du parc immobilier (Ortiz *et al.*, 2016). Parekh (2005) propose trois critères de base des archétypes:

- Configurations géométriques: ces configurations comprennent la disposition en plan du bâtiment, le volume et l'orientation;
- Caractéristiques thermiques: elles comprennent les données d'enveloppe du bâtiment (UBât), les systèmes de chauffage et d'eau chaude, l'étanchéité à l'eau et les systèmes de ventilation;
- Paramètres de fonctionnement: ils concernent les charges de consommation de base (éclairage, appareils) et les données de température intérieure.

Au cours des dernières années, plusieurs études ont appliqué cette méthode pour estimer la consommation d'énergie d'un parc immobilier urbain, régional ou national.

Le Projet TABULA (2012) a développé des typologies nationales de bâtiment représentant le parc immobilier résidentiel de plusieurs pays européens (Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, République tchèque, Allemagne, Danemark, Espagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Serbie, Suède et la Slovaquie). Le projet a fait une classification des bâtiments résidentiels existants selon l'âge, la taille et d'autres paramètres, et comprend un ensemble d'exemples de construction pour représenter des types spécifiques de bâtiment du stock national. La consommation d'énergie typique et les économies d'énergie possibles ont été données pour les exemples de bâtiments. Le projet

TABULA représente l'une des premières initiatives visant à créer une base de données européenne pour collecter des informations relatives au parc immobilier existant.

Basé sur le travail développé dans le projet TABULA, Dascalaki *et al.* (2011) utilisé les typologies de construction comme une vitrine pour démontrer la performance énergétique et le potentiel des économies d'énergie du point de vue mesures d'économie d'énergie typiques et avancées sur l'enveloppe thermique et le système d'alimentation de chaleur. L'étude a été axée sur le bâtiment résidentiel de la Grèce.

Mata *et al.* (2014) décrit une méthodologie de description systématique du parc immobilier des pays européens basé sur les bâtiments archétypes. Ils ont analysé le parc immobilier de quatre pays (France, Allemagne, Espagne et Royaume-Uni) afin d'estimer la consommation d'énergie du secteur du bâtiment en utilisant l'énergie du modèle, le carbone et l'évaluation de coût des stocks de bâtiment (ECCABS) (Mata *et al.*, 2013). La méthode permet l'évaluation des effets des mesures d'efficacité énergétique dans les stocks de bâtiment. Le modèle est basé sur le bilan énergétique d'un bâtiment unidimensionnel (développé avec Simulink), qui donne la demande d'énergie horaire nette. Le modèle est mis en œuvre afin que les résultats puissent être extrapolés à un parc immobilier.

Cuchi et Sweatman (2011) ont évalué le parc immobilier résidentiel de l'Espagne en identifiant les points chauds pour la rénovation énergétique. Les points chauds ont été définis suivant 4 critères: l'âge du bâtiment, la hauteur du bâtiment, l'environnement urbain des maisons, les unités unifamiliales et les immeubles multi-unités. Ils ont obtenu 10 points chauds qui représentent 76% du parc immobilier de l'Espagne. Ils ont proposé un plan d'action ambitieux pour la rénovation profonde du secteur de bâtiment, y compris les actions politiques, réglementaires et financières.

Ivancic *et al.* (2014) ont développé différents outils pour mener à bien l'analyse du bilan énergétique, l'évaluation des futurs scénarios et l'optimisation du bénéfice des coûts de la ville de Barcelone. L'ensemble d'outils a été très utile dans le processus de prise de décision à des fins de planification communautaire. Une quantité importante des données a été liée à la base de données de la ville en utilisant un système d'information géographique (SIG). Les mêmes données sont introduites dans un simulateur de bilan énergétique et environnemental de la ville pour calculer les bilans d'énergie et des émissions totaux et sectoriels pour différentes situations, comme l'année de base, ou pour différents scénarios. Le simulateur du bilan a été calibré pour l'année de base, en tenant compte les données réelles d'usage fournies par les services publics.

Garrido *et al.* (2010,2012) ont étendu le travail effectué par Ivancic *et al.* (2014) et font une caractérisation détaillée du parc immobilier résidentiel de la Catalogne. Ils définissent 11 typologies de bâtiment conformément aux événements historiques, aux codes réglementaires de bâtiment et l'emplacement des bâtiments (l'environnement urbain et rural). Ils ont obtenu la consommation d'énergie des typologies de bâtiment en utilisant les programmes de Lider et de Calener. L'objectif était d'estimer et étalonner la consommation d'énergie du secteur résidentiel en Catalogne. Afin de comparer la situation actuelle avec deux autres scénarios, la réglementation nationale et de la réglementation régionale, évaluant les économies d'énergie et les impacts économiques.

Le Projet InnoCons (2012) analysé la typologie des bâtiments les plus représentatifs de la Catalogne, pré-défini dans Garrido *et al.* (2012). Dans ce cas, l'objectif était d'évaluer plus profondément les options de rénovation de cette typologie de bâtiment. Dans ce cas, la simulation de construction a été faite avec EnergyPlus.

Manyes *et al.* (2013) ont appliqué une méthode similaire pour développer une caractérisation de bâtiment, avec la différence que la portée de l'étude était un bloc de niveau du bâtiment plutôt que d'un niveau régional. La portée de l'étude était de fournir une estimation des économies énergétique et économique entraînées dans une intervention à l'échelle du bloc, plutôt que dans un niveau du bâtiment. L'étude se concentre dans le voisinage de Santa Coloma de Gramenet (Barcelona). Une caractérisation plus précise des systèmes de chauffage et de rafraîchissement, l'éclairage et les appareils, et leur usage sont introduits dans la simulation du bâtiment, y compris des concepts tels que la fraction de la demande d'énergie fournie et la précarité énergétique.

Belpoliti et Bizzarri (2015) ont utilisé la méthode d'évaluation paramétrique en termes des avantages de l'évaluation environnementale et énergétique, dérivé à partir des actions de rénovation planifiées, pour assister les techniciens dans les priorités des tentatives d'interventions. En analysant la méthode qualitative, un protocole de calcul paramétrique simplifié a été créé pour effectuer un audit préliminaire et une simulation de rénovation énergétique de tout le stock d'habitat social de la région Emilie-Romagne (Italie) en termes de leurs enveloppes et leurs caractéristiques de système de chauffage. Les facteurs technologiques de base (technique de construction et type de système de chauffage) ont été trouvés liés à l'âge du bâtiment (relatif au développement dans la construction et le niveau d'isolation), et à l'âge et le type de système de chauffage (lié à la diminution du potentiel d'efficacité des dispositifs).

2-3-3) Modèles hybrides

Les avantages méthodologiques offerts par le modèle *bottom-up* (prise en compte de l'approche technologique) et les mécanismes économiques offerts par le modèle *top-down* offrent un large éventail de modèles hybrides. En général, la principale divergence entre les deux réside dans la mise en valeur des détails techniques du système énergétique vis-à-vis de l'exhaustivité des ajustements endogènes du système économique (Ouahab, 2015).

L'étude de Böhringer et Rutherford (2008) avait un objectif principal pédagogique. Les auteurs ont présenté d'abord les caractéristiques de complémentarité de l'équilibre économique et ont montré comment on peut intégrer l'analyse de l'activité ascendante dans une représentation descendante de l'économie dans son ensemble. Et ont résumé en trois catégories les efforts induits par les modèles hybrides :

- ✓ L'approche de modélisation hybride peut lier un modèle *top-down* et un modèle *bottom-up* développés indépendamment. Selon ces auteurs, cette technique de liaison a été adoptée depuis les années soixante-dix.
- ✓ Cette approche combine les deux approches, mais offre la possibilité de se focaliser sur un modèle *top-down* ou *bottom-up*, en utilisant une représentation réduite de l'autre modèle.
- ✓ L'approche hybride peut fournir un modèle totalement intégré, basé sur le développement d'algorithmes pour résoudre les problèmes communs ciblés par les deux modèles *top-down* et *bottom-up*.

Ces auteurs soulignent l'importance de cette approche dans l'analyse de l'activité basée sur la technologie, afin d'évaluer les changements structurels induits par les politiques à l'échelle sectorielle.

La figure 18 nous présente les familles et les approches de modélisation d'après l'AIE (1998).

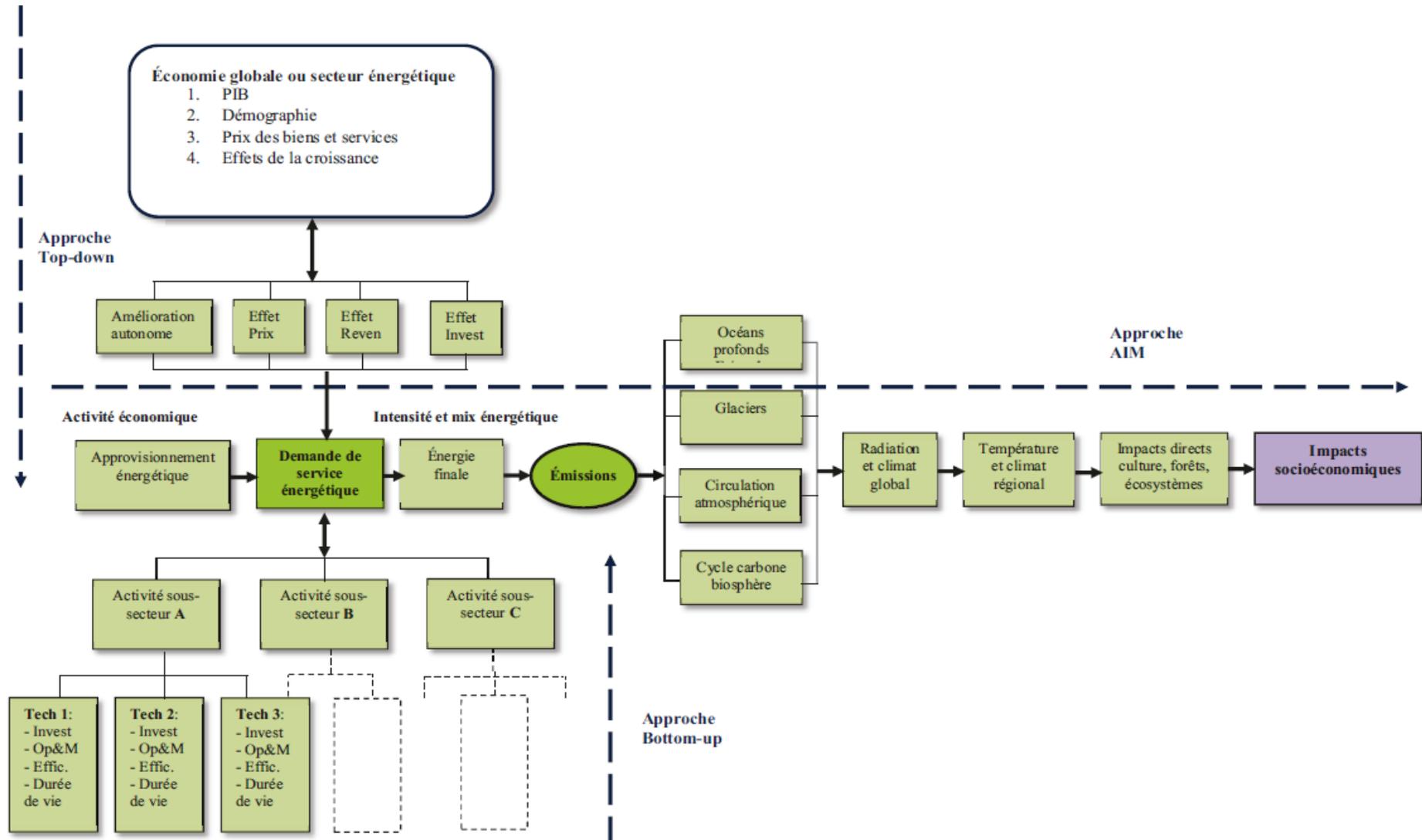


Figure 18. Familles et approches de modélisation d'après l'AIE(1998) ; Parson et Fisher-Vanden (1997) adaptée par Ouahab (2015)

2-4) Critères d'évaluations de la performance énergétique des bâtiments résidentiels :

Dans l'état d'art, l'évaluation durable des mesures d'efficacité énergétique (MEE) des bâtiments résidentiels n'est généralement pas exécutée en utilisant un seul critère, mais plutôt en composant divers critères (Mikučionienė *et al.*, 2014; Seddiki *et al.*, 2016). La sélection des critères dépend de l'objectif de l'analyse.

2-4-1) Critère d'efficacité énergétique « *Energy Efficiency* » (2E) :

Le plus populaire parmi eux est le potentiel d'économie d'énergie (Yu *et al.*, 2008; Sun, 2013). Connue dans la littérature sous le vocable « *2E criteria* ». Pour déterminer ce potentiel, trois méthodes sont dans la littérature : 1) L'évaluation macroscopique ; 2) L'évaluation détaillée par une analyse énergétique ; 3) L'étude de «recommissioning» (Chalifour *et al.*, 2010). Pour un bâtiment en phase d'exploitation, l'intensité des besoins de chauffage et/ou de rafraîchissement ou l'indice énergétique, exprimée en énergie utile ou primaire¹ (EP) par unité de surface (kWh-équivalents/m²-an ou GJ/m²-an), constitue un indicateur pertinent de ses performances thermiques, notamment de son enveloppe (Djelloul *et al.*, 2013). La consommation énergétique d'un bâtiment dépend non seulement des performances thermiques du bâtiment (isolation, compacité, apports solaires passifs, etc.) mais aussi de la consigne de température souhaitée par les habitants. En effet, une hausse de température de consigne de 1°C peut engendrer, selon les bâtiments, une augmentation de la consommation d'énergie de 6 % à 20 %. Cette définition n'est pas unique. Selon les pays, les usages peuvent varier. En particulier, la surface de référence retenue au dénominateur qui peut tenir compte ou non de l'épaisseur des murs, exclure ou non les pièces techniques (cages d'ascenseur, chaufferie), exclure une partie de l'espace au sol selon la hauteur du plafond, etc. D'autre part, le numérateur peut inclure, outre les consommations de chauffage, les consommations de climatisation, les consommations électriques etc. Il peut aussi ne représenter que les *besoins* de chauffage, c'est-à-dire sans tenir compte de la performance de l'équipement de chauffage effectivement mis en œuvre.

¹ L'énergie primaire est la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique, etc. Parler en kWh d'énergie primaire permet de mettre les différentes sources d'énergie sur le même pied d'égalité, en prenant en compte toutes les transformations nécessaires avant livraison au consommateur final. On utilisera ainsi les facteurs de conversion suivants, conformément à la réglementation PEB : Combustibles fossiles : $f_p = 1$; électricité : $f_p = 2,5$; électricité autoproduite par cogénération à haut rendement $f_p = 1,8$; biomasse : $f_p = 1$; gaz naturel = 1 ; électricité = 2.5. La consommation en énergie primaire est ainsi définie par : $E_p = f_p \cdot Q_{\text{final}}$ avec Q_{final} = consommation finale en énergie (www.energyplus.be).

2-4-2) Impact environnemental « *Environmental Impact* » (EI) :

Le critère d'efficacité énergétique est souvent utilisé simultanément avec l'impact environnemental (Mikučionienė *et al.*, 2014). Ce critère est la masse de gaz à effet de serre susceptible d'être émise pendant une année (m_{CO_2}) exprimée en kg équivalent CO_2 /an rapportée à la surface totale des planchers en m^2 . Belpoliti & Bizzarri (2015) ont utilisé la méthode d'évaluation paramétrique en termes des avantages de l'évaluation environnementale et énergétique, dérivé à partir des actions de rénovation planifiées, pour assister les techniciens dans les priorités des tentatives d'interventions. En analysant la méthode qualitative, un protocole de calcul paramétrique simplifié a été créé pour effectuer un audit préliminaire et une simulation de rénovation énergétique de tout le stock d'habitat social de la région Emilie-Romagne (Italie) en termes de leurs enveloppes et leurs caractéristiques de système de chauffage.

2-4-3) Rationalité économique « *Economical Rationality* » (ER) :

Ce critère utilisé comme « *3E evaluation* » est le plus utilisée dans les études (Mikučionienė *et al.*, 2014). Shen et Sun (2016) notent qu'il existe une connexion inversée en forme de "U" entre les émissions de carbone, la consommation d'énergie et le développement économique (Shen et Sun, 2016). Tommerup et Svendsen (2006) ont donné un bref compte rendu des possibilités techniques d'économie d'énergie présentes dans les logements existants et ont présenté une méthodologie financière utilisée pour évaluer les mesures d'économie d'énergie. Afin d'estimer le potentiel d'épargne total, des calculs détaillés ont été réalisés dans un cas avec deux bâtiments typiques représentant le stock de maisons résidentielles danoises et sur la base de ces calculs, une évaluation du potentiel d'économie d'énergie est effectuée. Hamdy *et al.* (2011) ont proposé une approche d'optimisation multi objectifs modifiée basée sur l'algorithme génétique et combinée avec le logiciel IDA ICE. La combinaison est utilisée pour minimiser l'impact environnemental et le coût d'investissement pour deux niveaux de bâtiment et leurs systèmes CVC. Source d'énergie de chauffage/rafraichissement, type de récupérateur sur air vicié, et les paramètres de six enveloppes sont considérés comme variables de conception. Ouyang *et al.* (2011) Ont développé une méthode démontrée par un cas d'étude. Un plan approprié de rénovation efficace en énergie a été proposé en intégrant

² Les émissions sont calculées selon la formule : $m_{CO_2} = \sum(E_{i,hiver} \times fe_{i,hiver}) + \sum(E_{i,été} \times fe_{i,été})$ où : E_i : est la quantité d'énergie, exprimée en kWh/an, demandée à partir de la source « i » d'énergie ; fe : est le facteur d'émission de CO_2 , exprimé en kg équivalent CO_2 par kWh lié à l'utilisation d'une source « i » d'énergie. La quantité de CO_2 émise dépend non seulement de la quantité d'énergie demandée mais aussi de la nature de la source d'énergie utilisée (Denker *et al.*, 2014).

toutes les mesures d'économie d'énergie efficaces et disponibles sur le bâtiment assujetti. Et leurs effets sur la réduction de la consommation d'énergie, les émissions CO₂ et leurs coûts en Chine sont évalués fidèlement. Popescu *et al.* (2012) ont appliqué des méthodes qui quantifient la valeur ajoutée en raison de la performance énergétique, y compris des recommandations sur la façon dont elles peuvent être incorporées dans l'analyse financière des investissements dans les conditions météorologiques. Des études de cas sur certains condominiums existants de Roumanie sont analysées et fournissent des preuves à la question de recherche. Arumägi et Kalamees (2014) ont analysé la consommation d'énergie et son potentiel d'économie en se basant sur le domaine des mesures, les simulations numériques et les calculs économiques. Le bouquet de rénovation était compilé en utilisant différentes mesures d'isolation, des solutions CVC et des sources d'énergie.

Les trois méthodes les plus courantes pour établir la rentabilité des investissements sont :

a) La PRI simple (période de retour sur l'investissement) :

Cette méthode convient généralement pour des investissements qui comportent des PRI de moins de 5 ans. Le plus souvent, elle ne tient compte que des investissements et des économies annuelles. Les coûts d'entretien, la vie utile des équipements, l'augmentation des prix de l'énergie et le mode de financement de l'investissement ne sont pas considérés.

$$\text{PRI simple} = \frac{\text{Investissement initial}}{\text{Économies annuelles}} = \text{Nombre d'années de récupération}$$

b) La VAN (valeur actuelle nette) :

La VAN permet d'établir le bénéfice net que produit l'investissement en efficacité énergétique sur une période de temps établie par le propriétaire. Cette période est généralement de 15 ou de 20 ans.

Cette méthode d'évaluation s'impose lorsque les investissements ont des PRI simples de plus de 5 ans. Elle permet de tenir compte de tous les facteurs financiers associés au projet :

- Les coûts additionnels ou les économies de maintenance ;
- Les intérêts applicables sur le financement des investissements ;
- Le taux de rendement exigé par le propriétaire sur son investissement ;
- Un taux d'inflation sur les prix de l'énergie et les coûts de la main d'œuvre ;
- L'impact fiscal sur l'impôt des sociétés, dont les amortissements accélérés autorisés pour certains types d'amélioration ;
- La vie utile des équipements et leurs valeurs résiduelles, s'il y a lieu, à la fin de la période d'analyse ;

- Les coûts de formation du personnel d'exploitation sur les nouveaux équipements ;
- Les coûts de suivi pour évaluer les économies réelles obtenues ;
- Les coûts de remplacement des composantes qui peuvent atteindre la fin de leur vie utile durant la période d'analyse.

c) Le TRI (taux de rendement interne) :

Cette méthode d'évaluation du rendement financier est très répandue auprès des propriétaires immobiliers du secteur commercial. Elle reprend essentiellement les mêmes facteurs financiers que ceux pris en compte dans le calcul de la VAN. À la fin, elle établit cependant le taux de rendement que l'investissement initial peut générer.

Ainsi, si un projet d'améliorations énergétiques produit, à titre d'exemple, un taux de rendement interne de 8% l'an, le propriétaire peut plus facilement le comparer au TRI que d'autres projets investissements pourraient lui rapporter et choisir ainsi le plus avantageux ou encore faire évoluer le projet énergétique pour lui faire atteindre le TRI souhaité (André Chalifour, Michel Fortier et Paul Langlois T.P. BOMA QUEBEC en collaboration avec Hydro-Québec, 2010).

2-4-4) Le confort thermique (C) :

Le confort thermique (C) ou la qualité de l'environnement intérieur « *indoor environmental-quality* » (IEQ) qui est aussi un critère largement utilisé (Mikučionienė *et al.*, 2014). Carlucci et Pagliano (2013) ont optimisé le bâtiment dans le but de maximiser le confort thermique des utilisateurs. Ils ont appliqué une méthode pour concevoir un nouveau bâtiment énergétique « *net zero energy building* », en analysant un ensemble de mesures passives (isolation et performance de Windows). Leur objectif était de réduire la demande de chauffage et de refroidissement grâce à l'amélioration du confort. Liu *et al.* (2015) ont évalué l'environnement intérieur et l'usage d'énergie d'un bâtiment rénové en comparaison avec un bâtiment similaire non rénové ayant la même surface. Le cas d'étude est un bâtiment collectif qui représente le type commun de construction dans la ville de Linköping, Suède. Sun et Leng (2015) ont étudié l'environnement intérieur typique dans les habitations résidentielles tibétaines. Les caractéristiques architecturales tibétaines et les coutumes ethniques sont prises en compte dans la création de rénovations passives qui sont appliquées avec un effet minimal sur l'architecture globale. Des simulations numériques de l'environnement thermique intérieur sont effectuées sur les modèles de construction utilisant DeST-h. Différentes mesures de renouvellement sont évaluées en fonction de la diminution de leur consommation annuelle

d'énergie. Les expériences orthogonales sont conçues pour optimiser une gamme de rénovations de bâtiments à économie d'énergie pour réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort thermique intérieur des maisons résidentielles tibétaines. La conclusion est qu'il existe des avantages économiques et environnementaux d'utiliser des méthodes passives naturelles sans considérer les moyens mécaniques.

Ortiz *et al.* (2016) ont présenté une méthode détaillée pour développer des études des coûts optimaux de rénovation énergétique des bâtiments résidentiels à Barcelone et à Tarragone en Espagne. La méthode permet l'amélioration l'interaction entre l'occupation, le bâtiment et les caractéristiques d'un état réel de la construction. En plus, la simulation du bâtiment inclut des stratégies vernaculaires de l'architecture méditerranéenne à travers deux étapes d'évaluation en considérant le confort thermique, les critères énergétiques et économiques.

Les critères d'efficacité énergétique et environnementale sont généralement réunis avec une analyse du cycle de vie « *Life cycle analysis* » (LCA). Mikučionienė *et al.* (2014) ont défini et analysé les cinq principaux critères pour l'évaluation des MEE reflétant une attitude durable (efficacité énergétique, impact environnemental, rationalité économique, confort et durée d'un point de vue cycle de vie (LCD)). Priorité séquentielle et distribution de l'arbre de décision est formé pour la distribution des MEE à des mesures fondamentales et à d'autres additionnelles. La méthode présentée optimise la formation des paquets des MEE. Lawania et Biswas (2016) ont évalué les émissions élevées de gaz à effet de serre (GES) et la consommation d'énergie intrinsèque (EI) associée à la construction et à l'utilisation d'une maison typique à Perth pour soixante options d'enveloppe de bâtiment en utilisant une approche d'évaluation du cycle de vie (ACV).

2-5) Recherches récentes sur l'efficacité énergétique du bâtiment dans le contexte algérien :

A l'échelle nationale, quelques études récemment publiées sont réalisées dans cette ligne.

Nous pouvons citer :

Fezzioui *et al.* (2008) visaient dans le cadre de ce travail l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique. Pour cela, ils ont procédé à la description de différentes maisons de la région du sud, ce qui leurs a permis de dégager certains logements représentatifs en point de vue des matériaux de construction, de la typologie du plan, et de la gestion du local. A l'aide du logiciel TRNSYS, ils ont entrepris une simulation numérique d'un bâtiment avec les données météorologiques relatives à la ville de Béchar et de la ville de

Tamanrasset, en introduisant des éléments d'amélioration de l'habitat étudié: augmentation d'inertie des murs extérieurs, isolation des murs extérieurs, isolation de la toiture, et surface des fenêtres. La mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement selon eux est l'isolation de la toiture.

Foura *et al.* (2008) développaient une méthode de calcul thermique afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants. Les recommandations par le CNERIB soumise pour le climat algérien sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans cette étude (soit un appartement de type T3 est d'une superficie de $75m^2$). Un programme personnel, dénommé "SimulArch"1, a été développé essentiellement pour vérifier la base de données de SONEGAS en utilisant la simulation thermique des paramètres architecturaux et les facteurs climatiques de la ville de Constantine. Ce programme leur a permis d'atteindre des économies d'énergie allant de 10% à 20% par ménage selon les applications des matériaux de construction préconisés.

Kadri et Mokhtari (2011) étudiaient la réhabilitation thermique de l'enveloppe d'un logement F3 du dernier étage afin d'améliorer ses performances : l'amélioration du confort thermique d'une part et le souci d'économie d'énergie d'autre part. Un calcul du bilan des déperditions calorifiques et des simulations à l'aide d'un code de calcul ont été effectués sur l'habitat collectif afin de définir son identité thermique et mesurer l'impact de cette réhabilitation sur la température intérieure et les besoins énergétiques.

Bouras (2013) établissait une étude comparative de la situation énergétique de l'Algérie à la lumière de celles des États-Unis, du Canada et de la France. La méthodologie de ce travail porte sur les méthodes numériques utilisant la simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel de simulation TRNSYS et son interface TRNBuild et en ciblant les mesures d'efficacité énergétique passives pour le bâtiment. Les résultats ont montré que l'emploi des mesures d'efficacité énergétique passives.

Djelloul *et al.* (2013) évaluaient le comportement énergétique du bâtiment, en utilisant le logiciel TRNSYS. Deux types de bâtiment ont été simulés et comparés, l'un est considéré comme étant un bâtiment de référence BR et l'autre un bâtiment basse consommation BBC dont une enveloppe isolée (murs, terrasse et vitrage). L'objectif de ce travail est de contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels situés à la ville de Biskra qui a un climat chaud et sec.

Missoum *et al.* (2014) ont analysé la performance énergétique de l'habitat rural construite à Chelif en Algérie pour les trois plans quinquennaux, en outre l'étude de leur impact sur le bilan énergétique global dans cette ville. A travers deux moyens : un moyen passif en

intégrant un bouquet des MEE et un autre actif en utilisant le PV solaire pour l'électricité. Une étude économique a été présentée mais qui n'est pas vraiment réaliste concernant les MEE.

2-6) Problématique d'aide à la décision multicritère

Vu le nombre important de paramètres à prendre en considération pour la réalisation de cette étude, un choix optimal parmi les nombreuses solutions possibles s'avère être un problème très complexe. Il va falloir donc développer des méthodes d'aide multicritère à la décision pour guider les concepteurs et les décideurs des projets de bâtiment à prendre des décisions rationnelles.

2-6-1) Définition d'un problème d'aide à la décision

Par définition, l'aide à la décision est l'ensemble des techniques permettant de faire le meilleur choix possible parmi les différentes solutions existantes selon des critères prédéfinis. Ces approches peuvent être classées comme étant des outils de soutien pour les décideurs, car elles parviennent à filtrer les meilleures solutions possibles et montrer les avantages et les inconvénients associés à chacune d'elles. Généralement, une méthode d'aide à la décision inclut les étapes suivantes (Recchia *et al.*, 2011 ; Zopounidis et Pardalos, 2010):

- L'identification du problème ;
- L'identification et la définition des variables d'étude ;
- La définition des objectifs;
- La résolution de la nature contradictoire des différents critères (par exemple le confort intérieur et les besoins énergétiques, la consommation d'énergie et les coûts d'investissement, etc.) ;
- L'identification des solutions compromis et l'analyse des conséquences des solutions ;
- La discussion et l'analyse des résultats obtenus ;
- L'aide à la prise de décision.

2-6-2) Formulation d'un problème d'aide à la décision

La formulation d'un problème d'aide à la décision est définie par l'espace de recherche, l'espace des objectifs et la relation entre les deux. L'espace de recherche représente l'ensemble des solutions possibles qui sont définies à partir des intervalles de variation des paramètres intrinsèques du problème. Le nombre et la nature des variables (continues et/ou discrètes) déterminent la dimension et la nature de cette espace. L'espace des objectifs est caractérisé par les critères de décision. Ces derniers sont définis comme des fonctions

mathématiques permettant d'évaluer quantitativement ou qualitativement les performances des solutions du problème. La dimension de cet espace dépend du nombre des critères de décision.

Dans le domaine de l'énergétique du bâtiment, l'espace de recherche est déterminé par les variables d'études qui peuvent être des paramètres liés à l'enveloppe et/ou à des systèmes de ventilation ou de production de l'énergie. Alors que les critères sont à définir par les décideurs. Comme nous l'avons cité précédemment pour la conception d'un bâtiment durable, les critères économiques, sociaux et environnementaux doivent être pris en considération. La relation entre les deux espaces fait appel aux méthodes et outils de prédiction du comportement énergétique du bâtiment ainsi qu'aux calculs économiques et environnementaux (voir tableau 6) (Romani, 2015).

Tableau 6. Méthodes pour l'aide multicritère à la décision (Source : l'Auteur d'après Romani,2015 ; Seddiki et al., 2016 ;

Approches par itération de simulations	
Approches par analyse multicritère de la décision (MCDA)	Approche du critère unique de synthèse
	Approche du sur-classement
	Approche du jugement local interactif
Approche par l'optimisation multicritère	Formulation d'un problème d'optimisation
	Algorithmes d'optimisation
	Méthodes exactes
	Méthodes déterministes
	Méthode du simplex Nelder Mead
	Les méthodes de gradient
	Métaheuristiques stochastiques
	Recuit simulé
	Méthode Tabou
	Algorithmes génétiques
	Autres méthodes comme la méthode de la colonie de fourmis, l'essaim de particules ou encore les réseaux de
Approches de résolution	Méthodes Agrégées
	Méthode des sommes pondérée
	Méthode de la distance à un objectif de référence
	Méthode du compromis
	Méthode de but à atteindre
Approche hybride	

2-6-3) Approches par itération de simulations

L'aide à la décision dans cette approche est basée sur l'itération de simulations de bâtiment à partir d'une configuration de référence. Une procédure itérative de recherche de solution est donc effectuée jusqu'à identifier une configuration satisfaisante. Ensuite, une série de recommandations sont définies en utilisant l'analyse énergétique de simulation. Dans le cas où la solution ne convient pas, il faut alors générer une autre solution de référence ou la redéfinition d'autres objectifs d'évaluation. Des études paramétriques ou des arbres de décision peuvent être utilisés pour guider les concepteurs dans la génération de programmes. Par exemple, Rosenfeld et Shohet (Rosenfeld, Shohet, 1999) proposent une méthodologie d'aide à la décision pour la réhabilitation des bâtiments existants basée sur quatre étapes :

- ✓ Etude préliminaire ;
- ✓ Evaluation et classement ;
- ✓ Génération des alternatives de réhabilitation ;
- ✓ Comparaison technico-économique des solutions générées (Romani, 2016).

2-7) Optimisation multi-objectif (OMO) de la performance énergétique :

D'après Fontes et Gaspar-Cunha (2010)³, la plupart des problèmes d'optimisation du monde réel sont multi-objectifs car ils nécessitent la satisfaction simultanée de plusieurs objectifs. L'approche la plus courante pour traiter la nature multi-objective de ces problèmes consiste à regrouper les différents objectifs individuels en une fonction unique afin de former un problème d'optimisation à objectif unique. Dans ce cas, il est nécessaire de définir a priori un compromis entre les objectifs considérés. Si l'importance relative des critères est modifiée, un nouveau cycle d'optimisation doit être effectué.

Après avoir utilisé des techniques évolutives pour l'optimisation mono-objectif pendant plus de deux décennies, l'incorporation de plus d'un objectif est finalement devenue un domaine de recherche populaire. En conséquence, de nombreuses nouvelles approches basées sur l'évolution et des variantes de techniques existantes ont récemment été publiées

En ce qui concerne les problèmes d'optimisation multi-objectifs, ils ont également l'avantage de travailler avec une population de solutions plutôt qu'avec une solution unique. La possibilité de rechercher simultanément différentes régions d'un espace de solution permet non seulement de trouver un ensemble de solutions diverses, mais aussi de résoudre des problèmes avec des espaces de solutions non convexes, discontinues et multimodales.

³ Pour plus de détail voir : RECCHIA L., BONCINELLI P., CINI E., VIERI M., PEGNA F. G. et SARRI D. (2011), *General Theory of Multicriteria Analysis and Life Cycle Assessment. In : Multicriteria Analysis and LCA Techniques*. Chapitre 10 : On Multi-Objective Evolutionary Algorithms, pp.287-310

L'optimisation multi-objectifs, comme son nom l'indique, consiste à rechercher systématiquement et simultanément une ou plusieurs meilleures solutions par rapport à deux fonctions objectives ou plus. Les problèmes d'optimisation multi-objectifs sont fondamentalement différents des problèmes d'optimisation d'objectif unique. L'optimisation à objectif unique identifie une seule solution globalement optimale. Cependant, les problèmes d'optimisation multi-objectifs impliquent souvent de multiples objectifs concurrents, contradictoires et incommensurables (Wu, 2016). Gossard et al. (2013) ont adopté une méthodologie qui associe un réseau neuronal artificiel et l'algorithme génétique NSGA-II pour réduire les besoins informatiques d'une habitation pour deux climats français, Nancy (continentale) et Nice (Méditerranée). Les solutions optimales sont comparées à celles de l'optimisation mono-objectif en utilisant une méthode agrégée et un problème de contrainte dans GenOpt. La comparaison montre clairement l'importance d'une optimisation multi-objectif.

L'optimisation multi-objectif (OMO) est sans aucun doute un sujet de recherche très important à la fois pour les scientifiques et les praticiens, non seulement en raison de l'objectif multi-objectif.

2-8) Méthode et outils d'évaluation de la performance énergétique de son immeuble :

Beaucoup d'études ont été élaboré à l'échelle internationale, régionale et locale pour améliorer la performance énergétique dans les bâtiments d'habitat existants. Toutes ces études ciblent à aider à la prise de décision pour le choix des combinaisons appropriées des mesures d'efficacité énergétique. Les méthodes et l'efficacité énergétique varient d'une étude à l'autre. Les méthodes les plus utilisées évaluent les performances d'un bâtiment sur des aspects énergétiques, d'autres méthodes multicritères évaluent plus largement les impacts environnementaux (Chalifour *et al.*, 2010):

2-8-1) Le balisage appelé aussi «benchmarking» : (Tereci *et al.*, 2013)

Qui signifie analyse comparative- permet de comparer la consommation d'énergie au m² de son immeuble avec celles de ses pairs (Chalifour *et al.*, 2010). C'est donc une démarche d'évaluation fondée sur des comparaisons d'informations. Ces informations peuvent être « internes », pour un ensemble de bâtiments d'un patrimoine immobilier par exemple, ou « externes », à partir de données autres : bâtiments du même type, réglementation, ...

La finalité est d'optimiser la gestion à la fois d'un bâtiment, mais l'outil peut s'appliquer à l'échelle du patrimoine (ECOWEB, 2002). La méthode s'appuie sur l'analyse d'écart, ce qui permet de :

- Positionner les performances de son immeuble dans le groupe ;
- Analyser ces performances à des fins d'optimisation en le comparant avec les meilleurs de ses pairs ;
- Établir d'une manière approximative le potentiel d'économies qu'il y aurait à atteindre des niveaux de performances supérieures et de décider des actions à mener à court, moyen et long terme (Mandallena, 2006).

a) Benchmarking de réglementations thermiques internationales et des labels et certificats d'économie d'énergie

La recherche d'une alternative écologique dans le secteur du bâtiment s'inscrit dans le cadre de réflexions menées à l'échelle internationale. En Europe, les premières réglementations concernant l'isolation thermique ont été introduites après la crise pétrolière de 1973. Elles concernaient généralement l'habitat et ont favorisé une baisse sensible des dépenses énergétiques (Gauzin-Muller, 2001). Mais, la complexité de la réglementation énergétique, le faible niveau des performances exigées par celle-ci ainsi que l'absence de contrôle du respect des réglementations et des performances des bâtiments ont entraîné la création de certifications et des labels⁴. Les labels et les certifications ne se justifient que s'ils vont au-delà de la réglementation (Charlot-Valdieu et Outrequin, 2011). Ces labels ou référentiels proposent de respecter tout au long de l'élaboration du projet de construction des valeurs garde-fous (étanchéité à l'air, efficacité des vitrages, mode de chauffage, Ubat, etc.) afin d'atteindre une consommation énergétique très réduite. La certification, qui intervient lorsque la construction est achevée, permet de vérifier que le référentiel a été bien suivi et que l'objectif de la consommation prévu est atteint (Bertucci et Ogier, 2010).

Compte tenu des enjeux énergétiques que couvre le secteur des bâtiments dans les pays en développement et tout particulièrement dans les pays du sud de la méditerranée, la plupart de ces derniers ont adopté des mesures d'ordre réglementaire ou normatif pour l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Toutefois, dans la réalité, le niveau d'opérationnalité de ces mesures diffère sensiblement d'un pays à un autre. Les deux pays où la réglementation

⁴ Les labels comme les certifications sont des marques, des outils de communication. Matérialisée par un nom et un logo, la marque peut être apposée sur des produits ou bâtiments (comme HQE® *Haute Qualité Environnementale* ou LEED: Leadership in Energy and Environmental Design, par exemple) ou sur services ou démarches (comme HQE®, par exemple) (Charlot-Valdieu et Outrequin, 2011).

thermique est relativement bien appliquée sont la Turquie et la Tunisie. En effet, dans ces deux pays, la réglementation a été élaborée selon un processus global basé sur une large concertation avec l'ensemble des parties prenantes et associée à des programmes d'accompagnement et renforcement des capacités des concepteurs, des opérateurs et des fournisseurs des matériaux d'isolation. De manière générale, le retour d'expériences de ces pays montre l'importance de la qualité du processus d'élaboration de la réglementation comme un facteur clé de son applicabilité effective (Voir tableaux 7 et 8).

Tableau 7. *Benchmarking* des réglementations thermiques internationales et des labels et référentiels d'économie d'énergie existants (source: Auteur d'après Bertucci et Ogier (2010), Charlot-Valdieu et Outrequin (2011), ANER, 2012)).

kWh/m ² . an	Labels & référentiel	Objectifs de consommation	Certification/promotion Critères pris en compte	Équipements concernés
80-250	<i>RTⁿ 2005</i> (France 2005) (arrêté : Mai 2006 pour le neuf, Mai 2007 pour la rénovation)	80 à 250kWh/(m ² an) selon les zones climatiques	Isolation thermique, introduction de la bioclimatique et les énergies renouvelables.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Production de l'eau chaude sanitaire ; • + eaux. l'éclairage pour <i>Effinergie</i> Exprimé en énergie primaire.
231	<i>Certification PH & E^b</i> (France)	C'est réservé aux propriétaires des logements collectifs et peut couvrir la copropriété. Pour obtenir cette certification, il faut avoir une consommation énergétique inférieure à 231kWh/m ² an.	<i>Qualitel- Cerqual Patrimoine^c</i>	
72-225	<i>HPE^d /HPE EnR^e</i> (France) (arrêté: 2007 pour le neuf), <i>HPE rénovation</i> (arrêté : Septembre 2009 pour la rénovation: pour les bâtiments construits après 1948)	- <i>RT2005</i> -10% Pour la <i>THPE EnR</i> , 50% de l'énergie de chauffage doit provenir de la biomasse ou d'un réseau de chaleur utilisant plus de 60% d'énergies renouvelables. - <i>HPE rénovation</i> : consommation maximale 150kWh/(m ² y), selon l'altitude et les zones climatiques.		
56-200	<i>THPE^f / THPE EnR</i> (France) (arrêté : Mai2007)	<i>RT 2005</i> -20% (-30% pour le THPE EnR)		
80-150	<i>PC & PC & E^g</i> (France)	Les niveaux de performance demandés sont les suivant : - 1 étoile : minima techniques liés à la présence d'isolation (toiture ou façade, double vitrage ou mise en œuvre d'un CPE ; - 2 étoiles réalisation d'un bouquet de travaux avec une performance minimale ; - 3 étoiles moins de 150kWh/m2.an en énergie primaire pondérés (zones climatiques, altitude) ; - 4 étoiles moins de 80 kWh/m2.an en énergie primaire pondérés	<i>Qualitel- Cerqual Patrimoine</i> Ces nouvelles certifications concernent six thèmes: la performance énergétique ; l'accessibilité et la qualité d'usage (personnes âgées et handicapées) ; la santé (qualité sanitaire) et la sécurité (incendie) ; le clos et couvert (choix des matériaux, façade, couverture et garde-corps) ; l'équipement et le confort des parties communes (ascenseur, locaux des déchets ménagers, éclairage) ; l'acoustique.	
105-125	<i>RTETBN^h</i> (Tunisie 2008)	la réglementation doit cibler la classe 5 (105-125kWh/(m ² an)) en 2008 selon les zones climatiques.	Isolation thermique, introduction de la bioclimatique, éclairage économe et les énergies renouvelables.	<ul style="list-style-type: none"> •Système de chauffage/refroidissement •Exprimé en énergie primaire.
85-95	<i>RTETBN</i> (Tunisie 2010)	la réglementation doit cibler la classe 3 (85-95kWh/(m ² an)) in 2010 selon les zones climatiques. <i>RTETBN 2008</i> -25%		
40-125	<i>BBCⁱ</i> (France) (arrêté : Mai 2007 pour le neuf), <i>BBC rénovation</i> (Decision: September 2009 for the renovation : for buildings built after 1948)	- Dans les logements, la consommation énergétiques varie entre 40 à 70 kWh/(m ² an), selon l'altitude et les zones climatiques - <i>BBC rénovation</i> : consommation maximale 80kWh/(m ² an), selon l'altitude et les zones climatiques. Pour le tertiaire la consommation énergétique globale = <i>RT2005</i> -50%.	<i>Certivéa- Cerqual – Céquami^j- Promotélec^k</i> . Référentiel mis en place par <i>Effinergie^l</i> . Critères: isolation thermique, énergies renouvelables, Bioclimatique, étanchéité à l'air, ventilation, la qualité globale du bâtiment.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Production de l'eau chaude sanitaire ; • + aux. l'éclairage pour <i>Effinergie</i> Exprimé en énergie primaire.

<75	RTETBN 2012 (Tunisie 2012)	la réglementation doit cibler la classe 1 (<75 kWh/m ² an) en 2012 selon les zones climatiques. RTETBN 2008 -40%	Isolation thermique, introduction de la bioclimatique, éclairage économe et les énergies renouvelables.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Exprimé en énergie primaire.
40-65	RT 2012 (France) (arrête: Avril 2013 pour le neuf, Janvier 2013 pour la rénovation)	40 à 65 kWh/(m ² an) selon les zones climatiques.	Isolation thermique, introduction de la bioclimatique et EnR.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Production de l'eau chaude sanitaire ; • + aux. l'éclairage pour <i>Effinergie</i> • Exprimé en énergie primaire.
40-80	Minergie®^m (Suisse 1996)	Énergie primaire pour le logement : - neuf: entre 40 à 45 kWh/ (m ² an) - Rénovation : 60 kWh/(m ² an)	<i>Prioriterre</i> (Haute-Savoie) Criterie: étanchéité à l'air (sauf <i>Minergie®</i>), aération douce, énergie renouvelable, limitation des ponts thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Production de l'eau chaude sanitaire ; • Electricité pour la ventilation ; le calcul inclut la production d'électricité photovoltaïque
30	Minergie P® (plus) (2003)	Énergie primaire: neuf : 30kWh/(m ² an)	+ équipements et éclairage économes pour <i>Minergie P®</i>	
30	Minergie ECO® (2006)	A destination des bâtiments administratifs et locatifs, les écoles. reprend <i>Minergie®</i> et <i>Minergie P®</i> avec des matériaux sains et écologiques.	<i>Minergie Eco</i> : lumière du jour, protection anti bruit, qualité d'air, de construction.	
15	Passivhaus®^f (Allemagne 1990) Maison passive (France 2007)	Besoin brut en chauffage: maximum of 15kWh/m ² an (quelles que soient l'altitude et la zone climatique) Energie primaire Total, equipments inclus: maximum de 120kWh/(m ² an)(*).	<i>La Maison passive France (LaMP®)</i> . Critères: étanchéité à l'air, isolation, suppression des ponts thermiques, l'orientation par rapport au soleil, ventilation, électroménager performant.	<ul style="list-style-type: none"> • Système de chauffage/refroidissement ; • Ventilation ; • (*) + Production de l'eau chaude sanitaire ; • Tous les équipements de la maison.

a. Réglementation Thermique Française; b. Patrimoine Habitat et Patrimoine Habitat & Environnement ; c. est une filiale de l'association Qualitel; d. Haute Performance énergétique; e. Energie Renouvelable; f. Très Haute Performance; g. Patrimoine copropriété et Patrimoine copropriété environnement; h. Réglementation Thermique et Energétique Tunisienne des bâtiments neufs ; i. Bâtiment basse consommation: le label BBC, le label environnement: est un label français; j. Certification qualité en maisons individuelles, filiale du CSTB et de l'association Qualitel, créée en 1999, est mandatée par Afnor Certification, propriétaire de marque NF Maison individuelle et démarche HQE® pour l'existant. Certification de qualité dans les maisons individuelles; k. Promotelec est une association dont l'objet est de promouvoir les usages de l'électricité dans le bâtiment résidentiel et petit tertiaire; l. est une association dont le but est de « promouvoir de façon dynamique les constructions à basse consommation d'énergie en neuf et en rénovation, et de développer en France un référentiel de performance énergétique des bâtiments neufs ou existants ». Le label BBC a été créé par l'association en 2007; m. L'association Prioriterre délivre le label Minergie issu du label suisse éponyme; n. est une norme allemande qui a été initiée en 1989 par Wolfgang Feist (directeur du passivhaus Institut), est le meilleur critère de performance au monde pour les économies d'énergie. Ces limites de consommation d'énergie de chauffage et de rafraîchissement sont 80% de moins que pour une Low Energy House environ six fois moins que ce qui est prévu par la réglementation thermique française (RT2000) et quatre fois moins que la valeur réglementaire allemande.

Tableau 8. Comparaison du coefficient de transfert thermique maximal des enveloppes de bâtiments (valeur U, W / m²K) autorisé dans certains pays développés et en développement (source: auteur en fonction de leurs réglementations thermiques).

États	Rapport fenêtre / mur (WWR)	Toit (W/m ² .K)	Murs extérieurs (W/m ² .k)	Vitrage (W/m ² .k)	R minimale du plancher bas (m ² .k/W)	Facteur de Correction CF de vitrage	
Belgique	Wallonie (à partir de 01/01/ 2014)	0.24	0.24	1.1	1.75		
Canada		0.40~0.23	0.36	2.86			
Suède	Du sud	0.12	0.17	2.5			
Suisse	Minergie	0.2	0.2	1.1	3.33-5		
France	réhabilitation	0.19	0.25	1.6	5.3	Sw 0.1 - 0.5 Transmission lumineuse : 0.5 à 0.7 -Occultation : obligatoires -Protection solaire : obligatoire pour le confort d'été	
France	Hypothèses de calcul pour respecter THPE 60 kWh/m ² .an pour le chauffage.	0.20	0.33	1.70	4		
France	Hypothèses de calcul pour respecter BBC-Effinergie 20 kWh/m ² .an pour le chauffage.	0.15 0.15-0.1	0.2 0.31-0.18	1.40 1.7-0.7	5 2.4-4		
Japon	Hokkaido,	0.23	0.42	2.33			
chine	Pékin	South : 0.50 South-Est : 0.35 Other directions : 0.30	0.6-0.8	0.82-1.16	4	2	North : 0.76-0.86 Est/West : 0.57-0.74 South : 0.18-0.5
	Harbin		0.3-0.5	0.40-0.50	2.5		
Allemagne			0.1-0.15	0.1-0.15	0.5-0.7	6.66-10	
Tunisie	Zone climatique réglementaire ZT2	Bas	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 3,20	≤ 0,95	
			≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 6,20	≤ 0,95	
		Medium	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 3,20	≤ 0,70	
		Haut	≤ 0,75	≤ 0,70	≤ 3,20	≤ 0,70	
		Très haut	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 1,90	≤ 0,60	
Maroc	Zone climatique réglementaire ZT3 (Climat similaire à celui de Tlemcen: Oujda)	≤ 15%	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	NE
		16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	North : NE E , W, S : ≤ 0,7
		26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 2,60	≥ 0,75	North : NE E , W, S : ≤ 0,5
		36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 1,90	≥ 0,75	North : ≤ 0,7 E , W, S : ≤ 0,5

D'après une étude menée par Grundström *et al. en* (2003) la réglementation algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment, un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existants en Algérie.

Après avoir comparé les réglementations de six pays (l'Algérie, les Etats-Unis, la France, la Grande-Bretagne, le Liban et la Suède), les auteurs ont constaté que chaque réglementation présente :

- Un découpage climatique basé sur la notion de degrés-jours de chauffage (DJCH), sauf la grande Bretagne et la Suède qui appliquent leurs codes sans zonage climatique,
- Des exigences différentes en matière d'isolation thermique des différentes parois du bâtiment (Coefficient U en fonction des zones climatiques),
- Des conventions de calcul différentes, notamment le coefficient d'échange superficiel intérieur et extérieur,
- Différents critères réglementaires à satisfaire qu'il s'agisse des déperditions thermiques de chaque paroi ou de la performance globale de toute la construction.

Bien que, l'Algérie était parmi les premier pays à avoir élaboré son cadre réglementaire et a participé dans l'élaboration de la Réglementation thermique et énergétique Maghrébine des bâtiments (RTMB¹), elle doit combler le retard par rapport aux autres pays ayant mis en œuvre des réglementations thermiques des bâtiments obligatoires.

Dans la présente étude, nous allons nous référer à deux labels régionaux : le label BBC et le label tunisien. Le label BBC classe le logement en termes de sa performance énergétique et de la quantité des gaz à effet de serre émise par le moyen de diagnostic de performance énergétique (DPE). Introduit en 2006 dans le code français de la construction et de l'habitat, le DPE vise à informer les futurs locataires ou propriétaires des nouveaux ou des anciens logements de leur moyenne de consommation d'énergie. Il permet d'évaluer et de classer les

¹ Réglementation thermique et énergétique Maghrébine des bâtiments engagée depuis Septembre 1991, avec le soutien du programme SYNERGY de la direction générale d'énergie (DGXII), de la commission Européenne et sous la responsabilité nationale de :

- L'Agence Nationale de la Promotion et Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie pour l'Algérie ;
- Centre de Développement des Energies Renouvelables pour le Maroc et
- L'Agence Nationales des Energies Renouvelables ANER pour la Tunisie.

Ce projet a pour objectif l'élaboration d'une réglementation pour l'amélioration du confort thermique et la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments neufs des secteurs résidentiel et tertiaire et ceci par la proposition des techniques de construction et des formes architecturales adaptées aux conditions climatiques et socioculturelles. Ce projet constitue le point de départ du label tunisien (Agence Nationale des Energies Renouvelables, 2004).

logements selon leur performance d'énergie (principalement thermique) et de leur impact sur l'environnement (Schneider Electric, 2011). Il comporte deux étiquettes : L'étiquette "consommation d'énergie" constitue un indicateur de consommation d'énergie d'un logement. Classée de A à G, elle permet de connaître le niveau de consommation énergétique. Le chiffre indique l'émission en kWh_{EP}/m².an. Lié avec la couleur verte, la lettre A indique le logement le plus économe, ayant une énergie primaire inférieure à 50kWh_{EP}/m².an. À l'opposé, la lettre G avec une couleur rouge, désigne le logement le plus énergivore, ayant une consommation supérieure à 450 kWh_{EP}/m².an. L'étiquette climat « émission de gaz à effet de serre (GES) » classée de A à G, permet de connaître l'impact des consommations sur l'effet de serre. Le chiffre indique l'émission en kg_{éq} CO₂/m².an (Union des Constructeurs Immobiliers UCI-FFB, 2009) (voir figure 19).

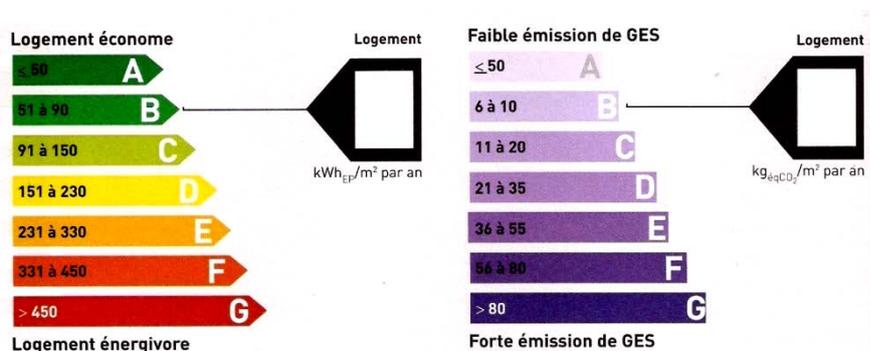


Figure 19. Représentation schématique des étiquettes énergie et climat du label BBC (Union des Constructeurs Immobiliers UCI-FFB, 2009).

En ce qui concerne le label tunisien, le premier projet régional RTMB financé par l'Union européenne a permis à l'ANME de définir un zonage climatique de la Tunisie, les exigences de confort adaptées au contexte tunisien et des règles simples de conception architecturale, qui permettent d'avoir un confort thermique raisonnable en l'absence de chauffage et de climatisation. Plutôt que de procéder à la promulgation d'une réglementation minimale à l'issue du projet RTMB, la Tunisie s'est en fait orientée vers la poursuite du processus expérimental en approfondissant l'élaboration d'une réglementation optimale avec la création d'outils techniques spécifiques, d'un label ainsi que la mise en place d'opérations pilotes.

L'établissement de labels résidentiels et tertiaires a été accompagné de l'élaboration de méthodes de calcul simplifiées et de trois logiciels spécifiques afin d'évaluer le niveau de performance d'un bâtiment et de le classer selon la grille du label. Le label proposé pour les bâtiments comporte huit classes de performance, avec un niveau 5 correspondant à la future réglementation minimale, quatre classes de bonnes performances énergétiques et trois classes de mauvaises performances (voir figure 20), et s'inspire de celui mis en place pour la certification des réfrigérateurs par l'ANME, facilitant ainsi l'effort de communication. Le

label présente deux intérêts majeurs : renforcer progressivement la réglementation (classe 5 en 2008, classe 3 en 2010 et classe 1 en 2012) et récompenser les promoteurs anticipant les normes en certifiant leurs bâtiments (Ries et Szykier, 2008).

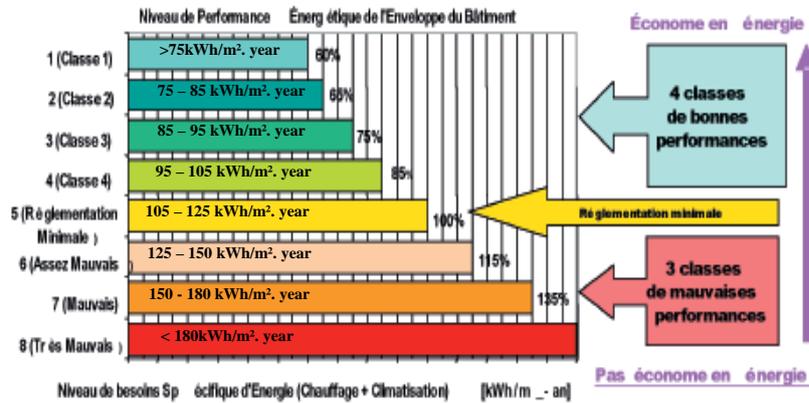


Figure 20. Représentation schématique du label tunisien (Source : Agence nationale de la maîtrise de l'énergie (ANME) tunisienne).

2-8-2) Le suivi des consommations par rapport à une année de référence : (Shorrock and Dunster, 1997; Boardman *et al.*, 2005);

Est une approche qui fait appel aux principes de la comptabilité énergétique. Ce suivi nécessite des ajustements aux consommations de l'année de références pour tenir compte de l'évolution des principaux paramètres qui influencent la consommation d'énergie tels les degrés jours de chauffage ou le taux d'occupation de l'édifice (Chalifour *et al.*, 2010).

2-8-3) Les audits : (Belpoliti and Bizzarri, 2015; Terés-Zubiaga *et al.*, 2015)

a) Les audits énergétiques :

Méthode focalisant sur le domaine des énergies. Il s'agit d'une évaluation des performances énergétiques d'un site par un diagnostic à partir des consommations (facturées et mesurées), d'analyses et de préconisations. L'objectif est de diminuer les charges énergétiques sans nuire au confort. Il peut donc s'agir uniquement d'une optimisation tarifaire de contrat

b) Les audits environnementaux :

Le principe est le même que l'audit énergétique, mais les performances sont estimées sur une méthode définissant des critères environnementaux et en attribuant des points sur chaque critère en fonction du respect d'un certain nombre de conditions : solutions techniques, seuils de performance, choix de matériaux, etc. C'est le cas des outils BREEAM ou LEED (Mandallena C., 2006).

- **Objectif de l'audit énergétique dans le bâtiment :**

L'audit énergétique, doit permettre, à partir d'une analyse détaillée des données du site, de dresser une proposition chiffrée et argumentée de programme(s) d'économie d'énergie et amener le maître d'ouvrage à décider des investissements appropriés. Pour améliorer la conception climatique dans une situation spécifique, une méthode proposée par Rosenlund (2000) pour développer une base de connaissances détaillée sur la performance thermique des bâtiments est basée sur Rosenlund (1995)

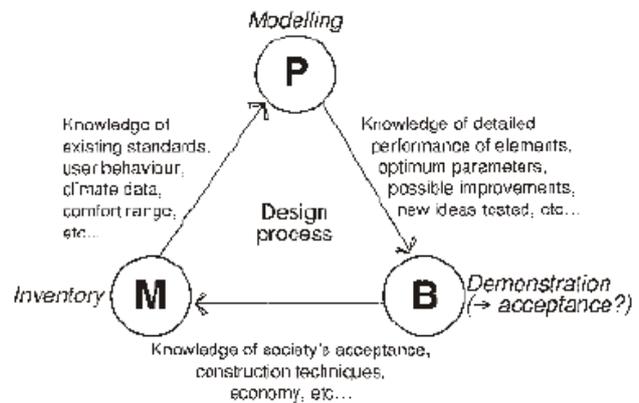


Figure 21. Le «triangle». Relation entre les « trois pierres angulaires » de l'étude: **M**esures sur le terrain, études **P**aramétriques et **B**âtiment expérimental (Source : Rosenlund, 2000).

et comporte trois parties principales, les 'trois pierres angulaires'. Les interconnexions entre ces «pierres angulaires» et le processus d'apprentissage étape par étape sont illustrés à la figure 21.

L'audit énergétique est un préalable à:

- l'avant projet sommaire,
- l'étude d'ingénierie,
- la mise en place d'une comptabilité énergétique,

Il aide le maître d'ouvrage à décider, en connaissance de cause, chiffres à l'appui du programme des interventions que nécessite son bâtiment.

Un audit est, en général, réalisé en trois phases :

1. Phase 1, familiarisation avec la construction : visite des locaux, recueil des factures énergétique, listing des équipements techniques, recueil des plans d'architecture, analyse comportementale des occupants (Denker *et al.*, 2014) par ex. le nombre de personnes, les modèles d'activité et d'occupation, l'ouverture et la fermeture de fenêtres et des volets ou la gestion d'autres appareils passifs ou actifs, etc. Dans cette phase, des informations sont collectées sur le climat extérieur au niveau micro et le climat intérieur normalement rencontré par la population. Les mesures peuvent avoir lieu dans un certain nombre d'objets, tels que des bâtiments traditionnels et modernes, et

des différences entre ces types peuvent ainsi être révélées. Une gamme de confort de base et des écarts possibles par rapport aux normes normales peut être établie au moyen d'entrevues (Rosenlund, 2000);

2. Phase 2, analyse et traitement des données : analyse des factures, tracé de l'évolution des consommations, simulations thermiques, évaluation du bilan thermique, thermographie pour le bâtiment le nécessitant, répartition des consommations par poste (qui consomme quoi et comment ?), choix des actions à entreprendre et à proposer avec les décideurs. Phase 3, réalisation de « fiches actions » à court, moyen et long termes, calcul des investissements, des économies envisageables et donc, des temps de retour sur l'investissement, mise en relation avec les professionnels compétents pour la mise en œuvre des actions techniques avec devis (*Op. cit.*, 2014). ces propositions sont présentées à part, dans le rapport de synthèse directement utilisable par le maître d'ouvrage, pour lui permettre d'orienter son choix de travaux dans les meilleures conditions de coût, de rentabilité et de délai, accompagnées d'un outil de suivi des consommations permettant d'en apprécier les résultats.

2-8-4) Post Occupancy Evaluation: (Elsharkawy and Rutherford, 2015)

La « Post Occupancy Evaluation », ou POE, est une méthode basée sur la synthèse de l'expérience et de la satisfaction des occupants et gestionnaires techniques d'un bâtiment. Elle fait également appel à des mesures physiques dans certains cas. Elle est conduite par une personne dans la première année de vie de l'activité hébergée par le bâtiment (ce qui veut dire qu'elle s'applique à une entreprise qui déménage par exemple) et s'appuie sur une enquête qui se veut complète sur la qualité du bâtiment, à travers des éléments techniques, des éléments de confort, d'adaptation du bâtiment à l'activité qui s'y déroule, ce qui suppose une série d'indicateurs économiques et sociétaux (Mandallena C., 2006).

2-8-5) Méthode d'Analyse de Cycle de Vie : Hamdy *et al.*, 2011; Jaber and Ajib, 2011; Huang *et al.*, 2012; Ramesh *et al.*, 2012; Berggren, 2013; Junghans, 2013; Lewandowska *et al.*, 2013)

L'analyse de cycle de vie est un raisonnement d'évaluation des impacts environnementaux d'un objet ou d'un système évalué dit « du berceau à la tombe ». Cette méthode dépend donc de la définition du périmètre d'étude de l'objet et de la précision de l'état des connaissances à la fois sur : a) Les facteurs d'émission à l'environnement ; b) Les impacts environnementaux engendrés. C'est actuellement une méthode largement utilisée pour des outils de management et d'aide à la décision, et a donné lieu à la méthode normative ISO 14040. (*Ibid.*, 2006).

2-8-6) Empreinte écologique : (Konstantinouand Knaack, 2011)

L'empreinte écologique est basée sur une méthode d'évaluation de la pression qu'exerce l'homme sur la nature, et s'exprime en terme d'équivalent surface terrestre. Cet outil évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets. Le principe est donc en résumé : quelle taille devrait avoir une île pour assurer la survie d'un nombre donné de personnes sans que cette communauté ne consomme et dégrade irrémédiablement son environnement ? Cette taille est l'empreinte écologique de l'activité d'une société dans des conditions de vie données (*Ibid.*, 2006).

2-8-7) Outils de calcul : Les outils réglementaires**a) Système d'évaluation de l'efficacité énergétique dans les bâtiments (Cadre du concours d'architecture)**

Un système d'évaluation de l'efficacité énergétique et la durabilité basé notamment sur un ensemble de critères tenant compte des aspects architecturaux et technique mais aussi économiques, environnementaux et novateurs relatifs à la consommation de l'énergie dans le bâtiment a été élaboré par un groupe d'experts de l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'énergie (Aprue), du Centre de développement des énergies renouvelables (CDER), du Centre national des études et de la recherche en industrie de bâtiment (CNERIB), de l'agence allemande de coopération au développement (GIZ) ainsi que par la Banque d'Algérie. le document cite 14 critères d'évaluation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment tels que la protection thermique en été, les besoins en énergie en hiver selon les saisons, les émissions de CO₂, l'utilisation des énergies renouvelables et la puissance électrique..

L'objectif est d'apporter une assistance technique aux opérateurs du secteur du bâtiment en leur offrant des outils opérationnels adéquats et performants, permettant la mise en œuvre des exigences de l'efficacité énergétique, la promotion des énergies renouvelables, la protection du climat et la préservation des ressources naturelles.

Les mesures prises dans ce cadre devront être appliquées aux projets actuels et futurs en incluant dans ce mécanisme tous les partenaires intervenant dans les secteurs connexes.

Chaque critère comporte un ou plusieurs indicateurs quantitatifs ou qualitatifs, liés aux caractéristiques architecturales et techniques de l'édifice ainsi que les caractéristiques des équipements et des matériaux susceptibles d'être utilisés.

Tous les critères sont en conformité avec les normes et les documents techniques réglementaires nationaux et internationaux en vigueur.

Des critères relatifs au confort thermique, à la protection de l'environnement et aux aspects économique et novateur ont également été développés.

Ce système sera utilisé comme outil d'évaluation du cas d'étude dans le chapitre 5. Le tableau 9 illustre la structure du système. Pour plus de détails voir l'annexe C.

Tableau 9. Désignation du groupe de critères

Groupe de critères	Critères	Désignation
Architecture	1	Compacité du projet
Energie	2	Les apports à travers les parois vitrées
Energie	3	Les apports à travers les parois opaques
Energie	4	Protection thermique en été
Energie	5	Les besoins d'énergie en hiver
Energie	6	Les besoins d'énergie en été
Environnement	7	CO ₂ - émissions
Energie	8	Energies Renouvelables Thermique / Energie Environnement / biomasse (été / Hiver)
Energie	9	La Puissance électrique (éclairage, ventilation, climatisation)
Économie	10	Économie (chauffage, électrique, l'eau chaude)
Environnement	11	Spécifications des éléments du bâtiment
Équipement	12	Spécifications des équipements du bâtiment
Confort	13	Confort
Architecture	14	Innovation

b) Calcul thermique du bâtiment : Application CTBAT

(selon les DTR C2-3 et C3-4)

En outre, les logiciels de calcul thermique utilisés dans d'autres pays ne répondent pas exactement aux prescriptions de la réglementation nationale dans la mesure où les méthodes de calculs et les bases de données utilisées sont, dans certains cas, différentes.

Afin de faciliter aux bureaux d'études, ainsi qu'à d'autres utilisateurs notamment des auditeurs énergétiques ou des chercheurs, l'intégration des exigences des DTR et minimiser le risque d'erreurs aussi bien dans l'interprétation des données que lors des calculs, et cela en introduisant des hypothèses, il a été jugé opportun d'élaborer une application spécifique à l'Algérie, l'application CT BAT. Cette application présente à l'utilisateur une interface intuitive et ergonomique lui permettant de décrire les différentes composantes de son projet de construction (voir figure 22) et effectuer pour lui les calculs thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité du bâtiment vis-à-vis de la réglementation thermique algérienne.

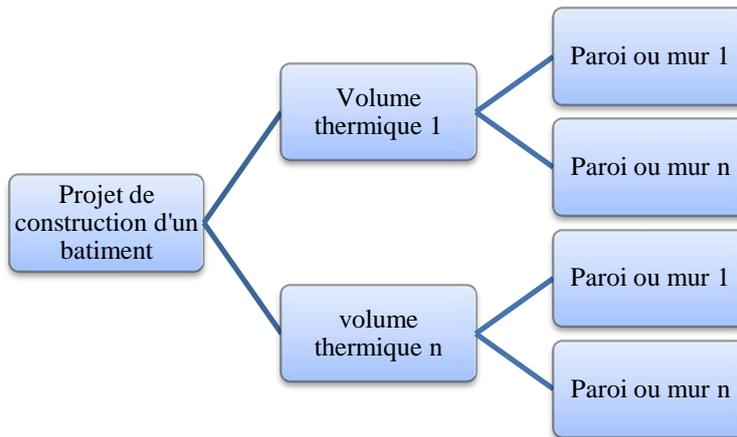


Figure 22. Application CT BAT : structure et présentation interne des données (Source : Denker *et al.*, 2014).

2-8-8) Les outils non réglementaires : La simulation énergétique ou thermique dynamique : (Yu *et al.*, 2008; Wasilowski and Reinhart, 2009; Awadallah, 2011; Griego *et al.*, 2012; Charde and Gupta, 2013; Oropeza-Perez and Østergaard, 2014; Belpoliti and Bizzarri, 2015).

La simulation énergétique en utilisant la méthode paramétrique pour évaluer l'influence des caractéristiques de l'enveloppe sur le système de chauffage et de rafraîchissement/climatisation permet la comparaison de la consommation réelle de son immeuble avec un modèle théorique établi par simulation. Ce genre d'évaluation requiert généralement le concours de spécialistes. Il offre le grand avantage de faciliter le suivi des économies d'énergie résultant des améliorations énergétiques importantes. Il devient alors un puissant indicateur de la diminution ou de l'accroissement de la performance globale de l'immeuble. Un suivi de cette nature réalisé en temps réel et au jour le jour devient un puissant tableau de bord pour le personnel d'exploitation, l'éveillant rapidement à toute anomalie de fonctionnement (Chalifour *et al.*, 2010).

1) Modélisation paramétrique

L'étude paramétrique complète est la méthode la plus fiable et la plus précise pour identifier les meilleures solutions du problème.

Un ensemble de paramètres pertinents peut être identifié lors de l'évaluation des résultats des mesures sur le terrain. La deuxième « pierre angulaire », l'étude de modélisation paramétrique, est un processus où l'influence de chaque paramètre (comme l'orientation, la taille des fenêtres, les matériaux de construction ou la ventilation) sur le climat intérieur ou la consommation d'énergie est évaluée. Après une première étape avec des études systématiques de chaque paramètre individuel, un processus plus intuitif suit normalement, où des

combinaisons de paramètres sont étudiées. L'objectif est l'optimisation du système ou la «meilleure solution possible» - et non l'optimisation d'éléments individuels.

De nouveaux concepts, matériaux et techniques de conception, ou des applications innovantes des matériaux et techniques disponibles peuvent également être testés dans cette phase.

Les cas de référence devraient être simplifiés dans la mesure du possible pour être plus représentatifs pour chacun des types de bâtiments, et être plus faciles à manipuler dans la modélisation et les calculs informatiques.

Les cas de référence doivent être représentatifs en termes de:

- Concept général de construction: aménagement fonctionnel, orientation, détachement, cours, etc.
- La taille de l'unité, les portées du toit, les hauteurs de plafond, etc.
- Les dimensions, l'orientation et l'ombrage des ouvertures,
- Matériaux de construction.

A partir d'un ou plusieurs cas de ligne de base, on étudie l'influence de la modification d'un paramètre à la fois, comme la taille de la fenêtre ou le taux de ventilation. Cela peut donner lieu à des réactions positives / négatives ou fortes / faibles, des dimensions optimales, etc.

Enfin, les résultats de ces types-bâtiments doivent être traduits en construction réelle et en recommandations, souvent comme des règles empiriques, parfois quantifiées en normes et réglementations (Rosenlund, 2000).

2) Logiciels de simulation :

*** Généralité :**

Pour permettre de choisir les actions à entreprendre dans le cadre d'un audit énergétique, l'outil de base est la simulation thermique dynamique (STD). La STD permet de faire varier la température des éléments composant un système selon les différentes lois régissant les échanges thermiques (convection, conduction, rayonnement, changement d'état).

L'outil de Simulation Thermique Dynamique (STD) permet de modéliser les bâtiments et de mesurer l'impact de chaque paramètre de la construction sur le niveau de performance énergétique du bâti.

Ce sont des outils beaucoup plus sophistiqués que les modèles précédents. Radford (1978) divise les aides à la conception de ce genre en trois catégories :

- Outil de simulation (Prédiction) ;
- Outil de génération ;
- Outil d'optimisation (Mazouz, 2007).

Bien qu'il y ait un grand nombre de logiciels de simulation de bâtiment sur le marché, la plupart des outils commence à partir du même niveau et sont utilisés de la même manière. La majorité des logiciels « climatiques » se classent dans les catégories de prédiction et d'évaluation. Les modèles mathématiques qui forment les soubassements de ces logiciels peuvent être répartis en catégories de base (S. Mazouz, 2007 d'après Sodha *et al.*, 1986).

c) Méthodes Approximatives :

Parmi ces méthodes on peut citer : la méthode de degrés-jours, Régime permanent, etc. qui sont principalement destinés aux architectes. Elles sont utilisées pour prédire la consommation énergétique moyenne d'un édifice et peuvent être d'une certaine aide dans les premiers stades de l'esquisse.

d) Méthodes Analytique :

Les méthodes analytiques sont basées sur la résolution de l'équation de la chaleur, avec des conditions limites appropriées. Pour des structures complexes, les méthodes des éléments finis sont utilisées pour résoudre l'équation de la chaleur, ce qui nécessite l'utilisation d'ordinateurs puissants. L'intérêt principal de ces méthodes, du point de vue de l'architecte, est de permettre le développement de certaines règles empiriques, car elles ne s'appliquent qu'à posteriori ; c'est-à-dire qu'une fois que la forme de l'édifice dégagée et travaillée en détail (Mazouz, 2007).

Les logiciels de simulation sont utilisés pour la vérification de code de compilation et les calculs de chargement thermique pour dimensionner les systèmes CVC. L'effet de lumière de jour et les gains de chaleur extérieur résultant de l'isolation thermique extérieure présélectionnée, le ratio de la fenêtre au mur dans l'usage de l'énergie et aussi l'évaluation des confort thermique et visuel peuvent être modélisés numériquement en utilisant le programme d'analyse horaire (HAP), Visual-DOE programs package (Awadallah, 2011).

*** Exigence :**

Le programme de simulation doit être un programme informatique pour l'analyse de la consommation d'énergie dans le bâtiment et doit être approuvé par une autorité ayant juridiction. Le programme de simulation doit modéliser les suivants :

- Le débit d'énergie dans une base horaire pour 8760 heures dans l'année ;
- Les variations horaires dans l'occupation, la puissance d'éclairage, la puissance des divers équipements, les réglages de thermostat et l'opération du système CVC, définis pour chaque jour de semaine et des jours fériés ;
- Les effets de la masse thermique ;

- Les zones thermiques ;
- La charge partielle la température dépendant de la performance des équipements de chauffage et de climatisation ;

Toutes les caractéristiques de conception standard spécifiées dans ce bâtiment (Awadallah, 2011). Le tableau 10 présente des exemples de programmes de simulation des paramètres thermiques d'un bâtiment :

Tableau 10. Exemple de programmes ou logiciels de modélisation des bâtiments (source : l'Auteur).

Programme	Développé/Commercialisé par	Applications
COMFIE DIAS 2.1	Ecole des Mines de Paris CUEPE, Université de Genève	Simulation de maisons solaires Données interactives d'architecture solaire
TRNSYS	Solar. Energy Lab. Université Wiscosin - Madison	Simulation des systèmes complexes de l'habitat
TSOL	Valentin Energie software	Simulation dynamique des installations solaires
PVS2.001 ADELINE	Econcept Energieplanung GmbH Lawrence Berkley Nat. Laboratory	Simulation des systèmes PV Simulation complète des bâtiments
DOE-2 METEONORM	Lawrence Berkley Nat. Laboratory Meteotest, Berne, Suisse	Planification et recherche en énergie Modélisation des paramètres climatiques
SPARK Ecotect	Lawrence Berkley Nat. Laboratory SquareOne	Systèmes complexes à objets orientés panel d'analyses et de visualisations, dont des calculs solaire, thermique, acoustique et de coût
Energy plus	US Department of Energy	programme d'analyse et de simulation de chargement thermique
DEROB-LTH	Institut de technologie de Lund L'Université de Lund La Suède	Simulation du comportement dynamique complexe de bâtiments pour différents modèles
DesignBuilder	DesignBuilder Software Limited	Simulation énergétique des bâtiments et un outil de visualisation.

2-9) Conclusion :

Ce chapitre a présenté le concept de la réhabilitation thermique et énergétique dans le bâtiment comme solution rationnelle d'économie d'énergie, ce qui présente un premier pas pour la vérification de l'hypothèse principale de l'étude.

Afin de résoudre la problématique de maîtrise d'énergie dans les bâtiments résidentiels, un état de l'art a été présenté, décrivant les différentes méthodes, techniques et outils de modélisation d'énergie. À la lumière de cette analyse bibliographique, il apparaît que le recours au modèle bottom-up présente plusieurs avantages clés qui en font certainement l'outil le plus approprié. En effet, nous nous concentrerons sur cette méthode, dans le chapitre quatre, pour avoir une vue d'ensemble du parc immobilier de la ville de Tlemcen et de sa

consommation énergétique afin d'améliorer la caractérisation du bâtiment, en augmentant la représentation des typologies dans cette ville.

Cet inventaire partiel permet, également, de soulever un vide épistémique et un manque au niveau local des études spécialisées approfondies à cet égard, et l'absence d'une approche holistique d'une démarche d'évaluation durable de la performance thermique, énergétique et environnementale (PEE) des bâtiments résidentiels appropriée au contexte algérien et magrébin. Cependant, il semble que l'adoption de la méthode d'aide à la décision multicritère, dans la conception ou la réhabilitation des bâtiments, s'avère un choix pertinent afin de contribuer à une optimisation multi-objectif de la PEE. Par conséquent, les variables d'études et les différents critères permettant l'évaluation de la PEE ont été définis.

Afin que notre démarche s'inscrive dans un effort scientifique universel, faisant recours au modèle bottom-up, plusieurs outils d'évaluation et de modélisation d'énergie prouvant leurs efficacité à travers plusieurs exemples cités, tels que : le balisage appelé aussi «*benchmarking*», l'audit énergétique, les outils de calcul suivant la réglementation thermique algérienne et la simulation thermique dynamique par modélisation paramétrique seront utilisés dans les chapitre quatre et cinq pour répondre à l'objectif de l'étude.

Le choix de simuler uniquement les mesures passives se révèle judicieux, en atteste les résultats semblables observés dans les études scientifiques. Cependant, le chapitre suivant se concentrera sur la description de la conception solaire et de ses mesures d'efficacité énergétique (MEÉ) passives contribuant à la rationalisation de la consommation d'énergie. Ce qui nous permettra de bien les cerner pour pouvoir les utiliser dans le modèle du cas d'étude choisi.

Chapitre 3

Conception solaire Passive des bâtiments

Une revue littéraire de l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments a été effectuée pour révéler les techniques utiles qui couvrent les bâtiments. En outre, les principes de la conception solaire passive et des systèmes solaires passifs contribuant à la rationalisation de la consommation d'énergie ont été exposés. Un certain nombre de normes relatives à la conception de l'enveloppe des bâtiments et à leur impact sur la réduction des charges de chauffage et de refroidissement a été présenté en plus de la notion du confort thermique dans le bâtiment.

3-1) Climat en Algérie :

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral. Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type continental avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais. Le climat est désertique vers le Sud au delà de la chaîne montagneuse de l'atlas saharien. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité très marquante entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest. A la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. En effet, la région Est du pays est plus pluvieuse par rapport à la région Ouest. La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance aussi vers le Sud et l'Ouest. Au Sud de l'atlas saharien, les précipitations annuelles tombent à moins de 100 mm, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert. (<http://www.algerie-meteo.com/>) (voir figure 23).

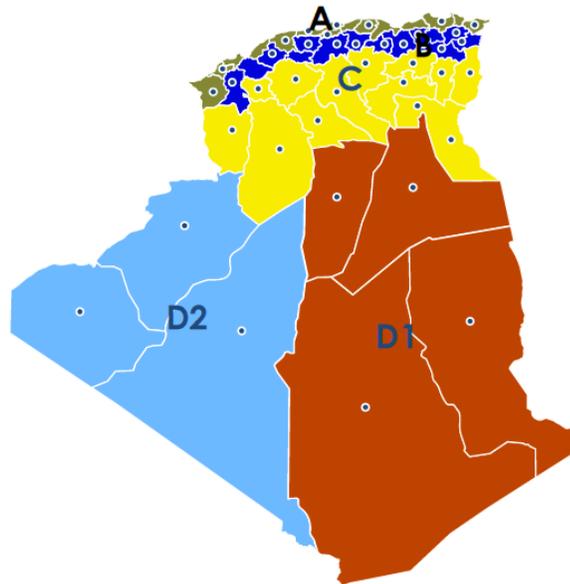


Figure 23. Les zones climatiques en Algérie
(Source : Ouahabe, 2015)

3-2) Soleil et bâtiment: Interactions entre le bâtiment et son environnement

قال الله تعالى: بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
 "والشمس تجري لمستقر لها ذلك تقدير العزيز العليم"

(سورة يس – الآية 38)

Dieu Tout-Puissant a dit: Au Nom de Dieu, Celui qui fait miséricorde, le Miséricordieux.

« Le soleil qui chemine vers son lieu de séjour habituel :
 tel est le décret du Tout-Puissant, de celui qui sait ! ».

(Verset 38, Sourate Ya. Sin)

Le soleil a toujours occupé une place de premier ordre dans le processus de conception architecturale, il n'en demeure pas moins qu'il reste d'une grande complexité. Le soleil pose un problème d'intégration dans le processus global de conception que du fait que ce facteur intervient à des niveaux différents, impose des connaissances diversifiées et génère des situations différentes. Depecker (1985) a scindé en deux parties les savoirs inhérents au soleil : il s'agit de notions particulièrement géométriques sur le soleil « géométrie du soleil » d'une part, et des notions énergétiques d'autre part. Et précise qu'il existe des relations entre ces deux parties (figure 24). De même qu'une analyse thermique ne peut se concevoir indépendamment d'une analyse géométrique, certaines analyses géométriques n'ont de sens que si elles sont prolongées par des analyses thermiques (Maazouz S., 2007).

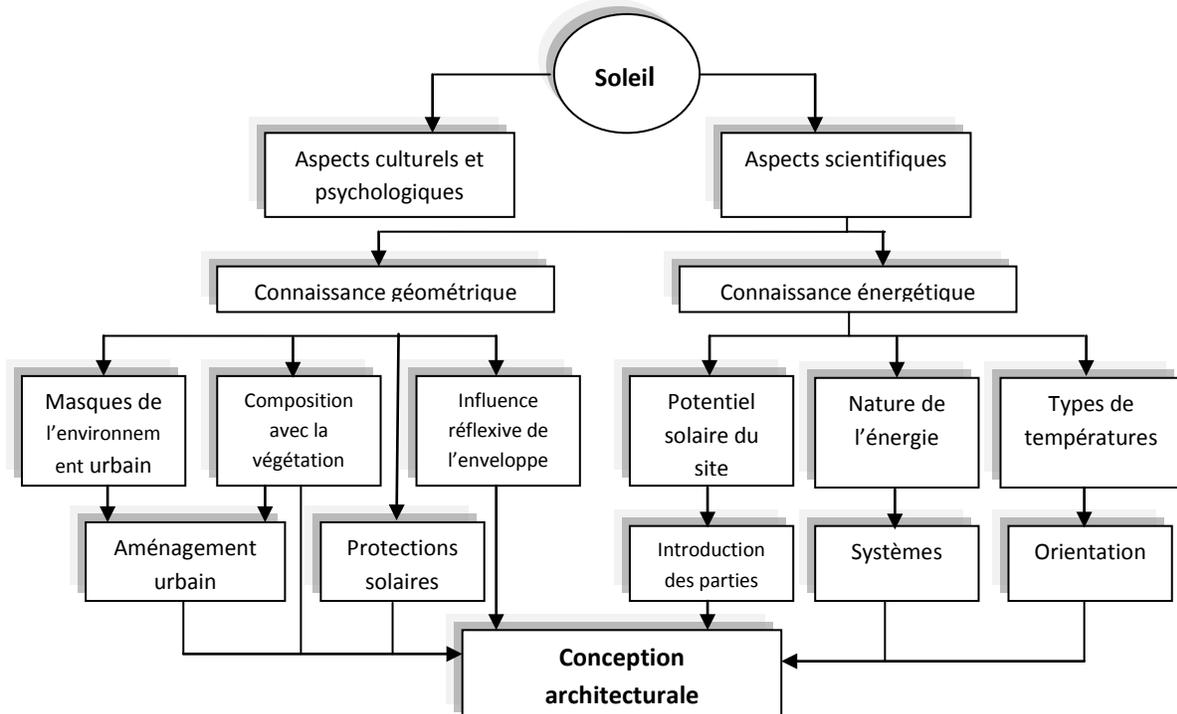


Figure 24. Les aspects complexe reliés au soleil (source : Maazouz (2007) d'après Depecker (1985))

L'énergie des rayons du soleil peut être utilisée pour fournir de la chaleur ou de l'électricité. Les radiations solaires sont de deux catégories principales : celles de chaleur (les rayons infrarouges) et celles de lumière (allant du rouge à l'ultraviolet). L'énergie solaire est utilisée de plus en plus, mais ce n'est pas une bonne source d'énergie en n'importe quel endroit. La quantité d'énergie solaire disponible en un endroit particulier dépend de sa proximité de l'équateur et des nuages qui couvrent ou non le ciel. L'énergie solaire est la plus abondante dans les déserts tropicaux tels que le Sahara, où les rayons solaires sont les plus puissants et les nuages les plus rares. Actuellement, l'énergie solaire est utilisée surtout pour chauffer de l'eau à usage domestique (Arnold Guy & Carlier François, 1992, p.24), et aussi pour la production de l'électricité. Le soleil, rayonne à environ 6000K. Il émet une énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Les longueurs d'onde dans lesquelles le maximum d'énergie est émis recouvrent le visible et l'Infrarouge (IR). Le rayonnement recouvre à la fois les aspect lumineux (éclairage lumineux) et énergétiques (rayonnement solaire). La constante solaire de 1353 W/m² est l'énergie atteignant une surface normale aux rayons solaires dans les couches supérieures de l'atmosphère. L'effet de la traversée de l'atmosphère qui réfléchit, absorbe ou diffuse le rayonnement solaire réduit considérablement cette valeur.

Ainsi à la surface de la terre, le rayonnement solaire comprend : 5% d'UV, 40% de lumière visible et 55% d'IR porteurs essentiels de l'énergie thermique. Au niveau de l'IR on distingue les courtes des grandes longueurs d'onde. Une fois émis par le soleil, le rayonnement atteint la surface des corps et subit suivant leurs propriétés de surface certaines transformations.

La densité de flux solaire incident au niveau d'une paroi, provient de trois composantes : la composante directe, la composante diffuse et la composante réfléchie. La composante directe correspond au flux solaire qui atteint directement la paroi quand celle-ci est exposée au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil (réduction atmosphérique) et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré (Kaboré, 2015).

3-3) Les échanges thermiques dans le bâtiment

Dans un bâtiment, les transferts d'énergie prennent principalement la forme de transferts de chaleur et de matière. Ces transferts ont pour origine la tendance naturelle de la chaleur à transiter des zones chaudes vers les zones froides, celle de l'air à se déplacer des zones de haute pression

vers les zones de basse pression et celle de la vapeur d'eau à migrer des zones les plus humides vers les plus sèches.

Le transfert de chaleur au travers d'une paroi se déroule selon trois mécanismes combinés : conduction, convection et rayonnement. En général, pour qu'un échange se produise naturellement, il faut qu'un des corps en présence soit plus chaud (+). D'après le second principe de la thermodynamique, la chaleur se dirigera vers le corps ou l'endroit le plus frais (-) (D. Wright, 2004, p.64).

3-3-1) Transferts de chaleur par convection : c'est le phénomène qui décrit l'échange de chaleur entre un fluide et une surface, ou entre deux fluides. Les échanges sont proportionnels aux gradients de température (différence de température) et à la surface d'échange. Le coefficient de convection dépend fortement de la vitesse du fluide.

3-3-2) Transferts de chaleur par rayonnement : c'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces. Les échanges par rayonnement sont proportionnels à l'émissivité (ϵ) du matériau au facteur de forme (surface apparente) des surfaces les unes par rapport aux autres et dépendent de la transparence du milieu traversé

3-3-3) Transferts de chaleur par conduction : c'est le transfert de chaleur au sein d'un solide. La conductivité thermique (λ) et la capacité calorifique (c_p) sont des propriétés clés de la conduction des matériaux (Denker *et al.*, 2014).

Les transferts de chaleur se font spontanément d'un corps chaud vers un corps plus froid. Le confort thermique écologique consiste entre autres à réguler ingénieusement ces transferts (Courgey et Oliva, 2006).

3-4) Propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment :

Le choix des matériaux de construction des bâtiments est l'un des facteurs les plus évidents qui influe sur l'usage de l'énergie dans le bâtiment. Tous les matériaux de construction traitent la résistance thermique et la capacité thermique (l'inertie) dans différentes proportions. Ces propriétés sont plus au moins opposées l'une à l'autre, et il y a trois facteurs qui influent sur elles :

- **La Densité** « *Density* » ρ (kg/m^3) : Joue un rôle important pour les propriétés thermiques : plus le matériau est léger, il est plus isolant et plus il est lourd, plus il stocke la chaleur.
- **La Conductivité thermique** « *Thermal Conductivity* » λ ($\text{W/m}^\circ\text{K}$) : est la possibilité de conduire la chaleur. Les matériaux isolants ont une conductivité basse.

Ordre de grandeur de λ (W/m²K) ;

- Matériaux très conducteurs (métaux) : entre 50 et 450 W/m.²C ;
- Matériaux conducteurs (béton, pierre, etc.) : de 1 à 10 W/m.²C ;
- Matériaux mauvais conducteurs (brique, bois, plâtre, etc.) : de 0.1 à 1 W/m.²C ;
- Matériaux isolants (liège, laine de roche, laine de verre, polystyrène polyuréthane, etc.) : entre 0.03 et 0.1 W/m.²C.

Plus λ est élevée, moins le matériau est isolant. Le coefficient λ dépend de plusieurs facteurs, notamment de l'humidité du matériau, l'humidité fait croître la valeur de λ puisque l'air est remplacé par l'eau dont la conductivité est 25 fois plus forte. Conséquence : lorsqu'on indique une valeur de λ , il faut toujours préciser la température et le degré d'humidité du matériau lors de la mesure. Pour le bâtiment, on utilise la conductivité thermique dite utile, c'est-à-dire la conductivité thermique qui correspond à un matériau humide tel que rencontré dans la pratique (*Op. cit.*, 2014, pp. 29-30).

- **La chaleur Spécifique** « *Specific heat capacity* » : c_p (Wh/kg²K), ou la capacité calorifique (VHC= $c_p\rho$ Wh/m³K), qui indique combien d'énergie peut être emmagasiner dans le matériau (voir tableau 11) (Rosenlund *et al.*, 2005).

Tableau 11: propriétés thermique de quelque matériaux de construction
(Source: Rosenlund & Al., Building issues, 2005, volume 15, n°1, p.7).

<i>Matériaux</i>	<i>Densité</i> ρ , kg/m ³	<i>Conductivité</i> <i>thermique</i> λ , W/m ² K	<i>Chaleur</i> <i>Spécifique</i> c_p , Wh/kg ² K
Blocs Adobe	1,000-1,700	0.3-0.8	0.28-0.30
Aluminium	2,700-2,800	160-200	0.25
Briques	1,200-2,000	0.42-0.96	0.25-0.30
Argile	1,600-2,000	0.45-0.9	0.22-0.24
Béton	2,200-2,400	1.2-2.0	0.23-0.30
Liège expansé	115-200	0.043-0.052	0.47-0.58
Béton léger	200-1,600	0.08-0.80	0.27-0.31
Laine naturelle	20-300	0.043-0.049	0.18-0.21
Polystyrène	15-130	0.033-0.039	0.47
Polyuréthane	30	0.026	0.47
Sable	1,500-1,700	0.40-0.50	0.23
Acier	7,800	50-60	0.13
Pierre	2,000-2,800	1.3-3.5	0.20-0.25
Bois	500-900	0.14-0.16	0.66-0.76

3-5) Confort thermique ou thermohygrométrie :

Le confort ne dépend pas seulement de la température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant. C'est pour cela que l'on parle précisément de confort thermo hygrométrique.

3-5-1) Les aspects thermiques :

La sensation de confort thermique est l'expression du bien-être d'un individu en rapport avec la chaleur. Elle est le résultat de l'interaction entre l'individu et son environnement (Bodart, 2002). Le corps ne peut pas se maintenir à sa température normale de 37°C que s'il peut constamment dissiper dans le milieu où il est, au rythme de ses activités, la chaleur qu'il ne consomme pas. Cette dissipation se produit selon les mécanismes suivant :

- Par rayonnement (échange avec les parois du local) ;
- Par convection (échange avec l'air) ;
- Par évaporation (de l'eau du corps) ;
- Par conduction (par les pieds en contact avec le sol) (*Op. cit.*, 2014)

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement (Liébard et De Herde, 2005). Le niveau de confort thermique est influencé par l'activité et la tenue vestimentaire de l'individu d'une part et par les caractéristiques physiques de l'ambiance dans laquelle il se trouve, d'autre part. Mais la sensation de confort peut aussi être influencée par d'autres éléments comme l'état de santé, l'âge ou l'état psychologique de l'individu.

D'après Bodart (2002) et comme l'indique la figure 25, la sensation de confort thermique dépend de 8 paramètres. Trois sont relatifs à l'individu :

- Le métabolisme
- L'habillement
- La température du corps

Les quatre autres concernent l'ambiance dans laquelle l'occupant se trouve :

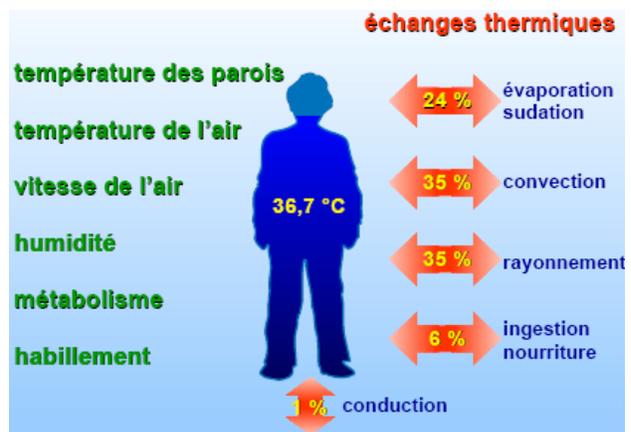


Figure 25 : les pertes thermiques du corps humain dépendent de 6 paramètres physiques (Source : Liébard et De Herde, 2005)

- la température ambiante
- la température des parois
- l'humidité relative
- la vitesse de l'air

a) le métabolisme :

Le métabolisme représente la production de chaleur interne du corps humain nécessaire pour le maintenir à la température constante de 36,8°C. La température du corps humain étant généralement supérieure à celle de l'ambiance, il doit donc compenser les pertes de chaleur vers celle-ci. Le métabolisme est représenté par

l'effort physique dépensé dans une activité, rapporté à l'unité de surface du corps de l'individu : il s'exprime en W/m^2 .

Le métabolisme de base est celui d'un individu normalement constitué et au repos. Il est évalué à environ $45W/m^2$, soit un effort de 80W pour une surface du corps humain fixée en moyenne à $1,8 m^2$.

Le métabolisme de travail s'ajoute au métabolisme de base afin de compenser le travail effectué par l'individu par une production de chaleur supplémentaire (voir tableau 12).

Tableau 12. Taux métaboliques en faisant différentes activités (moyenne pour adultes) (source : ASHRAE Handbook, 1997)

<i>Activité</i>	<i>met*</i>	<i>Taux métabolique (W)</i>
Dormir	0.7	75
Se reposer	0.8	85
S'asseoir	1.0	105
Se tenir debout, se relaxer	1.2	125
Travailler sur l'ordinateur	1.2-1.4	125-145
Cuisiner	1.6-2.0	170-210
Faire le ménage	2.0-3.4	210-350
Marcher (niveau, 3-6km/h)	2.0-3.8	210-400
Danser, gymnastiques	2.4-4.4	250-460
Travailler sur machine lourde	3.5-4.5	370-470
Travail de prise et de pelle	4.0-4.8	420-500

*1met= 58 W/m^2 de la surface du corps

a) L'habillement :

L'habillement représente une résistance thermique aux échanges de chaleur qui ont lieu entre la surface de la peau et l'ambiance (tableau 13).

Tableau 13. Valeurs approximatives des clo pour vêtements variés (Source: Rosenlund, 2000)

	<i>Clothing</i>	<i>Clo*</i>
<p>b) La température du corps :</p> <p>La température du corps prise en considération est la température de surface du corps ou température de la peau. Celle-ci n'est pas constante : elle varie principalement en fonction du métabolisme et de l'habillement (Bodart, 2002) (Liébard et De Herde, 2005).</p>	Nud	0
	Short	0.1
	Short de marche + chemise à manches courtes	0.4
	Jupe au genou + chemise à manches courtes + collants	0.5
	Pantalons + chemise	0.6
	Pantalon de survêtement + chemise de survêtement	0.7
	Pantalons + chemise + veste	1.0
	Jupe au genou + chemise à manches longues + demi-slip + collants + pull à manches longues ou veste	1.0-1.1
	Men's heavy three-piece business suite	1.5
	Men's heavy suite + woollen overcoat	2.0-2.5
	*L'unité clo= 0.155 m ² K/W	

c) La température ambiante :

La température ambiante est un des facteurs les plus importants car plus de 50% des pertes de chaleur du corps humain se font par convection et évaporation avec l'air ambiant (Bodart, 2002) (*Op. cit.*, 2005). Elle traduit le confort général dans un local. Mais cette exigence varie selon les individus et selon le type d'activité. On considère généralement qu'en hiver, la température d'ambiance doit être proche de 20°C. en été, on vise une température comprise entre 24 et 27°C (Denker *et al.*, 2014).

d) La température des parois :

La température de surface des parois, dite température moyenne de rayonnement, est la moyenne des températures des parois qui délimitent l'ambiance considérée, proportionnellement à leurs surfaces. Ce paramètre influence principalement les pertes de chaleur par rayonnement et subsidiairement les pertes par conduction à l'endroit des contacts entre l'individu et les parois (*Op. cit.*, 2005).

e) L'humidité relative :

L'humidité relative de l'air est le rapport exprimé en % entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à la même température. Ce facteur influence le confort du fait que les échanges thermiques ont lieu également par

évaporation à la surface de la peau. Entre 30% et 70%, l'humidité relative n'influence pratiquement pas la sensation de confort thermique (*Ibid.*, 2005).

. Une trop faible humidité peut provoquer l'irritation des muqueuses (Denker *et al.*, 2014).

f) La vitesse de l'air :

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau (Bodart, 2002).

g) le renouvellement de l'air :

Une autre exigence concerne le renouvellement de l'air nécessaire à l'évacuation du gaz carbonique, des poussières, des odeurs et à l'alimentation en oxygène nécessaire à la respiration. On admet qu'il suffit, dans un logement, d'un taux de renouvellement d'air égal en moyenne à une fois le volume des pièces principales par heure (*Op. cit.*, 2014).

h) Les critères de gênes localisés

A coté des critères définis plus haut, il faut faire intervenir d'autres critères traduisant des gênes localisés liées à des hétérogénéités de l'ambiance thermique. On distingue principalement le gêne due à l'asymétrie du rayonnement. C'est le cas par exemple lorsqu'une paroi est nettement plus froide que les autres (une grande baie vitrée par exemple) provoque un fort échange par rayonnement appelé souvent effet de la paroi froide (*Ibid.*, 2014).

3-5-2) Le confort thermique :

Comme le corps humain se trouve à une température interne constante et qu'il ne s'y produit pas d'accumulation de chaleur, il ne peut que perdre la chaleur produite par le métabolisme. Lorsqu'il y a équilibre entre la production de chaleur interne et les pertes thermiques du corps, la sensation de confort thermique est optimale. Cet équilibre dépend des sept paramètres du confort thermique et plus précisément de six d'entre eux : en effet, la température de la peau est fonction du métabolisme et de l'habillement. Le confort thermique dépend donc du métabolisme, de l'habillement, de la température ambiante, de la température de surface des parois, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air. Chaque combinaison des six paramètres donne un niveau de confort ou d'inconfort thermique. D'autres combinaisons des paramètres peuvent donner le même niveau de confort ou d'inconfort. Enfin, certaines combinaisons donnent le niveau de

confort thermique optimal : chacune de ces combinaisons est définie par la température de confort thermique appelée « température opérative optimale ».

Mais le corps humain possède un mécanisme de régulation qui, sans intervention de la volonté de l'individu, adapte ses pertes de chaleur aux conditions thermiques de l'ambiance. Ce mécanisme d'autorégulation laisse apparaître une zone où les variations de sensation de confort thermique est faible : c'est la zone dite de confort thermique (Liébard et De Herde, 2005). Ainsi, dans une situation donnée, la température opérative peut varier dans une certaine mesure autour de la température de confort thermique sans que le niveau de confort thermique de l'individu ne soit modifié. Il existe donc pour chaque situation une plage de température confortable. C'est ce qui explique qu'en été la température opérative peut être élevée afin d'éviter aussi l'effet du choc thermique lorsqu'une personne pénètre dans un bâtiment.

Cette zone étant déterminée, la sensation de confort peut aussi être influencée par d'autres éléments comme l'état de santé, l'âge ou l'état psychologique de l'individu. Dans chacun de ces cas, il faudra admettre une température d'ambiance différente qui peut être située hors de la zone de confort thermique. De plus, la qualité ou « chaleur » humaine qui entoure l'individu participe à la sensation de confort ou d'inconfort. Enfin, la possibilité d'une intervention personnelle sur la détermination des caractéristiques de l'ambiance de son lieu d'activité est importante si on veut éviter tout sentiment de frustration ou d'enfermement et donc d'inconfort (Bodart, 2002) illustré dans le tableau 14.

La Température Effective Standard « *Standard Effective Température* » (*SET*) développée par Gagge *et al.* (Markus et Morris 1980) décrit un environnement uniforme avec :

- 50% d'humidité relative,
- Une vitesse de l'air de 0.125 m/s,
- Un niveau d'activité de 1 met (s'asseoir) et
- Des vêtements de 0.6 clo (vêtements d'intérieur).

Une température d'air de 20°C dans ces conditions résulte dans une température effective standard de 20°C. Un changement dans n'importe quel paramètre va résulter un changement de température effective standard (Rosenlund *et al.*, Building issues, 2000).

Tableau 14. Échelles de sensation Thermique (Basé d’une part sur Markus et Morris 1980) (Source: Rosenlund, 2000,)

	<i>ASHRAE</i>	<i>Fanger (PMV)</i>	<i>Rohles Nevins</i>	<i>&Gagge’s DISC</i>	<i>SET (°C)</i>
Pénible			+5	+5	
Très chaud			+4	+4	37,5–
Chaud	7	+3	+3	+3	34,5–37,5
Chaud	6	+2	+2	+2	30,0–34,5
Légèrement chaud	5	+1	+1	+1	25,6–30,0
Neutre	4	0	0	±0.5	22,2–25,6
Légèrement frais	3	-1	-1	-1	17,5–22,2
frais	2	-2	-2	-2	14,5–17,5
froid	1	-3	-3	-3	10,0–14,5
Très froid			-4	-4	

Pour les conditions internes la « température opérative » définissant principalement une moyenne de température entre l’air et les surfaces qui l’entourent peut être utilisée pour les évaluations du confort (ibid., p.8).

$$Top = (Ta + TMR) / 2$$

Où :

Top température opérative

Ta température de l’air

TMR température moyenne radiante

$$Top = (Ta + (\sum TiAi) / \sum Ai) / 2$$

Où :

Top température opérative

Ta température de l’air

Ti température de surface

Ai surface de zone

3-5-3) Approche de zone de confort :

Il existe différentes approches scientifiques de confort. La plus exacte découle des travaux de P.-O. Fanger, qui utilise des données statiques sur les ressentis de confort. La qualité du confort atteint dans des conditions données est jugée par une note, complémentaire à 100 d'un vote moyen prévisible, obtenue à partir d'un pourcentage prévisible d'insatisfaits (DISC index). Cette approche, complexe, peu adaptée aux climats chauds et plutôt destinée à l'étude du confort dans les conditions extrêmes, n'est pas pratique pour les architectes (voir figure 26).

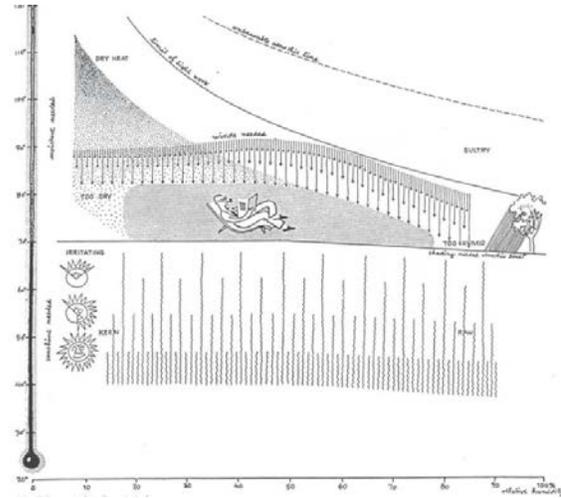


Figure 26. Approche de zone de confort (Source : Olgyay, V: *Design with Climate*. Princeton University Press 1963.

Une autre approche, plus ancienne et plus connue, est due aux travaux de B. Givoni. Elle est adaptée aussi bien aux climats chauds qu'aux froids. Pour une activité donnée, la personne étant supposée suffisamment raisonnable pour se vêtir de façon pratique en fonction des conditions d'ambiance, le confort peut être obtenu à l'intérieur d'une « zone de confort » définie seulement par une température et la pression partielle de vapeur d'eau. Cette approche, moins scientifique que celle de P.-O. Fanger en raison des approximations faites, semble suffisamment précise pour éclairer un concepteur, plus généraliste que spécialiste. Il faut seulement avoir conscience que les limites des zones de confort sont sujettes à une certaine imprécision, et que le concepteur reste maître d'une certaine appréciation (Fernandez et Lavigne, 2009).

La définition la plus commune de la « zone de confort » est $DISC \pm 0.5$, qui veut dire que 80% de la population est satisfaites, bien que les limites s'étendent jusqu'à $DISC \pm 1$, par exemple, 70% satisfaites, peut être proposé pour des situations où les ressources sont limitées. Il y a aussi l'évidence d'adaptation géographique et saisonnière liées à la moyenne mensuelle de la température, et les facteurs psychologiques, comme par exemple l'attente, a été trouvée qu'elle joue aussi un rôle important dans la sensation du confort (Rosenlund *et al.*, 2005) (voir figure 27 et 28).

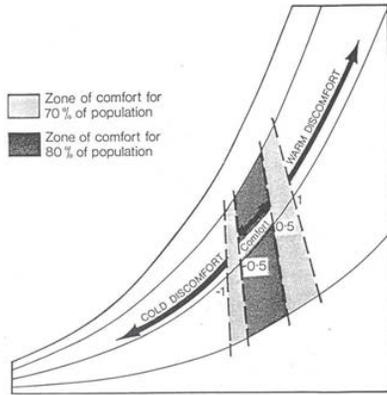


Figure 27. un exemple de diagramme de confort pour DISC ± 0.5 ; 0.6-1.0 habillement Image source: Markus, T A and E N Morris: *Buildings, Climate and Energy*. Pitman, London 1980.

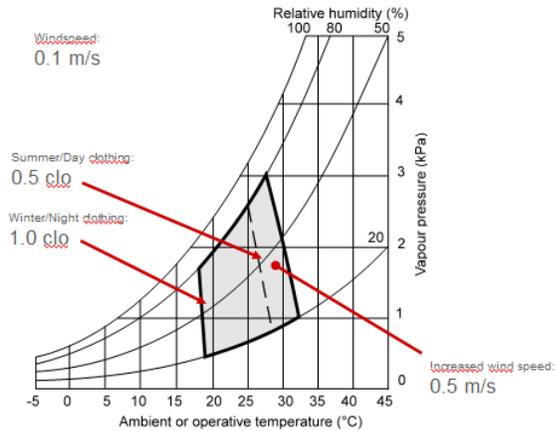


Figure 28. l'interprétation de Rosenlund *et al.* du même exemple de diagramme de confort pour DISC ± 0.5 ; 0.6-1.0 habillement (les limites supérieure et inférieure respectivement) ; 1 met ; $v = 0.1-0.5$ m/s (la valeur la plus élevée à droite de la ligne en pointillés). (Source : Rosenlund, 2000).

3-5-4) Relation avec d'autres facteurs :

D'autres facteurs en plus de ceux cités avant peuvent aussi influencer la sensation de confort. L'âge le sexe et l'adaptation ont une influence réduite et même négligeable pour la plupart des chercheurs. Les conditions psychologiques, la santé, la qualité de l'air et les influences acoustiques et optiques peuvent également être mentionnées, mais sont difficiles à quantifier.

Les conditions thermiques pour une bonne performance peuvent ne pas coïncider complètement avec la zone de confort, mais elles sont plus liées au niveau d'éveil, comme le démontre la figure 29.

Les balances de température larges peuvent élever les taux de travail, bien qu'elles causent un inconfort thermique. Les conditions pour une performance optimale dans le travail physique et mental sont normalement différentes. Dans des conditions froide, le cerveau a une haute priorité, et la performance mentale est par conséquent moins affectée que dans un environnement chaud. Le déséquilibre dans la balance thermique de l'environnement entourant peut aussi affecter la performance thermique. Un plafond chaud ou une fenêtre large et froide peut causer l'inconfort, bien que la température moyenne radiante et la température opérative soient à l'intérieur de la zone de confort (Rosenlund, 2000).

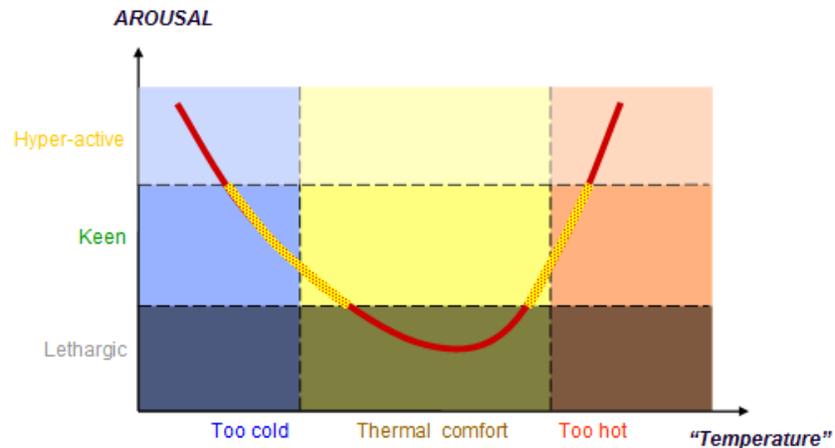


Figure 29. Température et éveil. Un niveau d'éveil adéquat ne coïncide pas toujours avec la zone de confort. Il est possible de l'avoir quand il fait trop froid ou trop chaud, et il peut coïncider avec la zone de confort, comme l'indique la figure ci-dessus (Source : Rosenlund, 2000).

Finalement, la situation économique influe aussi sur les attentes de confort, et ça ne peut pas être considéré comme un facteur psychologique (*Ibid.*, 2000).

3-6) Conception bioclimatique

L'appellation bioclimatique désigne un concept architectural qui tire le meilleur parti des conditions d'un site et de son environnement afin d'assurer un meilleur confort et de parvenir à une réduction significative de la consommation énergétique. Cela consiste souvent à revenir des principes simples, mais chargés de bons sens, largement délaissés depuis plusieurs décennies en construction (<http://mamaisonbioclimatique.blogspot.fr/p/une-maison-bioclimatique-cest-quoi.html>). Le processus de conception climatique nécessite une attention particulière. Plusieurs méthodes ont été proposées par les chercheurs pour intégrer le savoir environnemental et climatique dans le processus de conception architecturale et ce depuis les années soixante. Parmi les méthodes proposées, il n'existe que très peu de méthodes systématiques qui prennent en considération l'aspect climatique dans le cadre de la stratégie globale du processus de conception. Parmi ces méthodes on peut citer celle de Givoni, d'Olgay, de Szockolay, Koenigsberger, Evans et Mahoney.

3-6-1) Les grands principes de l'architecture bioclimatique :

Le bioclimatisme a pour principe de tirer parti des effets bénéfiques du climat pour la réalisation de projets durables et cohérents avec leur environnement.

Cette notion repose sur plusieurs volets :

- Une prise en compte de la végétation et du relief environnant afin de se protéger du vent, de permettre de créer de la fraîcheur et de l'ombre en été, tout en favorisant au maximum les apports solaires en hiver ;
- Une conception compacte et une bonne orientation du bâtiment ;
- Un dimensionnement des ouvertures et des protections solaires réfléchies afin de profiter pleinement des apports solaires passifs en hiver tout en s'en protégeant convenablement l'été ;
- Une isolation et une inertie thermiques des bâtiments adéquates en fonction de l'usage de ces derniers.

A l'échelle de l'urbanisme, l'approche bioclimatique s'attachera donc à construire des formes urbaines et des aménagements (parc, points d'eau, végétation, etc.) qui favorisent les apports solaires en hiver, protègent des vents dominants et apportent de la fraîcheur en été (de Gramont et *al.*, 2015). (Voir figure 30).

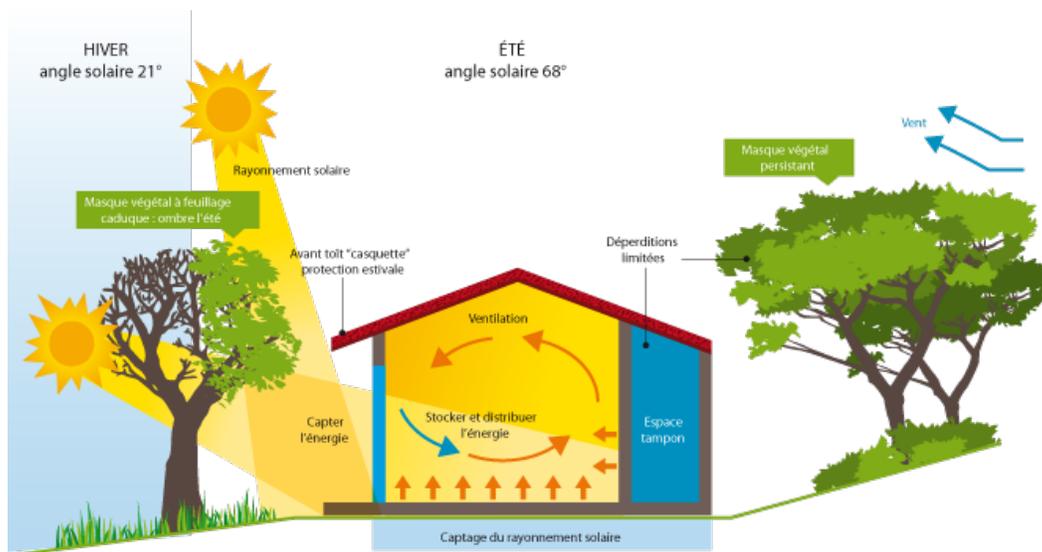


Figure 30. Schéma représentant les principes de l'architecture bioclimatique (source : de Gramont *et al.*, 2015, p. 76 d'après mamaisonbioclimatique.blogspot.fr).

3-7) Conception solaire :

L'énergie solaire est dorénavant considérée comme une des alternatives incontournables pour contribuer à la diminution des gaz à effet de serre du secteur du bâtiment. Et ce en application de trois grands principes :

1. La première approche utilisant le « solaire passif » consiste à concevoir et/ou corriger un bâtiment afin qu'il présente des caractéristiques thermiques performantes.
2. L'utilisation de l'énergie solaire pour la production de l'eau chaude, le « solaire thermique », est particulièrement complémentaire des systèmes fonctionnant avec la « vectrice eau chaude ».
3. L'énergie solaire peut également être utilisée pour la production d'électricité : le « solaire photovoltaïque » (Liébard *et al.*, 2007).

3-8) Conception solaire passive :

Vu que le soleil conduit chaque aspect du climat, c'est logique de décrire les techniques adoptées dans les bâtiments pour prendre l'avantage de ce fait comme « la conception passive ». La réponse la plus fondamentale est indiquée comme « la conception solaire passive ». Dans ce cas là, les bâtiments sont conçus pour prendre tout l'avantage du gain solaire sans aucunes opérations intermédiaires.

L'accès à la radiation solaire est déterminé par quelques conditions :

- La position du soleil relative aux façades principales du bâtiment (l'altitude du soleil et azimut) ;
- L'orientation et l'inclinaison du site ;
- Obstructions existants dans le site ;
- Potentiel pour éclipser à partir des parties externes des obstructions les limites du site (Smith, 2002).

Facteurs de l'analyse solaire d'après Mazouz (2007) :

- Implantation d'un bâtiment ;
- Dispositions des différents espaces et activités par rapport au zoning climatique induit par la course du soleil ;
- Analyse des masques, reliefs lointain, proximité de bâtiments dans un contexte urbain ;
- La végétation

La position du soleil dans l'hémisphère céleste à tout moment peut être déterminée en fonction de deux angles : l'altitude et l'azimut.

L'altitude est définie comme l'angle vertical défini par l'observateur et la projection de cette droite sur le plan horizontal.

L'azimut est l'angle horizontal entre la projection sur le plan horizontal et le sud. La connaissance des angles solaires en relation avec une latitude donnée permet de contrôler l'ensoleillement et la lumière du jour. Divers diagrammes solaires sont disponibles pour les latitudes principales. Les angles solaires peuvent être lus directement sur ces diagrammes et diverses applications peuvent être réalisées comme le calcul de la période d'ensoleillement, la vérification de l'accessibilité solaire ainsi que la conception des protections solaires. Diverses projections sont employées, notamment la projection stéréographique, la projection frontale etc. L'une des méthodes par laquelle l'accès solaire peut être évalué est l'usage de quelques formes du diagramme solaire. Le plus souvent utilisé est le stéréographique de diagramme solaire (voir figure 31 angle solaires/stéréographique).

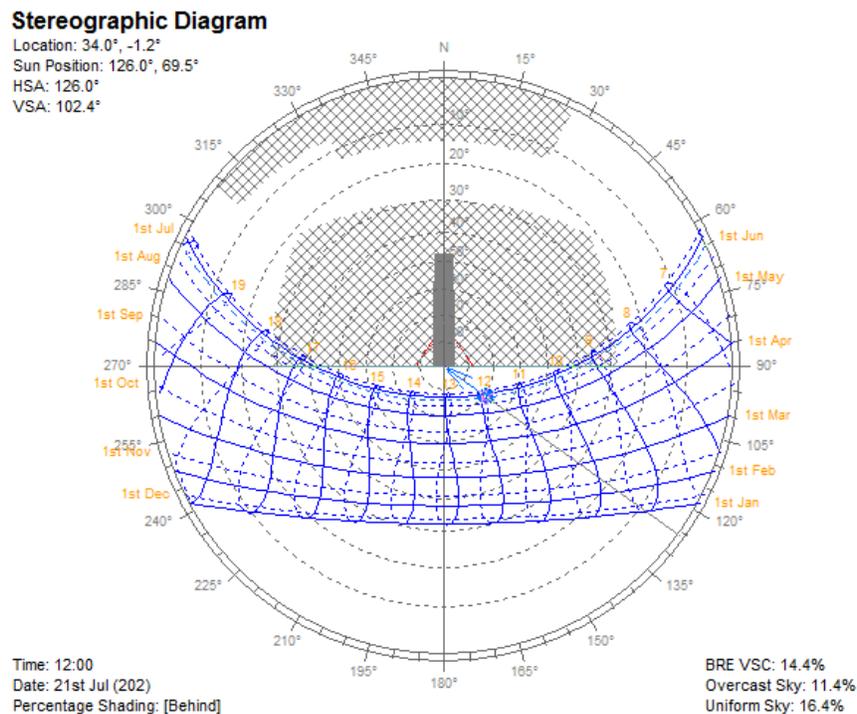


Figure 31. Projection stéréographique du parcours du soleil pour le cas de Tlemcen (source : Autodesk® ECOTECH™- Analysis 2010-Solar Tool).

3-8-1) Recommandation pour la conception passive dans les zones climatiques en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique, d'où une large variété géographique et climatique allant du territorial au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales :

Zone A : littoral marin ; Zone B : arrière littoral montagne ; Zone C : haut plateaux (semi-aride) ;
 Zone D : présaharien et saharien (aride).

La conception du bâtiment doit être conçue suivant les zones climatiques. Pour cela, certains critères de base sont à prendre en considération pour chaque site d’implantation. Le tableau suivant va résumer les caractéristiques et les recommandations de conception dans chaque climat :

Tableaux 15. Les caractéristiques et les recommandations de conception dans différentes zones climatiques en Algérie (Source : l’Auteur d’après Denker *et al.*, 2014 ; Maazouz, 2007)

e climat	Caractéristiques	Dispositifs à entreprendre
Littoral marin tempéré	Hivers doux et pluvieux et étés chauds et humides	<p>Minimiser les pertes de chaleur</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une bonne organisation des espaces ; ➤ Une forme compacte des bâtiments ; ➤ Une bonne isolation des murs et des toitures ; ➤ Des dimensions de fenêtres aussi réduites que possible à l’Ouest, l’Est et au Nord tout en assurant un éclairage suffisant ; ➤ Des fenêtres à faible coefficient de déperditions thermiques au moins sur les façades Ouest, Nord et Est ; ➤ Des protections nocturnes isolantes des fenêtres ; ➤ Une ventilation contrôlée. <p>Maximiser les apports de chaleur</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une façade principale orientée au Sud ; ➤ Des vitres sud permettant de capter les apports solaires et préchauffer l’air neuf ; ➤ Un stockage de ses apports par l’inertie thermique des parements ; ➤ Un espace à déterminer entre les bâtiments pour éviter l’ombrage en prévoyant des dessertes. <p>Réduire des apports de chaleur moyenne</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des protections solaires des vitres, murs et toitures ; ➤ Une bonne inertie thermique associée à une ventilation nocturne ; ➤ Une bonne ventilation des serres, vérandas et combles ; ➤ Un aménagement des espaces verts extérieurs proches afin de réduire la température extérieure ; ➤ Une réduction des réverbérations extérieures par espaces verts ; ➤ Des couleurs réfléchissantes pour les murs et les matériaux extérieurs.
Arrière littoral montagne	Etés chauds et secs et hivers froids et plus ou moins humides	<p>En plus de ce qui est cité ci-dessus, il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Réduire la surface bâtie (compacité) et minimiser la forme ; ➤ Une isolation renforcée de l’enveloppe du bâtiment ; ➤ Une masse thermique plus importante des murs et des planchers ; ➤ Une diminution des surfaces des parois vitrées et des ouvrants côté Sud ; ➤ Une bonne orientation du bâtiment, pour chauffer plus pendant l’hiver.

Aride et semi-aride	Etés longs, très chauds et très secs et des hivers très froids	Pour atténuer l'effet de la fluctuation de la température qui est la base de l'inconfort, il est recommandé	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une orientation de la bâtisse ; ➤ Un ombrage par brise soleil horizontaux et verticaux pour diminuer la charge de climatisation ; ➤ Usage des matériaux de grande inertie thermique en plus de la ventilation nocturne ; ➤ Une diminution des ouvertures ; ➤ Prévoir des conduits d'aération pour assurer une bonne circulation de l'air à travers la construction
---------------------	--	---	--

3-9) Techniques passives :

Historiquement, les techniques passives étaient la seule façon de refroidir les bâtiments, tandis que le chauffage pouvait être obtenu en brûlant du bois ou du charbon.

Il existe maintenant des moyens techniques qui permettent à la conception du bâtiment d'ignorer le climat ; mais si cela est techniquement possible, il existe encore de bonnes raisons d'adopter des techniques passives, non seulement économiques, mais aussi de promouvoir la durabilité environnementale aux niveaux local et mondial.

«Passif» a changé son sens pour inclure ce qu'on appelle les techniques hybrides, c'est-à-dire l'utilisation limitée d'équipements à faible énergie tels que les ventilateurs de pompe et de plafond ou de table si leur COP (coefficient de performance : la relation entre la production d'énergie et l'entrée) est élevé. Les appareils mécaniques simples et les pièces et compétences localement disponibles caractérisent les systèmes passifs. Habituellement, le système passif fait partie intégrante de la structure et a des utilisations multiples. Un exemple est une fenêtre ordinaire, qui peut fournir une vue, une lumière, une ventilation et un gain solaire.

La conception passive et à faible énergie aide le bâtiment à profiter du climat quand il est avantageux et protège le bâtiment du climat quand ce n'est pas le cas. Cela nécessite une bonne connaissance du climat local et une plus grande sophistication de la part du concepteur. Le concepteur doit donc disposer d'outils adéquats pour cette tâche sophistiquée de conception passive (Denker *et al.*, 2014).

3-9-1) Chauffage et rafraîchissement

Le refroidissement passif¹ couvre tous les processus naturels et les techniques de refroidissement ne nécessitant aucune forme d'apport énergétique, autre que les sources d'énergie renouvelables. Alors que le chauffage passif, principalement basé sur l'énergie solaire, a abouti à une large

¹ Pour plus de détail, voir la classification des stratégies passives pour le bâtiment proposée par Geetha and Velraj (2012).

gamme de solutions techniques telles que les radiateurs solaires et les cellules photovoltaïques, l'évolution du refroidissement passif a été beaucoup plus lente. Le problème est plus difficile à analyser, et il existe de nombreux dispositifs, tels que les étangs de toit et les tunnels de refroidissement de la terre qui semblent fonctionner le mieux en théorie.

Les sources de refroidissement passives sont le ciel, l'atmosphère et la terre - tous les dissipateurs de chaleur naturels. Le ciel agit exclusivement par rayonnement, la terre et l'atmosphère par convection et processus d'énergie latente (évaporation).

Les principes du refroidissement passif sont: l'ombrage, la réflexion, l'isolation, la réduction des gains internes, la ventilation, les ventilateurs et l'étanchéité des bâtiments. La réduction de la chaleur est mieux réalisée en excluant la chaleur indésirable plutôt que de l'enlever plus tard, souvent par la climatisation.

Au confort d'hiver répond la stratégie du chaud : capter la chaleur du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment. Quant au confort d'été répond la stratégie du froid : se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, minimiser les apports internes, dissiper la chaleur en excès et refroidir naturellement (Liébard et De Herde, 2005) (voir figures 32 et 33).

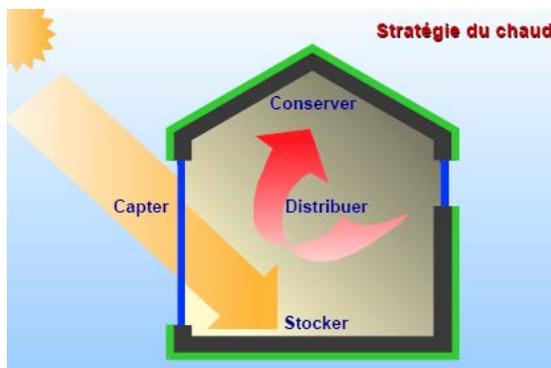


Figure 32. Principe du confort d'hiver (source : Liébard et De Herde, 2005)

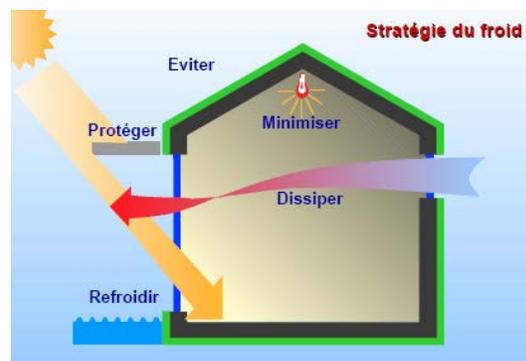


Figure 33. Principe du confort d'été (source : Liébard et De Herde, 2005).

a) Protection (source de chaleur)

- Micro climat :

Les environs d'un bâtiment ont une grande influence sur son climat intérieur, que ce soit dans une ville ou à la campagne. Prévoir ou protéger de certains vents, créer un accès ou un ombrage solaire, etc., doit être considéré dans chaque cas individuel. Topographie, bâtiments environnants,

végétation et l'eau sont des éléments qui transforment le climat régional en un microclimat spécifique, ce qui est le facteur déterminant pour le climat intérieur de chaque bâtiment. Les limites entre climat régional, micro et intérieur ne sont pas abruptes, mais décrivent un changement continu.

Le climat urbain a été étudié ces dernières années. La structure de la ville crée un «dôme aérien» urbain au-dessus et autour de la ville. À l'intérieur de la ville, jusqu'au niveau du toit, la «canopée urbaine» filtre progressivement le climat extérieur jusqu'au niveau de la rue, comme la canopée d'un arbre.

Le phénomène de «l'îlot de chaleur urbain» augmente les températures de l'air urbain, créant des différences de 1 à 2 K pendant la journée et normalement de 3 à 5 K la nuit, mais il peut atteindre 10 K selon Givoni (1998). Les principaux facteurs générant l'îlot de chaleur sont:

- Réduire les pertes de chaleur pendant la nuit, en raison de la géométrie de la ville.
- Stockage de chaleur dans la masse de construction.
- Activités génératrices de chaleur (transport, industrie, etc.)
- Une évaporation plus faible due à moins de végétation et à différentes structures de surface.
- Chauffage et refroidissement des bâtiments générant de la chaleur pour l'environnement urbain.

- Techniques de protections solaires :

Les dispositifs d'ombrage sont incorporés dans la façade d'un bâtiment pour limiter les gains de chauffage interne venant des radiations solaires. Il faut arrêter les rayons du soleil avant qu'ils traversent les parties vitrées pour éviter «l'effet de serre » à l'intérieur du local (Voir figure 34). Les fenêtres entièrement ombragées de l'extérieur peuvent réduire les apports solaires de l'ordre de 80% (ASHRAE, 2009b).

Selon Dubois (1997), les protections solaires peuvent contribuer à une réduction de l'ordre de 23-89% de l'énergie nécessaire pour le refroidissement du bâtiment. Ce taux de réduction dépend du type de protection, de l'orientation du bâtiment, de l'isolation, du climat etc.

Les dispositifs d'ombrage peuvent être classifiés en deux bouquets : fixes ou amovibles et extérieures ou intérieures.

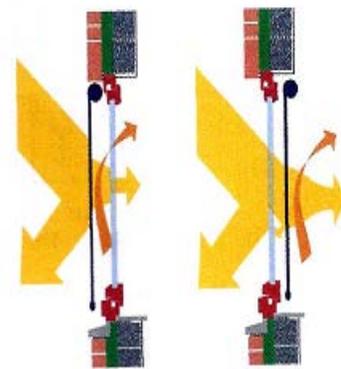


Figure 34. Principe des dispositifs d'ombrage (source : cours de Pr Achard, 2011).

Pour les dispositifs externes fixes, présentés dans la figure 35, il y a trois types de dispositifs d'ombrage :

- Horizontales : les plus connues, elles prennent la forme horizontale comme casquette attachées au dessus de la fenêtre dans les murs face au sud ;
- Verticales : comme les brise-soleil verticaux, les auvents et les persiennes sont effectives dans les fenêtres dans les façades est et ouest et ;
- Dispositifs d'ombrage mixe.

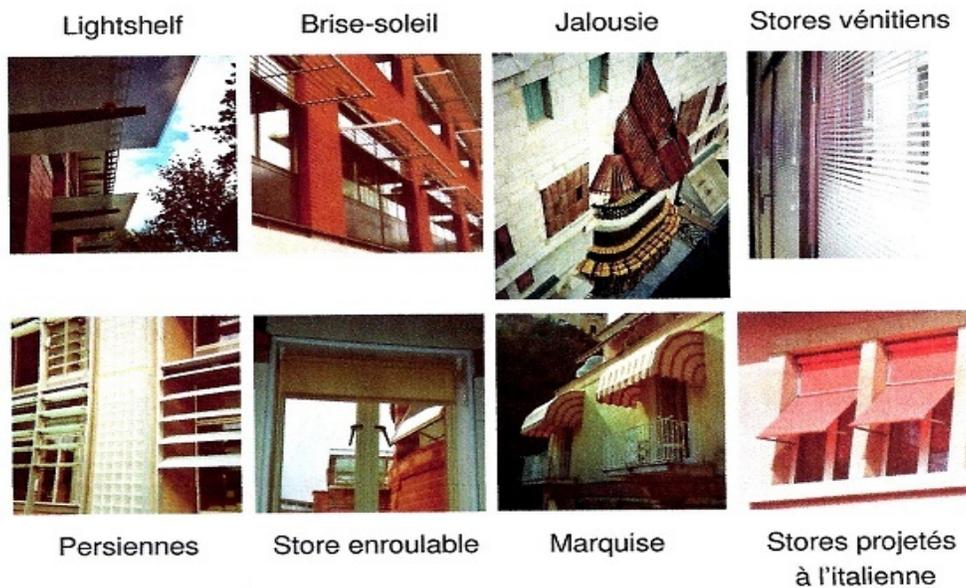


Figure 35. Types de dispositifs d'ombrage (Source : cours de Pr Achard, 2011).

Les avantages quand c'est bien conçu :

- Réduire les chargements de climatisation sans influencer le chauffage solaire passif ;
- Améliora le confort des occupants,
- Réduire l'éblouissement ;
- Préserve l'intimité et permet la vue de l'extérieur ;
- Améliore la conception architecturale.

Comment mesurer l'efficacité de l'ombrage :

Le coefficient d'ombrage « CO » est une mesure de l'efficacité des dispositifs d'ombrage des fenêtres.

Un bon dispositif d'ombrage a une faible valeur de CO, depuis, seulement une petite portion de radiation incidente est absorbée et transmise par le dispositif d'ombrage et devient chaleur dans le bâtiment.

Un pauvre dispositif d'ombrage a une grande valeur, depuis, il permet à plus de radiation incidente d'enrichir la fenêtre.

Les conclusions tirées du résumé de plusieurs instituts de recherche pour les facteurs d'ombre de divers types de dispositifs d'ombrage réglables internes et externes sont les suivantes (Givoni, 1980):

1. Les dispositifs externes sont plus efficaces que les internes ;
2. L'efficacité des dispositifs d'ombrage externes augmente si la couleur est foncée et inversement pour les dispositifs d'ombrage internes ;
3. L'ombrage efficace tel que les persiennes peuvent éliminer plus de 90% de l'effet de serre. Tandis que l'ombrage inefficace tel que des rideaux sombres seulement 20-25% de radiation solaire est bloquée ;
4. Les écrans qui ont une transmittance extrêmement faible (inférieure à environ 10%) peuvent réduire la lumière naturelle dans la pièce à des niveaux inacceptables, même s'ils diffusent correctement la lumière. Il en résulte des niveaux d'éclairage et de luminance inacceptables ;
5. Le vitrage solaire-protectif (absorption, réflexion) doit être efficace mais le potentiel relatif pour la conservation d'énergie dépend de l'orientation de la façade et du climat ;
6. Le potentiel pour conservation d'énergie est plus grand avec un simple dispositif d'ombrage externe avec une faible valeur g, exemple : un dispositif bleu foncé, avec l'assemblée de n'importe quel vitrage protectif-solaire ;
7. Les dispositifs d'ombrage internes limitent l'éblouissement résultant du rayonnement solaire ;
8. Les dispositifs d'ombrage internes sont généralement réglables et permettent aux occupants de réguler la quantité de lumière directe entrant dans leur espace. Le plus souvent, ceux-ci prennent la forme de stores horizontaux ou verticaux attachés au-dessus de la fenêtre.

b) Modulation de la chaleur et /ou technique d’amortissement

- L’inertie thermique (ou la masse thermique) de l’enveloppe (avec ou sans stockage d’énergie) :

C’est le potentiel de stockage thermique d’un local ou d’une maison. C’est la capacité d’un bâtiment à emmagasiner de la chaleur (ou de la fraîcheur). La propriété des constructions à forte inertie est de conserver une température stable et de se réchauffer ou se refroidir très lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température (Benradouane *et al.*, 2006).

La masse thermique dépend des matériaux utilisés dans l’enveloppe du bâtiment en fonction de leurs propriétés thermiques. La combinaison des propriétés thermiques a une influence sur le déphasage et l’atténuation des éléments de construction. Le déphasage est le temps depuis l’extérieur jusqu’à la température maximale de surface à l’intérieur ; et l’atténuation est la proportion de l’amplitude de la température intérieure à extérieure (oscillation) (voir figure 36). Ces propriétés affectent fortement le climat intérieur (Rosenlund *et al.*, 2005). L’amortissement et le déphasage sont d’autant plus marqués que la masse surfacique de la paroi est importante (forte inertie thermique) (Denke *et al.*, 2014).

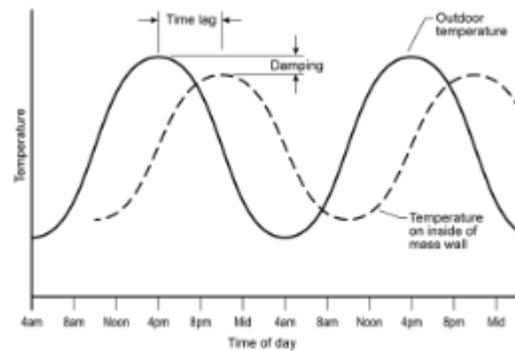


Figure 36. Les concepts de déphasage et d’atténuation des éléments de construction (Source : ASHRAE, 2009b)

Cette inertie peut être une inertie de transmission «*emittance* », la possibilité d’émettre de longues ondes, la radiation de chaleur (à travers les parois soumises à l’exposition solaire) ou une inertie d’absorption «*absorptance* », qu’est la possibilité d’absorber les courtes ondes, la lumière visible (capacité à stocker la chaleur du local dans les parois internes ou périphériques), illustrée dans le tableau 16.

Tableau 16 : Absorption et transmission de quelques matériaux de construction (Source : Rosenlund *et al.*, 2005).

Matériau	Absorption (%)	Emissivité (%)
Blanc de chaux	20-30	90
Aluminium	30-50	5-30
Acier galvanisé	30-50	20-60
Béton	45-65	90
Brick rouge	65-80	90
Bitumen	80-90	90

- **Notion de coefficient K et de résistance thermique**

Le calcul des pertes surfaciques est détaillé dans le DTR C3-2 élaboré par le CNERIB. Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi sont données par :

$$D_s = K \times A \quad [W/^\circ C]$$

Où :

K (en $W/m^2.C^\circ$) est le coefficient de transmission surfacique appelé aussi conductance) ;

A (en m^2) est la surface intérieure de la paroi.

Dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles.

Le coefficient de transmission thermique de la paroi (valeur-K ou valeur-U) est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface ($1m^2$) et par unité de différence de température de 1 K ($=1^\circ C$) entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi. Il est exprimé en $m^2 K/W$.

Les valeurs R et U ou K d'une paroi opaque sont calculées à partir des résistances thermiques des couches composant celle-ci (figure 37): c'est cependant la couche isolante qui influence le plus ces valeurs. Lorsqu'on vise la performance thermique d'une paroi, c'est essentiellement sur cette couche qu'il faut travailler.

Le coefficient K des parois est donné par la formule suivante :

$$1/K = \sum R + 1/h_e + 1/h_i \quad [m^2. ^\circ C/W]$$

h_i coefficient par convection interne

h_e convection par convection externe

Où :

$\sum R$ (en $m^2 ^\circ C/W$) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches des matériaux constituant la paroi considéré comme matériau hétérogène (ex. bloc creux ou brique perforée, panneau composite...). C'est la somme des *R-values* de chaque couche des éléments, comprenant la prétendue résistance du film des couches d'air renfermées dans la surface externe des éléments ($0.03-0.04 m^2K/W$ dépendant du vent) et la surface intérieure ($0.11-0.16 m^2K/W$

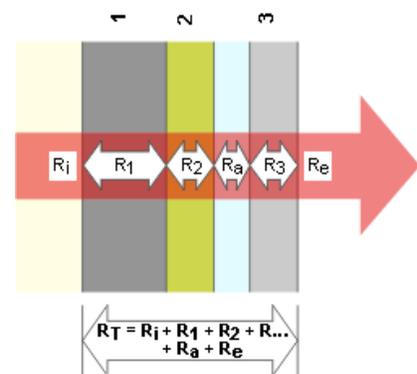


Figure 37. Notion de la valeur R

(Source :

<http://www.isoltop.com/Isolation-Thermique.html>).

pour les matériaux non réfléchissant, dépendant de la position et de la direction du flue de chaleur).

La somme $1/h_e + 1/h_i$ (en $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) représente la somme des coefficients d'échange superficiel Rosenlund *et al.*, 2005).

Plus la valeur K est faible, plus la paroi est isolée thermiquement.

La résistance thermique d'un matériau homogène (verre, isolant...) est caractérisée par la valeur λ , conductivité thermique, Connaissant l'épaisseur de la couche homogène, e [m], sa résistance thermique est obtenue par la formule suivante :

$$R_i = e_i / \lambda_i \dots\dots\dots [m^2 \cdot ^\circ\text{C/W}]$$

Où :

R_i (en $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$) représente la résistance thermique de la couche i ;

e_i (en m) représente l'épaisseur de la couche de matériau ;

λ_i (en $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C/W}$) représente la conductivité thermique du matériau.

Une valeur λ faible ou une valeur R élevée correspond à un matériau peu conducteur de chaleur.

Parmi les couches d'air typiques définies par la norme figurent les vides d'air, ventilés ou non, dans les murs creux, les lames d'air dans les murs creux, les espaces clos dans les plafonds ou les toitures, ..., quand aux faux plafonds fermés non étanches à l'air, les lames d'air à l'intérieur des doubles vitrages, les vides des blocs de construction et les grands espaces ne sont pas considérés comme des couches d'air.

La résistance thermique des couches d'air (valeur R_a) dépend de l'épaisseur de la couche d'air, de la direction du flux de chaleur et du degré d'aération prévu dans la couche d'air concernée.

En Algérie, les valeurs des coefficients K des parois sont très souvent supérieures à $1.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, alors que dans les pays où une réglementation thermique stricte est appliquée, ces valeurs sont souvent comprises entre 0.25 et $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Les enjeux de l'inertie thermique sont de deux ordres :

- ◆ L'un étant de l'ordre de la sensation : l'amélioration du confort thermique en été ;
- ◆ L'autre étant d'ordre économique : la réduction des consommations.

Il est noté que tous deux ont un impact immédiat sur l'environnement, puisque réduire les consommations implique nécessairement une diminution de la facture énergétique (Benradouane *et al.*, 2006).

- Isolation thermique :

Une bonne isolation réduit les pertes énergétiques d'un bâtiment. L'isolation thermique doit se situer du côté externe des murs, des sols et des toitures. Toutefois les charpentes et huisseries choisies ont également leur importance. Les doubles vitrages qui se sont banalisés ces dernières années seront bientôt remplacés par des triples vitrages : le vide d'air entre les vitres de cette nouvelle génération de fenêtre évite les phénomènes de conduction thermique qui se produisent quand on injecte un gaz entre les deux parois vitrées (LOFT Publication en coopération avec Frechmann Kolón GmbH, 2011) (Voir tableau 17).

L'isolation écologique : s'intéresse à l'impact des techniques et des matériaux choisis sur l'environnement, sur la santé et sur le bien-être, en évitant les matériaux dont la fabrication est polluante ou le recyclage impossible. Sur la santé, en choisissant des matériaux sans risques pour ceux qui les fabriquent ou les mettent en œuvre et pour les occupants. Sur le bien-être, en préférant des modes d'isolation qui n'entravent pas les échanges entre la maison et l'extérieur. Une pièce est confortable si la différence de température entre son air et ses murs n'excède pas 3°C (source : www.ageden.org).

Les facteurs de performance d'une fenêtre :

Le facteur U_g d'un vitrage dépend principalement du nombre de verre, de la dimension de (s) l'espace (s) séparent ces couches de verre, du type de gaz qui remplit ces espaces et de la présence d'éventuelles couches exposées sur le verre. En général, quand on parle du coefficient U_g d'un vitrage, on se réfère au coefficient U_g mesuré ou calculé au centre de celui-ci (Bodart, 2002).

Valeurs U indicatives pour les fenêtres :

La valeur U_w d'une fenêtre est donnée par la formule suivante :

$$U_w = \%g U_g + \%f U_f + 3\Psi_g$$

Où

$$\%g + \%f = 100\%$$

U_g (W/m²K) : Vitrage

U_f (W/m²K) : Châssis

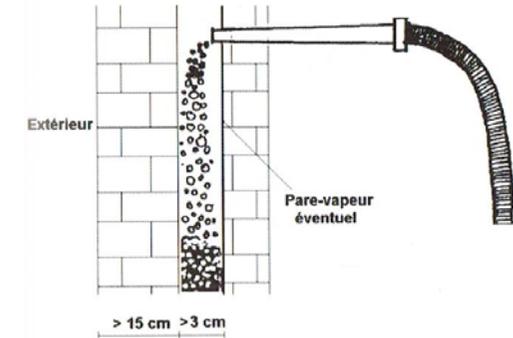
Ψ_g (W/mK) : Interaction diviseur vitrage / châssis

Tableau 17. Isolation des éléments de l’enveloppe (source : Apur, 2011 ; Denker *et al.*, 2014 ; Projet réalisé par les Espaces INFO_ENERGIE portés par l’IDEMU Avec le soutien de la Région Ile-de-France, de l’ADEME - Délégation Ile-de-France et la participation de l’ARC d’après FFB, Isolation Thermique par l’Extérieur (ITE), fiche technique N° 19, 2009)

Isolation	Avantages	Inconvénients	Techniques et procédés utilisés	Détails constructifs	
Murs extérieurs	Par l’intérieur	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de modification de l’aspect extérieur du bâtiment ; • Convient à une occupation intermittente du bâtiment ; • Facile à réaliser, économique ; • Permet un réchauffement rapide de l’air intérieur ; • Evite le rayonnement des parois froides. 	<p>Oblige l’étanchéification des murs (pose d’un pare vapeur) et la ventilation mécanique des pièces à cause du risque de surchauffe l’été;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compromet l’inertie du bâtiment (essentiellement en demi-saison et en été) ; • Réduction du volume habitable et donc la valeur du patrimoine immobilier ; • Créer des ponts thermiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complexes ou sandwichs isolants collés au mur ou fixés sur tasseaux ; • Les isolants derrière cloison de doublage (permet de faciliter l’accrochage du mobilier) : préférence d’usage des briques de terre, des blocs de béton ou des parpaings (minimum de 5cm) ; le polystyrène, la laine minérale en panneaux semi rigide ou le polyuréthane expansé comme isolant (à plus de 600m d’altitude, placer un pare-vapeur coté intérieur de l’isolant) ; une lame d’aire entre la maçonnerie extérieure et l’isolant pour éviter l’infiltration. 	
	Par l’extérieur	<ul style="list-style-type: none"> • Les travaux d’isolation peuvent se faire en milieu occupé ; • Les qualités thermiques du bâtiment anciens sont conservées (inertie) ; • Surfaces intérieures inchangées ; • Réduction des ponts thermiques ; • Elle maintient la fraîcheur en été 	<ul style="list-style-type: none"> • Modification de l’aspect extérieur de la façade ; • Débordement sur la voirie ; • Coût élevé • Problèmes liés à la tenue des isolants (décollement) ; • Elle nécessite un temps plus important pour réchauffer une pièce froide. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les bardages : les ossatures de bois ou métalliques et parement en ardoises, tuiles, céramique, bois, zinc, pierre naturelle, etc. ; isolant • Les vêtues : est constituée d’un isolant et d’un parement de dimension similaire posés en une seule fois sur le mur par fixation mécanique ; • Les vêtages : est constitué d’un parement fixé au travers de l’isolant par des vis chevillées ; pose de l’isolation par collage ou par fixation mécanique ; les isolants utilisés à base de polystyrène expansé. 	

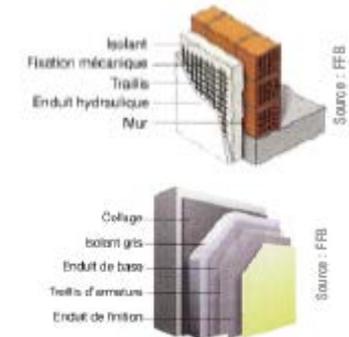
Par remplissage des murs comportant une lame d'air

- Soit par l'injection d'une mousse (urée-formol, polyuréthane) ;
- Soit par insufflation d'un isolant en vrac, souvent constitué de copeaux de polystyrène extrudé, dans la lame d'air par une machine par des trous percés dans l'une des parois ; lame d'air $\geq 3\text{cm}$ et parois extérieur $\geq 15\text{cm}$; à plus de 600m d'altitude, placer un pare-vapeur coté intérieur de l'isolant.



Utilisation de coffrages perdus isolants

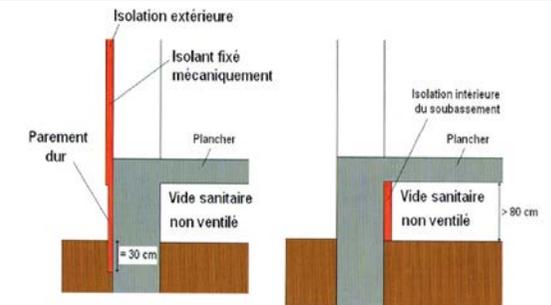
- Pose d'abord des plaques d'isolant et des nappes de treillis soudé : utilisation des systèmes modulaires (souvent du polystyrène) servant au départ de coffrage pendant la prise du béton, ensuite assurant la fonction d'isolation ;
- Ensuite, des armatures de renfort sont disposées aux points singuliers (angles des ouvrants) ;
- Enfin, la finition par application de deux couches de mortier à l'aide d'une lance.



Planchers

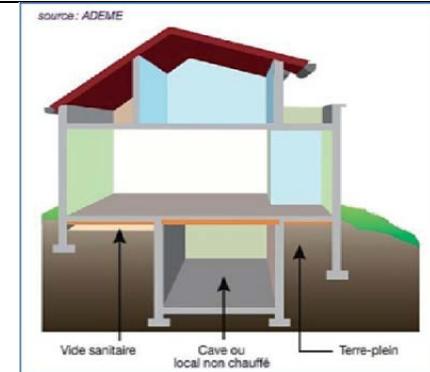
Sur vide sanitaire

- Isoler le mur par l'extérieur : préférence de prolonger l'isolation des mur le long du soubassement jusque dans le sol à une profondeur de 30cm environ ;
- Isoler au pourtour intérieur si la hauteur du vide sanitaire le permet ($>80\text{cm}$) ;
- Placer un isolant sous le plancher (dans le cas d'un plancher sur local non conditionné).



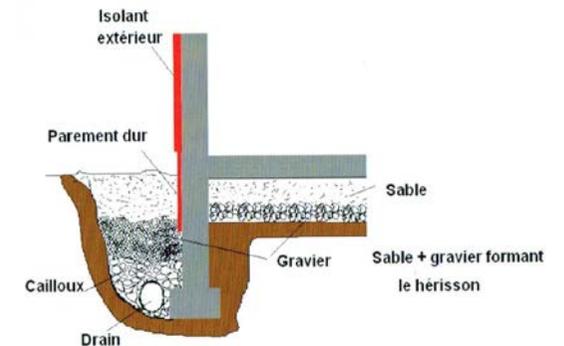
Sur local non chauffé

- Isolation en sous face de plancher par panneau manufacturés (soit des panneaux complexes isolant-plaque de plâtre ou panneaux rigide de fibres minérales vissés directement dans le plancher ou par l'intermédiaire de lisses en bois ou métalliques
- Isolation par projection de mousse de fibre de roche avec liant hydraulique (bien adaptée à des sous face non plane ; (pas de barrière de vapeur pour les deux techniques) ;



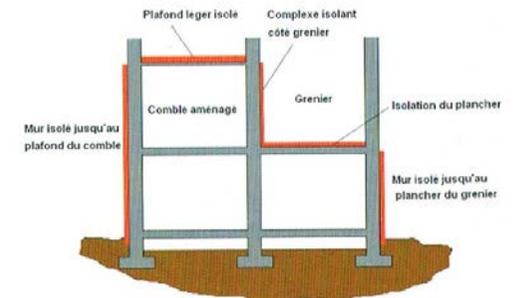
Sur terre plein

- Limiter les pertes calorifiques ;
- Supprimer les ponts thermiques ;
- Bénéficier de inertie thermique du plein terre apportée en été.
- Difficulté d'isolation
- Isoler le soubassement sur son pourtour en prolongement de l'isolation des murs



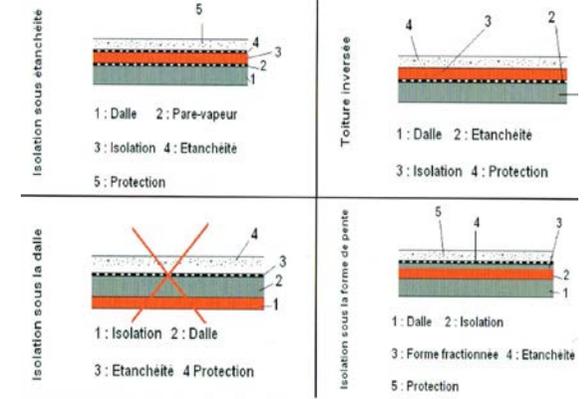
Combles

- Si le comble est perdu : Déposer une ou plusieurs couches d'isolant (laine minérale en rouleaux ou panneaux, laine de verre en vrac, laine de roche, billes ou copeaux de polystyrène expansé soufflés ou épandus sur le plancher à réaliser ;
- Si le comble est aménagé :
 - Laine minérale (6 à 10cm) agrafée entre chevrons ;
 - Complexe de doublage (isolant-plaque de plâtre) visé ou cloué sous les chevrons ;
 - Isolation des parois horizontales et verticales selon les techniques applicables aux planchers et murs.



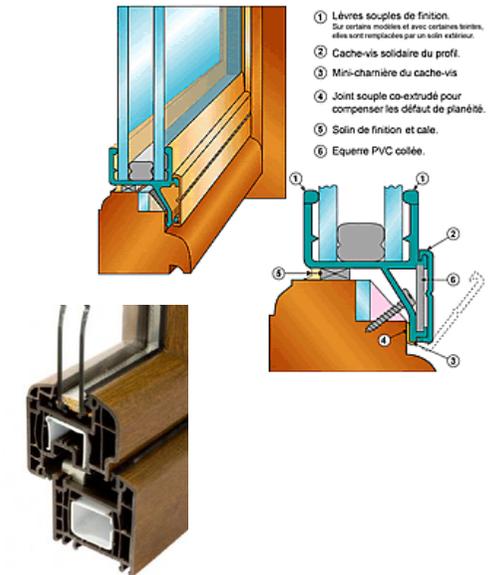
Toitures-terrasses

- L'isolant est support d'étanchéité (usage souvent du polyuréthane en plaques) ;
- L'isolant est par-dessus l'étanchéité (toiture composée de panneaux de polystyrène extrudé non collé au support) ;
- L'isolant se trouve sous la forme de pente fractionnée : malgré que cette solution est quasiment abandonnée en Europe, elle reste très utilisée en Algérie.



Fenêtres

- Plusieurs solutions existent pour diminuer le facteur solaire F en été (vitrage épais, vitrage absorbant, vitrage réfléchissant, film de protection solaire).
- Calfeutrement très considéré peut affecter le renouvellement de l'air des locaux.
- Utilisation de produits de calfeutrement pour réduire l'étanchéité à l'air entre ouvrant et dormant (joint en mousse, en mastic silicone, etc.) ;
- Pose de doubles vitrages isolants ;
- Pose de double fenêtre (efficace sur le plan thermique qu'acoustique) ;
- Pose de fermetures (persienne, volets, etc.).



En pratique, on utilise des valeurs par défaut pour le pourcentage de châssis par rapport au % de vitrage /panneau

- 25% dans le cas des châssis métalliques ;
- 30% dans les autres cas la longueur des diviseurs (3 m/m²) (Johansson, 2008).

Jusqu’au milieu des années 1970 et le fameux « choc pétrolier », le bilan énergétique des baies vitrées était largement négatif, y compris celles orientées au Sud, en raison de déperdition thermiques considérables. Sans parler des éventuels défauts d’étanchéité des menuiseries, le coefficient Ug (coefficient de transmission surfacique d’une paroi) mesurant la transmission thermique des vitrages atteignait 5 à 6 W/m².K pour des glaces simples de 3 à 4 mm d’épaisseur. Une première génération de doubles vitrages, souvent dénommés vitrages isolants, a permis d’abaisser ce coefficient à des valeurs de 2,9 à 3,3 W/m².K. Et avec une nouvelle mutation technique de l’arrivée des vitrages à « couches peu émissive » au cours des années 1990, une amélioration des performances est apportée, pour un surcout négligeable. Cette nouvelle qualité de vitrage est généralement désignée par le sigle VIR (vitrage à isolation renforcée). Le passage du double vitrage classique au VIR se traduit par une division par deux, voire par trois du coefficient Ug qui peut descendre à 1,1 W/m².K (A. Liébard, 2007, p. 51).

Parallèlement aux couches peu émissives, les industriels ont développé une autre technique de réduction des déperditions qui consiste à substituer à l’air un gaz « rare » dans l’espace intercalaire entre les deux vitres. L’argon est le plus couramment injecté, en raison de son cout plus abordable que celui du krypton ou du xénon également appropriés. Le gain sur le coefficient Ug est de l’ordre de 0,1 à 0,4 W/m².K (ibid, 2007, p. 53).

Le tableau 18 présente les caractéristiques de transfert de chaleur de sept systèmes de vitrage.

Tableau 18. Comparaison de transfert de chaleur typique à travers différentes options de vitrage (source : P. Smith, 2006)

Vitrage	Valeur-U (W/m²K)
Simple vitrage	5.6
Double vitrage	3.0
Triple vitrage	2.4
Double vitrage à couche peu émissive	2.4
Double vitrage à couche peu émissive avec Argon	2.2
Triple vitrage à 2 couches peu émissives et 2 Argon	1.0
Double vitrage avec Aéro-gel	0.5-1.0

Le tableau 19 illustre l'impacte de gain solaire en fonction de l'orientation en donnant la valeur U nette.

Tableau 19. La valeur U Effective Nette prenant en compte le gain de chauffage solaire (source : P. Smith, 2006).

Vitrage	Valeur U (W/m^2K) avec gain solaire		
	Sud	Est/Ouest	Nord
Simple vitrage	2.8-3.7	3.7-4.6	4.6-5.6
Double vitrage	0.7-1.4	1.4-2.2	2.2-3.0
Triple vitrage	0.0-0.6	0.6-1.1	1.1-2.4
Double à couche peu émissive	0.1-0.8	0.8-1.2	1.2-2.4
Triple à couches peu émissives	-0.5-0.3	0.3-0.9	0.9-1.6

Le double vitrage avec une lame d'air peu améliorer la valeur d'isolation d'une fenêtre. Selon Rosenlund (1995), une deuxième vitre de la fenêtre a un effet similaire à l'effet des persiennes sur le climat intérieur durant l'hiver mais durant l'été, les persiennes sont préférable pour leur ombrage et leur prévention contre l'excessif gain de chauffage solaire. Pendant ce temps, une double vitre avec un dispositif d'ombrage extérieur convenable peu être une solution pour les deux, l'hiver et l'été, tant que simultanément garder un niveau de lumière naturelle convenable et maintenir une vue sur l'extérieur. Les persiennes diminuent considérablement la lumière naturelle et coupe la vue à l'extérieur (Ouahrani, 1999). Quoique la majorité des constructions en Algérie aient un vitrage simple dans les systèmes de fenestration, le double vitrage est un type répandu en Algérie, mais pas dans le secteur résidentiel.

- Le facteur solaire absolu (FSA) :

Le second facteur caractérisant les performances solaires d'une fenêtre est sa capacité à contrôler le passage du rayonnement solaire au travers du vitrage. Il s'agit de facteur solaire du vitrage.

Quand un rayonnement solaire frappe un vitrage, une partie de celui-ci est réfléchié, une partie est transmise directement au travers du vitrage et une partie est absorbée par le vitrage. La partie absorbée par le vitrage est ensuite partagée en une partie qui est réémise par le vitrage vers l'intérieur et une partie

réémise vers l'extérieur. Le facteur solaire du vitrage est défini par la fraction du rayonnement solaire qui rentre à l'intérieur du bâtiment au travers de la fenêtre sur le rayonnement incident (Bodart, 2002) (voir figure38).

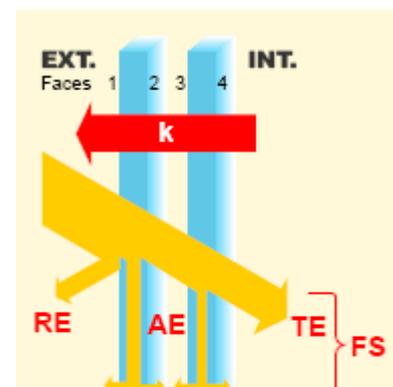


Figure38. Facteur solaire d'un vitrage (source : Bodart, 2002)

- Le facteur lumineux absolu (FLA) :

Le facteur de transmission lumineuse absolu FLA est la fraction de la densité de rayonnement lumineux incident qui traverse le vitrage (Benradouane *et al.*, 2006).

Le coefficient de transmission lumineuse d'un vitrage est influencé par le type de vitrage, le nombre de couches de verre et le type de revêtement qui pourrait être appliqué sur le verre (Op. cit., 2002) (voir figure 39).

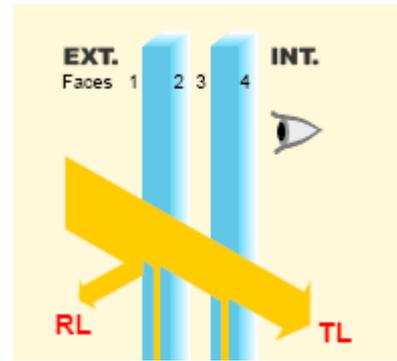


Figure 39. Coefficient de transmission et de réflexion lumineuse d'un vitrage (source : Bodart, 2002)

- La serre

Une serre bioclimatique a d'abord une fonction thermique : elle constitue un espace tampon entre intérieur et extérieur, elle produit des calories le jour en hiver et elle concourt à la ventilation à la ventilation du bâtiment en été.

La conception de la serre est donc toujours la recherche du meilleur compromis entre sa performance thermique, son aspect esthétique, son habitabilité, son confort, sa réalisation technique et son coût (figure 40).

Une serre correctement conçue et orientée doit assurer une partie du chauffage du bâtiment. La quantité de chaleur fournie dépend de plusieurs paramètres comme tous les systèmes de captage (latitude, orientation, climat, ensoleillement). Des paramètres sont spécifiques aux serres seulement (masse et position du stockage thermique, profondeur et type d'utilisation, configuration de la serre...).

L'orientation d'une serre s'aborde comme celle d'un mur capteur. Elle doit aussi tenir compte de l'ensemble des données microclimatiques locales, notamment des vents dominants en hiver, des brumes matinales et des masques solaires (Courgey et Oliva, 2006).

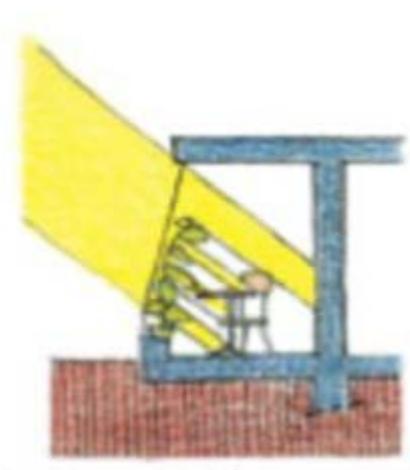


Figure 40. La présence de végétaux ou de mobilier peut contrarier le chargement des masses inertielles d'une serre (source : Courgey et Oliva, 2006).

- Ponts thermique et étanchéité à l'air :

Selon la définition ISO10 211, le pont thermique est la partie de l'enveloppe d'un bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs, uniforme, est modifiée de façon sensible soit par la

pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente; et/ou par un changement dans l'épaisseur de la structure; et/ou par une différence entre les surfaces intérieure et extérieure, comme il s'en produit aux jonctions parois/plancher/plafond (PENU G., 2013).

Les bâtiments qui sont isolés par l'intérieur, les liaisons des planchers interrompent donc la couche isolante. C'est à la fois une zone contrastée de déperdition de chaleur et une zone privilégiée de condensation propice au développement de moisissures.

Plus la volumétrie du bâti est complexe plus les ponts thermiques sont importants. Tous les décrochements de façades, les saillies, les balcons, les loggias sont en général non pris en compte par l'isolation thermique intérieure, les fuites son donc importantes (APUR, 2011) (voir figure 41).

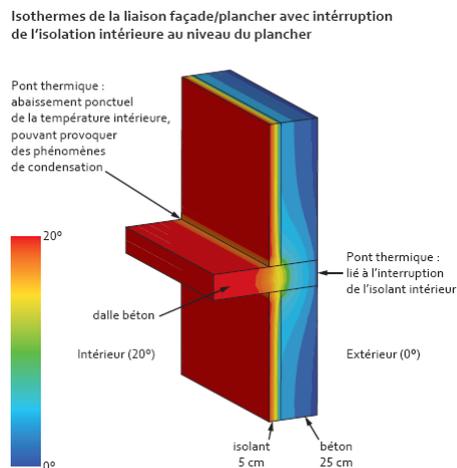


Figure 41. Phénomène du pont thermique
(Source : APUR, 2011)

- La ventilation nocturne:

Le refroidissement structurel par ventilation nocturne a longtemps été commun dans les régions chaudes et arides. Pendant la journée, une quantité suffisante de masse interne du bâtiment peut servir de dissipateur de chaleur pour absorber, par rayonnement et convection naturelle, la chaleur pénétrant dans et générée à l'intérieur du bâtiment. Pour améliorer cet effet, le bâtiment devrait dans la plupart des cas être non ventilé pendant la journée pour empêcher le chauffage de l'intérieur par l'air plus chaud de la porte. Ne pas ventiler pourrait être incompatible avec le confort thermique, mais le confort peut être amélioré en augmentant la vitesse de l'air intérieur avec un ventilateur, tout en minimisant la ventilation avec l'air extérieur.

En règle générale, la ventilation nocturne peut créer une température maximale intérieure de 7-8 K sous le maximum extérieur. Pendant la journée, lorsque le bâtiment est fermé, la masse thermique est plus froide que l'air intérieur, ce qui réduit la température opérative, ce qui améliore encore le confort.

L'effet des ventilateurs est contrôlable par la force et la direction. Les ventilateurs de plafond couvrent des zones étendues, mais exigent de hauts plafonds, environ 3 m.

La hauteur de plafond supplémentaire ou les cheminées solaires créent un mouvement d'air par effet de cheminée. Les tours à vent sont particulièrement efficaces. Ils créent une brise et favorisent le refroidissement par évaporation. Les tours éoliennes/à vent sont fréquentes au Moyen-Orient dans les régions où les vents dominants sont favorables pendant la saison chaude.

c) Dissipation de chaleur

- La ventilation naturelle (Sans stockage d'énergie)

Les objectifs de la ventilation sont nombreux : confort thermique et chauffage / refroidissement structurel, mais aussi santé et évacuation de l'humidité. Un air sec est plus facile à réchauffer qu'un air chargé de vapeur d'eau. Les maisons économes en énergie utilisent des matériaux perméables à la vapeur d'eau. L'évacuation naturelle des excès d'humidité réduit ainsi les besoins de chauffage (Bekkouche *et al.*, 2007).

La ventilation des locaux permet donc d'éliminer une partie de l'humidité, cause de désordre. Elle permet également d'assurer la sécurité des occupants (apports en oxygène s'il y a combustion : chauffage, cuisinière,...). Enfin, elle contribue à la préservation du bâti en réduisant les risques de condensation.

Une réglementation, sous forme de DTR C 3-31, élaborée en 2005 par le CNERIB fournit les principes généraux qu'il y a lieu d'adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle et précise que la ventilation doit pouvoir être permanente au moins pendant la période où la température extérieure oblige à maintenir les ouvrants fermés. Le choix de ventilation générale comme système de référence répond au souci d'efficacité énergétique, en épuisant au maximum les possibilités de l'air avant de l'évacuer. Le système de ventilation naturelle doit comporter :

Des amenées d'air doivent être prévues dans les pièces principales : séjour et chambres à coucher par la perméabilité à l'air des ouvrants complétée par des orifices d'entrée d'air

- (CNERIB, 2005) ; ces entrées d'air soit réglables manuellement, soit sont de type auto-réglable (ajustement de la section de passage de l'air en fonction du vent) ;
- Des passages de transit afin que l'air puisse circuler librement, portes fermées, des locaux autres que de service vers les locaux de service ;
- Des sorties d'air dans les locaux de service, au moins dans les cuisines, SDB, douches, cabinets d'aisance, réalisée par des conduits verticaux à tirage thermique. Chaque pièce de service du logement possède une sortie d'air raccordée à un conduit d'évacuation fonctionnant par tirage naturel.

Le confort thermique peut être créé en augmentant la vitesse de l'air grâce à la ventilation transversale, ce qui favorise le refroidissement par évaporation de la peau humide. Le placement des ouvertures d'entrée et de sortie d'air est essentiel pour diriger le courant d'air vers la zone d'occupation.

Les conditions extérieures, telles que les bâtiments environnants et la végétation, peuvent également affecter le flux de ventilation. Des angles de vent allant jusqu'à 45 ° par rapport aux ouvertures sont acceptables et peuvent même donner de meilleurs taux de ventilation que dans une direction perpendiculaire. Les mailles d'insecte peuvent avoir un effet largement négatif sur la ventilation, mais cela peut être amélioré si elles ne sont pas placées dans le prolongement de la façade, ou si elles sont munies de dispositifs de captage du vent.

Le calcul des taux de ventilation est difficile. Les souffleries et les programmes avancés de simulation par ordinateur (CFD - Computational Fluid Dynamics) peuvent donner des résultats assez précis, mais sont compliqués à utiliser. Simulations simples de l'écoulement des fluides peuvent donner quelques idées générales, et pourrait donc cette formule ASHRAE:

$$Q = E \times A \times v$$

Où:

Q = Débit d'air (m³/s)

E = Efficacité de l'ouverture,

0,25-0,35 pour les vents diagonaux

0.50-0.60 pour les vents perpendiculaires

A = Surface de l'ouverture (m²)

v = Vitesse du vent (m/s)

Le taux de renouvellement d'air des locaux a un impact direct sur les dépenses énergétiques. Les solutions pour maîtriser ce taux sont connues : 1) rendre l'enveloppe étanche à l'air ; 2) prévoir un système de ventilation soit naturel, soit mécanique (voir tableau 20).

Tableau 20. Avantages et inconvénients des différentes ventilations (source : Penu, 2013)

Système de ventilation	Avantages	Inconvénients
VMC simple flux autoréglable	Débit d'air entrant constant Diminution des nuisances sonores extérieures en utilisant les entrées d'air acoustiques	L'humidité intérieure n'est pas prise en compte
VMC simple flux hygroréglable	Débit d'air entrant variable en fonction de l'humidité (occupation, type d'activité) Economie d'énergie Diminution des nuisances sonores extérieures en utilisant les entrées d'air acoustiques	Système plus coûteux à l'achat qu'une VMC simple flux auto-réglable Réagit sur l'humidité, pas d'efficacité supplémentaire sur les polluants chimiques
VMC double flux	Economie d'énergie par récupération de calories Filtration d'air entrant Sensation de courant d'air froid supprimé Isolation acoustique Préchauffage ou rafraîchissement de l'air entrant	Système plus coûteux à l'achat Bruit de bouches d'insufflation
VMR	Solution pour rénovation Maintenance facile	Encombrement esthétique (groupe d'extraction dans chaque pièce humide) Bruit de ventilateurs
Ventilation naturelle	Investissement variable	Soumise aux aléas climatiques Pertes d'énergie l'hiver

Le choix du système de ventilation affecte donc fortement la forme du bâtiment. La ventilation minimale de santé doit être assurée. Seulement 0,14 l/s par personne (au repos) est nécessaire pour fournir de l'oxygène, mais 2 l/s sont nécessaires pour équilibrer la vapeur ajoutée par la respiration. Un bon indicateur de la qualité de l'air est la concentration de CO₂. Pour éliminer les odeurs et les émissions, le CO₂ ne doit pas dépasser 1000 ppm, ce qui correspond à une alimentation en air d'environ 7-10 l/s et par personne, soit environ 0,35 l/s et m³, ou 0,5 de taux de renouvellement d'air par heure, qui pourrait être recommandé pour le logement. L'élimination de l'humidité des zones humides telles que les cuisines et les salles de bain nécessite des taux de ventilation plus élevés. Les taux doubles sont recommandés¹.

¹ Pour plus de détails, se référer à ASHRAE 1997.

En Algérie, la plupart des logements ne disposent pas d'un système de ventilation et sont aérés par ouvertures des fenêtres et par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Conséquence, les occupants ont tendance à maintenir les ouvrants fermés pendant les périodes de grand froid. Ce comportement nuit la qualité de l'air et provoque régulièrement des drames (Denker et al., 2014).

- Le refroidissement naturel (Avec ou sans stockage d'énergie) :

- **Refroidissement radiatif**

Des températures minimales élevées du ciel dans les régions arides ont été utilisées pour le refroidissement radiatif de toits lourds dans l'architecture traditionnelle.

Le gain d'isolation des toits pour la protection solaire pendant la journée, ou pour réduire les pertes de chaleur en saison froide, est cependant souvent plus élevé.

Il existe des prototypes pour les «refroidisseurs de ciel», mais ils sont trop compliqués ou coûteux pour une utilisation pratique et peu coûteuse.

- **Systèmes de capacité thermique**

Le refroidissement de la terre a des coûts d'investissement élevés et les passages pourraient être difficiles à éviter de bactéries nocives. L'efficacité est souvent faible.

Un intermédiaire entre le stockage de masse structurelle et le refroidissement de la terre est le lit de roche. Il existe des systèmes passifs, actifs et hybrides. Les lits de roche sont adaptés pour le logement et d'autres petits bâtiments. Toutefois, les coûts d'investissement sont élevés. Les pièces du sous-sol utilisables pourraient donner cet effet dans une certaine mesure.

Le mur de trombe, un système bien connu parmi les architectes et les chercheurs, est un mur de masse derrière un vitrage. Il a un certain effet en théorie, mais il est trop compliqué à gérer pour les utilisateurs normaux. L'utilisation n'est donc pas répandue. Les espaces vitrés sont plus utilisables.

3-9-2) Forme et compacité des bâtiments

Il convient aussi de favoriser la compacité des bâtiments, c'est-à-dire de limiter le ratio entre la surface déperditive et la surface utile du bâtiment. En effet, plus un bâtiment est compact, moins les déperditions d'énergie seront fortes (voir figure 42). Une des manières de jouer sur la compacité des bâtiments et de favoriser la mitoyenneté. Il faudra par ailleurs veiller à trouver le juste équilibre entre la compacité des bâtiments et l'innovation architecturale.

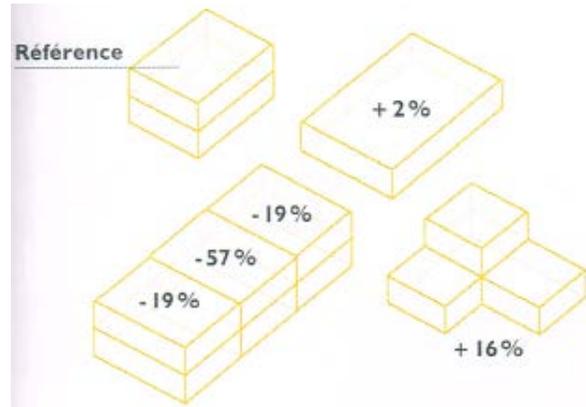


Figure 42. Bénéfices de la compacité (source : de Gramont *et al.*, 2015).

3-9-3) Orientation des bâtiments :

L'orientation des bâtiments joue un rôle significatif dans la conception bioclimatique tant pour offrir un bon niveau d'éclairage naturel que pour garantir un bon niveau de confort thermique et maîtriser les consommations d'énergie du bâtiment (de Gramont *et al.*, 2015).

Durant les mois d'été, le soleil se lève du côté Nord-est et s'élève légèrement vers le Sud jusqu'à ce qu'il devienne presque perpendiculaire à la surface de la terre à midi, après ça il descend de nouveau vers le Nord-ouest. Le plus grand gain de chaleur de la maison durant l'été vient du toit, ainsi que des façades Est et Ouest. Par conséquent, il est important d'ombrager le toit et les faces de fenêtres Est et Ouest et les murs. Durant les mois d'hiver, le parcours du soleil est plus court, il se lève du côté Sud-est, et demeure à un angle bas puis il bouge vers le Sud avant de se cacher de nouveau du côté Sud-ouest. Pareil, le plus important gain de chaleur durant l'hiver vient de la façade Sud de la maison. Les faces sud des fenêtres et des murs, par conséquent reçoivent le maximum de chaleur durant l'hiver (Ouahrani, 1999) (Voir figure 43).

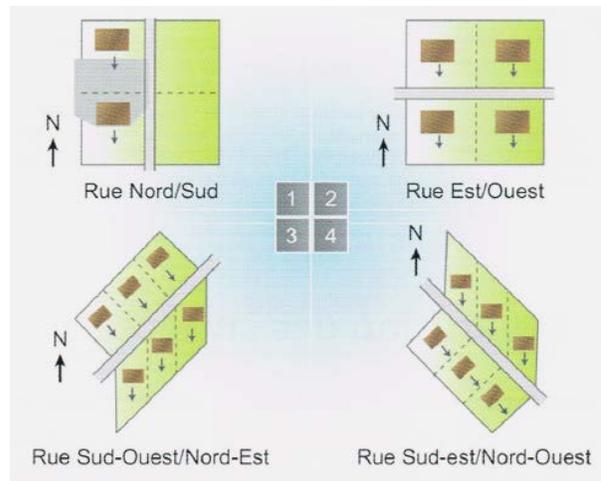


Figure 43. Orientation optimale des bâtiments (source : de Gramont *et al.*, 2015 d'après Groupe Re Source).

Une orientation perpendiculaire au Sud exact est la meilleure. S'il y a une déviation, idéalement elle ne doit pas dépasser 15 degrés. Le côté long orienté vers le Sud va permettre plus d'insolation de la maison pendant l'hiver (Awadallah, 2011).

3-9-4) Répartition des surfaces vitrées :

L'orientation des bâtiments est à corrélérer avec la surface vitrée afin de favoriser les apports solaires passifs en hiver (principalement au Sud) et de les limiter en été (principalement sur les faces Est et Ouest), tout en limitant les déperditions sur les surfaces vitrées situées au Nord. D'après de Gramont et al. (2015), il est conseillé, pour les logements individuels et collectifs, de répartir les vitrages de la manière suivante : 50% au Sud, 20-30% à l'Est, 20% à l'Ouest, 0 à 10% au Nord. Afin de parvenir au meilleur compromis entre déperdition, confort d'été et éclairage naturel, il est conseillé de respecter le ratio suivant :

$$15\% \leq I_{OUV\ BAT} \leq 25\%$$

Où :

$I_{OUV\ BAT}$: Indice d'ouverture global bâtiment = Surface de toute les baies mesurées en tableau, ramenée à la surface utile du bâtiment.

$$I_{OUV\ LOC} \leq 35\%$$

Où :

$I_{OUV\ LOC}$: Indice d'ouverture = Surface des baies de la pièce, mesurées en tableau, ramenée à la surface de la pièce (de Gramont *et al.*, 2015).

3-9-5) Prise en compte des masques solaire :

Les masques solaires représentent tout objet naturel ou construit pouvant faire obstacle au soleil. Ils peuvent être liés aux végétaux, au bâti, ou à l'environnement. Afin de favoriser les apports solaires passifs et le potentiel de production d'énergies solaires thermique et photovoltaïque, il faut optimiser le plan de composition de la zone pour limiter au maximum les masques solaires.

- Les masques solaires liés au bâti :

Dans le cas de masques solaires liés au bâti on peut utiliser la règle du prospect illustrée dans les figures 44 et 45, qui permet de contraindre l'écart entre les bâtiments et les hauteurs de ceux-ci en prenant en considération les apports de lumière et les ouvertures. Cette règle se traduit par la formule : $L = xH$ (avec L la distance entre deux bâtiments et H la hauteur du bâtiment situé au Sud). La valeur x varie d'un projet à l'autre en fonction de la densité du tissu urbain, des choix de

formes urbaines et autres contraintes d'ordres architecturales (par exemple : $L=H$ ou $L=H/2$ en centre urbain, $L=2H$ ou $L=3H$ en périurbain ou rural). (*Ibid.*, 2015).

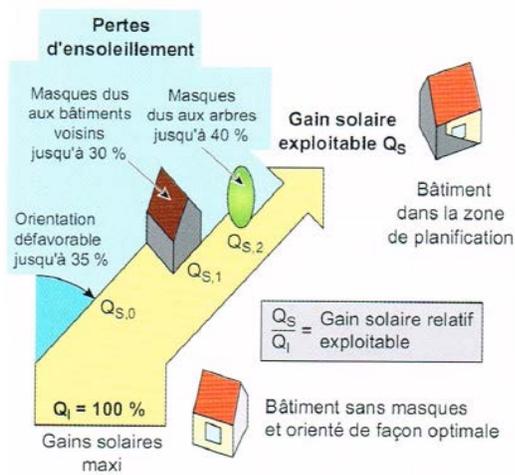


Figure 44. Illustration de l'influence de l'orientation des bâtiments et des masques liés aux bâtiments et à la végétation sur les apports solaires (source : de Gramont *et al.*, 2015).

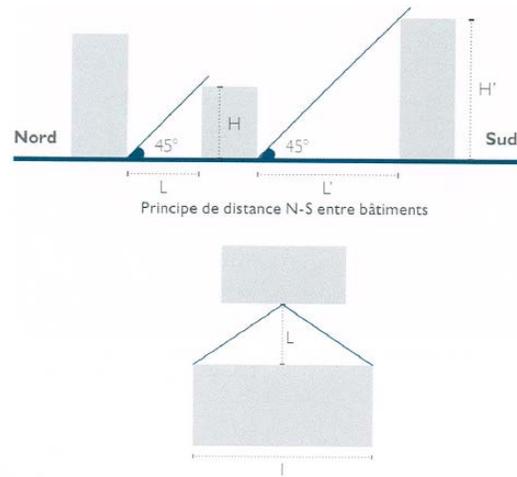


Figure 45. Illustration de la règle de prospect $L=H$ (source : de Gramont *et al.*, 2015).

- **Les masques liés à la présence de végétation :**

La prise en compte de la végétation pour le calcul des masques solaires est un peu plus subtile. En jouant sur les essences (par exemple arbres à feuilles caduques), il est possible de favoriser les apports solaires en hiver tout en protégeant des surchauffes en été. C'est le cas de la figure 46 qui détaille le taux de rayonnement transmis en été et en hiver pour des arbres caduques.

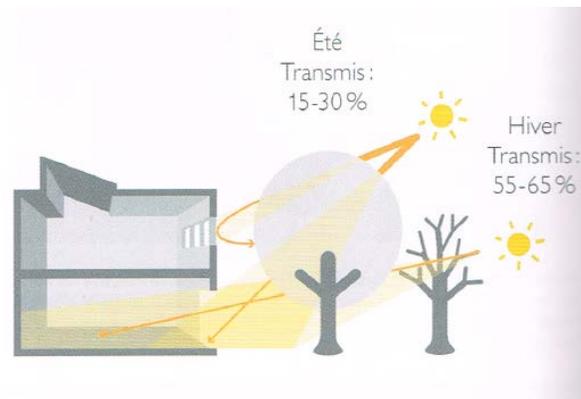


Figure 46. Illustration de la transmission des arbres caduques en été/hiver et de la hauteur du soleil dans le ciel (source: de Gramont *et al.*, 2015, p. 86).

Par ailleurs, la figure 47 illustre que le soleil est beaucoup plus haut dans le ciel en été. La majorité des apports solaires directs responsables de la surchauffe en été ne viennent donc pas du Sud mais de l'Est et de l'Ouest lorsque le soleil est plus bas et peut donc pénétrer en profondeur dans les pièces. Or comme la course du soleil est beaucoup plus importante en été qu'en hiver, il est donc recommandé de mettre des arbres à l'Est et à l'Ouest afin de se protéger des surchauffes.

Par ailleurs, il est toujours souhaitable de mettre des arbres au nord afin de se protéger des vents froids (*Ibid.*, 2015).

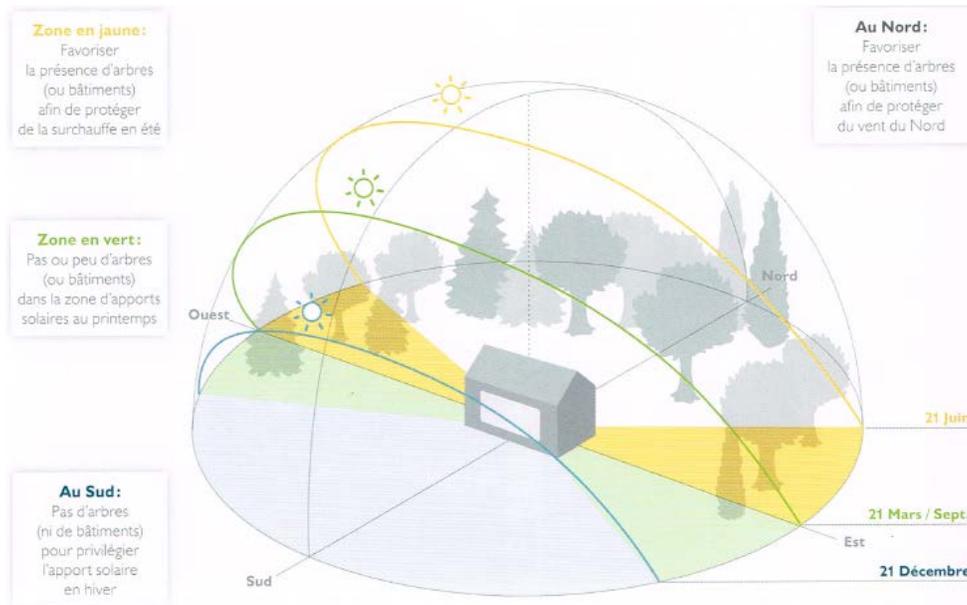


Figure 47. Positionnement de la végétation pour maximiser la prise en compte des apports solaires passifs (source : de Gramont et al., 2015, p. 86 d'après Heliasol).

3-10) Techniques actives

L'idée dans la conception active est de prévoir les espaces alloués au niveau de l'enveloppe extérieure pour l'intégration des systèmes solaires en général. Bien sûr, l'aménagement intérieur pour intégrer ces systèmes doit se faire dès le départ de la conception. Il ne faut pas oublier que le but est de diminuer au maximum la consommation énergétique dans le bâtiment.

L'énergie renouvelable la plus courante chez les particuliers est l'énergie solaire, qui permet de produire de l'eau chaude via les panneaux solaires photovoltaïques (comme dans la figure ci-contre).

L'énergie du vent peut également être exploitée sur une habitation par une mini-éolienne. Il est, cependant, plus intéressant de prendre des parts dans une éolienne de taille beaucoup plus importante, dans la mesure où l'efficacité de cette dernière sera plus intéressante et sa rentabilité plus rapide.



Figure 48. Maison rurale en Algérie, avec panneaux photovoltaïques sur le toit (Source : Aprue, 2010)

Le solaire thermique intervient dans la conception pour le chauffage des locaux (exemple le plancher solaire), et l'eau chaude sanitaire. Pour la gestion technique du bâtiment, il faut prévoir des espaces pour les installations d'équipements comme la cuve de stockage de l'eau chaude solaire. Pour l'eau chaude sanitaire, on peut faire le choix sur une installation collective (immeubles d'habitations collectives), ou sur une installation en kit (maison individuelle).

Un dimensionnement précis des installations de production d'énergie est indispensable pour assurer un bon fonctionnement et des économies d'énergie importantes.

Parmi d'autres sources d'énergie, il y a la géothermie qui peut être facilement exploitée grâce à des capteurs (absorbeurs). Elle est extraite de manière indirecte. De plus, l'Algérie possède plusieurs sources géothermales non exploitées.

Il ya d'autres techniques qui permettent d'économiser l'énergie, comme les pompes à chaleurs, la ventilation double flux etc.

On procède donc au passage du cas du bâtiment à Hautes Performances Energétiques (HPE) au concept du bâtiment à énergie positive (c'est-à-dire un bâtiment qui produit de l'électricité supérieure à ces besoins).

Le concepteur a un large éventail de solutions passives et actives, dont le génie est de trouver la solution optimale permettant d'atteindre les performances requises, tout en réduisant les coûts et limitant les désagréments qui peuvent en résulter.

3-11) Conclusion :

Ce chapitre a démontré que les questions climatiques et énergétiques méritent donc plus que jamais une place essentielle dans le processus de conception architecturale. Les connaissances scientifiques qui s'y rapportent nous semblent donc désormais incontournables pour les architectes. La solution passe par la connaissance du comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment et l'utilisation de solutions de chauffage et de refroidissement passif adaptées illustrées dans ce chapitre à savoir : la ventilation, l'orientation, l'isolation, le double vitrage, la protection solaire.

Par contre, la conception bioclimatique et solaire et l'utilisation des techniques passives sont des solutions faiblement explorées, actuellement, malgré que ça a présenté le génie de l'architecture vernaculaire dans nos préexistences tel que la médina de Tlemcen.

Le chapitre quatre, dans la partie suivante, s'occupera de l'étude de terrain appliquée sur cette ville. Il sera précédé par une conclusion de la première partie qui récapitula tout se qui a été présenté. Et sera suivi par une introduction de la deuxième partie.

Conclusion de la première partie:

Dans cette première partie, un cadre théorique a été fondé en se basant, dans le premier chapitre, sur un panorama général du secteur énergétique à l'échelle mondiale, régionale et nationale, les enjeux économiques et environnementaux globaux liés à l'évolution des consommations énergétiques, le cadre réglementaire algérien et la politique de maîtrise d'énergie. Il a été démontré que, la sécurité énergétique est de plus en plus importante et la consommation nationale d'énergie devrait être plus économe. A cet effet, il a été recommandé d'intégrer les objectifs de la maîtrise d'énergie à travers l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment résidentiel. La transition énergétique est une voie possible, qui se réfère à tous les avantages d'une question majeure qui est la réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels.

Pour y parvenir et afin de placer cette étude dans une perspective internationale, ce cadre théorique a exposé, dans le deuxième chapitre, les techniques d'évaluation de la performance énergétique des bâtiments et les outils de la réhabilitation thermique. À la lumière de cette analyse bibliographique, il a été démontré que l'adoption du modèle bottom-up, dans un premier temps, s'est avéré un choix pertinent. Par ses approches : statistique (technique d'analyse des conditions de la demande d'énergie) et par ingénierie (caractéristiques physiques du bâtiment), il s'est présenté comme un modèle robuste conçu pour répondre aux besoins multiples et évolutifs des politiques énergétiques, notamment dans le secteur résidentiel.

De plus, le «*benchmarking*», l'audit énergétique et le calcul simple suivant la réglementation thermique algérienne seront utilisés, dans les chapitre quatre, comme outils de diagnostic.

Vu le nombre important de paramètres à prendre en considération pour la réalisation de cette étude, ce chapitre a recommandé l'utilisation de la méthode d'aide multicritère à la décision par itération de simulations par modélisation paramétrique pour guider les actions de la réhabilitation thermique, dans le chapitre cinq. Et a démontré, également, que l'optimisation multi-objectif (OMO) est sans aucun doute un sujet de recherche très important à la fois pour les scientifiques et les praticiens, en raison des objectifs multiples et de l'avantage de travailler avec une population de solutions plutôt qu'avec une solution unique.

Cependant, le chapitre trois s'est concentré sur l'explication du comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment et l'utilisation des solutions de chauffage et de refroidissement passif adaptées afin de les utiliser dans l'optimisation du modèle.

Donc, ce cadre théorique nous a fourni les conditions et les exigences qui vont nous permettre d'entamer la deuxième partie de notre travail pour pouvoir vérifier les hypothèses de la recherche.

Partie II
Partie pratique

Introduction de la deuxième partie :

La deuxième partie de cette thèse sera expérimentale. Elle se composera de deux études complémentaires et comportera également trois chapitres.

Le quatrième chapitre décrira le site de Tlemcen du point de vue géographique, historique, architectural, statistique du parc de logements et climatique. Ce qui va servir comme information clé pour la définition des archétypes dans l'étude de terrain. Cette dernière diagnostiquera l'échantillon représentatif en utilisant le modèle « *bottom-up* » d'un point de vue architectural, urbain, technique, thermique et énergétique.

Les chapitres cinq et six représenteront une étude de simulation du type le moins efficient pour l'optimisation de sa performance énergétique et environnementale. Ils comporteront la méthode, les outils et les résultats.

Chapitre 4

Étude de terrain

Ce chapitre constituera un diagnostic de la performance énergétique et thermique des logements collectifs construits à Tlemcen durant les différentes époques qu'a connue l'urbanisation de cette ville. Ce qui représentera l'action clé à la définition d'une méthode stratégique pour la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments résidentiels. Il concernera le stock de logements collectifs existant, et se concentrera uniquement sur les édifices construits durant les deux périodes: coloniale et postindépendance.

Nous aborderons, dans un premier temps, une étude du contexte des bâtiments résidentiels dans cette ville. Cela sera fait pour comprendre la forme architecturale et va permettre la datation des bâtiments considérée comme une information clé.

Dans un deuxième temps, nous aborderons notre étude de terrain sur Tlemcen. Elle représentera un diagnostic basé sur une méthodologie ascendante, à travers : la technique statistique à l'aide de l'audit énergétique qui servira à collecter les données et les caractéristiques physiques du bâtiment. Cette étude nous permettra de découvrir les points forts et les faiblesses de ces bâtiments en tant que consommateurs d'énergie.

4-1) Objectifs de l'étude et methodologies

L'originalité de cette étude est d'accomplir une analyse préliminaire de la performance thermique et énergétique du parc de logements collectifs de la ville de Tlemcen, à travers une étude architecturale et technique des logements représentatifs des différentes périodes d'urbanisation de cette ville. Afin de montrer que chaque bâtiment à Tlemcen est le produit d'un contexte historique, et qu'il possède des qualités et des défauts thermiques inhérents aux méthodes constructives de son époque. Ce qui servira à tester, dans une suivante étude, plusieurs actions de réhabilitation thermique. Cette procédure aidera à poursuivre une analyse plus précise, servant à orienter les actions de correction et d'optimisation des performances énergétiques et environnementales de ces bâtiments.

Un tel objectif peut être atteint grâce à un audit énergétique (définie dans le deuxième chapitre): en n'évaluant que peu de données, il est possible de fournir des résultats de performance énergétique pour chaque bâtiment appartenant au parc de logements.

L'élaboration du nouveau protocole d'audit énergétique, ciblant les immeubles d'habitat collectif à Tlemcen, a été basée sur la méthodologie ascendante:

Au début de ce chapitre, le site de Tlemcen est décrit selon différents niveaux (géographique, historique, architectural, habitat, énergétique et climatique). Ce qui va servir d'effectuer la datation des bâtiments à Tlemcen comme une information clef, car les données historiques

liées à la construction des bâtiments permettent de renseigner une partie des paramètres nécessaires à expliquer les émissions de gaz à effet de serre du bâti à Tlemcen en connaissant les matériaux utilisés, les mode de construction, les surfaces de vitrages utilisés, selon les époques. Notons que, ce travail est spécialement réalisé pour cette étude car la date de construction des édifices à Tlemcen est une information qui n'existait pas jusqu'alors. L'étude est l'occasion de ce travail exhaustif qui pourra servir à de nombreuses futures études. Le travail s'est déroulé en deux phases:

- Une phase de collecte des données à partir des études antérieurs sur la ville de Tlemcen.
- Une phase d'audit énergétique: à travers laquelle les données sont collectées à l'aide d'une enquête accompagnée (définie dans le glossaire) afin de remplir un formulaire présenté dans l'annexe B, des mesures des température, des croquis et des photos, des observations, et des données servant au croisement de sources cartographiques pour dater les immeubles.

Le questionnaire a été conçu de façon à collecter les informations dans quatre aspects principaux :

- Des informations sur le répondeur, tel que le sexe, l'âge, occupation, le statu familial et la taille de la famille.
- Des informations sur l'appartement, tel que le type, le statu, la typologie, la disposition, les matériaux de construction et la composition de logement. Le déménagement d'un logement à un autre et les caractéristiques du bâtiment préféré.
- L'usage des différents espaces durant l'hiver et l'été, en incluant les calendriers des différentes activités.
- Des questions liées à la consommation d'énergie, à la température, à la ventilation et à l'eau chaude sanitaire.

Les périodes de constructions retenues sont les suivantes:

- Période coloniale: entre 1872 à 1920, de 1939 à 1957, de 1958 à 1962;
- Période postindépendance: de 1974 à 1989, de 1990 à 2016.

L'échantillon d'étude se compose des ménages de 100 logements. Dont : 51 logements coloniaux et 49 logements postcoloniaux (voir tableau 21).

Tableau 21. L'échantillon du champ d'étude (Source : l'Auteur).

Type de logement	Période historique	Nombre de logement
Colonial	Entre 1872-1920	20
	Entre 1939-1957	05
	Entre 1958-1962	26
Postcolonial	Entre 1974-1989	18+
		12
	Entre 1990-2016	19
Total		100

Dans une seconde partie la forme urbaine et les techniques constructives sont analysées. Ce qui a servi comme matière première à illustrer, dans la partie suivante, les atouts et les faiblesses des bâtiments en tant que consommateurs d'énergie par des analyses thermiques.

4-1-1) Procédure :

Le questionnaire a été présenté à la société locale. Les intentions et les objectifs de l'étude étaient expliqués en utilisant des termes simples. Dans tous les logements visités, les ménages étaient interviewés, mais dans certains seulement la température était mesurée selon la permission des habitants. Dans quelques logements, les mesures étaient en fonction de la disponibilité des ménages.

La température était mesurée à l'aide de deux thermomètres digitaux, délivrés avec une stable investigation de 22.5C° pour le calibrage.

4-1-2) Traitement des données collectées :

Les données collectées et les observations faites dans le champ d'étude sont utilisées pour donner une description des logements, comment ceux-ci sont utilisés et évaluer leur consommation énergétique. L'élaboration du diagnostic, suivant une méthodologie ascendante est effectuée comme suit:

- Identification de suffisamment de cas d'études différentes du point de vue: des dimensions, la typologie, la morphologie et les caractéristiques technologiques, pour décrire l'ensemble du parc régional;
- Analyse énergétique des cas d'études, en utilisant plusieurs méthodes d'analyse, d'une approche plus approfondie à une plus détaillée:
 - a) Méthode des comparaisons entre: les performances des enveloppes; l'effet de la paroi froides de chaque type d'enveloppe, le confort d'été, les menuiseries, la ventilation et les équipements de chauffage;

- b) Consommation d'énergie dite «réelle» (collecte de données sur les factures d'énergie précédentes en sélectionnant plutôt un même nombre de cas à l'intérieur de chaque strate pour permettre des comparaisons par la suite. Cette façon de procéder s'appelle l'échantillonnage stratifié pondéré: on égalise chaque strate (Angers, 2015));
 - c) Identification, grâce à l'analyse ci-dessus, des caractéristiques / facteurs / paramètres qui influent le plus sur la performance énergétique du logement collectif. Par conséquent, l'identification des facteurs qui influent le moins.
- Formulation de synthèse et des recommandations servant à réduire la consommation par de simples mesures.

Les résultats du questionnaire étaient codés, élaborés et analysés par le logiciel *SPSS* (version 16.0). Les résultats vont être présentés sous forme de pourcentage, de moyennes et de graphiques statistiques issues des analyses univariées et bivariées des données collectées.

4-2) Tlemcen comme champ d'étude

4-2-1) Situation et données Géographiques :

Tlemcen se situe dans l'extrême Nord-Ouest de l'Algérie, exactement à 40km de la mer méditerranée à vol d'oiseau, à 63km de la frontière marocaine, et distante de 550km de la capitale Alger (voir figure 49). Tlemcen est à 1,19° de longitude ouest, et à 34,56° de latitude Nord est adossée au flanc du plateau de lalla Setti (1200m d'altitude). Localement, l'agglomération de Tlemcen s'étend sur le territoire de quatre communes (Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni Mester), soit une superficie de 2736 hectares. Elle est peuplée par plus de 236000 habitants. Soit une densité de 520h/km². Le site de la ville est un plan incliné orienté Sud-Nord avec des altitudes variables entre 550 à 930 d'altitude (Ghomari, 2007).

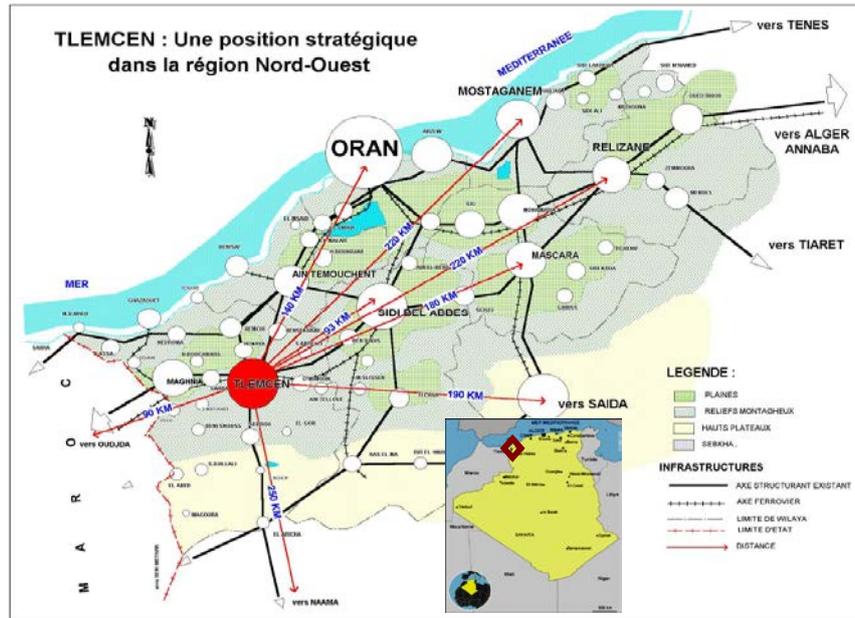


Figure 49. Situation de Tlemcen (source : A.N.A.T., D.U.C., 2005, p. 07).

4-2-2) Aperçu historique de la ville de Tlemcen :

Tlemcen représente l’une des plus vieilles villes du réseau urbain algérien. Indéniablement, c’est la plus représentative du patrimoine architectural arabo-musulman, bien qu’elle soit, à l’origine, de création romaine mais avec un nombre d’indices remontant à des siècles plus lointains (Sari Dj., 2006, p.13). D’où elle a pris successivement plusieurs noms : Pomaria (vergers), Agadir (lieu élevé), Tagrart (campement), et Tlemcen (voir fig. 50).

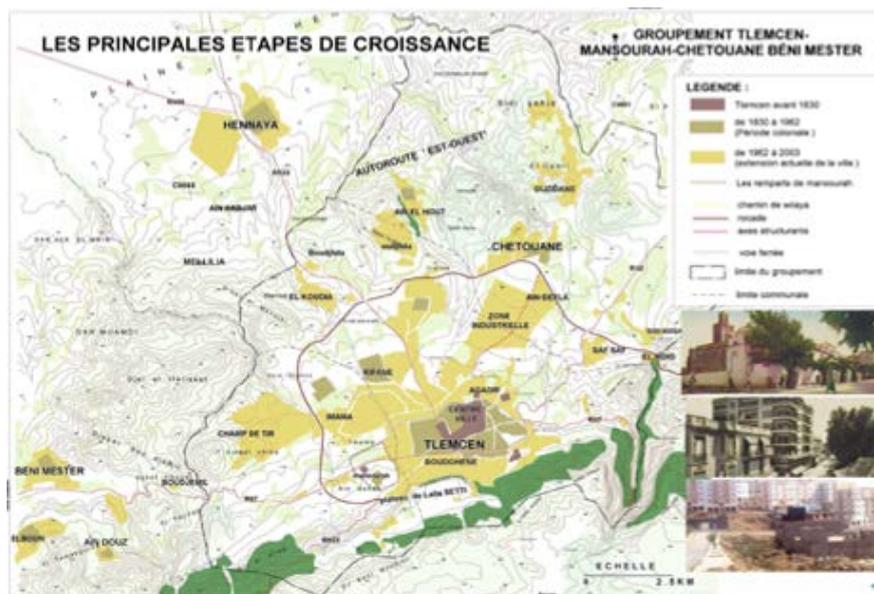


Figure 50. Principales étapes de croissance de Tlemcen (source : ANAT, DUC, 2004).

Mais au-delà de cette histoire apparemment agitée et afin de mettre en valeur les grandes lignes d'une urbanisation bimillénaire, au demeurant ininterrompue, il convient de citer un bref aperçu historique reflétant les trois périodes suivantes : précoloniale, coloniale et postcoloniale (voir figure 51).

- Des indices de la période préhistorique (néolithique) ont été découverts dans la région (grottes de Boudghene – Bab El Karmadine – Ouzidane).
- La région fut habitée ensuite par les berbères.
- Installation romaine (au 17 avant Jc).
- Débarquement des vandales dans le Maghreb sur les côtés de la méditerranée et de l'océan atlantique particulièrement.
- En 710, les arabes arrivent à Tlemcen, et convertissent la population en presque 80 ans.
- En 790, le sultan Idriss 1^{er}, obtient la possession de la medina et crée son enceinte jusqu'à l'an 930 et la fondation de la cité Agadir (790 -1078).
- En 1080, arrivent les Almoravides et utilisent le nom de « Tilimsan » et fondation de « Tagrart » actuelle Tlemcen par Abou Tachefine (1080 -1147).
- En 1235, Tlemsan devient la capitale du royaume des Ziandes siège du gouvernement de Provence.
- En 1370, Ibn Khaaldoun se réfugie chez le sultan des Zianides.
- En 1553, la région de « Tilimsan » tombe sous la domination Othomane.
- En 1836 Tlemcen est conquise par la colonisation française.
- En 1834 – 1836, Tlemcen fit la soumission au sultan du Maroc qui a été reconnue par l'Emir AEK.
- En 1837 – 1872, traité de la Tafna entre l'Emir AEK et l'occupant français.
- En 1842, Tlemcen devient chef lieu de la 5^{ème} division militaire d'Oran.
- 1858, Tlemcen devient sous préfecture du département d'Oran.
- 1872, début de la destruction des bases culturelles et économique de la médina – 1872 destruction de la medersa tachfinia et construction de places et administrations françaises.
- 1904, destruction de la kaissaria, et construction à sa place du marché couvert.
- 1920, commence l'urbanisation extra-muros, par la création des cités faubourgs-Beauséjour et Bel Air.
- Création et développement du noyau colonial.

- Création de la voie de chemin de fer (Oran- Mecheria – Béchar) qui a détourné l'ancien trafic florissant et Tlemcen perd son rang au profit d'Oran.
- Redéfinition du rôle de Tlemcen, comme centre local qui serait tourné uniquement vers l'agriculture et ses services annexes (URBAT, 2018).

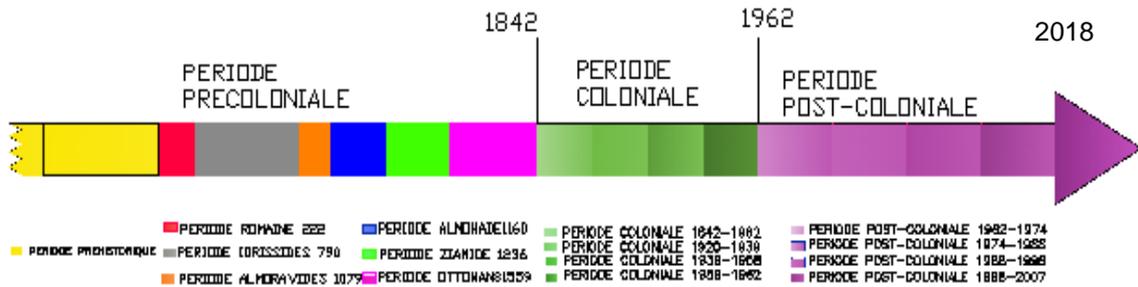


Figure 51. Différentes périodes de l'évolution historique de Tlemcen (source : ANAT, DUC, 1999).

4-2-3) Habitat dans la ville de Tlemcen :

a) Regard sur l'habitat traditionnel :

La médina de Tlemcen représente le centre en terme de noyau originel et reflète par sa pérennité, la plus forte expression de l'identité du lieu en tant qu'espace où est concentré, le plus de valeurs symboliques de l'histoire (Mechouar, mosquées, zaouias...). Cet espace se transforme à une allure rapide qui affecte à la fois fonctions, structures et formes et se pose à cet égard le problème de dysfonctionnement par rapport au reste de l'agglomération.

Au plan de l'organisation d'ensemble, la médina de Tlemcen obéit au même principe d'organisation de l'espace des médinas maghrébines en général, agglomération « spontanée » sur un plan radioconcentrique entourée de remparts (la plupart ont disparus), elle se compose d'espaces spécialisés, d'où ressortent deux caractéristiques : hiérarchisation et homogénéité.

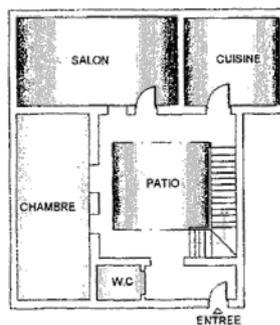
Au cœur, commerces et artisanats se répartissent autour de la grande mosquée selon un principe hiérarchisé significatif de l'importance des différents métiers. Les quartiers résidentiels s'établissent autour de cette aire. Quant à l'homogénéité des différents espaces et de l'ensemble urbain, elle découle de l'homogénéité formelle des éléments de la composition urbaine, maisons traditionnelles et échoppes et de l'imbrication de ces éléments. A Tlemcen, comme dans les autres médinas, la compartimentation de l'espace en quartier, derb, grande maison reflète une hiérarchisation de l'occupation de l'espace (Khaldoun A., Séminaire des Ksours et des Médina, 1999).

Sur le plan architectural, cette médina est caractérisée par une conception compacte horizontale qui expose le minimum de surface au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. Les

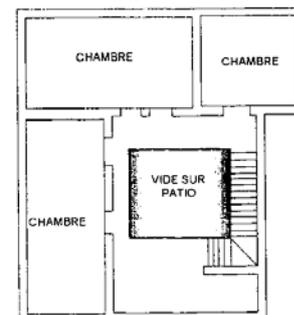
maisons à patio caractéristiques de ce climat sont regroupées de manière compacte et leurs murs mitoyens limitent les surfaces d'exposition au soleil (Fewzi, 1989). L'introversion est souvent expliquée en termes d'intimité, de facteurs socioculturels et de mode de vie. Certains admettent un rôle de régulateur thermique à la cour. L'introversion est donc générée par une multitude de facteurs dont au moins un climatique. L'introversion est même favorisée et parfois imposée par l'associativité de la parcelle qui, elle-même, est imposée par la compacité etc. (Maazouz, 2007). Dans les groupements horizontaux, les ruelles sont longues, tortueuses et fournissent de l'ombre pendant presque toute la journée. Parfois, les pièces du premier étage sont en encorbellement au dessus des ruelles, fournissant ainsi un minimum d'ombre et munies de petites fenêtres permettant la ventilation et la pénétration de la lumière naturelle. De couleur claire, la maison à patio a une masse thermique considérable avec très peu d'ouvertures sur l'extérieur ; elle comporte une terrasse que l'on utilise en été pour dormir ou faire sécher des produits alimentaires. Si le climat est trop sec, un arbre fruitier ou une fontaine au milieu du patio représente un symbole de vie dans ces régions (Fewzi, 1989). La maison traditionnelle comme l'indique la figure 52, s'inspire dans son style de la simplicité de l'Islam en respectant les critères du climat, de situation et de sécurité. Elle est généralement de 1-2 niveaux de hauteur et varie de 4 à 8 m. Cette maison à patio occupe des parcelles de forme géométrique très variable avec une organisation introvertie. Les matériaux traditionnels locaux : Le pisé (revêtement du plafond), le bois (solives), la brique de terres sèches (couverture du plancher). Les hauteurs de constructions : R.D.C (36%), R+1(64%).



Figure 52. Caractéristique de l'habitat traditionnel à Tlemcen
(Source : Khaldoun, 1999)



Plan du R.D.C



Plan du 1^{IER} ETAGE

b) Regard sur l'habitat contemporain

L'habitat contemporain à Tlemcen date des deux périodes coloniale et postcoloniale. Durant la période coloniale, la préoccupation défensive céda le pas aux tracés orthogonale au-dessus de celui de la médina qui causa la destruction de grandes parties des quartiers résidentiels afin de permettre le contrôle militaire. Une nouvelle typologie d'habitat (habitat collectif) sous forme d'immeubles est apparue. Le tissu colonial est caractérisé par des parcelles de forme régulière généralement rectangulaire, accessible directement par les rues. La rue est assez large permettant la circulation mécanique et piétonne et bordée d'immeubles de 2 à 4 niveaux. Deux extensions ont marqué l'occupation française dans cette ville. Dans la première, des quartiers européens, caractérisé par des maisons individuelles groupées avec des toitures à double ou à plusieurs versants en tuile ou en ardoise et des jardins privés à l'entrée, ont été réalisés, comme l'indique la figure 53. Jusqu'à l'heure actuelle, Tlemcen présente toujours le visage d'une ville coloniale.



Figure 53. Caractéristique de l'habitat contemporain durant la période coloniale à Tlemcen (Source : photo prise par l'auteur)

La deuxième extension est caractérisée par l'apparition de nouveaux regroupements d'habitat collectif. Et depuis et jusqu'à présent, une occupation en îlot ouvert a caractérisé cette typologie sous forme de grands ensembles occupant les Zones d'Habitat Urbanisées nouvelles (ZHUN) dans les zones périphériques de la ville.

c) Statistiques et perspectives de l'habitat à Tlemcen :

L'analyse du rapport démographie et développement du parc de logements au niveau du groupement permettrait non seulement de renseigner sur la répartition de la population par dispersion mais aussi de saisir les tendances d'évolutions passées. Elle servira aussi pour mieux appréhender les mutations de la population en termes d'évolution des paramètres démographiques et le développement des typologies de logement. Ce pour mieux cerner les tendances d'évolutions futures (perspectives) à savoir, à court, moyen et long terme.

Le RGPH de 2008 évalue, pour le Groupement, le nombre total des logements à 55 663 et à 45 833 logements habités ; soit un taux d'occupation de 82.3% supérieur à celui de la Wilaya (78.2%). Le taux d'occupation par logement (TOL) est de 5.6 personnes par logement avec un

taux d'occupation (TOP) de 1.8 personnes par pièce. Le TOL et le TOP sont légèrement inférieurs à ceux de la wilaya (5.7 et 1.9). Le TOL est nettement inférieur à celui évalué au niveau national qui est de 6.4 personnes par logement. Les données du tableau ci-dessous montrent une relative amélioration des conditions d'habitation. En effet, Le TOL a connu une courbe descendante depuis 1998. Il était de 6.3 à cette date pour décroître à 5.7 en 2008. Cette amélioration relevée tant au niveau des communes du Groupement qu'au niveau de la wilaya et du pays résulte de l'importante croissance du parc immobilier (URBAT, 2018).

Tableau 22. Evolution du T O L depuis 1998 à Tlemcen (Source : Direction de logement de Tlemcen, 2017).

Année	Population	Parc de logements	T.O.L
RGHP 1998	842 053	133 077	6,3
1999	846 942	134 000	5,5
2005	912 193	164 682	5,5
2008	949 135	166 665	5,7
2009	968 967	171 665	5.6
2013	1 018 971	191665	5.3
2014	1 021 009	196 385	5.2
2015	1 030 000	200 000	5.08
2016	1 050 600	206 696	5.18
2017	1 071 612	215 079	5

Sur la période 1987-2008, le parc logement total a quasiment doublé en 21ans. Le croît est de 27 437 unités, soit un taux de croissance de 97.2%. Cet accroissement est le fait particulièrement du développement des communes de Mansourah et Chetouane où les taux de croissance sont très élevés. Leur parc immobilier a été respectivement multiplié par 3.27 fois et 2.77, soit des taux de croissance de 256.8% et 176.7%. La croissance en termes de logements n'a pas été réalisée avec la même ampleur pour Tlemcen et Beni Mester. Les taux sont nettement moins élevés (URBAT, 2018).

Le type de logement est un indicateur qui peut renseigner sur le niveau socioéconomique du ménage.

La structure des logements habités selon le type de construction¹, comme indiqué dans le tableau suivant, fait ressortir le caractère essentiellement individuel des constructions. Mais l'analyse comparative de la dynamique du parc à l'échelle départementale montre une augmentation des tranches de logements en immeubles collectifs (IC). Leur taux passe de 14.7% en 1998 à 19.1% en 2008. Cette augmentation s'accompagne de l'accroissement de la part de ce type de logements dans le parc. L'augmentation est toutefois contrebalancée par la faible augmentation des parts relatives aux maisons individuelles et la diminution des maisons

¹ Selon la nomenclature de l'ONS.

traditionnelles, soit respectivement 69.8% et 8.6% contre 66.9% et 13.9% en 1998. Les constructions précaires, quant à elles, leur taux est passé de 3.5% à 1.6%, soit une baisse de 0,55%.

Tableau 23. Structure des logements habités selon le type de construction à Tlemcen (Source : l'URBAT, 2018).

R G P H	Communes du Groupeent	Type de construction					Total
		Immeuble	Maison Individuelle	Maison Traditionnelle	Autres Ordinaires	Constructions Précaires	
2008	Tlemcen	19,1	69,8	8,6	0,8	1,6	100
	Beni Mester	1,6	95,1	2,0	0,4	0,9	100
	Chetouane	13,8	73,9	5,5	0,7	6,1	100
	Mansourah	52,2	42,3	1,0	0,9	3,5	100
	Groupement	23,6	66,8	6,1	0,8	2,8	100
	Wilaya	12,0	79,9	4,9	0,6	2,6	100
1998	Tlemcen	14,7	66,9	13,9	1,0	3,5	100
	Béni Mester	0,9	73,3	25,4	0,2	0,2	100
	Chetouane	4,8	72,1	14,1	1,1	7,9	100
	Mansourah	54,5	38,5	2,5	0,4	4,1	100
	Groupement	18,8	63,5	12,8	0,8	4,1	100
	Wilaya	8,5	75,6	12,4	0,8	2,7	100

Les données statistiques ayant servi à l'analyse proviennent essentiellement des résultats des différents recensements de la population et de l'habitat (RGPH).

Il est important de signaler qu'un recensement de la population et de l'habitat est la source unique pour une information statistique exhaustive au niveau de la commune. Par voie de conséquence, il peut sembler que les données issues du dernier recensement de 2008 soient "dépassées".

La wilaya de Tlemcen a bénéficié d'un programme de logements de 128 788 et le nombre de demandes de logement, jusqu'à 30/10/2017, est passé à 78 495 demandes (direction de logement de Tlemcen, 2017).

Pour la satisfaction des besoins en logement de la population prévue, d'ici l'an 2036 -qui serait de 979 540 habitants-, il y a lieu de prévoir un parc logement de l'ordre de 197576 unités, indiqué par le tableau 24. Ces nouveaux besoins, ont été calculés sur la base d'un taux d'occupation par logement (TOL) de 4.95 personnes par logement, la superficie nécessaire pour la réalisation de ce programme est estimé à 1500ha, calculés sur la base d'une densité moyenne de 25 logement à l'hectare pour l'individuel avec équipements soit 30,39% avec 904,95 ha. L'habitat collectif avec équipements, représente 28,68% avec 853,10 ha. La

surface de l'habitat avec équipements, représente 59,04% (presque les 2/3), avec 1.758,05ha (URBAT, 2018).

Tableau 24. les besoins en logements à Tlemcen (source : l'URBAT, 2018).

Communes	RGPH 2008			ESTIMATION					
	Pop (hab)	Logts	TOL	AU 1-1-2016			AU 1-1-2016 (LT)		
				Pop (hab)	Logts	TOL	Pop (hab)	Logts	TOL
Tlemcen	140 158	25 299	5,54	146 853	27 708	5,30	172 224	35 148	4,90
Mansourah	49 150	9 118	5,39	63 315	12 176	5,20	138 731	28 902	4,80
Chetouane	47 600	8 294	5,74	89 351	16 395	5,45	619 779	123 956	5,00
Grand Tlemcen	236 908	42 711	5,55	299 519	56 279	5,32	930 734	188 006	4,95
Beni Mester	6 872	1 153	5,96	9 331	1 637	5,70	25 300	4 961	5,10
Zelboun	5 883	987	5,96	6 358	1 115	5,70	10 202	2 000	5,10
Ain Douz	2 689	451	5,96	3 361	590	5,70	7 184	1 409	5,10
Tizghennit	1 464	246	5,95	1 659	291	5,70	2 433	477	5,10
Boudjmil	798	134	5,96	1 127	197	5,70	2 471	485	5,10
Zone éparse	945	158	5,98	945	166	5,70	1 216	238	5,10
C. Béni Mester	18 651	3 129	5,96	22 781	3 996	5,70	48 806	9 570	5,10
Groupement	255 559	45 840	5,58	322 300	60 275	5,34	979 540	197 576	4,95

4-2-5) Énergie à Tlemcen

Selon les données de 2014 fournis par la direction générale de SONELGAZ de Tlemcen, cette wilaya a 252 208 abonnés en électricité et 130 004 en gaz en 2014. Le taux actuel d'électrification est de 98% (Sonelgaz, 2015). Ces données témoignent d'une augmentation perceptible de la consommation énergétique d'une année à une autre (voir figure 54).

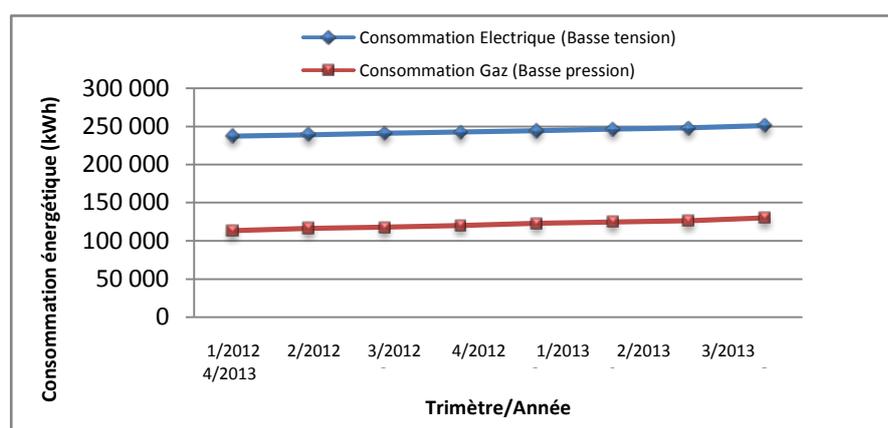


Figure 54. Évolution de la consommation de l'énergie à Tlemcen (source: Sonelgaz, 2015)

On constate que le nombre d'abonnés augmente considérablement entre le premier semestre de l'année 2012 et le quatrième semestre de l'année 2013, que ça soit en électricité ou bien en gaz (voir figure 50), le nombre est ajouté de 30 140 abonnés. Tandis que, la consommation spécifique totale augmente de 129.32kWh de l'année 2012 à l'année 2013, poussée par la

hausse de la consommation spécifique du premier semestre de l'année 2013 estimé de 310.38kWh par rapport à l'année 2012. Ce qui peut être expliqué par les changements climatiques.

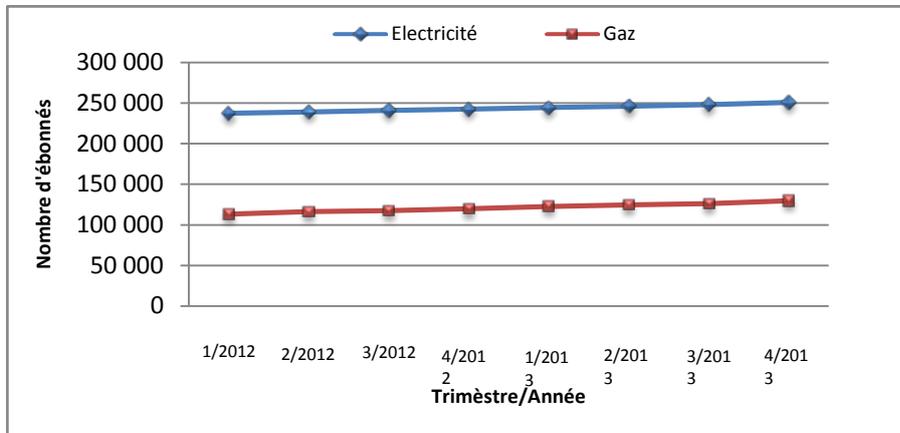


Figure 55. Accroissement de la clientèle de gaz naturel et de l'électricité à Tlemcen (source: Sonelgaz, 2015)

4-2-6) Climat à Tlemcen

a) Climat

Tlemcen est la zone climatique qui va être analysé dans cette thèse, par l'étude des propriétés climatiques dans les cas d'étude.

Selon le zonage climatique algérien (CNERIB,1998), Tlemcen est classée dans la zone B. Etre sur une haute altitude, le climat peut être froid à très froid en hiver et chaud à très chaud en été, avec des vents Nord-Ouest et Sud-ouest durant l'année, et un bon montant de précipitations. Le climat se caractérise par deux saisons contrastées. La première, allant d'Octobre à Mai où se concentre le gros volume des précipitations. La deuxième allant de Mai à Septembre est nettement sèche. Les précipitations sous forme de neige sont fréquentes au niveau des altitudes. Le groupement de Tlemcen jouit d'un régime pluviométrique complexe influencé par le climat arrière littoral montagne caractérisé par une saison pluvieuse et par un été sec. La pluviométrie est en fonction de l'altitude, elle est relativement abondante avec une variation inter annuelle importante. La moyenne calculée est de 560 mm/an. L'évapotranspiration potentielle est très importante. La quantité d'eau qui reste disponible pour le ruissellement et l'infiltration profonde atteinte 100 mm/an. La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de Tlemcen est de 16,5°C (URBAT, 2018).

Les données mensuelles de l'année 2008 de la station de Safsaf (à 592m d'altitude) dans la ville de Tlemcen ont été prises de l'office national de météorologie (Voir figures 56 à 61).

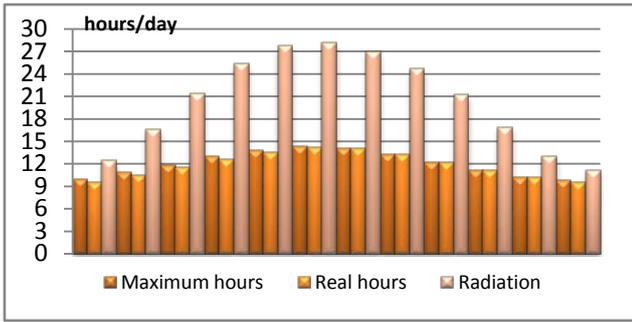


Figure 56. Lumière et Radiation Solaire sur une surface horizontale à Tlemcen; (Source: Atlas solaire de l'Algérie, M. Capdérrou, 1985)

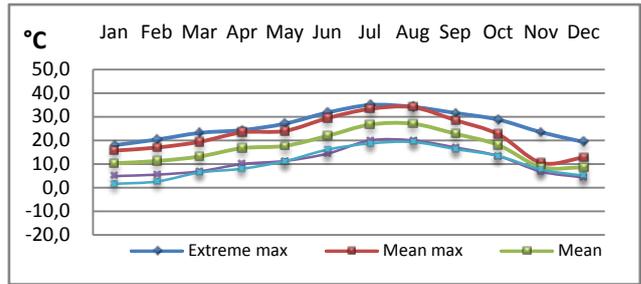


Figure 57. Moyenne maximale et minimale de Température de Tlemcen ; (Source: Office National de Météorologie, station de Tlemcen 2008)

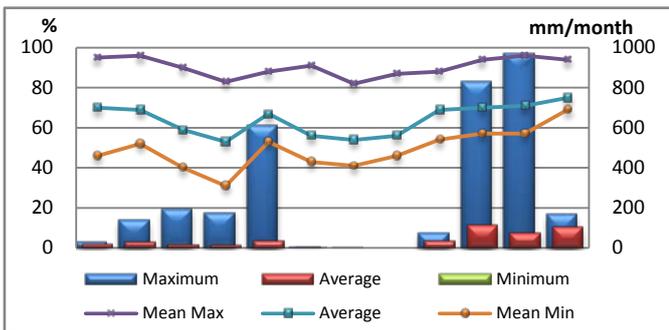


Figure 58. Moyenne de l'humidité Relative et de précipitation maximale et les données moyennes per moi à Tlemcen ; (Source: Office National de Météorologie, station de Tlemcen 2008)

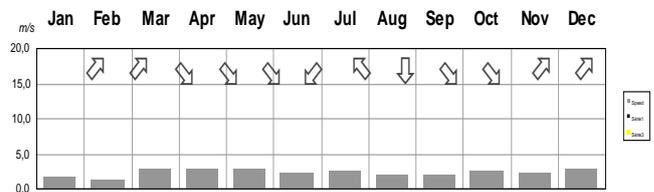


Figure 59. Les vents dominants à Tlemcen ; (Source: Office National de Météorologie, station de Tlemcen 2008)

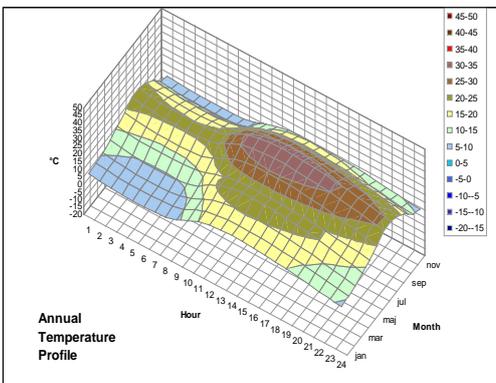


Figure 60. Profil annuel de température (Source: Office National de Météorologie, station de Tlemcen 2008)

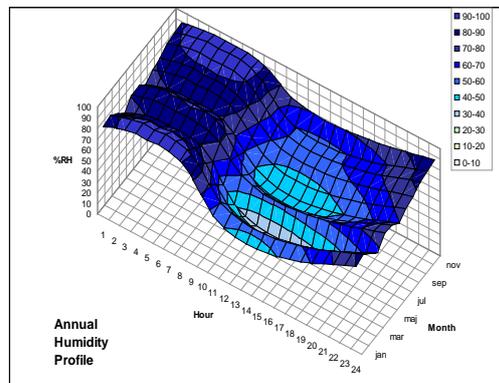


Figure 61. Profil annuel d'humidité (Source: Office National de Météorologie, station de Tlemcen 2008)

b) Confort thermique: Analyse des données climatique du site de Tlemcen

Selon les figures 56-61, on peut conclure que les jours les plus chauds durant l'année sont aux mois de Juillet et Aout et les plus froids sont aux mois de Décembre et Janvier, par

conséquent ces dates sont appliquées comme la principale référence dans cette étude pour les saisons d'été et d'hiver.

La vitesse du vent est plutôt régulière durant l'année pour atteindre entre 1.3 et 2.8m/s, et avec une direction variable entre le Nord-Ouest et Sud-Ouest. D'autres facteurs des données collectées tel que l'humidité et les précipitations ont une importance mineure dans cette étude, et sur ce ils ont été négligés.

En référence du tableau 25 de Mahoney, on a trouvé que le niveau de confort de l'atmosphère est assuré pendant les nuits de la saison d'été (Juillet, Aout et Septembre) et pendant les jours des mois d'Avril, Mai et Octobre. D'autre part, le climat peut être chaud pendant les jours d'été (Juin, Juillet, Aout et Septembre) et peut être plutôt froid durant les autres saisons, tandis qu'au long de toute l'année le climat peut être froid la plupart du temps pendant la nuit, ce qui veut dire qu'il ya un besoin de chauffer pour enrichir le niveau du confort.

Le mouvement d'air a été trouvé essentiel en été pour assurer le confort.

Selon les recommandations générales et détaillées de Mahoney dans le tableau 26, la bonne orientation qui est le Sud-Nord dans l'axe le plus long est actuellement implanté dans ce cas de projet.

L'organisation compacte des espaces est recommandée dans l'ordre de chauffer les volumes et enrichir le niveau du confort intérieur pendant l'hiver. Des chambres alignées en une seule rangée, pour une provision permanente du mouvement d'air. L'appartement actuel a aussi achevé les recommandations de Mahoney concernant la surface medium des ouvertures (25–40%) dans les murs Nord et Sud dans le coté exposé aux vents; et des murs extérieurs et intérieurs épais (plus de 8h dans le coté exposé aux vents); et la lumière, des plafonds isolés, pour but d'enrichir l'objectif du confort thermique.

Tableau 25. Le tableau de Mahoney (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des données météorologiques du site de Tlemcen, 2016)

Location	TLEMEN -2008												
Longitude	34°												
Latitude	1°												
Altitude	810m												

Air temperature °C	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	High	AMT	(annual mean temp)	
	Monthly mean max.	17,6	18,2	20,2	24,4	22,4	29,4	32,7	33,5	29,6	24,8	18,1	14,8	33,5	27	
	Monthly mean min.	5,7	7,1	7,6	9,5	13,7	16,1	20,5	20,3	18,1	14,5	7,9	5,9	20,5	13	
	Monthly mean range	11,9	11,1	12,6	14,9	8,7	13,3	12,2	13,2	11,5	10,3	10,2	8,9	Low	AMR	(annual mean range)

Relative humidity %	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
	Monthly mean max am	95	96	90	83	88	91	82	87	88	94	96	94	1 <30%
	Monthly mean min pm	46	52	40	31	53	43	41	46	54	57	57	69	2 30-50%
	Average	70,5	74	65	57	70,5	67	61,5	66,5	71	75,5	76,5	81,5	3 50-70%
Humidity group	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4 >70%	

Rain and wind	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
	Average rainfall mm	19	27	16	11	35	1	0	0	33	112	75	103

Wind, prevailing														N, NE, E, SE, S, SW, W, NW
Wind, secondary	SW	SW	NW	NW	NW	NE	SE	N	NW	NW	SW	SW		

Mahoney Diagnosis °C	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	AMT	
	Monthly mean max	17,6	18,2	20,2	24,4	22,4	29,4	32,7	33,5	29,6	24,8	18,1	14,8	27
	Day comfort, upper	27	27	29	29	27	29	29	29	27	27	27	27	
	Day comfort, lower	22	22	23	23	22	23	23	23	22	22	22	22	
	Thermal stress, day	C	C	C	O	O	H	H	H	H	O	C	C	
	Monthly mean min	5,7	7,1	7,6	9,5	13,7	16,1	20,5	20,3	18,1	14,5	7,9	5,9	
	Night comfort, upper	21	21	23	23	21	23	23	23	21	21	21	21	
	Night comfort, lower	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
	Thermal stress, night	C	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	

Comfort limits	AMT >20°C				AMT 15-20°C				AMT <15°C				For AMT = 27
	Day		Night		Day		Night		Day		Night		
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	
	1	26 34	17 25	23 32	14 23	21 30	12 21	25 34	17 25	23 32	14 23	21 30	
	2	25 31	17 24	22 30	14 22	20 27	12 20	25 31	17 24	22 30	14 22	20 27	
3	23 29	17 23	21 28	14 21	19 26	12 19	23 29	17 23	21 28	14 21	19 26		
4	22 27	17 21	20 25	14 20	18 24	12 18	22 27	17 21	20 25	14 20	18 24		

Meaning	Indicator	Thermal stress	Rainfall	Humidity group	Monthly mean range
		Day	Night		
	Air movement essential	H1	H	4	
			H	2-3	<10°C
	Air movement desirable	H2	O	4	
	Rain protection necessary	H3		>200mm	
Thermal capacity necessary	A1		1-3	>10°C	
Outdoor sleeping desirable	A2	H	1-2		
		H O	1-2	>10°C	
Protection from cold	A3	C			

Indicators	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
	H1								1				1
	H2					1				1			2
	H3												0
	A1			1	1		1	1	1				5
	A2												0
	A3	1	1	1								1	1

Tableau 26. Les Recommandations générale et détaillé de Mahoney (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des données météorologiques du site de Tlemcen, 2016)

Indicator totals from data sheet					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
1	2	0	5	0	5

TLEMCCEN -2008
Latitude 1°N

General recommendations

Layout							
			0-10		<input checked="" type="checkbox"/>	Orientation north and south (long axis east-west)	
			11-12		<input type="checkbox"/>	Compact courtyard planning	
				5-12	<input type="checkbox"/>		
				0-4	<input type="checkbox"/>		
Spacing							
11-12					<input type="checkbox"/>	Open spacing for breeze penetration	
2-10					<input type="checkbox"/>	As above, but protection from hot and cold wind	
0-1					<input checked="" type="checkbox"/>	Compact layout of estates	
Air movement							
3-12					<input checked="" type="checkbox"/>	Rooms single banked, permanent provision for air movement	
1-2			0-5		<input type="checkbox"/>	Rooms double banked, temporary provision for air movement	
			6-12		<input type="checkbox"/>		
0	2-12				<input type="checkbox"/>	No air movement requirement	
	0-1				<input type="checkbox"/>		
Openings							
			0-1		<input type="checkbox"/>	Large openings, 40-80%	
			11-12		<input type="checkbox"/>	Very small openings, 10-20%	
				0	<input type="checkbox"/>		
Any other conditions						<input checked="" type="checkbox"/>	Medium openings, 20-40%
Walls							
			0-2		<input type="checkbox"/>	Light walls, short time-lag	
			3-12		<input checked="" type="checkbox"/>	Heavy external and internal walls	
Roofs							
			0-5		<input checked="" type="checkbox"/>	Light, insulated roofs	
			6-12		<input type="checkbox"/>	Heavy roofs, over 8h time-lag	
Outdoor sleeping							
				2-12	<input type="checkbox"/>	Space for outdoor sleeping required	
Rain protection							
		3-12			<input type="checkbox"/>	Protection from heavy rain necessary	

Detailed recommendations

Size of opening						
			0-1		<input type="checkbox"/>	Large openings, 40-80%
				0	<input type="checkbox"/>	
				1-12	<input checked="" type="checkbox"/>	Medium openings, 25-40%
			2-5		<input type="checkbox"/>	
			6-10		<input type="checkbox"/>	Small openings, 15-25%
			11-12		<input type="checkbox"/>	Very small openings, 10-20%
				0-3	<input type="checkbox"/>	
				4-12	<input type="checkbox"/>	Medium openings, 25-40%
Position of openings						
3-12					<input checked="" type="checkbox"/>	In north and south walls at body height on windward side
1-2			0-5		<input type="checkbox"/>	
			6-12		<input type="checkbox"/>	
0	2-12				<input type="checkbox"/>	As above, openings also in internal walls
Protection of openings						
				0-2	<input type="checkbox"/>	Exclude direct sunlight
		2-12			<input type="checkbox"/>	Provide protection from rain
Walls and floors						
			0-2		<input type="checkbox"/>	Light, low thermal capacity
			3-12		<input checked="" type="checkbox"/>	Heavy, over 8h time-lag
Roofs						
10-12			0-2		<input type="checkbox"/>	Light, reflective surface, cavity
			3-12		<input checked="" type="checkbox"/>	Light, well insulated
0-9			0-5		<input type="checkbox"/>	
			6-12		<input type="checkbox"/>	Heavy, over 8h time-lag
External features						
				1-12	<input type="checkbox"/>	Space for outdoor sleeping
		1-12			<input type="checkbox"/>	Adequate rainwater drainage

Dans le diagramme de Givoni, comme l'indique la figure 62, il a été trouvé qu'il y a un besoin de ventilation durant les saisons chaudes de l'année pour achever le confort, en plus la ventilation nocturne est recommandée pour assurer le rafraîchissement de l'air à l'intérieur de l'appartement. Le conditionnement de l'air n'est pas une nécessité dans le climat de Tlemcen, mais un besoin de déshumidification en mois d'Aout est nécessaire. Tandis que le chauffage est nettement indispensable pour accomplir le confort.

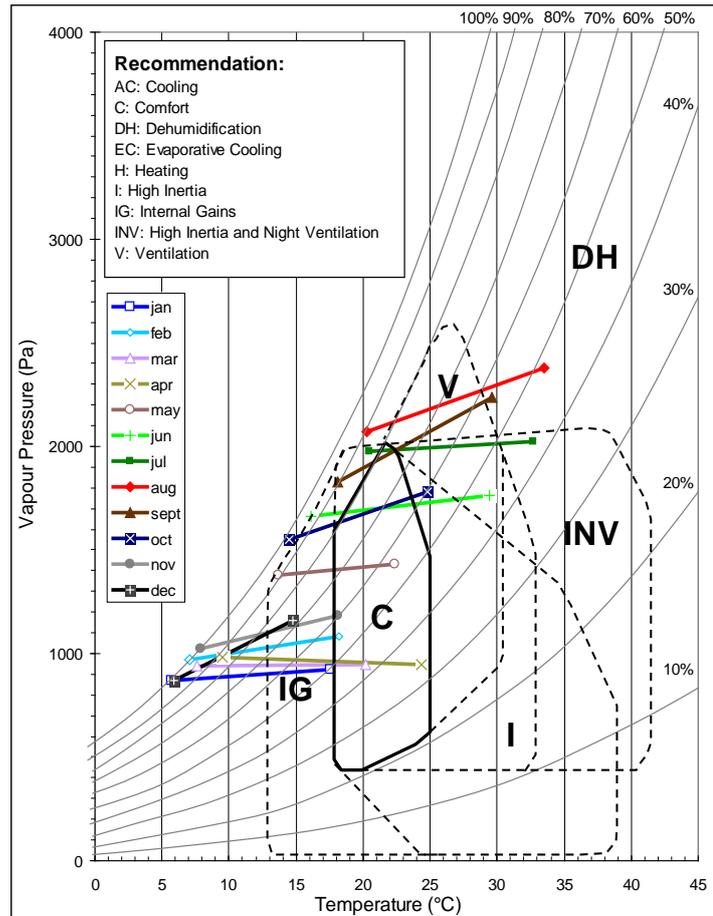


Figure 62. Le Diagramme Bioclimatic (Givoni) pour le climat de Tlemcen (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des données météorologiques du site de Tlemcen, 2016)

4-3) Analyse architecturale et technique de l'échantillon choisi

4-3-1) Définition des archétypes par période:

Afin d'analyser la performance thermique et énergétique des immeubles d'habitation tlemcenien, chacun a ainsi été classé dans une famille de référence. Ces familles sont tout d'abord historiques. La délimitation de chaque période historique a été établie en fonction: 1) Des grandes périodes historiques qui marquent l'histoire urbaine (la colonisation française, la première et la seconde guerres mondiales, la révolution de la libération, l'indépendance); 2) Des modifications de politique urbaine et des changements de réglementation de construction (Plan d'Urbanisme Directeur (PUD), Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU), Plan d'Occupation des Sols (POS)). Afin d'établir par le biais d'archétype le classement des immeubles à Tlemcen, à partir des manières de bâtir à une période donnée et des types architecturaux dominants (passage de l'immeuble mitoyen à l'îlot ouvert de la période coloniale aux tours et aux barres et le retour à la ville mitoyenne de la période post

indépendance), pour établir une méthode d'analyse applicable à tous les immeubles de la même période.

a) *Entre 1872-1920*

La première occupation française date de 1836, mais l'occupation définitive fut en 1872. Elle avait bien changé depuis l'époque de ses rois ou elle était florissante, il lui a fallu beaucoup de temps pour se relever de ses ruines. La majorité des immeubles coloniaux actuels furent construits durant cette période, à savoir le logement HBM (logement bon marché). Jusqu'en 1920, la ville se bâtit selon un plan en damier et orthogonal. Trame de superposition de l'ancienne médina et de la nouvelle ville européenne. Cette période a coïncidé avec la période du Second Empire en France, la première guerre mondiale et la période d'entre deux guerres, et avec les réglemens de construction édictés en 1852 puis en 1859, incitant une grande uniformité de l'architecture, et respectant les alignements sur rue et les mitoyenneté des constructions. Les façades restent plates sans encorbellement ni saillie jusqu'en 1884, date à laquelle elles commencent d'être autorisés pour l'être tout à fait en 1902 (APUR, 2007).

b) *Entre 1939-1957*

L'époque entre 1939 à 1958 marque un grand événement qui est la 2eme guerre mondiale et qui a eu des impacts sur Tlemcen: l'exode des européens vers les colonies et un bouleversement économique du point de vue le passage de l'industrie artisanale à l'industrie en série. Les manières de construire change. Les murs de brique (creuse et pleine) dominant, alors que les premiers bétons apparaissent dans la structure, les linteaux ainsi que les toits terrasses avec buandrie. Les façades s'ornent de bow-windows en saillie, les fenêtres s'élargissent, les portes fenêtres se multiplient.

c) *Entre 1958-1962*

Les logements construits durant cette période sont connus sous le vocable « des grands ensembles ». L'apparition de ce concept en Algérie, s'est faite essentiellement selon deux phases et deux contextes différents: La première phase, durant la période coloniale et après la deuxième guerre mondiale et la seconde phase, durant la période postindépendance (c'est la phase suivante). Leur apparition coïncide essentiellement avec le lancement du plan de Constantine en 1958 et aux tentatives de rattrapage économique et social pour contrecarrer la Révolution algérienne. Le besoin d'une production massive de l'espace urbain, selon des normes et des règles radicalement nouvelles imposera l'obéissance au modèle de ville fonctionnaliste défini par la Charte d'Athènes. Le plan Mauger à Tlemcen faisant part de ce

plan, et s'est traduit par le lancement d'un vaste programme de logements de type HLM (Habitation à loyer modéré) repartis suivant l'origine ethnique.

d) Entre 1974-1989

Le début de cette dernière a été marquée par un retard considérable dans la production de l'habitat urbain, l'Etat s'est chargé, à partir de la deuxième moitié des années 1970, de la quasi totalité des programmes de logements notamment l'habitat collectif, sous forme de grands ensembles ou de lotissements d'auto-construction par la création des Zones d'Habitation Urbaine Nouvelles (ZHUN), depuis la circulaire 0335 de 1975.

e) Entre 1990-2016

Après les années de crise entre 1990-2000 et la forte pression sur la demande de logement, le nouveau gouvernement, entend s'investir résolument à la demande de logement. Le bâtiment connaît, actuellement, une nouvelle dynamique notamment avec la réalisation de 3 450 000 logements jusqu'à 2014 et la programmation de 1 600 000 supplémentaires dans le quinquennat 2015-2019. Ce programme de logements lancé par le gouvernement algérien représentera, une fois réalisé, jusqu'à 42% du parc existant et engendra une consommation énergétique supplémentaire équivalente, voir plus, si les règles d'efficacité énergétique dans le bâtiment ne seront pas intégrées dans la construction. Cette politique engendre des pertes considérables (absence totale d'efficacité et d'efficience), car les nouveaux bâtiments résidentiels construits en Algérie ne répondent pas aux exigences du confort thermique.

4-3-2) Forme urbaine et analyse architecturale

- Répartition des bâtiments sur le territoire tlemcenien

a) Entre 1872-1920

Les bâtiments de logements collectifs datant de cette période se trouvent aussi bien dans le centre ville que dans les secteurs périphérique de Tlemcen. Ils sont situés principalement le long des grandes rues percées durant cette époque.

b) Entre 1939-1957

Les bâtiments construits durant cette période sont peu nombreux par rapport la période précédente. Il s'agit de la reconstruction de quelques parcelles au centre ville.

c) Entre 1958-1962

Cette période se caractérise par l'intervention sur le tissu urbain existant allant de la première périphérie jusqu'à la deuxième avec l'apparition de nouveaux regroupements d'habitat collectif. La plus grande partie des logements collectifs destinés à la population locale

(Algérienne) se trouvent à l'Est et au Nord Est de la ville (loin du noyau central). Alors que ceux qui étaient destinés aux colons se trouvent près des cités militaires pour des raisons de sécurité.

d) Entre 1974-1989

En effet, les grands ensembles achevés à la fin des années cinquantes (1950s), et ceux qui ne l'ont été qu'après l'indépendance (opération carcasse), et même les premières Zones d'Habitat Urbain Nouvelles (Z.H.U.N) des années soixante dix (1970s), doivent leurs méthodes de programmation et de conception à celles qui caractérisaient la France des années cinquante 50. A cette époque là, ces ensembles d'habitation se trouvaient implantés dans les zones péri-urbaines. Elle concerne des anciens noyaux ou de nouveaux sites, sur lesquels s'est greffée une population issue du centre ville ou bien en provenance des centres ruraux.

e) Entre 1990-2016

Les bâtiments de logements collectifs datant de cette période sont majoritairement situés: au niveau des zones d'habitat urbaine nouvelle (ZHUN) dans des sites et noyaux qui se concentrent sur une ceinture périphérique qui s'étire de manière discontinue d'Est en Ouest tout au long de la rocade.

Dans le centre, la présence des bâtiments de logements collectifs revient presque tous à la période coloniale, mis à part quelques projets récents de reconstruction de certaines parcelles en intégrant une mixité fonctionnelle dans les soubassements (voir figure 63).

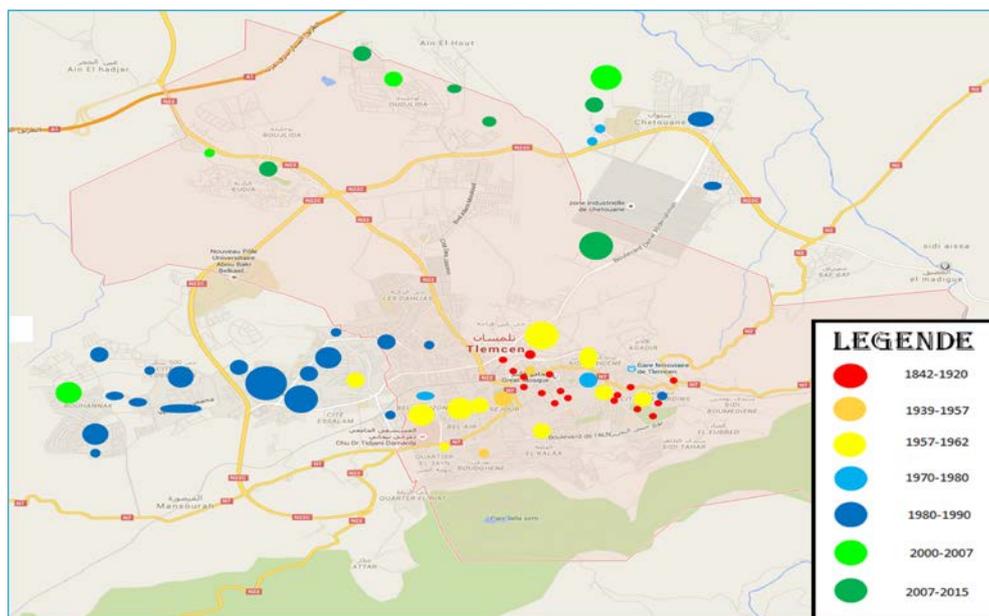


Figure 63. Répartition des batiments de logements collectifs sur le territoire tlemcenien par époque (Source: l'Auteur).

- **Forme urbaine**

a) *Entre 1872-1920*

La forme urbaine issue de cette période représente une part considérable du paysage du territoire tlemcenien. Dans les percées, les voies sont large (entre 8 à 12 mètres) et rectilignes et s'inscrivent dans un réseau orthogonal hiérarchisé. D'autre part, le tissu colonial se caractérise par des îlots de forme régulière généralement rectangulaire et accessibles directement des rues. Les parcelles sont également de forme régulière, avec un minimum de 12 mètres de large sur la rue. Concernant les bâtiments à l'échelle de l'îlot, ils s'implantent, d'une manière compacte et dense, à l'alignement sur rue.

La mise en commun des cours intérieures entre plusieurs parcelles est souvent recherchée, avec un adossement de bâtiments mono-orientés aux murs mitoyens dans la profondeur des parcelles. Les cours et courettes restent durant toute cette période de faible dimension, de 2 à 3 mètres de large et ont pour rôle, l'aération et l'éclairage des pièces de service et les escaliers. L'implantation des bâtiments à l'alignement et en mitoyenneté limite les déperditions énergétiques, en multipliant les adossements. Compte-tenu des largeurs importantes des voies et des faibles hauteurs des bâtiments ainsi que la présence d'alignement d'arbres (de platanes qui créent des effets de masque), les apports solaires sont relativement importants.

D'un point de vue architectural, les constructions d'avant la première guerre mondiale sont très riche avec des façades très travaillées avec des modénatures, des balcons en fer forgé, etc (voir figure 64).



Figure 64. Bâtiment en face du marché avec des façades très riches en décorations qui correspondent au style Néoclassique (Source: l'Auteur, 2015).

b) Entre 1939-1957

Les bâtiments de logements collectives construits durant ou après la seconde guerre mondiale génère une forme urbaine qui s'inscrit dans la continuité de celle de la période précédente: construction à l'alignement sur rue, volumétrie de R+5.

D'un point de vue architectural, les constructions de la période de la deuxième guerre mondiale sont plus simple du point de vue expression architecturale mais avec des parties saillantes ou Oriel (ou Bow-window), balcon, terrasse accessible et des matériaux de revêtement variés (marbre, cuivre rouge...) (voir figure 65).



Figure 65. Bâtiment de Mr et Mme Melis donnant sur la place El-Amir Abdelkader avec des façades qui correspondent au style international à balcon filant, marquet à partir du 1er étage par deux travées munies d'ouvertures plates à encadrement simple et saillant (source: l'Auteur, 2015).

c) Entre 1958-1962

Les bâtiments de cette période sont implantés selon des plans-masses libres. Les plans-masses des îlots sont souvent ouverts, avec des petites barres de R+3 à R+5 et qui contenait des appartements de type F2, F3, F4. L'emploi des étages courants avec courssives d'1m de largeur à partir des quelles toutes les entrées des appartements sont apparentes de l'extérieur dans habitat collectif destiné aux algériens. Tandis que l'emploi de système de palier dans l'habitat collectif destiné aux français avec des placettes et des aires de stationnement (parkings) (voir figure 66).



Figure 66. A droite : Les HLM destinées aux algériens ; à gauche : les HLM destinées aux français (source: l'Auteur, 2015).

d) Entre 1974-1989

Les immeubles construits durant cette période sont implantés toujours selon des plans-masses libres. Les plans-masses des îlots sont souvent ouverts, avec des petites barres ou des tours de R+3 à R+5 (voir figure 67).



Figure 67. Tours et barres de logements construits entre 1974-1989 (source: l'Auteur, 2015).

e) Entre 1990-2016

L'autonomie du bâtiment par rapport à son contexte urbain permet d'augmenter le nombre de façades exposées et, en conséquence, les apports solaires. Inversement, elle crée des contrastes entre les différentes façades en termes de comportement thermique, en fonction de leur orientation par rapport au soleil, et les bâtiments eux-mêmes ont un effet de masque sur le tissu urbain environnant. Car leur volumétrie varie de R+5 à R+12. L'absence de végétation de type arbres d'alignement accroissent les risques d'îlot de chaleur urbain car l'environnement extérieur d'un bâtiment a une grande influence sur son climat intérieur

Ces dernières années, la ville de Tlemcen a connue aussi le retour à l'architecture urbaine par la reconstruction de quelques bâtiments de logements collectives du type haut-standing en continuité avec le tissu existant qui se caractérise par l'implantation systématique des bâtiments à l'alignement et en mitoyenneté sur rue, ce qui multiplie les adossements et limite les déperditions énergétiques. Les îlots sont généralement fermés et les bâtiments ont des soubassements multi-fonctionnels (voir figure 68). Le tableau 27 récapitule les caractéristiques architecturales de ces logements.



Figure 68. Logements construits durant la période 1990-2016 (source: l’Auteur, 2015).

Tableau 27. Caractéristiques architecturales des logements construits à Tlemcen (Source: l’Auteur).

	Immeuble résidentiel des années 1872-1920	Immeuble résidentiel des années 1939-1957
Hauteur	R+1 à R+2.	R+1 à R+4 avec commerces au RDC.
Façades	Balcon filant à l’étage de couronnement en fer forgé ; Oriels (ou Bow-window), balcon, terrasse ; Ornementation et traitements des angles riches (style Néoclassique); Revêtement en enduit monocouche en mortier de chaux.	Oriels (ou Bow-window), balcon, terrasse, loggia; Matériaux de revêtement variés (marbre, cuivre rouge...); Traitement indifférencié des façades sur cour et sur rue; Revêtement en enduit monocouche en ciment.
Structure	Façade porteuse, Façades sur cour souvent plus fines; Ossature porteuse (toit en voutain).	Façade porteuse; Ossature porteuse (structure en béton armé).
Enveloppe	Mur porteur en brique pleine pour le RDC et en moellon pour l’étage et en pierre naturelle pour le sous-sol ; Poutre métallique pour les planchers.	Remplissage en brique pleine ou brique creuse, sous-sol en pierre naturelle; Béton armé ou métal pour les éléments structurels ; Béton armé en ossature.
ouvertures	Menuiseries en bois, Ouverture plus longues que larges, Porte-fenêtre pour les pièces principales et les fenêtres pour les pièces de service; Persiennes; Simple vitrage.	Menuiseries en bois, Châssis métalliques ; Elargissement progressif des ouvertures, Taille très variée; Persiennes, volets, rideau Simple vitrage.
Ventilation	Ventilation naturelle; Conduit de cheminée dans les pièces principales.	Ventilation naturelle; Conduit de cheminée dans les pièces principales.
Toiture	double ou à plusieurs versants en tuile toiture-terrasse.	Toiture-terrasse accessible avec buanderie.
Disposition intérieure	Appartements traversants ou mono orientés (pièces de services sur cour).	Appartements traversants ou mono orientés (pièces de services sur cour).

	Logement HLM destinées aux Français des années 1958-1962	Logements HLM destinées aux algériens des années 1958-1962
Hauteur façades	Immeuble de R+3, R+4 Revêtement en enduit monocouche en ciment.	Immeuble de R+3, R+6 Revêtement en enduit monocouche en ciment; Les coursives sont intégrées dans la façade principale de façon qu'elles donnent une vue sur l'extérieur; Toutes les entrées des appartements sont alignées verticalement et apparentes depuis l'extérieur.
Structure	Système poteaux poutres en béton armé, avec des dalles en corps creux.	Système poteaux poutres en béton armé, avec des dalles en corps creux.
Enveloppe ouvertures	Murs réalisés en brique. Menuiseries en bois; Simple vitrage.	Murs réalisés en brique. Menuiseries en bois; Simple vitrage.
Ventilation	Ventilation naturelle.	Ventilation naturelle.
Toiture	Toiture-terrasse en béton armée.	Toiture-terrasse en béton armée.
Disposition intérieure	Emploi de système de palier.	La conception des logements est faite d'une façon similaire (tous les appartements sont identiques); L'emploi des étages courants, avec des balcons collectifs d' 1m de largeur.
	Immeuble résidentiel préfabriqué des années 1974-1989	Immeuble résidentiel en structure porteuse des années 1990-2016
Hauteur	R+3 à R+5.	R+5 à R+12 avec commerces au RDC.
Façades	Revêtement en enduit monocouche en mortier de ciment.	Revêtement en enduit monocouche en mortier de ciment.
Structure	Ossatures porteuses Voiles en béton armé.	Ossatures porteuses.
Enveloppe ouvertures	Voiles de Béton armé en ossatures et en remplissage; Brique creuses pour les cloisons intérieures.	Béton armé en ossatures et brique creuses ou parpaing en remplissage; Voile en béton armé pour les contreventements.
ouvertures	Menuiseries en bois; Simple vitrage.	Menuiseries en bois ou en alluminium; Simple vitrage.
Ventilation	Ventilation naturelle.	Ventilation naturelle.
Toiture	Toiture-terrasse en béton armé.	Toiture-terrasse en béton armé ou toit à double-pente.
Disposition intérieure	Appartements traversants ou mono orientés.	Appartements traversants ou mono orientés.

4-3-3) Technique de construction

- Période colonial

L'industrialisation a servi les techniques de construction de cette époque sur le plan des gains de temps dans l'acheminement des matériaux de construction des bâtiments. Ainsi à l'apparition de nouveaux matériaux (les poutres métalliques une nouvelle technique pour soutenir les planchers, ensuite le béton), ce qui a causé l'apparition des premières formes de la construction en hauteur (plus de R+2). L'industrialisation a servi aussi à l'apparition de certaines innovations techniques (nouvelles techniques de cuisson pour obtenir des briques de meilleure qualité...). Durant cette période, on signale l'utilisation de nouveaux matériaux tels que : la fonte, puis l'acier et le béton (voir figure 69).



Figure 69. Toiture/plancher en voutains (Source: la photo à droite est prise par l'Auteur et le détail technique est pris depuis Apur 2011).

- Période post-coloniale

Les techniques de construction utilisées durant cette période sont comme suit:

- La standardisation des éléments de gros œuvre par la préfabrication en béton armé des murs et des dalles en utilisant Les systèmes semi-industrialisés : Ces systèmes utilisent deux techniques, à savoir la technique dite de « tables Banche », coulage en deux phases et le coffrage dit « tunnel » qui permet le coulage simultané des éléments porteurs verticaux et horizontaux. Les systèmes sous diverses appellations (Camus devenu Paschal, Baret, Coopal, Vareco, CSB, Polygon, Gibat,...) ont été introduits en Algérie principalement durant les années 70 et utilisés par 18 unités de préfabrication. La cité 1060 logements et Hai Nassim à Tlemcen en ont constitué le champ d'expérimentation (voir figures 70 et 71).



Figure 70. Système de coffrage de dalle PASCHAL (Source: Maier GmbH G., 1970).



Figure 71. Unité de coffrages Tunnels sur chantier (Source: batimetal, 1970).

- Utilisation du système traditionnel: Il consiste en la technique dite «traditionnelle », utilisant le système en maçonnerie porteuse et le système en portiques poteaux-poutres. Il occupe les 80 à 90% du parc bâti en Algérie, d'une manière générale. De grands programmes de logements et d'équipements publics ont été réalisés en utilisant ces systèmes.
- Les systèmes industrialisés à base d'ossature métallique: Ce sont des systèmes à structure métallique composés de façades en panneaux légers ou semi-lourds, de cloisons en placoplâtre et de planchers en béton armé.

4-4) Diagnostic: Analyse thermique du bâti

4-4-1) Performance des murs/façades

L'enveloppe du bâtiment est responsable du plus grand apport qui affect l'énergie utilisée pour le chauffage la climatisation. Les composants principaux d'apport de chauffage sont les infiltrations ainsi que les pertes de conduction à travers les composants de l'enveloppe y compris les murs, la toiture, plancher, dalles, fenêtres et portes (Awadallah, 2011).

a) Période coloniale

Les constructions de cette période sont les plus complexes du point de vue de l'analyse thermique et énergétique. Durant cette période, les modes constructifs ont rapidement évolué. On distingue deux modes:

- Les logements d'avant la première guerre mondiale, se caractérisent de murs porteurs en moellon assez épais;
- Alors que durant la période de la deuxième guerre mondiale, les constructions se basent sur des ossatures en béton avec remplissage en brique (pleine et creuse). Et à la veille de l'indépendance les constructions se basent sur des ossatures en béton avec

remplissage en double parois en brique creuse. Trois grands types d'enveloppe peuvent être répertoriés:

1. Entre 1872 et 1920, les façades sont porteuses, les murs sont assez épais (40 cm) et possèdent peu de ponts thermiques (ayant une résistance valeur- $R=0,610\text{K m}^2.\text{K}/\text{W}$ pour les murs extérieurs et une valeur- $R=0,518\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ des toits et des plafonds en voutains et une valeur- $R=0,445\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ des toits inclinés en tuile). Tandis que les mur donnant sur les courettes sont moins épais (19cm) et se caractérisent par une résistance thermique de $0.438\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$;
2. Entre 1939-1957, le système constructif, durant cette période, est une ossature en béton armé qui porte la façade, le remplissage en brique. Les murs sont plus fins (16 cm) et perdent sur le plan de performance thermique (ayant une résistance valeur- $R=0,406\text{K}.\text{m}^2/\text{W}$ pour les murs extérieurs et une valeur- $R=0,969\text{K}.\text{m}^2/\text{W}$ des toits et des plafonds). Tandis que la valeur- R des parties béton est de $0.425 \text{K}.\text{m}^2/\text{W}$;
3. Entre 1958-1962, le système constructif est toujours une ossature en béton armé qui porte la façade, le remplissage en double parois en brique avec une lame d'air de 11cm et possède une meilleur inertie ayant une valeur- $R=0,649\text{K}.\text{m}^2/\text{W}$ pour les murs extérieurs et les même caractéristiques thermiques des toits et des plafonds que la période précédente).

b) Période postcoloniale

1. Entre 1974-1989, la construction durant surtout les années 1980 a connu l'avènement de la préfabrication lourde (connue en France durant les années 1950-60 et rejetée dès le choc pétrolier de 1973) qui a causé la dégradation de la qualité des enveloppes du point de vue performance. On a affaire alors à ce qui été produit de moins performant sur le territoire algérien. Les enveloppes de cette période se composent de toits, plafonds et remplissage des murs par éléments préfabriqués lourds: procédé de toit en tunnel, etc. (ayant une valeur- $R=0,293\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ pour les murs extérieurs et une valeur- $R=1,656\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ des toits et des plafonds);
 Durant la même période, d'autres projets d'habitat ont été construit utilisant le même procédé mais avec un remplissage en briques creuses en double paroi (avec une valeur- $R = 0.733\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ pour les murs extérieurs).
2. Entre 1990-2016, d'autres projets d'habitat ont connu le jour où on a utilisé la structure porteuse (poteau-poutre) avec remplissage en brique creuse en double paroi. Les enveloppes reposent toutes sur des ossatures porteuses. La différence entre les

bâtiments sera tributaire des différents matériaux utilisés. En ce qui concerne cette période, les enveloppes se composent de toits et plafonds en dalle à corps creux (16cm de corps creux et 4cm de béton armé avec une couche de polystyrène expansé de 4cm sous chape depuis le DTR E 4.1 édité en 1997) et le remplissage des murs par une double paroi de 10cm et 15cm en brique creuse séparée par une lame d'air de 5cm. Les performances des enveloppes sont assez faibles puisque les bâtiments ne sont pas isolés. Si on compare la construction en préfabrication avec celle de structure porteuse, nous notons que l'influence positive de l'inertie des matériaux utilisés dans la deuxième enveloppe (ayant une valeur- $R=0,851\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ pour les murs extérieurs et une valeur- $R=2,279\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ des toits) est évidente (voir figure 72).

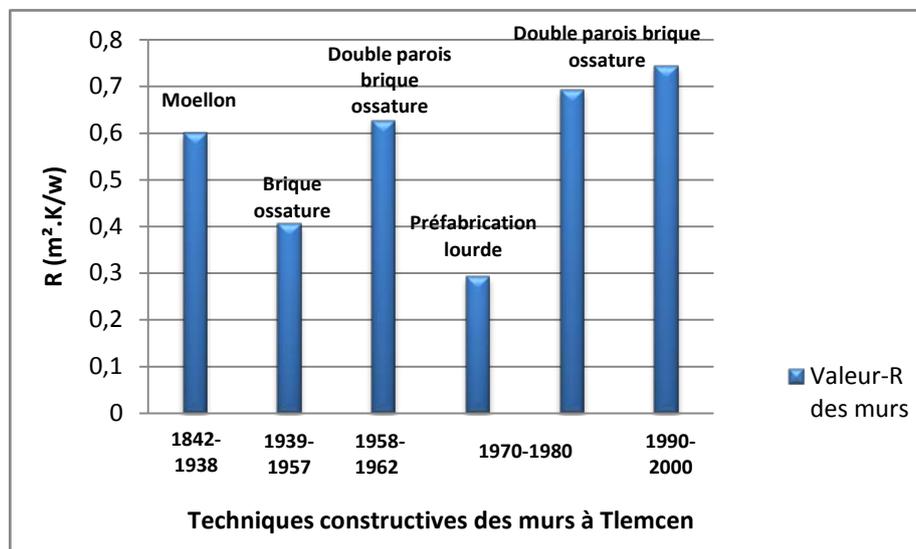


Figure 72. Résistance thermique des murs selon les techniques constructives à Tlemcen (source: l'Auteur).

4-4-2) Ponts thermiques

a) *Entre 1872-1920*

Les murs façades, les murs de refend et les murs mitoyens portent l'intégralité du bâtiment. Les planchers contribuent peu à la stabilité de l'édifice, et pénètrent à minima dans les façades pour ne pas contraindre la portance des façades. La conséquence de ce mode constructif est que les planchers n'occasionnent pas de ponts thermiques. Tandis que, le niveau d'ornementation assez élevé de la façade ainsi que les saillies créent des zones de moindre résistance thermique qui occasionneront des fuites thermiques au niveau des orielles, balcons, etc.

b) Entre 1939-1962

Désormais les murs de façades ne sont plus porteurs. L'ossature des bâtiments, réseau de poteaux et de poutres en béton, n'est plus basée sur la portance des murs, notamment des murs de face qui deviennent de simples remplissages entre les poutres, multipliant ainsi les ponts thermiques.

c) Entre 1974-2016

La volumétrie de la majorité des immeubles de logements postindépendance est identique, ou se ressemblent beaucoup, construites selon des formes très simples, des barres, ou des tours parachutées dans l'ilot d'une manière anarchique négligeant l'implantation et l'orientation des bâtiments par rapport aux données bioclimatiques (soleil, vent dominants, etc.). Le traitement de leurs façades est quasiment identique, à l'exception des couleurs qui changent sans harmonie apparente. Les angles des décrochements de façades, les saillies, les façade-refend, les appuis de fenêtre, les fenêtres et les portes-fenêtres sont des éléments qui vont créer des ponts thermiques verticaux. Tandis que les balcons, les loggias, les plancher bas, les planchers intermédiaires dans une façade en plus de la toiture terrasse représentent des lieux propices à la diffusion de la chaleur vers l'extérieur en hiver sous forme de ponts thermiques horizontaux. Partant du principe que plus la volumétrie du bâti est complexe, plus les ponts thermiques sont importants.

4-4-3) Confort d'hiver**- Mesures de température**

Les températures ont été mesurées dans 27 logements, en fonction de la permission des ménages, dont : 07 logements construits entre 1958-1962 et 20 autres construits entre 1974-1989. Les mesures les plus complètes et les plus réalistes pour l'étude du comportement des bâtiments de manière passive sans apport d'énergie (chauffage ou climatisation) sont celles enregistrées dans les logements construits entre 1974-1989. Cependant, il faut noter que dans le cadre des audits énergétiques, les paramètres sont mal connus, ou entachés d'une forte incertitude, notamment à cause des variations d'exécution des ouvrages. Qui plus est, les sources d'incertitudes sont nombreuses, e.g. une grande partie des logements est chauffée et climatisée, les erreurs de mesures (liées aux outils ou à leur utilisation), les imprécisions de recueils visuels, l'accès impossible, ou l'absence de données actualisées.

Les figures 73, 74 et 75 donnent les variations des températures opératives du salon, de la cuisine et d'une chambre pour un jour typique d'hiver et d'été. En hiver, on note une température maximale de plus de 19°C dans les locaux et une température minimale de plus

de 16°C. Ces températures sont dues à l'usage du chauffage pendant la nuit. Cependant, la zone de confort n'est pas atteinte surtout durant la nuit et la matinée. En été, on note une température maximale de plus de 33°C dans les locaux et une température minimale de plus de 28°C. La zone de confort, dans ce cas, n'est également pas atteinte.

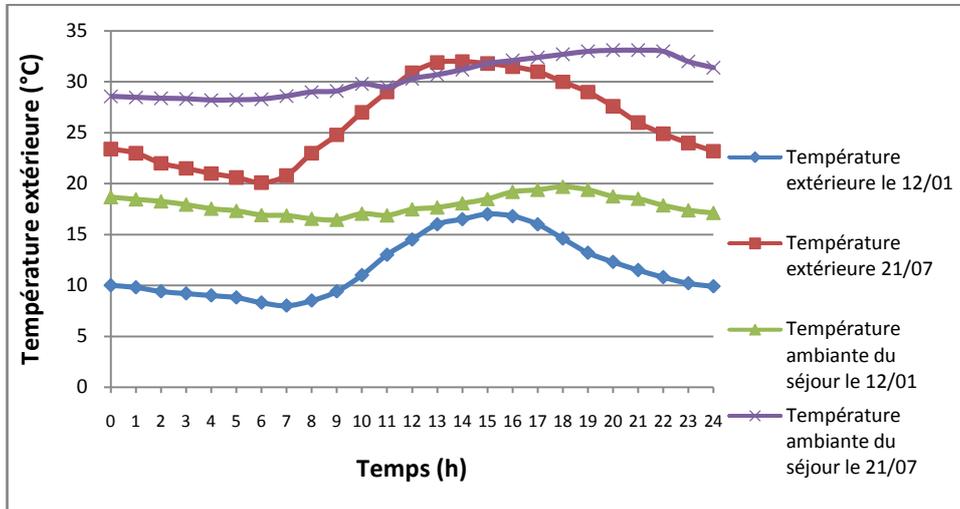


Figure 73. Température ambiante mesurée dans le séjour des logements construits entre 1974-1989 (Source: mesurée par l'Auteur le 12/01 et le 21/07).

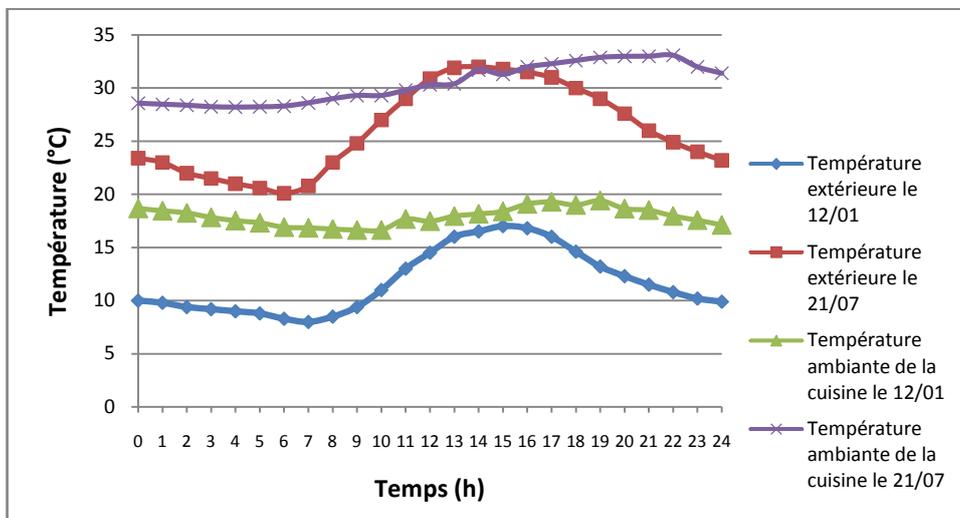


Figure 74. Température ambiante mesurée dans la cuisine des logements construits entre 1974-1989 (Source: mesurée par l'Auteur le 12/01 et le 21/07).

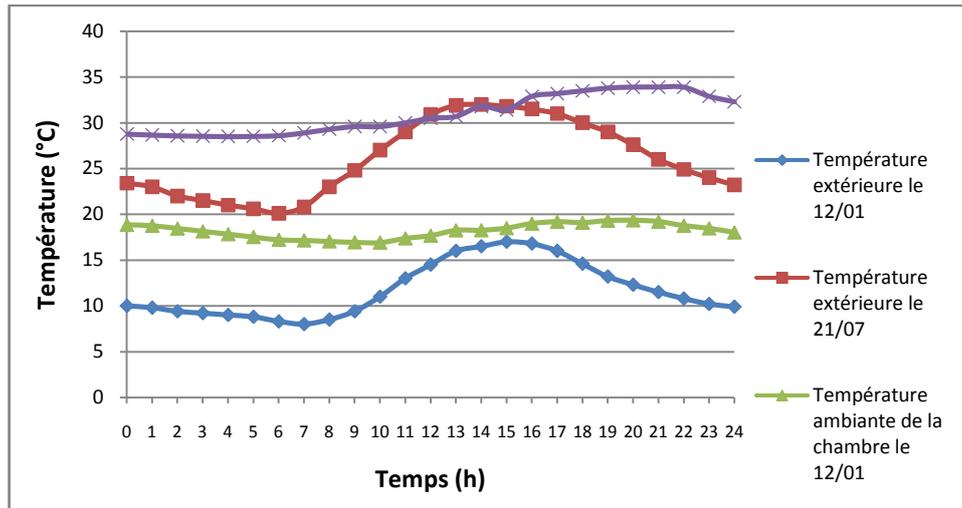


Figure 75. Temperature ambiante mesurée dans la chambre du logement construit entre 1974-1989 (Source: mesurée par l'Auteur le 12/01 et le 21/07).

- **Effet de paroi froide**

Directement liée au confort et à l'équilibre thermique de l'humain, la température ressentie T_r , à une humidité relative de 50 % et en l'absence de mouvement d'air, est égale à la moyenne de la température de l'air et de la température des parois avoisinantes. La paroi froide est un phénomène thermique qui survient dans les maisons non ou mal isolées et qui est particulièrement désagréable pour leurs occupants. Cet effet se manifeste par une température froide ressentie dans les parois murales, ce qui entraîne une baisse de température globale de la maison, ce qui entraîne fatalement une hausse des dépenses en énergie. Pour illustrer ce phénomène, un calcul simple de l'évolution de la température au niveau des parois du mur pour une température extérieure de 1°C (température extérieure de base à Tlemcen qui est classée dans la zone "B" (CNERIB, 1998)) et une température intérieure de 21°C (considérée dans le DTR C. 3-2 comme température intérieure de base (CNERIB, 1998)).

Dans le cas du logement d'entret 1872 à 1920, on constate une température sur la face interne des parois extérieures de 17.39°C . Le phénomène de la paroi froide reste assez modéré ici à cause des matériaux choisis (maçonnerie et enduit en plâtre) (voir figure 76).

Et une température sur les parois donnant sur les courettes de 15.97°C . Le phénomène de paroi froide est très prononcé ici (voir figure 77).

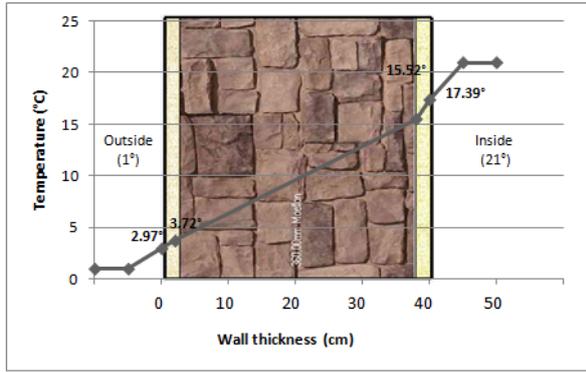


Figure 76. Effet de la paroi froide sur un mur de 40cm en moellon (source: l' Auteur).

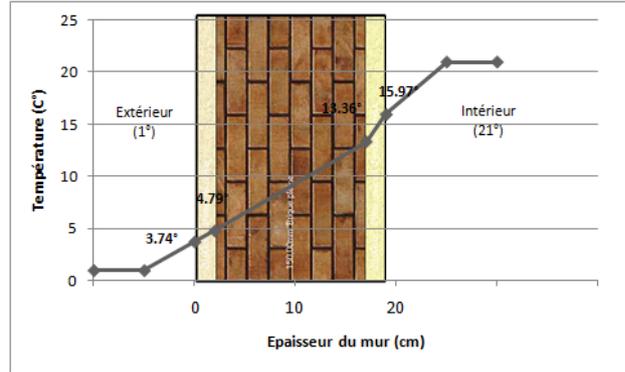


Figure 77. Effet de la paroi froide sur un mur de 19cm en brique pleine (source: l' Auteur).

Dans le cas des logements construits entre 1939 et 1957 avec une ossature en béton armé et un remplissage en brique creuse, on constate une température sur la face intérieure des parois en brique creuses de 16.52C°. Le phénomène de paroi froide est très prononcé ici (voir figure 78). Tandis que, la température sur la face interne des parois en béton armé est de 15.83C°. Le phénomène de paroi froide est aussi très prononcé ici (voir figure 79).

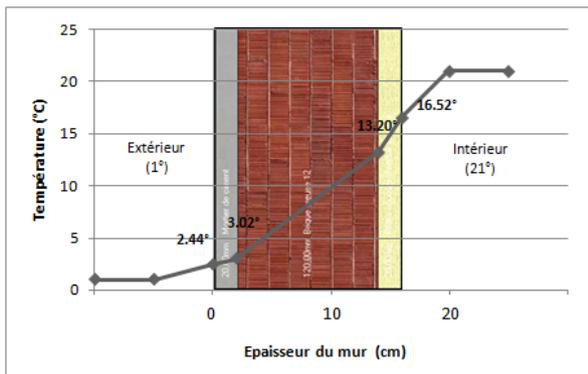


Figure 78. Effet de la paroi froide sur un mur de 16cm en brique creuse (source: l' Auteur).

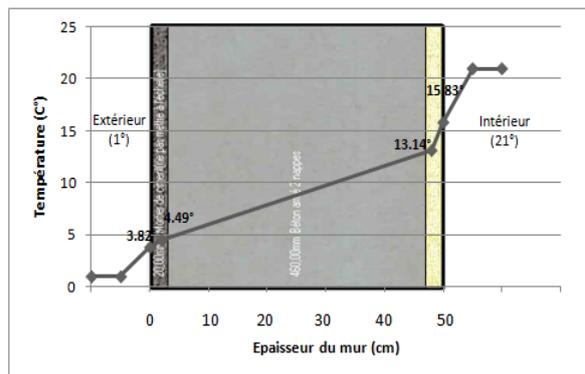


Figure 79. Effet de la paroi froide sur un mur de 50cm en béton armé (source: l' Auteur).

Dans le cas des logements construits entre 1958 et 1962 avec une ossature en béton armé et un remplissage en brique creuse ou parpaing avec lame d'air importante: la température de surface des murs est de 17.61°C. Inférieur comme même au seuil inférieur de la zone e confort (voir figure 80).

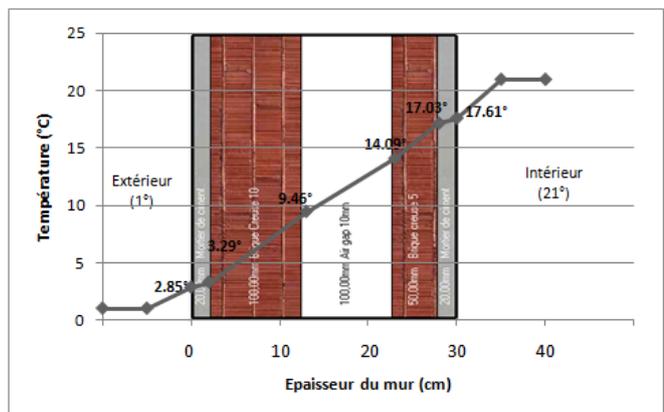


Figure 80. Effet de la paroi froide sur un mur de 30cm en double parois de brique creuse (5cm/10cm) séparé de 11cm d'air non isolé (source: l' Auteur).

Dans le cas des logements construits depuis 1974 jusqu'à nos jours, deux grands types de façades sont étudiés ici :

- Ossature avec remplissage en préfabriqué lourd, cas du procédé du coffrage dit « tunnel »: la température est de 13.5°C. C'est assez bas. L'effet de la paroi froide est très prononcé et la sensation d'inconfort chez les habitants sera forte. Cependant, il est évident qu'un effet de paroi froide soit ressenti au niveau des joints d'encadrement du module préfabriqué (voir figure 81).

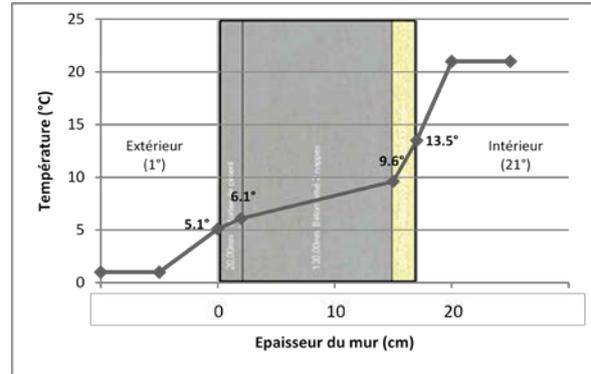


Figure 81. Effet de la paroi froide sur un mur de 17cm de béton armé non isolé (source: l'Auteur).

- Ossature en préfabriqué lourd avec remplissage en briques creuses (10cm / 10cm) et 5cm de lame d'air: la température de surface des murs est de 18° C. Ceci est plus élevé que dans le cas précédent, et il est proche du seuil bas de la zone de confort (voir figure 82).

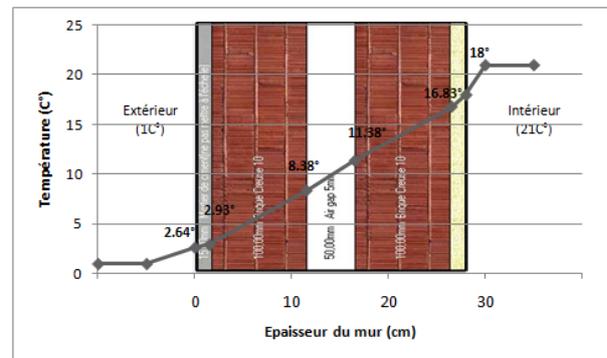


Figure 82. Effet de la paroi froide sur un mur de 28cm en double parois de brique creuse (10cm/10cm) séparé de 5cm d'air non isolé (source: l'Auteur).

- Ossature avec remplissage en brique creuse ou parpaing avec lame d'air: la température de surface des murs est de 18.42°C. C'est plus élevé par rapport du cas précédent, en plus ça avoisine le seuil bas de la zone de confort (voir figure 83).

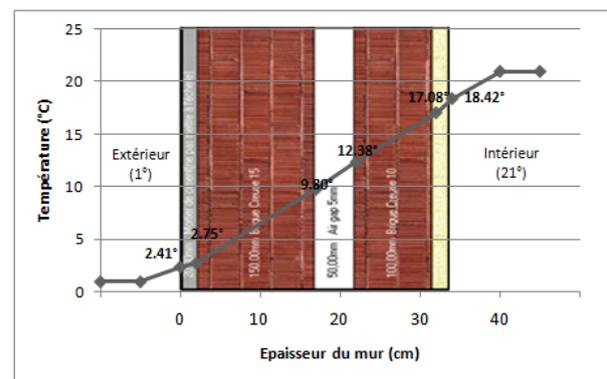


Figure 83. Effet de la paroi froide sur un mur de 34cm en double parois de brique creuse (10cm/15cm) séparé de 5cm d'air non isolé (source: l'Auteur).

4-4-4) Menuiserie

Les immeubles d’habitat collectif ont été conçus généralement en fenêtres en bois avec simple vitrage et une occultation en persienne. Ces éléments sont généralement une source de déperdition thermique ainsi que gêne sonore.

A partir des années 2000, les fenêtres sont en aluminium ou en PVC mais avec toujours un simple vitrage. Le double vitrage dans l’habitat n’est pas encore généralisé en Algérie -sauf dans certains cas de logement de haut standing- à cause de son prix élevé.

4-4-5) Confort d’été

Le confort d’été est un nouveau défi face aux changements climatiques. La hausse de la demande d’énergie électrique durant l’été observé ces dernières années peut être raisonnablement expliquée par le recours de plus en plus à la généralisation de la climatisation. Cela peut être expliqué par les surchauffes estivales, causé par:

- L’orientation non-étudiée;
- La faible inertie de certains bâtiments (voir tableau 28);
- Ventilation nocturne insuffisante causé par la conception des logements non-traversant (très répandu dans les logements sociaux);
- Fermeture des loggias des cuisines par des bais vitrée en simple vitrage pour augmenter les surfaces des cuisines et pour se protéger des intempéries.

Tableau 28. Perméabilité thermique des parois établies selon la composition des murs (Source: le calcul simple a été effectué par l’Auteur suivant le DTR C3-2 (CNERIB, 1998))

période	U mur (W/m ² .C°)	Composition des mus					Taux de vitrage (%)	Conductance vitrages (W/m ² .C°)	Valeur U (W/m ² .C°) avec gains solaires			
		Nom	Epaisseur (mm)	Conductivité (W/m.k)	Chaleur spécifique (J/kg.k)	Densité (Kg/m ³)			Sud	Est/Ouest	Nord	
1872-1920	rue	1,639	Mortier de chaux	20	0,870	1080	1800	30	5,894	2,8	3,7-	4,6
			Moellon	360	1,00	936	1800			-	4,6	-
			Enduit de plâtre	20	0,35	936	1000			3,7	5,6	
	cour	2,285	Mortier de chaux	20	0,870	1080	1800	5,894	2,8	3,7-	4,6	
				Brique cuite pleine	150	0,800	936		1800	-	4,6	-
				Enduit de plâtre	20	0,35	936		1000	3,7	5,6	

été, les fenêtres sont la plus part du temps ouvertes, mais en hiver les fenêtres sont ouvertes juste au moment du nettoyage, tandis qu'elles sont ouvertes pendant les jours d'automne et du printemps.

4-4-7) Equipement de chauffage

Les bâtiments datant de cette période ont été conçus avec des cheminées dans les pièces principales et des conduit pour y brancher des poêles. Ces cheminées particiaient même à la conception des toitures des bâtiments. Les énergies de chauffage étaient à cette époque le bois et le charbon de bois.

Actuellement, 98% des logements de l'échantillon choisi sont chauffés (Voir figure 84). 82% d'entre eux sont raccordés au réseau de gaz naturel et sont équipés de radiateurs à gaz naturel (systèmes individuels). 18% des appartements sont équipés de chaudières à gaz ou électriques individuelles. Pas de mise en place d'un système de climatisation, mais certains disposent des climatiseurs électriques individuels (exp: split) (83% de l'échantillon choisi) (voir figure 85). Ces systèmes sont placés principalement dans le couloir ou le hall (voir figure 86). Le chauffage, le gaz et l'électricité sont tous mesurés individuellement. L'avantage des systèmes de facturation individuels est de rendre les occupants responsables, puisque tout le monde paie pour ce qu'ils consomment, ce qui entraîne une baisse de la consommation d'énergie.

4-4-8) Équipements d'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est principalement produite par des chauffe-eau à gaz autonomes (près de 77% de l'échantillon choisi). Bien que l'utilisation de l'électricité pour chauffer l'eau, comme chaudière à gaz, chaudière électrique, chauffe-eau électrique, etc., ne représente que 23% de l'échantillon choisi (voir figure 87).

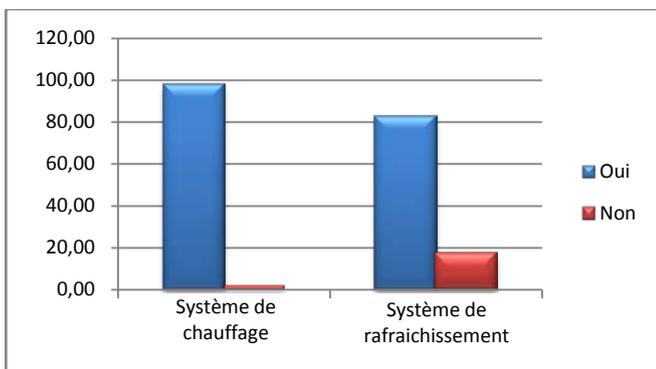


Figure 84. Systemes de chauffage et de rafraîchissement des logements collectifs à Tlemcen (Source: Auteur selon les estimations obtenues à partir des regroupements de factures, 2017).

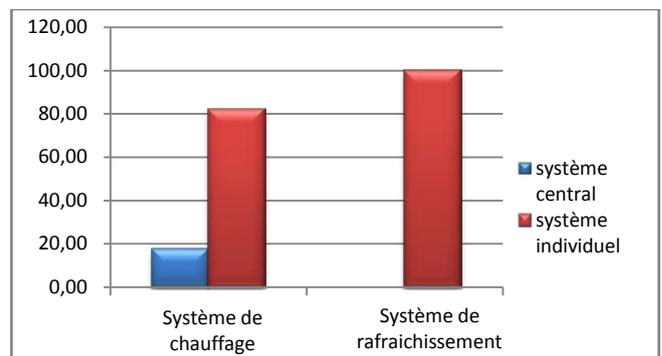


Figure 85. Types de systemes de chauffage et de rafraîchissement des logements collectifs à Tlemcen (Source: Auteur selon les estimations obtenues à partir des regroupements de factures, 2017).

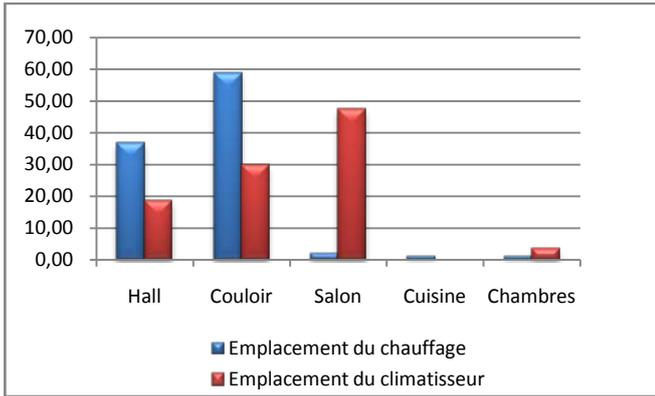


Figure 86. Emplacement des systèmes de chauffage et de rafraîchissement dans les logements collectifs à Tlemcen (Source: Auteur selon les estimations obtenues à partir des regroupements de factures, 2017).

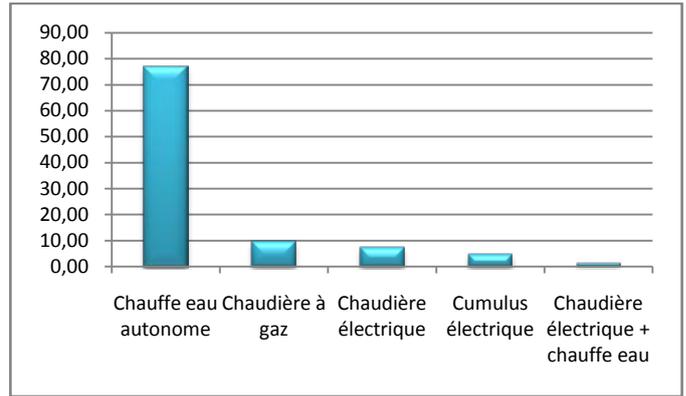


Figure 87. Les équipements de production d'eau chaude sanitaire dans les logements collectifs à Tlemcen (Source: Auteur selon les estimations obtenues à partir des regroupements de factures, 2017).

4-5) Benchmarking de Consommation d'énergie dans les logements (Balisage externe) :

Cette analyse a pour objectif d'avoir une meilleure idée de la façon dont l'énergie est utilisée dans différents types d'enveloppes d'immeuble à Tlemcen. Cela donnerait des orientations et des priorités qui devraient être prises en compte dans l'étude en cours d'amélioration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

Une valeur moyenne de la consommation d'énergie dite «réelle» collectée à partir des factures d'énergie précédentes des logements construits entre 1872 et 1920 est estimée de 130kWh/m²/an, avec une fourchette de ±50kWh/m²/an selon les configuration morphologiques du bâti et une valeur moyenne de plus de 200kWh/m²/an pour les logements construits entre 1939 jusqu'à 1962. Tandis que la consommation des logements construits entre 1980 à 1990 est au delà de 250kWh/m²/an. Alors que, les logements construits entre 1974 et 1989 et ceux construits après les années 1990 jusqu'à nos jours ont dépassé le seuil de 300kWh/m²/an.

Le chiffre de plus de 300kWh/m²/an exprime un niveau de consommation très élevé. Les bâtiments les plus énergivores que l'on rencontre à Tlemcen sont ceux construit durant les années 1974-1989. L'usage à plein temps du système de chaudière individuelle a tiré vers le haut les consommations des habitants (voir figure 88).

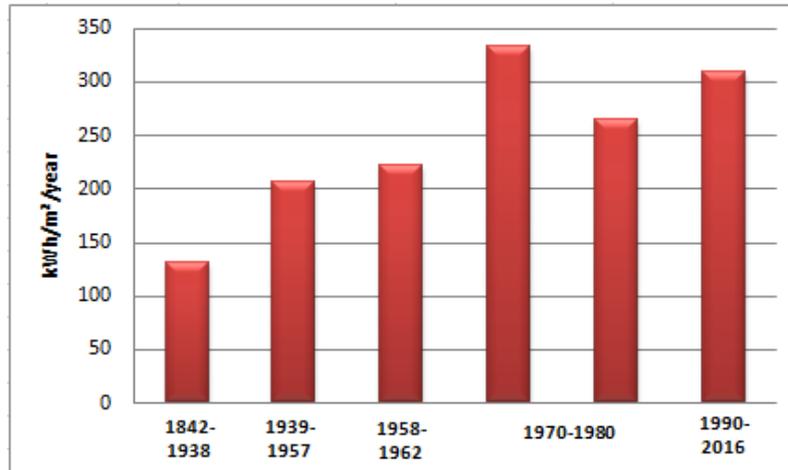


Figure 88. Consommation énergétique des logements collectifs à Tlemcen (Chauffage + Eau Chaude Sanitaire) (Source: Auteur selon les estimations obtenues à partir des regroupements de factures, 2017).

4-6) Conclusion

Les résultats de l'étude des logements collectifs, représentatifs des cinq périodes retenues d'urbanisation de la ville de Tlemcen, ont démontré que les bâtiments construits entre 1872 et 1920 ont une meilleure performance thermique et énergétique par rapport aux bâtiments des autres périodes. Ils sont caractérisés par une bonne inertie et consomment 130kWh/m²/an. Alors que les bâtiments construits entre 1974 et 1989 sont les plus énergivores à cause de leur mauvaise inertie et consomment 300kWh/m²/an. Mais, il faut noter aussi, qu'ils sont les plus simples à réhabiliter.

Une évaluation de la performance thermique et énergétique des enveloppes existantes dans le parc de logements collectifs, suivant une approche ascendante, a été menée, à travers une étude architecturale et technique. Peu de cas d'études ont été sélectionnés et analysés en profondeur afin de mettre en évidence avec précision les problèmes typologiques et technologiques, illustrés dans le tableau 29, qui influent le plus sur la performance thermique et énergétique dans le logement collectif.

Tableau 29. Points forts et points faibles du bâti (Source : L'Auteur)

période	Points forts du bâti	Points faibles du bâti
Entre 1872 et 1920	Bonne inertie thermique Peu de pont thermique au niveau des planchers Appartements traversant permettant une bonne ventilation	Phénomène de paroi froide; Ventilation naturelle; Menuiseries et vitrages anciens; Ponts thermiques au niveau des saillies et des éléments d'ornementation des façades.
Entre 1939 et 1957	Absence de valeur patrimoniale qui permet la réhabilitation thermique (isolation par l'extérieur); Appartements traversant permettant une	Phénomène de paroi froide ; Ponts thermiques causé essentiellement par l'hétérogénéité des matériaux constituant les murs des façades et au niveau des saillies.
Entre 1958 et 2016	bonne ventilation	Façades peu performantes notamment celles des logements préfabriqués; Sensation d'inconfort lié en hiver à l'effet de paroi froide surtout dans les logements préfabriqués; Les appartements non traversant difficiles à Ventiler susceptible de causer des dégâts liés à l'humidité ; Ponts thermiques causé essentiellement par les balcons et les loggias; Orientation non étudié; Surchauffe estivale causé par la faible inertie et la difficulté de la ventilation nocturne; Chauffage avec système ponctuel causant la variation de la température entre les pièces du logement et l'appauvrissement de l'appartement en matière d'oxygène.

Une première série d'actions est à engager en priorité: l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe (toiture, murs et fenêtres) ainsi que l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Pour réduire les consommations d'énergies de ces bâtiments il faudra passer par une approche au cas par cas:

- Le cas de l'absence de valeur patrimoniale permet d'envisager des mesures ambitieuses de réhabilitation thermique en recourant à l'isolation par l'extérieur;
- Dans le cas où des murs de façades possédant une réelle valeur patrimoniale (ornementation, marbre, faïence, etc.), l'isolation par l'intérieur sera rarement conseillée, on lui préférera l'usage d'un enduit intérieur isolant qui améliorera quelque peu les performances thermiques des enveloppes et le confort de l'ambiance intérieure;
- Tandis que dans le cas des murs donnant sur les courettes qui n'ont aucune valeur patrimoniale, on pourra mettre en oeuvre une isolation thermique par l'extérieur.
- Des moyens simples existent pour éviter les situations très inconfortables, même sans chauffage/climatisation, avec par exemple: calfeutrage des fenêtres et des portes,

usage du double vitrage et des vitrages réfléchissants, des occultations extérieurs, l'utilisation du free-cooling, le remplacement des appareils vétustes, etc.

- Des mécanismes financiers innovants sont à imaginer : taxes pénalisant les bâtiments gros consommateurs et alimentant un fonds qui accorde une prime à ceux qui vont au-delà de la réglementation.

Enfin, dans le cadre de notre contribution à l'optimisation de la PEE des bâtiments résidentiels, une étude sur le comportement thermique de l'enveloppe du type le moins efficient sera initiée grâce à la simulation thermique dynamique dans le chapitre suivant.

Chapitre 5
Étude multicritère
par méthodes :
statique et dynamique

Ce chapitre répondra au besoin mentionné précédemment concernant l'approche multi-objectif (OMO) en utilisant la méthode multicritère par méthodes : statique selon la réglementation thermique algérienne et dynamique par simulation numérique. Il explorera, à l'aide de ces outils, les solutions optimales pour satisfaire les besoins du climat intérieur, réduire l'usage de l'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation des espaces et les émissions de GES avec un coût abordable.

Pour établir l'expérimentation du cas d'étude et achever les objectifs de cette recherche, le type de logement le moins efficient dans les sorties de l'étude précédente a été choisi.

La méthode suivie, la description du cas d'étude et la discussion des résultats de l'étude statique selon la réglementation thermique algérienne feront l'objet, dans un premier temps, de ce chapitre. Ensuite, dans un deuxième temps, la procédure de la modélisation, les différents outils de simulation, le scénario de base ainsi que les mesures d'efficacité énergétique choisies à investiguer dans l'étude de la simulation constitueront le reste du chapitre.

5-1) Méthode

Afin d'évaluer correctement la PEE des bâtiments résidentiels à Tlemcen, cette étude développe une méthodologie appropriée (voir la figure C-1 indiquant le logogramme qui schématise cette méthode dans l'annexe C) :

- Etape 1 : Le domaine d'étude: les logements collectifs datant de la période post indépendance dans la ville de Tlemcen. Documentation sur le stock d'habitat urbain existant, le cadre réglementaire lié à la maîtrise d'énergie en Algérie, les statistiques de la population urbaine et l'analyse l'énergie dans cette ville (présentés dans le chapitre 4) ;
- Etape 2 : Collecter et analyser les données climatiques (présenté dans le chapitre 4) ;
- Etape 3 : Établir le bilan thermique par méthodes statiques par calcul simple des déperditions thermiques d'un logement intermédiaire et un autre au dernier étage. Afin d'orienter les actions de la réhabilitation. En plus de la vérification de leurs conformités thermiques suivant la méthode réglementaire présenté dans le DTR C3-2 ;
- Etape 4 : Établir une stratégie de réduction des déperditions : En agissant sur les éléments de l'enveloppe du logement en se basant sur une approche environnementale et économique concernant le choix des matériaux locaux, recyclables et issus de recyclage

et en plaçant ceux les plus écologiques à l'intérieur du logement et les moins écologiques à l'extérieur ;

- Etape 5 : Recalculer les déperditions thermiques des logements après réhabilitation en jetant un regard sur les réglementations régionales (marocaine et tunisienne), on peut vérifier la conformité de notre réglementation par rapport au contexte régionale;
- Etape 6 : Simuler l'énergie utilisée par un ménage typique occupant ce logement par méthodes dynamiques en utilisant le couple « DesignBuilder/Energy plus ». L'occupation, le bâtiment et les caractéristiques d'un état réel de la construction est présentée ultérieurement.
- Etape 7 : Investiguer l'impact de quelques mesures d'économie d'énergie passives souvent utilisés à travers l'amélioration des éléments composants l'enveloppe du bâtiment, telles que (la ventilation, l'isolation, l'orientation, la serre et les dispositifs d'ombrage,...) en exploitant le potentiel de l'étude paramétrique dans la simulation à travers deux moyens :
 - 1- Simuler un cas actif du cas réel/actuel/existant avant et après la réhabilitation thermique ;
 - 2- Simuler un cas passif du cas réel/actuel/existant avant et après la réhabilitation thermique du cas optimisé ;
- Etape 8 : Exécuter une analyse de prise de décision multicritères pour l'initiative de réhabilitation suivant des facteurs quantitatifs et qualitatifs en essayant de le positionner par rapport au label international « BBC » et au label régional « tunisien » (décrits dans le chapitre 2)
- Etape 9 : Simuler une deuxième enveloppe datant de la même période du cas d'étude. Afin de comparer leurs consommations et leurs impacts environnementaux en établissant un «*benchmarking* internes »;
- Etape 10 : Compilation, synthèses des informations collectées et discussion des résultats ;
- Etape 11 : Rédaction des recommandations par ordre de priorité à court, moyen et long termes.

5-2) Cas d'étude

5-2-1) Description du cas d'étude

Le cas d'étude se situe à la cité 1060 logements à l'Est de Tlemcen. C'est un appartement F3 de 70.38 m² qui contient un salon et deux chambres d'une hauteur de 3.06m. Il représente les

logements construit dans les années 80 quand la politique algérienne était orientée vers la préfabrication lourde pour réaliser les grands ensembles. L'analyse énergétique et thermique et énergétique est établie à un logement non traversant faisant coin dans un niveau intermédiaire avec deux façades exposées orientées Sud-est et Sud-ouest comparé avec celui du dernier étage (voir Figures 89 et 90). Le plan dans la Figure 91. décrit les différents espaces composants le logement.

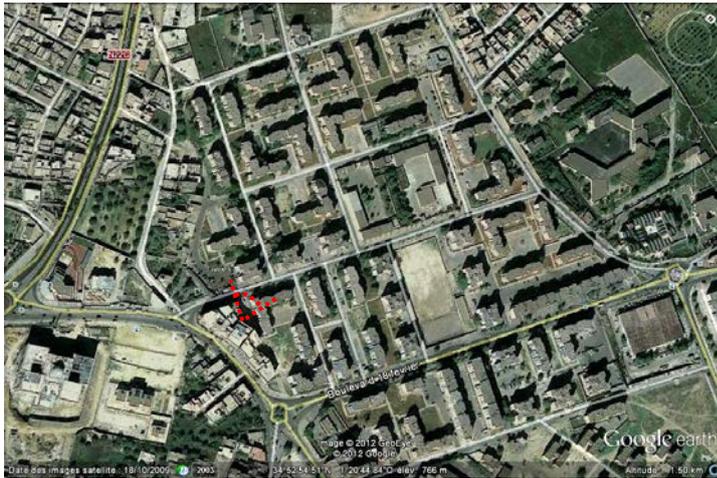


Figure 90. Vue de l'extérieur du bâtiment contenant le cas d'étude, cité 1060 logements, quartier d'Imama-Mansourah à Tlemcen.

Figure 89. Photo Satellite de la cite 1060 logements, le spot photo de la figure (90) est indiqué

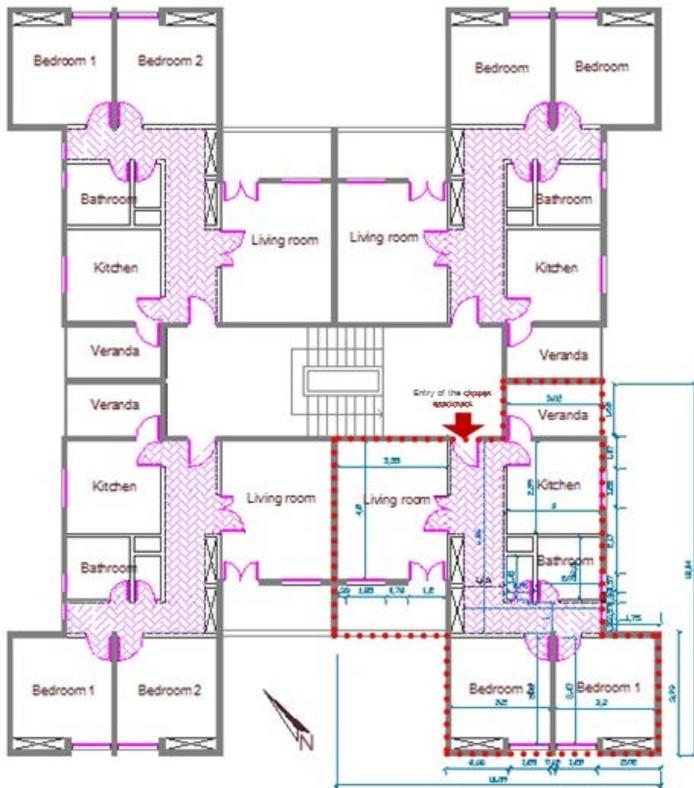


Figure 91. Plan du logement

5-2-2) Techniques de bâtiment

Les bâtiments dans cette cité ont des enveloppes non isolées et non étanches ainsi que des fenêtres avec simple vitrage. Le tableau 30 montre les matériaux de construction constituant l'enveloppe du bâtiment :

Tableau 30. Eléments du bâtiment, cite des 1060 logements, Tlemcen (Source: Auteur d'après CNERIB, 1998).

Elément de bâtiment couche externe → interne	Matériau	Epaisseur (mm)	Conductivité W/m.k	Chaleur Spécifique J/kg.k	Densité Kg/m ³	surface m ²	Résistance Thermique (R) m ² °C/W	Transmissivité Thermique ^a (U-value) W/m ² °C
Murs extérieurs	Mortier de Ciment	20	1,400	1080	2200	80,85	0,0143	3,4083
	Panneaux préfabriqué de béton armé	130	2,500	1000	2400		0,052	
	Internal Plaster coating	20	0,350	936	1000		0,0571	
Toit externe	Gravier	30	0,360	840	1840	70,38	0,0833	0,6042
	Bitume Pure	15	0,170	1000	1050		0,0882	
	Bitume, feuille de feutre	15	0,230	1000	1100		0,0652	
	Chape	50	1,000	1000	1800		0,05	
	Polyéthylène (faible densité)	0,2	0,35	2300	0,92		-	
	Polystyrène expansé	40	0,036	1404	20		1,1111	
	Polyéthylène (faible densité)	0,2	0,35	2300	0,92		-	
	Panneaux préfabriqué de béton armé	150	2,500	1000	2400		0,06	
	Plâtre courant d'enduit intérieur	20	0,350	936	1000		0,0571	
Plancher intermédiaire	Plâtre courant d'enduit intérieur	20	0,350	936	1000	70,38	0,057	2,6525
	Panneaux préfabriqué de béton armé	150	2,500	1000	2400		0,06	
	Chape	30	1,000	1000	1800		0,03	
	Granito	20	2,100	936	2200		0,01	
Cloisons intérieurs	Plâtre courant d'enduit intérieur	10	0,350	936	1000	-	0,057	-
	Brique creuse	100	0,560	936	1300		0,0178	
	Plâtre courant d'enduit intérieur	10	0,350	936	1000		0,057	
Cloisons donnant sur les espaces non chauffé	Mortier de Ciment	10	1,400	1080	2200	14,77	0,0286	3,2499
	Panneaux préfabriqué de béton armé	130	2,500	1000	2400		0,052	
	Plâtre courant d'enduit intérieur	10	0,350	936	1000		0,0071	
Fenêtres, portes-fenêtres						11,86		1,6260
Vitrage simple clair							0,1697	
Cadre de fenêtres en bois, Persiennes en bois.							0,3278	
Portes						3,725	0,5	2
Portes en bois								

a: calculé par calcul simple selon DTR C3-2 (CNERIB, 1998).

5-3) Méthode statique:**5-3-1) Calcul simple des déperditions calorifiques du logement selon le DTR C3-2 :**

Au début, les déperditions thermiques du cas d'étude sont estimées par un calcul simple selon le DTR C3-2 (CNERIB, 1998), et après la vérification réglementaire, les résultats dans le tableau 2 ont démontré que le logement n'est pas conforme et que le confort thermique n'est pas assuré. Donc pour assurer le bien être de ses occupants et pour minimiser la consommation d'énergie, il faut le réhabiliter thermiquement.

5-3-2) Conception d'une stratégie personnalisée :

En second lieu, nous avons établi une « Stratégie de réduction des déperditions » en recalculant les déperditions par transmission selon le DTR C3-2, après les avoir réduits en agissant sur :

- Isolation des faces externes des murs extérieurs par l'addition d'une couche de laine de verre de : 1 ; 2 ; 3 ; 4 et 5cm d'épaisseur (autant qu'isolation minérale issue de recyclage des verres cassés ou à partir du sable qui est une matière locale disponible en Algérie) ;
- Isolation de la face interne des parois donnant sur les locaux non chauffés par l'addition d'un panneau de cellulose de : 1 ; 1.5 ; 2.5 ; 3.5 et 4.5cm d'épaisseur (autant qu'isolation végétale issue de recyclage des journaux ou à partir de la matière première 'Alfa' qui est un matériau local) associé à 1.5cm de panneau de plâtre ;
- Renouveler l'isolation du toit extérieur en maintenant le même matériau d'isolation avec la même épaisseur (4cm de polystyrène expansé), mais en plaçant la couche d'isolation au-dessus de la couche de chape pas au dessous d'elle ;
- Le remplacement des vitrages simples par des doubles vitrages, en maintenant les cadres des fenêtres ainsi que les persiennes et en éliminant seulement les diviseurs de vitres. En plus du calfeutrage des fenêtres et des portes pour une meilleure étanchéité à l'air ;
- En plus de la fermeture de la loggia par une fenêtre avec double vitrage;
- Et des Stores point droit en toile de bâche acrylique comme dispositifs d'ombrage.

Selon le DTR C3-2 (CNERIB, 1998), D , D_T et les caractéristiques thermiques de l'enveloppe actuelle ainsi que celle optimisée du logement intermédiaire et celles du logement du dernier étage sont données dans le tableau suivant ; en plus de la vérification réglementaire pour orienter la prise de décision concernant les actions de réhabilitation

Tableau 31. Résultats du calcul et du recalcul des caractéristiques thermiques des éléments de l'enveloppe, des déperditions par transmission (D_T) avant et après réhabilitation thermique ainsi que la vérification réglementaire (source : le calcul simple effectué par l'Auteur suivant le DTR C3-2 (CNERIB, 1998)).

Propriétés thermiques	et déperditions	Cas de référence (non-isolé)	Epaisseur d'isolation des murs extérieurs					Commentaire	
			1cm	2cm	3cm	4cm	5cm		
Résistance thermique (R) m^2C°/W	$R_{Murs\ Ext.}$	0,1234	0,7435	1,0214	1,2987	1,5773	1,8553		
	R_{Toit}	1,5149			1,6551				
	$R_{Cloisons}$	0,0877	1,2667	1,3917	1,5167	1,8917	2,1417		
Transmissivité Thermique (valeur-K) W/m^2C°	$Valeur-U_{Murs}$ Intérieures	3,4083	1,345	0,979	0,77	0,634	0,539	Seulement les valeurs en gras vérifient le coefficient de transfert de chaleur maximal permis à Oujda Maroc (zone climatique réglementaire ZT3 : climat similaire à Tlemcen:) (voir le tableau 8 page 71)	
	$Valeur-U_{Murs}$ Ext.								
	$Valeur-U_{Toit}$	0,6042			0,594				
	$Valeur-U_{fenêtres}$	1,626			1,3927				
	$Valeur-U_{cloisons\ en\ contact\ avec\ locaux\ non-chauffés}$	2,0245	1,3898	1,0753	0,8957	0,7788	0,6972		
	$Valeur-U_{Moyenne\ parois\ en\ contact\ avec\ locaux\ non-chauffés}$	3,2499	0,7894	0,7185	0,6593	0,5286	0,4669		
	$Valeur-U_{Moyenne\ parois\ en\ contact\ avec\ locaux\ non-chauffés}$	3,7568	0,8651	0,7986	0,7431	0,6206	0,5627		
	Coefficient de réduction de température (T_{au})		0,35		0,60				Données par le DTR
	Déperditions thermiques d'un logement intermédiaire ($W/^\circ C$)	D_S	300,98	131,39	101,80	84,90	73,90		66,22
		D_{li}	60,19	26,28	20,36	16,98	14,78		13,24
D_{lnc}		21,89	5,96	5,56	5,22	4,49	4,14		
D_T		383,07	163,62	127,71	107,10	93,17	83,61		
D_R		72,89	71,35	71,18	70,84	70,50	70,16		
D		455,96	234,98	198,90	177,94	163,67	153,76		
Déperditions de référence ($W/^\circ C$)	D_{ref}		163,42						
Vérification réglementaire		$D_T > 1,05 \times D_{ref} = 171,59\ W/^\circ C$	$D_T < 1,05 \times D_{ref} = 171,59\ W/^\circ C$					Les valeurs en gras vérifient la formule	
Déperditions thermiques d'un logement du dernier étage ($W/^\circ C$)	D_S	343,5	171,73	141,98	124,76	113,43	105,43		
	D_{li}	68,7	34,35	28,40	24,95	22,69	21,09		
	D_{nhs}	21,89	5,96	5,56	5,22	4,49	4,14		
	D_T	434,01	212,04	175,93	154,93	140,61	130,65		
	D_R	72,89	71,35	71,18	70,84	70,50	70,16		
	D	506,9	283,39	247,11	225,77	211,11	200,81		
Déperditions de référence ($W/^\circ C$)	D_{ref}		226,76						
Vérification réglementaire		$D_T > 1,05 \times D_{ref} = 238,1\ W/^\circ C$	$D_T < 1,05 \times D_{ref} = 238,1\ W/^\circ C$					Les valeurs en gras vérifient la formule	

5-3-3) Evaluation multicritère selon le système algérien d'évaluation de l'efficacité énergétique et la durabilité :

Tableau 32. Évaluation multicritère du cas d'étude selon le système d'évaluation de l'efficacité énergétique et la durabilité algérien (source : le calcul simple effectué par l'Auteur suivant le DTR C 3-2 et le DTR C 3-4 (CNERIB, 1998 et Denker *et al.*, 2014).

Groupe de critères	Critères	Désignation	Evaluation	CLP			
				Cas de base		Cas amélioré	
				Indicateur	Note du critère	Indicateur	Note du critère
Architecture	1	Compacité du projet	Indicateur $I=A/V$	1,09	0	1,09	0
Energie	2	Les apports à travers les parois vitrées	Indicateur $I=AVT/AVT_{réf}$	Cas d'étude non climatisé		Cas d'étude non climatisé	
			Indicateur $II=AVE/AVE_{réf}$				
Energie	3	Les apports à travers les parois opaques	Indicateur $I=APO/A_{réf,PV}$				
			Indicateur $II=APO/A_{réf,PH}$ (c'est isolé)				
Energie	4	Protection thermique en été	F _s	0,036	10	0,012	10
Energie	5	Les besoins d'énergie en hiver	Indicateur $I=D_T/D_{T,réf}$	2,34	0	0,65	2
			Indicateur $II=D_R/D_{T,réf}$	0,45	0	0,43	0
			Indicateur $III=Q/Q_{réf}$	3,14	0	1,22	0
			Indicateur $IV=E_{Ch}/E_{Ch,réf}$	3,43	0	0,7	1
Energie	6	Les apports d'énergie en été	Indicateur $I=APO/(A_{réf,PH}+A_{réf,PV})$	Cas d'étude non climatisé		Cas d'étude non climatisé	
			Indicateur $II=AV/A_{réf,PVI}$				
Environnement	7	CO ₂ - émissions	Indicateur $I=m_{CO2}/m_{réf,CO2}$	1,41	5	0,86	7.5
Energie	8	Energies Renouvelables Thermique / Energie Environnement / biomasse (été / Hiver)	Indicateur : R [%]	Néant		Néant	
Energie	9	La Puissance électrique (éclairage, ventilation, climatisation)	Indicateur $I=(P_{dép.} \times Y_{dép.} + P_{app.} \times Y_{app.} + P_{éc.} \times Y_{éc.}) / (P_{dép.} + P_{app.} + P_{éc.})$	0,63	0	0,86	0
Économie	10	Économie (chauffage, électrique, l'eau chaude)	Indicateur $I=C/C_{réf}$	3.86	0	0.64	7.5
Environnement	11	Spécifications des éléments du bâtiment	Niveau 1	Voir chapitre 4 et 5		Voir tableau 33	
			Niveau 2				
			Niveau 3				
			Niveau 4				
Equipement	12	Spécifications des équipements du bâtiment	Indicateur I : η	0,87	0	0,87	0
			Indicateur II : $COP_{moy}/COP_{réf}$	-	-	-	-
			Indicateur III	Non vérifié	0	Non vérifié	0
			Indicateur IV		2		2
Confort	13	Confort	Indicateur $I=T_{si}-T_i$ (plafond isolé) [°C]	1,32	2	1,32	2
			Indicateur $II=T_{si}-T_i$ (murs extérieurs) [°C]	7,5	0	1,69	2

			Indicateur III= $T_{si}-T_i$ (vitrage) [°C]	14,73	0	7,89	0
			Indicateur IV= $I_c=0,9xI_{vx}$	0,108	0	0,108	0
Architecture	14	Innovation	Niveau conceptuel		3		6
			Niveau système constructif				
			Niveau de calcul				
Somme					22		38

Tableau 33. Propriétés thermiques de chaque matériau et les totaux des propriétés thermiques des éléments composant le bâtiment (source : l' Auteur)

Matériaux		Propriétés thermiques des matériaux					Totaux des propriétés thermiques des éléments améliorés																									
Toiture extérieure																																
	Couche	Nom	Epaisseur (mm)	Conductivité W/m.k	Chaleur spécifique J/kg.k	Densité Kg/m ³	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Surface interne</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>4,460</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,540</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,100</td></tr> <tr><td colspan="2">Surface externe</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>19,870</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,130</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,040</td></tr> <tr><td colspan="2">Pas de pont thermique</td></tr> <tr><td>Coefficient U surface à surface (W/m2.K)</td><td>0,646</td></tr> <tr><td>Valeur R (m2.K/W)</td><td>1,687</td></tr> <tr><td>Coefficient U (W/m2.K)</td><td>0,593</td></tr> </table>		Surface interne		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	4,460	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,100	Surface externe		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040	Pas de pont thermique		Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,646	Valeur R (m2.K/W)	1,687	Coefficient U (W/m2.K)	0,593
	Surface interne																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	4,460																														
	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540																														
	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,100																														
	Surface externe																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870																														
	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130																														
	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040																														
Pas de pont thermique																																
Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,646																															
Valeur R (m2.K/W)	1,687																															
Coefficient U (W/m2.K)	0,593																															
1	Gravier (galet)	70	0,360	840	1840																											
2	Polyesters non tissé	1	0,40	1404	1200																											
3	Polystyrène Expandé	40	0,036	1404	20																											
4	Membrane d'étanchéité souple	0,8	0,140	1000	1200																											
5	Adhésif cimenteux	2	0,870	1080	1600																											
6	Chape	50	0,440	1080	1400																											
7	Béton armé 2 nappes	150	2,500	1000	2400																											
8	Plâtre courant d'enduit intérieur	20	0,350	936	1000																											
Murs Extérieurs																																
	Couche	Nom	Epaisseur (mm)	Conductivité W/m.k	Chaleur spécifique J/kg.k	Densité Kg/m ³	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Surface interne</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>2,152</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,540</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,130</td></tr> <tr><td colspan="2">Surface externe</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>19,870</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,130</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,040</td></tr> <tr><td colspan="2">Pas de pont thermique</td></tr> <tr><td>Coefficient U surface à surface (W/m2.K)</td><td>0,886</td></tr> <tr><td>Valeur R (m2.K/W)</td><td>1,299</td></tr> <tr><td>Coefficient U (W/m2.K)</td><td>0,770</td></tr> </table>		Surface interne		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	2,152	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,130	Surface externe		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040	Pas de pont thermique		Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,886	Valeur R (m2.K/W)	1,299	Coefficient U (W/m2.K)	0,770
	Surface interne																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	2,152																														
	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540																														
	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,130																														
	Surface externe																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870																														
	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130																														
	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040																														
	Pas de pont thermique																															
Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,886																															
Valeur R (m2.K/W)	1,299																															
Coefficient U (W/m2.K)	0,770																															
1	Mortier acrylique de finition	3	1,200	1080	1905																											
2	Fondo Morcemcrl	0,5	-	-	-																											
3	Mortier hydraulique	2	0,870	1080	1800																											
4	Maille de fibre de verre	0,5	0,039	612	16																											
5	Mortier hydraulique	2	0,870	1080	1800																											
6	Panneau de laine de verre	30	0,036	840	20																											
7	Mortier hydraulique	2	0,870	1080	1800																											
8	Mortier de ciment	20	1,400	1080	2200																											
9	Béton armé 2 nappes	130	2,500	1000	2400																											
10	Plâtre courant d'enduit intérieur	20	0,350	936	1000																											
Murs donnant sur les locaux non chauffés																																
	Couche	Nom	Epaisseur (mm)	Conductivité W/m.k	Chaleur spécifique J/kg.k	Densité Kg/m ³	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Surface interne</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>2,152</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,540</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,130</td></tr> <tr><td colspan="2">Surface externe</td></tr> <tr><td>Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>19,870</td></tr> <tr><td>Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)</td><td>5,130</td></tr> <tr><td>Résistance surfacique (m2.K/W)</td><td>0,040</td></tr> <tr><td colspan="2">Pas de pont thermique</td></tr> <tr><td>Coefficient U surface à surface (W/m2.K)</td><td>0,852</td></tr> <tr><td>Valeur R (m2.K/W)</td><td>1,343</td></tr> <tr><td>Coefficient U (W/m2.K)</td><td>0,745</td></tr> </table>		Surface interne		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	2,152	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,130	Surface externe		Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040	Pas de pont thermique		Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,852	Valeur R (m2.K/W)	1,343	Coefficient U (W/m2.K)	0,745
	Surface interne																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	2,152																														
	Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,540																														
	Résistance surfacique (m2.K/W)	0,130																														
	Surface externe																															
	Coefficient convectif de transfert de chaleur (W/m2.K)	19,870																														
Coefficient radiatif de transfert de chaleur (W/m2.K)	5,130																															
Résistance surfacique (m2.K/W)	0,040																															
Pas de pont thermique																																
Coefficient U surface à surface (W/m2.K)	0,852																															
Valeur R (m2.K/W)	1,343																															
Coefficient U (W/m2.K)	0,745																															
1	Mortier de ciment	10	1,400	1080	2200																											
2	Béton armé 2 nappes	130	2,500	1000	2400																											
3	Plâtre courant d'enduit intérieur	20	0,350	936	1000																											
4	Panneau semi-rigide ouate de cellulose	15	0,040	2000	70																											
5	Polyéthylène (faible densité)	0,3	0,330	2200	920																											
6	Lambourrage /vide pour conduite	20	0,030	280	1,20																											
7	Panneaux de plâtre	15	0,350	792	900																											

Fenêtres

Dbl Clr 3mm/6mm Air

Vitrage externe	
Vitrage	Dbl Clr 3mm/6mm Air
Matériau du cadre	Cadres de bois peint
% de surface de vitrage ouvert	50
Cadres et diviseurs	
<input checked="" type="checkbox"/> A un cadre/diviseurs ?	
Construction: Cadres de bois peint	
Diviseurs	
Type	2-Suspendu
Largeur (m)	0,030
Diviseurs horizontaux	0
Diviseurs verticaux	0
Projection extérieure (m)	0,000
Projection intérieure (m)	0,000
Ratio de conduction du verre bord-centre	1,000
Cadre	
Largeur cadre (m)	0,030
Largeur entre bord intérieur du cadre et ...	0,000
Largeur entre bord extérieur du cadre et...	0,000
Ratio de conduction du verre bord-centre	1,000
Ombrage	
<input checked="" type="checkbox"/> Occultation de fenêtre	
Type	persiennes en bois
Position	3-Extérieur
Type de contrôle	9-De jour si clim. et soleil + de nuit
Consigne de luminosité solaire (W/m2)	120
Fonctionnement	
Planning de fonctionnement	HABITATION occultation des fenetres
<input checked="" type="checkbox"/> Pare-soleil local	
Type	Casquette 65

Valeurs calculées	
Coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS)	0,762
Transmission solaire directe	0,705
Transmission de lumière	0,812
U-value (EN 673) (W/m2.K)	3,314
Coefficient U (W/m2.K)	3,159

5-3-4) Discussion des résultats de l'étude statique :

Les résultats de l'étude statique, dans le tableau 32, ont confirmé la première hypothèse de la nécessité de la réhabilitation thermique des logements, car dès l'addition du premier centimètre d'isolation, les deux logements sont devenus conformes à la réglementation algérienne. Mais, en comparant la réglementation algérienne avec celles des pays voisins (Tunisie, Maroc, etc.), nous avons remarqué qu'elle a besoin d'être plus approfondie. Les deux réglementations thermiques tunisienne, marocaine fournissent aux concepteurs des informations (besoin de chauffage selon la zone climatique, limites minimales de consommation exigées, label énergétique, etc.) plus strictes et plus claires à respecter pour chaque zone climatique.

Et que quand, nous avons utilisé le système d'évaluation multicritère algérien qui se base essentiellement sur les deux DTR (DTR C 2-3 et DTRC 3-4), nous avons constaté, du premier coup d'œil, qu'il a pris d'autres critères indispensables dans l'évaluation de la performance énergétique et thermique (tels que : les critères 1, 7, 8, 10,13 et 14). Par contre, il a négligé d'autres paramètres très importants tels que : la ventilation et l'humidité spécifique qui ne sont pas pris en considération dans ce système.

Les résultats d'évaluation de notre cas d'étude avant et après réhabilitation selon ce système d'évaluation de l'efficacité énergétique et durabilité nous ont démontré que :

- Le système n'a pas pris en considération des critères d'évaluation des mesures de rafraîchissement passif dans le bâtiment non climatisé et s'est appuyé sur l'hypothèse d'un bâtiment climatisé seulement. Alors que, les logements à Tlemcen voir même en Algérie ne sont pas climatisés mais seulement rafraîchis par des split individuels. Et a considéré l'indicateur I du critère 6 comme un indicateur majeur ;
- Le système a considéré également l'indicateur I du critère 5 comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 est éliminatoire. Alors que, même avec l'isolation renforcée de 8 cm de notre cas d'étude, la note du critère est restée égale à 2 et l'Indicateur II est resté égal à 0.
- La même chose pour le critère 9, l'Indicateur est égal à 0 même avec l'utilisation de 8cm d'isolant.
- De plus, qu'il reste ambigu pour les concepteurs (étudiants et professionnels diplômés) qui ont même fait une formation sur la conception climatique.
- Le système a estimé un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire. Et l'estimation de notre cas d'étude avant réhabilitation est égale à 22 et à 38 après réhabilitation. Ce qui veut dire que le logement est devenu efficace en énergie et que la stratégie de réduction des déperditions calorifique est durable.

5-4) Simulation thermique dynamique

5-4-1) Outil de simulation

a) EnergyPlus® :

EnergyPlus fut développé aux États Unis grâce à la volonté du département de l'énergie de recentrer ses financements autour d'un seul outil de simulation des bâtiments. Il s'agit d'un code validé à l'aide des tests d'IEA BESTEST. Il se comporte comme un gestionnaire de simulation qui utilise plusieurs modules pour estimer les besoins en énergie des bâtiments (Figure 92). Le cœur du modèle de bâtiment est basé sur deux anciens programmes de simulation monolithiques du DOE : BLAST et DOE-2 et le langage de programmation FORTRAN 90. Il ne possède pas d'interface graphique propre mais, plusieurs interfaces sont disponibles sur le marché tels que : DesignBuilder et un plug-in "OpenStudio" a été développé récemment pour pouvoir utiliser le modeleur 3D GOOGLE SKETCH'UP pour la saisie des données d'entrée et le traitement des résultats de la simulation. EnergyPlus possède un module pour les études paramétriques, un outil comme Genopt qui peut être couplé permettant de mener des études d'optimisation. Il intègre des interfaces d'interopérabilité

comme le BCVTB et le standard FMI (Kaboré, 2015). Cet outil sera retenu pour la simulation dynamique de notre cas d'étude.

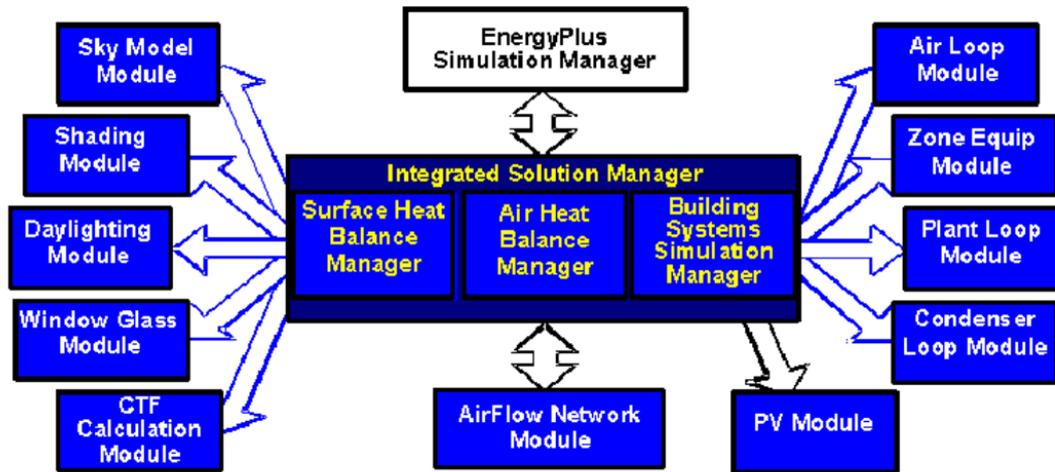


Figure 92. Le programme EnergyPlus (Source : Kaboré, 2015)

EnergyPlus est un programme d'analyse énergétique et de simulation de chargement thermique. Basé sur une description de bâtiment de l'usagé à partir de la perspective du maquillage physique du bâtiment associé aux systèmes mécaniques et à d'autres systèmes, EnergyPlus calcule les chargements de chauffage et de refroidissement nécessaires pour maintenir le réglage de contrôle thermique, les conditions tout au long du système CVC secondaire et de bobine de charge, et la consommation d'énergie de l'équipement de l'usine principale.

L'intégration simultanée de ça et de beaucoup d'autres détails vérifie que la simulation d'EnergyPlus effectue comme le ferait un bâtiment réel.

Fonctionnalités clés d'EnergyPlus:

La suivante est une liste de représentative des fonctionnalités d'EnergyPlus:

- Solution simultanée, et intégrée où la réponse de bâtiment et les systèmes primaire et secondaire sont étroitement couplés (itération performée quand c'est nécessaire) ;
- Etapes de temps sub-horaire, défini par l'usagé pour l'interaction entre les zones thermiques et l'environnement ; des étapes de temps variables pour les interactions entre les zones thermiques et les systèmes CVC (varié automatiquement pour assurer la stabilité de solution) ;

- Texte ASCII basé sur les fichiers climatiques d'entrée et de sortie qui inclut des conditions environnementales sub-horaire, et des standard et des rapports défini par l'usagé, respectivement ;
- Equilibre de chauffage base sur des solutions techniques pour les chargements thermiques de bâtiment qui permet le calcul simultané des effets radiant et convectif en même temps dans les surfaces intérieures et extérieures durant chaque étape de temps ;
- Conduction thermique transitoire à travers des éléments de construction tels que les murs, les toits, les planchers, etc. en utilisant des fonctions de transfert de conduction ;
- Amélioration de la modélisation du transfert de chaleur au sol grâce à des liens vers des modèles de sols en trois dimensions à différence finie et des techniques analytiques simplifiées
- Model de chaleur combiné et de transfert de masse qui compte pour adsorption/désorption de l'humidité soit comme l'intégration de couche-par-couche dans la conduction des fonctions de transfert ou soit comme une pénétration de l'humidité effective en profondeur du modèle (an effective moisture penetration depth model (EMPD))
- Modèles de confort thermique bases sur l'activité, température sèche intérieure, l'humidité, etc;
- Modèle de ciel Anisotropique pour le calcul prouvé de solaire diffuse dans les surfaces inclines
- Calcul de fenestration avancé incluant des stores contrôlables de la fenêtre, vitrage électrochromique, le bilan de chauffage couche-par-couche permettant la tache de l'énergie solaire absorbée par la vitre de la fenêtre, et une librairie performante de nombreuses fenêtres commercialement disponibles ;
- Contrôles de la lumière du jour incluant le calcul de la luminance intérieure, la simulation et le contrôle de l'éblouissement, les contrôles lumineux, et l'effet de la lumière artificielle réduite dans le chauffage et la climatisation ;
- Calcul de la pollution atmosphérique qui prédit CO₂, SO_x, NO_x, CO, les particules de la matière, et la production d'hydrocarbone dans le site et pour le contrôle de la conversion d'énergie ;
- EnergyPlus Interface d'usage;

- EnergyPlus est un programme de simulation autonome sans interface graphique «conviviale». EnergyPlus lit les données d'entrées et écrit les données de sortie sous forme de fichiers texte. Un nombre d'interfaces graphiques sont disponibles.

b) DesignBuilder® - Building Design, Simulation, Visualisation :

DesignBuilder a été choisi comme outil de simulation de bâtiment en raison de sa grande flexibilité et de la possibilité de créer de nouveaux composants. Il existe plusieurs objectifs spécifiques de la thèse qui nécessitent cette flexibilité pour une meilleure mise en œuvre.

DesignBuilder est une révolutionnaire nouvelle simulation énergétique des bâtiments et un outil de visualisation. Développé par DesignBuilder Software Limited pour une utilisation à toutes les étapes de la conception du bâtiment, DesignBuilder combine l'état de l'art des logiciels de simulation thermique avec un modélisateur facile à utiliser la 3D mais puissant.

DesignBuilder permet même des édifices complexes à modéliser rapidement par des utilisateurs non experts, et parce qu'il utilise le moteur de simulation EnergyPlus issu des logiciels renommés BLAST et DOE-2 pour générer la performance des données, vous pouvez être confiant dans les résultats. Le couple DesignBuilder / EnergyPlus a passé avec succès les tests de fiabilité de l'ASHRAE. DesignBuilder est un environnement de modélisation convivial avec des modèles de construction virtuelle. Il fournit une gamme de données sur la performance environnementale, comme l'indique la figure 93, telles que: la consommation annuelle d'énergie, les températures maximales d'été et la taille des composants CVC. Certaines utilisations typiques sont:

- Les données sur la performance environnementale sont affichées sans avoir besoin d'exécuter des modules externes et d'importer des données et toutes les simulations nécessaires pour générer les données sont démarrées automatiquement.
- Les descriptions EnergyPlus 'Compact HVAC' fournissent un moyen simple d'analyse détaillée des systèmes de chauffage et de rafraîchissement couramment utilisés.
- La ventilation naturelle peut être modélisée avec l'option "pour ouvrir la fenêtre" en fonction d'une température de consigne de ventilation.
- Évaluation des options de façade pour la surchauffe et l'apparence visuelle.
- Lumière du jour - Modèles de systèmes de contrôle d'éclairage et calcul des économies d'éclairage électrique.
- Ombrage par des persiennes, des brises soleil horizontaux et verticaux ainsi que des stores intérieurs et intermédiaires.

- Une gamme complète de données de simulation peut être affichée dans des intervalles annuels, mensuels, quotidiens, horaires ou subalternes:
 - Calcul de la consommation d'énergie du bâtiment.
 - Température interne
 - Données météorologiques
 - Transmission de la chaleur à travers les tissus de construction, y compris les murs, les toits, l'infiltration, la ventilation, etc.
 - Charge de chauffage et de refroidissement.
 - Visualisation des dispositions du site et de l'ombrage solaire.
 - Production de CO₂.
- Les tailles des installations de chauffage et de rafraîchissement peuvent être calculées à l'aide des données météo de conception.
- Les écrans d'analyse paramétrique vous permettent d'étudier l'effet des variations des paramètres de conception sur une gamme de critères de performance.
- DesignBuilder utilise le moteur de simulation dynamique EnergyPlus pour générer des données de performance: il Génère des fichiers EnergyPlus IDF et travaille avec des fichiers DesignBuilder extérieurs pour accéder aux fonctionnalités du système EnergyPlus non fournies par DesignBuilder
- Aide à la communication lors de réunions de conception.
- Un outil éducatif (© 2009 DesignBuilder Software, 2009).

À l'aide d'une interface 3D autorisant la manipulation, duplication, extrusion, coupe des volumes du bâtiment à la souris. L'organisation hiérarchique Bâtiment – Bloc, Zone, Surface autorise la configuration des données (construction, fenêtres, chauffage, etc.) au niveau général ou détaillé selon le principe d'héritage.

Le bâtiment est immédiatement visualisable, à n'importe quel stade du projet. Il est possible de visiter le bâtiment à l'intérieur comme depuis l'extérieur, voir les ombres solaires à n'importe quelle date et heure (les vitrages sont transparents). Avec l'outil de modélisation des bâtiments DesignBuilder, il est possible de lancer automatiquement le logiciel libre Energy+ afin de réaliser des simulations thermiques, aérauliques et d'éclairage (Girault, Lebret, 2008).

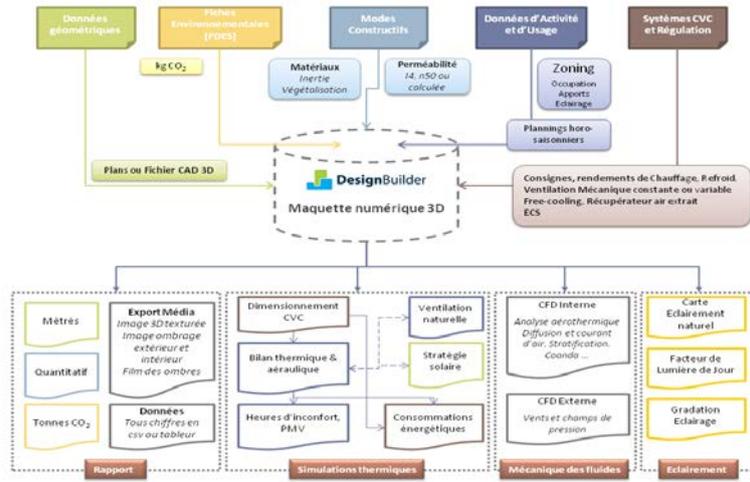


Figure 93. Diagramme du logiciel DesignBuilder (Source: © 2009 DesignBuilder Software, 2009).

5-4-2) Procédure et modélisation:

La figure 94 illustre la procédure de modélisation selon la méthode décrite au début de ce chapitre.

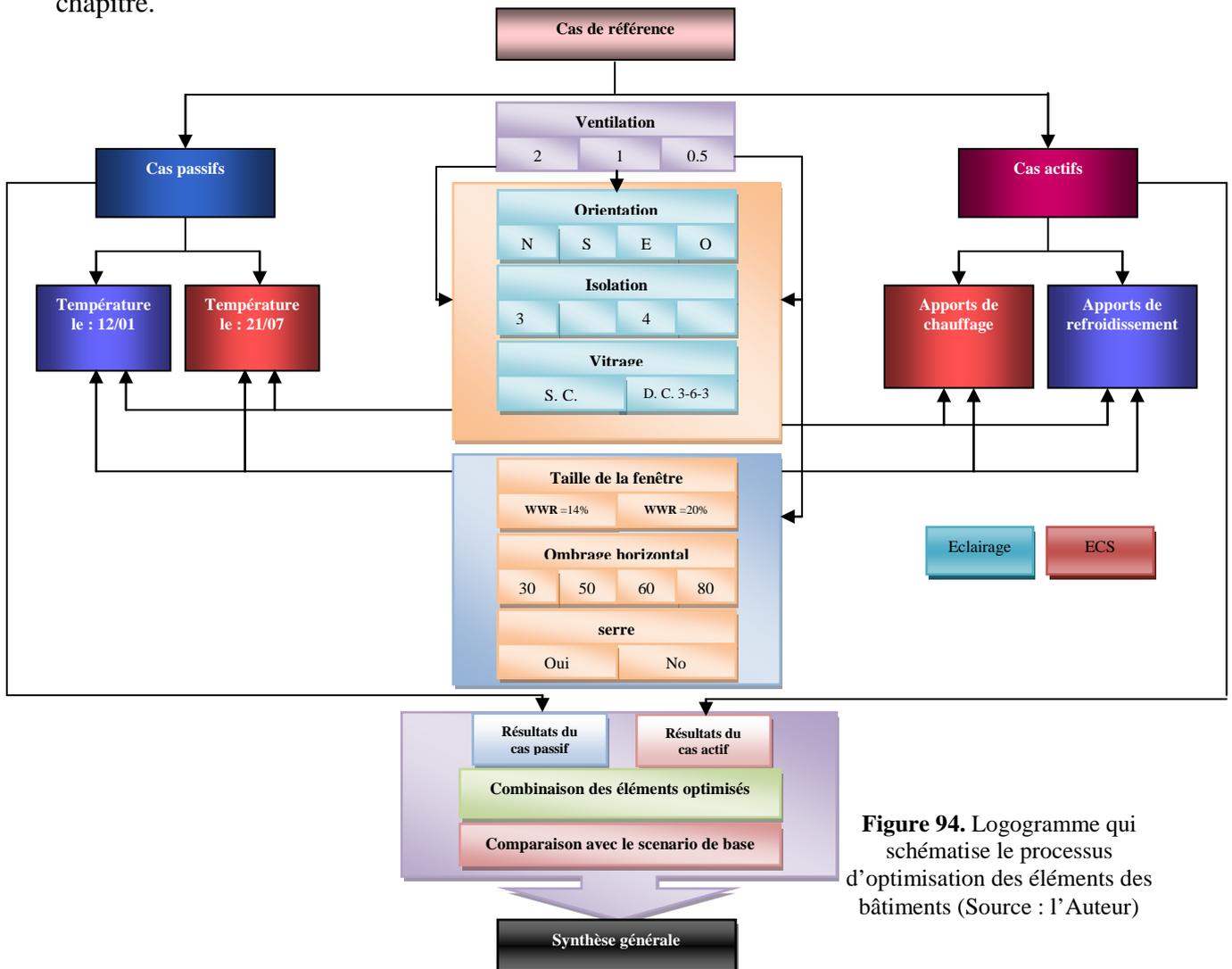


Figure 94. Logogramme qui schématise le processus d'optimisation des éléments des bâtiments (Source : l'Auteur)

5-4-3) Scénario de Base

Le début de la simulation avec DesignBuilder, qui utilise le moteur de simulation dynamique EnergyPlus pour générer la performance des données (voir Figure 92), a besoin de dessiner l'appartement, pour la création des volumes du bâtiment simulé comme le fait voir la figure 95.

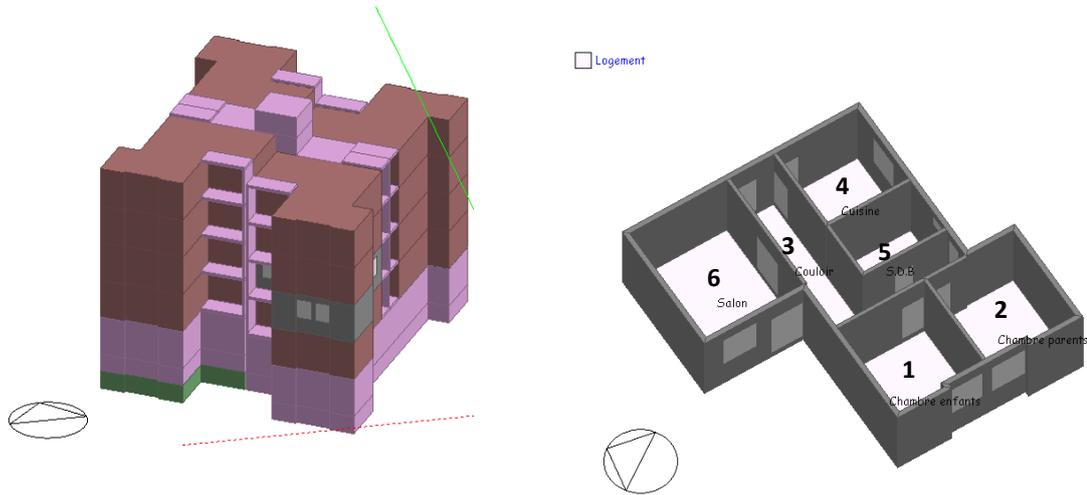


Figure 95. Modèle de simulation 3D de l'appartement
(Source: l'Auteur à l'aide de © 2009 DesignBuilder Software, 2009).

a) L'Occupation en tant que conducteur

Dans la simulation, l'occupation a été définie comme le principal moteur de l'utilisation du bâtiment (systèmes de chauffage et de rafraichissement, ventilation naturelle, protection solaire et éclairage). Pour cette raison, l'un des principaux objectifs est d'utiliser des profils réalistes des occupants. Ce profil doit reproduire la variabilité des occupants réels et, en même temps, leur comportement doit être représentatif de l'occupant moyen (voir figure 96).

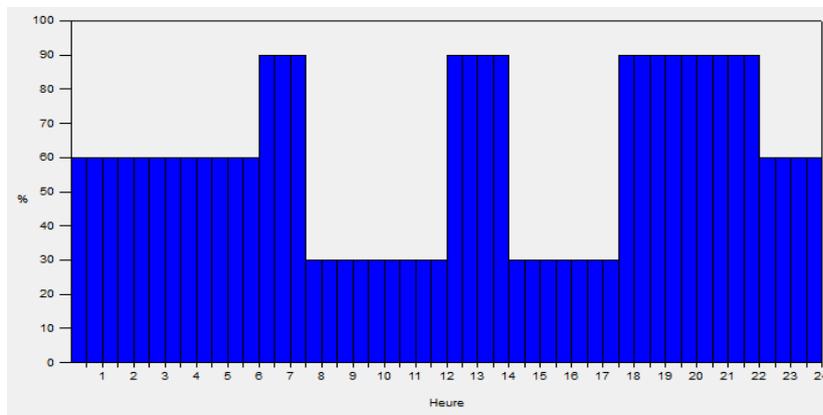


Figure 96. Profil d'occupation du logement (Source: l'Auteur à l'aide de © 2009 DesignBuilder Software, 2009).

La caractérisation d'occupation commence par la définition du type de famille : combien de personnes étaient dans chaque ménage et leur âge. Cette information a été obtenue à partir des enquêtes réalisées dans l'étude de caractérisation du bâtiment (dans le chapitre précédent). L'enquête a donné des informations sur ce que faisaient les gens à chaque moment de la journée.

Les données de chargement personnel à l'intérieur de chaque volume à certaines heures du jour sont prises en compte, et sont en fonction des relations entre les gens et les activités qui étaient entrain de les faire. Les valeurs sont appliquées à partir du (ASHRAE, 1997). Le modèle d'occupation et les apports internes résultants de 5 personnes (ménage algérien typique et selon un Tol de 5 défini par le PDAU de Tlemcen) sont estimés selon le Tableau 34.

Table 34. Les apports internes de cinq occupants et appareils (source: l'Auteur d'après (ASHRAE, 1997).

Volume	Hours	Internal loads (Wh/h)	Comment
1	22-06	300	3 personnes dorment (enfants)
	10-11	270	Faire le ménage pour 1 heure
2	22-06	200	2 personnes dorment
	10-12	270	Faire le ménage pour 1 heure
	14-15	75	1 personne fait une sieste
3	07-08	100	5 personnes passent à travers
	10-11	270	Faire le ménage pour 1 heure
	12-13	80	Arrivée après travail, etc
	18-19	100	5 personnes passent à travers
4	06-07	100	Préparer le petit déjeuner pour ½ heure
	07-08	550	3-5 personnes s'assoient et mangent pendant moins d' 1 heure
	10-11	270	Faire le ménage pour 1 heure
	10-12	180	Préparer le déjeuner
	12-13	440	4 personnes s'assoient et mangent pendant moins d' 1 heure
	16-17	100	Préparer le café pour ½ heure
	17-18	330	3 personnes s'assoient et mangent pendant moins d' 1 heure
	19-20	180	Préparer le diner
20-21	550	5 personnes s'assoient et mangent pendant moins d' 1 heure	
5	19-20	265	1 personne Prend une douche
6	08-09	105	1 personne s'assoit pour moins d'une ½ heure
	10-11	270	Faire le ménage pour 1 heure
	15-17	378	2-3 invités s'assoient
	19-21	400	Occupation du séjour +voir TV

b) Chauffage, rafraichissement et eau chaude sanitaire :

Pour cette étude l'Eté (du 1^{er} Juin au 30 Septembre) et l'Hiver (du 1^{er} Novembre au 31 Mars) sont pris comme cas étudiés. La densité est prise 0.07 car le logement est occupé par 5

personnes. Le besoin de température en hiver est pris 21C° (condition de confort dans un local à usage d'habitation en Algérie (CNERIB, 1998)). La limite inférieure de la température est de 19C°. Tandis que, la limite inférieure de la température de rafraichissement est prise 25C°, et la limite supérieure est de 27C°. Ces entrées sont constantes pour tous les cas.

Le chauffage est assuré par un chauffage ponctuel à gaz de ville avec un rendement ($\eta=0.87$). Pas d'installation de conditionnement d'air, mais chez quelques uns le rafraichissement est assuré par des climatiseurs électriques monobloc (Split) avec un coefficient de performance (COP=3.06).

Les besoins énergétiques nets évaluent la quantité d'énergie que devront fournir les différents systèmes de chauffage et de refroidissement afin de garantir le confort thermique de l'ambiance.

- La consommation finale d'énergie englobe en plus les pertes liées au fonctionnement de ces différentes installations (rendement des installations). Elle, représente donc la consommation énergétique globale pour le chauffage et le rafraichissement qui sera facturée à l'utilisateur.

$$Q_{\text{final}} = Q_{\text{net}} / \eta_{\text{instal}} \dots\dots[\text{Eq. 1}].$$

Avec :

$$\eta_{\text{instal}} = \eta_{\text{sys}} \cdot \eta_{\text{gen}}$$

η_{instal} : rendement de l'installation.

η_{gen} : rendement de production (du générateur).

η_{sys} : rendement du système qui dépend des caractéristiques de distribution, d'émission, de régulation et du stockage de l'énergie du système.

- La consommation en énergie primaire est ainsi définie par :

$$E_p = f_p \cdot Q_{\text{final}} \dots\dots\dots [\text{Eq. 2}].$$

avec Q_{final} = consommation finale en énergie.

L'utilisation d'1 kWh d'électricité nécessite en réalité beaucoup plus d'énergie que l'utilisation d'1 kWh de gaz naturel, car la production d'électricité engendre beaucoup de pertes de transformation.

L'électricité a donc un facteur particulièrement élevé (2,5). Ce facteur traduit le fait qu'1 kWh électrique utilisé a nécessité 2,5 kWh de combustible pour sa transformation.

- L'eau chaude sanitaire (ECS) est assurée par un chauffe-eau à gaz ayant un COP de 0.85, pour chauffer un volume journalier d'eau de 50l/j/per.

Les besoins en énergie pour produire de l'eau chaude sanitaire est donnée par la formule suivante :

Énergie ECS (kWh) = 1000 (kg / m³) x 4.187 (KJ / kg-K) x (consommation d'eau chaude sanitaire [m³]) x (température de l'eau de livraison - température de l'eau)/ECW CoP.....[Eq. 3]

En prenant la température moyenne annuelle d'eau fraîche de 10 ° C et une température utile d'eau chaude de 50 ° C, Δt = 50 ° C = 50 K.

Les besoins en énergie nécessaires à la chaleur quotidienne de l'eau sont de 13,68 kWh / jour / pers. Multiplié par 365, il détermine un besoin annuel de 4993,2 kWh / y / pers. La demande d'énergie spécifique pour chauffer l'eau peut atteindre 70,94 kWh / m² / an, soit 4,72 fois plus d'énergie que les besoins de chauffage d'un Passivhaus.

Eq. 1, Eq. 2 et Eq. 3 représente la façon dont le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le système de rafraîchissement ont été mis en œuvre dans le modèle de construction. La demande de chauffage et de refroidissement est obtenue directement à partir de la simulation dynamique et l'ECS est introduit dans la simulation en tant que donnée d'entrée.

c) Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est considérée comme la stratégie principale pour réduire la température pendant la saison chaude, suivant les stratégies vernaculaires de l'architecture méditerranéenne traditionnelle. La stratégie repose sur l'hypothèse suivante : les utilisateurs utilisent la ventilation naturelle pour refroidir le ménage. Dans le cas où la ventilation naturelle n'est pas suffisante et que la surchauffe se produit, les fenêtres sont fermées et le système de rafraîchissement est allumé. Cette hypothèse est conforme aux résultats obtenus dans l'enquête de l'étude de caractérisation du bâtiment, ce qui montre que le système de rafraîchissement est utilisé occasionnellement.

En termes généraux et en cas d'occupation du logement, la ventilation naturelle est active lorsque la température ambiante est comprise entre 24°C et 28°C. La figure 97 montre que cette gamme de température est confortable pour le modèle de confort adaptatif ASHRAE, surtout lorsque la température extérieure est supérieure à 20°C (saison chaude). Si la température de fonctionnement est supérieure à 27 ° C, la ventilation naturelle est éteinte (les fenêtres sont

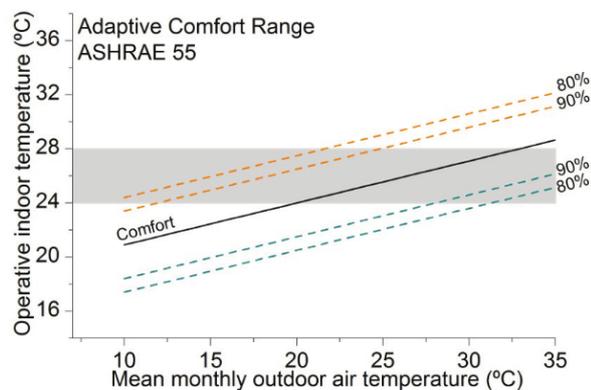


Figure 97. Gammes de confort adaptatif suivant le modèle de confort ASHRAE 55 (source Ortiz, 2016).

fermées). Les fenêtres resteront fermées jusqu'à ce que la température extérieure soit inférieure à la température de fonctionnement, habituellement la nuit.

Tous les cas ont été simulés avec trois différents taux de ventilation supposés quand le bâtiment est fermé à cause de la différence de l'infiltration à travers le temps en fonction de la vitesse et de la direction des vents et à cause aussi du comportement de l'utilisateur (ouverture/fermeture de la fenêtre). Ces taux doivent en général correspondre aux fenêtres non étanches (2 Vol/h), assez étanches (1 Vol/h) et très étanches (0.5 Vol/h). En été, les fenêtres sont la plus part du temps ouvertes, mais en hiver les fenêtres sont ouvertes juste au moment du nettoyage, tandis qu'elles sont ouvertes pendant les jours d'automne et du printemps. Quand les fenêtres sont ouvertes, un taux de 10 Vol/h est supposé (voir Tableau 35).

Tableau 35. Taux de ventilation dans les renouvellements d'air par heure (Vol/h) (source : l'Auteur).

Volume	Heures	Ventilation Vol/h	Commentaire
Automne, 1- 31 Octobre et Printemps, 1 Avril-31 Mai			
1-6	08-20	Ouverte ^a	
	20-08	Fermée ^b	
Hiver, du 1 ^{er} Novembre – 31 Mars			
1-6	10-11	Ouverte	
	11-10	Fermée	Chauffé à 21 °C (Limite basse de chauffage 19°C) : par un chauffage ponctuel à gaz de ville (COP ^c =0.87)
Eté, du 1 ^{er} Juin – 30 Septembre			
1-6	20-9	Ouverte	
	9-20	Fermée	Rafraichi à 25 °C (Limite haute de rafraichissement 27°C) : Pas de d'installation de conditionnement d'air, mais par des climatiseurs électriques (Split) (COP=3.06)

a : 'ouverte' veut dire 10 Vol/h ; b : 'fermée' veut dire 0.5, 1 ou 2 Vol/h en fonction du cas, voir les résultats ;
c : coefficient de performance

d) Protection solaire

La protection solaire est la stratégie utilisée pour éviter l'augmentation de la température pendant la saison chaude. L'utilisation des protections solaires a été introduite comme une stratégie complémentaire de la ventilation naturelle. L'enquête effectuée dans l'étude de caractérisation du bâtiment reflète que ce ménage a des persiennes externes qu'il utilise pendant la période chaude. En conséquence, l'utilisation des protections solaires a été implémentée dans la simulation dans le cas de base. L'idée est que lorsque la température ambiante est inférieure aux critères de confort, le rayonnement solaire est utilisé pour chauffer le ménage. Cependant, lorsque la température ambiante est plus élevée, il est nécessaire de protéger le ménage du rayonnement solaire pour éviter la surchauffe.

Deux stratégies de contrôle ont été définies et sont décrites dans le tableau 36 : utilisation typique et utilisation optimale de la protection solaire. Pour l'utilisation typique, les occupants

utilisent les protections solaires (persiennes) lorsqu'ils sont à la maison et les conditions environnementales l'exigent. Au contraire, dans la configuration d'utilisation optimale, les occupants ont une attitude préventive en utilisant la protection solaire : si la journée est chaude, les utilisateurs mettront la protection solaire (stores) avant de quitter le ménage, en tant que stratégie vernaculaire.

Tableau 36. La stratégie de contrôle de la protection solaire (Source : l'Auteur).

Règles générales de contrôle	Condition	Usage typique de la protection solaire	Usage optimal de la protection solaire
Occupation	>0	Oui	Oui
	0	Non	Oui
Si l'occupation >0			
Température d'ambiance (T_{op}) et rayonnement solaire total (Rs)	$T_{op} \geq 25^{\circ}\text{C}$ $R \geq 140\text{W/m}^2$	Oui	Oui
	$T_{op} < 25^{\circ}\text{C}$ $R < 140\text{W/m}^2$	Non	Non
Si l'occupation <0			
Température d'ambiance (T_{op}) et rayonnement solaire total (Rs)	$T_{op} \geq 25^{\circ}\text{C}$ $R \geq 140\text{W/m}^2$	Non	Oui
	$T_{op} < 25^{\circ}\text{C}$ $R < 140\text{W/m}^2$	Non	Non

e) Lumière du jour et éclairage artificiel

Afin de définir l'utilisation de l'éclairage artificiel, la disponibilité de la lumière du jour a été calculée pour savoir quand il est nécessaire d'allumer / éteindre les lumières. L'éclairage artificiel est contrôlé par l'occupation et la lumière du jour. Le tableau 37 décrit la stratégie de contrôle de l'éclairage artificiel. À la différence des autres contrôles réalisés dans le modèle, ce contrôle tient compte de l'état des occupants. En outre, le contrôle a des règles différentes en fonction de l'heure du jour : la nuit (de 24h à 7h) et le jour (de 7h à 24h).

Tableau 37. La stratégie de contrôle de l'éclairage artificiel (Source : l'Auteur).

Règles générales de contrôle	Condition	Usage de l'éclairage artificiel
Occupation = 0		Non
Si l'occupation est >0		
Heures du jour et irradiance	Jour (7-24h) $I < 120\text{lux}$ $W = 25\text{W/m}^2$	Oui
	Jour (7-24h) $I > 120\text{lux}$ $W = 25\text{W/m}^2$	Non
	Nuit (24-7h)	seulement lorsque c'est occupé

f) Consommation d'appareils

Les équipements utilisés dans logement ont été obtenu à partir de l'enquête. Les appareils suivent les caractéristiques du ménage moyen d'un bâtiment multifamilial à Tlemcen. Le tableau 38 décrit les apports dus à chaque appareil.

Tableau 38. Gains dus aux appareils électriques utilisés dans le cas d'étude (Source : Auteur à partir de l'enquête et le DTR C. 3-4 (CNERIB, 1998)).

Appareils	Gains à admettre (en W)		
	Sensible	latent	Total
Four micro-onde	1400	-	1400
Télévision	150	-	150
Réfrigérateur (200 l)	175	-	175
Machine à laver (5 kg)	6000	3000	9000
PC	450	-	450
Mixer	1000	277	1277
Fer à repasser	500	280	780

g) Mesures d'efficacité énergétique

Ensuite, c'est l'identification des matériaux utilisés dans le bâtiment étudié, qui sont déjà présentés dans le tableau 30. Ainsi que les éléments du bâtiment optimisé qui sont présentés dans le Tableau 33. Une brève description des mesures d'efficacité énergétique passives est introduite dans la section suivante. Le tableau 39 comprend la description des mesures et leurs avantages supplémentaires. Les caractéristiques de la performance énergétique et leurs coûts associés sont détaillés. Les coûts d'investissement comprennent le matériel, leur installation et les taxes (17% TVA). Toutes les mesures ont été simulées individuellement et combinées.

Tableau. 39. Récapitulation des mesures d'efficacité énergétique.

Mesure	Description	Surface/Lo ngueur (m ² /ml)	U-value totale (W/m ² C°)	Bénéfices supplémentaires	Coûts d'investis- sement par m ² /ml/unité (DA)	Durée du cycle de vie (Année)
Bande de calfeutrage	Bande de feutre	9,11	-	Réduit l'infiltration d'air	20-30	10
Isolation de la façade	Panneau de laine de verre-3cm-Externe	106,78	0,770	Réduit les ponts thermiques	7.408,48	>25
Isolation des cloisons	Interne- panneau de cellulose semi-rigid	27,36	0,745		3.642,97	25
Isolation du toit	Inversé-EPS	89,85	0,593	Réduit les ponts thermiques		>25
Changement des vitres	3/6/3		3,159		1.378,19	25
Fenêtre taillex1.5	3/6/3 PVC	17,79	3,159	Réduit l'infiltration d'air	819,7196	25
Veranda vitrée	3/6/3 PVC	3,2	3,159		2.803,49	25
Protection solaire	Store	1,5 de ligne 0,8 de sortie	-	-	28.482,45	

h) Données climatiques

Les données climatiques horaires de Tlemcen basé sur une année thermique de référence généré par le logiciel Meteonorm version 5.1 sont appliquées aux paramètres du bâtiment au long de toute l'année et dans certains cas des jours typiques de Juillet et de Janvier. Dans le cas passif, l'appartement est considéré comme un multizone, tandis que dans le cas actif, les zones sont fusionnées dans une mono zone car il y a une seule source de chaleur.

5-5) Conclusion :

Ce chapitre a traité l'évaluation de la performance énergétique et environnementale (PEE) du type de logement, le moins efficient dans l'étude précédente, dans différentes désignations. En premier lieu, une méthodologie multicritère appropriée a été développée en déterminant son identité thermique et en utilisant une méthode statique suivant la réglementation thermique algérienne (DTR et outil d'évaluation multicritère algérien) à travers l'établissement d'une stratégie multi-objectif d'optimisation de la PEE en agissant sur les éléments de l'enveloppe du logement. Cette stratégie a été basée sur une approche environnementale et économique concernant le choix des matériaux locaux, recyclables et issus de recyclage et en plaçant ceux les plus écologiques à l'intérieur du logement et les moins écologiques à l'extérieur

Les résultats de la première étude -dite statique- ont confirmé partiellement la première hypothèse de la nécessité de la réhabilitation thermique des logements car dès l'addition du premier centimètre d'isolation, le logement dans différentes désignations est devenu conforme à la réglementation algérienne. Mais, ils ont réfuté la deuxième hypothèse liée à la réglementation thermique algérienne actuelle comme outil d'aide à une conception énergétiquement efficace. Son ambiguïté et l'absence de certains paramètres et indicateurs ne permettent pas un usage facile et pratique par les concepteurs. Et en comparant la réglementation algérienne avec celles des pays voisins (Tunisie, Maroc, etc.), nous avons remarqué qu'elle a besoin d'être actualisée et d'être plus approfondie, pour fournir aux concepteurs les besoins de chauffage et les limites minimales de consommation exigées pour chaque zone climatique et pourquoi pas un label énergétique plus strictes et plus clairs pour la mise à niveau au moins à l'échelle régionale.

Le système a estimé un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire. Et l'estimation de notre cas d'étude avant réhabilitation est égale à 22 et à 38 après réhabilitation. Ce qui veut dire que le logement est devenu efficace en énergie et que la stratégie de réduction des déperditions calorifiques est durable.

Ensuite, l'évaluation de la consommation d'énergie primaire, le potentiel d'économie d'énergie et celui de réduction des émissions CO₂ d'un état réel de la construction par simulation en utilisant le logiciel DesignBuilder, ainsi que le coût d'investissement et la durée du cycle de vie ont été fidèlement reportés. Par conséquent, cette étude a utilisé le potentiel de la méthode d'évaluation paramétrique pour investiguer l'impact des mesures d'efficacité énergétique (MÉE) passives relatives à l'enveloppe du bâtiment d'un point de vue économique, énergétique, environnemental et de confort thermique.

Les résultats de l'étude dynamique seront présentés et discutés dans le chapitre suivant. Ce qui permettra de vérifier, définitivement, les hypothèses de l'étude.

Chapitre 6:

Discussion des résultats

Après la simulation et la confirmation des données, le calcul des chargements de chauffage, de rafraîchissement et les émissions de CO₂ et les températures du logement et des différents volumes composant le logement ont été ensuite exécutés par le logiciel DesignBuilder, ainsi que la rationalité économique a été calculée pour donner les résultats suivants :

6-1) Analyse des résultats de l'étude de simulation

6-1-1) Résultats du cas actif: Efficacité énergétique et impact environnemental

Le besoin annuel de chauffage et de rafraîchissement ainsi que les émissions du CO₂ du cas de base –le logement existant non isolé dans l'étage intermédiaire faisant coin avec un simple vitrage- est montré dans la Figure 98 pour les trois différents minima taux de ventilation. La performance énergétique du cas actuel non-étanche est classé dans les 'class 7' du label tunisien, et dans le 'niveau D' du label BBC, lesquels ont de mauvaises performances énergétiques.

a. Effet de la réduction de ventilation

Le potentiel d'économie d'énergie de chauffage et de rafraîchissement par la réduction de ventilation est perceptible. L'appartement le plus étanche a un usage d'énergie d'environ 62% de celui non étanche et atteint la 'classe 5' -la limite minimale de la RTETBN 2008-. La réduction des émissions du CO₂ est autour de 22% dans l'appartement étanche par rapport à celui non étanche, améliorant la classification environnementale du 'niveau F' vers le 'niveau E'.

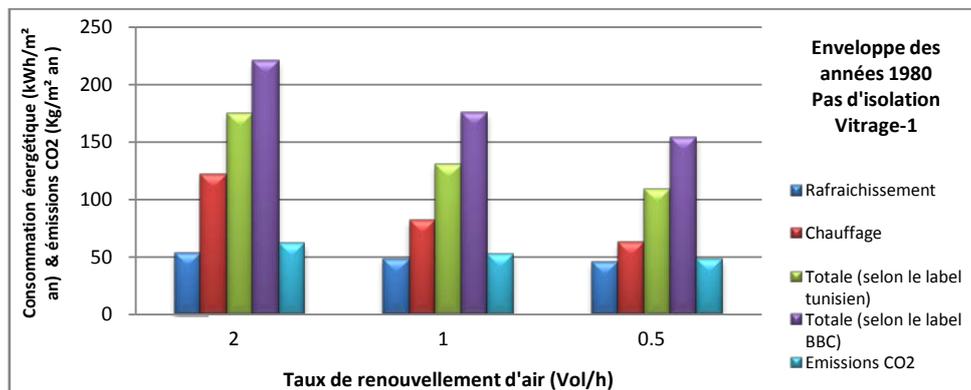


Figure 98. Besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que émissions CO₂ par mètre carré pour un logement non isolé (le coin de l'étage intermédiaire du bâtiment) avec simple vitrage. Ce cas représente le cas de base du bâtiment existant (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

b. Effet de l'isolation

Placer une couche d'isolation sur l'enveloppe du logement étudié, (voir Figure 99) peut économiser environ 41% d'énergie de chauffage et de rafraîchissement dans l'appartement non-étanche, autour de 64% dans le médium et 57% dans le plus étanche. Améliorant la classification vers la 'classe 1' du label tunisien et vers le 'niveau C' du label BBC, économisant environ 32% d'énergie dans le logement non-étanche, 38% dans le médium et 41% dans le plus étanche. Ainsi que, la classification dans le 'niveau D' de l'étiquette environnement dans le logement étanche qui peut économiser 43% des émissions CO₂ par rapport au cas de référence non étanche.

L'effet de l'isolation est, de cette façon, très important si la ventilation est maintenue basse. En combinant ventilation réduite et isolation modérée peut atteindre jusqu'à 73% d'économie d'énergie de chauffage et de rafraîchissement.

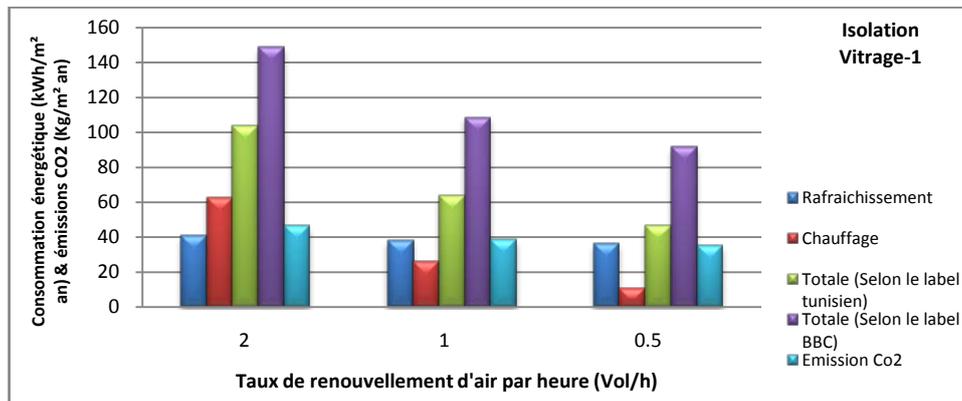


Figure 99. Besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions par mètre carré d'un logement intermédiaire faisant coin avec vitrage simple (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

c. Effet du double vitrage

L'effet du double vitrage, en comparaison avec le vitrage simple, pour un cas isolé est de 42% d'économie d'énergie dans le logement non-étanche et environ 59% dans le plus étanche. La combinaison des deux paramètres précédents avec le double vitrage peut économiser plus de 74% d'énergie de chauffage et de rafraîchissement et plus de 59% du totale d'énergie (éclairage et ESC inclus) (voir Figure 100).

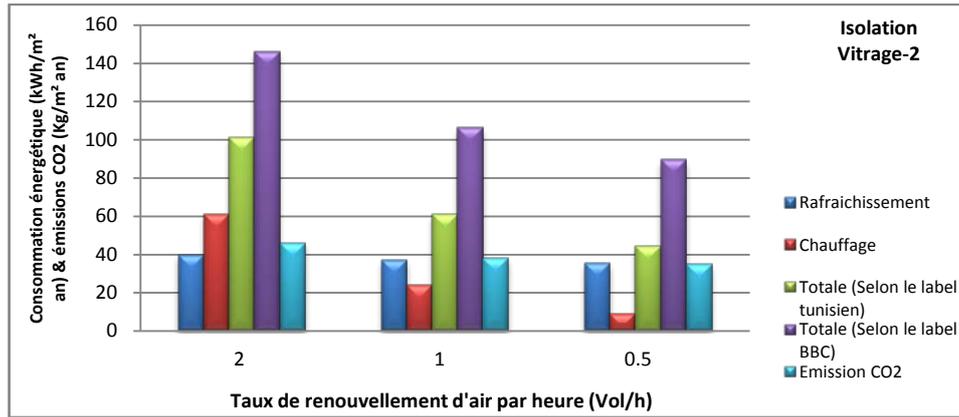


Figure 100. Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émission CO₂ par mètre carré pour un logement intermédiaire faisant coin, isolé avec double vitrage (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

Pour le logement non isolé, l'économie correspondante est seulement 2%. Mais c'est environ 39% dans le logement le plus étanche en comparaison avec le cas de référence non-étanche, atteignant les limites minimales de la RTETBN 2008. Et le 'niveau C' du label BBC économisant plus de 31% d'énergie dans le logement étanche par rapport au cas de référence non-étanche. La combinaison du double vitrage avec la ventilation réduite a ainsi un effet réduit sur label environnement, en réduisant autour de 23% des émissions CO₂ en comparaison avec le cas de référence non-étanche, mais en restant toujours dans le 'niveau E' (voir Figure 101).

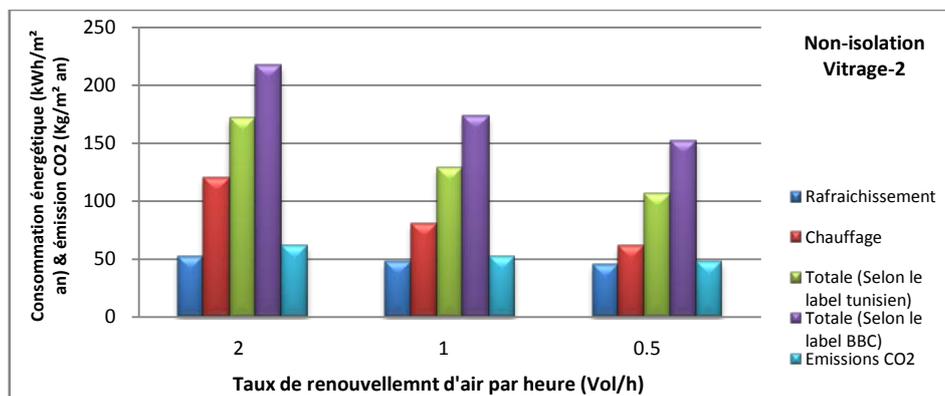


Figure 101. Besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré pour un logement intermédiaire faisant coin, non isolé avec double vitrage (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

d. Effet de l'orientation

Les façades du cas actuel sont orientées Sud-est et Sud-ouest, chose qui peut donner un bénéfice absolu de l'énergie solaire en hiver mais qui peut aussi causer une réelle surchauffe en été.

Il a été trouvé, qu'en orientant les façades vers le nord-est et le nord-ouest, ça conduira à un usage supplémentaire de 23% d'énergie pour le chauffage dans le cas non-étanche, de 30% dans le moyen et de 35% dans le logement étanche; et à une économie de 11% d'énergie pour le rafraichissement dans les cas moyens et étanches.

En orientant les façades vers le Nord-est et le Sud-est, les résultats montrent un usage supplémentaire de 13% d'énergie pour le chauffage dans le cas non-étanche, de 17% dans le moyen et de 20% dans l'étanche ; et ça a une économie entre 12-13 % d'énergie pour le rafraichissement dans les trois cas.

En orientant les façades vers le Nord-ouest et le Sud-ouest, les résultats montrent un usage de 10% plus d'énergie pour le chauffage dans le logement non-étanche, de 13% dans le moyen et de 16% dans celui étanche. Ce qui enregistre une économie près de 16 à 17% d'énergie pour le rafraichissement dans les trois cas (voir Figure 102). Donc, nous pouvons conclure qu'orienter le bâtiment vers le nord et l'est ou l'ouest n'est pas efficient et que le cas original orienté vers le sud est la meilleure orientation en matière d'efficacité d'énergie.

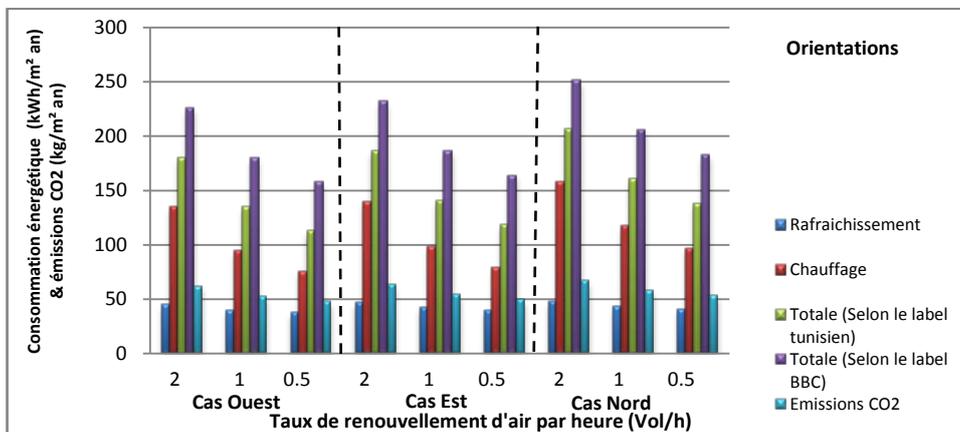


Figure 102. Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré du scenario de base (non-isolé avec simple vitrage dans l'étage intermédiaire) placé dans les trois autre orientations (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

Tous les cas ci-dessus ont montré les trois cas de taux de ventilation : élevé, moyen et bas. A partir de ces cas, on peut conclure que la réduction de la ventilation à 1/2-1/4 économise généralement jusqu'à 38-75% d'énergie de chauffage et de rafraichissement.

e. Effet de l'inertie d'une autre enveloppe existante

Si on compare l'enveloppe du logement étudié –construit en utilisant la préfabrication lourde- avec une autre enveloppe utilisant une structure porteuse, nous notons que l'influence positive de l'inertie des matériaux utilisés dans cette dernière (utilisant la brique creuse en double parois de 10cm et 15cm séparé par une lame d'aire de 5cm dans le murs extérieur, ayant une valeur-U=1,344W/m²K; et la brique creuse de 15cm dans le mur séparant le logement des espaces non chauffés, ayant une valeur-U = 2,381 W/m²K ; et 16cm de corps creux et 4cm de béton armé dans les toit et les plafonds, ayant une valeur-U=0,439 W/m²K) est évidente. Ce qui économise plus de 34% de l'énergie de chauffage et de rafraîchissement dans le logement médium et 50% dans l'étanche en comparaison avec celui non-étanche ayant la même enveloppe. Tandis que, cela économise plus que 25% d'énergie de chauffage et de rafraîchissement dans le médium et 37% et dans l'étanche en comparaison avec le non-étanche ayant la même enveloppe. Mais, en le comparant avec l'enveloppe du cas de référence, l'économie d'énergie de chauffage et de rafraîchissement est autour de 31% dans le logement non-étanche, 39% dans le médium et environ 45% dans l'étanche. Comme, il économise environ 55-66% en comparaison avec le cas de référence non-étanche. Tandis que, le niveau des émissions CO₂ dans les trois taux de ventilation minimaux est toujours dans le 'niveau E', mais il économise environ 22-23% des émissions CO₂ dans les logements médium et l'étanche en comparaison avec celui non-étanche et entre 20-40% comparé avec le cas de référence non-étanche (voir Figure 103).

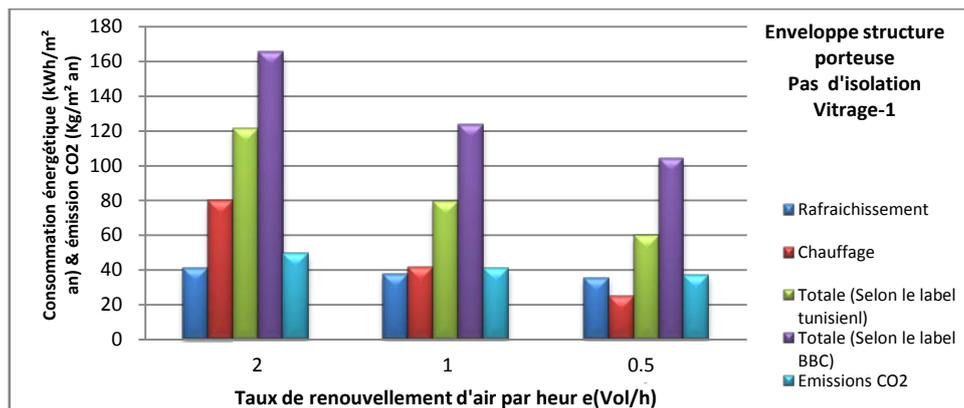


Figure 103. Besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré pour un logement non-isolé des années 1990-2000 (faisant coin de l'étage intermédiaire), avec simple vitrage (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

f. Effet de l'emplacement du logement

En plaçant le logement de référence dans le coin du dernier étage, nous notons que le logement non-étanche a un très mauvais niveau de performance énergétique : la 'classe 8' du label tunisien et le 'niveau E' du label BBC. Le logement non-isolé étanche dans le coin supérieur a un usage supplémentaire d'énergie de chauffage et rafraîchissement d'environ 10% plus que celui de référence étanche dans le coin de l'étage intermédiaire, enregistrant principalement un supplément d'énergie de chauffage de 15% par rapport au cas correspondant dans l'étage intermédiaire (voir Figure 104). Tandis qu'un logement isolé dans le coin du dernier étage avec double vitrage consomme pour le chauffage et le rafraîchissement environ 55kWh/m² an, ayant un besoin d'énergie supplémentaire de 19% plus que le logement correspondant dans l'étage intermédiaire. Donc, les logements des derniers étages ainsi que ceux du coin nécessitent une isolation supplémentaire à cause des pertes calorifique du toit.

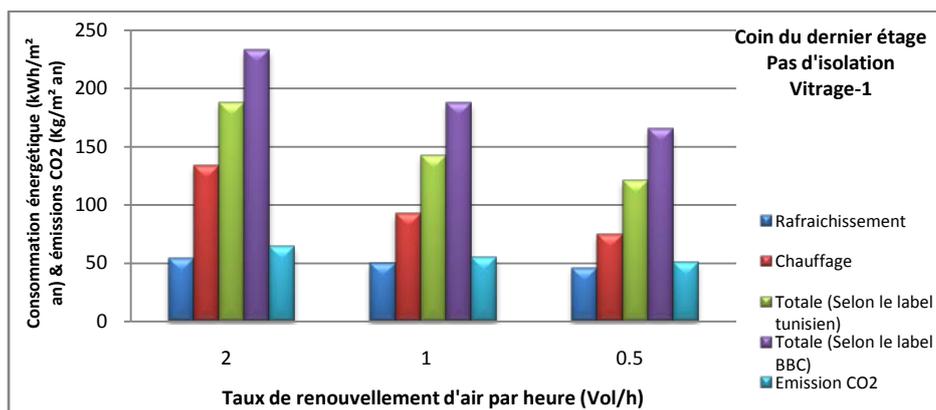


Figure 104. Besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré pour un logement non-isolé du coin du dernier étage avec simple vitrage (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

g. Effet d'agrandissement de la taille des fenêtres orientées sud

Un autre moyen pour plus de réduction du besoin de chauffage est l'augmentation des gains solaires. La taille des fenêtres dans les façades sud d'un appartement isolé avec double vitrage est agrandie à une fois et demie. Seulement l'appartement à basse ventilation est calculé. Son besoin de chauffage est considérablement réduit par rapport au cas de référence, économisant 90% d'énergie de chauffage soit 10 fois de celle de cas de référence étanche et plus de 2 fois moins que les besoins *Passivhaus*. Mais, cela économise seulement 14% d'énergie de rafraîchissement par rapport au cas de référence étanche et enregistrant plus de 74% par rapport au cas de référence non-étanche et 58% par rapport à celui étanche. Et économisant

environ 59% par rapport au cas de référence non-étanche et 41% par rapport à celui étanche. En plus, ça économise 43% des émissions CO₂ par rapport au cas de référence non-étanche et 27% par rapport à celui étanche (voir Figure 105).

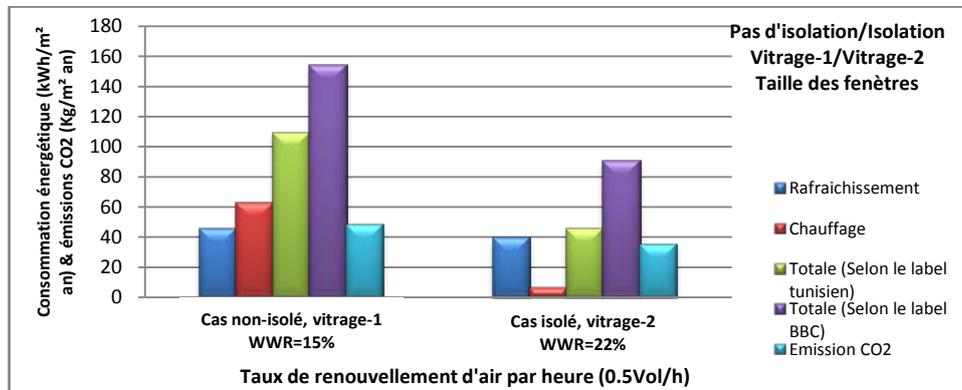


Figure 105. Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraîchissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré du scénario de base serré (non-isolé avec simple vitrage dans l'étage intermédiaire) avec un logement isolé avec double vitrage en agrandissant les fenêtres dans les façades sud à 1 & ½ (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

h. Effet de loggia vitrée

L'une des actions communes de réaménagement des logements en Algérie est l'emplacement des serres dans les balcons ou la fermeture des loggias de cuisines par un simple vitrage pour augmenter les surfaces des cuisines et pour se protéger des intempéries. Mais, est ce que c'est bénéfique pour le climat intérieur ? La Figure 106 démontre que l'économie d'énergie de chauffage est estimée à plus que 85% et celle de rafraîchissement est plus de 15% dans un appartement isolé avec double vitrage et loggia vitrée par rapport au cas de référence étanche. Ce même cas économise 86% de l'énergie de chauffage et environ 20% d'énergie de rafraîchissement en comparaison avec un logement non isolé avec simple vitrage et une loggia vitrée. Tandis que, ce dernier a un besoin supplémentaire de rafraîchissement jusqu'à 6% plus que le cas de référence étanche. Pour lutter contre le phénomène de surchauffe en été, deux dispositions, en addition de l'augmentation de la ventilation, peuvent être prises : les panneaux vitrés peuvent être repliés en totalité, de manière à recréer un simple balcon ; par ailleurs ces serres doivent être munies de dispositifs d'ombrage dimensionnés correctement les protégeant du rayonnement solaire incident en été. Donc, placer une serre dans la loggia d'une cuisine d'un logement non isolé en utilisant le simple vitrage n'est pas une solution efficace. Bien au contraire ça consomme plus d'énergie.

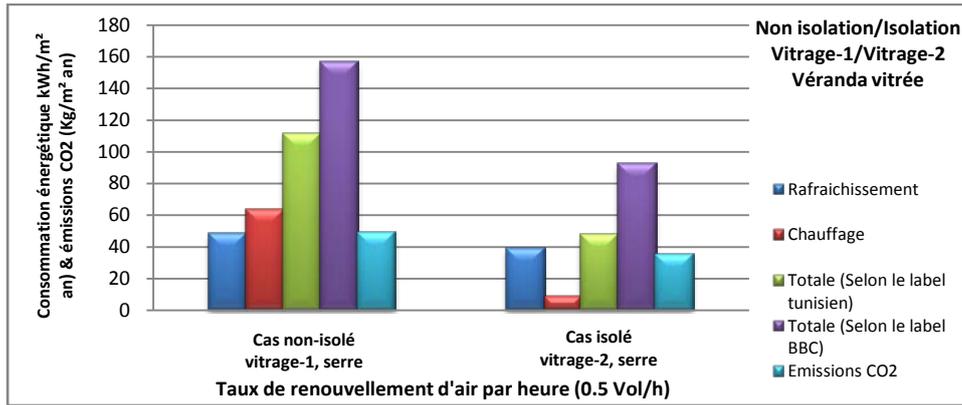


Figure 106. Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré entre le scénario de base étanche avec serre et un logement intermédiaire isolé avec double vitrage et loggia de la cuisine vitrée (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

i. Effet des dispositifs d'ombrage

Pour éviter la surchauffe en été, plusieurs tentatives de dispositifs d'ombrage, avec différentes dimensions, ont été simulé (auvents, casquettes et brises soleil verticaux ou la combinaison des deux derniers). Le cas le plus efficient est celui à qui des casquettes mobiles de 65cm sont ajoutées, en plus de l'ombrage résultant de l'épaisseur du mur et de la fenêtre dans le logement isolé du coin intermédiaire avec double vitrage et serre. En supposant que la ventilation est maintenue au minimum, les apports de rafraichissement diminuent pour atteindre plus de 36kWh/m² an. Tandis que les apports de chauffage atteint moins de 10kWh/m² an au lieu de plus de 63kWh/m² an pour chauffer un appartement non-isolé étanche dans le coin de l'étage intermédiaire avec simple vitrage. L'économie totale d'énergie est estimée à 57% par rapport au cas de base étanche et à plus de 73% par rapport à celui non-étanche. Tandis que, cela économise 27% des émissions CO₂ par rapport au cas de référence étanche et environ 39% par rapport à celui non-étanche (voir Figure 107).

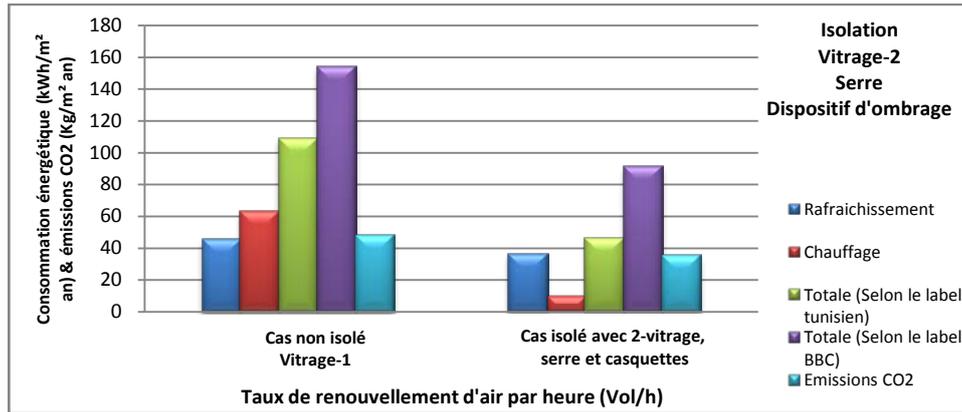


Figure 107. Comparaison des besoins annuels de chauffage, de rafraichissement et les totaux ainsi que les émissions CO₂ par mètre carré entre le scénario de base étanche et le logement intermédiaire isolé, avec double vitrage et dispositifs d’ombrage combinés à une loggia vitrée (Source: Généré par l’auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l’aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

6-1-2) Résultats de l’analyse de l’impact économique

Après avoir analysé soigneusement les critères d’efficacité énergétique et d’impact environnemental, nous avons établi une étude d’impact économique suivant la méthode expliquée dans l’étude (Missoum *et al.*, 2014) et les coûts initiaux des MEE ont été calculés sur la base des devis des sociétés professionnelles locales (à savoir : KNAUF Plâtre d’Oran, Grupo Puma de Sidi Bel Abbes, NAWAFID d’Oran, Polystyrène des Oasis de Boumerdes) . Il a été trouvé que seule les actions liés au : changement des vitres, l’emplacement d’une fenêtre avec double vitrage dans la loggia et les dispositifs d’ombrage sont rentables, enregistrant des temps de retour de 7, 15 et 22 ans respectivement. Ainsi que le calfeutrage des fenêtres et des portes qui est une mesure très peu coûteuse. Tandis que, les coûts d’investissement de : l’isolation et le changement des fenêtres sont très élevés. Les arguments-clés sont les prix actuels des matériaux d’isolation sur le marché algérien (voir le Tableau 30) ainsi que le prix de l’énergie ! D’après une analyse de Pr. Chitour, c’est le moins cher d’Afrique même les pays moins développés paient le prix réel. Car c’est subventionné par l’état algérien. Il est fixé sur la base de critères socio-économiques (avec un niveau de revenu d’environ 7000€ménage. Les subventions sont indirectes par le biais d’une réduction appliquée sur les bénéfices des sociétés étatiques de production (SONELGAZ). Les prix en Algérie sont bloqués depuis la Décision D/06-05/CD du 30 mai 2005 avec 0.278DZD/kWh=0.0024€kWh pour le gaz naturel et 4.179DZD/kWh=0.0356€kWh pour l’électricité.

6-1-3) Résultats et analyses du cas passif : Confort thermique

a. Avant réhabilitation

Les résultats passifs du cas actuel dans la figure 108, quand il n’y a pas d’usage d’énergie pour le chauffage et le rafraîchissement, montre que la température de l’ambiance intérieure en hiver varie entre 10,94°C et 13,33°C. Cette température est inférieure à la zone de confort qui varie entre 21°C et 25°C (considérée dans le DTR C. 3-2). Par conséquent, le confort n’est pas assuré. Ainsi en été, le confort thermique n’est pas aussi assuré, car la température de l’ambiance intérieure varie entre 28,03°C et 33,01°C.

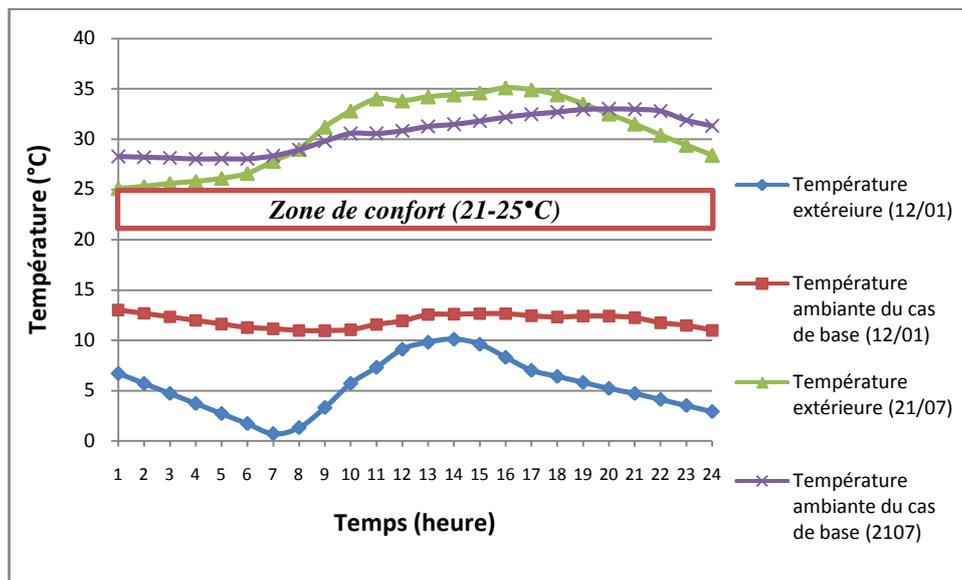


Figure 108. Température ambiante du cas de base avant réhabilitation thermique en hiver (12/01) et en été (21/07) (Source: Généré par l’auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l’aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

b. Après réhabilitation :

Après avoir amélioré les éléments constituant l’enveloppe de l’appartement, déjà expliqués dans le tableau 30, les résultats montrent que les déperditions après réhabilitation sont moindres que celles du cas actuel, et la température s’est améliorée en hiver comme en été.

- Effet de la réduction de ventilation

En hiver, on note une amélioration de la température opérative à l’intérieur du logement, illustrée par la figure 109. Cette amélioration varie en moyenne de 1.49°C entre le cas de base non étanche et le cas le plus étanche. Cependant, la zone de confort n’est pas atteinte sur toute la journée où la température opérative ne dépasse pas dans tous les cas 15°C. En été, aucune

amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement n'a été notée dans la figure 110.

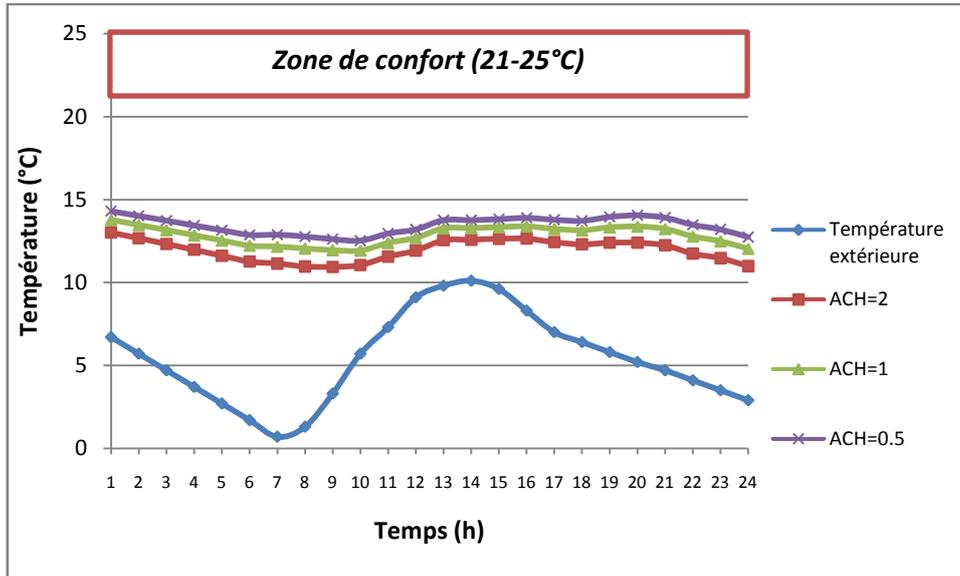


Figure 109. Température ambiante avant et après optimisation par la réduction du taux de renouvellement d'air en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

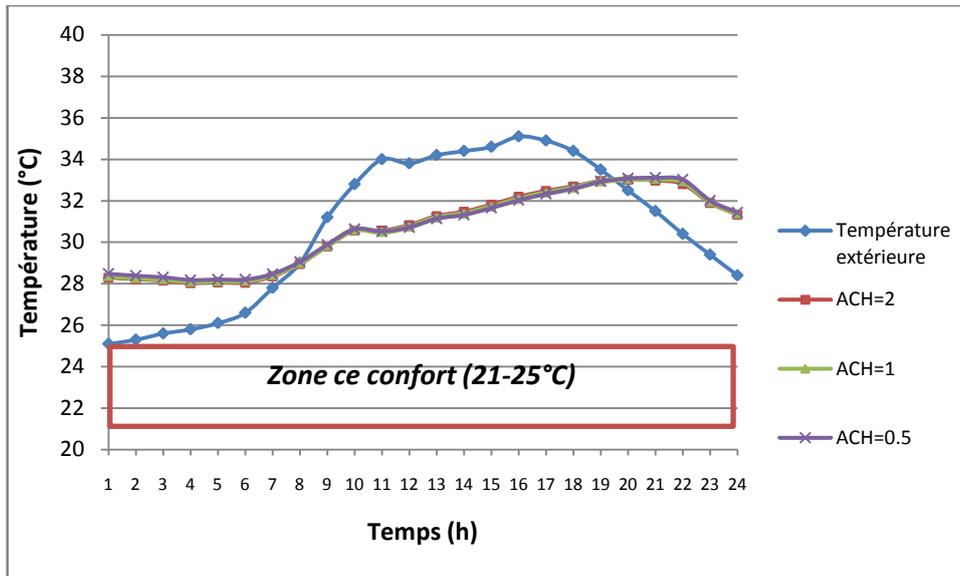


Figure 110. Température ambiante avant et après optimisation par la réduction du taux de renouvellement d'air en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- Effet de l'isolation

La figure 111 montre les gains de chaleur, en hiver, dus à l'isolation. On note une amélioration remarquable de la température opérative à l'intérieur du logement. Cette amélioration varie en moyenne de 5.82°C entre le cas de base non étanche et le cas isolé le plus étanche. En été, on note, dans la figure 112, une surchauffe sensible de la température

opérative à l'intérieur du logement varie en moyenne de 0.21°C, durant la matinée, et une amélioration de 1.21°C durant l'après midi et la nuit due à l'inertie des murs.

L'isolation des murs a donc un effet positif en hiver. Cependant, le recours à une source active d'énergie pour le chauffage et la climatisation est nécessaire pour garantir un meilleur confort à l'intérieur du bâtiment.

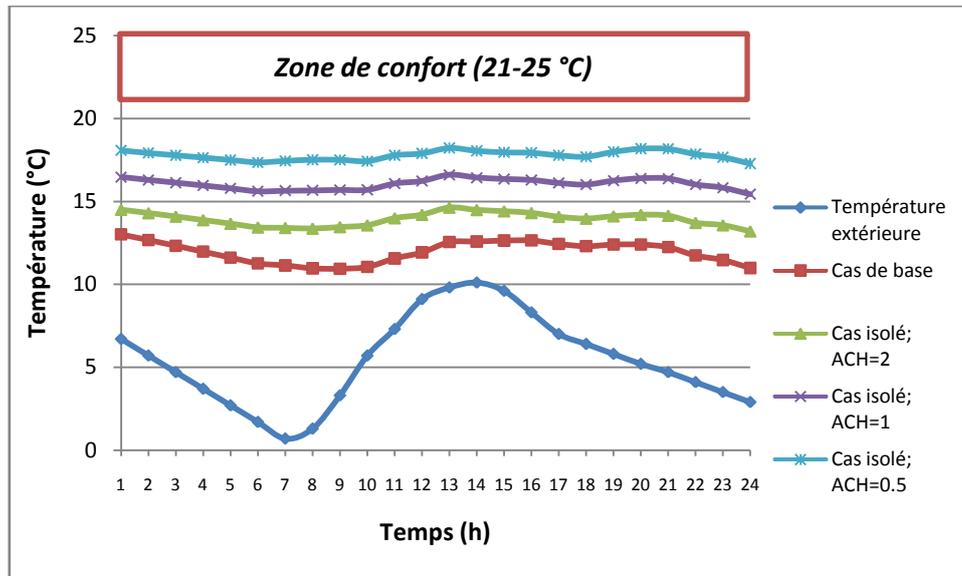


Figure 111. Température ambiante avant et après optimisation par l'isolation en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

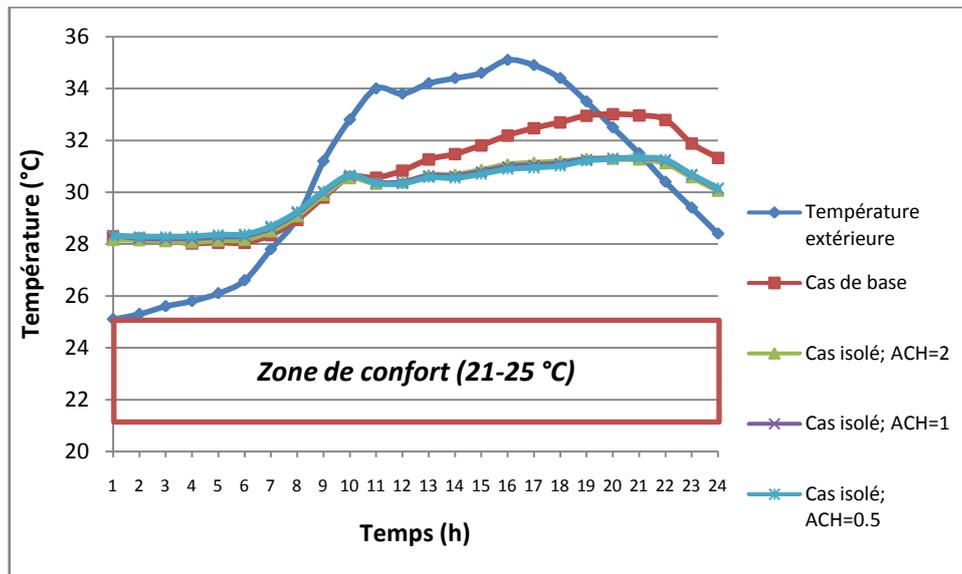


Figure 112. Température ambiante avant et après optimisation par l'isolation en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Effet du double vitrage**

Dans la figure 113, une amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement varie en moyenne de 1.47°C, en hiver, après le remplacement du simple vitrage par le double vitrage. En été, une amélioration sensible de la température opérative à l'intérieur du logement, illustrée par la figure 114, qui varie en moyenne de 0.21°C pendant la journée mais qui reste toujours loin de la zone de confort.

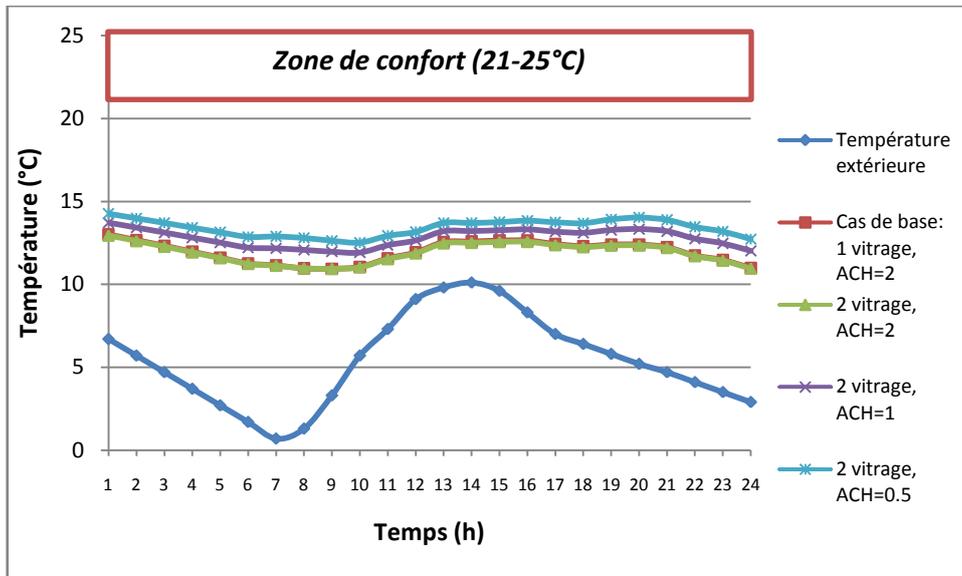


Figure 113. Température ambiante avant et après optimisation par le remplacement du simple vitrage par le double en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

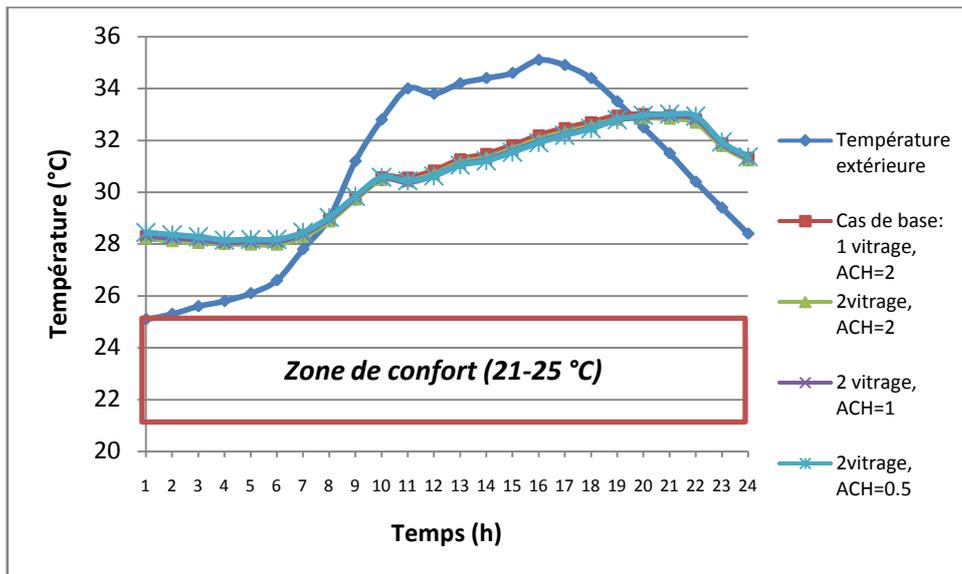


Figure 114. Température ambiante avant et après optimisation par le remplacement du simple vitrage par le double en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

L'effet de la combinaison de l'isolation et le double vitrage, dans la figure 115, est considérable enregistrant une amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement d'environ 6°C en hiver. En été, on note une amélioration de 1.35°C, dans la figure 116, pendant l'après midi et la nuit.

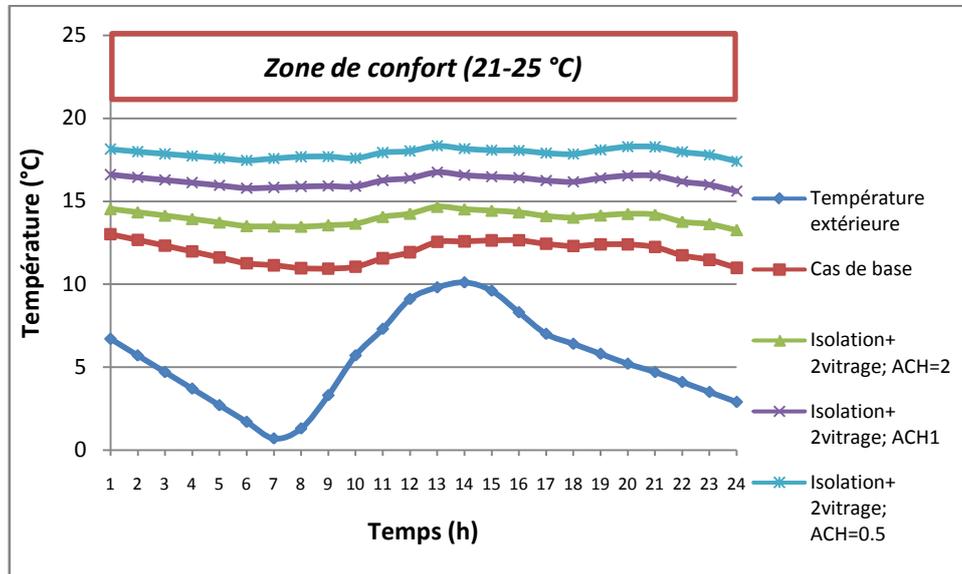


Figure 115. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation et le double vitrage en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

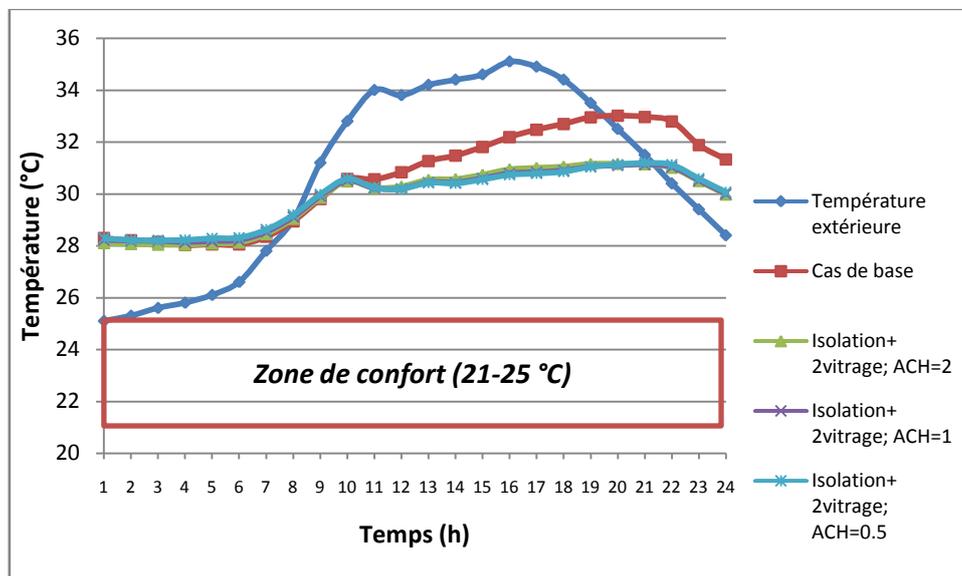


Figure 116. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation et le double vitrage en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- Effet de l'orientation

En suivant la même méthodologie, on a étudié le comportement passif du bâtiment sous différentes orientations, les figures 117 et 118 donne les résultats obtenus pour les cas d'hiver et d'été. En hiver, le climat intérieur du logement orienté Sud qui représente le cas de base, en raison des apports solaires, est meilleur que les autres orientations. Une amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement varie en moyenne de 0.48°C à 1.59°C entre le cas de base non étanche et les cas dans les autres orientations, sans atteindre pour autant la zone de confort pendant toute la journée. En été, on note une diminution de la température dans les autres orientations pendant la journée par rapport au cas de base.

Le recours à une source active d'énergie pour le chauffage et la climatisation est nécessaire pour garantir un meilleur confort à l'intérieur du bâtiment.

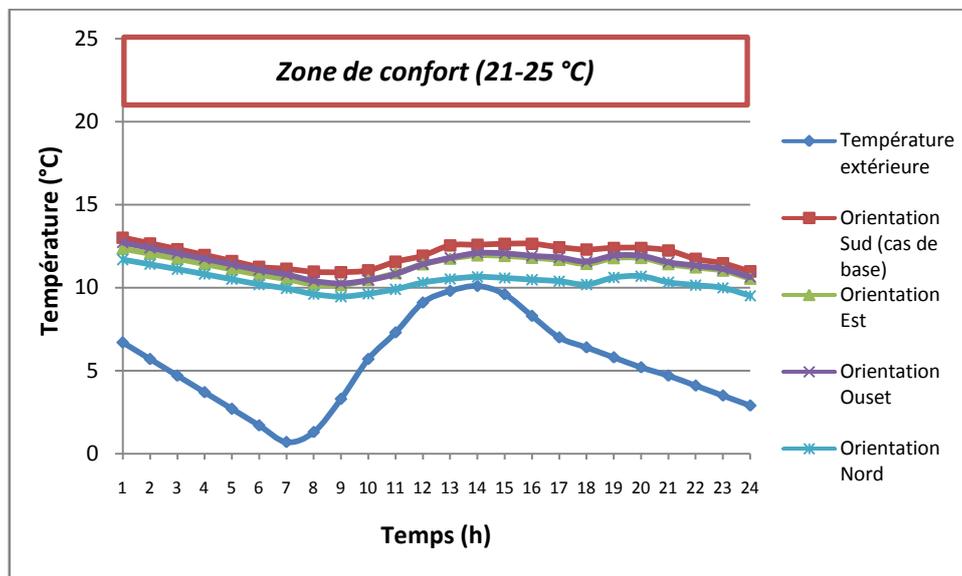


Figure 117. Comparaison entre des températures ambiantes des logements dans les différentes orientations en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

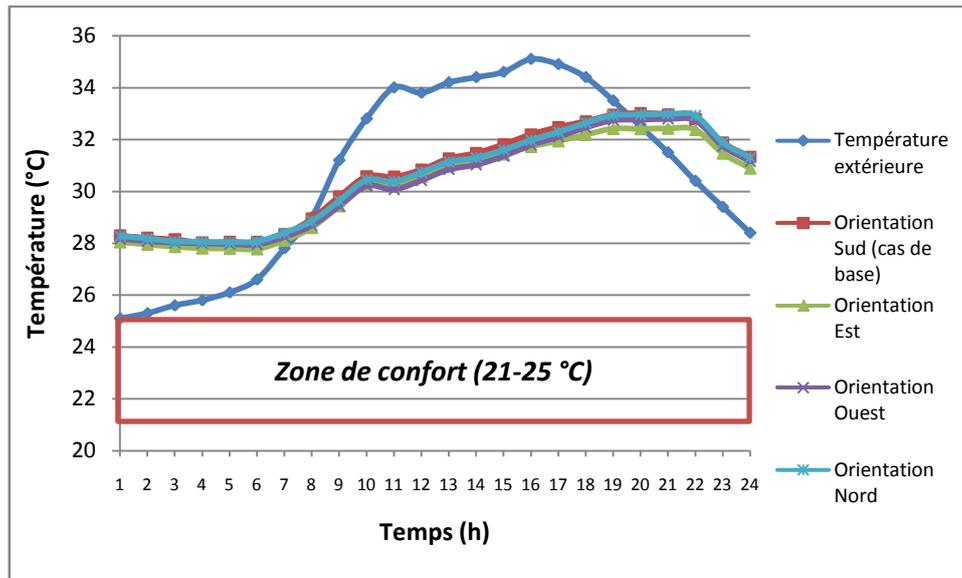


Figure 118. Comparaison entre des températures ambiantes des logements dans les différentes orientations en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Effet d’agrandissement de la taille des fenêtres orientées sud**

L’augmentation du pourcentage de la surface vitrée orientée vers le Sud combiné à l’isolation et le double vitrage, illustrée dans les figures 119 et 120, a pour effet d’augmenter la température opérative aussi bien en hiver qu’en été. En hiver, cette augmentation atteint en moyenne 6.43°C et permet de se rapprocher de la zone de confort pendant la journée et la nuit.

En été, on note une augmentation sensible d’environ 0.52°C. Cette augmentation, même sensible, a un effet négatif puis qu’elle crée un environnement non confortable pendant la journée. Par contre, une amélioration de la température est notée pendant l’après midi et la nuit d’une moyenne de 0.78°C.

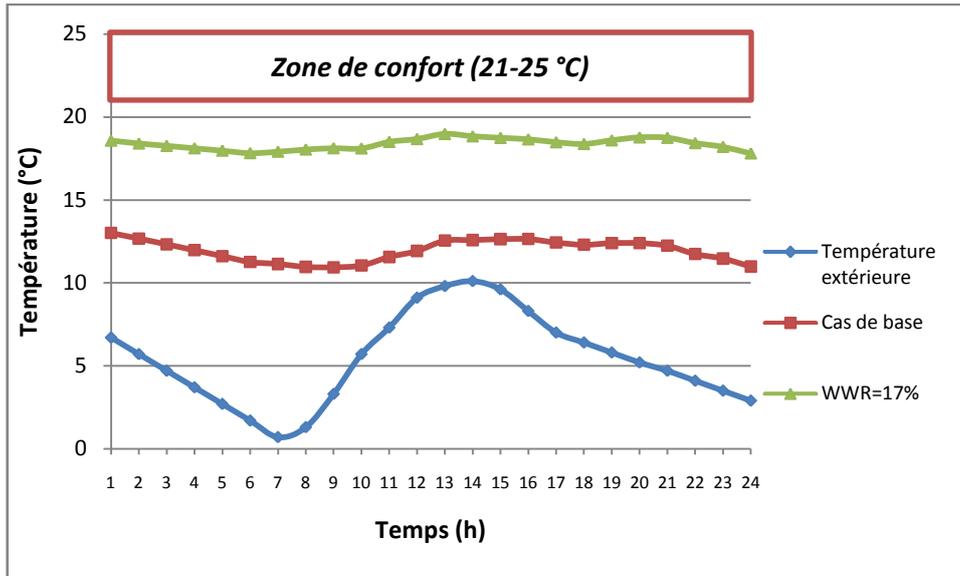


Figure 119. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l’isolation, le double vitrage et l’agrandissement des fenêtres orientées sud en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

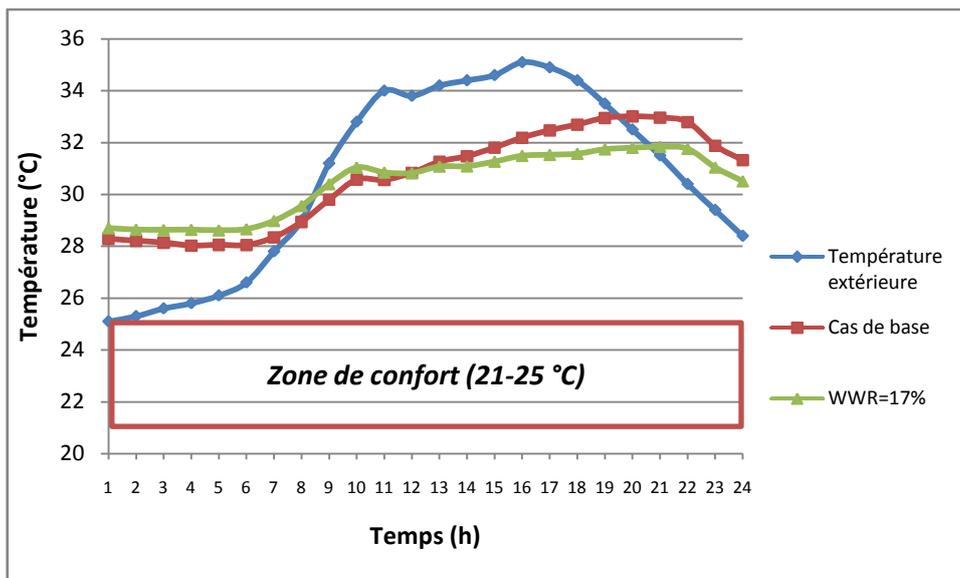


Figure 120. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l’isolation, le double vitrage et l’agrandissement des fenêtres orientées sud en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Effet des dispositifs d’ombrage**

Dans les figures 121 et 122, l’amélioration du climat intérieur se fait sentir en hiver mieux qu’en été. En hiver, la température moyenne augmente de 5.67°C entre le cas de base non étanche et le ca isolé muni d’un double vitrage et des dispositifs d’ombrage, sans atteindre

pour autant la zone de confort pendant toute la journée. En été, on note une diminution de la température en cours de l'après midi par rapport au cas de base alors qu'en matinée, on remarque une augmentation sensible de 0.83°C.

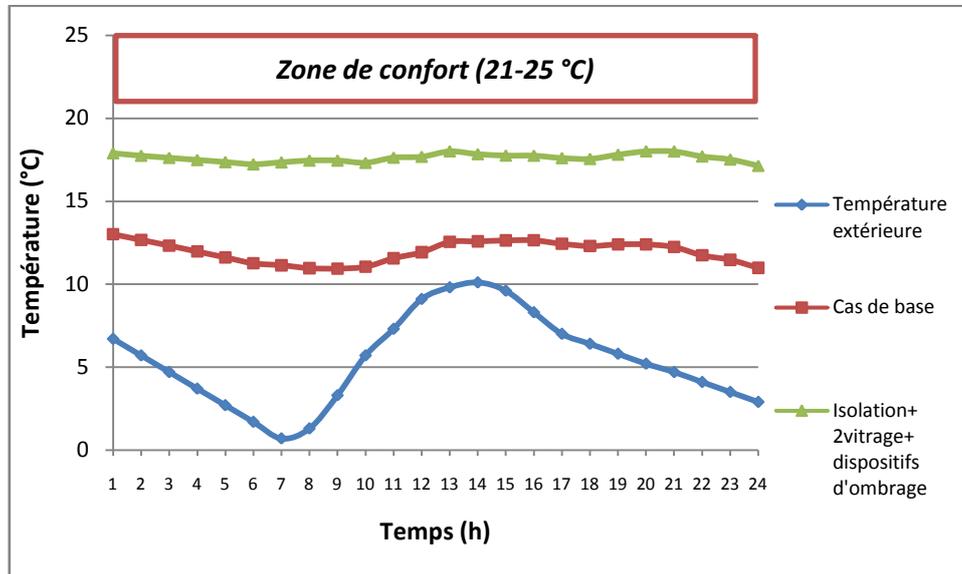


Figure 121. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et les dispositifs d'ombrage en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

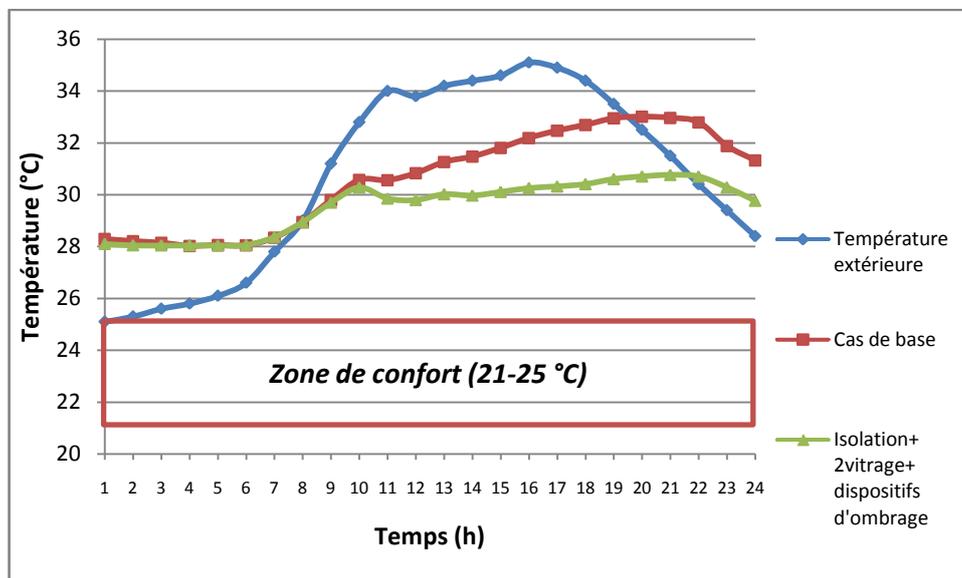


Figure 122. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage et les dispositifs d'ombrage en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

Tandis qu'en rajoutant le paramètre d'agrandissement des surface vitrées orientées vers le Sud, le confort est nettement amélioré en hiver comme en été, dans les figures 123 et 124. On note une augmentation de la température moyenne par rapport au cas de base de 6.34°C en hiver durant toute la journée et une diminution de la température de 1.02°C en été durant l'après midi.

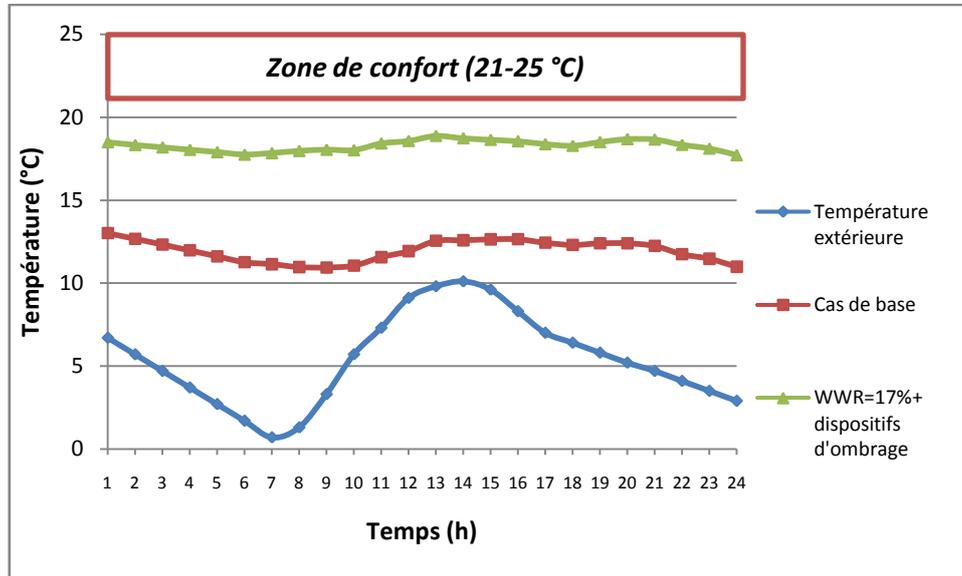


Figure 123. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage, l'agrandissement des fenêtres orientées sud et les dispositifs d'ombrage en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

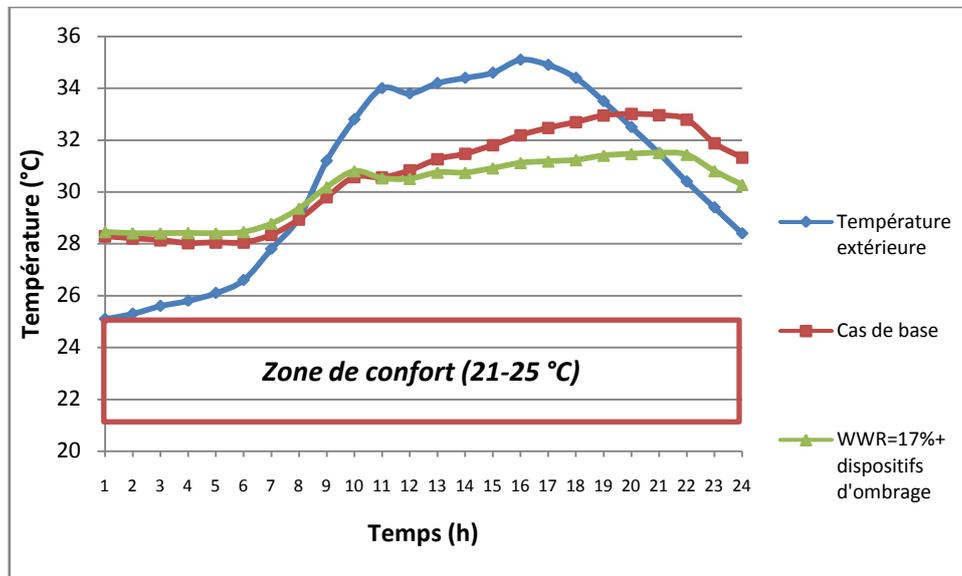


Figure 124. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison de l'isolation, le double vitrage, l'agrandissement des fenêtres orientées sud et les dispositifs d'ombrage en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Effet de loggia vitrée**

L'installation d'une vitre ou d'une serre en simple vitrage au niveau de la loggia reflète la réalité dans nos logements et présente un avantage en hiver et un inconvénient en été. On note une augmentation de la température moyenne par rapport au cas de base de 1.74°C en hiver durant toute la journée et une surchauffe en été durant l'après midi, présentées par les figures 125 et 126.

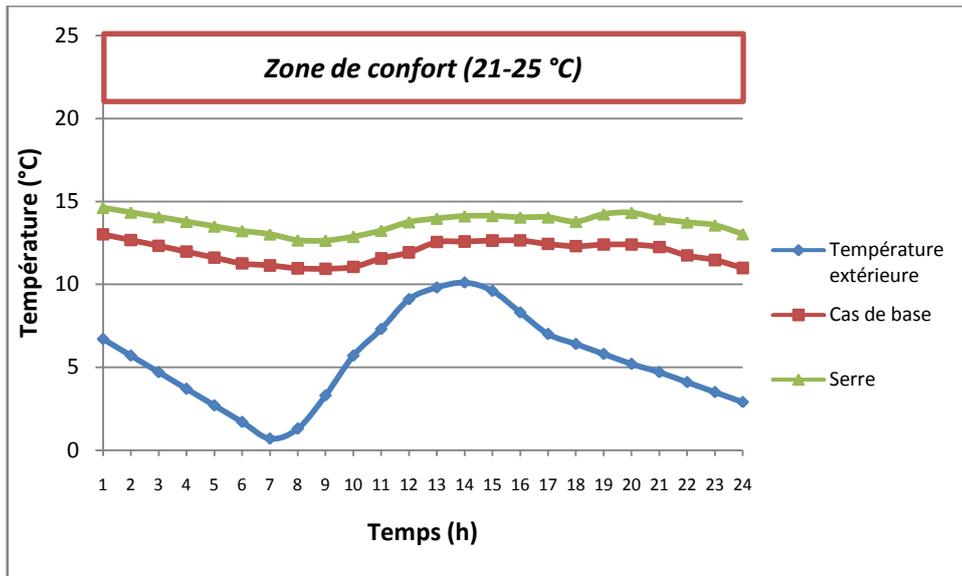


Figure 125. Température ambiante avant et après optimisation par l'installation d'une serre en simple vitrage en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

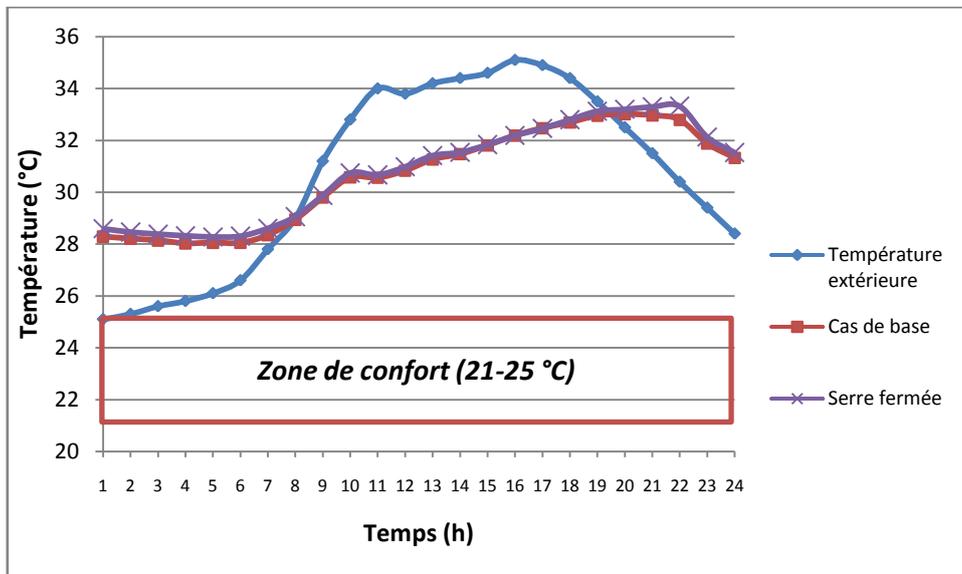


Figure 126. Température ambiante avant et après optimisation l'installation d'une serre en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- Combinaison des différents éléments optimisés

Les figures 127, 128, 129 et 130 présentent la variation de la température opérative entre le cas de base et le cas optimisé en hiver et en été. Les valeurs U des murs et toitures sont égales à $0.77 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ et $0.594 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ respectivement.

On note ici que le climat ambiant en hiver s'améliore considérablement, la différence entre le cas de base et le cas optimisé est d'environ 6.55°C , la température du logement dépasse les 18°C toute la journée et même la nuit si on considère que les besoins en chaleur diminuent en soirée. Par contre, on note que la température en période estivale augmente relativement d'environ 0.33°C pendant la matinée: ceci peut être expliqué par le fait que l'isolation thermique empêche le bâtiment de se refroidir passivement. Puis elle s'améliore de 1.02°C à partir de l'après midi.

Des gains de chaleur et de rafraîchissement très utiles, ce qui améliore le confort thermique et diminue la consommation d'énergie, mais qui ne sont pas suffisants pour atteindre la zone de confort thermique.

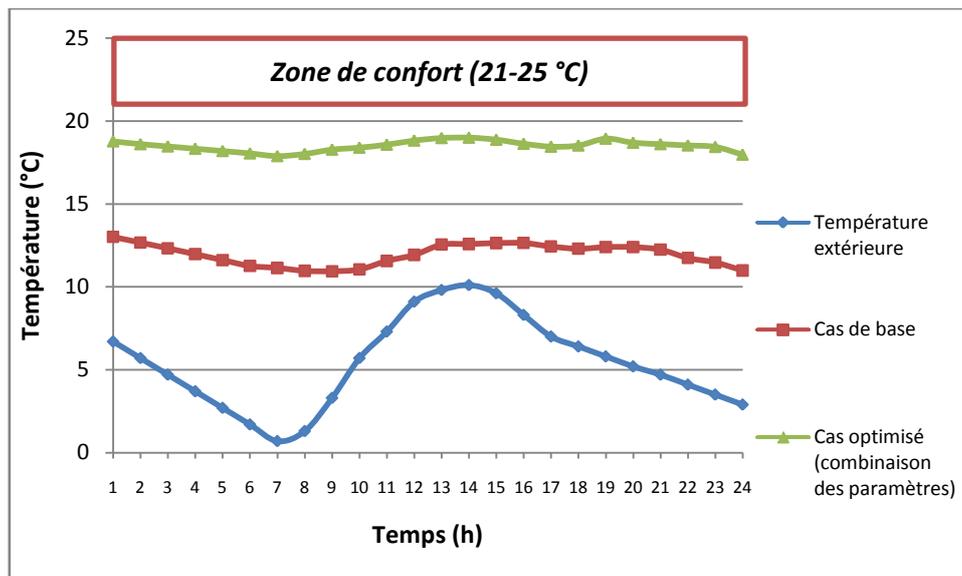


Figure 127. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison tous les paramètres en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

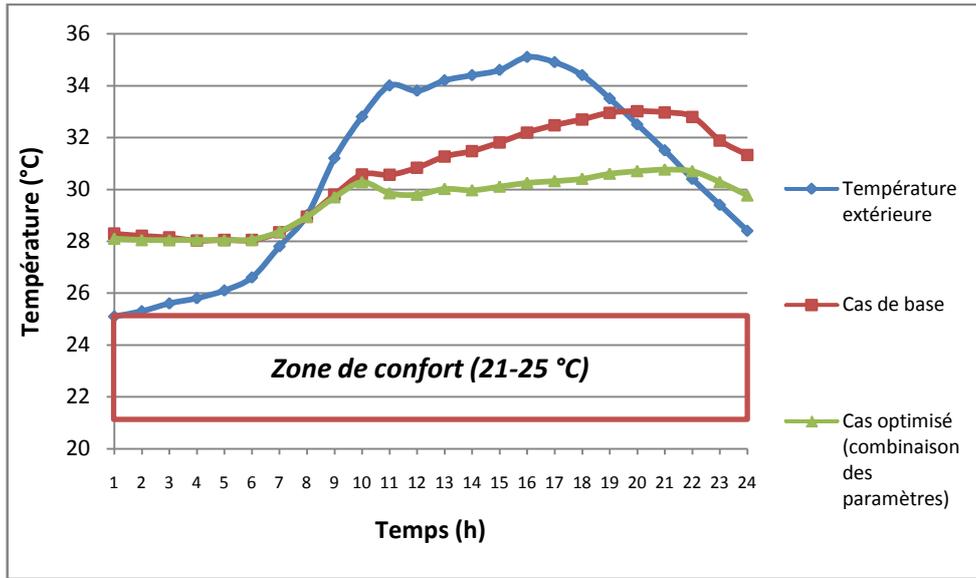


Figure 128. Température ambiante avant et après optimisation par la combinaison tous les paramètres en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

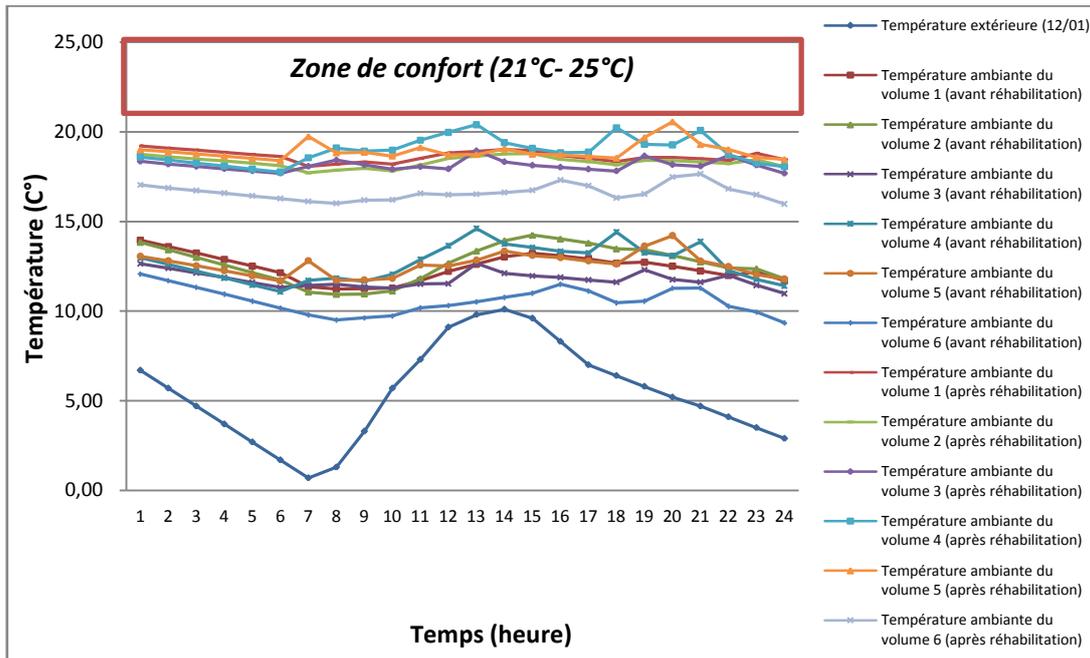


Figure 129. Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 12/01 (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

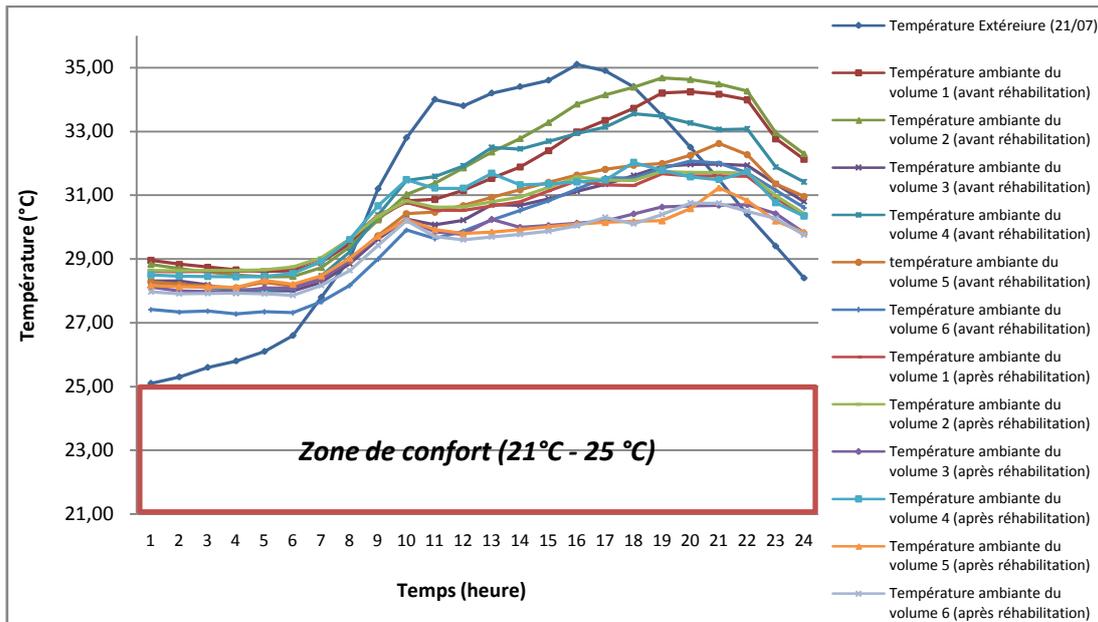


Figure 130. Température ambiante des volumes avant et après réhabilitation thermique le 21/07 (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Validation des résultats**

Les figures 131, 132, 133 montrent qu'il n'y a pas de concordance entre les résultats d'hiver: expérimentaux et ceux issus de la simulation. Cela est dû à l'usage de chauffage pendant la nuit. Tandis qu'ils montrent une bonne concordance entre les résultats d'été: expérimentaux et ceux issus de la simulation. Cela est argumenté par l'absence de système de rafraîchissement.

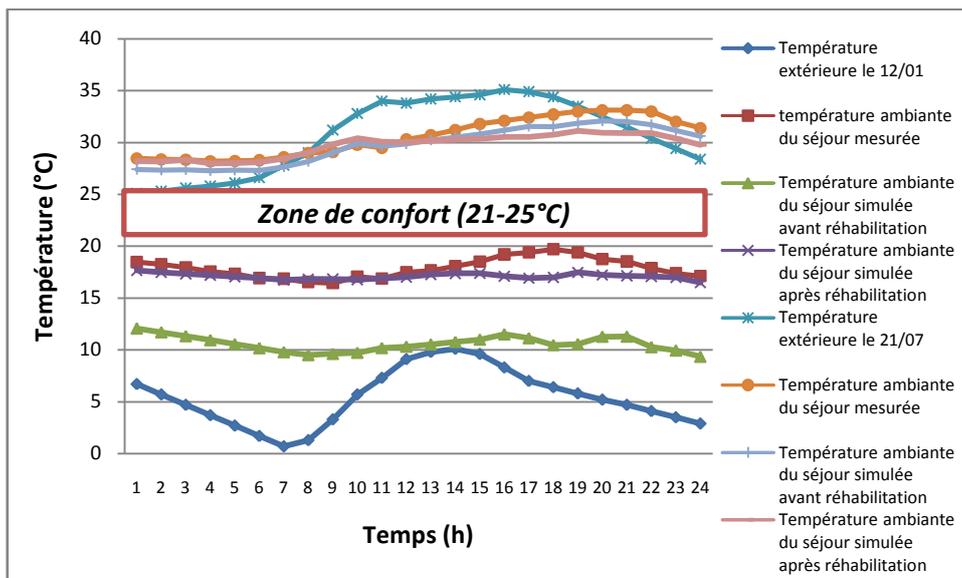


Figure 131. Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans le séjour le 12/01 et le 21/07 (Source: l'Auteur, 2018).

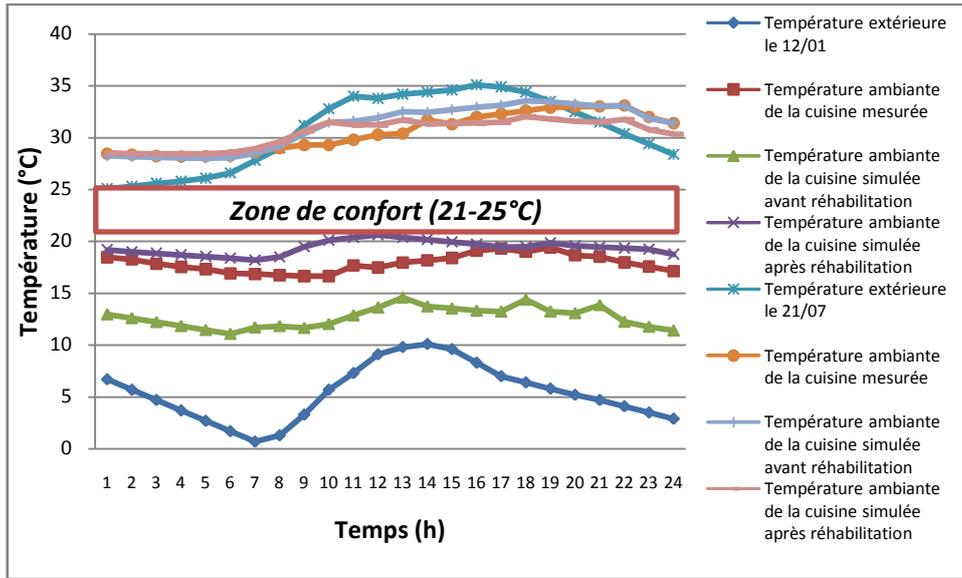


Figure 132. Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans la cuisine le 12/01 et le 21/07 (Source: l'Auteur, 2018).

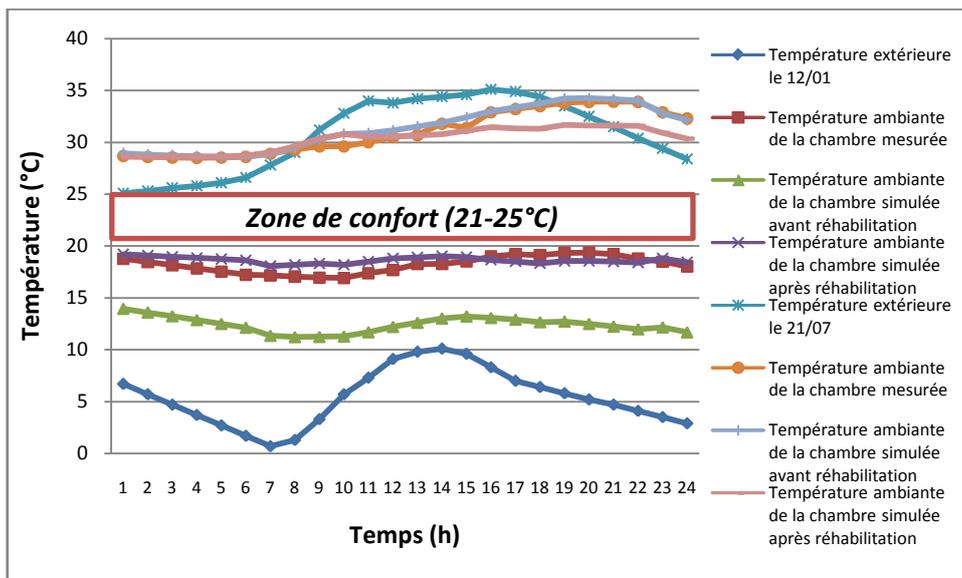


Figure 133. Comparaison entre les températures ambiantes mesurée et simulée dans la chambre le 12/01 et le 21/07 (Source: l'Auteur, 2018).

- Effet de l'inertie d'une autre enveloppe existante

En suivant la même méthodologie, on a étudié le comportement passif du bâtiment sous un autre type d'enveloppe des logements construits entre 1990-2016, les figures 134 et 135 donnent les résultats obtenus pour les cas d'hiver et d'été. En hiver, on note une amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement. Cette amélioration varie en moyenne de 1°C entre le cas de base non étanche et le cas de l'autre enveloppe non étanche. Et une amélioration qui varie en moyenne de 2.56°C entre le cas non étanche et le cas le plus étanche de la même enveloppe. Cependant, la zone de confort n'est pas atteinte sur toute la

journée où la température opérative ne dépasse pas dans tous les cas 16°C. En été, aucune amélioration de la température opérative à l'intérieur du logement n'a été notée.

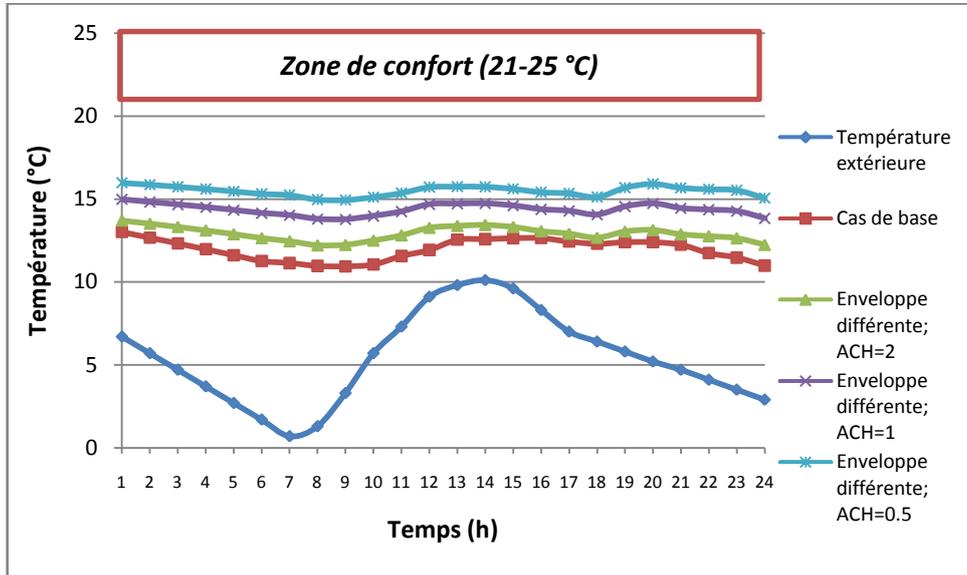


Figure 134. Comparaison de la température ambiante du cas de base avec celle d'un autre muni de l'enveloppe des logements construits entre 1990-2016 en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

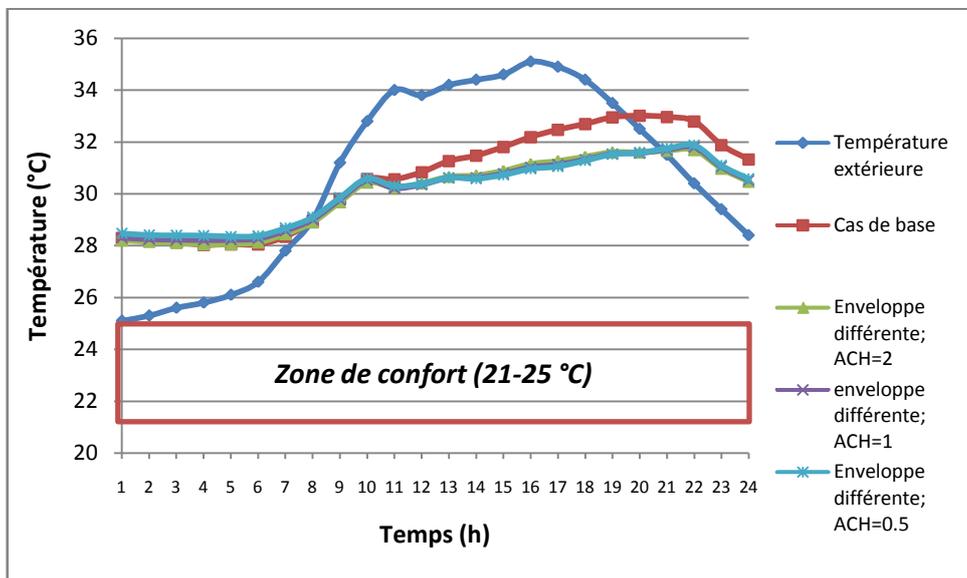


Figure 135. Comparaison de la température ambiante du cas de base avec celle d'un autre muni de l'enveloppe des logements construits entre 1990-2016 en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

- **Effet de l'emplacement du logement**

La désignation du logement a un effet sur son ambiance intérieure. Les figures 136 et 137 démontrent une diminution de la température opérative à l'intérieur du logement. Cette diminution varie en moyenne de 0.32°C entre le cas de base non étanche intermédiaire et celui du dernier étage en hiver. Et une amélioration qui varie en moyenne de 1.33°C entre le cas non étanche et le cas le plus étanche du même logement en hiver. Une amélioration sensible en moyenne varie en moyenne de 0.11°C durant la journée d'été et une surchauffe sensible durant la nuit est également notée en moyenne de 0.12°C.

De même pour les autres paramètres, le recours à une source active d'énergie pour le chauffage et la climatisation est nécessaire pour garantir un meilleur confort à l'intérieur du bâtiment.

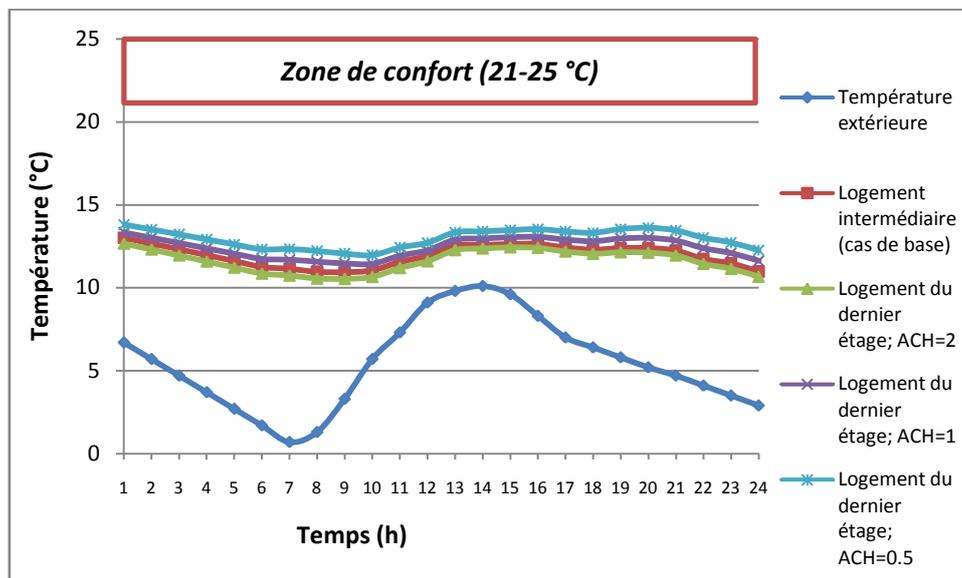


Figure 136. Comparaison de la température ambiante du cas de base (intermédiaire) avec celle d'un autre au dernier étage en hiver (12/01) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

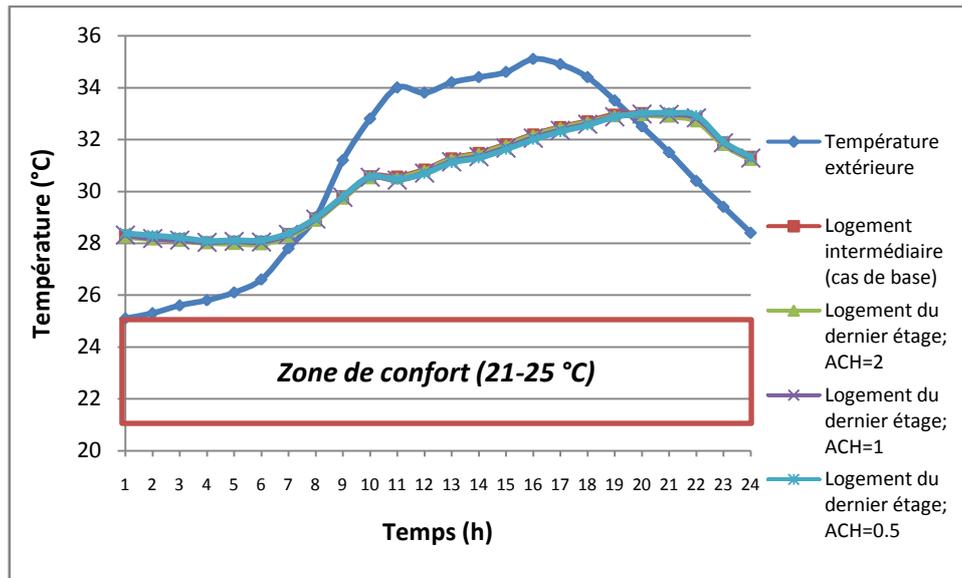


Figure 137. Comparaison de la température ambiante du cas de base (intermédiaire) avec celle d'un autre au dernier étage en été (21/07) (Source: Généré par l'auteur en utilisant un Modèle Excel en fonction des résultats de la simulation à l'aide du logiciel DesignBuilder ©, 2016).

6-2) Conclusion :

Dans ce chapitre, une solution durable pour l'optimisation de PEE dans les logements existants à Tlemcen a été étudiée. Pour atteindre cette approche multi-objective, une évaluation multicritère des MEE passives a été réalisée afin de réhabiliter thermiquement une enveloppe d'un logement collectif. Les résultats discutés dans ce chapitre, confirmés par les résultats de l'étude de Mikucioniene *et al.* (2014), Ouahab (2015), Liu *et al.* (2015), Lawania et Biswas (2016) et Ortiz *et al.* (2016), ont montré que l'économie d'énergie est la clé d'une contribution effectivement mesurable à la durabilité et à la protection du climat.

Les besoins énergétiques et le taux d'inconfort thermique d'hiver estimés par la simulation ont permis une prédiction satisfaisante. L'application à une étude de cas a démontré la possibilité d'identifier un ensemble de solutions techniques efficaces sous forme de surface de compromis entre les différents critères pris en considération.

L'étude de cas a aussi permis de souligner la richesse de l'information issue de l'optimisation. Le nécessaire compromis entre réduction des besoins énergétiques, des émissions de CO₂, confort d'hiver et impacts économiques a été mis en évidence, à savoir : le changement des vitres, l'emplacement d'une fenêtre avec double vitrage dans la loggia et les dispositifs d'ombrage ont été rentable, enregistrant des temps de retour de 7, 15 et 22 ans respectivement. En plus de l'action gratuite de réduction de la ventilation par fermeture des fenêtres et par calfeutrage, qui est peu coûteux, combiné à une isolation modérée de 3cm

d'isolant a économisé jusqu'à 75% d'énergie, réduit 44% de GES et a amélioré d'une manière considérable le confort d'hiver de plus de 6°C. Mais les coûts d'investissement de : l'isolation et le changement des fenêtres sont très élevés. Les arguments-clés sont les prix actuels des matériaux d'isolation sur le marché algérien et le prix de l'énergie conventionné par l'Etat.

Ces résultats ont également confirmé la nécessité de la réhabilitation thermique traduite par la diminution rapide des besoins énergétiques annuels avec les premiers centimètres d'isolation. D'où l'application de la réglementation thermique est obligatoire. Conjointement, le développement de cette dernière afin d'élaborer des normes spécifiques aux différentes zones climatiques et l'établissement d'un guide pratique de conception durable en Algérie adaptée au contexte socio-économique, ce qui est cohérent avec le but de l'étude de Huang *et al.* (2012).

Dans cette optique, la nécessité d'une politique énergétique algérienne consolidée combinant, dans le temps, réforme des tarifs et réduction de la consommation, afin de limiter l'accroissement de la facture pour la population, notamment pour les plus démunis est une nécessité. La tarification de l'énergie conditionne la rentabilité des améliorations énergétiques. Et un blocage des tarifs, comme dans le contexte algérien, peut limiter artificiellement les possibilités d'investissement dans l'amélioration énergétique.

De ce fait, nous établissons un ordre de priorité des actions à mener à court, à moyen et à long terme, en utilisant une multitude d'outils plus ou moins avancés, en fonction des potentiels d'économie d'énergie, des réductions des émissions CO₂, des coûts globaux et de confort thermique pour améliorer la PEE dans les logements existants ainsi que dans la conception du neuf, déterminé par le cadre limité de l'étude paramétrique, utilisée par Belpoliti et Bizzarri (2015), indiqués dans le Tableau 40 :

Tableau 40. Matrice de différentes actions d'économie d'énergie. Tentative d'économie pour un logement collectif typique (intermédiaire) dans le climat de Tlemcen, basé sur l'étude de simulation.

Action	Economie Typique de chauffage et de rafraîchissement	Classe Tunisienne d'énergie	Économie typique totale	Niveau d'énergie BBC	économie typique des émissions	Niveau BBC environnement	Niveau du coût			Approprié pour	
							Aucun no	Moyen	Flevé	Bâtiment neuf	Réhabilitation par Usager/ Locataire
Réduction de la ventilation (gardé fermé) ^a	37-75%	Classe 1	30-59%	Niveau B	15-44%	Niveau D	X			X	X
Calfeutrage des fenêtres ^a	37-75%	Classe 1	30-59%	Niveau B	15-44%	Niveau D	X			X	X
Grandes fenêtres orientées sud (1.5 x taille, 2-vitrage) ^{a*}	74%	Classe 1	59%	Niveau B	43%	Niveau D			X	X	
Dispositifs d'ombrage amovibles combinés à une loggia vitrée (2-vitrage) ^{a*}	73%	Classe 1	58%	Niveau C	39	Niveau D			X	X	X
Isolation de l'enveloppe ^a	64-73%	Classe 4-1	51-58%	Niveau C	24-43%	Niveau E-D			X	X	X
Double vitrage ^a	39%	Classe 4	31%	Niveau C	25-44%	Niveau E			X	X	X
Effet de serre ou véranda vitrée (2-vitrage) ^{a*}	56%	Classe 1	40%	Niveau C	38	Niveau D			X	X	X
Double vitrage ^b	26-39%	Classe 7-5	21-31%	Niveau D-C	0.77-23%	Niveau F-E		X		X	X

a : isolation modéré ; *b* : pas d'isolation ; * : pour un taux de ventilation bas.

Nous pouvons aussi conclure que dans le cas des bâtiments non climatisés, en Algérie, des solutions techniques très simples peuvent contribuer à des bâtiments économes en énergie et surtout si le taux d'inconfort est amélioré par des stratégies de chauffage et de rafraîchissement passif.

Conclusion de la deuxième partie :

La deuxième partie de cette thèse a fait l'objet des études pratiques. Elle a comporté l'application des méthodes, outils et mesures de la réhabilitation thermique, présentés dans la partie théoriques, sur la ville de Tlemcen prise comme champ d'étude, afin d'optimiser la performance énergétique et environnementale des logements collectifs construits dans cette ville.

Cette partie a permis de montrer que nous ne pouvons pas parler de réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels avant d'inventorier et de diagnostiquer des différents types d'enveloppes qui existent dans le parc de logement en utilisant une démarche ascendante. Elle a permis également de montrer comment et en quoi la méthode d'optimisation multicritère que nous avons développée peut contribuer à l'aide à la décision sur une base multicritère et en fonction de l'étude paramétrique

Au terme de cette partie, les principales conclusions qui en découlent peuvent être résumées comme suit :

- Des actions d'optimisation de la PEE par mesures simples, au cas par cas, ont été présentées à savoir : l'isolation thermique par l'intérieur lorsque les bâtiments représentent une valeur patrimoniale ; l'isolation thermique par l'extérieur dans le cas d'absence de valeur patrimoniale ; le calfeutrage des fenêtres et des portes, usage du double vitrage, des occultations extérieurs, etc.;
- L'étude des normes internationales a permis d'identifier les différents paramètres à prendre en considération dans tout projet de réglementation thermique et a été couronnée par l'élaboration d'une méthodologie de travail ;
- Le processus d'optimisation de l'enveloppe de logement a été mené pour la région de la ville de Tlemcen dans l'objectif de montrer que ce processus peut être bien appliqué à toutes les zones climatiques d'Algérie.
- Les principales exigences de confort qui découlent de ce processus sont :
 - Un coefficient d'isolation thermique $1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour les toitures,
 - Un coefficient d'isolation thermique compris entre $0,77$ et $0,63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour les murs,
 - Un coefficient de $3,159 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour les vitres en double vitrage, munies de persiennes.
 - Un pourcentage de vitrage jusqu'à 20% pour les fenêtres orientées Sud,
 - Une serre repliable au niveau de la loggia munie de dispositifs d'ombrage.

Les résultats pertinents, les conclusions de vérification des hypothèses, les recommandations ainsi que les perspectives de recherche seront présentés dans la conclusion générale.

Conclusion générale et perspectives

Conclusions et résultats pertinents

Responsable à lui seul de 43% de la consommation d'énergie finale (MÉ, 2017) et d'une part égale et importante en matière de délivrance des émissions de gaz à effet de serre en Algérie, le secteur résidentiel est une des causes du problème, mais aussi une des principales solutions. L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments, en particulier en ce qui concerne les immeubles d'habitation, est parmi les actions qui devraient être poursuivies pour atteindre les objectifs de Kyoto et de Copenhague. Cette problématique a fait l'objet du premier chapitre de cette thèse.

Dans cette optique, ce travail de recherche a présenté une méthodologie pour l'optimisation de l'enveloppe des bâtiments en termes de performance thermique, énergétique et environnementale (PÉE) dans la ville de Tlemcen choisie comme champ d'étude.

Un regard sur le stock d'immeubles collectifs à Tlemcen, à travers une première étude architecturale et technique, basée sur une méthodologie ascendante, a mis en exergue les différentes mutations en cours dans le secteur : D'une architecture contemporaine en étroite relation avec le climat contrairement à l'architecture vernaculaire qualifiant la médina de Tlemcen, présenté dans le chapitre 4, du fait des facteurs politiques et socio-économiques. La conception actuelle des bâtiments est basée sur des modèles architecturaux et des technologies provenant d'autres contextes climatiques. Par conséquent on a observé des incohérences dans le secteur qui pèsent sur les ressources naturelles et le bien-être des utilisateurs. Les résultats du diagnostic, effectué toujours dans chapitre 4, ont démontré que les bâtiments construits entre 1842 et 1938 ont une meilleure performance thermique et énergétique par rapport au bâtiments des autres périodes. Ils sont caractérisés par une bonne inertie et consomment 130kWh/m²/an. Alors que les bâtiments construits entre 1963 et 1989 sont les plus énergivore à cause de leur mauvaise inertie et consomment 300kWh/m²/an. Mais, il faut noter aussi, qu'ils sont les plus simples à réhabiliter.

Cet état de fait et le taux croissant d'urbanisation offrent un énorme potentiel pour les démarches écologiques en général et bioclimatique et solaire en particulier. Du fait que, Tlemcen se situe dans la zone climatique B, qui comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtière et l'atlas tellien. Cette ville se caractérise par un climat arrière littoral montagneux, avec des étés chauds et sec et des hivers humides et froids. Mais sa situation sur un plan incliné Sud-Nord orienté vers le rivage de la mer méditerranéenne, permet de profiter des bienfaits du climat tempéré. Cela peut être avantageux pour l'énergie, car les charges de chauffage et de refroidissement ne sont pas élevées par rapport à la région des hauts plateaux. Donc, il a été primordial de se pencher sur

les enjeux de réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels existants ainsi que sur la conception du neuf, définie dans le chapitre 2, en utilisant les mesures solaires passives décrites dans le chapitre 3.

Dans cette thèse, une solution durable pour l'optimisation de la PEE dans l'habitat existant à Tlemcen a été investiguée. Pour achever cet objectif une approche multi-objectif à travers une évaluation multicritère des mesures d'efficacité énergétique (MEE) passives, décrites dans le chapitre 2, a été exécutée, pour corriger l'enveloppe du type de logement le moins efficient d'après le diagnostic.

Pour ce faire, une méthode statique, suivant la réglementation thermique algérienne (DTR et outil d'évaluation multicritère algérien), est utilisée comme première étape de vérification de la conformité de l'enveloppe du logement à la réglementation ainsi que la stratégie d'intervention établie par calcul simple, définie dans le chapitre 5, pour orienter les actions de la réhabilitation.

Ensuite, les outils de simulation des performances énergétiques ont été utilisés pour l'étude du comportement global des bâtiments sous le climat de Tlemcen. À l'échelle internationale, la simulation énergétique du bâtiment s'intègre progressivement dans les processus de conception et/ou d'optimisation de la performance énergétique des bâtiments. Elle constitue un moyen pertinent en termes de coût et de temps de mise en œuvre. Dans le cadre de cette thèse, nous avons appliqué l'outil de simulation pour l'étude des bâtiments existants afin que le modèle puisse représenter la réalité. Le modèle de construction a été mis en œuvre dans le couplage DesignBuilder/EnergyPlus et a eu pour objectif la réduction des incertitudes associées au bâtiment et son utilisation et l'estimation de la consommation d'énergie primaire, les émissions CO₂ et l'évaluation du confort.

Différentes sources d'information ont été utilisées pour relier la simulation aux enquêtes et aux données d'audit énergétique. L'utilisation de la ventilation naturelle et des protections solaires a été configurée selon les résultats de l'enquête. De même, la consigne et l'utilisation du système de chauffage et de rafraîchissement ont été adaptées aux relevés. En outre, les performances énergétiques des deux systèmes ont été liées aux conditions météorologiques. La caractérisation du modèle de construction est décrite dans le chapitre 5.

L'occupation a été définie comme le principal conducteur du bâtiment. Pour cette raison, l'un des besoins consiste à utiliser des profils réalistes des occupants. Ce profil doit reproduire la variabilité des occupants réels et, en même temps, leur comportement doit être représentatif de l'occupant moyen. Pour atteindre ce défi, les profils d'occupation réalistes ont été générés en fonction des enquêtes sur les utilisations temporelles. Ce profil a été adapté aux

caractéristiques des ménages et a été lié à l'utilisation du bâtiment (systèmes de chauffage et de refroidissement, ventilation naturelle, protection solaire et éclairage). La mise en œuvre de l'occupation est décrite au chapitre 5.

L'objectif de la thèse a été atteint par l'utilisation de la méthode paramétrique qui nous a fourni des mesures optimales pour la réhabilitation thermique des immeubles collectifs de Tlemcen, compte tenu de quatre critères principaux : consommation d'énergie primaire, émissions de CO₂, confort thermique, et coûts globaux.

Le modèle de construction a été configuré pour être simulé dans deux modes différents : libre de fonctionnement et chauffé (passif et actif). Cette configuration a permis d'exécuter la simulation selon la méthodologie en deux étapes proposées par la thèse. Si la simulation est exécutée en mode évolution libre, les sorties de la simulation seront le confort thermique ; et si la simulation est exécutée en mode chauffé, les sorties seront la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO₂.

L'évaluation optimale des coûts a été basée sur un processus d'évaluation passive, compte tenu de trois autres critères. Les coûts initiaux des MEÉ ont été calculés sur la base des devis des sociétés professionnelles locales. L'objectif de l'évaluation passive a été d'obtenir les mesures passives qui offrent un meilleur confort thermique sans l'utilisation de systèmes mécaniques et compte tenu du coût d'investissement de la mesure.

Les résultats, présentés dans les chapitres 5 et 6, ont réfuté la deuxième hypothèse, qui concerne la réglementation thermique algérienne comme outil d'aide à la conception énergétiquement efficace. Et en la comparant avec celles des pays voisins (Tunisie, Maroc, etc.), nous avons remarqué qu'elle a besoin d'être actualisée et d'être plus approfondie, afin d'élaborer des normes spécifiques aux différentes zones climatiques selon un processus global basé sur une large concertation avec l'ensemble des parties prenantes et associée à des programmes d'accompagnement et renforcement des capacités des concepteurs, des opérateurs et des fournisseurs des matériaux d'isolation.

Le système d'évaluation multicritère algérien a estimé un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire. Et l'estimation de notre cas d'étude avant réhabilitation est égale à 22 et à 38 après réhabilitation. Ce qui veut dire que le logement est devenu efficace en énergie et que la stratégie de réduction des déperditions calorifique est durable.

Par contre, les résultats ont confirmé la première hypothèse de la nécessité de la réhabilitation thermique des logements. Les principaux résultats optimaux sont :

- Sur le plan énergétique et environnemental, l'économie totale d'énergie a été estimée à 57% par rapport au cas de base étanche et à plus de 73% par rapport à celui non-étanche. Tandis que l'économie des émissions CO₂ est estimée à 27% par rapport au cas de base étanche et environ 39% par rapport à celui non-étanche. Cette réhabilitation a permis d'atteindre une économie d'énergie globale jusqu'à 75% et une réduction 44% des émissions de CO₂ par rapport à un cas de bâtiment non isolé.
- Sur le plan économique, il a été trouvé que seule les actions liées au : changement des vitres, à une fenêtre avec double vitrage placée dans la loggia et aux les dispositifs d'ombrage sont rentables, enregistrant des temps de retour de 7, 15 et 22 ans respectivement. Ainsi que le calfeutrage des fenêtres et des portes qui est une mesure très peu coûteuse. Tandis que, les coûts d'investissement de : l'isolation et le changement des fenêtres sont très élevés. Les arguments-clés sont les prix actuels des matériaux d'isolation sur le marché algérien et le faible prix de l'énergie conventionné par l'Etat. Donc, des mesures politiques doivent être prise à savoir réforme des tarifs de l'énergie et application de la réglementation thermique.
- Du point de vue confort thermique, la combinaison des différents éléments optimisés, notamment la réduction de la ventilation et l'isolation modérée de l'enveloppe ont donc un effet positif en hiver. Cependant, le logement du dernier étage nécessite une isolation renforcée. Mais, le recours à une source active d'énergie pour le chauffage et la climatisation est nécessaire pour garantir un meilleur confort à l'intérieur du bâtiment.

Donc, nous pouvons conclure que dans le cas des bâtiments non climatisés, en Algérie, des solutions techniques passives très simples peuvent contribuer à optimiser l'efficacité des bâtiments résidentiels en matière d'énergie et à la protection de l'environnement. Les principales exigences de confort qui découlent de ce processus sont :

- Un coefficient d'isolation thermique 1,65 W/m².°C pour les toitures,
- Un coefficient d'isolation thermique compris entre 0,77 et 0,63 W/m².°C pour les murs,
- Un coefficient de 3,159 W/m².°C pour les vitres en double vitrage, munies de persiennes
- Un pourcentage de vitrage d'environ 20% pour les fenêtres orientées Sud,
- Une serre repliable au niveau de la loggia munie de dispositifs d'ombrage.

Cette étude met, également, en évidence l'influence majeure de la typologie de l'enveloppe, la désignation du logement et le climat sur l'enveloppe optimale. Cependant, les solutions de construction standard ne tiennent pas suffisamment compte de ces paramètres, car elles sont souvent identiques pour n'importe quelle désignation ou typologie et même dans des climats différents

Par conséquent, un ordre de priorité des actions passives de réhabilitation thermique à mener à court, à moyen et à long terme, pour l'optimisation de la PÉE dans les logements existants ainsi que dans la conception du neuf, déterminé par le cadre limité de l'étude paramétrique a été présenté dans le chapitre 6, en fonction des critères d'efficacité énergétique, d'impact environnemental, de rationalité économique et de confort thermique des occupants.

En effet, les recommandations liées à la réhabilitation thermique et à la conception des logements collectifs à Tlemcen et les régions urbaines avec un climat similaire, sont récapitulées comme suit:

- L'application de la réglementation thermique ainsi que son développement vers une labellisation locale en prenant en considération le contexte socio-économique ;
- La nécessité d'une approche participative particulière est exigée, pour mener à bien des opérations de réhabilitation en milieu occupé ;
- Des approches sociales particulières de la réhabilitation sont à mettre au point dans le contexte particulier de chaque cas ;
- Les priorités d'amélioration des enveloppes sont :
 - Réduction de la ventilation par:
 - Calfeutrage des fenêtres et la fermeture correcte des fenêtres;
 - Le développement d'une culture environnementale liée au mode de vie et la sensibilisation des usagers;
 - Isolation (augmentation de l'isolation spécialement dans les coins et les étages supérieurs) ;
 - Utilisation du double vitrage;
 - Augmentation des surfaces vitrées orientées Sud sans dépasser le taux convenable au climat;
 - Application des dispositifs d'ombrage mobiles ou dimensionné d'une manière correcte;
 - Bénéfice des apports solaires passifs : par la fermeture des loggias par du double vitrage et/ou l'installation des serres dans les balcons orientés sud munies de panneaux vitrés repliables en totalité, de manière à recréer de simples

balcons en été ; par ailleurs ces serres doivent être munies également de dispositifs d'ombrage dimensionnés correctement;

- La sensibilisation publique et l'encouragement économique à travers des mesures individuelles de tous les types d'énergie.
- Le préfinancement des opérations de réhabilitation thermique pour les particuliers est un point qui doit être examiné dès que le marché aura atteint une taille suffisante pour qu'il soit possible l'établissement de crédit. Cette question rejoint plus largement celle des besoins d'incitations, qui doivent être appréciés sur la base de bilans économiques des projets d'efficacité énergétique et parallèlement à des mesures réglementaires et de normalisation ;
- Des mécanismes financiers innovants sont à imaginer : taxes pénalisant les bâtiments gros consommateurs et alimentant un fonds qui accorde une prime à ceux qui vont au-delà de la réglementation ;
- Une analyse fine de la tarification de l'énergie -qui doit être considérée comme une contribution à l'émergence d'une politique énergétique- et de ses incidences sur les programmes d'efficacité énergétique est à intégrer dès l'étude de faisabilité ;
- La considération de la conception climatique, dans le cas du neuf, dès les phases précoces de conception, et son intégration dans le processus de conception (choix des matériaux, forme des bâtiments, ouvertures, orientation, etc.).
- Le développement de la formation de la conception climatique dans l'enseignement universitaire de l'architecture et de la formation professionnelle et dans les différents corps de métier liés à la construction;
- La création des marchés publics dits écologiques (MPE) et la mise en place de son cadre juridique et surtout son application. Vu que dans le marché de la construction en Algérie, la part du gouvernement (des marchés publics) est élevée.

Contributions de la thèse

Les principales contributions de la thèse sont énumérées ci-dessous :

- 1) Un modèle de construction détaillé a été développé dans DesignBuilder dans le but d'obtenir un modèle réaliste et de relier l'apport du modèle aux informations de surveillance et d'enquête. Le modèle a présenté des profils d'occupation pour introduire une utilisation plus réaliste du bâtiment ;
- 2) La thèse a proposé la méthodologie d'étude pour analyser les mesures d'efficacité énergétique axées sur le confort thermique, la performance énergétique et

environnementale et les paramètres économiques. Cette méthodologie a donné la priorité aux mesures passives plutôt qu'aux actives garantissant le confort thermique des utilisateurs et réduisant le nombre de combinaisons à simuler ;

- 3) Les indices de confort thermique ont été utilisés pour sélectionner les mesures d'efficacité énergétique, en choisissant la plus appropriée en fonction des caractéristiques climatiques du site de Tlemcen et des exigences de confort thermique ;
- 4) La thèse a donné des informations détaillées sur la situation actuelle des typologies d'enveloppe des immeubles de logements les plus représentatifs, représentant environ 65% du stock de construction de la ville de Tlemcen ;
- 5) La thèse a fourni une analyse architecturale et technique détaillée pour chaque typologie d'enveloppe d'immeubles collectifs, en donnant des informations servant comme base de données à de futures études visant à l'aide de la prise de décision pour choisir la mesure la plus appropriée en fonction de : la typologie du bâtiment et le climat de la ville; et les objectifs de la réhabilitation (environnementale et/ou économique) ;
- 6) Cette thèse a également apporté une contribution à l'enrichissement de la réglementation thermique algérienne par le classement des actions à mener à court, à moyen et à long terme en matière de réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels existants et neufs à Tlemcen et dans des régions urbaines ayant un climat similaire.

Perspectives pour la recherche future

Au terme de cette étude, nous avons montré que la réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels existants adaptés aux contextes énergétiques et climatiques de Tlemcen en utilisant des techniques solaires passives par la simulation peut permettre de répondre aux besoins de la maîtrise de l'énergie et du respect de l'environnement. La thèse se termine par un aperçu des sujets de recherche futurs possibles :

- Un travail important devra être réalisé pour doter le secteur d'une base de données qualitative sur les propriétés des enveloppes des autres typologies (l'individuel et l'intermédiaire) dans le secteur résidentiel de Tlemcen ainsi que dans les différentes zones climatique en suivant la même méthodologie, afin d'améliorer la qualité des prédictions ;

- Des études sur les éléments de l'enveloppe doivent être poursuivies au niveau des matériaux et aussi sur la morphologie du bâtiment afin de trouver des configurations mieux adaptées au climat, en jetant un regard sur les solutions passives dans nos anciennes préexistences (médiinas et ksour).
- Des études sur l'isolation écologique dans notre contexte climatique permettront d'estimer les impacts économiques de cette solution.
- Une étude serait intéressante d'évaluer la conception des fenêtres, dans le climat de Tlemcen, en prenant en compte les réalités culturelles et les autres critères (ventilation et confort visuel) qui entrent en compte dans la conception des éléments de fenêtrage ;
- Une analyse de sensibilité globale au bâtiment conventionnel serait intéressante, du point de vue la conception de l'enveloppe du bâtiment. Ce qui permettra de mettre en évidence les différentes interactions entre les paramètres.
- Une étude de caractérisation de l'aéroulque des bâtiments est aussi importante. Ce qui permettra de disposer de paramètres fiables pour une meilleure exploration du phénomène de ventilation naturelle notamment la ventilation pour le confort.
- La nécessité de mener des investigations auprès des occupants doit être ajoutée afin de caractériser leurs attentes en termes de confort thermique et d'évaluer leur niveau de sensibilisation et de participation en matière de réhabilitation thermique pour déterminer des critères d'évaluation mieux adaptés aux contextes climatiques de Tlemcen. Afin d'améliorer la connaissance du comportement des occupants et sa mise en œuvre dans le modèle de construction et de réduire l'incertitude liée à l'utilisation du bâtiment.
- Des études d'optimisation de la performance énergétique par mesures passives doivent être poursuivies en les combinant avec des mesures actives basées essentiellement sur des énergies renouvelables.
- Une évaluation économique approfondie doit être développée en tenant compte non seulement des avantages énergétiques, mais aussi des avantages associés à la réhabilitation énergétique des ménages. Certains de ces avantages sont liés à l'amélioration de la santé des occupants en raison de la réduction des conditions d'inconfort (températures froides en hiver, températures chaudes en été, qualité de l'air, humidité et moisissure ...). L'avantage de la réhabilitation thermique et énergétique des bâtiments est l'appréciation de la valeur des ménages grâce à l'amélioration des conditions de vie, à l'augmentation de la norme d'efficacité énergétique et à l'augmentation de la durée de vie du bâtiment.

Bibliographie : Liste des sources et références**Livres**

- Le Coran, *Sourate Les Romains*, Vers et 40, pp. 408.
- Le Coran, *Sourate Ya. Sin*, Versets 36 et 80, pp.442-445.
- Le Coran, traduction par Masson D., revue par Dr. El-Saleh S. vice président du Conseil Supérieur Islamique Professeur à l'université Libanaise, Dar Al-kitab Al-Masri, Caire, Dar Al-Kitab Al-Lobnani, Beirout.
- Alexandroff G. et Alexandroff J.-M. (1982), « *Architectures et climats: Soleil et Energies Naturelles dans l'Habitat* », Edition Berger-Levrault, Paris.
- Angers, M. (2015). *Initiation pratique à la méthodologies des sciences humaines*. Casbah Editions, Alger. ISBN: 9789961-64-063-0, pp. 271.
- Armstrong H ., Boonstra C., Cullinan E., Derbyshire B., Edwards B., Grant A., Howarth D., Lock D., Mills G., Smith P .F., Taylor D., Turrent D., Wright A. (2005), « *Sustainable Housing: principles and practice* », E, FN Spon, USA, Canada, ISBN: 0-41924620, pp. 12, 20.
- Bertucci A. Ogier M. (2010), « *Archi Actuelle : 20 Maisons à économie d'énergie* », Ecologie, Editions OUEST-France, Rennes, ISBN : 978.2.7373.4899.0, pp.13.
- Capderou M. (1985), « *Atlas Solaire de l'Algérie* », tome 2 : aspect énergétique, EPAU, OPU, Alger, pp. 130-131.
- Charlot-Valdieu C. et Outrequin P., (2011), « *La Réhabilitation Energétique des Logements* », LE MONITEUR, Paris, , EAN : 9-782281-195194, pp. 130-131.
- Courgey S. et Oliva J.P. (2006), « *La conception bioclimatique* », Editions Terre vivante, Collection : L'écologie pratique, EAN13 : 9782914717212, pp. 146-148.
- De Gramont C., Kremer T., Nicollet E., Bories H., STDI, © Fotolia- Gyukli G. et Lapoire A.-L. (2015), « *Intégrer l'énergie dans les projets d'aménagement : De l'urbanisme de planification aux projets opérationnels* », HESPUL, EDITIONS LE MONITEUR, Antony, ISBN : 978-2-281-13125-3, pp. 76-87.
- Fernandez & Lavigne (2009), « *Concevoir des batiments bioclimatiques : Fondements et méthodes* », Editions LE MONITEUR, Paris, ISBN/ 978-2-281-11454-6, pp. 93.
- Gauzin-Muller D., avec la contribution de Favet N. & de Maes P. (2001), « *L'Architecture Ecologique* », LE MONITEUR, Paris, ISBN : 2.281.19137.0,

- pp.23.
- Gonzalo R. et Habermann K. J., (2006), « *Architecture et Efficacité Energétique: Principes de conception et de construction* », BIRKHAUSER, Basel-Boston-Berlin, ISBN : 978-3-7643-8451-7, pp. 89-103.
 - Cuchí, A. and Sweatman, P. (2011), “*A National Perspective on Spain’s Building Sector. A Roadmap for a New Housing Sector*”, Green Building Council Spain, Fundacion CONAMA, Spain.
 - Joffroy P. (1999), « *La Réhabilitation des Bâtiments : Conserver, Améliorer, Restructurer les Logements et les Equipement* », Edition Le Moniteur, Paris.
 - Kibert C. (2005), « *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery* », John Wiley & Sons, New Jersey, 2005, pp. 1–23.
 - Liébard et De Herde (2005), « *Traité d’architecture et d’urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », Observ’ER, Architecture et Climat, Editions LE MONITEUR, pp.27b.
 - Liébard A., Ménard J.-P. et Piro P. (2007), « *Le Grand Livre De L’Habitat Solaire : 110 Réalisations EN France Le Développement Durable à la Portée de Tous* », Observ’ER, LE MONITEUR, Gaz de France, France, ISBN13 : 978-2-913620-42-1, pp. 7.
 - LOFT Publication en coopération avec Frechmann Kolón GmbH (2011), « *Architecture & Energie : un enjeu pour l’avenir* », Edition Place des Victoires, Paris, Barcelone, Chine, ISBN : 978-2-8099-0190-0, pp. 29.
 - Maazouz S. (2007), « *Eléments de conception architectural : Aspects conceptuel* », 3^{ième} Edition, Office des publications universitaires, Alger, ISBN9961.0.07174, pp. 141-158.
 - Olgyay V. (1963), « *Design With Climate* ». Princeton University Press. pp. 27, 29.
 - Ouahrani Dj. (1999), “*Noor: Daylighting and thermal effect of windows in desert houses*”, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, ISBN: 91-973743-2-8, pp. 108.
 - Penu, G. (2013), *La thermique du bâtiment: cahiers techniques en 36 fiches-outils*, Climat + Confort, DUNOD, Paris, pp. 144.
 - Sari Dj. (2006), « *Tlemcen : La cité-patrimoine à sauvegarder- La Tachfinya à reconstruire impérativement* », Edition ANEP, Alger, pp.13, 108.
 - Schneider Electric (2011), « *Livre blanc de l’Efficacité énergétique* », pp.23,

Disponible à l'adresse : <https://www.schneider-electric.dz/fr/download/document/ZZ4000DZ/>, consulté le : 11/02/2018.

- Smith P. F. (2002), « *Architecture in a climat of change : a guide to sustainable design* », Architectural Press, Oxford Amsterdam Boston London New York Paris San Diego San Francisco Singapore Sydney Tokyo, ISBN : 0-7506-5346-9, pp. 45.
- Union des Constructeurs Immobiliers UCI-FFB, « *La Maison Durable: la maison basse consommation dans une densité réussie réalisée par des constructeurs de maisons individuelles* », Edition PC 2009, ISBN : 978.2.912683.75.5 ; pp. 10, 14.
- Venolia C. et Lerner K. traduit de l'anglais par Cohen L. ouvrage traduit avec le concours du Centre National du Livre (2007), « *Rénovation écologique-Transformer sa maison au naturel : isoler, restaurer, décorer* », la plage éditeur, New-York, ISBN : 978-2-84221-173-8, pp 128-155.
- Wright D. (2004), « *Manuel d'architecture naturelle* », Editions Parenthèses, Marseille, ISBN978-2-86364-124-8, pp.64.

Chapitres de livre

- ASHRAE (1997),” *ASHRAE Handbook- Fundamentals*. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), Chapter 8, table 5, Atlanta.
- ASHRAE (2009b), «*2009 ASHRAE Handbook Fundamentals* », Chapter 15 (Fenestration).”ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), Atlanta, pp.34.
- Braulio-Gonzalo M., Aguilar J.-R. and Bovea Edo D. (2017), « *Analysis of the Influence of Variables Linked to the Building and Its Urban Context on the Passive Energy Performance of Residential Stocks* », Mercader-Moyano P. (Ed.), Springer, Cham, Spain, pp. 15-25.
- Ministry of New and Renewable Energy, Government of India, “*Chapter 4: Thermal Performance of Building*”, pp 1-2 Web site : <http://mnre.gov.in/solar-energy/ch4.pdf>
Date: 15/09/2013
- Recchia L., Boncinelli P., Cini E., Vieri M., Pegna F. G. et Sarri D. (2011), « General Theory of Multicriteria Analysis and Life Cycle Assessment, In : *Multicriteria Analysis and LCA Techniques*. Springer London. Green Energy and Technology. p. 5-26. ISBN 978-0-85729-703-7. Disponible à l'adresse :

http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-704-4_2.

- Zopounidis C. et Pardalos P. M. (éd.) (2010), « *Handbook of Multicriteria Analysis* », Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. Applied Optimization. ISBN 978-3-540-92827-0. pp. 25-26, 243-244. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-92828-7>,

Articles de périodiques imprimés

- Arumägi E., Kalamees T. (2014), « *Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates* », Applied Energy Vol. 115 N°23, pp. 540-548.
- Bekkouche S.M.A., Benouaz T. et Cheknane A. (2007), « *Etude par simulation de l'effet d'isolation thermique d'une pièce d'un habitat dans la région de Ghardaïa* », Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2, p. 281-292.
- Belpoliti, V. and Bizzarri, G. (2015), “*A parametric method to assess the energy performance of the social housing stock and simulate suitable retrofit scenarios: An Italian case study*”, Energy and Buildings, Vol. 96 No. 11, pp. 261–271.
- Boardman B., Darby S., Killip G., Hinnells M., Jardine C.-N., Palmer J., Sinden G. (2005), « *40% House, Project Background Material A, United Kingdom Domestic Carbon Model, UKDCM, Description, Method and Analysis* », Environmental Change Institute, University of Oxford, United Kingdom, pp. 1-15.
- Böhringer C., Rutherford T.F. (2008), « *Combining bottom-up and top-down* », Energy Economics Vol. 30 No. 2, pp. 574-596.
- Bre, F. Silva, A.-S., Ghisi, E. and Fachinotti, V.-D. (2016), “*Residential building design optimisation using sensitivity analysis and genetic algorithm*”, Energy and Buildings, Vol. 133 No. 24, pp. 853–866.
- Csoknyai, T., Hrabovszky-Horváth, S., Georgiev, Z., Jovanovic-Popovic, M., Stankovic, B., Villatoro, O. and Szendrő, G. (2016), “*Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries*”, Energy and Buildings, Vol. 132 No. 23, pp. 39–52.
- Cubí, E., Ortiz, J. and Salom, J. (2014), “*Potential impact evaluation: an ex ante evaluation of the Mediterranean buildings energy efficiency strategy*”. International Journal of Sustainable Energy DOI: 10.1080/14786451.2013.796945, Vol. 33 No. 5, pp. 1000-1016.

- Dascalaki, E.-G., Drousa, K.-G., Balaras, C.-A. and Kontoyiannidis, S. (2011), “*Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock*”, *Energy and Buildings*, Vol. 43 No. 12, pp. 3400–3409.
- Djelloul A., Draoui B. et MOUMMI N. (2013), « *Simulation du Comportement Energétique des Bâtiments Résidentiel au Sud Algérien* », *Courrier du Savoir – N°17*, Décembre; Vol. 17 No. 23, pp. 113-119.
- Elsharkawy H., Rutherford P. (2015), « *Retrofitting social housing in the UK: Home energy use and performance in a pre-Community Energy Saving Programme (CESP)* », *Energy and Buildings* Vol. 88 No. 3, pp. 25-33.
- Famuyibo, A., Duffy, A. and Strachan, P. (2012), “*Developing archetypes for domestic dwellings—An Irish case study*”. *Energy and Buildings*, Vol 50 No 7, pp. 150-157.
- Fezzioui N., Droui B., Benyamine M., Larbi S. (2008), « *Influence des caractéristiques dynamiques de l’enveloppe d’un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien* », *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 No.1, pp. 25–34
- Filippín, C., Ricard, F. and Flores-Larsen, S. (2013), “*Evaluation of heating energy consumption patterns in the residential building sector using stepwise selection and multivariate analysis*”, *Energy and Buildings*, Vol 66 No 11, pp. 571-581.
- Garrido-Soriano, N., Rosas-Casals, M., Ivancic, A. and Álvarez-del Castillo, M.D. (2012), “*Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study*”, *Energy and Buildings*, Vol. 49 No. 6, pp. 119–125.
- Ghomari F. (2007), « *La Médina de Tlemcen : l’héritage de l’histoire* », *Web journal on cultural patrimony* Vol. 2 No 1 pp.1.
- Gossard D., Lartigue B., Thellier F. (2013), « *Multiobjective Optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network* », *Energy and Buildings* Vol. 67 No 12, pp. 253-260.
- Griego D., Krarti M., Hernández-Guerrero A. (2012), « *Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico* », *Energy and Buildings* Vol. 54 No. 11, pp. 540-549.
- Hamdy M., Hasan A., Siren K. (2011), « *Applying a multi-objective optimization approach for design of low-emission cost-effective dwellings,* » *Building and*

Environment Vol. 46 No 1, pp. 109-123.

- Hamouda C. et Malek A. (2006), « *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, p.211-212-226.
- Hrabovszky-Horváth, S., Pálvölgyi, T., Csoknyai, T. and Talamon, A. (2013), “*Generalized residential building typology for urban climate change mitigation and adaptation strategies: The case of Hungary*”, Energy and Buildings, Vol. 62 No. 7, pp. 475–485.
- Huang Y., Niu J., Chung T. (2012), « *Energy and carbon emission payback analysis for energyefficient retrofitting in buildings Overhang shading option* », Energy and Buildings Vol. 44 No. 1, pp. 94-103.
- Ivancic, A., Lao, J., Salom, J. and Pascual, J. (2014), “*Local energy plans: a way to improve the energy balance and the environmental impact of the cities: case study of Barcelona*”, ASHRAE Transactions, Vol. 110 No. 1, pp. 583.
- Jaber S., Ajib S. (2011), « *Optimum , technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region* », Energy and Buildings Vol. 43 No. 8, pp.1829-1834.
- Junghans L. (2013), « *Sequential equi-marginal optimization method for ranking strategies for thermal building renovation* », Energy and Buildings Vol. 65 No. 9, pp. 10-18.
- Kadri N. et Mokhtari A. (2011), « *Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment* », Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2, pp. 301–311.
- Konstantinou T., Knaack U. (2011), « *Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrade* », 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Procedia Engineering Vol. 21 No.14, pp. 666-675.
- Kragh, J. and Wittchen, K.-B. (2014), “*Development of two Danish building typologies for residential buildings*”, Energy and Buildings, Vol. 68 No. 1, pp. 79–86.
- Lawania K.-K., Biswas W. K. (2016), « *Achieving environmentally friendly building envelope for Western Australia's housing sector: A life cycle assessment approach* », International Journal of Sustainable Built Environment Vol. 5 No. 2, pp. 210-224.

- Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G. (2013), « *Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related aspects* », Energy and Buildings Vol. 67 No. 12, pp. 635-646.
- Liu L., Rohdin P., Moshfegh B. (2015), « *Evaluating indoor environment of a retrofitted multifamily building with improved energy performance in Sweden* », Energy and Buildings Vol. 102 No.15, pp. 32-44
- Loga, T., Stein, B. and Diefenbach, N. (2016), “*TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable. Towards an energy efficient European housing stock: monitoring, mapping and modelling retrofitting processes*”, Energy and Buildings, Vol. 132 No. 23, pp. 4–12.
- Mata, É., Sasic Kalagasidis, A. and Johnsson, F. (2013), “*A modelling strategy for energy, carbon, and cost assessments of building stocks*”, Energy and Buildings, Vol. 56 No. 1, pp. 100–108.
- Mata, É., Sasic-Kalagasidis, A. and Johnsson, F. (2014), “*Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK*”, Building and Environment, Vol. 81 No. 11, pp. 270–282.
- Melo, A.-P., Fossati, M., Versage, R.-S., Sorgato, M.J., Scalco, V.-A. and Lamberts, R. (2016), “*Development and analysis of a metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings*”, Energy and Buildings, Vol. 112 No. 3, pp. 209–221.
- Mikucioniene R., Martinaitis V., Keras E. (2014), « *Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method* », Energy and Buildings Vol. 76 No. 11, pp. 64-71.
- Missoum M., Hamidat A., Loukarfi L., Abdeladim K. (2014), « *Impact of rural housing energy performance improvement on the energy balance in the North-West of Algeria* », Energy and Buildings Vol. 85 No. 19, pp. 374-388.
- Nouaceur Z., Laignel B. et Turki I. (2013), « *Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ?* », Physio-Géo Géographie physique et environnement Vol. 7, pp. 307-323.
- Oropeza-Perez I., Østergaard P.-A. (2014), « *Potential of natural ventilation in temperate countries - A case study of Denmark* », Applied Energy Vol. 114 No. 2, pp. 520-530.

- Ortiz, J., Fonseca, A., Salom, J., Garrido, N., Fonseca, P. and Russo, V. (2016), “*Comfort and economic criteria for selecting passive measures for the energy refurbishment of residential buildings in Catalonia*”, *Energy and Buildings*, Vol. 110 No. 1, pp. 195-210.
- Ouahab, A. (2015), “*Les gisements d’économie d’énergie et des émissions de CO₂ à l’horizon 2050 dans le secteur résidentiel algérien*”, *Revue des énergies renouvelables*, Vol. 18 No. 4, pp. 667-682.
- Ouyang J., Wang C., Li H., Hokao K. (2011), *A methodology for energy-efficient renovation of existing residential buildings in China and case study*, *Energy and Buildings* Vol.43 No. 9, pp. 2203-2210.
- Ozturk I. et Acaravci A. (2010), « *CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey* », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14 No. 9, pp. 3220–3225.
- Popescu D., Bienert S., Schützenhofer C., Boazu R. (2012), *Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings*, *Applied Energy* Vol. 89 No. 1, pp. 454-463.
- Qin D. (2014), « *Climate change science and sustainable development* ». *Progress in Geography*, Vol. 33 No. 7, pp. 874–883.
- Ramesh T., Prakash R., Shukla K.-K. (2012), *Life cycle approach in evaluating energy performance of residential buildings in Indian context*, *Energy and Buildings* Vol. 54 No. 11, pp. 259-265.
- Rosenlund H. (2000), “*Climatic Design of Buildings using Passive Techniques* », *Building issues*, Vol. 10, 2000, pp.1-24.
- Rosenlund, H., Jianqing, H. and Guofeng, S. (2005), “*Housing design for lower domestic energy use: Exemplified by multi-storey buildings in Beijing*”, *Building issues*, Vol.15 No. 1, pp. 1-24.
- Seddiki M., Anouche K., Bennadji A. (2016), « *Evaluation multicritère pour la rénovation thermique des bâtiments en maçonnerie* », *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 19 No. 1, pp. 9–40.
- Shen L., Sun Y. (2016), *Review on carbon emissions, energy consumption and low-carbon economy in China from a perspective of global climate change*, *Journal of Geographical Sciences* Vol. 26 No. 7, pp. 855-870.
- Sénit C.-A. (2008), (Sciences Po, Iddri), *L’efficacité énergétique dans le secteur*

résidentiel : une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée PSEM, Iddri – Idées pour le débat N° 14/2008, Changement Climatique, pp 33-35.

- Shen L. et Sun Y. (2016), « *Review on carbon emissions, energy consumption and low-carbon economy in China from a perspective of global climate change* », Science Press Springer-Verlag, J. Geogr. Sci, Vol. 26 No.7, pp. 855-870.
- Shorrock L., Dunster J. (1997), *The Physically-Based Model BREHOMES and Its Use in Deriving Scenarios for the Energy Use and Carbon Dioxide Emissions of the UK Housing Stock*, Energy Policy Vol. 25 No. 12, pp.1027-1037.
- Stefanović, A. and Gordić, D. (2016), “*Modeling methodology of the heating energy consumption and the potential reductions due to thermal improvements of staggered block buildings*”, Energy and Buildings, Vol. 125 No. 15, pp. 244–253.
- Sun F. (2013), *Achieving suitable thermal performance in residential buildings in different climatic regions of China*, Energy and Buildings Vol. 67 No.12, pp. 11-21.
- Sun H., Leng M. (2015), *Analysis on building energy performance of Tibetan traditional dwelling in cold rural area of Gannan*, Energy and Buildings Vol. 96 No. 11, pp. 251-260.
- Swan, L.-G. and Ugursal, V.-I. (2009), “*Modeling of End Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.13 No. 8, pp. 1819-1835.
- Tereci A., Ozkan S.-T.-E., Eicker E. (2013), *Energy benchmarking for residential Buildings*, Energy and Buildings Vol. 60 No. 5, pp. 92-99.
- Terés-Zubiaga, J., Campos-Celador, A., González-Pino, I. and Escudero-Revilla, C. (2015), “*Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain*”. Energy and Buildings, Vol. 86 No.1, pp. 194–202.
- Thibault H. L. et El-Andaloussi H. (2011), « *L'efficacité énergétique dans le bâtiment en Méditerranée* », Plan Bleu, © futuribles n° 376 - juillet-août, pp.54-57.
- Tommerup H., Svendsen S. (2006), *Energy savings in Danish residential building stock*, Energy and Buildings Vol. 38 No. 6, pp. 618-626.
- Wilson, D. and Swisher, J. (1993), “*Exploring the gap : Top-down versus bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming*”, Energy Policy, Vol. 21 No. 3, pp. 249–263.
- Wu M.-H., Ng T.-S., Skitmor M. R. (2016), *Sustainable building envelope design by*

considering energy cost and occupant satisfaction, Energy for Sustainable Development Vol. 31 No. 3, pp. 118-129.

- Yu J., Yang C., Tian L. (2008), *Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China*, Energy and Buildings Vol. 40 No. 8, pp. 1536-1546.
- Zhang W. Duan X. (2012), « *The research progress in the relationship among economic growth, industrial structure, and carbon emissions* », Progress in Geography, Vol. 31 No. 4, pp. 442–450.

Actes de conférence publiés

- Carlucci S., Pagliano L. (2013), *An optimization procedure based on thermal discomfort minimization to support the design of comfortable Net Zero Energy Buildings*, in: BS2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France.
- Manyes, A., Sisó, L. and Salom, J. (2013), “Block level study and simulation for residential retrofitting”, in *CS-1 – Case studies: district energy systems in: Proceedings of BS2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association (IBPSA). Chambéry, France 26-28 August 2013*, IBPSA, Chambéry, France, pp.88-95.
- Ortiz, J., Fonseca, A., Salom, J., Russo, V., Garrido, N. and Fonseca, P. (2015), “Optimisation of energy renovation of residential sector in Catalonia based on comfort, energy and cost”, in *Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, 7-9 December 2015*, Hyderabad, India, pp.2125-2132.
- Parekh, A. (2005), “Development of archetypes of building characteristics libraries for simplified energy use evaluation of houses”, In *IBPSA, 9th International Conference, Montréal (Canada). 15-18 August*, IBPSA, Montréal, Canada, pp. 921-928.
- Salom, J., Ortiz, J. and Russo, V. (2014), “Method to Develop Cost-Effective Studies of Energy Efficiency Measures for Mediterranean Residential Existing Buildings with Multi-Criteria Optimization”, in *the meeting of World Sustainable Building SB14, Barcelona, Spain 28-30 October 2014*, Green Building Council España, Madrid, Spain, pp. 34-40.

- Wasilowski H.-A., Reinhart C. F. (2009), *Modelling an existing building in DesignBuilder/ EnergyPlus: Custom versus default inputs*, Building Simulation 2009, Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, pp. 1252-1259.

Actes de conférence non publiés

- Fewzi F., (1989), « *Classification des techniques de rafraichissement naturels dans l'architecture vernaculaire des pays du moyen orient* », Communication présentée au troisième Séminaire sur l'Énergie Solaire à Tlemcen, Algérie, 7-8 Mars 1989, pp.41-43.
- Khaldoun A. (1999), « *La Médina de Tlemcen : De l'ère de l'harmonie d'une formation urbaine bimillénaire à celle de l'espace central en crise* », Séminaire des Ksour et des Médinas à Taghit, Béchar, 17-19 Mars 1999, p.1.

Travaux universitaires

- Awadallah, T.-S. (2011), “*Infill-building's, according to orientation in Amman-Jordan*”, Unpublished Master's Thesis, Faculty of Graduate Studies, The University of Jordan Archives, Amman, Jordan, pp. 62, 95.
- Berggren B. (2013), *Evaluating building envelopes for energy efficient buildings: Energy- and moisture performance considering future climate change*, Licentiate Thesis, Division of Energy and Building Design Department of Architecture and Built Environment Lund University, Faculty of Engineering LTH, Report EBD-T -- 13/16, Sweden.
- Bodart M. (2002), « *Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment, selon des critères physiques, économiques et écologiques, pour un meilleur confort visuel et thermique* », Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Appliquées Unité d'Architecture, Université Catholique de Louvain, France. pp. 40-41, 108-109.
- Bouras A. (2013), « *Étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation* », Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en génie climatique : Thermique du bâtiment et de réfrigération, Département de génie climatique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Constantine 1, Constantine, Algérie.
- Garrido, N. (2010), “*Efficiency and energy certification of residential buildings*”, Unpublished doctoral dissertation, Departament de Projectes d'Enginyeria, Universitat Politècnica de Catalunya Archives, Terrassa, Spain.

- Kaboré M. (2015), « *Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne* », Thèse de doctorat, préparée dans le cadre d'une cotutelle entre l'Université Grenoble Alpes et l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE, Département de Génie Civil, Université de Grenoble Alpes, France.
- Mandallena C. (2006), « *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation* », Thèse de doctorat en Mécanique, dans le cadre de l'Ecole Doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur BORDEAUX 1, France, pp. 49-50
- Noel J. M. (2008), « *Projet d'Initiation à la Recherche et au Développement (PIRD) : Modes de saisie et de traitement des données d'un bâtiment en vue de la simulation thermique dynamique* », Département : Génie civil et Urbanisme, Equipe : CETHIL – Thermique du Bâtiment, INSA Lyon.
- Ouahab A. (2015), « *Modélisation des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ à long terme appliquée au secteur résidentiel algérien* », Thèse de doctorat non publiée, préparée dans le cadre d'une cotutelle entre l'Université François – Rabelais de Tours et le Centre Val de Loire Université Spirit of the Loire Valley, ÉCOLE DOCTORALE «Sciences de l'Homme et de la Société », CITERES UMR 7324, équipe IPA-PE Université François – Rabelais de Tours, France, pp 57-58, 66-67, 71.
- Romani Z. (2015), « *Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants à haute efficacité énergétique* », Thèse de Doctorat en en Génie Civil, Spécialité : Energétique du Bâtiment préparée dans le cadre d'une Cotutelle entre l'Université Abdelmalek Essaâdi -Faculté des Sciences et Techniques Tanger – Maroc et l'Université de La Rochelle France, Maroc, France, pp. 76-88.

Rapports imprimés

- ADEM & le réseau MEDENER Projet MED-IEE : Indicateurs d'Efficacité Energétique pour la Méditerranée, Rapport Tendances de l'efficacité énergétique dans les pays du bassin méditerranéen, Avril 2014, p. 37
- Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (A.P.R.U.E.) sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines, « *Consommation Energétique Finale de l'Algérie : Chiffres clés Année 2005*,

Données & Indicateurs », APRUE, Alger, Edition 2007 ; p. 4-5-10-11.

- Agence nationale d'aménagement du territoire (A.N.A.T.) sous la direction de la Direction de l'urbanisme et de la construction, (2007), « *Le Groupement de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni Mester : un Espace Urbain de Cohérence et de Solidarité Intercommunale, Etude de Révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (P.D.A.U)* », Rapport Final, Tlemcen, p.17- 132.
- Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR) (2007), "Consummation d'énergie et émission de gaz à effet de serre liées aux chauffage des residences principales parisiennes", available at: http://www.lefigaro.fr/assets/pdf/APUR_Chauffage_PARIS%5B1%5D.pdf (accessed 16 August 2016).
- Centre d'études et de réalisation en urbanisme (U.R.B.A.T.) Unité de Tlemcen sous la direction de la Direction de l'urbanisme et de la construction, (2018), « *Étude de Révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (P.D.A.U) du Groupement de Tlemcen, Mansourah, Chetouane et Beni Mester : 1^{ière} et 2^{ième} phase*», Tlemcen, pp.13, 28, 94-95.
- EIA U.S. Enregy Information Adminidtration (2014), « Country Analysis Brief: Algeria » https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-pt-vue/analysis_report_on_algeria_2014_1.pdf (visité le : 16/11/2017 à 19h41)
- ENGIE (2016), « Un Monde d'Énergie », Direction de la Stratégie – Service Économie, Prix, Marchés, Édition 2016, Publiée en décembre 2016.
- FFEM & ANME (2010), « *La mise en place de la réglementation thermique et énergétique : Efficacité Énergétique dans le Bâtiment en Tunisie* », pp. 3.
- Grundström K., Johansson E., Mraissi M. et Ouahrani Dj. (2003), « Climat & Urbanisme : La relation entre le confort thermique et la forme du cadre bâti », Housing Development & Management (HDM) et Laboratoire Pub lic d'Essais et d'Etudes (LPEE) Lund, Suède, p. 94.
- Khaldoun A., Agence nationale d'aménagement du territoire (A.N.A.T.) sous la direction de la Direction de l'urbanisme et de la construction, « *Plan d'Occupation du Sol de la Médina de Tlemcen*», *Rapport 1*, A.N.A.T., Tlemcen, 1999. P.11.
- Ministère des Energies et des Mines (MÉM) (2013), « *Bilan Énergétique National de l'année 2012* », édition 2013, pp. 20-21-23-24.
- Ministère des Energies et des Mines (MÉM) (2014), « *Bilan Énergétique National de*

l'année 2013 », édition 2014,

- Ministère des Energies et des Mines (MÉM) (2015), « *Bilan Énergétique National de l'année 2014* », édition 2015,
- Ministère de l'Énergie (MÉ) (2016), “*Bilan énergétique national pour l'année 2015*”, MEM, pp. 18-19.
- Ministère de l'Énergie (MÉ) (2017), “*Bilan énergétique national pour l'année 2016*”, MEM, pp. 20-21.
- Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (RCREEE), (Avril 2010), « Appui technique/prestations de services pour l'évaluation de l'impact économique, technologique et environnemental de la réglementation nationale et des incitations relatives aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique : Etude documentaire- Algérie (Projet), Projet financé par le Ministère des Affaires Etrangères du Danemark pp.33
- Ries A. et Szytkier D., division de l'Évaluation, Agence Française de Développement AFD (2008), « Améliorer la qualité énergétique des bâtiments : les leçons de quatre programmes FFEM en Chine, au Liban et en Tunisie », Série Évaluation et capitalisation, N° 18, pp. 41-42.
- SONELGAZ : Direction des Relations avec les Médias, « Newsletter presse n°23 : Synthèse des bilans d'activités et Comptes sociaux consolidés des sociétés du Groupe Sonelgaz », Edition électronique – Juin 2013.
- TABULA Project Team: Loga, T., Diefenbach, N., Stein, B., Dascalaki, E., Balaras, C.-A., Drousa, K., Kontoyiannidis, S., Šijanec-Zavrl, M., Rakušcek, A., Corrado, V., Corgnati, S., Ballarini, I., Roarty, C., Hanratty, M., Sheldrick, B., Van-Holm, M., Renders, N., Popiolek, M., Kwiatkowski, J., Amtmann, M., Vimmr, T., Villatoro, O., Wittchen, K.-B., Kragh, J., Despretz, H., Georgiev, Z., Spets, K., Ortega, L., Lanzarote, B.-S., Jovanovic-Popovic, M. and Ignjatovic, D. (2012), “Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project – Final Project Report”, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Rheinstr. 65/D-64295 Darmstadt/GERMANY, disponible sur l'adresse: http://www.buildingtypology.eu/downloads/public/docs/report/TABULA_FinalReport.pdf (visité le 06 Février 2017).

Documents de travail

- Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (A.P.R.U.E.) sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines, « *Recueil des textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie* », édition 2010.
- Agence Nationale des Energies Renouvelables, « *Réglementation thermique et énergétique Tunisienne des nouveaux bâtiments* », Tunisie, 2004 ; pp 36-37.
- Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (A.D.E.R.E.E.) sous la tutelle du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, « *Les Eléments Techniques du Projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc* », PNUD Maroc et GEF, 2011, p.05.
- Agence Nationale des Energies Renouvelables, « *Réglementation thermique et énergétique Tunisienne des nouveaux bâtiments* », Tunisie, 2004 ; pp 36-37.
- Agence Nationale des Energies Renouvelables sous la tutelle du Ministère de l'industrie et de l'énergie avec le soutien du Programme SYNERGY, « *Zonage Climatique de la Tunisie* », Tunisie, Mai 2004.
- Bruxelles Environnement IBGE- Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement (2010), « *Isolation Thermique : Choisir des Matériaux sains et Écologiques- Utiliser des matériaux renouvelables ou abondants dans la nature, recyclables et recyclés, en prenant en compte leur écobilan* »- Guide Pratique pour la Construction et la Rénovation Durable de Petits Bâtiments- Recommandation Pratique MAT05-Professionnels.
- Chalifour A., Fortier M. et Langlois P. (2010), « *Guide des Interventions en Efficacité Energétique* », T.P. BOMA QUEBEC en collaboration avec Hydro-Québec, pp 4-7, 9-10.
- Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrée du Bâtiment (CNERIB) sous la tutelle du ministère de l'Habitat et de l'urbanisme (1998), « *Document technique réglementaire DTRC3-2 - Réglementation thermique des bâtiments d'habitation: règles de calcul des déperditions calorifiques* », Fscicule 1, CNERIB, Alger, ISBN : 9961-845-02-1, pp. 11-71.
- Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrée du Bâtiment (CNERIB) sous la tutelle du ministère de l'Habitat et de l'urbanisme (1998), « *Document technique*

réglementaire DTRC3-4 - CLIMATISATION: Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments », CNERIB, Alger.

- Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (C.N.E.R.I.B) sous la tutelle du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme (2006), « *Document Technique Réglementaire D.T.R. C3.31, Ventilation naturelle: Locaux à usage d'habitation* », CNERIB, Alger, pp. 15 –18.
- Denker, A., El Hassar, S.-K. et un groupe d'experts sur l'efficacité énergétique et la durabilité sous la direction de Baradiy, S. dans le cadre de la Coopération allemande au développement (GIZ) avec l'Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'Énergie (APRUE) (2014), “*Guide pour une construction écoénergétique en Algérie*”, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Allemagne, Alger, pp. 22-23, 34-36, 19-21, 84.
- Ouahrani Dj., “*Shading is more than added device*”, course HDM-RSS, Div. of housing and development, Lund Institute of Technology, 2007
- © 2009 DesignBuilder Software (2010), “*DesignBuilder 2.1: User's Manual*”, Royaume-Uni.

Articles de journaux (rédigés)

- Boughazi S., « *Selon le dernier rapport de la CREG - La consommation d'énergie pourrait doubler à l'horizon 2019* », La Tribune, 2 Septembre 2010. web site : www.allAfrica.com, visité le 12/10/2011.
- Chitour C. E., « *Coupures d'électricité: Une fatalité ou une responsabilité collective* », L'Expression, Lundi 13 Aout 2012 00:00 web site: http://www.lexpressiondz.com/chroniques/analyses_du_professeur_chitour/158616-une-fatalite-ou-une-responsabilite-collective.html

Sites web consultés/ Sources électroniques

- Agence Internationale de l'Énergie (EIA) (2013) <http://www.eia.gov/> (visité le : 23/01/2014).
- Ait-Cherif K. (2016), « *Maîtrise de la consommation nationale d'énergie: Quelle stratégie adopter?* », disponible sur : <http://www.algerie-eco.com/2016/10/11/maitrise-de-consommation-nationale-denergie-strategie-adopter/> (consulté le : 19/11/2017).
- Aloulou F. (2015), « *Algeria is reforming its laws to attract foreign investment in*

hydrocarbons » disponible sur :
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=22352> (consulté le : 23/11/2017).

- www.ageden.org (consulté le : 24/08/2011).
- <https://www.connaissancedesenergies.org/energies-fossiles> (consulté le : 03/12/2017)
- <https://www.connaissancedesenergies.org/les-energies-fossiles-toujours-au-coeur-du-mix-energetique-mondial-170614> (visité le 19/11/2017 à 10h57)
- https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-pt-vue/analysis_report_on_algeria_2014_1.pdf (visité le : 16/11/2017 à 19h41)
- <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/DZA/fr/EN.ATM.CO2E.KT.html> (consulté le : 04/12/2017)
- <http://mamaisonbioclimatique.blogspot.fr/p/une-maison-bioclimatique-cest-quoi.html> (consulté le : 17/11/2017)
- <http://www.algerie-meteo.com/> (consulté le : 10/11/2017)
- ECOWEB, 2002, Nouveau système Internet de suivi des consommations d'eau et d'énergie, et de gestion des déchets de patrimoines bâtis, <http://www.ecocampus.net/ecoweb/site/defaultFlash.html> (consulté le : 19/03/2018)
- <http://www.energyplus.be> (consulté le : 06/03/2014)
- <http://fr.slideshare.net/GIP-GERRI/la-reunion-energie-durable-pour-les-batiments> (consulté le : 20/06/2016).

Données

- Office National de Météorologie, Station de Safsaf Tlemcen 2008.
- Direction du logement de Tlemcen, 2017.
- Direction générale de SONELGAZ de Tlemcen, 2015.

Logiciels utilisés

- DesignBuilder© Thermal Simulation Software, USA. 2.2.4.001.
- Energy plus version 4.0.0.
- Meteotest, Meteonorm, Climate database software, version 5.1.
- Spss 16.0.

Glossaire :**A****APRUE**

L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par décret présidentiel en 1985, placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines. Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique. Dans le cadre de la loi n° 99- 09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'Energie, l'agence a pour missions :

- La coordination et l'animation de la politique nationale de maîtrise de l'énergie ;
- La mise en œuvre et le suivi du Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME) ;
- La sensibilisation et la diffusion de l'information sur la maîtrise de l'énergie en direction des différentes cibles (grand public, professionnels, milieu scolaire...);
- Le montage de programmes et de projets sectoriels en partenariat avec les secteurs concernés (Industrie, Bâtiment, Transports, ...).

Audit énergétique

Etude, calcul et examen des usages et consommations d'énergie d'un bâtiment. L'objectif étant d'identifier les gisements de performance énergétique pour optimiser les installations existantes en les renouvelant ou les rénovant.

B**Bâtiment à énergie positive (BEPOS)**

Bâtiment dont la performance énergétique est telle qu'il produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. Les moyens de production énergétique des bâtiments BEPOS sont la plupart du temps le solaire

photovoltaïque raccordé au réseau électrique, système le plus efficace et le plus rentable.

BEPOS et PassivHaus

Un bâtiment à énergie positive produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. Une étape "préliminaire", le bâtiment passif, trouve son origine dans la norme allemande PassivHaus.

La maison passive est une maison à consommation énergétique extrêmement limitée, justifiant donc d'un système d'efficacité énergétique active particulièrement performant.

Elle est dite passive du fait qu'elle profite de sa propre production d'énergie (solaire photovoltaïque notamment), d'une gestion de son énergie optimisée à son maximum et de ses performances passives (isolation) pour se suffire à elle-même.

Elle repose sur les grands principes de :

- gestion des systèmes de ventilation et de récupération de chaleur,
- captation d'énergie solaire et production d'énergie,
- limitation et contrôle des dépenses électriques,
- analyse et optimisation des systèmes énergétiques,
- installation de systèmes de variation de vitesse,
- isolation thermique.

La maison passive a une consommation inférieure à 15 kWhEP/m²/an, quand un label BBC impose un maximum de 50 kWh/m²/an jugé déjà très performant.

Bâtiment intelligent

Le bâtiment intelligent améliore la sécurité et le confort de ses occupants et de son espace tout en optimisant les ressources énergétiques nécessaires à son fonctionnement. Pour ce faire, il bénéficie à la fois de systèmes d'efficacité énergétique, de systèmes de domotique, de systèmes de contrôle des installations (éclairage, chauffage, etc.). Il facilite l'usage des occupants tout en réduisant son empreinte écologique.

Bâtiment passif

Bâtiment dont la consommation énergétique globale est compensée par sa propre production. La principale source de production d'énergie est le photovoltaïque solaire.

Bâtiment résidentiel

Bâtiment ou partie de bâtiment destiné au logement individuel ou collectif avec occupation permanente ou temporaire.

Bio-Energie : La bioénergie est le résultat de la libération de l'énergie contenue dans des combustibles produits à partir de la biomasse. Cette dernière est en fait un produit de l'énergie solaire emmagasinée par l'activité photosynthétique des plantes.

Biogaz

Gaz combustible produit par un processus de décomposition et de fermentation de la matière organique (animale ou végétale). Il est essentiellement composé de méthane et de dioxyde de carbone. L'énergie tirée des biogaz vient essentiellement de la réutilisation du méthane, et représente ainsi l'une des rares formes renouvelables d'énergie fossile.

Biomasse

Masse totale des organismes vivants occupant à un instant et dans un paramètre déterminé, un biotope (écosystème). Sur un plan énergétique, la biomasse est l'ensemble de la masse énergétique issue de la matière organique végétale ou animale.

C**CO₂**

Abréviation chimique pour dioxyde de carbone. L'un des principaux et des plus nocifs gaz à effet de serre.

Contrôle

Action de vérification de l'état ou de la situation de quelque chose au regard d'une norme ou d'un objectif fixé.

Sur un plan énergétique, le contrôle des performances électriques revient à l'analyse et la vérification de la consommation réelle du bâtiment. Soit dans un cadre de vérification de bonne tenue des objectifs fixés, soit dans un cadre de contrôle de la situation du bâtiment, en vue d'une rénovation énergétique sur les principaux gisements d'amélioration identifiés.

CPE - Contrat de Performance Énergétique

Le CPE fait partie du panel d'outils publics du Grenelle visant à relever le défi de la performance énergétique. Il permet à une société de services d'efficacité énergétique de financer à la place du propriétaire les travaux requis pour atteindre un niveau de performance contractuellement défini. L'entreprise partenaire investit dans le projet de rénovation ou d'installation, et récupère son capital au travers des économies réalisées par le propriétaire sur l'énergie consommée.

D

Déphasage : laps de temps compris entre le moment où la température a été la plus élevée à l'extérieur et celui où elle est la plus élevée à l'intérieur.

C'est donc le temps que met la chaleur du soleil à traverser une paroi donnée (toiture, mur) ; en général, l'objectif est d'atteindre un déphasage de 10 à 12 heures, par exemple entre 14 H et 2 H.

Domotique

Ensemble des techniques visant à intégrer dans l'habitat tous les automatismes en matière de sécurité, de gestion de l'énergie, de communication, etc. Ils améliorent le confort et la simplicité d'usage du bâtiment, tout en diminuant sa consommation énergétique.

DPE - Diagnostic de Performance Energétique

Intégré en 2006 dans le Code de la construction et de l'habitation, le DPE est obligatoire depuis cette date sur les ventes, et depuis le 1er juillet 2007 sur les locations. Réalisé par un professionnel assermenté, ce document comporte des informations essentielles à la mesure de la performance énergétique du logement et ses émissions de GES. Il présente enfin des solutions d'amélioration de sa consommation énergétique.

Il a une visée purement informative et incitative à la rénovation énergétique. Il est obligatoire, mais ne présente pas de valeur légale attestant fermement de la consommation réelle du logement et/ou bâtiment.

E**Écosystème**

Système formé par un environnement (le biotope) et par l'ensemble des espèces animales et végétales qui le composent, y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent. En cela, un écosystème est totalement autonome.

Efficacité énergétique

Rendement énergétique d'un processus, d'un appareil ou d'un bâtiment par rapport à l'apport en énergie qu'il requiert pour son bon fonctionnement.

Une efficacité énergétique optimale se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu.

On distingue alors l'efficacité énergétique active, qui intervient sur les systèmes de contrôle et de gestion des besoins en énergie (flux d'énergie, installations électriques, appareillages, etc.), de l'efficacité énergétique passive, qui représente l'enveloppe d'un bâtiment (son isolation).

Empreinte écologique

Elle représente l'atteinte portée à l'environnement naturel du fait de l'utilisation de l'énergie par l'homme et son activité : émission de GES, accumulation de déchets, etc.

L'empreinte écologique d'un bâtiment représente son impact sur l'écologie au regard des dégâts qu'il impose à la nature (production de l'énergie qu'il consomme, émissions de GES du fait de la consommation de cette énergie, mais aussi de la fabrication des matériaux de construction, etc.).

Énergie

Puissance physique d'un élément, lui permettant de réagir. En termes scientifiques et physiques, l'énergie est la grandeur caractérisant un système physique, lequel garde la même valeur au cours de toutes ses transformations internes et exprimant sa capacité à modifier l'état de systèmes connexes reliés.

Énergie fossile

Ensemble des énergies issues de gisements provenant du sol et du sous-sol terrestre (gaz, pétrole, charbon) et qui se sont constituées par un processus de fossilisation de végétaux sur une période de millions d'années.

Leur combustion émet des gaz à effet de serre, principalement du CO₂.

Énergie primaire

L'énergie primaire représente la consommation finale totale énergétique ajoutée à la consommation d'énergie nécessaire à la production et au transport de l'énergie finale. En matière d'électricité, 1 kWh d'énergie finale représente 2,58 kWh d'énergie primaire. Dans le calcul des consommations énergétiques du bâtiment et notamment dans le cadre des normes RT, la consommation énergétique annoncée est exprimée en énergie primaire (50 kWhEP/m²/an par exemple pour la

RT 2012). Énergie finale = énergie primaire + énergie consommée pour la transformation et le transport

Energie secondaire

Ces énergies primaires sont transformées en énergies secondaires : produits pétroliers raffinés dont les carburants automobiles, électricité... Cette transformation d'une énergie en une autre se fait toujours — c'est une loi fondamentale de la physique — avec une perte d'énergie, si bien que la transformation d'une énergie primaire en énergie secondaire « consomme de l'énergie primaire ». Le ratio entre l'énergie secondaire produite et l'énergie primaire utilisée s'appelle le « rendement » de l'unité de transformation d'énergie. Par exemple, le rendement d'une centrale électrique qui fabrique de l'électricité en brûlant du gaz et du charbon est de 30 à 50%.

Energie finale

Ce sont celles qui sont utilisées à la satisfaction des besoins de l'homme. La satisfaction des besoins peut être directe, si l'énergie est consommée par un être humain au cours d'un usage domestique (se chauffer, travailler sur son ordinateur, se déplacer en voiture), ou indirecte si elle est utilisée dans la production de biens ou de services destinés à la consommation humaine.

La consommation d'énergie finale est soit une consommation directe d'énergie primaire non transformée, comme le charbon brûlé sous les chaudières industrielles dans la chimie ou injecté dans les fours des cimenteries, soit une consommation d'énergie secondaire comme l'essence ou l'électricité.

Consommation d'énergie primaire et finale

En résumé, la consommation d'énergie finale est égale à la consommation d'énergie primaire moins toutes les pertes d'énergie au long de la chaîne industrielle

qui transforme les ressources énergétiques en énergies utilisées dans la consommation finale.

Énergivore

Qui consomme beaucoup d'énergie. Le plus souvent, ce terme est utilisé pour spécifier les éléments « qui consomment le plus » d'énergie.

EnR - énergie renouvelable

Ensemble des énergies dites « propres ». Elles sont produites par différents processus naturels (rayonnement solaire, vent, bois, chute d'eau, géothermie, etc.) et permettent une transformation directe en énergie. Contrairement aux énergies fossiles, les EnR sont inépuisables et n'émettent pas de gaz à effet de serre. Naturelles, elles ne sont cependant pas illimitées et sont dépendantes des ressources dont elles tirent l'énergie (en fonction de la force du vent, des intempéries, etc.).

Éolien

L'énergie éolienne est issue de l'exploitation de la force du vent. Une éolienne ou aérogénérateur est un système complet et autonome permettant de convertir l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. La plupart du temps sur un axe vertical, l'aérogénérateur est composé d'un mât et d'un rotor équipé de pales, lesquelles entraînées par la force du vent créent l'énergie.

Enquête

Étude minutieuse et approfondie, exécutée par un enquêteur, soit auprès d'un groupe d'individu ou d'un individu isolé. Une enquête consiste en une collecte d'informations qualitatives et/ou quantitatives relatives à une population déterminée, dans une situation déterminée, dans le but d'en déduire de caractéristiques d'ensemble. Une enquête est une étude d'un problème social, et s'effectue classiquement par voie de questionnaire ou

de sondage, réalisée sur un échantillonnage représentatif.

Enquête semi ouverte

Enquête réalisée à l'aide d'un questionnaire comprenant deux types de questions : les questions fermées, où l'enquêté est contraint et doit répondre à l'aide d'une liste préétablie de réponses ; les questions ouvertes, auxquelles le sujet répond s'il le désire, et donne les détails et commentaires de façon libre. Les questions ouvertes peuvent avoir pour objectif d'aider à l'identification de critères importants, que l'enquêteur aurait omis.

Enquête accompagnée

Enquête où l'enquêteur accompagne l'enquêté pour ses réponses. Ce mode d'enquête permet d'avoir un retour garanti sur les questionnaires, mais est très consommateur en temps. La présence de l'enquêteur peut permettre de mieux expliquer les questions, mais peut aussi biaiser les réponses.

G

GES - Gaz à effet de serre

Ils sont des constituants gazeux de l'atmosphère et peuvent être naturels ou artificiels. Les gaz à effet de serre absorbent le rayonnement solaire renvoyé par la Terre et empêchent l'énergie de s'échapper de la surface du globe. En cela, ils maintiennent la chaleur dans l'atmosphère terrestre. Ces gaz participent directement au réchauffement climatique. Ils sont principalement dus aux pollutions émises par les industries, les véhicules, etc. De manière, générale, par l'activité humaine.

Les principaux gaz à effet de serre sont : la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃), les gaz fluorés (HFC, PFC, SF₆), etc. La vapeur d'eau et l'ozone ne sont pas couverts par le Protocole de Kyoto car leur cycle de vie est trop court. On comptabilise

généralement les GES en pouvoir de réchauffement global exprimé en CO₂e (équivalent CO₂).

H

H.Q.E. (haute qualité environnementale):

Démarche de construction composée de 14 objectifs à atteindre répartis en 4 catégories:

➤ **Ecoconstruction :**

- 1) Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat ;
- 2) Choix intégré des procédés et produits de construction ;
- 3) Chantier à faibles nuisances ;

➤ **Ecogestion :**

- 4) Gestion de l'énergie ;
- 5) Gestion de l'eau ;
- 6) Gestion des déchets d'activités ;
- 7) Entretien et maintenance

➤ **Confort :**

- 8) Confort hygrothermique ;
- 9) Confort acoustique ;
- 10) Confort visuel ;
- 11) Confort olfactif ;

➤ **Santé :**

- 12) Conditions sanitaires ;
- 13) Qualité de l'air ;
- 14) Qualité de l'eau.

I

Inertie thermique

Le potentiel de stockage thermique d'un local ou d'une maison. C'est la capacité d'un bâtiment à emmagasiner de la chaleur (ou de la fraîcheur). La propriété des constructions à forte inertie est de conserver une température stable et de se réchauffer ou se refroidir très lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température

Intensité énergétique

L'intensité énergétique est un indicateur désignant le rapport entre la consommation énergétique d'un pays et son produit

intérieur brut (PIB). Elle permet de mesurer le degré d'« efficacité énergétique » d'une économie. Cet indicateur peut aussi être appliqué par secteur : transports, bâtiments, etc. Au niveau mondial, l'intensité énergétique peut, par exemple, être exprimée en tonne d'équivalent pétrole (tep) par millier de dollars de PIB. Elle dépend entre autres de la structure de l'économie considérée (poids des industries et des services), de l'efficacité énergétique des transports et des bâtiments, des politiques de maîtrise de la consommation mises en œuvre mais aussi de facteurs climatiques ou du niveau de vie de la population. Une intensité énergétique élevée correspond à une économie « gourmande » en énergie pour un niveau de PIB donné.

Notons que les statistiques d'intensité énergétique sont souvent couplées à des statistiques d'« intensité carbone » qui mesurent les émissions de CO₂ par point de PIB

Isolation thermique

Ensemble des procédés, matériaux et techniques mis en œuvre pour réduire les échanges de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

K

kWh_{ep}

Kilowatt par heure d'énergie primaire. Unité de mesure des consommations électriques.

L

Label

Les labels comme les certifications sont des marques, des outils de communication. Matérialisée par un nom et un logo, la marque peut être apposée sur des produits ou bâtiments (comme HQE® *Haute Qualité Environnementale* ou LEED: Leadership in Energy and Environmental Design, par

exemple) ou sur services ou démarches (comme HQE®, par exemple).

P

Performance énergétique

Quantité d'énergie consommée (ou estimée) pour répondre aux besoins de bon fonctionnement et de confort d'un bâtiment. Le calcul de la performance énergétique porte principalement sur les performances de chauffage, d'éclairage, d'eau chaude sanitaire, de systèmes de refroidissement, de ventilation et d'alimentation des moteurs.

Un bâtiment performant sur le plan énergétique est un bâtiment qui consomme peu à confort et utilisation égale, et qui fonctionne grâce à des systèmes d'efficacité énergétique optimisés et adaptés.

Photovoltaïque

Un système photovoltaïque est un ensemble de composants et sous-systèmes utilisés pour convertir le rayonnement solaire en énergie électrique (voir solaire thermique et solaire photovoltaïque).

Pile à combustible

La plus courante des piles à combustible est la pile à hydrogène. Elle génère de l'électricité par l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (l'hydrogène), cumulée à la réduction d'un oxydant sur une seconde électrode. La réaction chimique est augmentée par un catalyseur.

Puits canadien : Le puits canadien est un système de chauffage géothermique. Contrairement à un circuit de VMC traditionnel, l'air introduit dans la maison a d'abord circulé dans un conduit enfoui à environ 2m sous le sol. A cette profondeur, la température varie peu, entre 10 et 16°C selon la période de l'année. L'air aspiré est alors plus chaud en hiver ou plus frais en été d'une dizaine de degré.

R**Rénovation énergétique**

Ensemble des actions mises en œuvre pour rénover un bâtiment en vue d'améliorer ses performances énergétiques. Ces actions peuvent porter sur l'optimisation des systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie, sur l'achat de systèmes électriques et d'appareillages plus performants, sur des travaux d'isolation d'un bâtiment, sur l'installation de systèmes de production d'énergie (solaire photovoltaïque par exemple), etc.

S**Solaire photovoltaïque**

Energie renouvelable utilisant le rayonnement du soleil pour produire de l'électricité.

Solaire thermique

Le solaire thermique permet de produire de la chaleur à une température donnée. L'utilisation la plus courante est l'alimentation du bâtiment en eau chaude sanitaire et chauffage.

Les capteurs solaires permettent la conversion du rayonnement solaire en chaleur.

Spectre : bande composée d'une succession de raies ou de plages lumineuses, indiquant la répartition des fréquences qui constituent un rayonnement électromagnétique, notamment lumineux.

Spectre solaire : spectre obtenu avec la lumière du soleil.

Stockage d'énergie

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Par extension, le terme "stockage d'énergie" est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie. La maîtrise du stockage de l'énergie est

particulièrement importante pour valoriser les énergies alternatives, telles que l'éolien ou le solaire, sûres et renouvelables, mais par nature intermittentes.

Stockage de l'énergie thermique

Le stockage de chaleur peut être réalisé à travers deux phénomènes différents associés aux matériaux qui assurent le stockage. On parle alors de stockage par chaleur sensible et de stockage par chaleur latente.

Réduction de l'amplitude :

Atténuation des variations entre la température extérieure et la température intérieure. Si, par exemple, la température extérieure est de 30°C et la température intérieure de 3°C, la valeur de réduction d'amplitude est de 10 (30/3°C) : la variation de température, à travers la construction de l'extérieur vers l'intérieur, est réduite d'un dixième.

T**TEP - tonne d'équivalent pétrole**

Unité conventionnelle servant de base à la réalisation de bilans énergétiques multi énergies. Elle se veut point de repère et prend pour référence le pétrole, l'énergie fossile la plus largement consommée dans le monde.

Une tep est l'énergie contenue dans une tonne de pétrole, soit 1165 litres de fioul. Le pouvoir calorifique d'1 tonne d'équivalent pétrole vaut, par définition, 41,868 Giga joules (Gj).

V**Ventilation mécanique**

Ventilation réalisée par un ou plusieurs ventilateurs.

Ventilation naturelle

Ventilation réalisée sous l'effet du vent et de la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur.

Annexe

Annexe A : Textes réglementaires**Annexe A-1 : Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999
relative à la maîtrise de l'énergie****Le Président de la République**

Vu la Constitution, notamment ses articles 122 et 126;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénal;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénale;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil;

Vu l'ordonnance n° 75-59 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code de commerce;

Vu la loi n° 79-07 du 21 juillet 1979, modifiée et complétée, portant code des douanes;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu la loi n° 84-17 du 7 juillet 1984, modifiée et complétée, relative aux lois de finances;

Vu la loi n° 85-07 du 6 août 1985 relative à la production, au transport, à distribution d'énergie électrique et à la distribution publique du gaz;

Vu la loi n° 86-14 du 19 août 1986, modifiée et complétée, relative aux activités de prospection, de recherche, d'exploitation et de transport par canalisation des hydrocarbures;

Vu la loi n° 87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire;

Vu la loi n° 87-09 du 10 février 1987 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière;

Vu la loi n° 88-17 du 10 mai 1988 portant orientation et organisation des transports terrestres;

Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur;

Vu la loi n° 89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme;

Vu le décret législatif n° 93-12 du 19 Rabie Ethani 1414 correspondant 5 octobre 1993 relatif à la promotion de l'investissement;

Vu le décret législatif n° 94-01 du 3 Chaâbane 1414 correspondant au 15 janvier 1994 relatif au système statistique;

Après adoption par le Parlement;

Promulgue la loi dont la teneur suit:

Article 1er. - La présente loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.

TITRE I

DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Chapitre I

Définitions

Art. 2. - La maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement.

Art. 3. - L'utilisation rationnelle de l'énergie couvre l'action d'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production d'énergie, de la transformation d'énergie et de la consommation finale dans les secteurs de l'industrie, des transports, du tertiaire et du domestique,.

Art. 4. - Le développement des énergies renouvelables, vise l'introduction et la promotion des filières de transformation des énergies renouvelables exploitables, notamment l'énergie solaire, la géothermie, (la biomasse), l'électricité hydraulique et l'énergie éolienne.

Art. 5. - La réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement consiste en la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des gaz d'échappement en milieu urbain.

Chapitre II

Principes et objectifs

Art. 6. - La maîtrise de l'énergie vise à orienter la demande d'énergie vers une plus grande efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique nationale, dans le cadre de la politique énergétique nationale.

Le modèle de consommation énergétique nationale, en tant que cadre de référence pour l'orientation et la gestion de la demande d'énergie, repose sur les options, énergétiques suivantes:

- l'utilisation prioritaire et maximale du gaz naturel, notamment pour les usages thermiques finaux;
- le développement de l'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés (GPL), en complémentarité avec le gaz naturel;

- l'orientation de l'électricité vers ses usages spécifiques;
- la promotion des énergies renouvelables;
- la réduction progressive de la part des produits pétroliers dans le bilan de la consommation nationale d'énergie;
- la conservation de l'énergie, la substitution inter-énergies et les économies d'énergie au niveau de la production de l'énergie, de sa transformation et de son utilisation.

Art. 7. - La maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à travers notamment:

- la préservation et l'accroissement des ressources énergétiques nationales non renouvelables;
- la promotion de la recherche/développement, de l'innovation technique et la diffusion des technologies efficaces;
- l'amélioration du cadre de vie, la protection de l'environnement et la contribution à la recherche des meilleurs équilibres en matière d'aménagement du territoire;
- la réduction des besoins d'investissements dans le secteur de l'énergie;
- la satisfaction des besoins énergétiques nationaux;
- l'amélioration de la productivité nationale et la compétitivité des entreprises au niveau national et international.

TITRE II

MODALITES DE CONCRETISATION DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Art. 8. - La mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie repose notamment sur les obligations, les conditions et les moyens nécessaires suivants:

- l'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique;
- le contrôle d'efficacité énergétique;
- l'audit énergétique obligatoire et périodique;
- le programme national de maîtrise de l'énergie;
- la recherche/développement;
- le financement de la maîtrise de l'énergie;
- les mesures d'encouragement et d'incitation;
- la coordination des actions de maîtrise de l'énergie;
- l'amélioration de la connaissance du système énergétique; la sensibilisation des utilisateurs.

Chapitre I

Normes et exigences d'efficacité énergétique

Art. 9. - Des normes et exigences d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, établies dans le cadre de réglementations spécifiques, régissent les constructions et bâtiments neufs ainsi que les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers.

Section I

L'isolation thermique dans les bâtiments neufs

Art. 10. - Les normes d'isolation thermique dans les bâtiments neufs sont fixées par voie réglementaire.

Les normes d'isolation thermique sont des normes de construction et de rendement énergétique qui favorisent les économies d'énergie.

Art. 11. - La réglementation thermique dans les bâtiments neufs, s'appliquant à la conception et à la construction des bâtiments, détermine:

- les catégories de bâtiments et les normes de rendement énergétique y afférentes, selon les données climatiques des lieux où sont situés les bâtiments;
- les normes techniques relatives à la construction se rapportant à la résistance thermique, à l'étanchéité des ouvertures de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, à la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'installation, à la fenestration, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation;
- les modalités relatives à la certification et au contrôle de conformité avec les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie.

Art. 12. - A titre transitoire, le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments individuels.

Les modalités d'application du présent article sont fixées par voie réglementaire.

Section 2

Les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers

Art. 13. - Les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, s'appliquant aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers, concernent tout appareil neuf vendu ou utilisé sur le territoire national.

Art. 14. - Les rendements énergétiques des appareils doivent être étiquetés sur les appareils et sur leur emballage.

Art. 15. - La réglementation sur l'efficacité énergétique doit déterminer notamment:

- les catégories d'appareils et les normes relatives à leur rendement énergétique;
- la procédure de certification ou d'homologation des appareils;
- le système d'étiquetage des appareils, notamment la forme, le matériau, la dimension, la couleur, la façon d'apposer et la localisation des étiquettes ou des marques distinctives qu'ils doivent comporter.

Chapitre II

Contrôle d'efficacité énergétique

Art. 16. - Il est institué un contrôle d'efficacité énergétique qui permet de constater et de certifier la conformité aux normes relatives au rendement énergétique des équipements, matériels et appareils.

Art. 17. - Le contrôle d'efficacité énergétique est assuré par des organismes et/ou des laboratoires compétents, chargés de la certification et de l'homologation et agréés par les ministères concernés.

Art. 18. - Le contrôle d'efficacité énergétique s'applique, notamment, aux:

- bâtiments neufs, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des bâtiments;
- appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers raffinés, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des appareils ainsi que le contrôle de la conformité de l'étiquetage des appareils;
- véhicules et engins à moteurs par inspection périodique, sur la base de normes établies à l'échelle nationale, en vue de s'assurer de leur fonctionnement dans des conditions conformes aux normes de rendement énergétique et normes de l'environnement.

Art. 19. - Les modalités d'organisation et d'exercice du contrôle d'efficacité énergétique sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre III

L'audit énergétique

Art. 20. - Il est institué un système d'audit énergétique obligatoire et périodique pour établir le suivi et le contrôle de la consommation d'énergie des établissements grands consommateurs d'énergie dans les secteurs de l'industrie, du transport et du tertiaire, en vue d'assurer l'optimisation énergétique de leur fonctionnement.

Art. 21. - L'audit énergétique comprend un ensemble d'investigations techniques et économiques, des contrôles de performances énergétiques des équipements et des procédés techniques, l'identification des causes de la surconsommation de l'énergie et la proposition d'un plan d'actions correctives.

Art. 22. - Les audits énergétiques sont effectués par les bureaux d'études et les experts agréés par le ministère chargé de l'énergie et sous son contrôle.

Art. 23. - Les seuils de consommation énergétique déterminant les critères d'assujettissement des établissements à l'audit, la périodicité de l'audit, les modalités d'exercice de l'audit énergétique et d'agrément des auditeurs sont fixés par voie réglementaire.

Chapitre IV

La sensibilisation des utilisateurs

Art. 24. - Des actions de formation, de perfectionnement technique et de démonstration, en direction des administrations, des collectivités territoriales et des établissements publics et privés, doivent être mises en œuvre pour promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie.

Ces actions et ces opérations sont définies dans le cadre du programme d'efficacité énergétique prévu dans le cadre de la présente loi.

Art. 25. - Des actions de sensibilisation, d'éducation et d'information en direction, notamment du grand public et du milieu scolaire, seront mises en œuvre en vue de vulgariser et de promouvoir la culture des économies d'énergie. Ces actions doivent être inscrites dans les programmes de l'éducation nationale, de communication et de publicité éducative, établis par l'Etat.

Chapitre V

Le programme national de maîtrise de l'énergie

Art. 26. - Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans les domaines suivants:

- l'économie d'énergie,
- l'économie inter-énergétique,
- la promotion des énergies renouvelables,
- l'élaboration des normes d'efficacité énergétique,
- la réduction de l'impact énergétique sur l'environnement,
- la sensibilisation, l'éducation, l'information et la formation en matière d'efficacité énergétique,
- la recherche/développement en efficacité énergétique.

Le programme national pour la maîtrise de l'énergie revêt un caractère pluriannuel.

Art. 27. - La tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie peut faire l'objet d'une révision et d'une consolidation par l'inscription de mesures, d'actions ou de projets d'efficacité énergétique jugés prioritaires.

Art. 28. - Les modalités d'élaboration du programme national pour la maîtrise de l'énergie sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VI

Le financement de la maîtrise de l'énergie

Art. 29. - Un fonds national pour la maîtrise de l'énergie est institué pour le financement du programme national pour la maîtrise de l'énergie.

Art. 30. - Le fonds national pour la maîtrise de l'énergie est alimenté par:

- les taxes graduelles sur la consommation nationale d'énergie,
- les niveaux des taxes nécessaires à l'approvisionnement du fonds, fixés par la loi de finances, sont déterminés sur la base des besoins de financement de la tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie,
- les subventions de l'Etat,
- le produit des amendes prévues dans le cadre de la présente loi,
- des taxes sur les appareils énergivores.

Art. 31. - On entend par appareils énergivores, tout appareil fonctionnant à l'électricité, au gaz et au produit pétrolier dont la consommation dépasse les normes spécifiques de consommation d'énergie fixées par la réglementation.

Art. 32. - Les modalités d'utilisation des produits du fonds seront fixées par voie réglementaire.

Chapitre VII

Les mesures d'incitation et d'encouragement

Art. 33. - Des avantages financiers, fiscaux et en matière de droits de douane peuvent être accordés pour les actions et les projets qui concourent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

En outre, ces actions et projets bénéficient des avantages prévus dans le cadre de la législation et la réglementation en matière de promotion des investissements et au bénéfice des activités déclarées prioritaires.

Art. 34. - Les conditions et les modalités d'accès à ces avantages sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VIII

La connaissance du système énergétique national

Art. 35. - L'organisation, le développement, la gestion et la conservation des données statistiques sur l'énergie sont assurés par un organisme national compétent.

Les données statistiques sur l'énergie sont centralisées au sein de cet organisme afin d'assurer le traitement et la diffusion d'informations statistiques fiables pour parfaire la connaissance du système énergétique national et permettre:

- la maîtrise de la consommation énergétique nationale, notamment à l'aide des enquêtes de consommation de l'énergie;
- l'élaboration du bilan énergétique national;
- l'élaboration d'études prévisionnelles sur la demande d'énergie et l'évaluation des potentiels d'efficacité énergétique;
- la mise en œuvre, dans les meilleures conditions; des actions d'efficacité énergétique définies dans le cadre du programme national pour la maîtrise de l'énergie;
- l'évaluation périodique du développement de l'efficacité énergétique;

- l'évaluation périodique des performances de l'efficacité économique du système énergétique.

Art. 36. - Les modalités d'organisation, de la collecte, du traitement de la diffusion et de la conservation des données énergétiques sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre IX

La coordination des actions de maîtrise de l'énergie

Art. 37. - La mise en œuvre des mesures et des actions de maîtrise de l'énergie est confiée à un organisme national compétent au niveau central.

Art. 38. - L'opération de coordination technique peut être confiée à un ou plusieurs autres organismes.

Art. 39. - Compte tenu du caractère d'utilité publique de la maîtrise de l'énergie, le ou les organismes chargés de la maîtrise de l'énergie bénéficient:

- de subventions annuelles correspondant à des sujétions de service public définies dans le cadre du cahier des charges;
- des subventions en matière de fiscalité et de droits de douane pour l'acquisition d'équipements, d'instruments et autres moyens de travail nécessaires à la prise en charge de ces missions de service public.

TITRE III

CONTROLE ET SANCTIONS

Art. 40. - La non-conformité aux normes établies par la réglementation d'isolation thermique dans les bâtiments neufs expose les bénéficiaires des travaux aux mesures et sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur en matière de construction et d'urbanisme.

Art. 41. - Les appareils neufs, vendus ou utilisés sur le territoire national, fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, dont la consommation est excessive par rapport aux normes d'efficacité énergétique établies, sont soumis à une taxe fixée par la législation.

Art. 42. - Les appareils usagés et les véhicules à moteur usagés non conformes aux normes d'efficacité énergétiques sont interdits à l'importation.

Sont exclus, conformément aux lois en vigueur, les appareils et les véhicules à usage personnel importés par les particuliers.

Art. 43. - Toute infraction aux dispositions relatives à l'étiquetage des rendements énergétiques expose les contrevenants aux sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur relatives à l'étiquetage.

Art. 44. - Le contrôle d'efficacité énergétique des véhicules à moteurs est régi par les dispositions législatives et réglementaires en vigueur en matière de contrôle technique et périodique des véhicules à moteurs et en matière de contrôle des émissions atmosphériques.

Art. 45. - Les établissements soumis à l'obligation de l'audit énergétique et qui ne s'y conforment pas dans un délai de six (6) mois, à compter de la date qui leur sera notifiée, sont passibles d'une amende équivalente au double du coût de l'audit.

Ces établissements restent soumis à l'obligation de l'audit et un bureau d'audit sera désigné obligatoirement pour réaliser l'audit auprès de l'établissement concerné.

Art. 46. - Les exploitants d'établissements, d'infrastructures ou d'équipements soumis au contrôle sont tenus de faciliter l'accès de leurs locaux et équipements aux agents mandatés à cet effet.

En cas de refus, et après une mise en demeure, les exploitants s'exposent à une amende égale au montant de la facture énergétique annuelle déterminée sur la base du dernier exercice.

Art. 47. - Le non respect des dispositions prévues à l'article 33 de la présente loi relatif aux mesures d'incitation et d'encouragement entraîne la déchéance partielle ou totale des avantages octroyés.

Art. 48. - Les infractions aux dispositions de la présente loi sont constatées par des procès-verbaux, établis par des agents dûment mandatés, conformément aux procédures spécifiques qui sont fixées par voie réglementaire.

Art. 49. - Les procès-verbaux constatant les infractions sont adressés au procureur de la République, avec copie au ministère chargé de l'énergie.

Art. 50. - Toute infraction aux dispositions de la présente loi et des textes pris pour son application est réprimée conformément aux dispositions du code pénal.

Art. 51. - La présente loi sera publiée au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 15 Rabie Ethani 1420

Correspondant au 28 juillet 1999.

Abdelaziz BOUTEFLIKA.

Annexe A-2 : Décret exécutif n° 2000-90 du 19 Moharram 1421 correspondant au 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport conjoint du ministre de l'habitat et du ministre de l'énergie et des mines;

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2);

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme;

Vu la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, notamment ses articles 11 et 12;

Vu le décret présidentiel n° 99-299 du 15 Ramadhan 1420 correspondant au 23 décembre 1999 portant nomination du Chef du Gouvernement;

Vu le décret présidentiel n° 99-300 du 16 Ramadhan 1420 correspondant au 24 décembre 1999 portant nomination des membres du Gouvernement;

Décète:

Article 1er.- En application des dispositions des articles 11 et 12 de la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 susvisée, le présent décret a pour objet de fixer la réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Art.2. - Pour l'application des dispositions, du présent décret, il est entendu par bâtiments neufs :

- Les bâtiments neufs à usage d'habitation;
- Les bâtiments neufs à un usage autre que l'habitation;
- La partie de construction réalisée comme extension du bâtiment existant.

Art.3. - Pour l'application des dispositions du présent décret, il est, entendu par bâtiments individuels, les bâtiments neufs individuels à usage d'habitation.

Art.4. - Le maître d'ouvrage est tenu de s'assurer que la conception et la construction des bâtiments neufs obéissent aux principes suivants :

- Les caractéristiques thermiques des bâtiments neufs doivent être telles que les transferts de chaleur par transmission thermique, à travers les parois constituant l'enveloppe de ces bâtiments, soient en adéquation avec les niveaux de transfert de chaleur requis;
- Les systèmes de ventilation dans les bâtiments neufs doivent être tels que le renouvellement d'air soit en adéquation avec le niveau de renouvellement d'air requis;
- Les systèmes de chauffage d'hiver et de climatisation d'été dans les bâtiments doivent comporter des dispositifs automatiques de régulation.

Art. 5. - Les caractéristiques d'isolation thermique dans les bâtiments neufs doivent répondre à l'une au moins des deux conditions ci-après:

- Les déperditions calorifiques calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une limite appelée «déperdition de référence»;
- Les apports calorifiques calculés pour la période d'été doivent être inférieurs à une limite appelée «apport de référence».

Art. 6. - Les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation sont fixées dans des documents techniques règlementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat.

Art.7. - Les valeurs de références relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à un usage autre que d'habitation sont fixées dans des documents techniques règlementaires (D.T.R) approuvés par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés.

Art. 8. - Sont également définies dans les documents techniques règlementaires (D.T.R.) visés dans les articles 6 et 7 ci-dessus :

- les méthodes relatives au calcul des déperditions et des apports calorifiques;
- les zones climatiques correspondant aux périodes d'hiver et d'été ainsi que les valeurs des paramètres du climat extérieur associés aux zones climatiques;
- les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux.

Art. 9. - Le débit de renouvellement d'air induit par le système de ventilation doit être :

- inférieur à une limite appelée débit d'air neuf de référence;
- supérieur ou égal à un débit minimal d'air neuf.

Art.10. - Le débit minimal d'air neuf et le débit d'air neuf de référence des bâtiments neufs à usage d'habitation sont définis dans des documents techniques règlementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat.

Art.11. - Le débit minimal d'air neuf et débit d'air neuf de références des bâtiments neufs à usage autre que d'habitation sont définis dans des documents techniques règlementaires (D.T.R) approuvés par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés.

Art.12. - Sont également définies dans les documents techniques règlementaires visés dans les articles 10 et 11 ci-dessus, les méthodes relatives au calcul du débit de renouvellement d'air.

Art.13. - Les ouvrants, entre un local climatisé et l'espace extérieur ou entre un local climatisé et un local non climatisé, doivent avoir une perméabilité à l'air inférieure à la valeur de référence définie dans des documents techniques règlementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat.

Art.14. - Les systèmes de chauffage d'hiver, à l'exception des installations individuelles dont le principe de fonctionnement n'autorise que le réglage manuel, doivent comporter des dispositifs automatiques qui régulent la fourniture de chaleur en fonction, soit du climat intérieur, soit du climat extérieur.

Art.15. - Les systèmes de climatisation d'été doivent comporter des dispositifs automatiques qui régulent la fourniture du froid en fonction, soit du climat intérieur, soit du climat extérieur.

Art.16. - Les modalités d'application des articles 14 et 15 ci-dessus sont précisées par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés,

Art.17. - La période transitoire pendant laquelle le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments neufs individuels est fixée à cinq (5) ans à compter de la date de publication du présent décret au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Art. 18. - Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

**Fait à Alger, le 19 Moharrarn 1421
correspondant au 24 avril 2000.**

Ahmed BENBITOUR.

Informations à collecter**A) Répondeur**

1) Nom et Prénom :

2) Adresse :

3) Sexe

Male Femelle

4) Age

15-20 21-25 26-30 31-40 41-50 51-60 61 et plus

5) Occupation

Etudiant Employé Marchand privé Enseignant Ingénieur
 Femme au foyer Autre

6) Taille de la famille (incluant le répondeur)

2-5 6-8 9-10 11-12 13-15 16-20

7) Est ce que le nombre de personne par foyer enquêté est variable selon les saisons de l'année?

Oui Non

Nombre en hiver=

Nombre en été=

B) Logement

8) Typologie du logement

Coloniale française : 1872-1920 1939- 1957 1958-1962
 Postcoloniale : 1974-1989 1990-2016

9) Désignation du logement

RDC 1er 2ième 3ième 4ième Plus

10) Matériaux de construction

Plâtre Pierre Terre Béton Autre

11) Compositions du logement

Espace		remarques
Hall		
Couloir		
Salon		
Cuisine		
Salle de bain		
Toilette		
Buanderie		
Nombre de chambres		
Chambre de jeux		
Chambre des parents		
Chambre des enfants		
Chambre de stockage		
Chambre de travail		
Chambre de lecture		
Balcon		
Terrasse		

12) Combien de temps vous avez vécu dans cette maison ?

 Année

13) Est ce que vous avez déménagé d'une autre maison ?

 Oui

 Non

 Ancienne

 moderne

14) Si oui, laquelle vous préférez en terme de caractéristiques suivant ?

1^{er} cas

	Organisation	Température	Lumière du jour
De l'ancien 1			
A l'ancien 2			
Au moderne			

2^{ème} cas

	Organisation	Température	Lumière du jour
Du moderne			
Au moderne			
A l'ancien			

C) Diagramme des activités

15) En Hiver

Activités	Heures																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Faire le ménage																								
Cuisiner																								
Manger																								
Séjourner																								
Recevoir homme																								
Recevoir femme																								
Dormir																								
lire																								
Ecrire																								
Travailler avec appareils																								
Jouer (enfants)																								

16) En Eté

Activités	Heures																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Faire le ménage																								
Cuisiner																								
Manger																								
Séjourner																								
Recevoir homme																								
Recevoir femme																								
Dormir																								
lire																								
Ecrire																								
Travailler avec appareils																								
Jouer (enfants)																								

D) Énergie17) Oui Non

18) Le montant de la facture d'électricité et du gaz ?

	Gaz		électricité	
	Consommation (thermie)	Montant (DA)	Consommation (Kwh)	Montant (DA)
En automne				
En hiver				
En printemps				
En été				

19) Quels appareils ménagers vous en disposez ?

	Appareils	Type	Nombre
<input type="checkbox"/>	Cuisinière à gaz		
<input type="checkbox"/>	Cuisinière électrique		
<input type="checkbox"/>	Four électrique		
<input type="checkbox"/>	Four micro-onde		
<input type="checkbox"/>	Plaque chauffante		
<input type="checkbox"/>	Télévision		
<input type="checkbox"/>	Réfrigérateur		
<input type="checkbox"/>	Machine à laver		
<input type="checkbox"/>	Postecassette/lecteur DVD		
<input type="checkbox"/>	Lave vaisselle		
<input type="checkbox"/>	Ordinateur		
<input type="checkbox"/>	Congélateur		
<input type="checkbox"/>	Imprimante		
<input type="checkbox"/>	Fer à repasser		
<input type="checkbox"/>	Séchoir		
<input type="checkbox"/>			

E) Température

20) Est ce que vous avez un système de chauffage dans votre maison ?

- Oui Non

21) Est ce que vous avez un système de climatisation dans votre maison ?

- Oui Non

22) De quel type sont ils ?

- Système de chauffage : Système central Système ponctuel
Système de climatisation : Système central Système ponctuel

23) Dans quel espace utilisez vous le système de chauffage ou de climatisation ?

	Système de chauffage	Système de climatisation
Hall		
Couloir		
Salon		
Cuisine		
Chambres		
Chambre des jeux		
Chambre de stockage		
Chambre de travail		
Chambre de lecture		
Coin de prière		

24) Quel est le calendrier de fonctionnement du chauffage ?

Date d'activation												Date de désactivation											
Jour								Mois				Jour								Mois			
1	2	3	4	5	6	7	8	Javier	Février	Mars	1	2	3	4	5	6	7	8	Javier	Février	Mars		
9	10	11	12	13	14	15	16	Avril	Mai	Juin	9	10	11	12	13	14	15	16	Avril	Mai	Juin		
17	18	19	20	21	22	23	24	Juillet	Aout	Septembre	17	18	19	20	21	22	23	24	Juillet	Aout	Septembre		
25	26	27	28	29	30	31		Octobre	Novembre	Décembre	25	26	27	28	29	30	31		Octobre	Novembre	Décembre		

25) Quel est le calendrier de fonctionnement de climatisation ?

Date d'activation												Date de désactivation											
Jour								Mois				Jour								Mois			
1	2	3	4	5	6	7	8	Javier	Février	Mars	1	2	3	4	5	6	7	8	Javier	Février	Mars		
9	10	11	12	13	14	15	16	Avril	Mai	Juin	9	10	11	12	13	14	15	16	Avril	Mai	Juin		
17	18	19	20	21	22	23	24	Juillet	Aout	Septembre	17	18	19	20	21	22	23	24	Juillet	Aout	Septembre		
25	26	27	28	29	30	31		Octobre	Novembre	Décembre	25	26	27	28	29	30	31		Octobre	Novembre	Décembre		

26) Combien de temps l'utilisez-vous?

	Système de chauffage		Système de climatisation	
Tout le temps				
	Matin	Soir	Matin	Soir
Quelque temps	De .. à ..	De .. à ..	De .. à ..	De .. à ..

27) Vous les réglez à combien en général ?

	Système de chauffage	Système de climatisation
Réglage		

28) Si non, quelle est la cause?

	Système de chauffage	systeme de climatisation
Non disponible		
Cher		
On en n'a pas besoin		

F) Ventilation:

29) Pour quel activité avez vous besoin d'ouvrir les fenêtres ?

En hiver

Activités	Heures																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Faire le ménage																								
Cuisiner																								
Manger																								
Séjourner																								
Recevoir homme																								
Recevoir femme																								
Dormir																								
lire																								
Ecrire																								
Travailler avec appareils																								
Jouer (enfants)																								

En été

Activités	Heures																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Faire le ménage																								
Cuisiner																								
Manger																								
Séjourner																								
Recevoir homme																								
Recevoir femme																								
Dormir																								
lire																								
Ecrire																								
Travailler avec appareils																								
Jouer (enfants)																								

G) Eau chaude sanitaire :

30) Est ce que vous utilisez de l'eau chaude sanitaire ?

- Oui Non

31) Combien vous estimez votre consommation ?

Le montant de la facture d'eau

En hiver = _____ DA ,

En été = _____ DA

32) Avec quel système elle est produite ?

- Chauffe-eau à gaz de ville
 Chaudière à gaz
 Chaudière électrique
 Cumulus électrique
 Autre

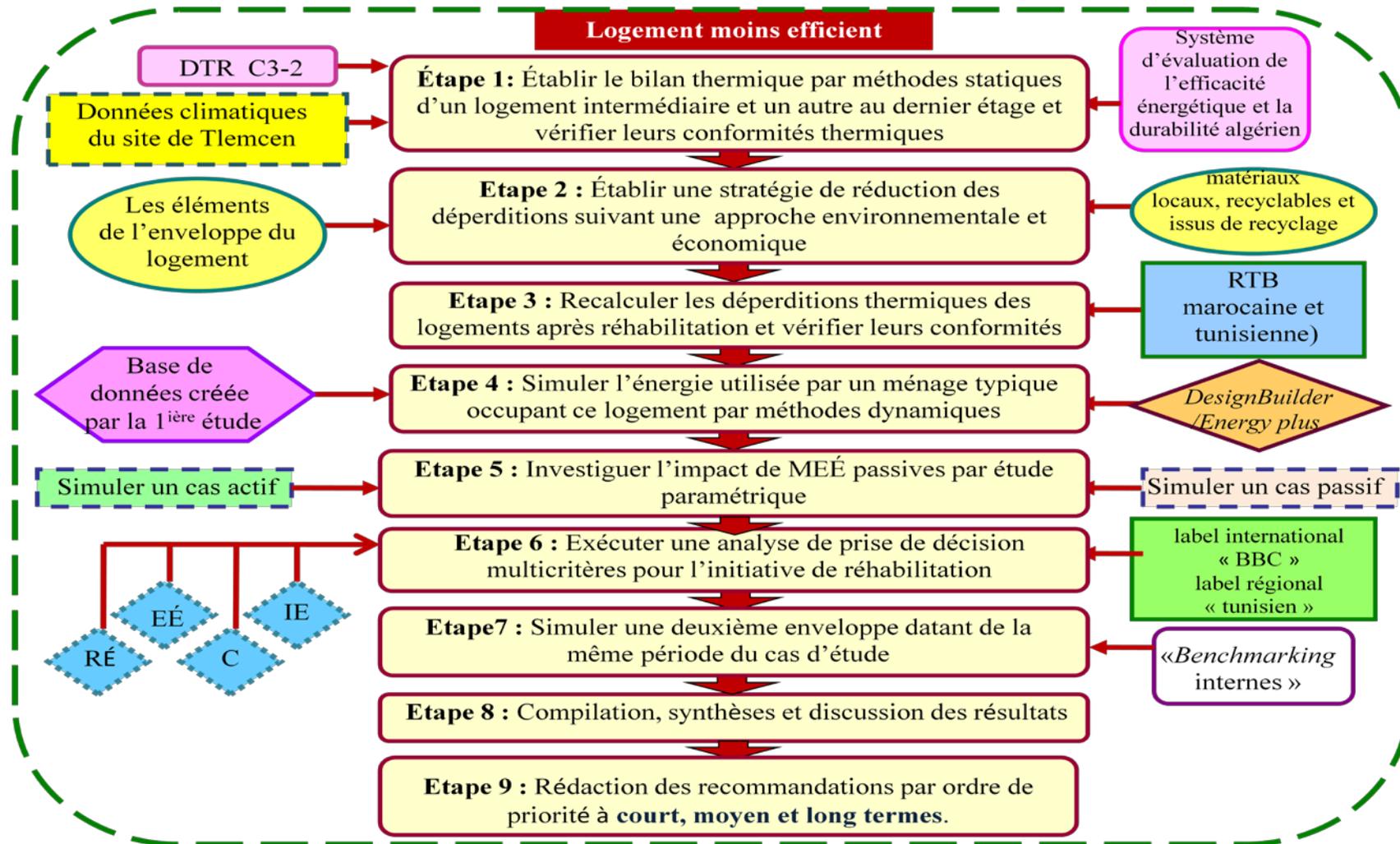


Figure C-1. Le logogramme schématisant la méthode développée par cette étude (l'Auteur, 2018).

Annexe D : Système d'évaluation de l'efficacité énergétique dans les bâtiments

Réglementation et normes utilisées

Règlementation Algérienne

- Loi sur la Maîtrise d'énergie
- Décret exécutif 90-2000
- DTR C 3-2
- DTR C 3-4

AUTRES

- Normes ISO
- Normes NF
- Normes DIN

Critères d'évaluation :

Critère 1: Compacité

- Les déperditions énergétiques dans le bâtiment dépendent de la géométrie de l'enveloppe.
- Les performances thermiques sont meilleures quand le rapport de la surface par le volume conditionné est faible.

Critère 2: les apports à travers les parois vitrées

- Les apports énergétiques en été à travers les parois vitrées peuvent présenter une partie importante des apports totaux d'un bâtiment.
- Ils peuvent être scindés en deux parties :
 - ✓ Les apports dus à la transmission thermique
 - ✓ Les apports dus à l'ensoleillement
- Ces apports dépendent des caractéristiques de la baie vitrée (vitrage, cadre, etc.) ainsi que des orientations et de la protection adoptée.

Critère 3: les apports à travers les parois opaques

- Les apports à travers les parois opaques dépendent du gradient de température et aussi de l'ensoleillement.
- Les murs et les toitures sont les deux éléments opaques les plus importants de point de vue apport thermique.
- On distingue alors dans ce critère les deux indicateurs :
 - Les apports à travers les murs extérieurs
 - Les apports à travers les toitures
- Ces apports dépendent des caractéristiques des matériaux constituant les parois opaques mais aussi la couleur, les orientations et l'inertie du bâtiment.

Critère 4: Protection thermique en été

Les apports à travers les vitrages représentent une grande part des apports totaux dans le bilan énergétique en été. Une réduction de ces charges tant directes que diffuses conduit à une réduction de la demande en énergie de climatisation et augmente le confort.

Critère 5: Les besoins en énergie en hiver

Les besoins énergétiques en hiver viennent compenser les déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment. Ces déperditions dépendent des matériaux constituant les parois opaques et vitrées ainsi que de leurs surfaces. Ces apports sont en rapport direct avec la consommation en énergie du bâtiment.

Critère 6: les apports en énergie en été

Les apports énergétiques en été dépendent entre autre de l'enveloppe du bâtiment, des matériaux constituant les parois opaques, du taux et de la qualité des bords vitrés, ainsi que des orientations des différentes façades. Ces apports sont en rapport direct avec la consommation en énergie du bâtiment.

Critère 7: L'utilisation des énergies renouvelables

On peut proposer des systèmes de chauffe-eaux solaires, panneaux photovoltaïques ou autres afin d'améliorer la performance thermique du bâtiment, de préserver les ressources naturelles et lutter contre le réchauffement climatique.

Critère 8 : la puissance électrique

Les équipements électriques installés dans le bâtiment sont des consommateurs potentiels de l'énergie électrique. Le rendement de ces équipements, dépendant essentiellement de leurs technologies, est un facteur majeur afin de diminuer la puissance installée et par suite l'énergie consommée pour les mêmes qualités de service.

Critère 9 : Emission de CO₂

Le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est, parmi les secteurs économiques, le plus gros consommateur d'énergie. Il représente plus de 41 % des consommations énergétiques nationales et plus de 16% des émissions de CO₂.

Dans un contexte mondial de lutte contre les changements climatiques, les pays s'attachent à réduire leur émission de gaz à effet de serre notamment le CO₂ qui en est le principal.

Critère 10 : Spécifications des éléments du bâtiment

Le phénomène climatique « Ilot de chaleur urbain » constitue un enjeu en matière d'économie d'énergie et au changement climatique dans les prochaines années.

Les principales sources responsables de ce phénomène sont :

- La transformation et la réduction d'espaces verts par des matériaux qui absorbent la chaleur comme les toits, les murs des bâtiments ainsi que les chaussées ;

- Les matériaux absorbent la chaleur pendant la journée la restituent pendant la nuit ;
- la présence des flux de chaleur lié au chauffage urbain, à la circulation automobile et à l'activité industrielle.

Le contrôle et l'amélioration de la qualité de ces espaces vis-à-vis du confort des usagers, de la qualité de l'air, ou de la demande énergétique des bâtiments au sein de la ville sont devenus indispensables.

Avec des arrangements adéquats, il est possible d'améliorer le climat local.

En effet on pourra jouer ces plusieurs facteurs pour atténuer l'effet des « Îlots de Chaleurs Urbains », on peut citer :

- ✓ l'amélioration des caractéristiques des matériaux de construction
- ✓ la présence des espaces verts
- ✓ la présence des étendues d'eau.

Critère 11 : Économie

Le Coût élevé d'un bâtiment s'étale sur toute sa durée de vie. Il inclut non seulement les frais de construction mais aussi les frais d'exploitation et puis de démolition.

Une approche économique a pour but de minimiser ses coûts ; dans notre contexte on vise à minimiser les consommations de l'énergie relatives au chauffage et au refroidissement.

Critère 12 : Les spécifications des équipements techniques

Le concept de l'efficacité énergétique comporte un volet dit passif et un autre dit actif. Le premier s'intéresse surtout à tout ce qui est enveloppe et son isolation et son comportement vis-à-vis de l'ensoleillement.

Le second a trait surtout aux équipements, leur contrôle et leurs régulations.

Ce critère fait partie de cette deuxième famille. Il prend en charge trois volets qui sont respectivement : l'amélioration des rendements des chaudières et des climatiseurs la limitation des déperditions dans les canalisations l'incorporation des éléments de contrôle et de régulations dans les équipements.

Critère 13 : Confort (La température et la lumière du jour)

Les confort, thermique et visuel, sont importants pour améliorer l'efficacité et la performance du travail.

Le confort thermique est en relation directe avec la consommation énergétique du bâtiment.

D'autre part, l'utilisation adéquate de la lumière du jour peut conduire à des économies notables relatives à l'utilisation de l'éclairage artificiel et à la climatisation.

Critère 14 : Innovation

L'innovation pour l'amélioration de l'efficacité énergétique est la capacité du concepteur à proposer des solutions inédites, voire des créations, qui améliorent le comportement énergétique du bâtiments (Denker *et al.*, 2014).

Tableau C-1 : Grille de notation détaillée (Source : Denker et al., 2014)

Critère	indicateur	Note du critère	Note de l'indicateur	Note maximale	pondération	Note du critère pondéré
Critère 1	Compacité du projet			10	0,5	
	Indicateur I : $C=A/V$			10		
Critère 2	Apports à travers les parois vitrées			10	1	
	Indicateur I : AVT [W] ; les apports dus au gradient de température			5		
	Indicateur II : AVE [W] ; les apports dus à l'ensoleillement			5		
Critère 3	Apports à travers les parois opaques			10	0,5	
	Indicateur I : APO mur [W] ; les apports à travers les murs			5		
	Indicateur II : APO toiture [W] ; les apports à travers les toitures			5		
Critère 4	Protection thermique en été			10	1	
	Indicateur I : $f(TBV ; F_{Stotal} ; orientation)$			10		
Critère 5	Besoins d'énergie en hiver			10	0,5	
	Indicateur I : DT [W/°C] ; les déperditions thermiques par transmission			4		
	Indicateur II : DR [W/°C] ; les déperditions thermiques par renouvellement d'air			2		
	Indicateur III : Q[W] ; la puissance de chauffage fournie par une chaufferie			2		
	Indicateur IV : ECh [kWh/a] ; les besoins en énergie de chauffage			2		
Critère 6	Apports d'énergie en été			10	1	
	Indicateur I : les apports thermiques à travers les parois			4		
	Indicateur II : AV[W] ; les apports thermiques à travers les parois vitrées			4		
	Indicateur III : Eclim [kWh/a] ; les besoins en énergie pour le refroidissement en été			2		
Critère 7	CO ₂ - émissions			10	0,5	
	Indicateur I: $m_{CO_2}/m_{ref,CO_2}$			10		
Critère 8	Utilisation des énergies renouvelables			10	1	
	Indicateur I : part des énergies renouvelables			10		
Critère 9	La Puissance électrique			10	0,5	
	Indicateur : taux de l'utilisation de la puissance électrique			10		

	provenant du réseau					
Critère 10	Économie (chauffage, climatisation)			10	1	
	Indicateur I : rapport des coûts de consommation d'énergie C/Créf			10		
Critère 11	Spécifications des éléments du bâtiment			10	0,5	
	Indicateur I : niveau de réduction du phénomène d'îlot de chaleur			10		
Critère 12	Spécifications des équipements du bâtiment			10	0,7	
	Indicateur I : la technologie et le rendement des chaudières utilisées			3		
	Indicateur II : la moyenne pondérée des COP des différents appareils de refroidissement			3		
	Indicateur III : le calorifugeage des canalisations traversant les espaces non conditionnés			2		
	Indicateur IV : le type du contrôle ou de la régulation des éléments de l'installation			2		
Critère 13	Confort (Température et lumière du jour)			10	0,8	
	Indicateur I : la différence entre la T° intérieur et la T° de la surface du plafond			2		
	Indicateur II: la différence entre la T° intérieur et la T° de la surface du mur extérieur			2		
	Indicateur III: la différence entre la T° intérieur et la T° de la surface de surface du vitrage			2		
	Indicateur IV : la surface minimale des vitrages			4		
Critère 14	Innovation			10	1	
	Indicateur : niveau d'innovation			10		
Total						100 points

Important :

- L'indicateur I du critère 5 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 est éliminatoire.
- L'indicateur I du critère 6 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 est éliminatoire.
- Un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire.

Annexe E: Publications

- Djebbar, K.-B., Salem, S. and Mokhtari, A. (2018), “A Multi-objective optimization approach of housing in Algeria. A step towards sustainability”, *Urbanism. Arhitectură. Construcții*, Vol. 9 No. 2, pp. 131-158.
- Djebbar, K.-B., Salem, S. and Mokhtari, A. (2018), “Assessment of energy performance using bottom-up method. Exemplified by multi-storey buildings in Tlemcen (Algeria)”, *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. (En évaluation).

Table des matières :

Objet	page
Remerciements	II
Résumé	IV
Résumé en anglais.....	V
Résumé en arabe.....	VI
Sommaire.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Liste des figures	XI
Liste des annexes	XVI
Liste des abréviations.....	XV
Introduction générale.....	1
Motivation de choix de thème et de cas d'étude.....	3
Problématique.....	3
Hypothèses	5
Objectifs de l'étude.....	6
Méthodologie.....	7
Capacité et Limites de l'étude.....	8
Structure des chapitres.....	9
Première partie.....	12
Chapitre 1 : Problématique de l'énergie entre enjeux et durabilité.....	13
1-1) Energie dans la nature	14
1-2) L'énergie dans le monde : Les énergies fossiles au cœur du mix mondial.....	15
1-3) La situation énergétique en Algérie	17
1-4) Bilan de consommation énergétique en Algérie.....	19
2-5-1) Evolution par forme d'énergie.....	20
2-5-2) Consommation finale	20
1-5) Intensité énergétique en Algérie	22
1-6) Le secteur des bâtiments : des enjeux énergétiques mondiaux et régionaux importants	23
1-7) La région Méditerranée particulièrement concernée	23
1-8) Le rôle de secteur résidentiel dans la consommation énergétique en Algérie.....	24
1-9) Un enjeu en termes d'adaptation au changement climatique.....	26
1-10) Energie et Environnement en Algérie.....	27
1-11) Energie et revenus des ménages	28
1-12) Energie et localisation des ménages	29
1-13) Prix de l'énergie en Algérie	30
1-7) La politique national de maitrise de l'énergie et son cadre réglementaire.....	32
1-7-1) La politique national de maitrise de l'énergie.....	32
1-7-2) Cadre réglementaire de maitrise d'énergie dans les bâtiments résidentiels en Algérie	33
1-7-3) Développement durable et marché public écologique.....	37
1-7-4) Programme des énergies renouvelables en Algérie.....	38
1-8) Concept de la durabilité et son volet environnemental.....	40
1-9) Economie d'énergie et efficacité énergétique : Quelle différence ?.....	42
1-10) Conclusion	44
Chapitre 2 : État de l'art sur la réhabilitation thermique des bâtiments résidentiels :	
Techniques, méthodes et outils	45
2-1) La réhabilitation thermique	46
2-1-1) Pourquoi réhabilité ?.....	46
2-1-2) Réhabilitation énergétiquement efficace.....	46
2-1-3) Conditions pour la réhabilitation	48
2-1-4) Principes de la réhabilitation énergétique	48
2-2) Performance énergétique d'un bâtiment	49
2-3) Techniques de modélisation de la consommation d'énergie dans le secteur	

résidentiel	50
2-3-1) Modèles <i>top-down</i> ou économiques (approche descendante)	51
2-3-2) Modèles <i>bottom-up</i> ou technologiques	51
2-3-3) Modèles hybrides.....	56
2-4) Critères d'évaluations de la performance énergétique des bâtiments résidentiels	58
2-4-1) Critère d'efficacité énergétique « <i>Energy Efficiency</i> » (2E)	58
2-4-2) Impact environnemental « <i>Environmental Impact</i> » (EI)	59
2-4-3) Rationalité économique « <i>Economical Rationality</i> » (ER)	59
2-4-4) Le confort thermique (C)	61
2-5) Recherches récentes d'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment dans le contexte algérien	62
2-6) Problématique d'aide à la décision multicritère.....	65
2-6-1) Définition d'un problème d'aide à la décision.....	65
2-6-2) Formulation d'un problème d'aide à la décision.....	65
2-6-3) Approches par itération de simulations.....	66
2-7) Optimisation multi-objectifs de la performance énergétique	66
2-8) Méthode d'évaluation de la performance énergétique de son immeuble.....	67
2-8-1) Le balisage appelé aussi «benchmarking».....	67
2-8-2) Le suivi des consommations par rapport à une année de référence	74
2-8-3) Les audits	74
2-8-4) Post Occupancy Evaluation.....	76
2-8-5) Méthode d'Analyse de Cycle de Vie	76
2-8-6) Empreinte écologique	77
2-8-7) Outils de calcul réglementaires.....	77
2-8-8) Outils non réglementaires : La simulation énergétique ou thermique dynamique	79
2-9) Conclusion.....	82
Chapitre 3 : Conception solaire passive des bâtiments.....	84
3-1) Climat en Algérie.....	85
3-2) Soleil et bâtiment : Interactions entre le bâtiment et son environnement.....	86
3-3) Les échanges thermiques dans le bâtiment.....	87
3-3-1) Transferts de chaleur par convection.....	88
3-3-2) Transferts de chaleur par rayonnement.....	88
3-3-3) Transferts de chaleur par conduction.....	88
3-4) Propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment	88
3-5) Confort thermique ou thermohygrométrie.....	90
3-5-1) Les aspects thermiques	90
3-5-2) Le confort thermique.....	93
3-5-3) Approche de zone de confort	96
3-5-4) Relation avec d'autres facteurs.....	97
3-6) Conception bioclimatique.....	98
4-6-1) Les grands principes de l'architecture bioclimatique.....	98
3-7) Conception solaire	99
3-8) Conception solaire passive.....	100
3-8-1) Recommandation pour la conception passive dans les zones climatiques en Algérie	101
3-9) Techniques passives	103
3-9-1) Chauffage et rafraichissement	103
3-9-2) Forme et compacité des bâtiments.....	124
3-9-3) Orientation des bâtiments	124
3-9-4) Répartition des surfaces vitrées	125
3-9-5) Prise en compte des masques solaire.....	125
3-10) Techniques actives.....	127
3-11) Conclusion	128
Conclusion de la première partie.....	129

Deuxième partie	130
Introduction de la deuxième partie.....	131
Chapitre 4 : Études de terrain	132
4-1) Objectifs de l'étude et methodologies.....	133
4-1-1) Procédure	135
4-1-2) Traitement des données collectées.....	135
4-2) Tlemcen comme champ d'étude.....	136
4-2-1) Situation et données géographiques.....	136
4-2-2) Aperçu historique de la ville de Tlemcen.....	137
4-2-3) Habitat dans la ville de Tlemcen.....	139
4-2-4) Énergie à Tlemcen.....	144
4-2-5) Climat	145
4-3) Analyse architecturale et technique de l'échantillon choisi	150
4-3-1) Définition des archétypes par période.....	151
4-3-2) Forme urbaine et analyse architectural.....	153
4-3-3) Technique de construction.....	159
4-4) Diagnostic: Analyse thermique du bâti.....	160
4-4-1) Performance des murs/façades.....	160
4-4-2) Ponts thermiques.....	162
4-4-3) Confort d'hiver.....	163
4-4-4) Menuiserie.....	168
4-4-5) Confort d'été.....	168
4-4-6) Ventilation.....	169
4-4-7) Equipement de chauffage.....	170
4-4-8) Équipements d'eau chaude sanitaire.....	170
4-5) Benchmarking de consommation d'énergie dans les logements (Balisage externe)	171
4-6) Conclusion.....	172
Chapitre 5: Étude multicritère par méthodes: statique et dynamique	175
5-1) Méthode.....	176
5-2) Cas d'étude.....	177
5-2-1) Description du cas d'étude.....	177
5-2-2) Techniques de bâtiment.....	179
5-3) Méthode statique.....	180
5-3-1) Calcul simple des déperditions calorifiques du logement selon le DTR C3-2..	180
5-3-2) Conception d'une stratégie personnalisée.....	180
5-3-3) Discussion des résultats.....	184
5-4) Simulation thermique dynamique.....	185
5-4-1) Outil de simulation.....	185
5-4-2) Procédure et modélisation.....	190
5-4-3) Scénario de Base.....	191
5-5) Conclusion.....	198
Chapitre 6: Discussion des résultats	200
6-1) Analyse des résultats des études de simulation thermique	201
6-1-1) Résultats du cas actif : Efficacité énergétique et impact environnemental.....	201
6-1-2) Résultats de l'analyse de l'impact économique.....	209
6-1-3) Résultats et analyses du cas passif : Confort thermique.....	210
6-2) Conclusion.....	227
Conclusion de la deuxième partie.....	230
Conclusions générale et perspectives	232
9-1) Conclusions et résultats pertinents.....	233
9-2) Contributions de la thèse.....	238
9-3) Perspectives pour la recherche future.....	239
Bibliographie	241
Glossaire	258
Annexe	i

Annexe A	ii
Annexe B.....	xv
Annexe C	xxi
Annexe D	xxii
Annexe E	xxiii