

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté de Technologie

Département De Génie Mécanique

THESE DE DOCTORAT ES SCIENCES

En Génie mécanique

CONTRIBUTION A L'INTEGRATION DE COMPOSANTS SOLAIRES DANS LA
STRUCTURE BATIE. APPLICATION AUX SITES ALGERIENS

Par

Sabrina SAMI

Soutenu le 17/09/2018

Devant le jury composé de :

BOUSSAD BOUMEDDANE	Professeur	U. Blida 1	Président
BOUALEM LARIBI	Professeur	U. Khemis Miliana	Examineur
MOURAD LOUNIS	Professeur	U. Khemis Miliana	Examineur
KHALED IMESSAD	MRA	CDER	Examineur
DJAFFAR SEMMAR	Professeur	U. Blida 1	Directeur de thèse
ABDELKADER HAMID	Professeur	U. Blida 1	Co Directeur de thèse

Blida, 2018

RESUME

L'objet de cette thèse porte sur l'étude de l'intégration des systèmes solaires dans des bâtis à Haute Performance Energétique (HPE) dans le cadre du projet pilote ECO-BAT lancé par les autorités en réponse au programme de l'efficacité énergétique Algérien. Les bâtiments étudiés sont situés dans quatre régions représentant chacune une zone climatique différente couvrant ainsi tout le territoire national : Oran (zone A), Blida (zone B), Sétif (zone C) et Bechar (zone D).

Une simulation thermique et dynamique est effectuée pour la détermination des besoins énergétiques en chauffage et en climatisation des bâtis. Les besoins en eau chaude pour une famille moyenne sont calculés en fonction des caractéristiques de chaque région. Une fois les besoins énergétiques connus, une étude technico-économique est effectuée portant sur la viabilité et la faisabilité de l'intégration des systèmes de solaire de chauffage d'eau et de l'habitat dans les bâtis HPE en tenant compte du contexte économique Algérien. Enfin, nous terminons cette étude par une dernière simulation considérant cette fois-ci l'intégration des matériaux locaux dans l'enveloppe des bâtiments et de ce fait étudier son effet sur les besoins en chauffage et en climatisation.

Les résultats des simulations montrent clairement que contrairement au logement situé au sud (Bechar), la performance énergétique est atteinte en été pour les logements situés au nord du pays (Oran et Blida) et dans les hauts plateaux (Sétif). Ceci qui n'est pas le cas en hiver où les résultats montrent qu'il est nécessaire d'intégrer un système de chauffage pour assurer le confort de l'occupant durant cette saison froide. Les résultats de l'analyse technico-économique montrent clairement que la faisabilité de l'intégration des systèmes solaires passe impérativement par la levée de la subvention étatique sur le prix de l'électricité et du gaz et son remplacement par une nouvelle subvention touchant cette fois-ci le prix du système solaire. En ce qui concerne l'intégration des matériaux locaux, l'utilisation du liège dans la zone nord et la zone des hauts plateaux semble être une solution idéale de substitution à l'isolant polystyrène. Aussi, l'enveloppe conçue avec le bois de palmier dattier et ses dérivées dans la zone sud a permis une réduction considérable des besoins énergétiques en chauffage.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study the integration of solar systems into High Energy Performance (HEP) housing built as part of the ECO-BAT pilot project in the frame work of the Algerian energy efficiency program. The studied buildings are located in four regions, each one representing a different climatic zone covering the whole national territory: Oran (zone A), Blida (zone B), Sétif (zone C) and Bechar (zone D).

A thermal and dynamical simulation is carried out in order to determine the energy needs in heating and air conditioning of the buildings. The hot water needs for an average family are calculated based on the characteristics of each region. Once the energy needs are known, a techno-economic study is carried out to analyze the viability and the feasibility of integrating solar water and space heating systems into the HEP buildings taking into account the Algerian economic context. Finally, we end this study with a last simulation considering this time the integration of local materials in the building envelope and thus evaluating its effect on heating and air conditioning needs.

The simulation results clearly show that unlike the housing located in the south (Bechar), the energy performance is reached in summer for housing located in the north of the country (Oran and Blida) and in the highlands (Sétif). This is not the case in winter where the results show the necessity to integrate a heating system to ensure the comfort of the occupant during this cold season. The results of the technico-economic analysis revealed that the feasibility of integrating solar systems requires the lifting of the subsidy policy on the price of electricity and gas and replacing it instead with a new subsidy this time on the price of the solar system. Concerning the integration of local materials, the use of cork in the northern and highlands regions appears to be an ideal alternative to polystyrene insulator. Also the envelope designed with the date palm wood and its derivatives in the southern zone allowed a considerable reduction of the energy needs in heating.

الخلاصة

تعلق الدراسة التي نقرحها في هذا العمل بالمباني ذات أداء طاقة عالية الواقعة في أربع مناطق تمثل كل منها منطقة مناخية لتشمل بذلك كامل التراب الوطني: وهران للمنطقة "A" و "البليدة" للمنطقة "B" "سطيف" للمنطقة "C" وباريس للمنطقة "D" والمنجزة في إطار المشروع ECO BAT وهو مشروع أطلق من طرف السلطات استجابة لبرنامج الفعالية الطاقوية.

يتم إجراء دراسة الأداء الحراري لتحديد الاحتياجات من الطاقة تليها دراسة جدوى وجدوى تكامل ودمج أنظمة التدفئة الشمسية في سياق اقتصادي جزائري. بعد ذلك اقترحنا دمج واستعمال مواد البناء المحلية في المباني المدروسة لدمج المواد المحلية بهدف ترقيتها والحد من فاتورة الطاقة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح أن أداء الطاقة للسكن محقق في فصل الصيف للمباني الواقعة في شمال البلاد (وهران والبليدة) والمرتفعات (سطيف). لكن ليس هو الحال في فصل الشتاء حيث من الضروري دمج نظام التدفئة لضمان راحة الساكن في هذه الفترة.

ووفقاً لنتائج الدراسة الاقتصادية فإن دمج نظام التدفئة بالطاقة الشمسية أمر غير مثير للاهتمام ولا يتنافس مع الطاقة التقليدية التي دعمتها الدولة منذ الاستقلال ولكن كما تظهر الدراسة أنه مع سياسة التمويل الجيدة، يمكن أن يكون الدمج في مباني HPE قابلاً للتطبيق من الناحية الاقتصادية.

فيما يتعلق بدمج مواد البناء المحلية (عازل الفلين إلى المناطق الشمالية والمناطق المرتفعة وخشب النخيل ومشتقاته في المنطقة الجنوبية)، يبدو أن الفلين يمثل البديل المثالي للعزل بدل البولسترين المستخدم حالياً. أما بالنسبة لتصميم المباني بالمواد المقترحة في الجنوب، فقد سمح لنا تخفيض كبير في احتياجات التدفئة.

REMERCIEMENTS

Je remercie la Division Solaire Thermique et Géothermie du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) au sein de laquelle ce travail de recherche a été mené.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail en particulier :

Mr Djaffer Semmar et Mr Hamid Abdelkader mes directeur et Co- directeur de thèse, Professeurs au Département des Energies Renouvelables de la faculté de technologie de l'université de Blida, de m'avoir guidé tout au long de ces années, pour le temps qu'ils m'ont consacré et les conseils qu'ils m'ont apporté.

Mr Boussaad Boumeddane professeur au département de Génie mécanique de la faculté de technologie de l'université de Blida pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Mr Boualem Laribi, Mr Mourad Lounis professeurs a la faculté des sciences et technologie de l'université de Khemis Miliana et Dr Khaled Imessad Directeur de la Division Solaire Thermique et Géothermie du centre de développement des énergies renouvelables qui m'ont fait l'honneur de faire partie de jury d'examination.

Mr Karim Kaci et Mr Djamel Lafri mes collègues du département des Energies Renouvelables de la faculté de Technologie de l'université de Blida pour toute l'aide qu'ils m'ont apporté.

Mr Sid Ali Hakem, Dr Rhiad Alloune, Mr Rhéda Yaiche, Dr Hodayfa Ounis, Dr Razika Kharchi et Mme Abla Berrazouane mes collègues du CDER pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

Ceux qui m'ont aidé à tout moment :

Mes parents, mon frère, mes sœurs, mon mari et mes enfants qui ont été constamment présents à mes côtés.

TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS	
TABLE DES MATIERES	
NOMENCLATURE	
INTRODUCTION GENERALE	1
1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART	
1.1. Introduction	8
1.2. Revue bibliographique : contexte mondial	8
1.3. Analyse du contexte Algérien	19
2. MODELISATION MATHEMATIQUE	
2.1. Introduction	53
2.2. Modélisation du bâtiment	53
2.3. Modélisation thermique dynamique par Pléiade- Comfie	56
2.4. Mise en œuvre de la simulation	59
3. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	
3.1. Introduction	61
3.2. Présentation du logiciel	62
3.3. Description du modèle de simulation	66
3.4. Résultats et discussion	80
4. INTEGRATION D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE SOLAIRE	
4.1. Introduction	107
4.2. Fraction solaire et procédure d'optimisation	107
4.3. Résultats et discussions	111
4.3.1. Cas du chauffage solaire d'eau sanitaire	111
4.3.2. Cas du chauffage de l'habitat	122

5. LES MATERIAUX LOCAUX PROPOSES A L'INTEGRATION	
5.1. Introduction	132
5.2. Intégration du liège pour les zones du nord et hauts plateaux	132
5.3. Intégration de matériaux locaux aux zones du sud	134
5.4. Résultats et discussion	137
CONCLUSION	153
REFERENCES	

NOMENCLATURE

A : matrice contenant les termes d'échange entre mailles

B : volume de l'habitation (m^3)

B_g : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

b : constante de proportionnalité volume stockage-surface captation (m)

B_g^α : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

C_{maille} : la capacité thermique de la maille ($J/^\circ C$)

C : matrice diagonale des capacités thermiques ($J/^\circ C$)

D_k : degrés-jour unifiés du mois

E : matrice contenant les termes d'échange entre mailles et sollicitations

E : énergie auxiliaire (J)

E_0 : énergie auxiliaire nécessaire pour $S=0$ (J)

F_g : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

F : fraction de charge de chauffage annuelle fournie par l'énergie solaire (J)

F_R : coefficient d'échange thermique du capteur

G : coefficient de déperdition volumique de l'habitation ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

H_g : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

H_k : Rayonnement quotidien moyen mensuel au cours du mois k (J/m^2)

L : charge de chauffage annuelle (J)

M : demande d'eau chaude par personne et par jour ($l/par/jour$)

MGIF : matrice résultant de l'intégration

MGIE : matrice résultant de l'intégration

MGID : matrice résultant de l'intégration

MGIC : matrice résultant de l'intégration.

n : nombre d'années de paiement

N_p : nombre de personnes dans l'appartement

N_a : nombre d'appartement dans le bâtiment

N_k : nombre de jour du mois k

P_T : coût d'exploitation annuel du système solaire (DA , $1DA \approx 0.0092 USD$)

P_C : coût du capteur par unité de surface (DA/m^2)

P_t : coût de la cuve de stockage par unité de volume (DA/m^3)

P_1 : autres coûts liés au capteur (DA)

P_f : coût de l'unité d'énergie conventionnelle (DA/J)

P_2 : autres coûts non liés au capteur (DA)

R : facteur de récupération du capital

r : taux d'intérêt annuel

S : surfaces de captation (m^2)

S_g^α : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

S_g : matrice résultant des diverses manipulations mathématiques

T_{maille} : la température de la maille ($^{\circ}C$)

T : champ discrétisé des températures des mailles ($^{\circ}C$)

T_d : température de l'eau chaude désirée ($^{\circ}C$)

T_{ik} : température moyenne mensuelle de l'eau froide d'entrée du mois k ($^{\circ}C$)

T_{ak} : température ambiante moyenne mensuelle du mois k ($^{\circ}C$)

T_a : température ambiante moyenne annuelle ($^{\circ}C$)

U : vecteur des sollicitations (comprenant les paramètres climatiques, le chauffage,...)

U_g : vecteur des sollicitations

U_L : coefficient de perte globale du capteur ($W/m^2.^{\circ}C$)

V : demande d'eau chaude par bâtiment par jour ($l/jour$)

W_g^α : matrice résultant de l'intégration

W_g^β : matrice résultant de l'intégration

X_g : vecteur d'état

Y : vecteur des sorties (température de la zone, températures équivalentes éventuelles) ($^{\circ}\text{C}$)

Y_g : vecteur des sorties contenant les températures équivalentes, et les variables de couplage

Δt_k : nombre total de secondes au mois de k

$(\tau\alpha)$: produit moyen pondéré de transmittance-absorbance

c_p : capacité thermique de l'eau = $4181.3\text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$

α : constante de décroissance de la consommation d'énergie auxiliaire

ρ : densité de l'eau = 1kg/l

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Caractéristiques spécifiques de la zone A	22
Tableau 1.2 : Caractéristiques spécifiques de la zone B	22
Tableau 1.3 : Caractéristiques spécifiques de la zone C	23
Tableau 1.4 : Caractéristiques spécifiques de la zone D	24
Tableau 1.5 : Potentiel solaire en Algérie	26
Tableau 1.6 : Récapitulatif des équipements publics réalisés durant Les 10 dernières années (Par secteur)	29
Tableau 1.7 : Structure des logements occupés selon le type de construction	30
Tableau 1.8 : Plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel	36
Tableau 1.9 : réglementation en vigueur	37
Tableau 1.10 : Liste des constructions en terre en Algérie	40
Tableau 3.1 : Liste des parois (logements Oran)	68
Tableau 3.2 : Liste des parois (logements Blida)	71
Tableau 3.3 : Liste des parois (logements Sétif)	73
Tableau 3.4 : Liste des parois (logements Béchar)	76
Tableau 3.5 : Occupation du bâtiment par les habitants (chambres)	77
Tableau 3.6 : puissance de dissipation dans les chambres	78
Tableau 3.7 : ventilation d'été (nocturne)	79
Tableau 4.1 : Caractéristiques des différentes zones climatiques étudiées	111
Tableau 4.2: Valeurs mensuelles T_{ak} ($^{\circ}C$), H_k ($3600J/m^2$) pour les zones	111
Tableau 4.3: Caractéristiques typiques des occupants pour chaque zone	112
Tableau 4.4: Besoins mensuels en chauffage de l'habitat pour chaque zone	112
Tableau 5.1 : Compositions proposées des différentes parois	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Classification du climat en Algérie	21
Figure 1.2: Production d'énergie primaire	25
Figure 1.3: Production d'énergie dérivée	25
Figure 1.4: Carte de l' Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)	26
Figure1.5: Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001 -2010)	27
Figure 1.6: Constructions en pierre en Algérie (Village kabyle)	40
Figure 1.7: Les éléments intermédiaires entre colonne en bois de palmier et couverture, Biskra	40
Figure 1.8 : Vue de dessous d'une couverture avec tiges de palme, Biskra	40
Figure 1.9 : Répartition des logements (projet ECO-BAT)	43
Figure1.10 : Prototype maison solaire CNERIB-CDER	44
Figure1.11: Nouvelle ville Sidi Abdallah	45
Figure1.12: Nouvelle ville Bouinane	46
Figure1.13: Nouvelle ville de Boughzoul	47
Figure1.14: Nouvelle ville de Hassi Messaoud	47
Figure 3.1 : Procédure d'injection des données sur pléiade	63
Figure 3.2 : Interface Pléiade-COMFIE	62
Figure 3.3 : plan du rez de chaussée (Oran)	67
Figure 3.4 : Plan de l'étage courant (Oran)	67
Figure.3.5 : Climat considéré pour le site d'Oran	68
Figure 3.6 : Plan du rez de chaussée (Blida)	69
Figure 3.7 : plan de l'étage courant (Blida)	70
Figure 3.8 : Climat considéré pour le site de Blida	70
Figure 3.9 : Plan du rez de chaussée (Sétif)	72
Figure 3.10 : Plan de l'étage courant (Sétif)	72
Figure 3.11 : Climat considéré pour le site de Sétif	73
Figure 3.12 : Plan du rez de chaussée (Bechar)	74
Figure 3.13: Plan de l'étage courant (Bechar)	75
Figure 3.14 : Climat considéré pour le site de Béchar	75

Figure 3.15 : Variation des températures dans les logements En période d'été(Oran)	80
Figure 3.16 : Variation des températures dans les logements En période d'été(Blida)	81
Figure 3.17: Variation des températures dans les logements En période d'été(Sétif)	81
Figure 3.18 : Variation des températures dans les logements En période d'été (Béchar)	82
Figure 3.19 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus chaud (Oran)	82
Figure 3.20 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus Chaud (Blida)	83
Figure 3.21 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus chaud (Sétif)	83
Figure 3.22 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus chaud (Béchar)	84
Figure 3.23 : Variation des températures maximales (Avec et sans ventilation) (Oran)	85
Figure 3.24 : Variation des températures maximales (Avec et sans ventilation) (Blida)	85
Figure 3.25 : Variation des températures maximales (Avec et sans ventilation) (Sétif)	86
Figure 3.26 : Variation des températures maximales (Avec et sans ventilation) (Béchar)	86
Figure 3.27 : Variation des températures dans les logements en période d'hiver (Oran)	87
Figure 3.28 : Variation des températures dans les logements En période d'hiver (Blida)	88
Figure 3.29 : Variation des températures dans les logements En période d'hiver(Sétif)	88
Figure 3.30 : Variation des températures dans les logements En période d'hiver (Béchar)	89
Figure 3.31 : Variation des températures dans les logements Au mois le plus froid (Oran)	89

Figure 3.32 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus froid (Blida)	90
Figure 3.33 : Variation des températures dans les logements Pour le mois le plus froid (Sétif)	90
Figure 3.34 : Variation des températures dans les logements Au mois le plus froid (Béchar)	91
Figure 3.35 : Puissance de climatisation (Oran)	92
Figure 3.36 : Puissance de climatisation (Blida)	92
Figure 3.37 : Puissance de climatisation (Sétif)	93
Figure 3.38 : Puissance de climatisation (Béchar)	93
Figure 3.39 : Besoins en climatisation(Oran)	94
Figure 3.40 : Besoins en climatisation (Blida)	94
Figure 3.41 : Besoins en climatisation(Sétif)	95
Figure 3.42 : Besoins en climatisation (Béchar)	95
Figure 3.43 : Puissance de chauffage avec un système de chauffage(Oran)	96
Figure 3.44 : Digramme de Sankey (Oran)	97
Figure 3.45 : Puissance de chauffage avec un système de chauffage (Blida)	97
Figure 3.46 : Diagramme de Sankey (Blida)	98
Figure 3.47 : Puissance de chauffage avec un système de chauffage (Sétif)	98
Figure 3.48 : Diagramme de Sankey (Sétif)	99
Figure 3.49 : Puissance de chauffage avec un système de chauffage (Béchar)	99
Figure 3.50 : Diagramme de Sankey (Béchar)	100
Figure 3.51 : Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Oran)	101
Figure 3.52 : Besoins en chauffage dans les logements (Oran)	102
Figure 3.53 : Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Blida)	102
Figure 3.54 : Besoins en chauffage dans les logements (Blida)	103
Figure 3.55 : Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Sétif)	103
Figure 3.56 : Besoins en chauffage dans les logements (Sétif)	104
Figure 3.57 : Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Béchar)	104
Figure 3.58 : Besoins en chauffage dans les logements (Béchar)	105
Figure 4.1: Schéma du système solaire de chauffage	107
Figure 4.2: Abaque permettant de lire pour X_k et Y_k donnés la valeur De la fraction Mensuelle F_k de la demande en chauffage De l'habitat fourni par le système solaire.	110

Figure 4.3: Représentation 3-D de la fraction solaire mensuelle F_k	113
En fonction du mois de l'année et de la surface du capteur S pour Toutes les zones climatiques	
Figure 4.4 : Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction du mois de	114
L'année et de la surface du capteur S pour toutes les zones Climatiques	
Figure 4.5 : Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction du mois de	115
L'année pour différentes valeurs fixées de la surface du capteur S et Pour les différentes zones climatiques	
Figure 4.6 : Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction de la	115
Surface du capteur S pour les différents mois de l'année et Pour toutes les zones climatiques	
Figure 4.7 : Cout de fonctionnement annuel du système solaire de chauffage	117
D'eau P_T en fonction de la surface du capteur pour Les différentes zones climatiques. Notez la présence de minimums Indiquant les valeurs de la surface de collection optimales S_{op}	
Figure 4.8: Représentation 3 D de la surface de captation optimale S_{op}	119
En fonction du cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les Différentes zones climatiques.	
Figure 4.9: Densité de la surface de captation optimale S_{op} en fonction du	119
Cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes Zones climatiques	
Figure 4.10: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout de	120
L'électricité P_f pour différentes valeurs fixées du cout du capteur P_c et pour toutes les zones.	
Figure 4.11: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction	120
Du cout du capteur P_c pour différentes valeurs fixées du cout de L'électricité P_f et pour toutes les zones.	
Figure 4.12: Représentation 3D de la fraction solaire mensuelle F_k en	122
Fonction des mois étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les Zones climatiques.	
Figure 4.13: Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des	123
Mois étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones Climatiques	

Figure 4.13:Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des mois Étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques.	124
Figure 4.14:Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des mois Étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques	124
Figure 4.15: Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction de la Surface du capteur S pour les différents mois étudiés et pour Toutes les zones climatiques.	
Figure 4.16: Cout de fonctionnement annuel du système solaire de chauffage P_T en fonction de la surface du capteur pour les différentes Zones climatiques. Notez la présence de minimums indiquant Les valeurs de la surface de collection optimales	126
Figure 4.17: Représentation 3D la surface optimale S_{op} en fonction du cout du Capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes Zones climatiques.	128
Figure 4.18: Densité de la surface de captation optimale S_{op} en fonction du Cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes Zones climatiques.	128
Figure 4.19: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout de L'électricité P_f pour différentes valeurs fixées du cout du capteur Pour toutes les zones.	129
Figure 4.20: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout du Capteur P_c pour différentes valeurs fixées du cout de l'électricité P_f et pour toutes les zones.	129
Figure 5.1 : Aire de répartition du chêne-liège en Algérie	133
Figure 5.2 : Construction traditionnelle au sud	134
Figure 5.3 : les différentes parties du palmier dattier	135
Figure 5.4 : Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements Situés à Oran	138
Figure 5.5 : Températures moyenne dans les logements pour Le mois d'Aout (Oran)	138
Figure 5.6 : Températures moyenne dans les logements pour le mois De Février (Oran)	139
Figure 5.7 : Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements Situés à Blida	140

Figure 5.8 : Températures moyennes (isolation polystyrène) (Blida)	141
Figure 5.9 : Températures moyennes (isolation liège) (Blida)	141
Figure 5.11 : Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements Situés à Sétif	143
Figure 5.12 : Températures moyennes dans les logements pour le mois De Juillet (Sétif)	144
Figure 5.1 3 : Températures moyennes dans les logements pour le mois De Janvier (Sétif)	144
Figure 5.14 : Les besoins en chauffage et climatisation pour les différentes Parois proposées (Béchar)	147
Figure 5.15 : Comparaison entre les températures annuelles à l'intérieur des Chambres (composition de base, composition retenue) (Béchar)	147
Figure 5.16 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour le mois de Janvier	148
Figure 5.17 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour le mois de Juillet	148
Figure 5.18 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour la Première semaine de Janvier	149
Figure 5.19 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour la deuxième semaine de Juillet	150
Figure 5.20 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour la journée du 03 Janvier	151
Figure 5.21 : Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres Pour la journée du 09 Juillet	151

INTRODUCTION GENERALE

La continuité d'existence de l'être humain sur la planète est liée directement à la disponibilité de l'énergie sous ses différentes formes ainsi qu'à la façon dont elle est exploitée et consommée. Les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) représentent la principale source d'énergie pour répondre aux besoins énergétiques dans tous les secteurs stratégiques tels que l'habitat, l'industrie et le transport. Globalement, elles représentent plus des trois quarts de la consommation mondiale d'énergie et particulièrement plus des deux tiers de la consommation en l'électricité. Les énergies fossiles sont des énergies de stock, dont les réserves sont certes vastes mais pas inépuisables et aussi non renouvelables car elles ne peuvent être reconstituées qu'à une échelle de temps géologique. Ces énergies sont polluantes et sont la cause principale des émissions en CO₂ néfastes à l'équilibre écologique de notre planète. De ce fait, l'utilisation massive de ces formes d'énergies depuis la révolution industrielle jusqu'à nos jours a causé leurs l'épuisement accéléré, ce qui a créé une inégalité entre l'offre et la demande de l'énergie. Toutes ces raisons ont poussé l'être humain à substituer l'utilisation des énergies fossiles par d'autres sources d'énergies présentant les mêmes caractéristiques en terme de fiabilité et de rendement et en tenant compte aussi des aspects politiques, économiques et surtout écologiques (préservation de la terre). Dans ce contexte, les énergies renouvelables (principalement solaire et éolienne) car elles présentent de nombreux atouts : elles sont inépuisables du fait qu'elles soient renouvelables et propres du fait qu'elles n'engendrent pas de déchets ou d'émissions polluantes et sa mise en place requiert une technologie moins couteuse.

L'Algérie est un pays riche en énergie solaire. En effet, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara [1] et tout cela reparti sur onze mois de l'année. A cause de ce potentiel immense en énergie solaire ainsi qu'à sa position géographique, l'Algérie est supposée avoir une place parmi les pays leaders au parrainage de cette énergie dans les années à venir. Il reste alors à l'établir une politique sérieuse dans le cadre d'exploiter ces potentiels énergétiques et de bénéficier de leurs disponibilité.

L'économie algérienne dépend exclusivement des hydrocarbures avec une consommation énergétique en nette augmentation durant les dernières années (ex. 55.9 Mtoe en 2014 soit une augmentation de 7.8% comparée à 2013). Cette consommation est dominée par le secteur résidentiel avec un taux de 43.3% par rapport à la consommation globale [2]. La consommation électrique dans le secteur résidentiel représente 40% de la consommation totale en électricité et celle du gaz naturel représente 60% de la consommation totale en gaz [3]. Il est donc nécessaire de s'engager dans une politique d'intégration des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique qui permettrait ainsi de préserver nos ressources en hydrocarbures.

Des actions ont été entreprises et un ambitieux programme visant à donner aux énergies renouvelables une place importante dans l'économie nationale a été adopté par les pouvoirs publics. Ce programme vise à satisfaire environ 40% de la demande énergétique nationale par le renouvelable. Il est constitué de cinq chapitres [4] : 1) le programme d'efficacité énergétique, 2) la capacité à installer par domaine d'activité énergétique, 3) capacité industrielle à développer, 4) recherche et développement et enfin 5) les mesures incitatives et règlementaires. Le programme est étalé sur trois tranches :

- De 2011 à 2013, réalisation de projets pilotes de façon à tester les procédés disponibles.
- De 2014 à 2015, début de déploiement du programme.
- De 2016 à 2020, déploiement à l'échelle nationale.

L'intégration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment répond parfaitement aux attentes de la politique énergétique de l'Algérie quant à la rationalisation de la consommation énergétique dans notre pays. Parmi les actions entreprises dans ce sens, on retrouve l'incitation à l'intégration des énergies renouvelables avec le développement des chauffe-eau solaires et leurs applications dans le secteur du bâtiment. En dépit des efforts affichés par les pouvoirs publics, l'engouement pour l'utilisation des énergies renouvelables reste insuffisant à cause de l'importance du cout de l'investissement initiale nécessaire à l'installation des systèmes solaires et de ce fait l'incapacité de rivaliser avec les systèmes usuels qui fonctionnent à l'énergie conventionnels qui a un cout très bas subventionné de façon importante depuis l'indépendance.

Cependant, le développement des villes Algériennes au sud comme au nord a été fait en marginalisant les caractéristiques climatiques des sites d'implantation, surtout dans les régions très chaudes. Aujourd'hui ces constructions sont responsables de plus de 70% de la consommation de l'électricité en période estivale par l'installation de climatiseurs pour assurer le confort de l'habitant [5,6]. La conception des bâtiments joue un rôle très important dans la dépense énergétique et la construction bioclimatique peut justement réduire de plus de 30% la consommation énergétique en chauffage et climatisation et diminuer la pollution d'air d'au moins 20% en agissant sur l'enveloppe plus performante du bâti, en tirant le meilleur parti de son environnement en prenant en compte plusieurs paramètres entre autres l'isolation et le choix des matériaux. L'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments est l'une des priorités dans le programme de l'efficacité énergétique qui vise à réduire la consommation énergétique. Le polystyrène est l'isolant thermique le plus utilisé actuellement dans les programmes de construction lancés par les autorités. Cet isolant est certes très efficace, vu sa faible conductivité thermique. Cependant il n'est pas écologique. Ce matériau contient une molécule nocive pour la santé et l'environnement, qui vient d'être interdite au niveau international par la convention de Stockholm de 2001 qui regroupe 150 pays. Cette décision dont les travaux visent à protéger la santé humaine des polluants organiques persistants est entrée en vigueur en Novembre 2014, ce qui implique que les pays signataires dont l'Algérie qui a ratifié la convention en 2006, devra mettre en œuvre son interdiction de production et de commercialisation dans les prochaines années. IL est donc nécessaire de se tourner en Algérie vers des solutions naturelles et respectueuses de la santé et de l'environnement comme les isolants minéraux et végétaux exempts de polluants chimiques. Le secteur du bâtiment consomme près de 80% de la production de ciment en Algérie. Le déficit chronique de l'offre, le dérèglement des circuits de distribution et de transport entraîne un sous approvisionnement des chantiers allongeant les délais de réalisation. Ce problème d'approvisionnement en matériaux de construction se pose encore plus aux régions éloignées du Sud. Ceci s'est traduit par un renchérissement des prix des matériaux, qui s'ajoute à la pauvreté qui caractérise le monde rural, et qui réduit l'accès de cette population à un logement [7]. Face à ce déficit, le programme vise à créer une industrie locale d'équipements et matériaux moins chers issus de gisements locaux contribuant à

l'efficacité énergétique sans oublier les retombées bénéfiques par rapport à la création d'emplois.

Pertinence du thème de recherche par rapport au programme national de l'efficacité énergétique

Le thème de recherche s'inscrit dans le domaine d'intérêt du programme national de l'efficacité énergétique et maîtrise de l'énergie : projet-pilote de 600 logements bioclimatiques à haute performance énergétique, un projet qui devra être étendu à la réalisation de 3000 autres logements dans une seconde étape et plus par la suite si les résultats sont concluants. Ce projet est réparti à travers 11 wilayas du pays et implique la prise en compte de l'implantation, l'orientation, l'intégration d'une isolation thermique et un double vitrage pour réduire la consommation énergétique.

Nous proposons dans ce travail en premier lieu l'étude des performances thermiques et la détermination des besoins énergétiques des logements avec la constitution de l'enveloppe telle que proposée par les constructeurs. Ces besoins seront ensuite utilisés pour le calcul de la fraction solaire par la méthode F Chart pour le chauffage des locaux ; la fraction solaire est aussi calculée pour les besoins en eau chaude sanitaire. Une étude de faisabilité d'intégration des deux systèmes solaires est considérée en utilisant une méthode d'optimisation combinant à la fois l'aspect économique et l'aspect énergétique.

Nous proposons ensuite l'introduction de matériaux locaux adaptés aux différentes zones climatiques. Le chêne liège est réparti à travers 22 wilayas du nord de l'Algérie. Il occupe la place première dans le programme national de reboisement. Il semble tout à fait évident de proposer ce matériau qui est un excellent isolant acoustique et thermique comme une solution de substitution à l'isolation actuelle des logements situés en zone A, B et C. A cause de sa disponibilité au sud du pays, nous proposons la brique de terre pour remplacer l'actuelle composition des murs extérieurs des logements situés en zone D, Cela rend la construction plus économique et confère au mur une forte inertie thermique et s'il est massif et utilisé en moyenne ou forte épaisseur. En dépit de l'important potentiel de bois de palmier dattier, ce dernier n'est pas utilisé dans les différents secteurs industriels. Il y'a donc

une nécessité d'explorer le potentiel d'utilisation de cette ressource au profit de l'industrie nationale. Vue ses propriétés thermiques, les fibres de palmier dattier représentent un matériau de renforcement très efficace pour l'isolation thermique. C'est dans ce sens que nous proposons la réintroduction de cet isolant naturel au sud du pays sachant qu'il est présent dans les toitures des habitations traditionnelles de cette région.

Choix des cas d'études

L'étude se porte sur les bâtis situés dans quatre régions représentant chacune une zone climatique couvrant ainsi tout le territoire national : Oran pour la zone A représentant le littoral marin, Blida pour la zone B représentant l'arrière littoral montagne, Sétif pour la zone C représentant les hauts plateaux, et enfin Bechar pour la zone D représentant le Sahara.

Démarche méthodologique

Il s'agit en premier lieu d'exposer un état de l'art et une recherche bibliographique dans un contexte mondial avec les recherches récentes dans le domaine de l'efficacité énergétique et l'intégration des systèmes solaires dans le bâtiment ainsi que les travaux récents portant sur les études technico économiques des systèmes solaires proposés.

Dans le contexte Algérien, nous avons exposé la situation géographique et le zonage climatique ainsi que le panorama de l'énergie dans notre pays. Nous avons par la suite parcouru la situation de la construction en Algérie ainsi que réglementation thermique qui la régit. Nous avons ensuite cité quelques exemples de logements bioclimatiques et valorisations existantes pour enfin terminer par les différents travaux de recherche effectués en Algérie dans le secteur du bâtiment.

Nous avons étudié par la suite des performances thermiques et déterminé les besoins énergétiques (chauffage et climatisation) des logements avec l'enveloppe actuelle (données de construction fournis par l'OPGI) par simulation dynamique en utilisant le logiciel Pléiades-COMFIE.

Nous avons par la suite étudié la faisabilité d'intégration d'un système de chauffage solaire (chauffage de l'habitat et chauffage de l'eau sanitaire) dans les

logements proposés. Un code de calcul a été développé (logiciel mathematica) pour le calcul de la fraction solaire par la méthode F Chart. Pour le chauffage des locaux nous avons intégré dans le calcul de la fraction les besoins énergétiques déterminés précédemment. Pour les besoins en chauffage de l'eau sanitaire nous avons considéré pour chaque région une taille de ménage telle définie par l'organisme national des statistiques lors de son dernier recensement national. Les données météorologiques mensuelles mesurées pour chaque zone sont considérées.

Pour l'étude de la faisabilité et l'influence des principaux couts affectant l'installation solaire (cout de l'énergie conventionnelle et le cout des capteurs solaires) sur la conception optimale de l'installation, une méthode d'optimisation simple combinant l'aspect économique et énergétique est utilisée pour déterminer la surface optimale en fonction du cout annuel minimum de l'installation.

Par la suite Nous avons proposé l'intégration de matériaux locaux (tels définis précédemment) et étudié leur influence sur la température intérieure et les besoins énergétiques pour les deux saisons hivernale et estivale pour chaque région en effectuant une comparaison avec les résultats obtenus avec l'enveloppe initiale.

Structuration du mémoire

Un chapitre introductif abordera une introduction générale, la problématique générale, le choix des cas d'études ainsi que la méthodologie d'approche. Le travail se structure en cinq chapitres :

Le premier chapitre aborde une revue bibliographique et état de l'art traitant des différents travaux effectués dans le monde et particulièrement en Algérie. Aussi l'analyse du contexte Algérien, la politique de construction en Algérie sont discutées. Dans ce chapitre nous avons mis en évidence l'expérience Algérienne dans l'efficacité énergétique dans le bâtiment avec des exemples de valorisations existantes.

Le deuxième chapitre est entièrement consacré à la modélisation du bâtiment qui comprend la modélisation thermique dynamique sous le logiciel Pléiades-COMFIE.

Le troisième chapitre sera consacré à la simulation thermique dynamique pour la détermination des besoins énergétiques par le logiciel Pleiades-COMFIE. Il s'agit de simuler les logements avec l'enveloppe initiale.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude de faisabilité de l'intégration de systèmes de chauffage solaires basés sur le calcul de la fraction solaire par la méthode F Chart. Un code de calcul a été élaboré. Une méthode d'optimisation combinant l'aspect énergétique et économique a été utilisée.

Le cinquième chapitre traitera de la proposition d'introduction de matériaux locaux pour l'isolation thermique pour toutes les zones et l'intervention sur la maçonnerie et toiture pour la zone du sud. Une simulation thermique dynamique est effectuée avec l'enveloppe proposée.

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale qui abordera les enseignements tirés de ce travail de recherche.

CHAPITRE1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART

1.1. Introduction

Plusieurs recherches entre thèses et articles ont traité sur l'amélioration de l'efficacité de l'enveloppe des bâtiments, la consommation énergétique et l'intégration des systèmes solaires en général. Des études ont été menées concernant l'aspect technico économique dans l'intégration de ces systèmes. Ce qui suit est une prospection des travaux de recherches menées par les chercheurs de différents pays pour les différents thèmes qui nous intéressent.

1.2. Revue bibliographique : contexte mondial

Plusieurs recherches entre thèses et articles ont traité sur l'amélioration de l'efficacité de l'enveloppe des bâtiments, la consommation énergétique et l'intégration des systèmes solaires en général. Des études ont été menées concernant l'aspect technico économique dans l'intégration de ces systèmes. Ce qui suit est une prospection des travaux de recherches menées par les chercheurs de différents pays pour les différents thèmes qui nous intéressent.

1.2.1. Efficacité énergétique dans le bâtiment

Considérant l'importance de réduire la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment S.S. Chandel et al [8] ont examiné la réglementation énergétique de 17 pays, y compris l'Inde et son impact sur l'évolution de la consommation d'énergie dans ces pays. Le constat est que L'enveloppe du bâtiment, les conditions climatiques et du site, les matériaux de construction, la conservation de l'eau, le recyclage des eaux usées, le chauffage, l'éclairage naturel, le refroidissement et la ventilation sont des paramètres importants pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Les mesures d'efficacité énergétique identifiées ainsi que les concepts de chauffage et de refroidissement solaires passifs sont proposés.

Dans le même contexte W. A. Friess et al [9] aux Emirats Arabes Unis examinent l'efficacité d'un certain nombre de mesures prises pour répondre aux exigences croissantes des nouvelles réglementations en matière d'énergie et comprennent des

mesures spécifiques à l'enveloppe du bâtiment dans la phase de planification ou en rénovation. Les résultats ont confirmé l'importance des facteurs suivants pour les structures optimisées en énergie tels que l'orientation du bâtiment, l'isolation thermique (pouvant générer plus de 20% d'économies d'énergie en particulier dans le contexte résidentiel), et le type de vitrage approprié.

Afin d'offrir aux occupants un confort thermique au moindre coût S. Jaber et al [10] en Jordanie discute dans son article une évaluation de mesures prises e du point de vue énergétique, économique et environnementale pour les bâtiments résidentiels typiques situés dans la région méditerranéenne. Les résultats montrent qu'environ 27,59% de la consommation d'énergie annuelle peuvent être économisés en choisissant la meilleure orientation, la taille optimale des fenêtres et du dispositif d'ombrage, et une épaisseur d'isolation. Le coût du cycle de vie est réduit de 11,94%. La consommation d'énergie spécifique est de 64 kWh / m² /an.

Dans le volet isolation thermique et analyse économique des bâtiments, nous citons les travaux les plus intéressants Comakli [11] a étudié l'épaisseur optimum de l'isolation et estimé le gain obtenu durant le cycle de vie du bâtiment. Jinghua et al [12] ont utilisé quant à eux une simulation pour étudier l'effet de l'épaisseur de l'isolant et sa position sur la façade d'un immeuble .une réduction de la demande énergétique de 25.92% a été obtenue. L'optimisant à portée sur un système comprenant l'isolation, le vitrage et l'ombrage.une épaisseur optimale a été déterminée. Omer Kaynakli [13] a présenté une revue de la littérature sur l'isolation thermique aux murs extérieurs des bâtiments, et s'est particulièrement concentré sur la détermination d'une épaisseur d'isolation économique. Les matériaux d'isolation et les types de combustibles rencontrés dans la littérature ont été compilés et présentés. Parmi les travaux les plus importants cités on retrouve, en Turquie les travaux d'Ucar et Balo [14] [15], Kaynakli [16] et Bolatturk [17]. En Chine Yu et al [18] on retrouve aussi Mahlia et al [19] en [Malaysia](#). Al-Khawaja [20] au Qatar et enfin Daouas et al [21] en Tunisie. Les effets de l'isolation et d'autres paramètres de conception de bâtiments sur la consommation d'énergie dans les bâtiments et sur les émissions dans l'environnement ont été étudiés. Cette étude pourrait être une ressource utile pour les chercheurs car, puisqu'elle comprend un examen des systèmes d'isolation thermique (pour l'enveloppe du bâtiment et d'autres applications), la procédure d'optimisation et un exemple d'application pratique.

Dans le travail de Moncef Krarti, Kankana et al [22] en Arabie saoudite, des conceptions optimisées pour les nouveaux bâtiments ainsi que différents programmes de rénovation énergétique pour les bâtiments existants sont pris en compte dans l'analyse ascendante utilisant des modèles d'énergie architecturaux situés dans cinq sites représentant un large éventail de climat. L'analyse présentée fournit des estimations spécifiques dans la mesure des économies d'énergie et de demande qui pourraient être réalisées dans le secteur du bâtiment, même dans le cas de prix de l'énergie fortement subventionnés.

L'économie d'énergie est une priorité dans les pays développés. Pour cette raison, des mesures d'efficacité énergétique sont de plus en plus appliquées dans tous les secteurs. La performance énergétique d'une école maternelle équipée d'un système de toit vert à Athènes, Grèce par M. Santamouris et al [23] a été analysée. Des simulations ont été effectuées dans les deux cas, non isolé et isolé et selon les résultats, l'installation du toit vert contribue de manière significative à l'efficacité énergétique des bâtiments. Il constate réduction significative de climatisation mais pour le chauffage son impact est insignifiant.

Zhai, XQ et al [24] Les bâtiments écologiques de l'Institut de recherche de Shanghai de la science du bâtiment comprennent un immeuble de bureaux pour la démonstration de bâtiment public et deux immeubles résidentiels (appartement et maison individuelle). Un système intégré de l'énergie solaire (le chauffage, la climatisation, la ventilation naturelle et l' 'eau chaude) a été conçu et construit pour l'immeuble de bureaux. Cependant, les systèmes d'eau chaude solaires ont été installés pour l'appartement et la maison individuelle. Les trois systèmes solaires thermiques ont fonctionné pendant deux années. Deux approches différentes d'intégration ont été mises en pratique dans les deux immeubles résidentiels verts. Il est démontré que, pour les bâtiments neufs, les capteurs solaires peuvent être montés sur les balcons et les toits, à condition que les systèmes solaires deviennent partie intégrante de la conception générale du bâtiment.

Jinghua Yu et al [25] ont utilisé dans leur article la méthode EETP (method on evaluation of energy and thermal performance for residential buildings) pour évaluer le rendement énergétique et la consommation d'énergie de refroidissement et de chauffage. EETP index peut suggérer des façons possibles d'améliorer l'efficacité énergétique pour la conception de bâtiments de nouvelle construction et rénovation de

bâtiments existants. Cette étude fournit aux autorités compétentes des informations utiles pour la mise en place d'une politique sur l'efficacité énergétique des bâtiments (conception de bâtiments durables résidentiels à confort thermique élevé et faible consommation d'énergie).

Dans le secteur résidentiel toujours. R. Pacheco [26] propose une analyse d'études antérieures évaluant l'influence de ces paramètres sur la demande énergétique totale. Il suggère les meilleures options de conception. Cette étude est utile pour les professionnels qui sont responsables de la prise de décision lors de la phase de conception des bâtiments résidentiels éconergétiques. Sur Influence de la forme sur l'optimisation énergétique du bâtiment sont cités les travaux d'UT. Aksoy [27] et W.Wang [28] .Sur l'influence du facteur de forme sont cités B.B.Ekici [29], G.A. Florides et al [30] et T. Mingfang et al [31], enfin sur l'influence de l'orientation du bâtiment on retrouve les travaux de J. Morrissey et al [32] et R.Gupta et al [33].

Dans le travail de Long Enshen, Xiao Yimin, [34] la performance énergétique des bâtiments solaires a été démontrée. Un niveau important d'économie d'énergie est atteint. La comparaison de bâtiments solaires et conventionnels en termes de consommation d'autres énergies conventionnelles démontre l'ampleur d'un tel potentiel.

C. Filippin et al [35] ont trouvé comme résultat que l'enveloppe du bâtiment et la période de fonctionnement du système de chauffage sont des paramètres importants qui influent sur la consommation totale de l'énergie.

1.2.3. Intégration des systèmes solaires dans le bâtiment

Le chauffage de l'eau contribue à une grande partie de la consommation d'énergie résidentielle dans le monde entier. Ainsi, le choix judicieux d'un système d'eau chaude sanitaire permet d'économiser de l'énergie, de protéger la nature et de réduire les coûts d'exploitation.

Le but de l'étude d' A.Allouhi [36] est d'évaluer la faisabilité technique des chauffe-eau solaires (SWH) dans des conditions spécifiques marocaines. Simulations annuelles dans six régions différentes pour deux technologies : des capteurs plans et à tubes sous vide ont été simulés par le logiciel TRANSOL. Il a été constaté que des valeurs élevées de la fraction solaire peuvent être atteintes dans presque toutes les régions étudiées avec de préférence d'utiliser des collecteurs à tubes sous vide. En

outre, l'étude souligne que l'emplacement et le climat sont des paramètres déterminants de la performance globale des systèmes de chauffage solaire de l'eau.

Les potentiels solaires des chauffe-eau solaires et solaires ont été étudiés par H.Benli [37] à partir de données météorologiques et géographiques de six villes turques. Les besoins en énergie pour le chauffage de l'eau, les performances des capteurs et les indicateurs économiques ont été calculés en utilisant les données climatiques locales et pour différents types d'absorbeurs. Six provinces turques ont été choisies. Les données montrent également que la plupart des chauffe-eau solaires sont principalement utilisés par le secteur résidentiel pour la production d'eau chaude (environ 96%). L'analyse de vulgarisation régionale indique que l'installation de chauffe-eau solaires est limitée dans les districts de l'Est et du Nord. Dans tous les districts, le problème des conditions climatiques et le manque de pouvoir d'achat sont abordés

Thiago P. Lima et al [38] utilisent une simulation numérique pour étudier la faisabilité technique et financière d'un système de chauffe-eau solaire pour une blanchisserie d'hôpital dans la ville de Recife au Brésil .Après avoir modélisé les composants du système, certains paramètres du système ont été optimisés, tels que l'angle d'inclinaison du capteur, le débit d'eau, la surface des collecteurs et la taille du réservoir d'eau. L'analyse économique a été réalisée en comparant les économies de cycle de vie annuelles pour le système solaire par rapport au système actuellement utilisé qui fonctionne au gaz naturel. Les résultats ont montré que la réduction de La consommation de gaz naturel engendrée par l'utilisation d'un système de chauffage solaire est une option économiquement rentable.

D'après Dapeng Li et al [39], Le chauffe-eau solaire (SWH) est de plus en plus utilisé dans la zone urbaine en Chine où les capteurs sont susceptibles d'être ombragés par les bâtiments voisins. Cet article présente une approche intégrée pour évaluer quantitativement la performance d'un modèle de SWH développé sous TRNSYS dans conditions d'ombrage de géométrie complexe et arbitraire. Les résultats de l'étude révèlent que les SWH avec des configurations ombrées peuvent consommer plus d'énergie primaire que les chauffe-eau classiques contrairement aux SWH dans le contexte dégagé. L'approche proposée est utile pour faire un meilleur usage de SWH dans le contexte urbain pour maximiser les économies d'énergie.

Au Brésil, la conception du système de chauffage solaire de l'eau utilisée pour maximiser le gain d'énergie pendant l'hiver est traitée par P.D. Lund [40], en optimisant l'inclinaison et l'emplacement du capteur plan solaire. Ceci a conduit à un coût minimal pendant le cycle de vie de l'équipement. Un système de chauffage solaire à thermosiphon avec Capteur plan à eau pour le climat de Sao Paulo a été simulé.

La performance réelle des systèmes installés en fonctionnement, et d'autre part une perspective de cycle de vie de sa consommation d'énergie est analysée par J Benoni Arruda et al [41] et une étude de terrain en Irlande est également présentée. Lors de l'analyse, il a été démontré que la performance réelle des systèmes solaires de chauffage de l'eau peut être inférieure aux attentes.

Une étude bibliographique détaillée sur les chauffe-eau solaires a été réalisée par S. Jaisankar [42] et qui donne un aperçu sur les développements dans les domaines clés des technologies, soit pour améliorer les performances du système actuel, soit pour concevoir un nouveau système. En conclusion il recommande plus de recherches dans les chauffe-eau solaires thermosiphon, aussi il propose de mettre en œuvre des modifications dans les chauffe-eau solaires à écoulement parallèle pour améliorer l'efficacité globale du système. A. Jamar [43] a lui passé en revue les applications d'énergie solaire de pointe, en mettant l'accent sur le système de chauffage solaire de l'eau qui peut être divisé en deux systèmes : le système actif (boucle ouverte et boucle fermée) et le système passif (thermosiphon et ICS). Cet article a également examiné les trois composants de base des chauffe-eau solaires qui sont : le capteur solaire, le réservoir de stockage et fluide caloporteur et ses avancées dans la recherche. Une étude de variété de capteurs solaires a été discutée.

Dans l'étude de O.Ibrahim [44], un examen détaillé et une revue des différents systèmes de chauffage de l'eau existant dans le monde a été présentée. Six catégories différentes ont été introduites, à savoir le bois, le pétrole / gaz, l'électricité, la pompe à chaleur,

Le Dimensionnement et l'applicabilité des systèmes solaires combinés qui fournissent à la fois le chauffage et l'eau chaude domestique sont étudiés par X.Q. Zhai et al [45]. L'analyse est basée sur un modèle analytique quotidienne de prédire les performances du système en moyenne annuelle.

Viorel Badescu et al [46], a étudié un système de chauffage actif d'une maison passive (Pirmasens) à Bucarest « Romania », qui comprend des capteurs solaires

verticaux orientés plein sud et une cuve de stockage, un circuit d'eau secondaire, un système d'ECS, avec un système de chauffage par une ventilation de l'air (échangeur air-eau). La modélisation est faite à l'aide de l'outil TRNSYS. Le système de chauffage solaire actif fournit une plus petite quantité de chaleur que celle fournie par le système de chauffage solaire passif. Presque toute l'énergie solaire collectée n'est pas utilisée pour le chauffage des locaux mais contribue à la production de l'eau chaude sanitaire. Viorel Badescu [47], a amélioré un système de chauffage solaire actif. Les nouveaux modèles ont été intégrés dans maison passive à (Pirmasens) en Roumanie. Après simulation du système, il a été trouvé que l'énergie solaire captée utilisée pour l'ECS elle est de 10 fois plus grande que celle utilisée pour le chauffage. Le chauffe-eau classique néanmoins fournit environ 20% de la chaleur annuelle requise par le système d'ECS.

Dans l'article d'A.Soteris [48], ce dernier présente un constat sur la pollution causée par les combustibles fossiles, suivie d'une étude sur la protection de l'environnement qui consiste en l'introduction de systèmes de chauffage solaire de l'eau et des locaux. Les résultats présentés montrent qu'en utilisant l'énergie solaire, des quantités considérables de gaz polluants à effet de serre sont évitées. Dans le cas d'un système de chauffage solaire d'eau domestique, l'économie, par rapport à un système conventionnel fonctionnant à l'électricité ou au diesel, est d'environ 80%. Dans le cas d'un système combiné de chauffage et d'eau chaude, l'économie est d'environ 40%. De plus, tous les systèmes étudiés donnent des caractéristiques financières positives et très prometteuses.

Des systèmes de chauffage seul ont aussi été étudiés. La performance thermique d'un bâtiment solaire passif (banque) à Shimla, a été évaluée par G. Manioglu et al [49]. Le bâtiment solaire objet de l'étude intègre un mur trombe et chauffage solaire de l'air par le plafond avec appoint électrique, Véranda et fenêtres double vitrages. L'étude montre que le coût élevé de la centrale électrique / gaz / feu de bois de chauffage peut être remplacé par un système de chauffage solaire à faible coût avec des radiateurs d'appoints. Il est démontré que les systèmes solaires passifs économisent de l'électricité nécessaire au chauffage des locaux et réduisent les pertes de chaleur dans le bâtiment d'environ 35%.

U.Eicker [50] a étudié ¶ La performance thermique d'une chambre d'essai chauffée par circulation d'air chaud sous le plancher. Un modèle mathématique est développé

basé sur l'équilibre de transfert de chaleur entre le flux d'air chaud dans les conduites, le sol et l'air intérieur.

Le chauffage par le plancher a été étudié aussi par J. Miriel et al [51]. Un dispositif expérimental constitué de deux chambres identiques et les systèmes RFH (radiant floor heating) est construit et mis en service. L'installation permet une comparaison simultanée de deux différentes stratégies de régulation dans des conditions de charge similaires.

Ucar. A et al [52] dans son étude, les performances thermiques et des économies de trois types de système de chauffage solaire central avec stockage saisonnier sont comparés. Trois types de stockage saisonnier ont été simulés : réservoir de stockage sans isolation sur le sol, réservoir de stockage avec une isolation sur le sol, et le réservoir de stockage enterré sans isolation. Les résultats de simulation faits avec ANSYS montrent que la fraction solaire est supérieure et des économies sont obtenues pour le système de stockage enterré. Aussi la fraction solaire du système de stockage à isolation est nettement supérieure à celui non isolé.

Des techniques de chauffage et de rafraîchissement par le plancher et le plafond sont étudiées et analysés dans plusieurs articles. F. Calise et al [53] étudient l'un des premiers bâtiments à énergie passive réhabilités de bureau standard en Europe qui a été suivi sur deux ans pour analyser les performances de refroidissement d'un échangeur de chaleur souterrain et ventilation mécanique nocturne avec le confort d'été dans le bâtiment avec Installation entre autres d'un plancher chauffant de 833 m².

Une méthode de calcul de la température de surface de plancher chauffant / système de refroidissement a été étudiée par O. Bozkır et al [54]. Les résultats ont montré que les valeurs de température de surface de plancher proposées sont en accord avec les valeurs expérimentales et numériques.

L'étude de X. Jin et al [55] traite du confort thermique et de l'efficacité de la ventilation qui peut être obtenue en combinant le chauffage par le plancher et le refroidissement avec ventilation par déplacement. Les mesures montrent que le chauffage au sol peut être utilisé (ventilation par déplacement), l'obtention des valeurs élevées prouve l'efficacité de la ventilation. Une corrélation entre la capacité de chauffage par le sol et le profil de température de l'air dans la pièce a été trouvée.

La performance des systèmes de chauffage et de refroidissement solaires assistés est analysée par simulation sous TRNSYS par P. Hernandez et al, [56]. Le modèle inclut une conception assistée par ordinateur de la procédure d'expériences visant à déterminer la plus importante variable de conception du système du point de vue énergétique. En outre, un processus d'optimisation est également réalisé pour maximiser la performance énergétique des systèmes ». Enfin, une analyse détaillée et étude de cas (référence à un immeuble de bureaux situé dans le sud de l'Italie) est développée. Le rendement et le comportement de systèmes des principaux composants de l'installation sont étudiés.

X.Q. Zhai et al [57] proposent l'étude d'un système d'énergie solaire (chauffage, rafraîchissement, ventilation naturelle et eau chaude sanitaire) construit sur 460 m² à l'Institut de recherche sur les sciences du bâtiment de Shanghai. Le système comprend principalement un champ de capteurs solaires d'une superficie de 150 m², deux refroidisseurs par adsorption, des tuyaux de chauffage par rayonnement au sol, des échangeurs de chaleur à tubes à ailettes et un réservoir de stockage d'eau chaude de 2,5 m³ de volume. Il est utilisé pour le chauffage en hiver, refroidissement en été, ventilation naturelle au printemps et en automne, alimentation en eau chaude toute l'année. L'ensemble du système est contrôlé par un ordinateur. Après 1 an d'exploitation, il est confirmé que le système solaire contribue à 70% de l'énergie totale de l'espace concerné pour les conditions météorologiques de Shanghai.

L'utilisation de l'électricité dans les bâtiments commerciaux, compte pour environ un tiers de la consommation totale d'énergie en Turquie et les immeubles de bureaux entièrement climatisés sont d'importants. N. Eskin et al [58] ont effectué une simulation de chauffage et refroidissement pour des bâtiments de 4 zones climatiques principales en Turquie. Les résultats de la simulation sont comparés et analysés avec un bâtiment à usage de bureaux situé à Istanbul. Des résultats détaillés sont présentés pour chaque ville.

Un système de refroidissement et de chauffage solaire thermique est étudié par Ming. Qu et al [59]. Ce système de refroidissement et de chauffage solaire comprend principalement 52 m² de capteurs solaires cylindro-paraboliques et un refroidisseur à absorption au bromure de lithium (LiBr). Il a été constaté que ce système thermique

solaire pourrait potentiellement fournir 39% de refroidissement et 20% de l'énergie de chauffage.

L'objectif de l'article de Hoy-Yen Chan [60] est de passer en revue technologies solaires passives pour le chauffage et le refroidissement des locaux. Les avantages, les limites et les défis technologies ont été mises en évidence et les besoins de recherche futurs dans ces domaines ont également été suggérés.

1.2.4. Etudes technico économiques et optimisation des systèmes

La faisabilité d'intégration a été traitée dans plusieurs articles. B. Greening et al [61] considèrent dans leur étude la durée de vie des systèmes de chauffage solaire de l'eau dans les régions avec faible ensoleillement, comme le Royaume-Uni. Les résultats suggèrent que les capteurs plans ont des impacts environnementaux légèrement inférieurs aux capteurs sous vide. Toutefois, leur potentiel est entravé par le fait qu'il y ait recours au chauffage d'appoint, généralement la chaudière à gaz. Pour cette raison, ainsi qu'en raison d'un manque d'emplacements appropriés et du mauvais rendement, le potentiel des systèmes solaires thermiques pour contribuer à un approvisionnement en énergie solaire à usage domestique plus durable au Royaume-Uni est limité.

S. Kalogirou [62] dans son étude stipule qu'à chypre 6,5% de la demande annuelle d'énergie est fournie par l'énergie solaire. Cette énergie est principalement utilisée dans le secteur domestique (93,5%) pour la production d'eau chaude. Une analyse est donnée sur l'état actuel de l'industrie du chauffage solaire de l'eau de ainsi que l'analyse des différents problèmes que peuvent rencontrer un système de chauffage solaire de l'eau par différents paramètres entre autre la mauvaise qualité de l'eau chaude (température). L'analyse est présentée sous la forme d'un diagramme de cause à effet. Les principales causes des problèmes sont identifiées.

M. Sorour et al [63] ont étudié, la performance et l'analyse économique d'un système solaire de chauffage et de refroidissement par le logiciel transys. La charge de chauffage d'eau, la charge du chauffage de l'espace et la charge de refroidissement d'une maison égyptienne typique ont été considérées.

Sur le plan technico économique pour l'intégration de système de chauffage solaire plusieurs articles traitent de ce sujet par exemple B.G.Akinoluger et al [64] qui déterminent la surface optimale et la capacité de stockage pour plusieurs sites en Turquie tout en comparant deux capteurs ayant des performances différentes (rendement bas et élevé). D.Diakoulaki et al [65] montrent que, dans les conditions

grecques, l'utilisation de capteurs solaires entraîne des avantages sociaux nets et considérables si on les substitue à l'électricité et au diesel, mais pas au gaz naturel qui reste à bas prix. M.Hazami et al [66] Ont étudié le potentiel énergétique et économique des systèmes de chauffage d'eau solaire au lieu des chauffe-eau électriques / gaz. L'étude a porté sur des ménages tunisiens typiques composés de 4 à 5 personnes. M.R.Abouziid [67] a évalué la faisabilité économique de l'utilisation de l'énergie pour le chauffage des locaux et les et le chauffages de l'eau chaude sanitaire pour une maison à Bengazi en Libye, les résultats obtenus permettent de dire que les systèmes doivent être généralisés et appliqués dans d'autres villes vu le rendement satisfaisant obtenu.

N.N.A. Hawlader [68] décrit les différentes méthodes d'analyse d'un système solaire de gestion de l'eau afin de déterminer sa faisabilité économique. Il a cité entre autres dans son article les travaux similaires tels que C.D. Barley et al [69], M.J. Brandemmuehl et al [70], P.J. Lunde [71]. P.R.Barnes [72] suit l'approche de K.Chang et al [73] qui adopte comme approche l'optimisation du champs de captation en calculant la surface optimale en fonction des différents couts rentrant dans l'investissement et le cout annuel de l'installation.

Une étude techno-économique a été menée par S. Nikoofard et coll. [74] pour évaluer la consommation d'énergie et l'impact des émissions de GES liées à la modernisation des systèmes SDHW dans les maisons canadiennes. Les résultats de faisabilité économique démontrent qu'avec un certain degré d'incitation gouvernementale, il est possible de rendre les systèmes SDHW économiquement attrayants, entraînant des réductions substantielles de la consommation d'énergie conventionnelle et des émissions de GES associées d'environ 2%. H. M. Abd-Ur-Rehman et al [75] proposent l'évaluation des critères de sélection optimaux pour les systèmes de chauffage solaire de l'eau (SWH) basés sur les aspects techno-économiques des capteurs solaires à tubes sous vide et à plat. Dix villes différentes en Arabie Saoudite sont considérées. Pour toutes les villes, la crédibilité des capteurs d'eau souterraine évacués se justifie par une fraction solaire plus élevée, des économies d'énergie plus importantes et un potentiel de réduction des émissions de GES. Les résultats démontrent qu'un nombre plus élevé d'occupants donne une période de récupération plus faible et un rapport avantages-coûts plus élevés ; tant que le nombre de collecteurs n'est pas augmenté à une limite où le coût initial plus élevé domine et diminue la viabilité économique du projet. L'évaluation technique et

économique d'un système solaire typique de chauffage de l'espace et de l'eau, utilisé dans une maison individuelle de 88 m² conçue selon le dernier règlement grec sur la performance énergétique des bâtiments comme moyen de construction de bâtiments à énergie quasi nulle (NZEB) est proposée par G. Martinopoulos et al [76]. Une analyse financière a été effectuée et la valeur actualisée nette et la période de récupération actualisée (DPBP) ont été calculées et corrélées avec la zone de collecte des systèmes solaires et le volume du réservoir de stockage. Les résultats montrent que l'utilisation d'un système solaire thermique pour le chauffage des locaux et de l'eau permet de minimiser les coûts énergétiques ainsi que les émissions atmosphériques subséquentes. Dans tous les cas, les systèmes analysés se sont avérés capables de couvrir plus de 42% de la charge totale et jusqu'à 95% tout en présentant un DPBP inférieur à 10 (pour le gaz naturel) et aussi bas que 4,4 ans dans certains cas (par rapport à l'huile). A.H. Al-Badi [77] démontre que l'utilisation des SWHS dans tous les gouvernorats d'Oman permet d'économiser jusqu'à 1859 GWh par an, ce qui équivaut à l'énergie annuelle produite par une centrale de 212 MW fonctionnant à la puissance nominale. L'étude montre que la diffusion des SWH à Oman nécessite la mise en place de politiques qui motivent les gens à les utiliser. M. Hamami & al [78] évaluent le comportement dynamique et la performance intégrée à long terme d'un Système DSWH basé sur ETC récemment commercialisé en Tunisie. Un modèle TRNSYS a été réalisé en utilisant des données d'essais sur le terrain relatives à l'Année météorologique typique (TMY) de Borj Cedria, en Tunisie (climat nord-africain). Le modèle a été validé par des résultats expérimentaux. La faisabilité des avantages techniques et économiques est démontrée. Pour plus de détails voir le document d'A.Gautam & al [79] : Une revue sur les améliorations techniques, la faisabilité économique et le monde du système de chauffage solaire de l'eau.

1.3. Analyse du contexte Algérien

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique par sa superficie de 2 381 741 km². L'Algérie se compose de quatre principaux ensembles de reliefs, d'étendue très inégale, qui se succèdent du nord au sud : [80]

- Au nord, le long de la côte méditerranéenne, s'étend l'étroite plaine du Tell algérien. Cette plaine discontinue et de largeur variable (80 km à 190 km) ainsi que les vallées attenantes, abritent la grande majorité des terres agricoles du pays.

- Limitant la plaine côtière au sud, on observe un vaste ensemble de plus hauts reliefs : deux importantes chaînes de montagnes orientées est-ouest (l'Atlas tellien au nord, l'Atlas saharien et le massif des Aurès au sud) encadrent une région de hauts-plateaux désertiques, dont le profil en cuvette explique la présence de nombreux lacs salés (chotts) collectant les eaux de surface (Le point le plus bas : Chott Melrhir –40 m).

- Au sud de l'Atlas saharien s'étend l'immense désert du Sahara qui représente 80% de la superficie de l'Algérie. Le Sahara se compose pour une grande part de plateaux rocheux et de plaines caillouteuses. Deux vastes régions de sables (le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental) constituent les principaux ensembles de reliefs dunaires du désert saharien.

- Enfin, au sud du Sahara s'étend le massif du Hoggar : c'est une succession de hauts-plateaux désertiques qui s'élèvent en gradins, dominée dans sa partie centrale par d'imposants reliefs au profil dentelé, qui culminent à 2 908 m au nord de Tamanrasset (Le point le plus haut : Tahat 3 003m).

1.3.1. Le climat en Algérie

La région du Tell, au nord, est caractérisée par un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il s'agit de la zone la plus humide d'Algérie, avec des précipitations annuelles variant entre 400 et 1 000 mm d'eau. Les températures moyennes estivales et hivernales sont respectivement de 25 °C et de 11 °C. En été, le sirocco, un vent sec et très chaud (baptisé localement le Chehili), souffle depuis le Sahara en direction du nord. Plus on descend vers le sud, plus le climat devient sec : les précipitations annuelles dans les hauts Plateaux et l'Atlas saharien ne dépassent pas 200 à 400 mm. Le Sahara est une région ventée et très aride, où les amplitudes thermiques sont souvent considérables : ces variations de températures, extrêmement élevées le jour et très basses la nuit, s'expliquent par l'absence totale d'une humidité capable d'en atténuer les contrastes. La hauteur des pluies annuelles est inférieure à 130 mm dans l'ensemble du désert algérien.

1.3.1.1. Les zones climatiques

1.3.1.1.1. Classification du climat en Algérie [81]

La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales
 Zone A : Littoral marin ; Zone B : Arrière littoral montagne, Zone C : Hauts plateaux ;
 Zone D : Présaharien et saharien. (Figure 1.1).

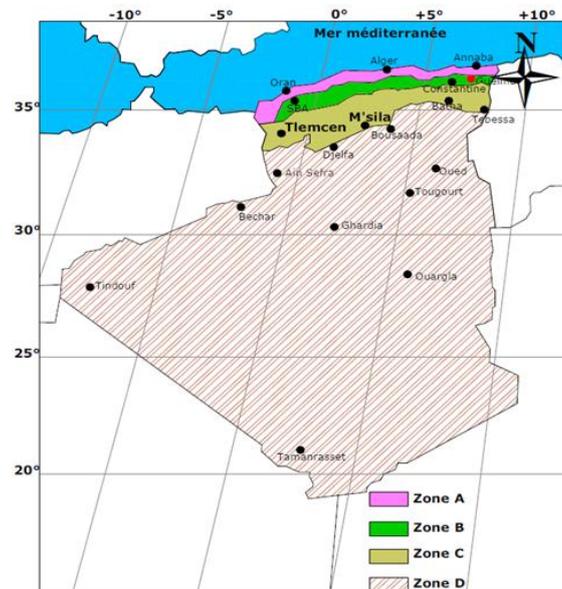


Figure1.1 : Classification du climat en Algérie [82]

La zone A

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à la l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Tableau 1.1: Caractéristiques spécifiques de la zone A

Zone A : littoral marin	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 35°N à l'ouest à 37°25N à l'est La limite inférieure de 35°15 à l'ouest à 37° 35 à l'est,
Variations saisonnières	spectre climatique varié de chauds étés avec soleil abondants et peu de pluies et des hivers modérés,

Températures	20 à 25 °C,
Précipitations	assez pluvieux de 500 mm,
Humidité	peu élevée,
Vents	modérés, nord à nord-ouest en hiver.

La zone B

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Tableau 1.2: Caractéristiques spécifiques de la zone B

Zone B : Arrière littoral montagne	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 35°10 N à l'ouest à 37°35N à l'est La limite inférieure de 35°25 à l'ouest à 36° 25 à l'est,
Variations saisonnières	avec des hivers plus frais.

La zone B' comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dara et des Braz à une longueur de 200 km et une largeur entre 10 et 60 km. L'influence de la mer y est très atténuée par les montagnes formant écran. Le climat est aussi variable qu'en zone B.

Elle se caractérise par un hiver Extrêmement chaud et pénible avec des températures maximales analogues au Sahara. L'été est moins doux qu'en zone B mais aussi long. Aussi en cette saison les écarts diurnes sont forts (18°) et indépendants de la température.

La zone C

Le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Tableau 1.3: Caractéristiques spécifiques de la zone C

Zone C : Hauts plateaux

Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 35°25N à l'ouest à 36°25N à l'est La limite inférieure de 34°50 à l'ouest à 35° à l'est,
Températures	supérieure à 30°C. Ecart important (15-18). En hiver, les températures tombent en dessous de 0,
Précipitations	environ 300mm mais très variable,
Humidité	peu élevée,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair avec des périodes de nuage léger. Rayonnement diffus modéré, des nuages et rayonnement réfléchi par le sol de modéré à élevé,
Vents	Essentiellement de direction ouest. Tendent à être forts débutant en fin de matinée atteignent le maximum dans l'après-midi. Nuits calmes.

La zone D

Le climat Présaharien ou saharien quant à lui est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre.

Les vents sont chauds et sont fréquemment accompagnés de tourbillons de sable et de poussière. Les précipitations sont rares et interviennent souvent sous forme d'averses ou de pluies orageuses.

Le confort thermique est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs. Dans les zones arides, les besoins de chauffage en hiver sont faibles, bien que réels, mais les besoins de refroidissement, en été, soient beaucoup plus importants.

Tableau1.4: Caractéristiques spécifiques de la zone D.

Zone D : Présaharien et Sahara	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 34°50N à l'ouest à 35°N à l'est. La limite inférieure de 19° à l'est et à l'ouest,
Variations saisonnières	02 saisons, chaude et froide,
Température	T° Moy, Max : 45°C et entre 20-30°C en hiver, variation saisonnière de 20°C. L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids,
Précipitations	Pluies rares, torrentielles par moments,
Humidité	réduite entre moins 20% après midi à plus de 40% la nuit,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après-midis. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchit par le sol,
Végétation	extrêmement clairsemée,
Vents	généralement locaux.

1.3.2. Panorama de l'énergie en Algérie [2]

L'importance du secteur de l'énergie, dont celui des hydrocarbures, est établie et de notoriété publique, ne serait-ce qu'en raison de la part des exportations d'hydrocarbures, qui, représente aujourd'hui 97% des recettes du pays.

1.3.2.1. Production d'énergie primaire

La production commerciale d'énergie primaire en 2016 a atteint 166.2 M Tep. Le gaz naturel vient en première position (54%) suivi par le pétrole brut (33.8%).

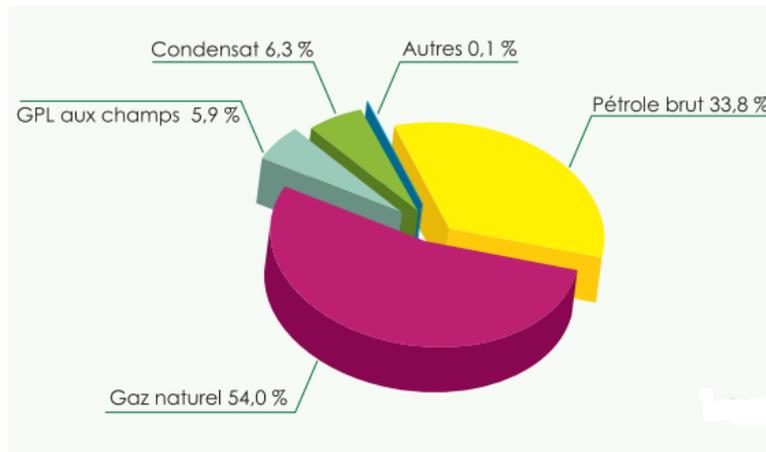


Figure 1.2: Production d'énergie primaire [1]

1.3.2.2. Production d'énergie dérivée

La structure de la production d'énergie dérivée reste dominée par les produits pétroliers avec près de 48,0%.

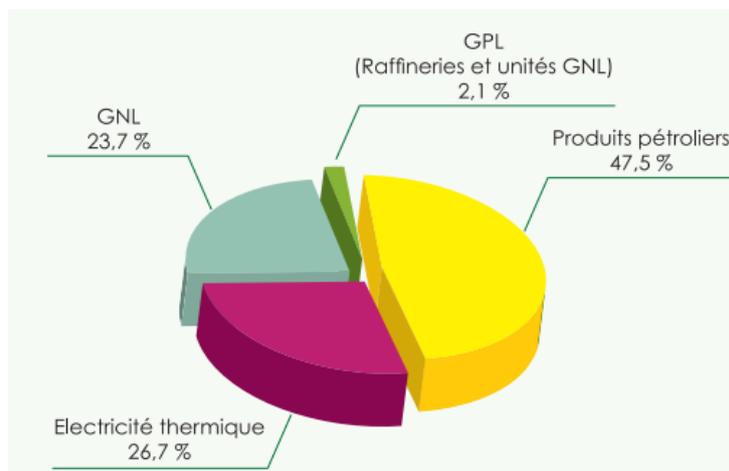


Figure 1.3: Production d'énergie dérivée [1]

1.3.2.3. Potentiel solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3500 heures (hauts plateaux et Sahara).

Tableau 1.5: Potentiel solaire en Algérie

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

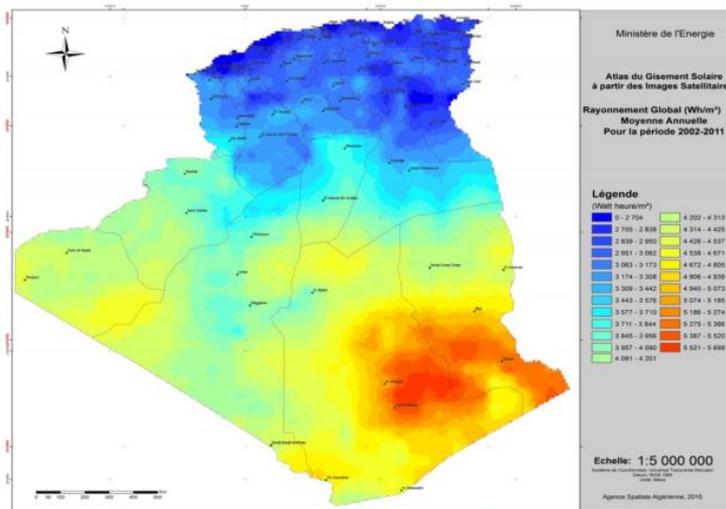


Figure 1.4: Carte de l' Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

1.3.2.4 Potentiel Eolien en Algérie

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel). Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tebessa, Biskra, M'sila et Elbayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).

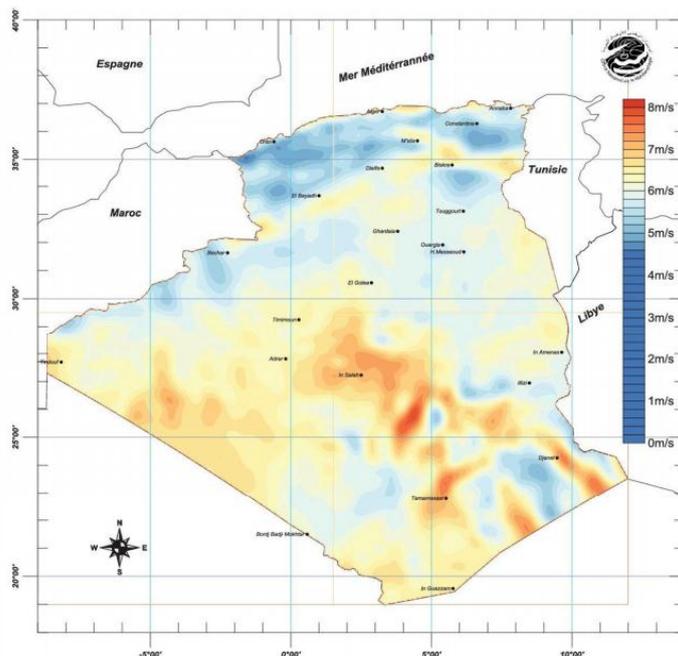


Figure1.5: Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001 -2010) [2]

1.3.2.5. Potentiel de l’Energie Géothermique en Algérie

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d’identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d’entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d’identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone de Aïne Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk

1.3.2.6. Potentiel Hydraulique

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer. Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et

renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface. 103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation.

1.3.2.7. Potentiel de la biomasse en Algérie

a) Potentiel de la forêt

Le potentiel actuel est évalué à environ 37 Millions de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole). Le potentiel récupérable est de l'ordre de 3,7 Millions de TEP. Le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10%.

b) Potentiel national des déchets ménagers et assimilés

05 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1.33 millions de TEP/an.

1.3.3. Politique environnementale

L'Algérie a signé le protocole de Kyoto le 16 Février 2005. une politique pour la diminution de la pollution atmosphérique a été établie. [83]

Dans le domaine de l'énergie, les actions à court et moyen terme sont les suivantes :

- 1- L'introduction du cycle combiné dans la nouvelle génération des centrales électriques. Leurs rendements passeront de 30 à 60%.
- 2- L'amélioration des performances de transport et de la distribution de l'énergie électrique en minimisant les pertes en ligne par l'utilisation des systèmes d'isolation performants.
- 3- L'amélioration du stockage, du transport et de la distribution du gaz.
- 4- La promotion des énergies renouvelables
- 5- La promotion des appareils économes d'énergie
- 6- L'élaboration des textes réglementaires portant sur la thermique des bâtiments, l'étiquetage des appareils et l'ouverture de la maîtrise de l'énergie dans le secteur privé.

Stratégie énergétique 2030-2050 [84]

La consommation énergétique augmentera nettement à l'horizon 2030-2050 alors que les réserves des hydrocarbures s'épuiseront. L'Algérie devra donc mettre un plan d'action à moyen et long terme afin de palier à ce problème et développer les autres

secteurs hors hydrocarbures. L'Algérie devra baser ses efforts sur la maîtrise de l'énergie afin d'éviter le gaspillage tout en respectant la promotion des énergies renouvelables. Pour cela des dispositions ont été prises, à savoir

1. L'élaboration des textes réglementaires pour le respect de l'environnement
2. L'élaboration des textes régissant la maîtrise de l'énergie
3. Production et exportation des produits raffinés et développement de l'industrie du gaz naturel
4. Formation du personnel pour l'exploitation de l'énergie nucléaire à des fins civiles
5. Promotion des énergies renouvelables : le solaire, l'éolien et l'hydraulique par l'introduction de l'électricité renouvelable

1.34 .Etat des lieux sur la construction en Algérie

Les équipements réalisés durant les dix dernières années tous secteurs confondus, atteignent le nombre considérable de 47 89 unités sur la période 1999-2008. Les réalisations annuelles sont en progression constante, passant d'un total de 332 projets en 1999 à un chiffre de 693 projets réalisés pour l'année 2008. [85]

Tableau 1.6: Récapitulatif des équipements publics réalisés durant les 10 dernières années
(Par secteur)

Secteur	Année										Total
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Education	124	158	176	197	197	210	193	283	232	379	2149
professionnelle											
Formation	16	14	13	15	14	03	01	03	01	01	81
professionnelle											
Enseignement	40	52	48	76	59	74	113	126	95	171	854
supérieur											
Administratif	48	42	58	62	69	45	52	52	42	114	584
Jeunesse et sports	55	83	89	161	220	34	09	03	03	02	659
Santé	34	48	150	53	33	-	01	04	-	02	325
Justice	06	02	08	05	06	09	02	06	04	03	51
Culture	09	06	04	06	07	12	03	08	06	17	78
Affaire religieuses	-	-	-	-	-	-	-	-	01	04	05
Solidarité	-	-	-	-	-	-	-	-	-	03	03

Source ONS 2008

La répartition du parc de logements selon le type de construction est dominée par les maisons individuelles qui représentent 58,7% de l'ensemble. Les immeubles d'habitation représentent 19,1% du parc et les maisons traditionnelles 14,4%. [86]

Tableau 1.7 : Structure des logements occupés selon le type de construction

	Total effectif	%
Immeuble d'habitation	1 007 000	19,1
Maison individuelle	3 091 000	58,7
Maison traditionnelle	761 000	14,4
Autres ordinaires	63 000	1,2
Précaire	202 000	3,8
Non déclaré	144 000	2,7

Source : ONS (R.G.P.H) 2008

Autres ordinaires : comprends les établissements à caractère professionnel, les pensions, les hôtels, les chalets, les bases de vie et les baraques de chantier.

1.3.4.1. Le système constructif en béton en Algérie [87]

Depuis le début de la préfabrication en Algérie (1958) jusqu'à la fin des années 80, une quinzaine de procédés de préfabrication ont été introduit. Ceci a permis de réaliser des milliers de logements et autres équipements. Toutefois les rendements sont restés faibles puisque les capacités théoriques des installations non jamais pu être atteintes. Les causes principales de cette situation sont :

- 1- Le non maîtrise du procédé sur le plan technique (personnel) inexpérimenté, dont la reconversion a été effectuée sans formation préalable)
- 2- Diversité des procédés acquis : chaque usine de préfabrication présentait ses propres difficultés qu'il fallait maîtriser séparément.

Après avoir mesuré les performances et les insuffisances de ces procédés quant à leur utilisation, il s'est avéré que le choix technologique n'a tenu compte ni des critères d'adaptation ni de rentabilité financière et enfin ni d'intégration (matériaux, matériels induits) dans l'économie nationale.

Des instructions ont été alors données par l'état afin d'apporter les corrections nécessaires à la rentabilisation de ces systèmes constructifs. C'est ainsi que beaucoup de changement ont été opérés, par des organismes spécialisés et bureaux d'études,

au niveau de l'usine et de la mise en œuvre de ces procédés. Ce qui a permis de réaliser par la suite des économies parfois très appréciables.

Ces mesures correctives ont été apportées essentiellement au niveau de :

- 1- Allègement de certains éléments de béton (panneaux de façades mur de refend...) par une réduction de poids considérable. Ce qui a conduit à un redimensionnement des batteries, des moules etc...
- 2- Etudes techno-économiques des systèmes corrigés
- 3- Norme en matière de dimensionnement des cellules de logement.
- 4- Formation du personnel de maîtrise.

1.3.4.2. Le système constructif en plâtre en Algérie [87]

Les études géologiques ont permis de localiser sur le territoire national des gisements puissants de très bonne qualité dont la teneur en gypse dépasse souvent les 75 % requis pour la construction.

C'est dans le Sud Algérien que le gypse a été abondamment utilisé dans le passé. Chaque région possède une architecture typique qui lui donne son cachet propre et sa spécificité en matière de construction.

Dans le Souf (région d'El Oued) par exemple, la technique de construction traditionnelle s'est développée pratiquement à partir du gypse. Etant le seul matériau disponible, il est utilisé une fois cuit comme liant et comme enduit. Par ailleurs, il est utilisé brut comme élément de maçonnerie. Pour les murs et les toitures en voûtes et coupes.

En Algérie, le plâtre est produit dans des fours artisanaux ou dans des fours rotatifs industriels.

Le plâtre fabriqué en usine est utilisé comme enduit intérieur essentiellement quand il n'est pas remplacé par le ciment. Il sert à la fabrication d'éléments décoratifs, de faux-plafonds, certains plâtriers équipés de machines à mouler produisent des carreaux de plâtre.

Même dans le Sud, la technique traditionnelle qui utilise le plâtre est de plus en plus abandonnée, pour des raisons évidentes d'économie et de facilité d'utilisation, au détriment du parpaing de ciment exigeant moins de compétence.

Les travaux scientifiques et les expériences passées ont constituées les éléments de base qui ont permis de mettre en place un programme de travail articulés sur :

- 1- Des essais et analyses en laboratoire.
- 2- Conception de prototypes en plâtre.
- 3- Recommandation de mise en œuvre.
- 4- Suivi d'opérations expérimentales.

Les études sont encore menées pour mettre au point de nouveaux procédés constructifs qui élargiront le domaine d'utilisation du plâtre.

1.3.4.3. Les systèmes constructifs métalliques en Algérie [87]

En Algérie, les capacités locales existantes en matière d'aciers de construction susceptibles d'être utilisés comme ossatures métalliques sont importantes.

La qualité d'une façon générale de ces produits, est aujourd'hui plus ou moins maîtrisée.

Ce n'est que vers le début des années 80 que l'habitat semble intéresser la construction métallique. Seulement la complexité de ce secteur caractérisé par la faiblesse de l'industrie nationale à fabriquer des composants compatibles avec les techniques de construction métalliques a confronté cette industrie à de multiples contraintes, d'où la difficulté de s'adapter rapidement à cette nouvelle situation. Certains projets sont restés à l'état d'ossature nue à cause de l'inexistence sur le marché de composants compatibles.

Pour ces types d'ouvrages, la technologie de la charpente métallique a permis la production d'un volume nettement supérieur à celui réalisé par les procédés traditionnels (maçonnerie et béton) mais impose des études et une préparation de travail plus approfondis.

Il faut signaler par ailleurs que toutes ces réalisations à usage industriel n'ont pas tenu compte de l'aspect intégration de la technologie elle-même. Cette intégration devra se faire progressivement en fonction de la maîtrise tant sur le plan technique (adaptation du système réglementaire étranger) que sur le plan faisabilité du matériau acier.

L'évolution de la technologie du métal dans la construction doit être en partie orientée vers le logement. Cette politique de rentabilisation du métal dans l'habitat social tiendra compte de la possibilité de l'utilisation, comme ossature métallique, des profilés, tels

que les profilés à froid (P.A.F), dont le processus de fabrication est à la portée des possibilités locales.

1.3.4.5. Les techniques et les matériaux de construction en Algérie [88]

Les matériaux de construction utilisés dans le secteur du bâtiment restent plus ou moins les mêmes pour les différentes zones climatiques en fonction de la disponibilité et du cout.

Les techniques et la composition des principaux éléments de la construction sont :

La structure : La plupart des immeubles d'habitation construits actuellement à hauteur de 80% pratiquement font appel à des techniques de construction traditionnelles :

- Structure portique : poteaux /poutre coulées sur place.
- Structure : coffrage tunnel et façade préfabriquée.

20% des constructions destinées aux équipements sont par contre en structure métallique (avec fondations en béton armé).

Le plancher : le mode de construction le plus usuel est constitué de planchers en béton armé.

- Plancher à poutrelles et hourdis avec dalle de répartition coulée sur place.
- Il existe aussi des planchers- bois ou au sud entre autres des planchers-palmiers.

Remplissage extérieur : Il se fait généralement avec :

- Brique terre cuite de 15 cm (il en existe aussi de 10cm et 05 cm) avec du mortier de ciment.
- Parpaings creux de 15cm, 20cm, 25cm matériaux pas cher utilisé essentiellement pour les murs de clôture.
- Mur façade (vitré. Plein) en Alucobond utilisé essentiellement pour les équipements.

Murs intérieurs : généralement c'est des murs en briques de terre cuite de 10 ou 15 cm, ou des murs en plâtre : Placoplatre

Revêtement du sol : le revêtement le plus utilisé reste le granito (20cm-25cm-30cm), aussi on trouve de la dalle de sol essentiellement pour la cuisine et les sanitaires, et pour les plus aisés le revêtement du sol se fait en marbre ou en granit.

Revêtement mural : se fait avec de la pierre de la fausse pierre ou de l'alucobond, de l'enduit peinture ou de l'enduit ciment pour le mur intérieur et extérieur et de l'enduit plâtre pour le mur intérieur

La charpente : on trouve :

- la charpente en bois mais ça ne reste pas très utilisé vu la cherté de la technique,
- la toiture terrasse et là on distingue terrasse accessible avec revêtement en carrelage et la non accessible avec revêtement en lit de gravier roulé.
- La toiture en pente et on distingue dans ce cas la charpente bois et la charpente en béton armé.

Menuiseries : la menuiserie est souvent posée par un personnel non qualifié, les finitions mal soignées, ce qui induit des problèmes tels les infiltrations d'air et de pluie ce qui dégrade rapidement l'installation. la menuiserie intérieure se fait généralement en bois rouge de plus en plus actuellement en aluminium ou en PVC.

Pour ce qui est des volets ils se présentent sous forme de :

- volet roulant,
- Persiennes à la française
- Persiennes

Peinture : il existe trois sortes de peinture :

- Peinture vinylique.
- Peinture laquée.
- Peinture enduit.

1.3.5. Réglementation thermique des bâtiments d'habitation et efficacité énergétique en Algérie

1.3.5.1. Historique [89]

En 1986, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz naturel, subit de plein fouet le contrechoc pétrolier : les prix du pétrole baissent et provoquent une diminution des rentrées de devises pour le financement de l'activité économique. Dans ce contexte, le pays prend conscience de la nécessité de définir une politique d'efficacité énergétique. Apparaissent alors les premières préoccupations quant à l'efficacité énergétique puisque cette même année, le ministère de l'énergie propose un modèle de consommation énergétique basé sur le recours au gaz naturel, le développement du GPL dans les transports, et sur la modification des systèmes productifs en vue de rationaliser la consommation. Ces mesures constituent les prémises de la politique énergétique algérienne, qui repose aujourd'hui sur 4 instruments : une agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie ; un cadre réglementaire assuré par la loi de 1999 ; un fonds national pour la maîtrise de l'énergie ; et des mesures d'incitations et d'accompagnement. L'Algérie se dote d'un cadre institutionnel en 1987 avec la création de l'Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE). Cet établissement public est chargé de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les acteurs publics et privés de l'énergie, et particulièrement de l'établissement de partenariats avec ces différents acteurs afin d'impulser des programmes d'actions transversaux. Dans le secteur public, l'APRUE doit veiller à la prise en compte de la maîtrise de l'énergie dans les programmes d'investissement prioritaires publics dans les secteurs de consommation tels que le bâtiment, l'industrie et les transports. Dans le secteur privé, l'Agence doit identifier des programmes et projets qui s'inscrivent dans la logique du « triple dividende » (économique, énergétique, environnemental) susceptibles d'intéresser les investisseurs privés et publics et la coopération internationale. L'APRUE a également élaboré le programme national pour la maîtrise de l'énergie (PNME, 2006-2010), et elle est chargée de le mettre en œuvre et d'en assurer le suivi. Le PNME constitue le cadre d'exercice de la politique algérienne d'efficacité énergétique puisqu'il définit ses objectifs et les moyens de sa mise en œuvre sur la base d'études de perspectives énergétiques et de données

socioéconomiques. Le programme se décline sous forme d'un plan d'action qui s'intéresse à l'ensemble des secteurs de consommation, notamment celui du bâtiment. Pour la période 2006-2010, le plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel prévoit les actions exposées dans le tableau ci-dessous : [90]

Tableau 1.8: Plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel

Axe d'invention	Taux d'aide(%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Valorisation à l'export (MDA)	Economie d'énergie (Tep)	Tonnes co₂ évités
Eclairage performant	100	526	526	1453.4	55900	167700
Froid performant	80	80	100	156.5	6020	18060
Eau chaude solaire	45	20	44	26.83	1032	3095
Logements HPE	80	100	126	134.1	5160	15480
Rénovation thermique	80	16	20	21.24	817	2451
Total		742	816	1792	68929	206786

Dans les années 1990, l'Algérie développe 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 ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des Documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ceux-ci déterminent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des apports calorifiques, les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux et les zonages climatiques. Ces DTR ont par la suite été approuvés par le ministère de l'Énergie et des Mines et ont fait l'objet, en 2000, d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application à la loi relative à la maîtrise de l'énergie adoptée le 28 juillet 1999.

1.3.5.2. DTR (Documents Techniques Réglementaires)

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, comme le montre le tableau suivant : [91]

Tableau 1.9: réglementation en vigueur

Pays	Etat de la réglementation
Jordanie	Norme d'isolation thermique en 1990 Code d'EE dans les bâtiments obligatoire (en cours d'adoption)
Liban	Norme d'isolation thermique en 2005, révisée en 2010
Syrie	Code d'EE dans les bâtiments obligatoire en 2008
Turquie	Norme d'isolation thermique en 2000 Norme obligatoire
Algérie	Document Technique Réglementaire (DTR) en 1996 Obligatoire depuis 2000
Tunisie	Réglementation thermique obligatoire pour bureaux en 2008 Réglementation thermique obligatoire pour résidentiel collectif en 2009
Egypte	Norme d'isolation thermique obligatoire en 1998 Code d'EE dans les bâtiments pour résidentiel obligatoire en 2003 Code d'EE dans les bâtiments pour tertiaire volontaire en 2005

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 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.

Avec le présent processus lancé en Algérie, le pays est sur le chemin de combler le retard par rapport aux autres pays ayant mis en œuvre des réglementations thermiques des bâtiments obligatoires

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Le DTR apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique du bâtiment. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements pour :

- le problème d'hiver en introduisant non seulement les déperditions calorifiques, mais également les apports solaires et internes,
- problème d'été,
- aux locaux à usage autre que l'habitation,
- à l'aération des locaux,
- à la migration des vapeurs d'eau et à sa condensation.

Dans le cadre de cette réglementation le Centre National de la Recherche de l'Industrie du Bâtiment [CNERIB] a préparé trois documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment à savoir [92] :

- Le DTR.C 3-2 qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation.
- Le DTR.C 3-4 relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments à usage d'habitation.
- Le DTR.C 3-31 relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.

Les deux premiers documents ont été révisés et regroupés en un seul le C3 .2/4 et a été approuvé en juillet 2016. ce document a été édité par le CNERIB au 1^{er} semestre 2017.

Cette réglementation dont la finalité est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment, laisse ainsi de larges possibilités aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage de choisir entre les performances thermiques globales du bâtiment aussi bien dans le choix des matériaux que la conception du cadre bâti.

La mise en application de cette réglementation permettra d'après nos estimations de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation. Cependant, sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs à travers notamment des journées techniques dédiées à cet effet.

- Objets et domaine d'application

Le document technique réglementaire (DTR) a pour l'objet de fixer les méthodes de :

- Détermination des déperditions et des apports calorifiques des bâtiments ;
- Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Dimensionnement des installations de chauffage et de climatisations des bâtiments ;
- Conception thermique des bâtiments...ect

Ces méthodes s'appliquent aux locaux:

- à usage d'habitation ;
- d'hébergement (chambres collectives, dortoirs, salles de repos, ...) ;
- à usage de bureaux ;
- d'enseignement (classes, salles d'études, ...) ;
- d'accueil (bibliothèque, bureaux de poste, banques, ...) ;
- de réunion (salle de spectacle, lieux de culte) ;
- de vente (boutique, supermarché, ...) ;
- de restauration (café, restaurant, ...) ;
- à usage artisanal (salon de coiffure, laboratoire de boulangerie, petits ateliers...)

Tous les concepts présentés dans cette partie convergent autour de quelques critères simples visant à l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment, à la valorisation des ressources énergétiques locales ou à l'intégration de préoccupations environnementales ou économiques. Seuls l'approche retenue, le niveau d'exigence et les spécificités géographiques locales expliquent la variété des critères considérés. Définir l'ensemble des bâtiments « à basse consommation et producteurs d'énergie » qui intègrent notamment les bâtiments à basse consommation, les bâtiments passifs et les bâtiments à énergie positive'. Le bilan énergétique doit être considéré avant tout comme un objectif de conception, dont seules des mesures sur un bâtiment réel permettront d'attester la validité.

En particulier, le standard bâtiment passif, en raison de son large développement et du retour d'expérience qui en découle, pourra constituer une base de travail pertinente pour l'étude de bâtiments à haute performance énergétique.

1.3.6. L'habitat bioclimatique en Algérie

La typologie architecturale Algérienne de par ses multiples influences se caractérise par son intégration à l'environnement de par le site, le climat et le contexte social. Les

constructions se caractérisent par l'utilisation des matériaux locaux par une technologie appropriée et accessible. [92]

Les constructions en terre crue par exemple sont encore visibles dans les zones présahariennes : Bechar, Adrar (vallée de Gourara de Timimoune), Biskra, Ghardaïa (vallée du Mزاب), Tamanrasset...Aux Aurès : les villages de Ghoufi, Beni Souik, Arris,...et également en Kabylie, notamment à Tizi Ouzou (village de Maatkas, Beni Yenni.....)[93]

Tableau 1.10 : Liste des constructions en terre en Algérie [94]

Date	Technique	Nombre	Lieu
1969-1970	Terre coulée	02	Zéralda
1971-1973	Terre remplissante		Abadla
1972	Pisé	136	Batna
1973-1975	Pisé (R+2)	30/300	Mostfa Ben Brahem (Bel Abbes)
1976	Toub	100	Felliache (Biskra)
1980	Bloc de terre comprimée	120	Madher (Boussaâda)
1981	Bloc de terre comprimée	40	Chéraga
1984	Bloc de terre comprimée	20	Tamanrasset
1984	Bloc de terre comprimée	02	Tamanrasset et Souidania (Alger)
1986	Bloc de terre comprimée	10	Reggane (Adrar)
1993	Bloc de terre comprimée	68	Tamanrasset
1999	Pisé	01	Souidania (Alger)
2007	Bloc de terre comprimée (logement à efficacité énergétique)	01	Souidania (Alger)

Pour les constructions en pierre on peut citer la remarquable expérience du Ksar Tafilalt. Aussi la réalisation de plusieurs programmes de logements ruraux en maçonnerie chaînée en pierre dans la wilaya de Médéa. On retrouve aussi aux Zibans et aux Aurès la pierre calcaire taillée grossièrement montées avec un peu de mortier dans certaines habitations. En Kabylie des villages entiers sont construits en pierre.

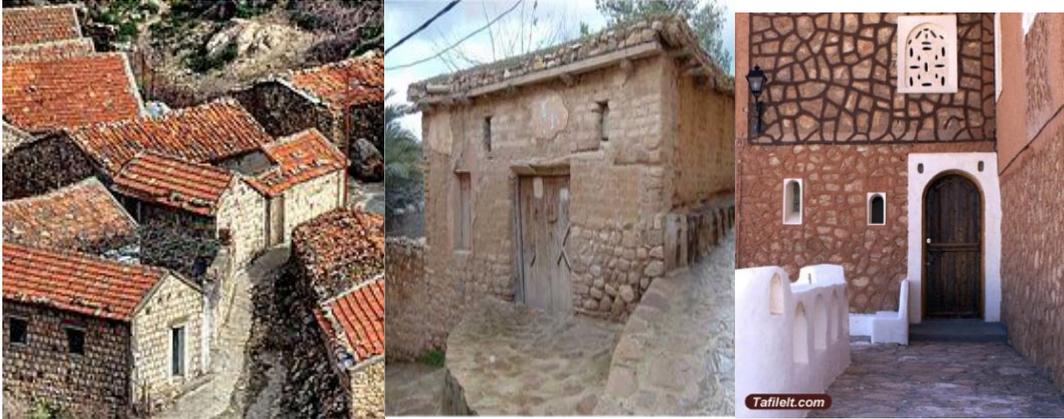


Figure 1.6: Constructions en pierre en Algérie (Village kabyle [95]- Maison aux Aurès [96]- Kasr Tafilalt [97])

L'utilisation du bois se limite dans les constructions au sud surtout pour isoler la toiture.



Figure 1.7: Les éléments intermédiaires entre colonne en bois de palmier et couverture, Biskra [98]



Figure 1.8 : Vue de dessous d'une couverture avec tiges de palme, Biskra, Algérie [98]

A. Valorisation existantes

Des projets dans la thématique sont en cours et des programmes de réalisations en perspective, citons :

projet-pilote de 600 logements bioclimatiques HPE [99]

Plusieurs actions entrant dans le programme national de maîtrise de l'énergie (PNME 2007-2011 et PNME 2010-2014) et dans le cadre de la politique énergétique nationale ont été entrepris par l'APRUE entre autre le projet ECO BAT en partenariat

avec le ministère de l'habitat et de l'urbanisme. Ce projet vise à apporter le soutien financier nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée principalement au chauffage et à la climatisation. Dans le cadre du PNME 2007-2011, a été lancée la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique et devrait réaliser 3000 autres pour le PMNE 2010-2014.

Ce programme est réparti, entre autres, à travers les wilayas de Tamanrasset (30 logements), Laghouat (32 logements), Sétif (54 logements), Alger (50 logements), Blida (80 logements) ,Djelfa (80 logements), Mostaganem (82 logements),El Oued (36 logements) , Skikda (50 logements),Oran (80 logements) et Béchar (30 logements)

La stratégie de conception adoptée pour le projet ECO BAT:

En hiver :

- Limitation des déperditions thermiques ;
- Orientation et conception adéquats des façades ;
- Emploi des stratégies conceptuels et de matériaux adéquats.

En été :

- Contrôle de l'ensoleillement à travers la conception architecturale ;
- Emploi de techniques de rafraîchissement naturel ;
- Emploi de matériaux adéquats(en fonctions des zones climatiques).

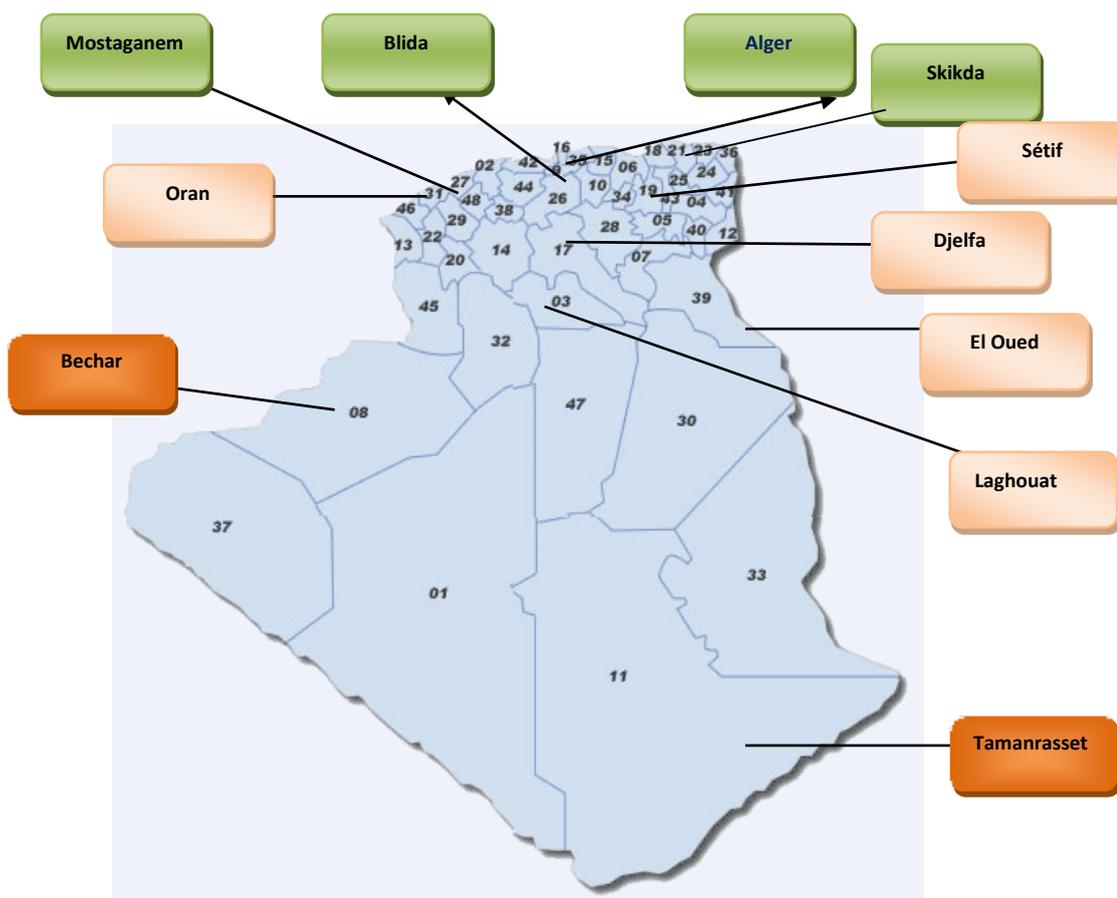


Figure 1.9 : Répartition des logements (projet ECO-BAT)

Projet de coopération CDER-CNERIB & MED-ENEC [100]

Dans le cadre du projet MEDA MED-ENEC destiné aux pays de la méditerranée, un appel d'offre a été lancé pour des propositions de projets pilotes sur l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment. Ces projets pilotes sont co-financés par l'union européenne et visent à impulser les mesures d'efficacité énergétique et de l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur du bâtiment. Le consortium CDER/CNERIB a soumissionné et a été retenu parmi les Soumissionnaires de dix pays appartenant au pourtour méditerranéen.

Le projet a pour but la construction d'un habitat de type rural à haute efficacité énergétique. L'intérêt étant de passer d'un logement 'Energivore' à un logement de 'Haute Qualité Environnementale' et de 'Haute Efficacité Energétique' grâce à l'introduction de quelques modifications, dont :

- Construction des murs en briques de 'BTS ' (Béton de terre stabilisé).
- Mise en place d'un système solaire combiné : c'est un système permettant à la fois le chauffage par le plancher ainsi que la fourniture d'eau chaude sanitaire.
- Isolation des murs extérieurs et des planchers.
- Utilisation du double vitrage, L'intérêt est double : isolation thermique ainsi qu'une isolation phonique.
- Utilisation d'appareils électriques à faible consommation énergétique.



Figure1.10: Prototype maison solaire CNERIB-CDER

B. Les nouvelles villes écologiques

Pour améliorer la qualité de vie des Algériens et leur confort tout en respectant l'environnement des projets de réalisation de nouvelles villes écologiques ont été lancées par les autorités. On cite 04 d'entre elles, dites de première génération (car plusieurs autres sont prévues, à plus long terme), qui ont (re) fait parler d'elles au cours de ces derniers mois. Ces projets ne sont pas nouveaux, puisque certains datent même de plus de vingt ans.

Deux se situent autour de la métropole algéroise : Sidi Abdellah et Bouinan, une, au sein des Hauts-plateaux centraux : Boughezoul et enfin, Hassi Messaoud dans le Sud.

- La ville nouvelle de Sidi Abdellah, située à 25 km à l'Ouest d'Alger, a été lancée dans le milieu des années 1990, avec pour but de désengorger la capitale. Le projet, présenté comme une technopole, a accumulé beaucoup de retard, il est

sensé accueillir 30000 logements, autour du projet stratégique du « cyberparc ». De multiples annonces ont été faites, dont la dernière en date, en mai 2013, prévoyant le lancement d'une opération de grande envergure de réalisation d'équipements et de programmes spécifiques (dont 12000 logements et 18 projets structurants) au titre d'un partenariat entre le ministère de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et de la Ville et les secteurs de l'Habitat et de l'Urbanisme, de la Culture, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, dans une première étape, pour rendre effective le lancement de la Ville Nouvelle de Sidi Abdallah. Ce projet est jugé aujourd'hui comme un échec par les experts. [101]



Figure1.11: Nouvelle ville Sidi Abdallah

<http://www.algerie-focus.com/2016/10/nouvelle-ville-de-sidi-abdallah>

- La ville nouvelle de Bouinan est prévue à 50 km d'Alger, à l'emplacement de l'actuel village du même nom, dans la wilaya de Blida, en contrebas de la montagne de Chréa. La première pierre des travaux de 5000 logements a été posée et le ministre de l'Habitat et de l'Urbanisme ainsi que le ministre de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville ont donné officiellement le coup d'envoi du projet de cette ville nouvelle, au mois de Juin 2013, en assurant que « ce ne sera pas une cité-dortoir, mais une cité avec tous les équipements nécessaires à la vie des habitants ». En tous cas, sur le papier, le projet prévoit 32000 logements, tous types confondus, pour 150000 habitants, ainsi qu'un complexe sportif géant, un centre de business international et d'autres structures socio-économiques. [101]



Figure1.12: Nouvelle ville Bouinane

(<http://www.dzentreprise.net/blida-reception-de-nouvelle-ville-de-bouinane>)

- Le projet de la ville nouvelle de Boughezoul est le plus ancien, il a été reporté plusieurs fois depuis les années 1980. Située à 170 km d'Alger, au sud de la wilaya de Médéa, elle fut d'abord présentée comme l'éventuelle future capitale du pays. Puis le projet fut quasi abandonné, avant d'être ressorti des tiroirs en 2004, avec l'ambition d'en faire un centre d'excellence où domine le tertiaire supérieur pour le développement des hautes technologies, la biotechnologie, et les énergies renouvelables. En 2011, un projet initié par le gouvernement Algérien avec le soutien financier du Fonds pour l'environnement mondial (FEM), visait même à faire de la ville de Boughezoul la première ville « à faible émission de carbone ». Cependant sur le terrain, les choses avancent très lentement : aujourd'hui les travaux de viabilisation du site ne sont pas encore terminés, et ceux de la phase d'urbanisation et d'aménagement sont encore à L'étude. [101]



Figure1.13: Nouvelle ville de Boughzoul
(<https://algeriepart.com/2018/02/26/enquete-boughezoul>)

- la ville nouvelle de Hassi Messaoud est conçue pour délocaliser l'actuelle ville de Hassi Messaoud, située à proximité d'un important site d'exploitation d'hydrocarbures, et déclarée zones à risques majeurs. Cette nouvelle ville, se situe à 80 km de la première. Ce projet devait être théoriquement achevé en 2015. Mais voilà que le projet de transfert a été abandonné, précisant que la nouvelle ville en construction sera une extension de la ville historique de Hassi Messaoud. Autrement dit, l'ancienne ville ne sera pas rasée, comme prévu dans le décret exécutif de 2005, classant Hassi Messaoud comme zone à risques majeurs. Le projet de cette nouvelle ville de 80 000 habitants connaît d'énormes retards et devient un gouffre financier



Figure1.14: Nouvelle ville de Hassi Messaoud
(<https://www.algeriepatriotique.com/2018/01/03/projet-de-delocalisation>)

1.3.7. Travaux de recherches effectuées En Algérie

Plusieurs recherches sont entreprises dans l'efficacité et l'analyse énergétique du bâtiment. Kharchi R & al [102] dans son étude se concentre sur l'effet des gains de chaleur solaire et interne sur la consommation énergétique d'une maison typique bien isolée. La méthode des degrés-jour est utilisée pour déterminer les pertes de chaleur par transmission et ventilation conforme aux normes internationales sur l'isolation thermique du bâtiment, les résultats sont très intéressants et prometteurs La charge thermique atteint 60 kWh, mais en incluant les gains thermiques gratuitement, 10 kWh d'énergie peuvent être économisés quotidiennement. La même méthode (degrés jours) et une simulation sous Transys pour une maison prototype à Alger avec l'étude de l'effet des apports solaires sur la consommation énergétique de l'habitation a été menée par le même auteur dans d'autres articles [103], [104]

k.imessad & al [105] se sont basé sur un modèle thermique de bâtiment validé, l'analyse dynamique d'un logement prototype situé à Soudania est effectuée (une série de campagne s de suivi sous Transys) pour évaluer l'impact de la masse thermique et des avant-toits et de la ventilation nocturne. Les résultats démontrent que la demande d'énergie de refroidissement est plus affectée par les valeurs de transmittance thermique que par la masse thermique de l'enveloppe. Une recommandation pour la longueur optimale du surplomb pour les fenêtres orientées vers le sud est proposée.

M.Bekkouche et al [106] ont étudié l'influence de l'index de compacité pour réduire la température intérieure dans le bâtiment en climat saharien. Le résultat prouve que l'utilisation correcte de l'indice de compacité et des paramètres de géométrie du bâtiment réduira sensiblement l'énergie du bâtiment et améliorera la température interne du bâtiment. La compacité est meilleure lorsque l'indice de compacité est inférieur. Dans un autre article M.Bekkouche et al [107] ont étudié l'influence de l'orientation des bâtiments, l'isolation thermique et les avant-toits sur la température de l'air intérieur .Il en résultent que, l'insertion des avant-toits est recommandée pour obtenir un meilleur confort thermique dans les régions arides et semi-arides et l'habitation devra être située en flan sud d'une colline pour satisfaire les deux stratégies (chaud et froid). M.Bekkouche et al [108] constatent que pour obtenir un meilleur confort thermique dans les régions arides et semi-arides, une nouvelle configuration de la paroi a été proposée, elle permet d'améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe

tout en éliminant les ponts thermiques. Dans l'article M. Bekkouche et al [109] prouvent que la compacité est meilleure lorsque l'indice de compacité est inférieur. Pour cette raison, nous devons privilégier certaines typologies urbaines telles que les rangées de maisons mitoyennes, les bâtiments collectifs et les bâtiments à haute dimension.

Le but de l'article de M. Missoum & al [110] est d'estimer la performance énergétique d'une maison bioclimatique unifamiliale typique équipée d'un système de chauffage solaire situé dans le nord de l'Algérie (Alger) et d'étudier sa conversion en maison à énergie nulle en installant un système photovoltaïque raccordé au réseau. Les résultats montrent que la conversion d'une maison bioclimatique en ZEH à l'aide d'un système photovoltaïque raccordé au réseau, dans les conditions météorologiques du nord de l'Algérie, présente un haut niveau de faisabilité. Toutefois, le retour sur investissement est très élevé, principalement en raison du coût élevé des composants solaires et des coûts très bas de l'énergie conventionnelle en Algérie.

L'auteur a aussi dans un autre article [111] analysé la performance énergétique des logements ruraux construits dans la région de Chlef pour les trois programmes de construction, en plus d'étudier leur impact sur le bilan énergétique global. Il en résulte qu'il existe deux façons d'améliorer la performance énergétique d'une maison rurale typique. Tout d'abord, un passif par l'intégration d'un ensemble de mesures d'efficacité pour réduire le besoin de chauffage et de climatisation. Deuxièmement, un actif utilisant PV solaire pour fournir la maison avec de l'électricité.

S. bahria et al [112] ont étudié l'optimisation paramétrique par simulation dynamique d'un système solaire thermique pour la production d'eau chaude, de chauffage et de refroidissement des locaux. Deux types de construction ont été comparés ; La première est la construction typique en Algérie (faible masse thermique avec des valeurs U de 1,25 W / m²K, simple vitrage), et la seconde est un bâtiment à haute performance énergétique (avec des valeurs U de 0,35 W / m²K, double vitrage), représentant le projet pilote ECO-BAT. Trois régions algériennes ont été considérées pour évaluer l'effet climatique de l'intégration des systèmes solaires. Alger représente la région côtière ; Djelfa, région des hautes terres ; Tamanrasset, région du Sahara. Dans l'étude paramétrique, deux paramètres de champ des capteurs solaires ont été analysés, y compris la surface et l'angle d'inclinaison. Les résultats indiquent que les charges de construction sont sensiblement réduites (12%, 44% et 22% respectivement pour Alger, Djelfa et Tamanrasset). La contribution de l'énergie solaire est de plus de

60% pour tous les cas, ce qui constitue une contribution importante pour un bâtiment performant.

L'Algérie est un pays qui dispose de beaucoup de ressources riches en fibres (Alfa, Liège, palmier dattier.....) mais leur utilisation dans la pratique reste très mal exploitée.

Plusieurs recherches ont été menées dans ce sens comme A. Limam et al [113] qui ont entrepris une étude expérimentale (conductivité thermique, résistance thermique, spécifique et diffusivité thermique) d'un nouveau matériau composite de type sandwich composé de bois du Pin d'Alep et liège aggloméré noir. L'analyse des résultats a révélé la possibilité et la facilité d'insertion de ce genre de matériaux

Dans le domaine de la construction.

F.Touloum et al.[114] ont étudié la possibilité d'utiliser les déchets de bois de palmier dattier, le pétiole et le rachis, comme renfort dans une matrice cimentaire Du point de vue caractérisation thermique, les valeurs obtenues sur les composites bois-ciment de 28 jours, notamment pour la teneur en particule de bois à 10 % qui correspond à 0,24 W/m.K, s'apparentent à celles des bétons légers.

S.Abani et al [115], [116] ont étudié le matériau plâtre renforcé avec fibres de palmier dattier. L'ajout de fibres végétales est bénéfique sur la résistance à la chaleur. De plus, on remarque que l'intérieur la température des maisons modèles construites par des enduits renforcés de fibres est moindre que celle du mortier de plâtre ou de ciment.

K. Almi et al [117] rapportent les résultats d'une étude expérimentale sur les propriétés physiques, chimiques et mécaniques le comportement thermique de huit variétés de résidus de palmiers dattiers obtenus du même milieu, dans le but d'obtenir un bon matériau composite.

B. Agoudjil et al [118] rapportent aussi les résultats d'une étude expérimentale sur les propriétés thermophysiques, chimiques et propriétés diélectriques de trois variétés de bois de dattier de l'oasis de Biskra. L'objectif étant d'utiliser ce matériau naturel dans la fabrication d'isolation thermique pour les bâtiments. La conductivité thermique mesurée a montré que le matériau a de bonnes propriétés. Ce résultat a été confirmé par rapport à la conductivité thermique autres matériaux isolants naturels. D'où le bois de palmier dattier est un bon candidat pour le développement de matériaux isolants efficaces et sûrs.

T. Masri et al [119] ont effectué étude expérimentale sur matériau composite bois-plastique innovant à base de dattier et de polystyrène expansé. Les essais de

caractérisation thermique du matériau composite ont montré une conductivité thermique moyenne variant de 0,11 à 0,16 W / m K. ce matériau peut être utilisé dans le domaine de la construction de bâtiments comme un bon isolant thermique.

La problématique de l'intégration des fibres de palmiers est soulevée par nos voisins maghrébins et les résultats convergents avec ceux menés en Algérie. Au Maroc on cite entre autres les travaux de A. Oushabi et al [120] qui a analysé les propriétés physiques et mécaniques de sept variétés de déchets de dattiers locaux d'Errachidia ; Oasis au Maroc. Le résultat est que le bois de dattier des variétés de Boufeggous est utile pour un développement ultérieur et conception de matériaux isolants thermiques naturels. En Tunisie A. Braiek et al [121] ont développé un nouveau matériau composite (plâtre de gypse avec des fibres de palmier-dattier) .les résultats expérimentaux révèlent que le matériau composite a une bonne conductivité thermique.

Des thèses orientées coté architectural sur l'intégration des matériaux locaux principalement au sud ont aussi été présenté notamment le mémoire de magistère de L.Idir [94] portant sur la proposition d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie et en déduit la nécessité de revenir à cet héritage constructif dans les régions du sud du pays.

Dans la même optique on cite le travail présenté par S. Selmi [122] sur matériaux locaux et développement durable qui étudie le cas de la Brique de terre comprimée appliquée au sud Algérien. On peut citer aussi le travail de S.Kakkoum [123] qui a étudié l'intégration des briques en terre cuite à Ouargla. A. Mekhermeche [124] a étudié les propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes.

Une Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset est proposée par S. Benmessaoud [125] pour l'introduction des fibres de palmiers dattiers comme isolant dans les constructions , vu que les politiques de construction passées n'ont fait qu'accentuer la destruction du patrimoine bâti remarquable que recèle la ville de Tamanrasset, puisque plusieurs constructions en terre ont été démolies pour être remplacées par des bâtiments dits "modernes".

Le travail que nous proposons est l'intégration des systèmes solaires dans les constructions à haute performance énergétique réalisées dans le cadre du projet Eco

bat projet pilote lancé par les autorités répondant au programme de l'efficacité énergétique.

L'étude se porte sur les bâtis situés dans quatre régions représentant chacune une zone climatique couvrant ainsi tout le territoire national : Oran pour la zone A, Blida pour la zone B, Sétif pour la zone C et Bechar pour la zone D .A travers une simulation thermique dynamique nous déterminerons les besoins énergétiques que nous injecterons dans le calcul de la fraction solaire qui va nous servir à étudier la viabilité de l'intégration de systèmes de chauffage solaire dans un contexte économique Algérien. Par la suite une proposition d'intégration de matériaux locaux dans l'enveloppe des bâtiments étudiés en vue d'une réduction de la facture énergétique est proposée.

Nous commençons dans le chapitre suivant par la modélisation du bâtiment par le logiciel PLEIADES+ COMFIE utilisé pour simulation thermique dynamique.

CHAPITRE 2

MODELISATION MATHEMATIQUE

2.1. Introduction

Les deux environnements de simulation du bâtiment les plus complets sont EnergyPlus et TRNSYS [126]. Ils permettent de coupler un modèle de l'enveloppe aux modèles des équipements issus de leurs bibliothèques. Des outils plus conviviaux ont également été développés comme le logiciel COMFIE et son interface utilisateurs PLEIADES [127], plus accessible aux professionnels car moins couteux en temps de saisie et d'apprentissage. Ce logiciel utilisé pour les simulations des différents bâtiments étudiés, dont nous présentons la modélisation thermique dynamique dans ce chapitre permet de définir le modèle d'enveloppe avec la prise en compte d'un grand nombre de paramètres (conditions météorologiques, nature des parois...) et de réaliser une simulation détaillée.

2.2. Modélisation du bâtiment

Le bâtiment étudié peut être modélisé par une ou plusieurs zones thermiques, chaque zone étant considérée à température homogène. Une zone est délimitée par un certain nombre de parois, qui sont-elles-mêmes découpées en mailles. Une zone peut regrouper plusieurs pièces, dans ce cas les parois séparant deux pièces d'une même zone seront appelées « parois internes ». Une maille correspond au volume d'air contenu dans la zone et aux parois internes légères (c'est à dire par convention de capacité thermique surfacique inférieure à 7 Wh/K/m^2), supposées être à la même température que l'air.

La simulation thermique consiste à étudier révolution des températures et des besoins énergétiques du bâtiment sur une certaine période (par exemple une année) avec un certain pas de temps (par exemple heure par heure pour le calcul des besoins de chauffage). Un bilan thermique est effectué pour chaque maille de la manière suivante : l'énergie stockée durant le pas de temps, qui dépend de la capacité thermique de la maille, est égale à l'énergie reçue (par l'équipement de

chauffage, le rayonnement solaire, les occupants...) moins l'énergie perdue (déperditions).

Dans un premier temps, un modèle thermique est créé pour chaque zone thermique. Ce modèle est ensuite réduit en considérant un nombre limité d'équations, correspondant à différentes constantes de temps du système (chaque constante de temps correspond à l'inertie thermique de certains composants, par exemple un plancher lourd, des cloisons légères, des murs etc.). Les modèles réduits de chaque zone sont ensuite couplés : dans une cloison séparant deux zones, la température du côté d'une zone constitue une sortie de cette zone et une entrée de la zone adjacente. Cette étape conduit à un modèle global du bâtiment, permettant d'effectuer un calcul à chaque pas de temps.

2.2.1. Modèle pour chaque zone thermique [128]

Le bâtiment est décomposé en mailles sur lesquelles un bilan thermique est écrit en supposant la température uniforme. Pour que cette hypothèse d'uniformité ne s'écarte pas trop de la réalité, il faudrait en théorie découper chaque élément en mailles très fines. Or l'objectif est de réaliser un outil adapté à une utilisation professionnelle (en particulier en termes de temps de calcul), ce qui impose des limites sur la taille du modèle. Le compromis choisi consiste à placer le petit nombre de mailles auquel on est limité de telle sorte que l'uniformité de la température soit maximale.

La première idée est de ne pas regrouper dans une maille des couches de matériaux séparées par un isolant. Ensuite, le nombre de mailles doit être plus important dans les murs massifs que dans les cloisons légères. Enfin, on s'intéresse aux températures dans les différentes zones du bâtiment, et celles-ci sont plus influencées par les faces internes des parois, elles-mêmes influencées par les variations de puissance de chauffe (équipement régulé, intermittence,...), que par les faces externes. La possibilité a alors été donnée, de définir des mailles plus fines à la surface interne d'une paroi. Une raison géométrique r relie l'épaisseur des mailles successives : si e est l'épaisseur de la maille la plus interne, sa voisine a pour épaisseur $r.e$, la suivante $r^2.e$, etc. Le cas $r=1$ correspondrait à des mailles d'épaisseurs égales. La valeur de r peut être modifiée (elle vaut 3 dans la version

actuelle du logiciel, suite à diverses validations), comme celle du nombre n de mailles placées dans les murs massifs (3 également).

Dans le cas d'une paroi sans isolant, on place une maille unique dans une cloison légère (inertie $< 7 \text{ Wh/ (m}^2\text{.K)}$) et n mailles dans un mur massif. Dans le cas avec isolant, on procède de même pour la partie de la paroi située du côté intérieur à l'isolant. Pour la partie extérieure, on place systématiquement une maille unique, que la paroi soit légère ou lourde. Si il y a deux isolants, on place également une maille unique entre les deux isolants, que la portion de paroi correspondante soit massive ou non.

Etant définies en fonction de n et r , les mailles ne correspondent en général pas à des couches de matériaux. Les propriétés physiques des différents matériaux constituant une maille sont alors combinées : les inerties et les résistances thermiques sont additionnées.

Une paroi interne à une zone est divisée en mailles de manière analogue, avec une légère différence dans le cas sans isolant ou si les deux parties séparées par l'isolant sont toutes les deux légères ou toutes les deux massives. Dans ces cas, tous les matériaux de la paroi sont regroupés en un matériau unique équivalent, divisé en deux parties symétriques. Le plan central est considéré comme adiabatique. On place alors n mailles dans l'une des deux moitiés, avec une condition de flux nul au niveau du plan médian. Cela permet d'accroître la précision pour un nombre de mailles donné.

Il n'y a jamais de maille dans les isolants, car leur capacité thermique est considérée comme négligeable par rapport à celle des autres matériaux : elle est alors ajoutée à celles des mailles adjacentes (s'il y a une maille de chaque côté de l'isolant, la moitié de la capacité thermique de l'isolant est ajoutée de chaque côté).

On ne place pas non plus de maille dans un vitrage : la surface des vitres est grande comparée à leur volume, et on suppose que le régime permanent est atteint rapidement dans ces composants par rapport au pas de temps de la simulation. La résistance thermique variable liée à l'usage des occultations (stores, volets,..) est prise en compte au niveau de la simulation, en introduisant une puissance de chauffe équivalente à la diminution des déperditions.

L'air, le mobilier et les cloisons légères éventuelles contenues dans la zone sont regroupés dans une maille unique. En effet, on suppose que le volume des meubles est petit par rapport à leur surface d'échange, et qu'ils sont quasiment à la température de l'air. La stratification de l'air en température n'est pas considérée, ni les transferts d'énergie liés aux variations d'humidité et à la condensation/évaporation d'eau.

2.3. Modélisation thermique dynamique par Pléiades-COMFIE

Le modèle thermique du bâtiment est divisé en zones de températures homogènes. Pour chacune de ces zones, chaque mur est divisé en mailles suffisamment fines pour avoir une température homogène. Il existe en plus une maille pour la température de l'air et du mobilier de la zone. Un bilan thermique est ensuite appliqué sur chaque maille du bâtiment ainsi modélisé, il prend la forme suivante [129] :

$$C_{maille} \cdot T_{maille} = Gains - Pertes \quad (2.1)$$

Avec :

C_{maille} : la capacité thermique de la maille (J/°C)

T_{maille} : la température de la maille (°C)

Gains, Pertes les transferts thermiques par conduction, rayonnement et convection mais aussi les possibles gains internes et équipements. (J)

La constitution du modèle du bâtiment dans ce logiciel est menée tout d'abord pour chaque zone thermique indépendamment des autres zones en se basant sur les équations d'échange thermique établies pour chaque maille élémentaire de la zone étudiée. Les parois sont donc décomposées en mailles dont le bilan thermique établi au niveau de chaque maille, conduit au système matriciel suivant [129]

$$\begin{cases} C(t) = A T(t) + E U(t) \\ Y(t) = J T(t) + G U(t) \end{cases} \quad (2.2)$$

T : champ discrétisé des températures des mailles (°C)

U : vecteur des sollicitations (comprenant les paramètres climatiques, le chauffage,...).

Y: vecteur des sorties (température de la zone, températures équivalentes éventuelles) (°C)

C : matrice diagonale des capacités thermiques (J/°C)

A : matrice contenant les termes d'échange entre mailles

E: matrice contenant les termes d'échange entre mailles et sollicitations

J: matrice reliant les sorties aux températures des mailles

G : matrice reliant les sorties aux sollicitations

Afin de faciliter les notations par la suite, les vecteurs T(t), U(t) et Y(t) sont respectivement notés T, U et Y. [129]

En régime permanent on a $\dot{T}=0$, donc ce cas $T = -A^{-1}EU$. Il est alors possible d'écrire le champ de températures de la manière suivante :

$$T = T_0 - A^{-1} E U \quad (2.3)$$

Avec $-A^{-1} E U$ la température en régime permanent et T_0 la partie dynamique du champ de températures. On obtient :

$$\begin{cases} \dot{T}_0 = C^{-1} A T_0 + A^{-1} E U \\ Y = J T_0 + (G - J A^{-1} E) U \end{cases} \quad (2.4)$$

Afin de résoudre ce système plus facilement, il faut diagonaliser la matrice $C^{-1}A$. Un changement de base est effectué, la matrice est appelée P

$$T_0 = P X \quad (2.5)$$

Le champ des températures T ainsi transformé en un vecteur d'état X. On applique l'équation (2.5) à l'équation (2.4) :

$$\begin{cases} \dot{X} = F X + B U \\ Y = H X + S U \end{cases} \quad (2.6)$$

Où F est une matrice diagonale dont l'ième terme est $1/\tau_i$. Les constantes de temps τ_i de chaque mode du système sont ordonnées dans F de la plus longue à la plus courte. On a notamment les relations suivantes :

$$F = P^{-1} C^{-1} A P$$

$$B = P^{-1}A^{-1}AP$$

$$H = JP$$

$$S = G - JA^{-1}E$$

Le système d'équations (2.6) est à ordre élevé. Afin de rendre la résolution de ce système plus rapide, une réduction modale est appliquée [130]. Le nombre de modes du système est réduit par une technique d'analyse modale [131,132] à 10 modes ayant les constantes de temps les plus longues sont conservées. Les modes éliminés sont considérés comme atteignant le régime permanent à chaque pas de la simulation. Le premier mode est donc celui de la plus grande constante du temps, il représente l'évolution du bâtiment de façon globale vers un régime permanent. Les modes suivants représentent des dynamiques plus rapides qui sont soit liées aux constantes légères du bâtiment comme les murs ou le plancher, ou aux oscillations.

Les équations décrivant chaque zone sont ensuite couplées [131,133, 128] pour former un système global (notation g) représentant la totalité du bâtiment de la forme :

$$\begin{cases} X_g = F_g \cdot X_g + B_g^\alpha \cdot U_g + B_g^\beta \cdot Y_g \\ Y_g = H_g \cdot X_g + S_g^\alpha \cdot U_g + S_g^\beta \cdot Y_g \end{cases} \quad (2.7)$$

U_g : vecteur des sollicitations,

X_g : vecteur d'état

Y_g : vecteur des sorties contenant les températures équivalentes, et les variables de couplage

$F_g, B_g^\alpha, B_g^\beta, H_g, S_g^\alpha, S_g^\beta$: matrices résultant des diverses manipulations mathématiques.

Ce système peut alors être intégré sur un pas de temps Δt , ce qui permet d'obtenir les valeurs de X_g et Y_g au temps $(n+1) \cdot \Delta t$, notées X_g^{n+1} et Y_g^{n+1} , en fonction des valeurs X_g^n et Y_g^n au temps $n \cdot \Delta t$ (méthode récursive). On note de même U_g^{n+1} et U_g^n les vecteurs des sollicitations aux temps $(n+1) \cdot \Delta t$ et $n \cdot \Delta t$. [127, 129]

Le système [7] devient après intégration :

$$\begin{cases} X_g^{n+1} = \exp(F_g \cdot \Delta t) \cdot X_g^n + W_g^\alpha \cdot (U_g^{n+1} - U_g^n) + W_g^\beta \cdot (Y_g^{n+1} - Y_g^n) \\ Y_g^{n+1} = MGIF \cdot X_g^n + MGIE \cdot U_g^{n+1} + MGID \cdot U_g^n - MGIC \cdot Y_g^n \end{cases} \quad (2.8)$$

W_g^α , W_g^β , MGIF, MGIE, MGID, MGIC : matrices résultant de l'intégration.

On remarque qu'une fois le système couplé, la température d'une zone contigüe devient une sollicitation pour la zone étudiée. On sépare alors les sollicitations externes du bâtiment (U_g) des sollicitations internes (Y_g). c'est pourquoi le vecteur des sorties (Y_g) se retrouve sur la première équation du système d'équations (2.8). Ce système d'équation représente le modèle thermique dynamique aux volumes finis multizone réduit par analyse modale.

La résolution de ce système permet l'évaluation des températures intérieures des différentes zones de chaque pas de temps, pour des scénarios prédéfinis d'apports internes [126]. il est donc important de connaître l'occupation qui définit les émissions de chaleur par les occupants et les appareils électriques, les températures de thermostat. Les données météorologiques locales sont aussi intégrées.

2.4. Mise en œuvre de la simulation [127]

2.4.1. Initialisation

La simulation débute la première semaine d'automne des SRYs pour un calcul sur une saison de chauffe, et la deuxième semaine du printemps pour un calcul en période d'été (les SRYs comportent deux semaines par saison).

Les pièces non chauffées sont à une température initiale égale à la température extérieure, les pièces chauffées sont à la température de consigne du thermostat. La matrice de régime permanent permet de déduire les puissances de chauffage correspondant à ces consignes. Ces puissances sont alors introduites comme sollicitations dans le calcul du pas de temps suivant, dans le cas d'un calcul sur une saison de chauffe. Elles sont annulées dans le cas de la période d'été. Les termes dynamiques formant le vecteur d'état sont tous nuls. La simulation commence la nuit à 0h, et donc les températures équivalentes sont égales aux températures des zones, car il n'y a pas de flux solaire.

2.4.2. Sollicitation de puissance interne

Cette sollicitation ne concerne pas que l'équipement de chauffage, mais également la puissance dissipée à l'intérieur de la zone, la chaleur dégagée par les occupants, la partie variable de la ventilation extérieure, les échanges entre zones par convection naturelle, et les variations des déperditions dues aux occultations

variables. Toutes ces puissances sont additionnées dans une sollicitation unique pour chaque zone, appliquée à la maille d'air (incluant également le mobilier).

Le terme concernant un équipement de chauffage vaut 0 si la température de la zone ou est placé le thermostat dépasse la consigne plus la moitié du différentiel ; il vaut P_{max} , puissance maximale que peut fournir l'équipement, si la température est inférieure à la consigne moins la moitié du différentiel ; dans les cas intermédiaires, la valeur est obtenue par interpolation linéaire entre les deux points précédemment définis.

Un raisonnement analogue est effectué dans le cas de la climatisation.

Tous les autres termes inclus dans la puissance interne (ventilation par convection forcée, apports internes, chaleur des occupants, résistance thermique variable des occultations) sont déduits des plannings données par l'utilisateur.

2.4.3. Intégration et résultats

Un certain nombre de grandeurs sont intégrées sur la période de simulation : les charges de chauffage et (éventuellement) de climatisation, ainsi que le flux solaire incident sur une surface sud. Les températures maximale, minimale et moyenne pour chaque zone sont également déterminées. L'utilisateur peut ainsi connaître les besoins énergétiques et le niveau de confort associés au bâtiment pendant la période considérée : six semaines (automne, hiver, printemps) pour une saison de chauffe et deux semaines pour la période d'été (la première semaine de calculs ne servant qu'à la mise en régime).

Enfin, les températures des différentes zones sont stockées heure par heure dans un fichier, qu'il est possible de traiter ultérieurement par un utilitaire graphique

Dans le chapitre suivant nous allons simuler les bâtiments étudiés des différentes zones à l'aide justement du logiciel pléiade comfie pour étudier le comportement thermique à l'intérieur des logements et déterminer les besoins énergétiques nécessaires pour le chauffage et rafraîchissement.

CHAPITRE 3

SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

3.1. Introduction

Ce chapitre est entièrement consacré à la simulation dynamique des logements choisis pour l'étude. La simulation est faite sous Pleiades-COMFIE. La méthodologie de simulation est comme suit :

Après modélisation détaillée de la structure par Alcyone, on définit les zones en fonction des activités dans le bâtiment, on modélise ensuite les apports internes en introduisant nous même les scénarios (occupation, ventilation, dissipation,....)

Le fichier météo correspondant à chaque site est traité sous Météocalc ou on peut introduire les données climatiques disponibles. On lance la simulation pour déterminer les températures intérieures des zones thermiques prédéfinies et les puissances (chaud et froid) nécessaires dans ces zones.

3.2. Présentation du logiciel

Le logiciel a été développé à la fin des années 80 au centre d'énergétique de Paris pour faire face au manque de logiciels simples d'utilisation prenant en compte la dynamique du comportement thermique du bâtiment. Comfie est développé par le Centre d'Energétique de l'école des Mines de Paris et l'interface Pleiades par IZUBA Energies. Comfie-pleiades est un couplage de deux logiciels.



ALCYONE

Un logiciel appelé ALCYONE, le modéleur graphique de PLEIADES. À partir d'un fond de plan, quelques clics suffisent pour décrire le bâtiment en 2D, niveau par niveau. Parois, menuiseries, toitures etc. : toute la saisie du projet est ainsi facilitée et accélérée. Ce logiciel permet de saisir graphiquement en 3D la géométrie du bâtiment et d'importer les données vers l'interface graphique de COMFIE appelée PLEIADE.



PLÉIADE COMFIE :

PLEIADE apporte aux différents modules de calcul une interface efficace, ergonomique et sécurisée, accélérant considérablement la saisie d'un projet et l'étude de ses variantes. PLEIADE permet la saisie des bibliothèques, la description détaillée du bâtiment, le lancement des calculs et l'analyse des résultats.

Selon le module de calcul utilisé, PLEIADE peut servir entre autres à la conception bioclimatique et l'analyse du confort thermique (moteur COMFIE de simulation thermique dynamique) avec calcul des besoins et des consommations énergétiques et indicateurs de confort.

Pour créer les données météo dans Pleiades+Comfie [134]

Le logiciel Pleiades+Comfie intègre le module "Météocalc" qui permet de créer vos propres données météo utilisables en simulation thermique dynamique (STD).

Pleiades+Comfie utilise des fichiers météorologiques au format TRY. Ce logiciel va permettre d'importer (à partir de logiciels tel Météonorm) ou de générer des fichiers météo.

On peut importer un fichier météo au pas de temps horaire A partir des températures, du rayonnement global et du rayonnement diffus ou à partir A partir des températures, du rayonnement global et de la durée d'insolation

Pour générer un fichier horaire à partir de données mensuelles avec MétéoCalc., il nous faut les données suivantes :

- Température moyenne mensuelle
- Moyenne des minimales mensuelles
- Moyenne des maximales mensuelles
- Minimale absolue mensuelle (* Optionnel)
- Maximale absolue mensuelle (* Optionnel)
- Nombre d'heure d'insolation mensuel
- Irradiation globale horizontale mensuel (cumulé sur un mois) (* Optionnel)

3.2.2. Procédures d'injection des données sur pléiade

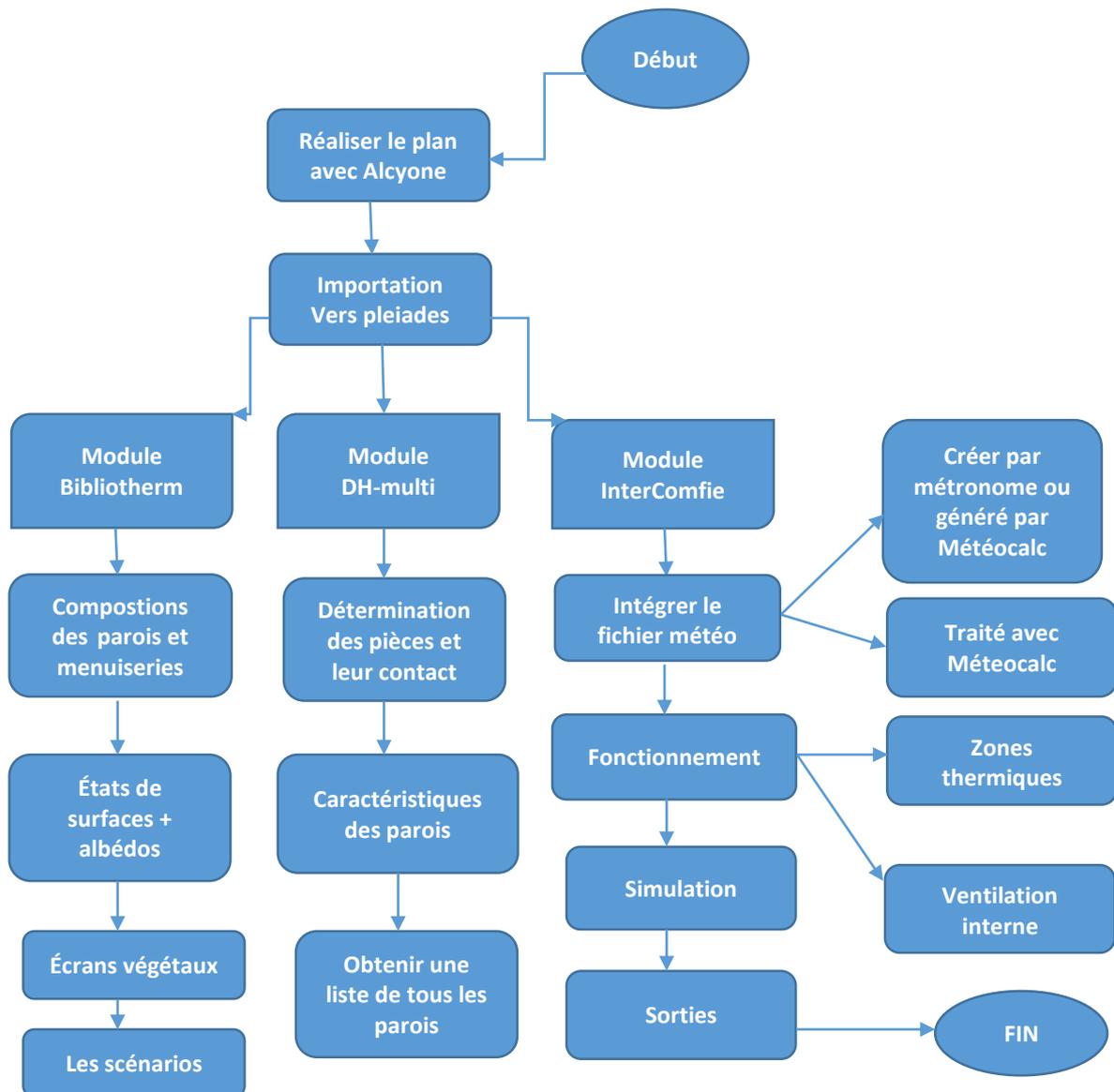


Figure 3.1: Procédure d'injection des données sur pléiade et simulation

3.2.1. Caractéristiques Principales du logiciel [135]

- PLEIADES apporte à Comfie une interface très souple et sécurisée, accélérant considérablement la saisie d'un projet et l'étude de ses variantes
- PLEIADES intègre une bibliothèque de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs (blocs, panneaux...)
- Création en quelques clics de compositions de parois
- PLEIADES intègre également une bibliothèque de menuiseries, de scenarios

d'albédo, d'écrans végétaux et d'états de surface (absorption du rayonnement solaire et émission infrarouge).

- L'analyse s'effectue sur des séquences de temps de type SRY (Small Reference Year) sur 2 semaines en été et 6 semaines en saison de chauffe, de type TRY (Test Reference Year) sur une année type, ou bien de type Yxx (Année réelle) sur une année réelle :
- Simulation possible de 40 zones thermiques différentes.
- Prise en compte de l'environnement : masques lointains, obstacles à l'ensoleillement à proximité de chaque paroi (arbre, masques architecturaux...). Chaque ouverture vitrée peut être affectée d'un masque intégré à la construction de n'importe quel type
- Prise en compte des coefficients d'émission et d'absorption des parois externes ou internes.
- Des fermetures (volets par exemple) peuvent être programmées par scénario réglable d'heure en heure pour chaque jour de la semaine.
- Gestion des ventilations extérieures sur chaque zone par scénario hebdomadaire et horaire.
- Prise en compte de différents types de ventilation interne entre les zones thermiques
- Ouverture de porte avec indication de la fréquence d'ouverture ou d'une régulation

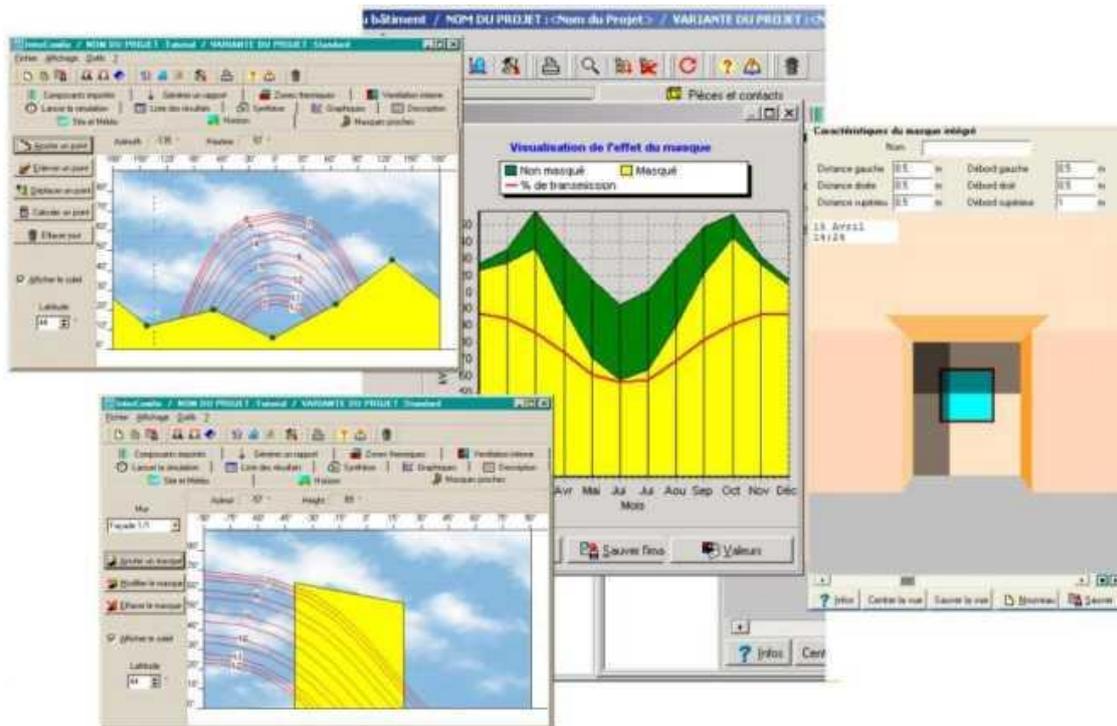


Figure 3.2 : Interface Pléiade-Comfie

Tous les résultats (analyses, valeurs et courbes) peuvent être imprimés, récupérables par copier-coller, ou bien enregistrés sous forme de fichier RTF ou PICT pour exportation dans d'autres logiciels comme Word ou Excel. En plus des résultats, une série d'indices est générée après la simulation pour apprécier rapidement les performances du bâtiment

1. Moyenne Surchauffe Max. : moyenne de dépassement de température durant la période de surchauffe la plus importante.
2. Amplification de $T^{\circ}\text{ext}$: moyenne des pourcentages journaliers d'amplification de la température extérieure.
3. Taux d'inconfort : pourcentage de temps durant lequel la température a été supérieure ou inférieure à certaines valeurs.
4. Besoins Chauff+Froid : somme des besoins nets de chauffage et de rafraîchissement par m^3 .
5. Part de besoins nets : pourcentage des besoins nets de chauffage par rapport aux déperditions.

Avantages

- Prise en main très rapide.
- Bonne simulation des conceptions passives.
- Passerelle avec Equer.

Faiblesses

- Modélisation simplifiée des équipements
- Nombres de zones limitées

3.3. Description du modèle de simulation

3.3.1. Présentation des logements étudiés

3.3.1.1. Présentation des logements implantés à Oran (Zone climatique A)

Oran se trouve au bord de la rive sud du bassin Méditerranéen. Elle se situe au nord-ouest de l'Algérie à 432 km à l'Ouest de la capitale. La ville d'Oran est située au fond d'une baie ouverte au nord et dominée directement à l'Ouest par la montagne de l'Aidour, ainsi que par le plateau de Moulay Abdelkader el Jilani. Elle est située à une altitude de 90 mètres, d'une longitude de 00° 36' et d'une latitude de 35° 38' N.

Le projet fait partie du programme de réalisation de 80 Logements à haute performance énergétique dans la ville d'Oran. L'ensemble des logements est constitué de Blocs de dix logements. Le bloc étudié est un immeuble de type R+3 avec deux logements par niveau et deux duplex occupant chacun deux niveaux.

Les plan du rez de chaussé et de l'étage courant fournis par le bureau d'études B-A-U- Ahcène Benaïssa d'Oran sont donnés dans les figures (3.3) et (3.4).

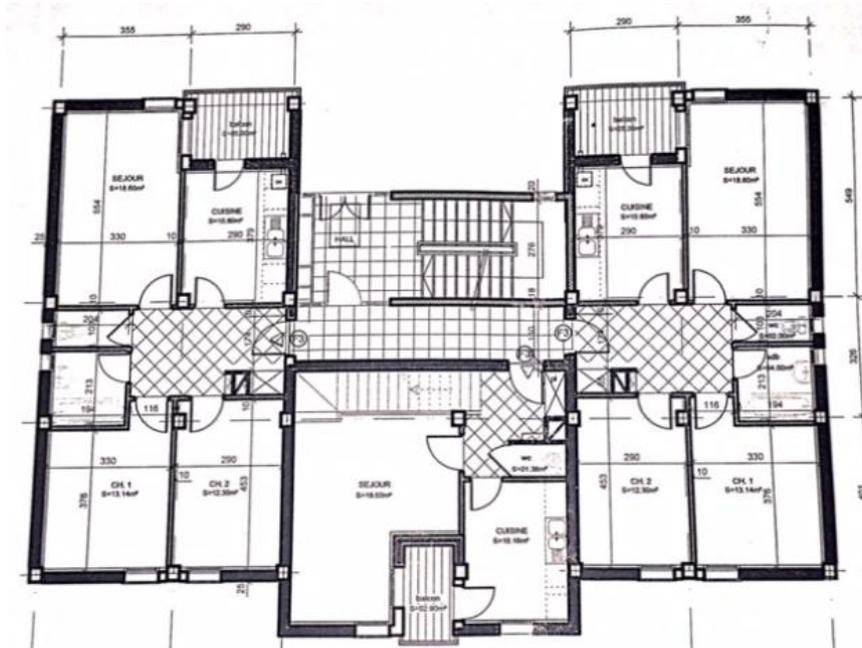


Figure 3.3: plan du rez de chaussé (Oran)

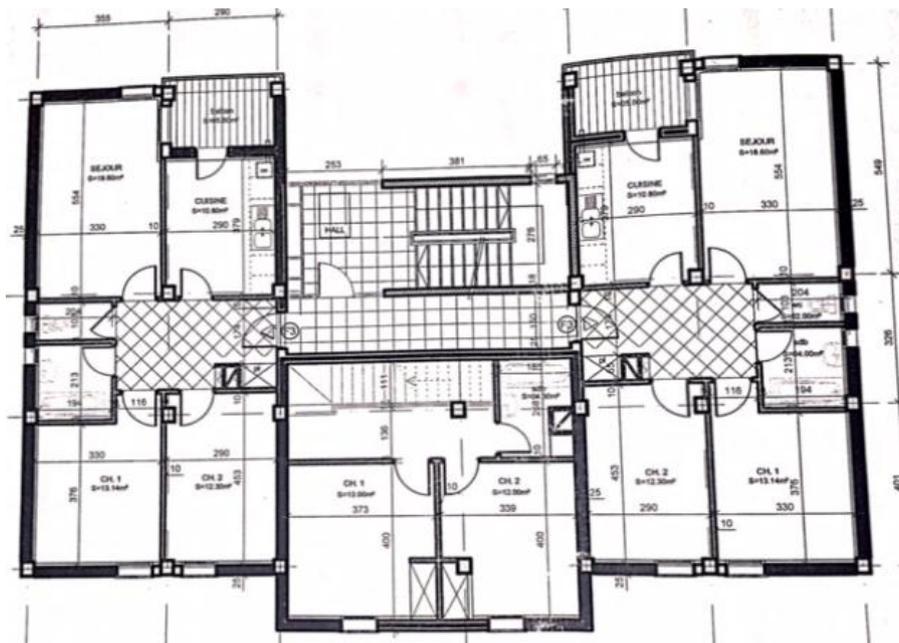


Figure 3.4: Plan de l'étage courant (Oran)

Les températures extérieures (moyennes, maximales et minimales) et le rayonnement global sont pris en considération pour l'optimisation de bâtiment.

La figure 3-5 représente ces deux paramètres pour le site d'Oran.

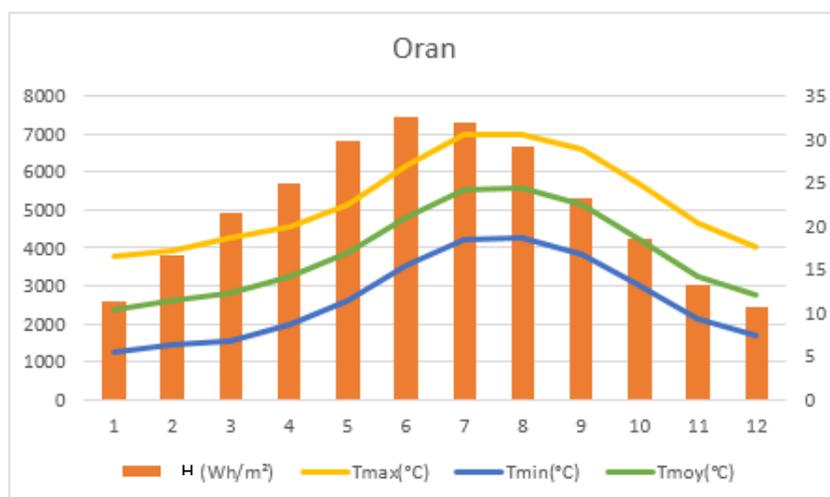


Figure 3.5: Climat considéré pour le site d'Oran

Composition des parois

La liste des parois est donnée sur le tableau est basé sur les plans fournis par le bureau d'études.

Tableau 3.1: Liste des parois (logements Oran)

Designation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/ (m.K)	R (m².K)/W
Mur Extérieur	Enduit ciment	0.02	0.800	0.02
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Polystyrène	0.04	0.039	1.03
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Plâtre	0.02	0.350	0.06
Mur Intérieur	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Plâtre	0.02	0.350	0.06
Toiture	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.05	1.75	1.03
	Polystyrène	0.04	0.039	0.03
	Mortier	0.03	1.15	0.03
	Tuile	0.01	0.75	0.03
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.04	1.750	0.02
	Carrelage	0.02	1.700	0.01
Plancher intermediaire	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Béton	0.20	1.750	0.11
	Mortier	0.04	1.150	0.02
	Carrelage	0.02	1.700	0.01

3.2.1.2. Présentation des logements implantés à Blida (zone climatique B)

La ville de Blida se situe dans la partie nord centrale du pays, dans la zone géographique du Tell central. Elle est située à 50 km de la capitale et à la bordure de la plaine de la Mitidja à 22Km de la mer. Blida, s'établie au pied du versant nord de l'Atlas Tellien et s'étale jusqu'à la lisière sud de la plaine de Mitidja. Elle est située à 260m d'altitude avec une Longitude de 2.8° et une Latitude de 36.48°.

Le projet fait partie du programme de réalisation de 80 Logements à haute performance énergétique dans la ville de Blida. L'ensemble des logements est constitué de Blocs de dix logements. Le bloc étudié est un immeuble de type R+ 3 avec deux logements par niveau.

Les plan du rez de chaussée et de l'étage courant fournis par l'OPGI de Blida sont donnés dans les figures (3.6) et (3.7).



Figure 3.6: Plan du rez de chaussé (Blida)

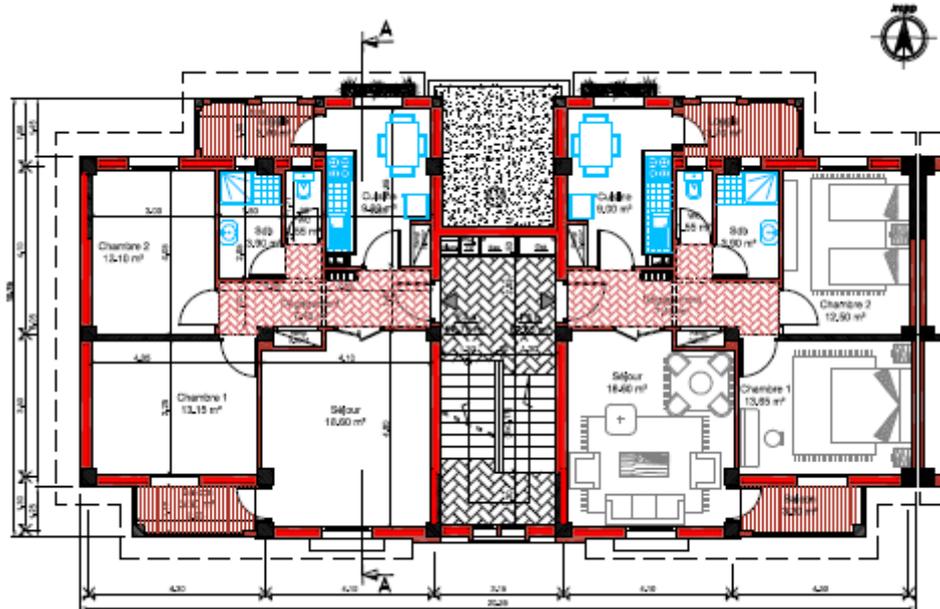


Figure 3.7: Plan de l'étage courant (Blida)

Les températures extérieures (moyennes, maximales et minimales) et le rayonnement global sont pris en considération pour l'optimisation de bâtiment.

La figure (3.8) représente ces deux paramètres pour le site de Blida.

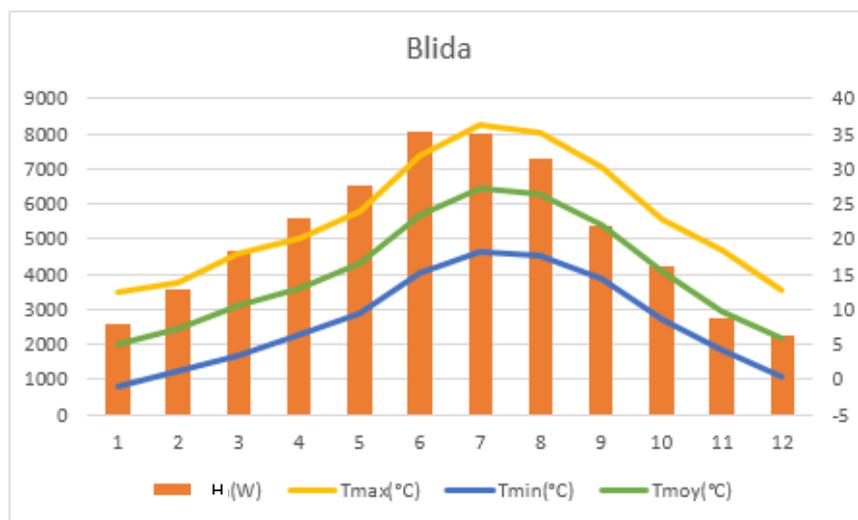


Figure 3.8: Climat considéré pour le site de Blida

Composition des parois

La liste des parois est donnée sur le tableau est basé sur les plans fournis par l'OPGI de Blida.

Tableau 3.2: Liste des parois (logements Blida)

Designation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/ (m.K)	R (m ² .K)/W
Mur Extérieur	Mortier	0.015	1.150	0.01
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Polystyrène	0.08	0.039	2.05
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Plâtre	0.015	0.350	0.04
Mur Intérieur	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Pâtre	0.02	0.350	0.06
Toiture	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.04	1.750	1.03
	Polystyrène	0.08	0.039	2.05
	Mortier	0.03	1.150	0.03
	Tuile	0.01	0.750	0.03
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.04	1.750	0.02
	Polystyrène	0.10	0.039	2.56
	Carrelage	0.02	1.700	0.01
Plancher intermediaire	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Béton	0.20	1.750	0.11
	Mortier	0.04	1.150	0.02
	Carrelage	0.02	1.700	0.01

3.2.1.3. Présentation des logements implantés à Sétif (zone climatique C)

La ville de Sétif se situe dans l'est Algérien, dans la région des hauts plateaux. Elle se trouve à 300 km à l'est d'Alger. Elle est située à 1033 m d'altitude avec une Longitude de 5.15° et une Latitude de 36.11°

Le projet fait partie du programme de réalisation de 54 Logements à haute performance énergétique dans la ville de Sétif. L'ensemble des logements est constitué de Blocs de dix logements. Le bloc étudié est un immeuble de type R+ 2 avec deux logements par niveau.

Les plans du rez de chaussée et de l'étage courant fournis par l'OPGI de Sétif sont donnés dans les figures (3.9) et (3.10).

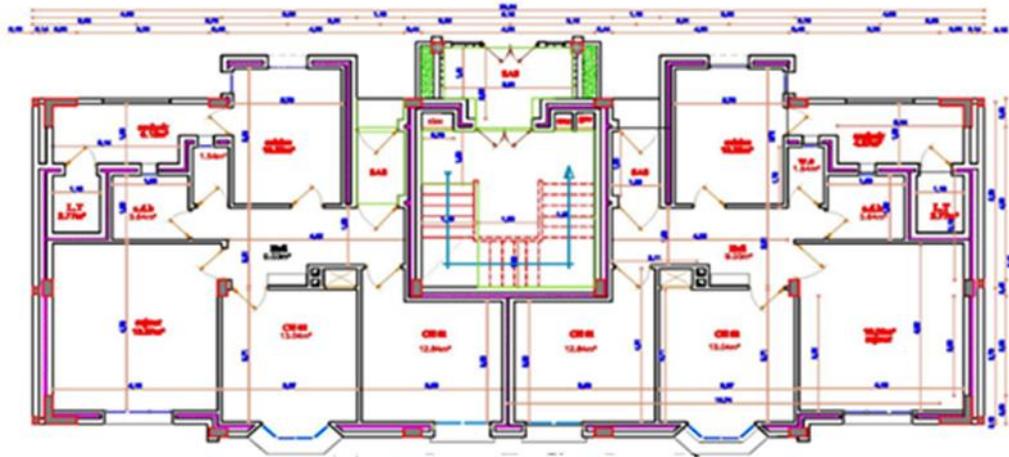


Figure 3.9: Plan du rez de chaussée(Sétif)

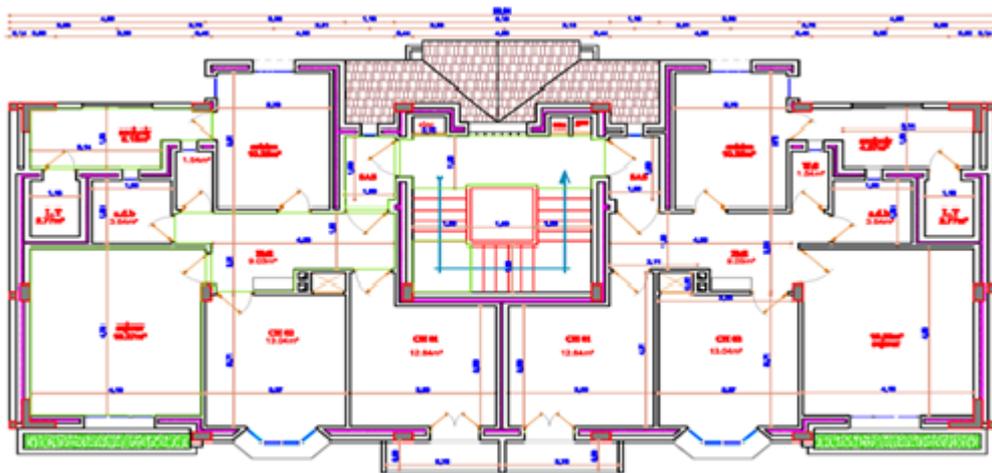


Figure 3.10: Plan de l'étage courant (Sétif)

Les températures extérieures (moyennes, maximales et minimales) et le rayonnement global sont pris en considération pour l'optimisation de bâtiment.

La figure (3.11) représente ces deux paramètres pour le site de Sétif.

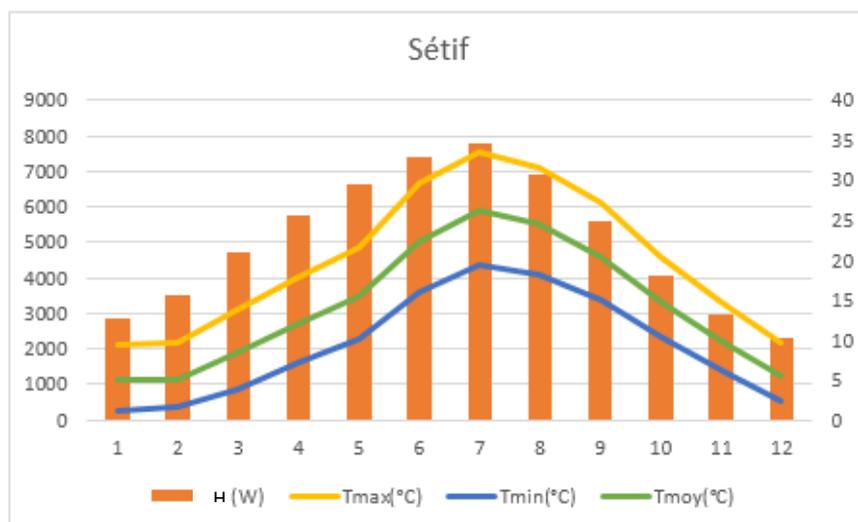


Figure 3.11: Climat considéré pour le site de Sétif

Composition des parois

La liste des parois est donnée sur le tableau est basé sur les plans fournis par l'OPGI de Sétif.

Tableau 3.3: Liste des parois (logements Sétif)

Designation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/ (m.K)	R (m ² .K)/W
Mur Extérieur	Mortier	0.015	1.150	0.01
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Polystyrène	0.06	0.039	1.54
	Brique creuse	0.05	0.476	0.21
	Plâtre	0.015	0.350	0.04
Mur Intérieur	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Plâtre	0.02	0.350	0.06
Toiture	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.05	1.750	1.03
	Polystyrène	0.06	0.039	1.54
	Mortier	0.03	1.150	0.03
	Tuile	0.01	0.750	0.03
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.04	1.750	0.02
	Polystyrène	0.10	0.039	2.56
	Carrelage	0.02	1.700	0.01
Plancher intermediaire	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Béton	0.20	1.750	0.11
	Mortier	0.04	1.150	0.02
	Carrelage	0.02	1.700	0.01

3.2.1.4. Présentation des logements implantés à Béchar (zone climatique D)

La ville de Bechar se situe au sud-ouest du Sahara Algérien, à 1115 km de la capitale Alger. Elle est située à 807m d'altitude avec une Longitude de 2.15° et une Latitude de 36.88°.

Le projet fait partie du programme de réalisation de 30 Logements individuels à haute performance énergétique dans la ville de Béchar. Le logement est un duplex de type R+1.

Les plan du rez de chaussée et de l'étage courant fournis par le cabinet d'architecture et d'urbanisme BENKHEDDA (CAUB) de Béchar sont donnés dans les figures (3.12) et (3.13).

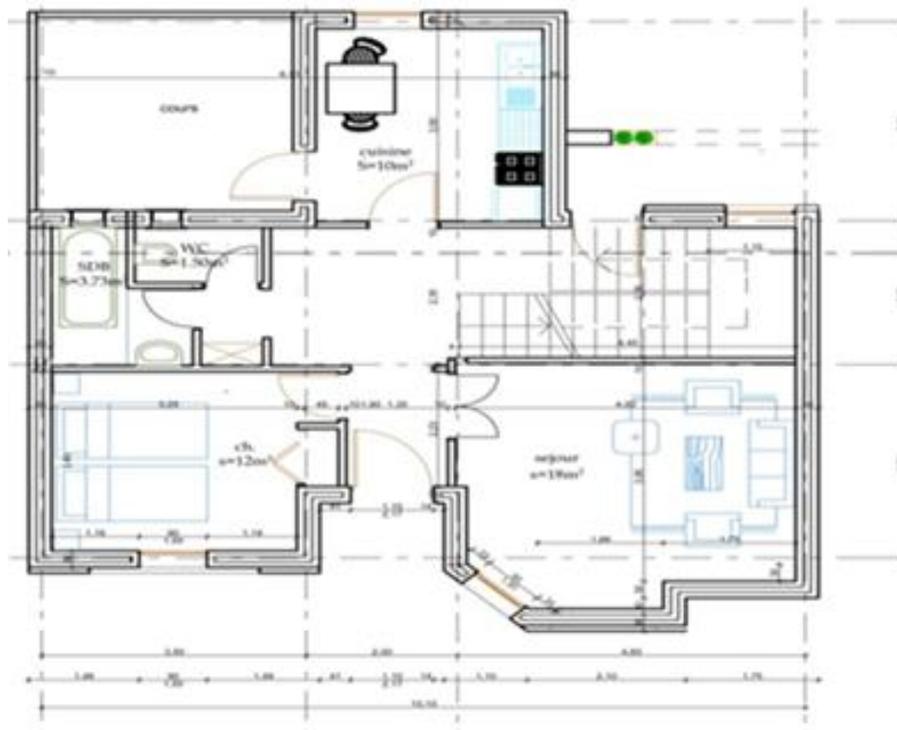


Figure 3.12: Plan du Rez de chaussée (Bechar)

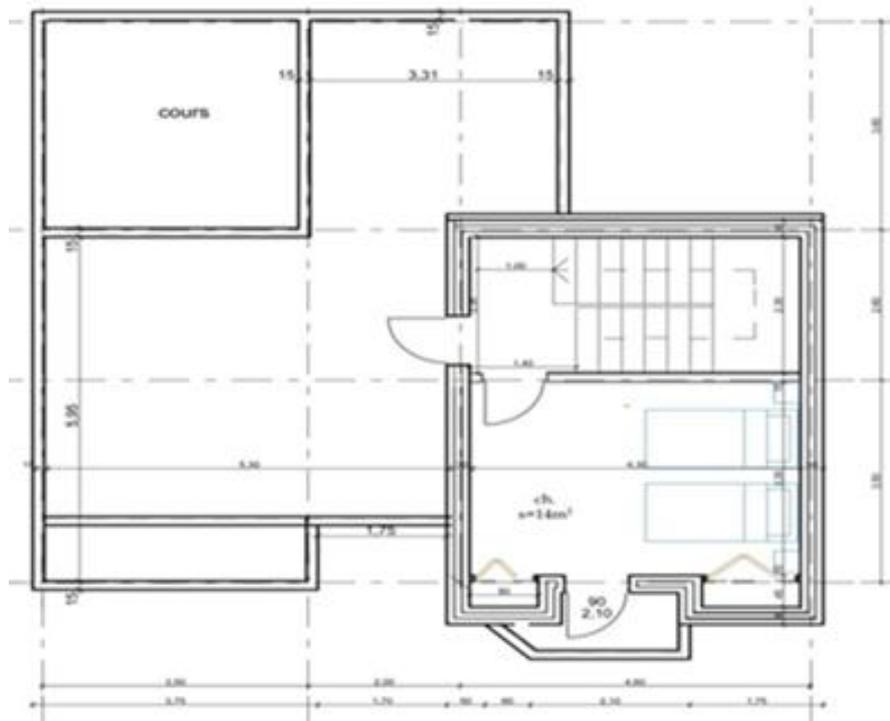


Figure 3.13: Plan de l'étage courant (Bechar)

La figure (3.14) représente ces deux paramètres pour le site de Béchar.

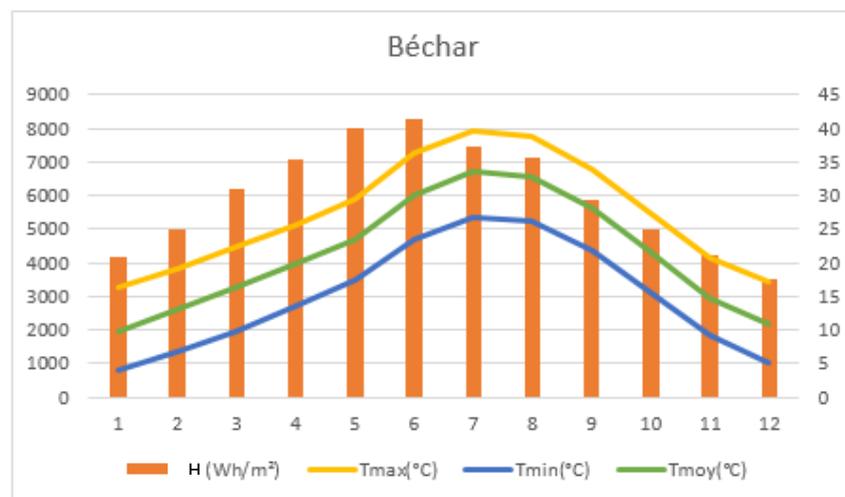


Figure 3.14: Climat considéré pour le site de Béchar

Composition des parois

La liste des parois est donnée sur le tableau est basé sur les plans fournis par le cabinet.

Tableau 3.4: Liste des parois (logements Béchar)

Designation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/ (m.K)	R (m ² .K)/W
Mur Extérieur	Mortier	0.015	1.150	0.01
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Polystyrène	0.08	0.039	2.05
	Brique creuse	0.05	0.476	0.21
	Plâtre	0.015	0.350	0.04
Mur Intérieur	Plâtre	0.015	0.350	0.06
	Brique creuse	0.10	0.476	0.21
	Plâtre	0.015	0.350	0.06
Toiture	Enduit à la chaux	0.015	0.700	0.02
	Mortier	0.015	1.150	0.01
	Mortier +sable	0.04	1.150	0.03
	Polystyrène	0.10	0.039	2.56
	Béton	0.04	1.750	0.02
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Plâtre	0.015	0.350	0.04
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Hourdis	0.16	1.231	0.13
	Béton	0.04	1.750	0.02
	Polystyrène	0.02	0.039	0.51
	Carrelage	0.02	0.750	0.01
Plancher intermediaire	Plâtre	0.02	0.350	0.06
	Béton	0.20	1.750	0.11
	Mortier	0.04	1.150	0.02
	Carrelage	0.02	1.700	0.01

3.2.2. Renouvellement d'air

Les bâtiments ne possèdent pas de ventilation mécanique. Le renouvellement d'air s'opère par la ventilation naturelle par défaut d'étanchéité des menuiseries des ouvrants qui est considéré lors des simulations (débit nominal de 1,03 vol/h [127]) et qui dépend essentiellement du vent et de la différence de températures.

3.2.3. Les apports internes

Les apports internes émis par le métabolisme des occupants et les apports des systèmes électriques doivent également être fournis au modèle thermique dynamique du bâtiment. Les données retenues sont celles d'une occupation d'une maison par une famille (de six personnes à Oran et Béchar, 7 personnes à Sétif et cinq personnes à Blida) chacun émettant 80 W. Le même scénario est reproduit toutes les semaines, il est représenté dans le Tableau 3.15. Les puissances dissipées par les systèmes du

bâtiment (une lampe, téléviseur, ordinateur) suivent également un scénario hebdomadaire présenté dans le Tableau 3.16.

Tableau 3.5: Occupation du bâtiment par les habitants (chambres)

Hebdomadaire % d'occupation							
Nombre d'occupants							
Heure	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim
	%	%	%	%	%	%	%
0-1h	100	100	100	1000	100	100	100
1-2h	100	100	100	1000	100	100	100
2-3h	100	100	100	1000	100	100	100
3-4h	100	100	100	1000	100	100	100
4-5h	100	100	100	1000	100	100	100
5-6h	100	100	100	1000	100	100	100
6-7h	100	100	100	1000	100	100	100
7-8h	50	50	50	50	50	50	50
8-9h	0	0	0	0	0	0	0
9-10h	50	50	50	50	50	50	50
10-11 h	0	0	0	0	0	0	0
11-12h	50	50	50	50	50	50	50
12-13h	0	0	0	0	0	0	0
13-14h	50	50	50	50	50	50	50
14-15h	0	0	0	0	0	0	0
15-16h	50	50	50	50	50	50	50
16-17h	0	0	0	0	0	0	0
17-18h	50	50	50	50	50	50	50
18-19h	0	0	0	0	0	0	0
19-20h	50	50	50	50	50	50	50
20-21h	100	100	100	1000	100	100	100
21-22h	100	100	100	1000	100	100	100
22-23h	100	100	100	1000	100	100	100
23-24h	100	100	100	1000	100	100	100

Tableau 3.6 : Puissance de dissipation dans les chambres

Hebdomadaire Puissance dissipée (chambres)							
Heure	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim
	Watts						
0-1h	0	0	0	0	0	0	0
1-2h	0	0	0	0	0	0	0
2-3h	0	0	0	0	0	0	0
3-4h	0	0	0	0	0	0	0
4-5h	0	0	0	0	0	0	0
5-6h	0	0	0	0	0	0	0
6-7h	0	0	0	0	0	0	0
7-8h	200	200	200	200	200	200	200
8-9h	0	0	0	0	0	0	0
9-10h	200	200	200	200	200	200	200
10-11h h	0	0	0	0	0	0	0
11-12h	200	200	200	200	200	200	200
12-13h	0	0	0	0	0	0	0
13-14h	200	200	200	200	200	200	200
14-15h	0	0	0	0	0	0	0
15-16h	200	200	200	200	200	200	200
16-17h	0	0	0	0	0	0	0
17-18h	200	200	200	200	200	200	200
18-19h	333	333	333	333	333	333	333
19-20h	333	333	333	333	333	333	333
20-21h	333	333	333	333	333	333	333
21-22h	333	333	333	333	333	333	333
22-23h	200	200	200	200	200	200	200
23-24h	200	200	200	200	200	200	200

3.2.4. La surventilation (ventilation nocturne)

L'ouverture des fenêtres crée un renouvellement d'air plus important que celui créé par la ventilation naturelle .Dans notre simulation nous considérons une ventilation en été d'un débit nominal de 5 vol/h .Elle est représentée dans le tableau (3.17)

Tableau 3.7: Ventilation d'été (nocturne)

Hebdomadaire Ventilation nocturne (chambres)							
Heure	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim
0-1h	100	100	100	100	100	100	100
1-2h	100	100	100	100	100	100	100
2-3h	100	100	100	100	100	100	100
3-4h	100	100	100	100	100	100	100
4-5h	100	100	100	100	100	100	100
5-6h	100	100	100	100	100	100	100
6-7h	100	100	100	100	100	100	100
7-8h	0	0	0	0	0	0	0
8-9h	0	0	0	0	0	0	0
9-10h	0	0	0	0	0	0	0
10-11h h	0	0	0	0	0	0	0
11-12h	0	0	0	0	0	0	0
12-13h	0	0	0	0	0	0	0
13-14h	0	0	0	0	0	0	0
14-15h	0	0	0	0	0	0	0
15-16h	0	0	0	0	0	0	0
16-17h	0	0	0	0	0	0	0
17-18h	0	0	0	0	0	0	0
18-19h	0	0	0	0	0	0	0
19-20h	0	0	0	0	0	0	0
20-21h	0	0	0	0	0	0	0
21-22h	100	100	100	100	100	100	100
22-23h	100	100	100	100	100	100	100
23-24h	100	100	100	100	100	100	100

3.2.5. Chauffage et climatisation

Pour étudier la variation des températures des chambres dans les logements on considère la saison estivale qui s'étale du 15 Mai au 15 Octobre et la saison hivernale qui s'étale du 15 Octobre au 15 Mai.

Nous lançons deux simulations : la première en l'absence de chauffage ou climatisation. La seconde en imposant une consigne de chauffage à 20°C et une consigne de climatisation à 24°C pour déterminer les besoins énergétiques annuels.

3.3. Résultats et discussion

3.3.1. Simulation sans chauffage ni climatisation

3.3.1.1. Période d'été

Les figures (3.15), (3.16), (3.17) et (3.18) représentent l'évolution des températures sur la période estivale qui s'étend du 15 Mai au 15 Octobre, dans les logements (occupés avec ventilation naturelle).

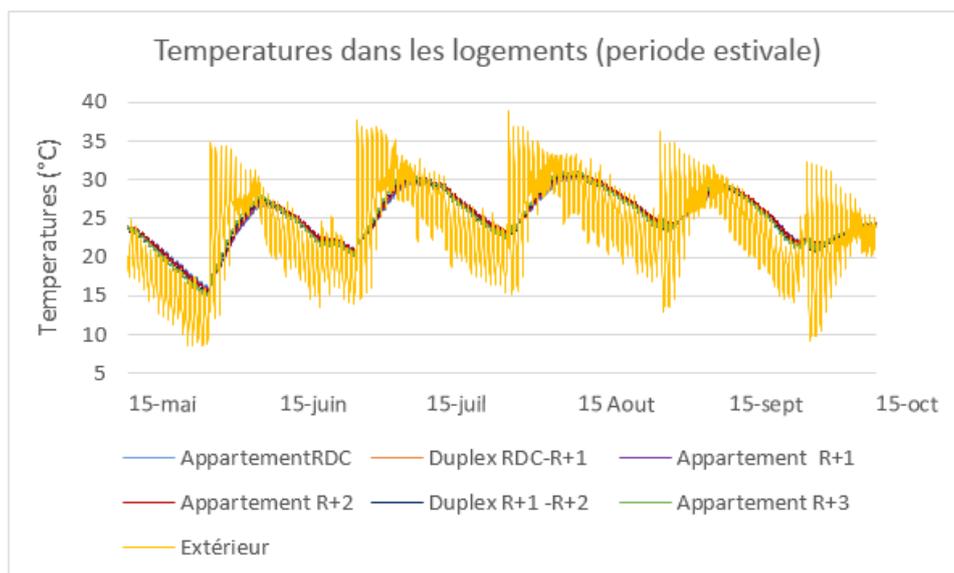


Figure 3.15: Variation des températures dans les logements en période d'été(Oran)

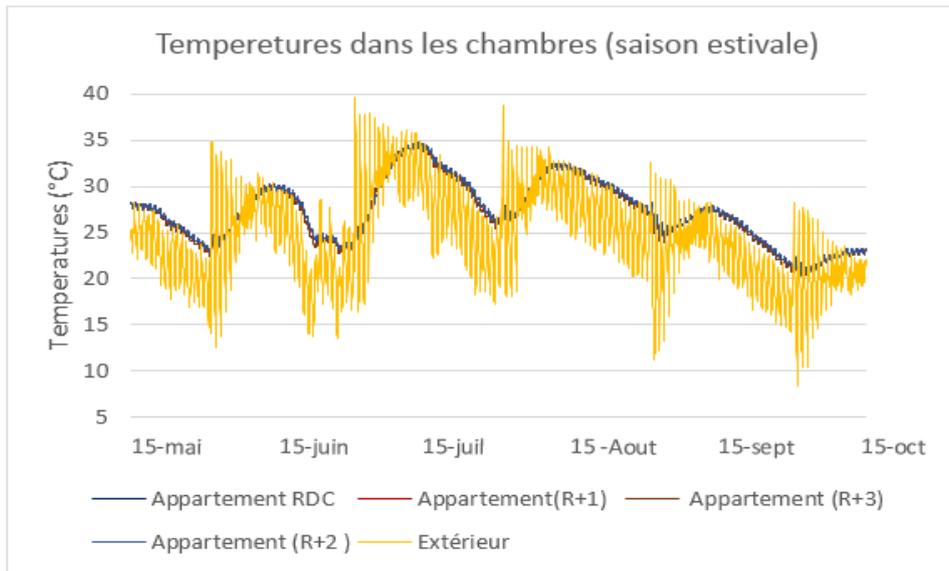


Figure 3.16: Variation des températures dans les logements en période d'été(Blida)

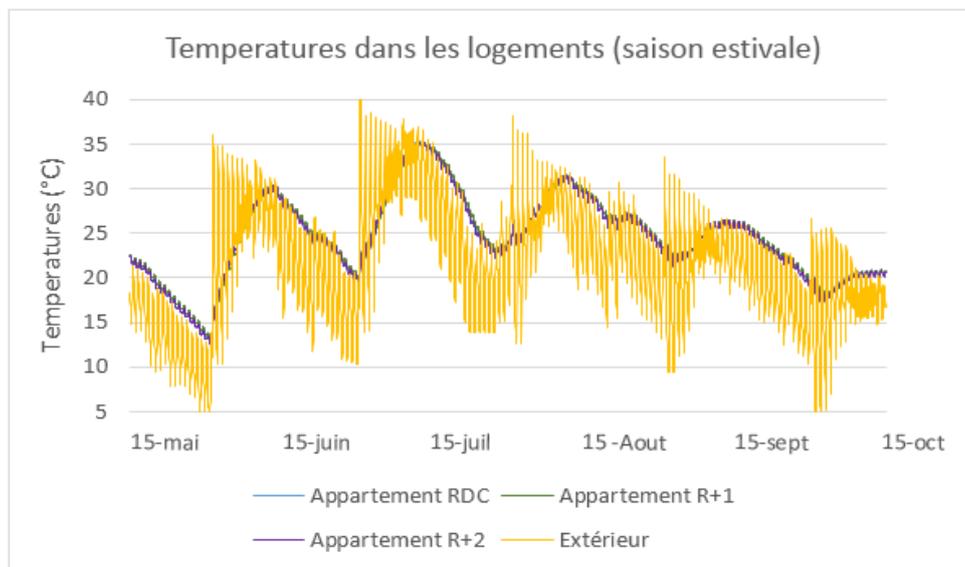


Figure 3.17: Variation des températures dans les logements en période d'été(Sétif)

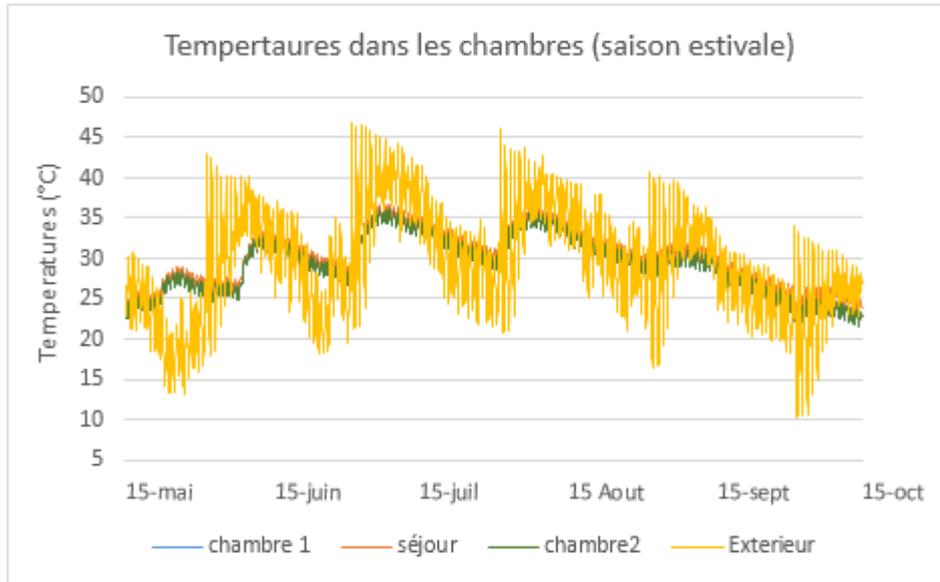


Figure 3.18: Variation des températures dans les logements en période d'été(Béchar)

Les figures (3.19), (3.20), (3.21) et (3.22) représentent l'évolution des températures aux mois les plus chauds de l'année. (Le mois d'Aout pour Oran et le mois de Juillet pour Blida, Sétif et Béchar).

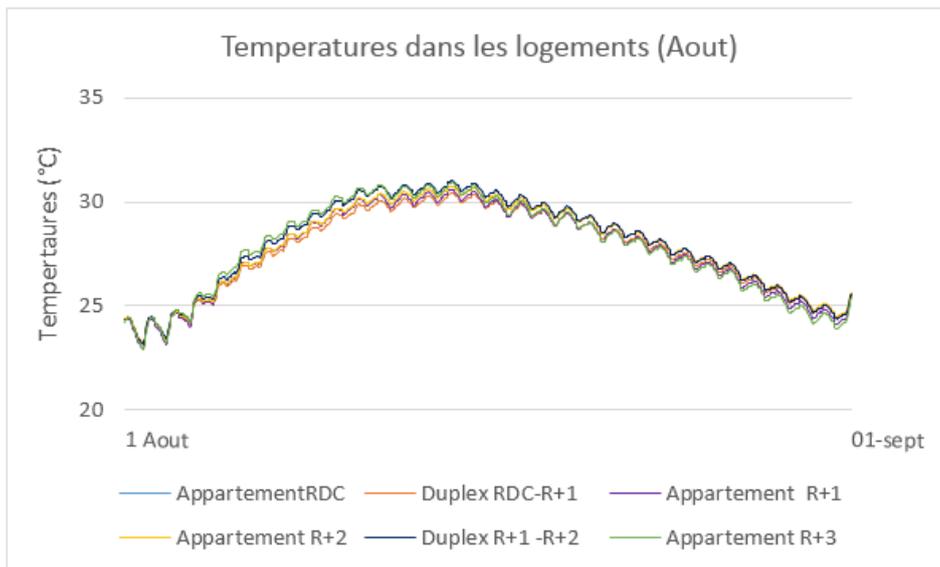


Figure 3.19: Variation des températures dans les logements au mois le plus chaud (Oran)

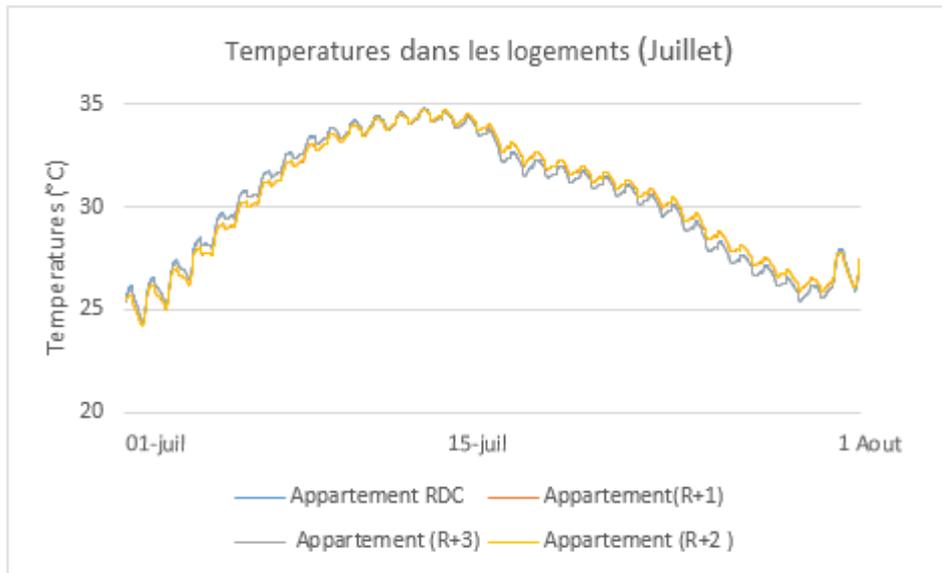


Figure 3.20: Variation des températures dans les logements au mois le plus chaud (Blida)

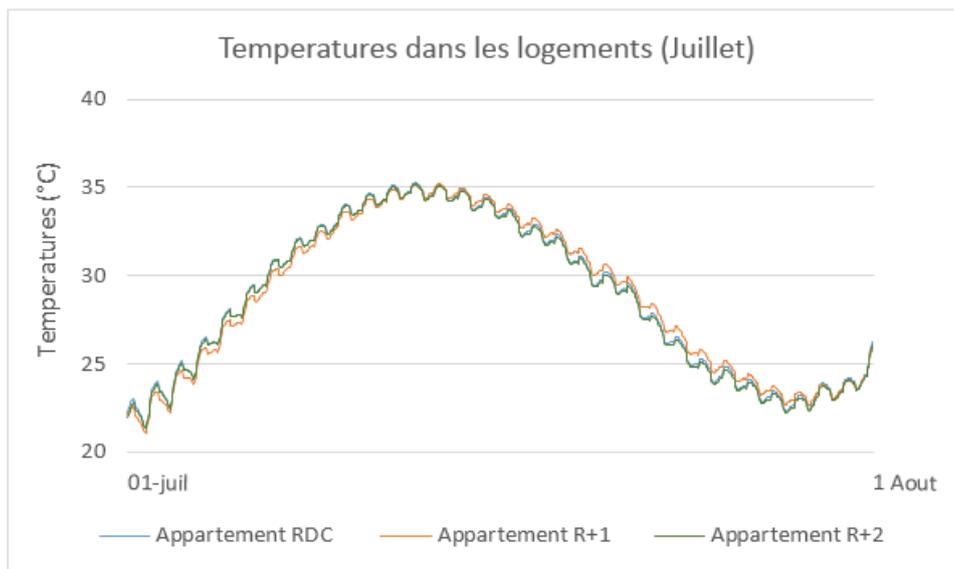


Figure 3.21: Variation des températures dans les logements au mois le plus chaud (Sétif)

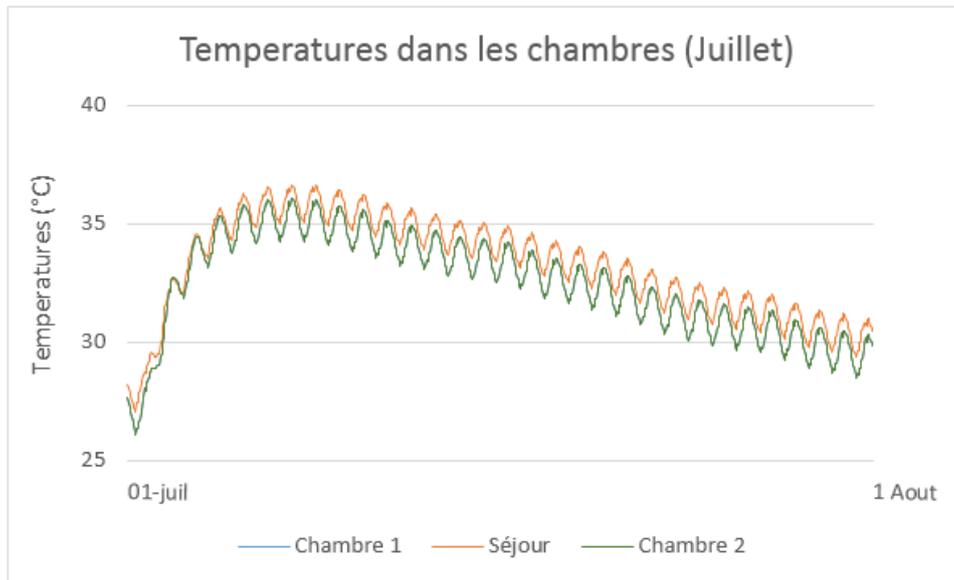


Figure 3.22: Variation des températures dans les logements au mois le plus chaud (Béchar)

Notre simulation a permis d'optimiser le confort d'été. Si on considère que le bâtiment assure une température (sans recours à la climatisation) inférieure à 27°C ou de 6 à 8° en moins par rapport à l'extérieur, alors la sensation de confort sera assurée.

La température moyenne simulée dans les logements est de 23,5°C avec un nombre d'heures inférieur à une température de 28°C de 1152h pour le site d'Oran, de 26,8°C avec un nombre d'heures inférieur à une température de 28°C de 2008h pour le site de Blida, de 24°C pour le site de Sétif avec un nombre d'heures inférieur à une température de 28°C de 1069h et de 27°C avec un nombre d'heures inférieur à une température de 28°C de 2043h pour le site de Bechar.

Elle atteint environ 32°C aux fortes chaleurs au mois d'Aout à Oran (37°C à l'extérieur), 35°C aux fortes chaleurs au mois de juillet à Blida et Sétif (40°C à l'extérieur), 37°C aux fortes chaleurs au mois de juillet à Béchar (46°C à l'extérieur).

Le comportement thermique des bâtiments étudiés pour les différents sites en période estivale est acceptable compte tenu des températures atteintes en été dans ces régions.

Une ventilation nocturne pratiquée par les occupants (ouverture des fenêtres) est proposée. Les figures (3.23), (3.24), (3.25), (3.26) représentent les températures maximales dans les logements des différents sites considérés avec et sans ventilation nocturne.

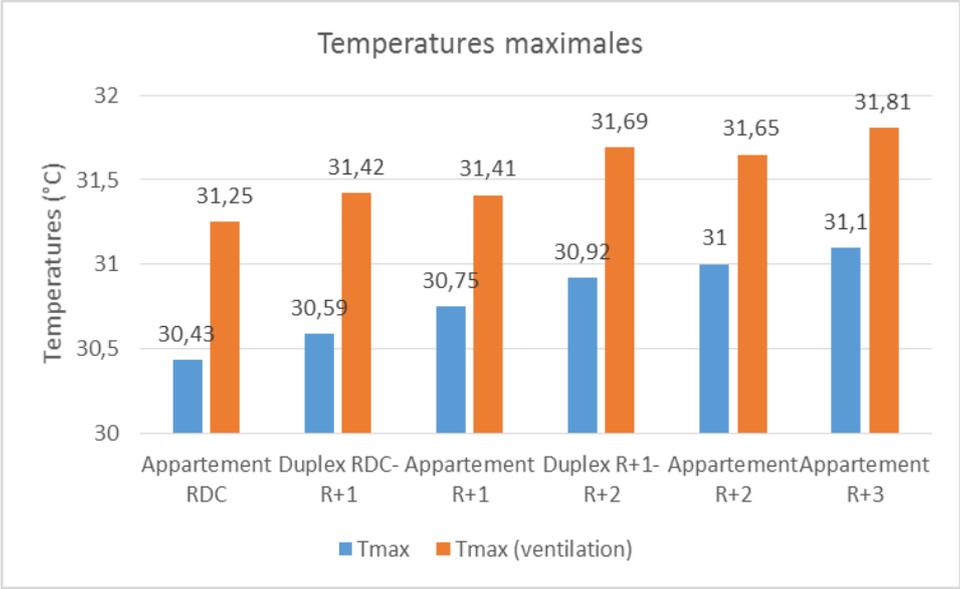


Figure 3.23: Températures maximales dans les logements (Avec et sans ventilation) (Oran)

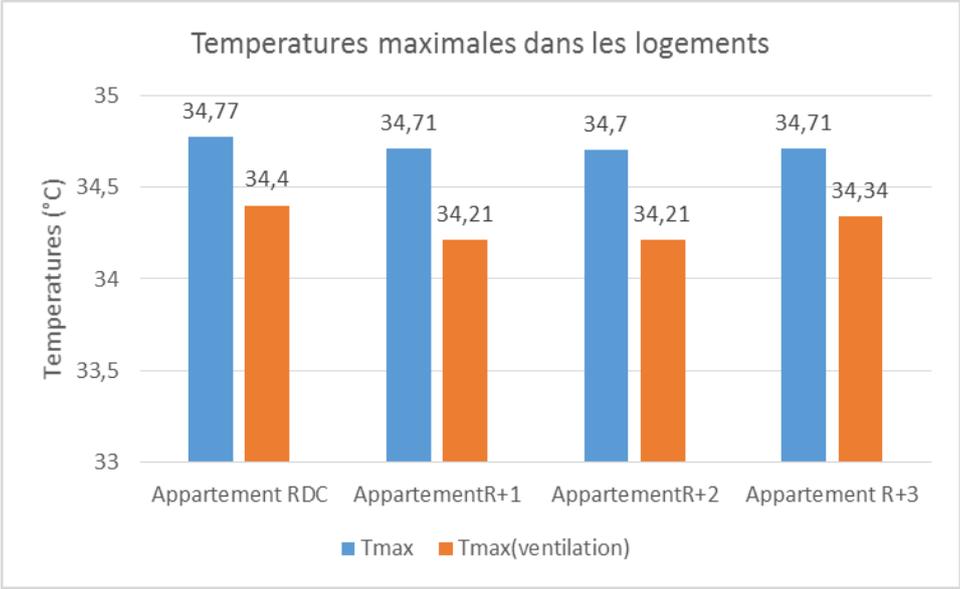


Figure 3.24: Températures maximales dans les logements (Avec et sans ventilation) (Blida)

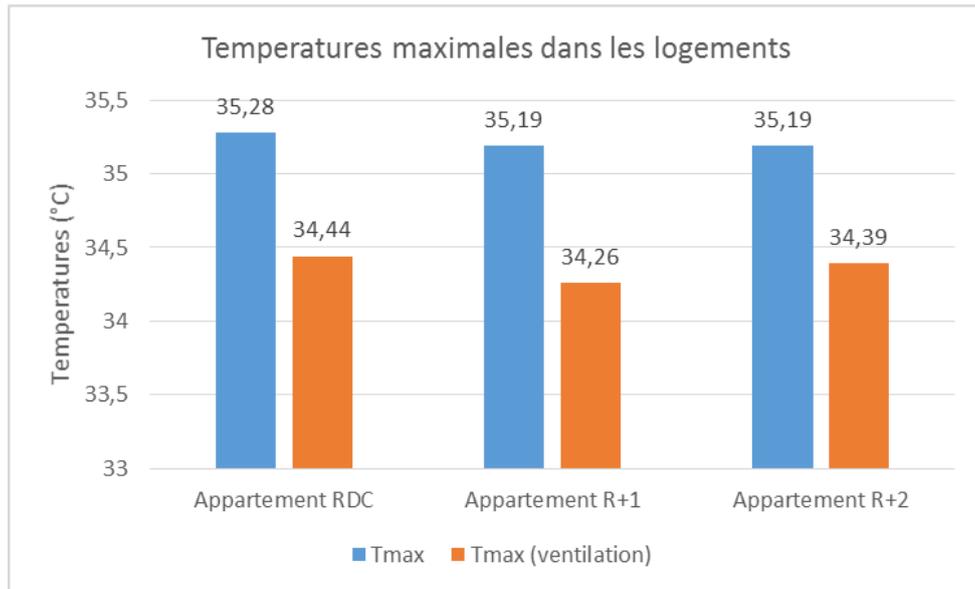


Figure 3.25: Températures maximales dans les logements (Avec et sans ventilation) (Sétif)

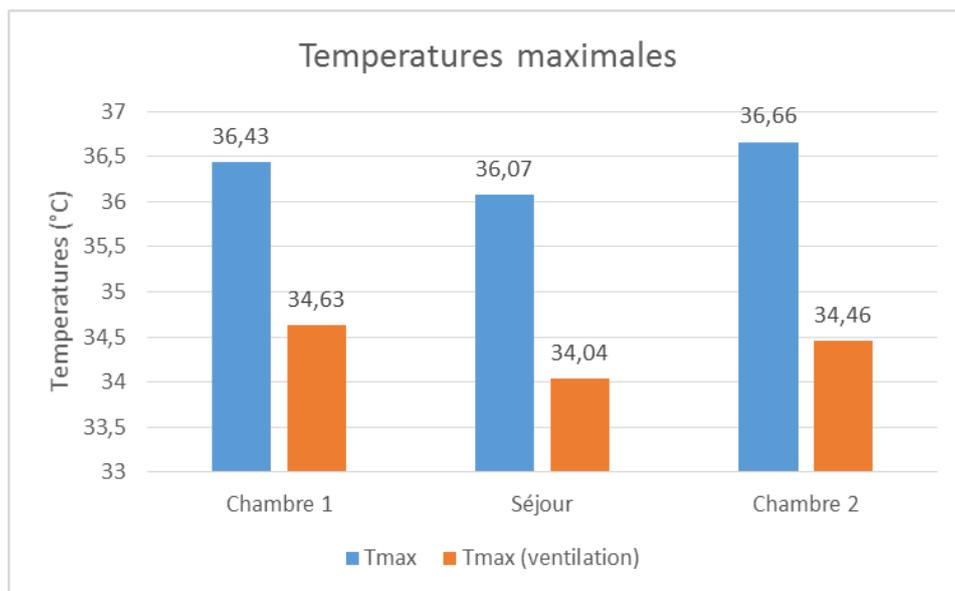


Figure 3.26: Températures maximales dans les chambres (Avec et sans ventilation)
(Béchar)

En présence d'une ventilation nocturne le nombre d'heures inférieur à une température de 28°C est de 1121h donc une baisse de 31h pour les logements d'Oran .elle est égale à 1256h soit une baisse de 508 h .Pour les logements situés à Sétif le nombre d'heures inférieur à une température de 28°C est de 812 h soit une baisse de 257 h et enfin pour le logement situé à Béchar ce nombre passe à 1256h

soit une baisse de 787h. La ventilation nocturne ne procure pas d'amélioration en terme de températures vu que celle-ci augmentent de $0,8^{\circ}\text{C}$ pour les logements situés à Oran. Pour les logements situés à Blida l'effet de la ventilation nocturne est insignifiant (gain de $0,5^{\circ}\text{C}$) par rapport aux logements situés à Sétif et Bechar ou l'effet devient plus importants (gain de $0,9^{\circ}\text{C}$ et $2,2^{\circ}\text{C}$ respectivement).

Il en résulte que la ventilation nocturne à cause de l'écart de température nocturne diurne reste le moyen le plus efficace pour réduire les surchauffes en période d'été particulièrement au sud du pays et les hauts plateaux et maintenir la température intérieure dans les logements à un niveau acceptable en l'absence de climatisation. Au nord du pays cette pratique semble inefficace et son effet pratiquement insignifiant.

3.3.1.2. Période d'hiver

Les figures (3.27), (3.28), (3.29) et (3.30) représentent l'évolution des températures sur la période estivale qui s'étend du 15 Octobre au 15 Mai, dans les logements (occupés avec ventilation naturelle).

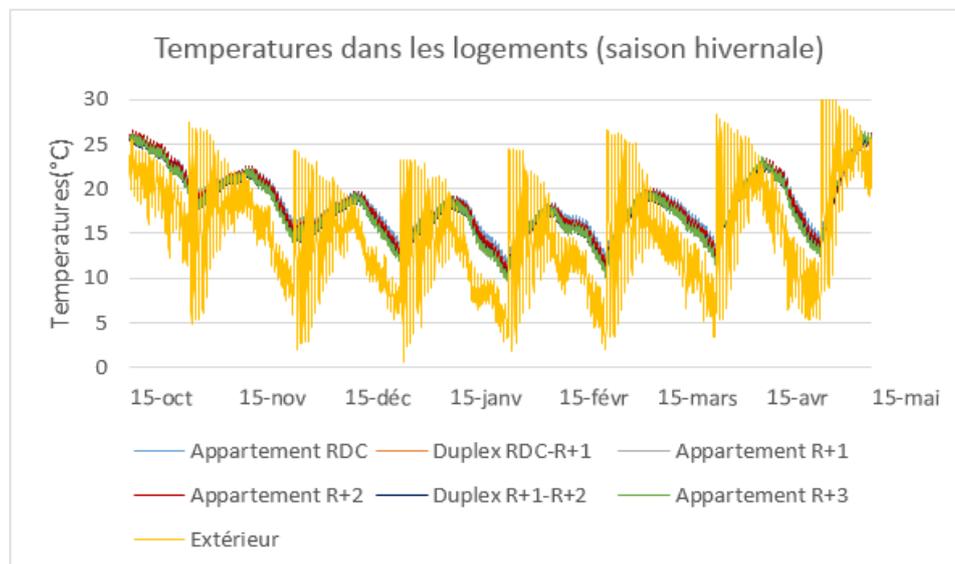


Figure 3.27: Variation des températures dans les logements en période d'hiver(Oran)

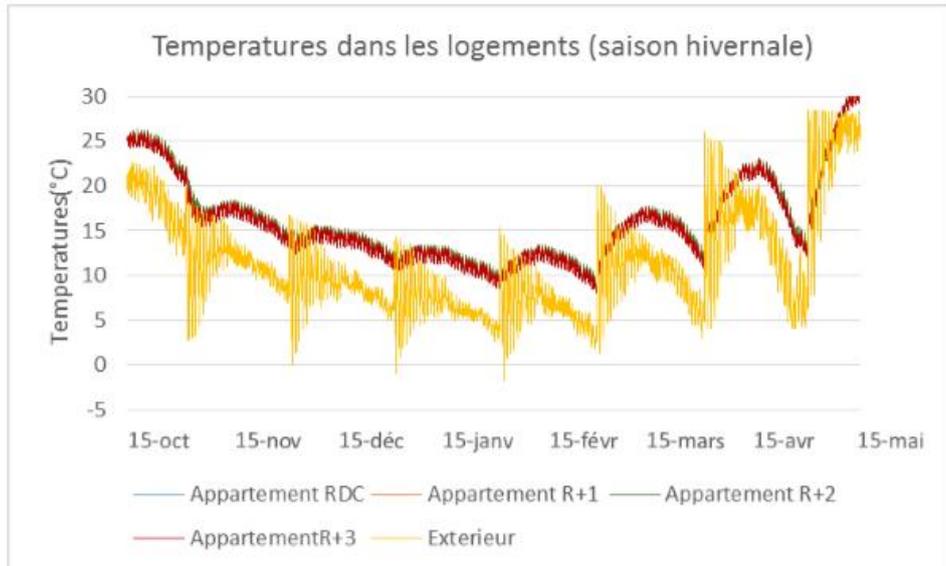


Figure 3 .28: Variation des températures dans les logements en période d'hiver(Blida)

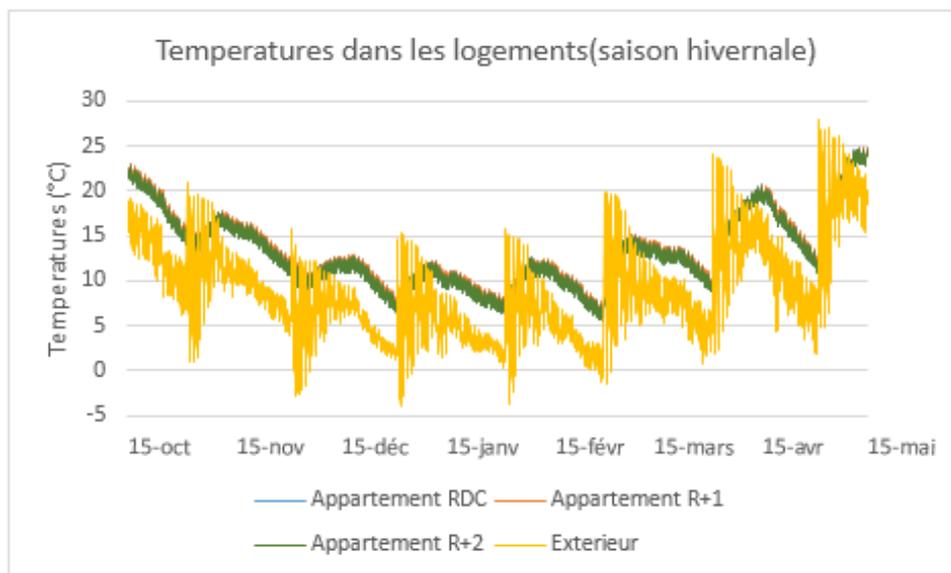


Figure 3.29: Variation des températures dans les logements en période d'hiver(Sétif)

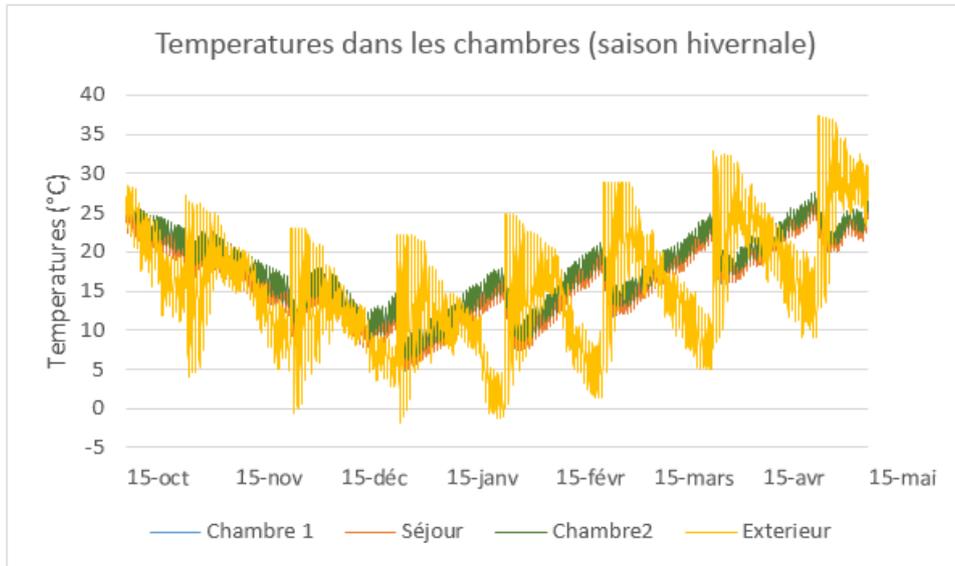


Figure 3.30: Variation des températures dans les logements en période d'hiver(Béchar)

Le confort hivernal semble atteint dans les logements situés à Oran avec une température moyenne acceptable de 16,5°C. Malgré l'isolation des bâtiments, les températures atteintes en période d'hiver dans les logements sont assez basses. Les températures moyennes dans les logements situés à Blida, Sétif et Béchar sont respectivement, 14,5°C, 12°C 13°C. Les figures (3.31), (3.32), (3.33) et (3.34) représentent les températures dans les logements aux mois les plus froids de l'année.

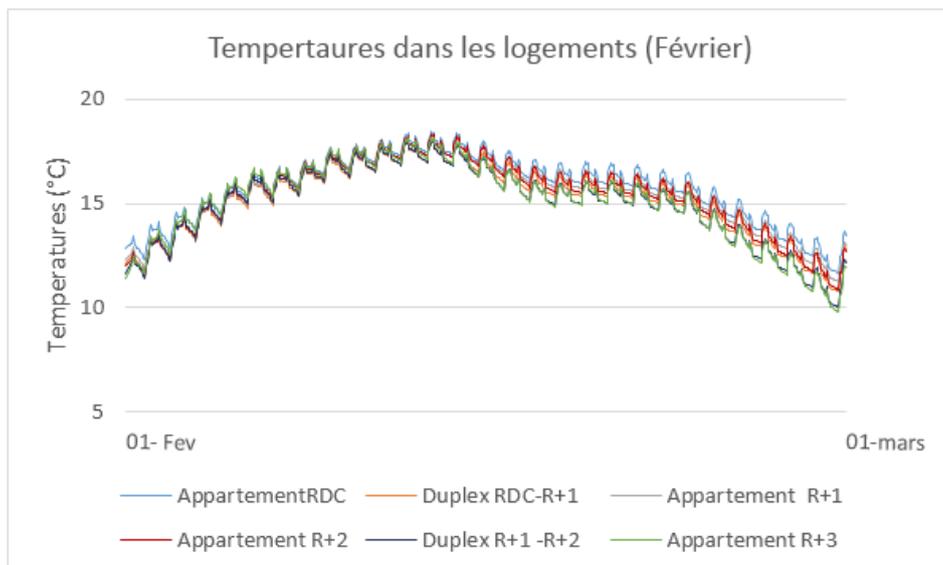


Figure 3.31: Variation des températures dans les logements au mois le plus froid (Oran)

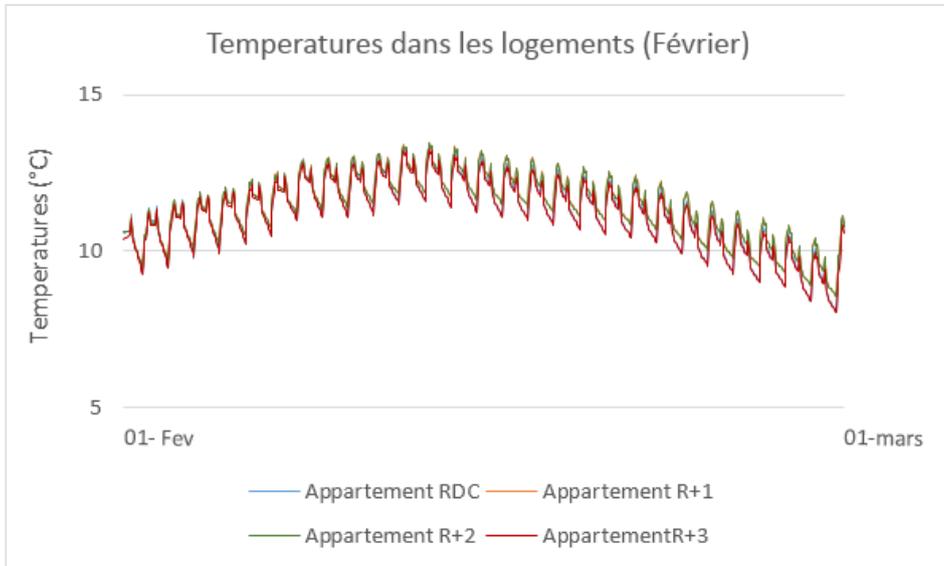


Figure 3.32: Variation des températures dans les logements au mois le plus froid (Blida)

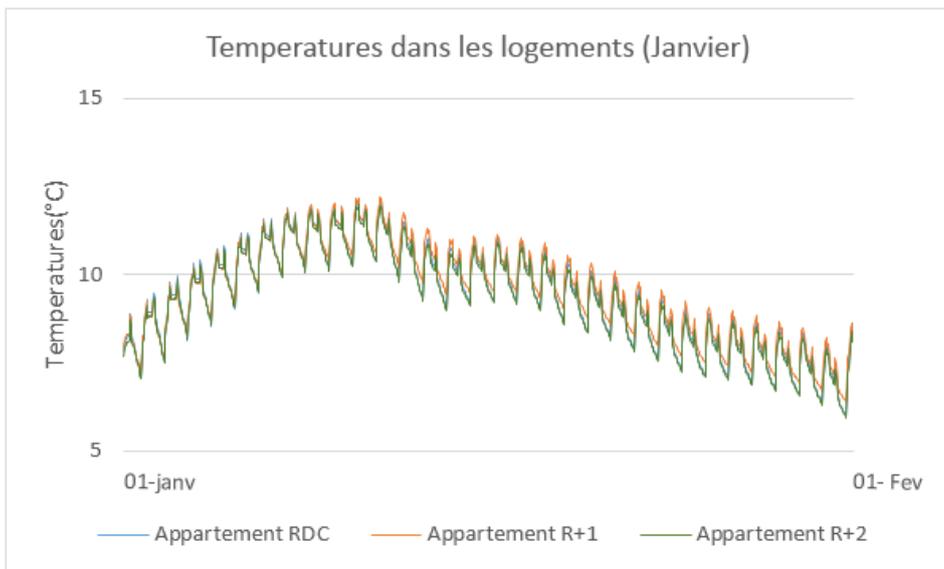


Figure 3.33: Variation des températures dans les logements au mois le plus froid (Sétif)

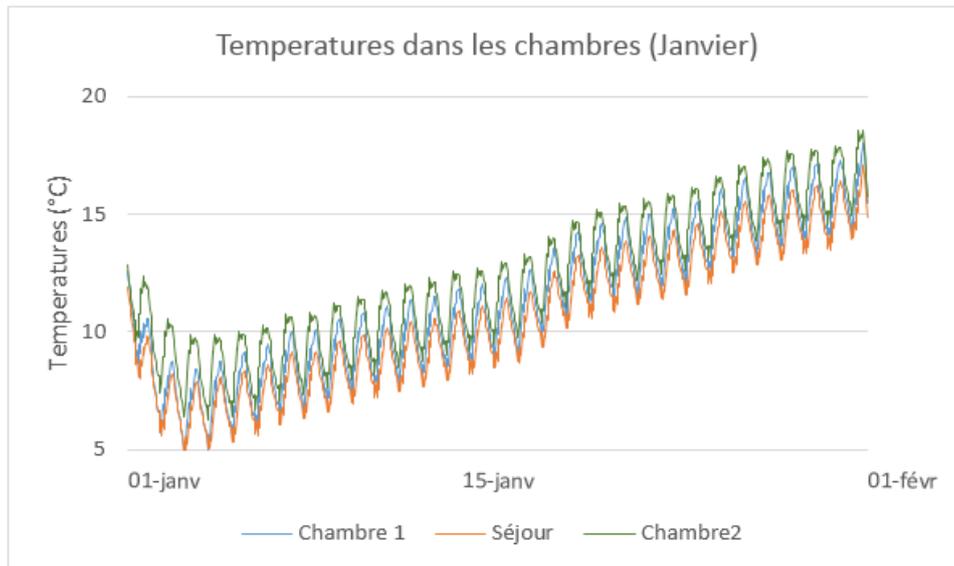


Figure 3.34: Variation des températures dans les logements au mois le plus froid (Béchar)

On constate que les températures minimales atteintes varient entre 8°C et 9°C dans les logements situés à Blida, entre 6°C et 7°C dans les logements situés à Sétif et atteint les 5°C dans les logements situés à Béchar. Il est donc indispensable de recourir à un système de chauffage dans ces logements.

3.3.2. Simulation avec chauffage et climatisation

3.3.2.1. Simulation estivale

Nous simulons les logements occupés avec une ventilation naturelle, sans ventilation nocturne. Nous imposons une consigne de climatisation de 24°C. Les figures (3.35), (3.36), (3.37), (3.38) représentent la puissance de climatisation. On constate que pour les mois les plus chauds pour tous les bâtiments, seule une climatisation peut apporter un confort sensible à l'occupant.

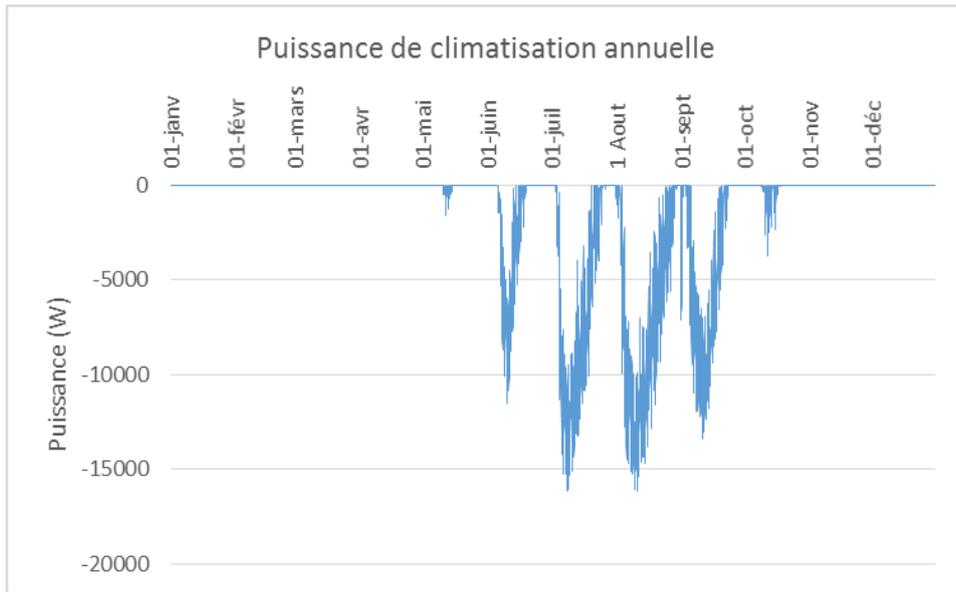


Figure 3.35: Puissance de climatisation (Oran)

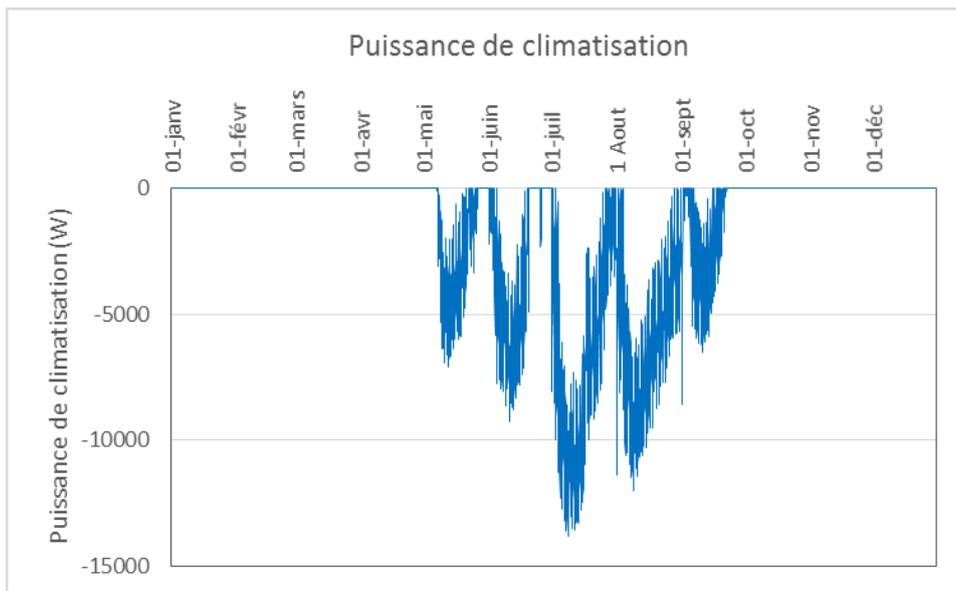


Figure 3.36: Puissance de climatisation (Blida)

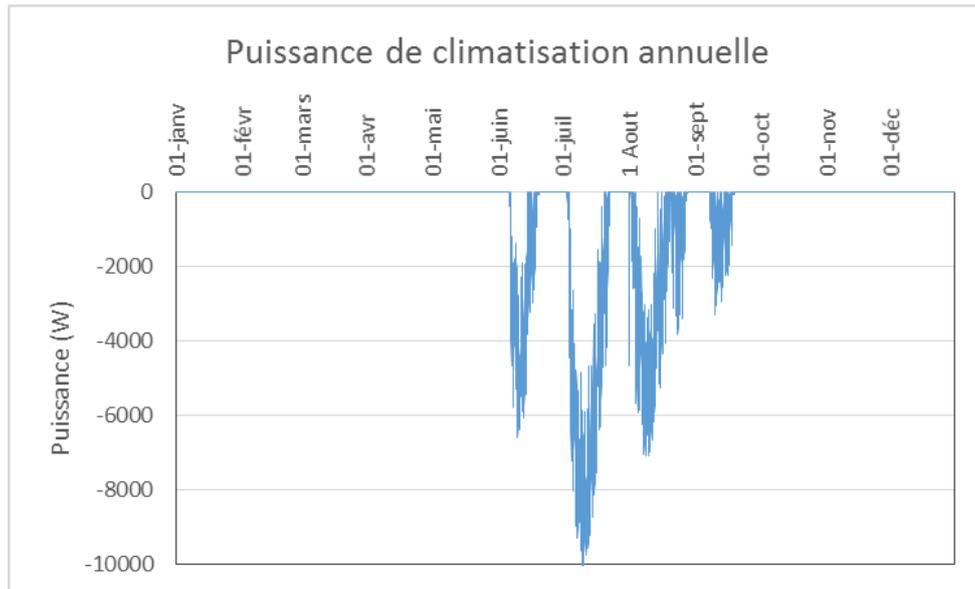


Figure 3.37: Puissance de climatisation (Sétif)

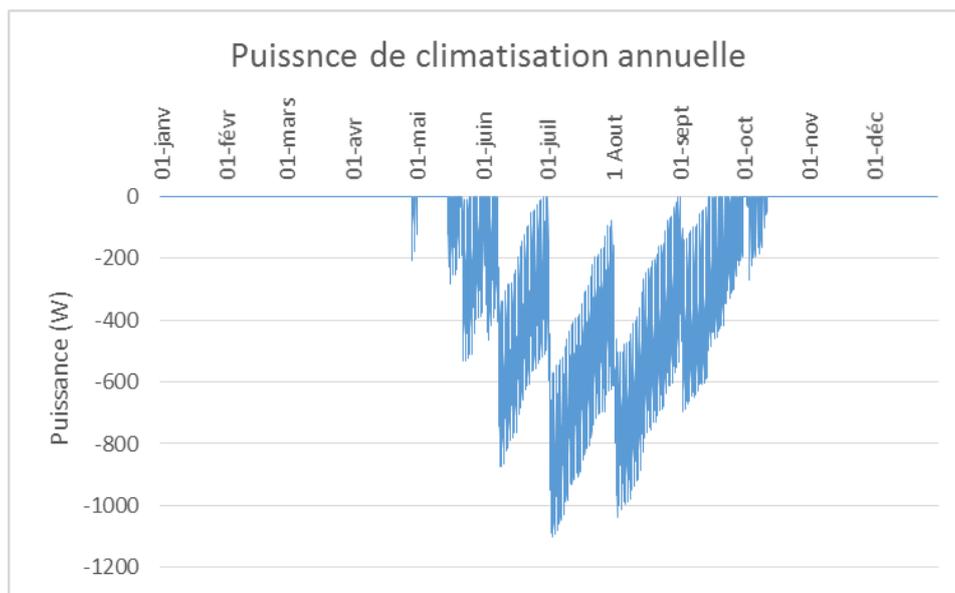


Figure 3.38: Puissance de climatisation (Béchar)

La puissance de climatisation annuelle nécessaire pour les logements du bâtiment situé à Oran est 16286W. Pour les logements situés à Blida la puissance est de 13804 W. Pour les logements situés à Sétif la puissance nécessaire atteint 10074W. enfin pour rafraîchir le logement situé à Béchar il faut une puissance de 3578W.

Nous avons calculé les besoins en climatisation en considérant la consigne à 27°C .les résultats sont illustrés sur les figures (3.39), (3.40), (3.41) et (3.42).

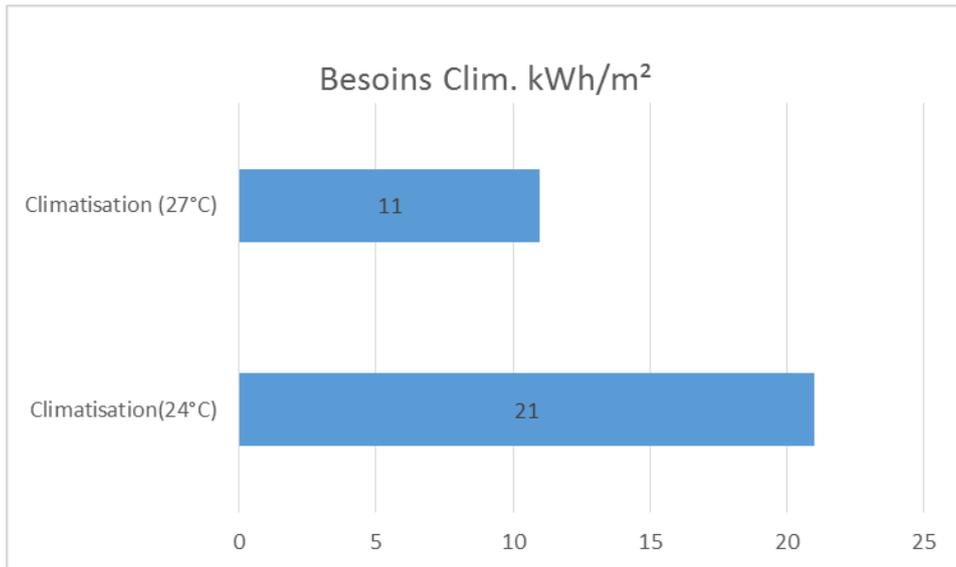


Figure 3.39: Besoins en climatisation(Oran)

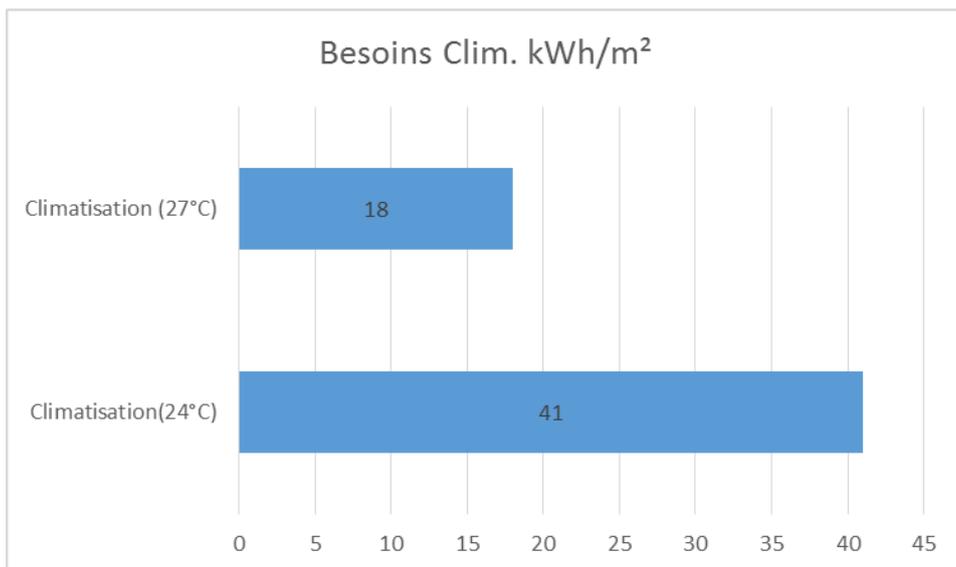


Figure 3.40: Besoins en climatisation (Blida)

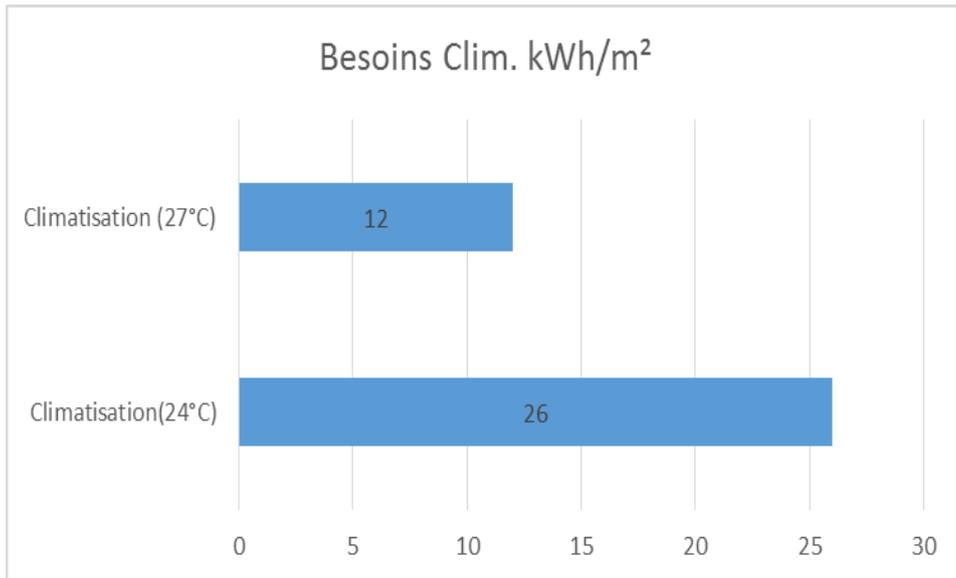


Figure 3.41: Besoins en climatisation(Sétif)

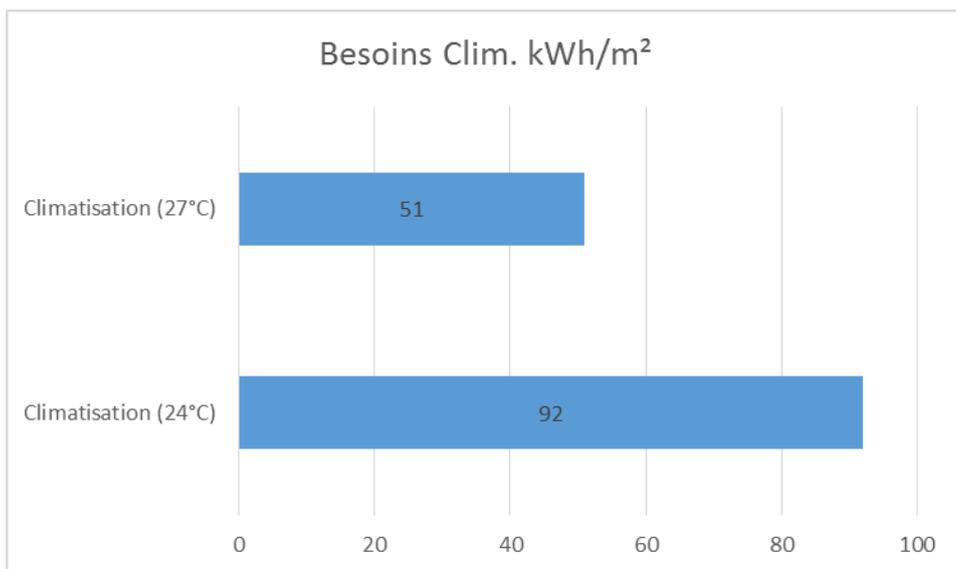


Figure 3 .42: Besoins en climatisation (Béchar)

Nous constatons que pour les logements situés à Oran, en adoptant une climatisation à 27°C les besoins baissent considérablement pour atteindre 11 kWh/m². Pour les logements situés à Blida, une climatisation à 27°C nous permet d'abaisser les besoins à 18 kWh/m². Les besoins en climatisation à 27°C les besoins atteignent 12 kWh/m² alors qu'ils étaient à 26 kWh/m². Les résultats obtenus pour les logements situés à Béchar montrent que les besoins baissent avec la climatisation à 27°C de 92 kWh/m² à kWh/m².

En résumé nous pouvons arriver à un confort à l'intérieur des logements en maintenant une climatisation à 27°C et les besoins sont réduits de 47,6 %, 56%, 53,8% et 44,5% respectivement à Oran, Blida, Sétif et Béchar.

3.3.2.2 .Simulation hivernale

Nous simulons les logements occupés avec une ventilation naturelle .Nous imposons une consigne de chauffage de 20°C.

Les puissances de chauffage sont représentées par les figures (3.43), (3.45), (3.47), et (3.49).Les figures (3.44), (3.46), (3.48) et (3.50) représentent les digrammes de Sankey pour les bâtiments des sites étudiés.

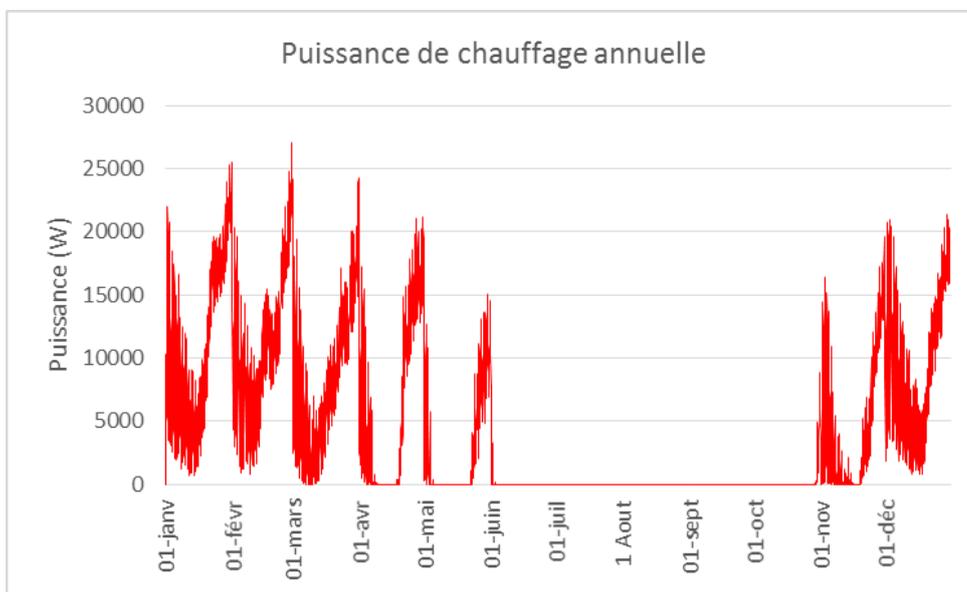


Figure 3.43: Puissance de chauffage (Oran)

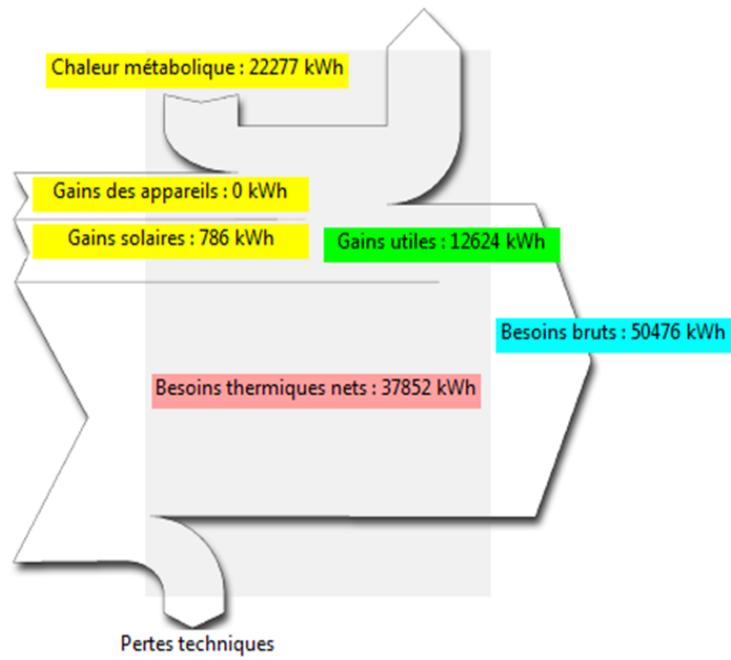


Figure 3.44: Digramme de Sankey (Oran)

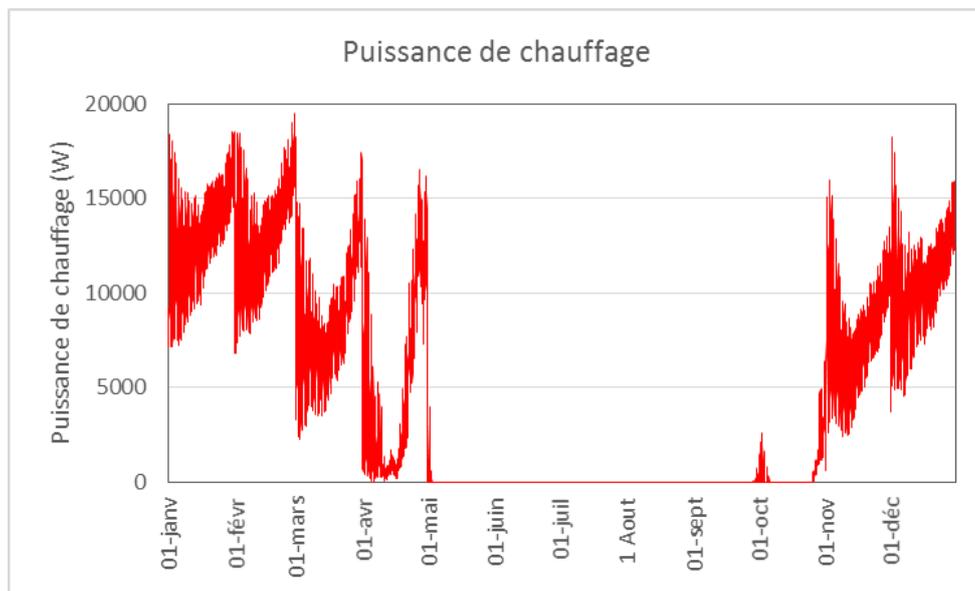


Figure 3.45: Puissance de chauffage (Blida)

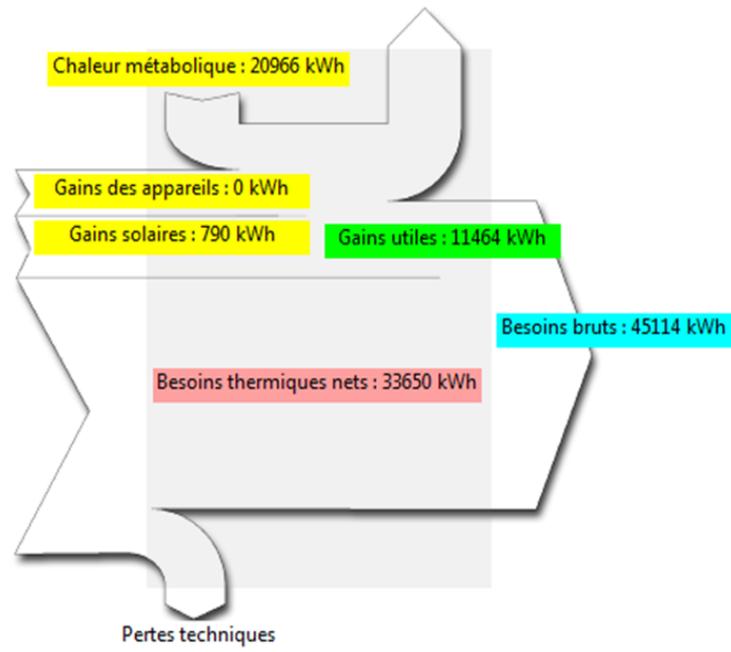


Figure 3.46: Diagramme de Sankey (Blida)

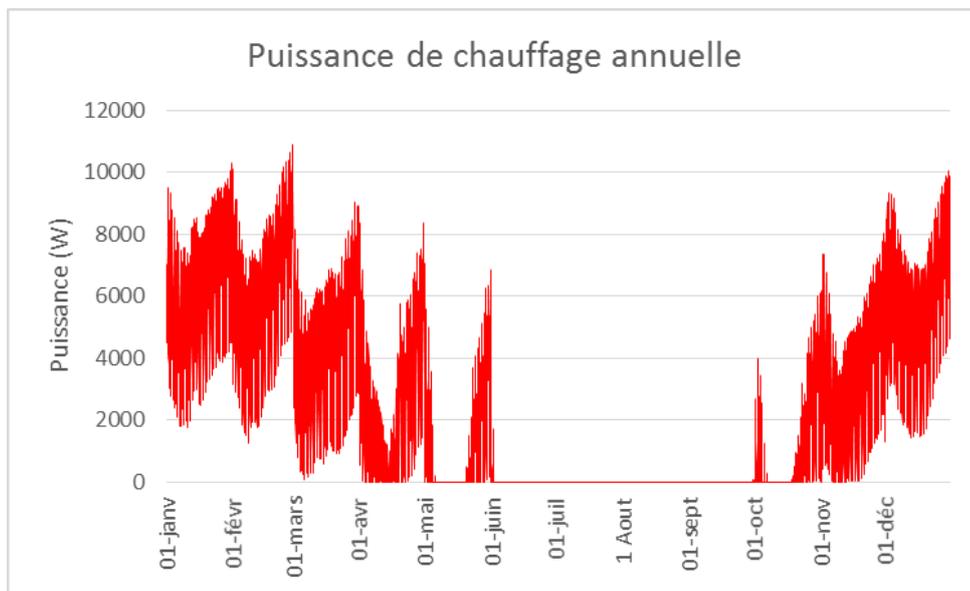


Figure 3.47: Puissance de chauffage (Sétif)

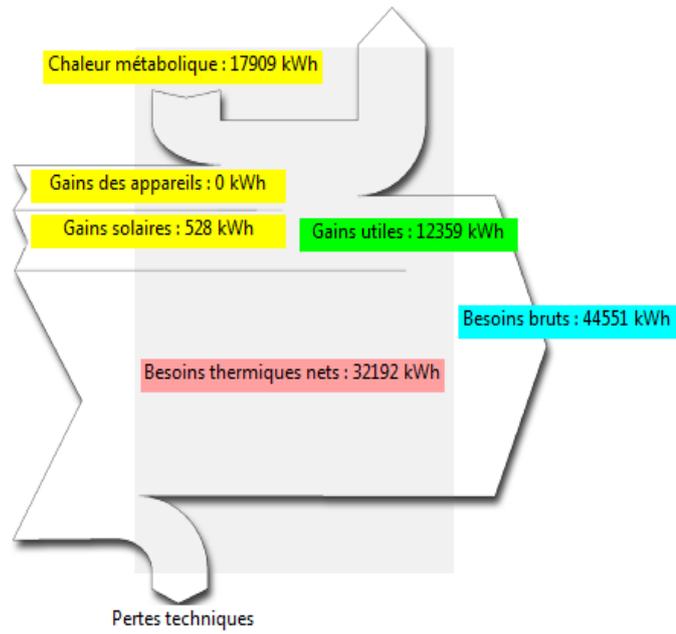


Figure 3.48: Diagramme de Sankey (Sétif)

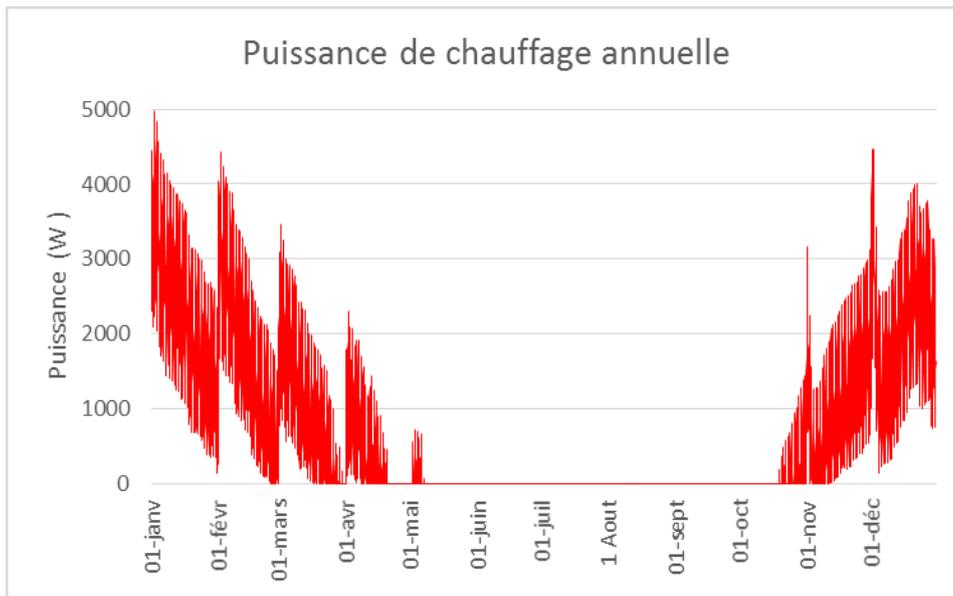


Figure 3.49: Puissance de chauffage (Béchar)

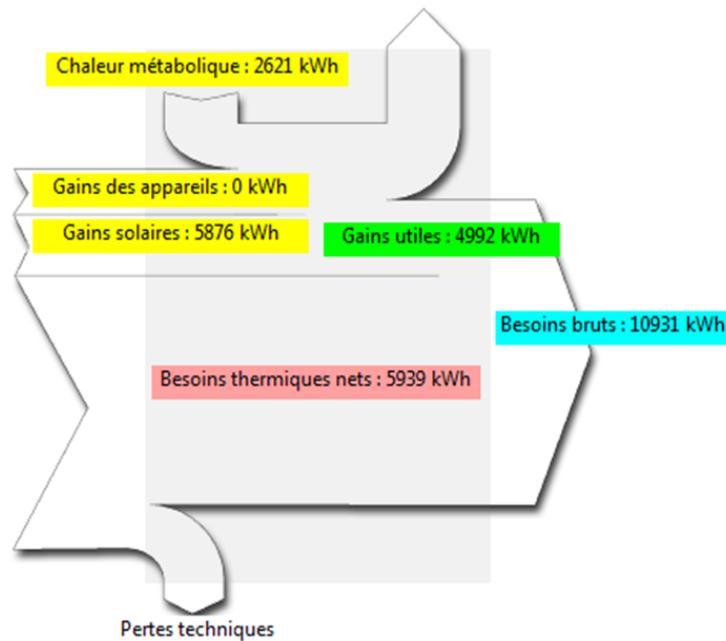


Figure 3.50: Diagramme de Sankey (Béchar)

La puissance annuelle pour chauffer le bâtiment situé à Oran est de 27110 W . Le maximum est atteint au mois de Janvier avec 11124,52 W, alors que le minimum est atteint au mois de Mai avec une puissance de 2438,26 W.

Pour les logements situés à Blida la puissance annuelle de chauffage du bâtiment nécessaire est de 19890 W. Dans les logements c'est aux mois de Janvier et Février que le maximum est atteint avec respectivement 10624,7 W et 10762,9 W.

La puissance de chauffage annuelle nécessaire pour chauffer le bâtiment situé à Sétif est de 13656 W, avec un maximum atteint au mois de janvier avec une valeur de 8799,9 W. Pour le logement de Béchar la puissance annuelle de chauffage atteint 4978 W, avec un maximum atteint dans les chambres au mois de janvier avec une valeur de 2247,3 W.

L'analyse des consommations est donnée par les diagrammes de Sankey pour les logements situés dans les sites considérés. Le calcul des besoins nets à fournir pour assurer le chauffage du bâtiment étudié en tenant compte des occupants (métabolisme : 22277kWh pour Oran, 20966kWh pour Blida et Sétif ,2621kWh pour Béchar) et de l'ensoleillement (apports solaires).il est à noter que le diagramme de Sankey ne prend pas en compte les apports solaires à travers les parois opaques du

bâtiment ce qui nous donne des apports solaires totaux sous évalués (786kWh pour Oran, 790kWh pour Blida et Sétif ,5876kWh pour Béchar).La surface du vitrage pour les sites d’Oran, Blida ,Sétif ne représente que 10 à 15% de la surface du bâtiments ce qui explique le faibles valeurs des apports solaires.

Dans le digramme les besoins bruts sont la quantité totale d’énergie qu’il faut fournir au bâtiment pour compenser les pertes thermiques du bâtiment en fonction du scenario de chauffage (504476 kWh pour le bâtiment situé à Oran, 45114 kWh pour le bâtiment situé à Blida, 53500 kWh pour les logements situés à Sétif et 4992kWh pour le logement situé à Béchar).Ces besoins bruts sont compensés par les apports internes utiles et l’énergie apportée par le système de chauffage c’est-à-dire les besoins thermiques nets qui sont respectivement 37852 kWh,33650 kWh,41970 kWh et 5939 kWh pour le bâtiment situé à Oran, Blida, Sétif et Béchar.

Une simulation prenant en compte la puissance dissipée par l’usage de l’éclairage et des appareils électroménagers (ordinateur, téléviseur) est réalisée .Les figures (3.51), (3.53), (3.55), (3.57) et les figures (3.52), (3.54), (3.56), (3.58) illustrent respectivement les diagrammes de Sankey et les besoins en chauffage avec dissipation d’énergie.

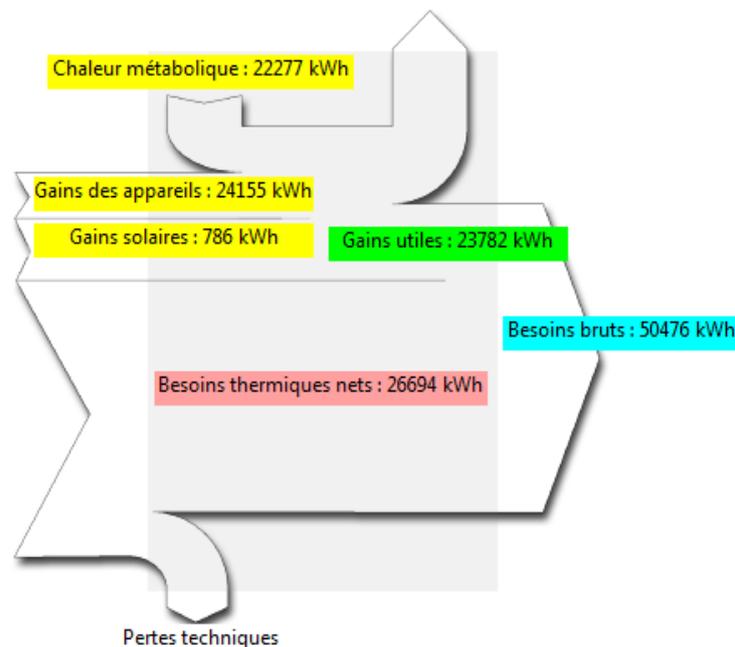


Figure 3.51: Diagramme de Sankey (Avec dissipation d’énergie) (Oran)

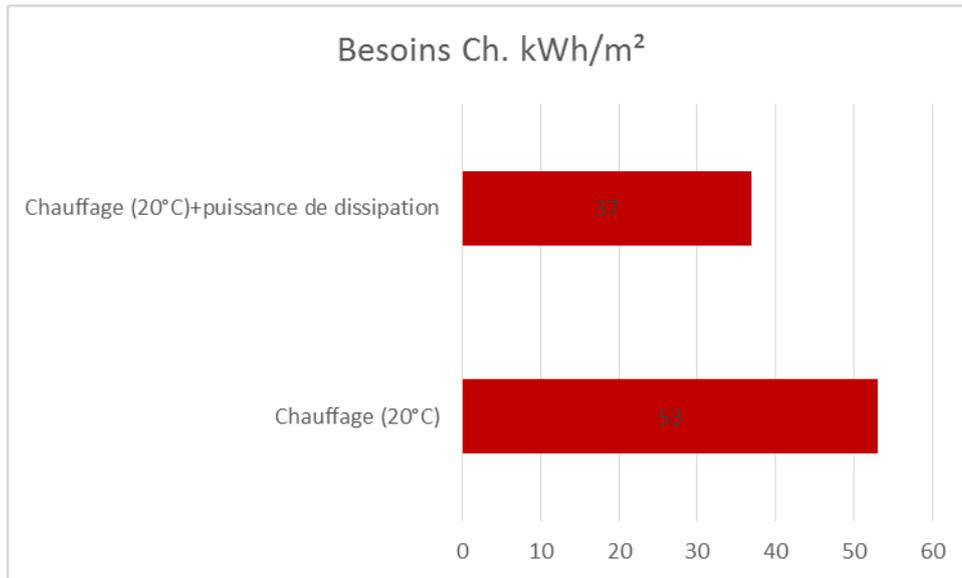


Figure 3.52: Besoins en chauffage dans les logements (Oran)

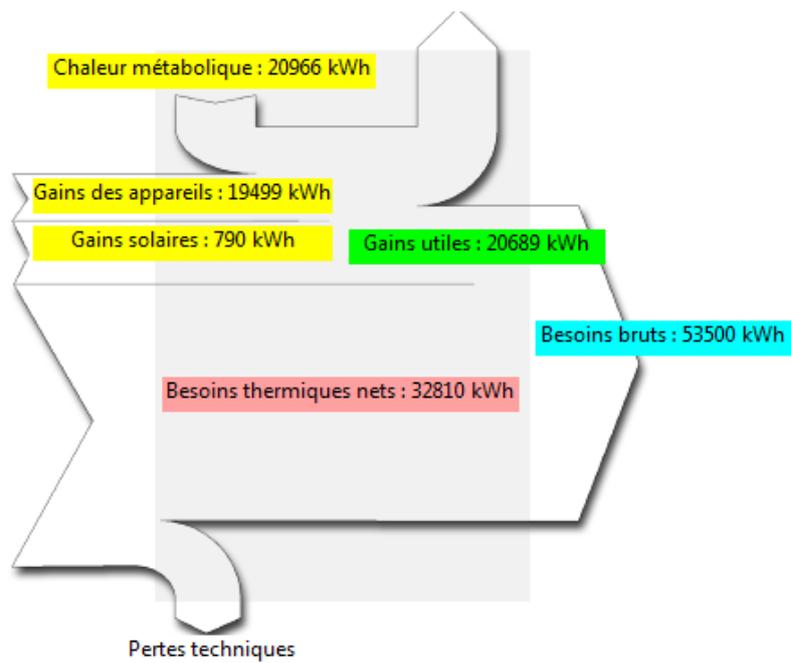


Figure 3.53: Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Blida)

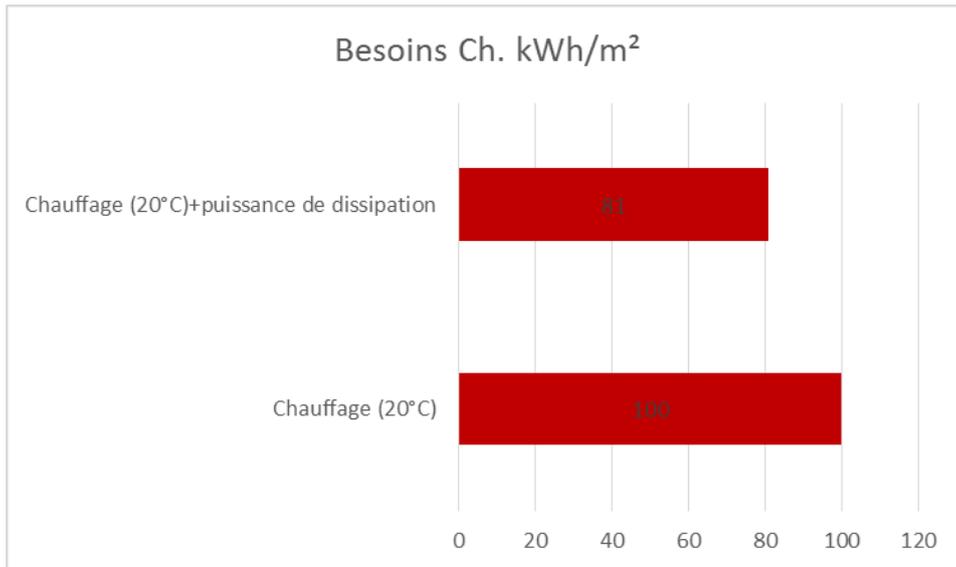


Figure 3.54: Besoins en chauffage dans les logements (Blida)

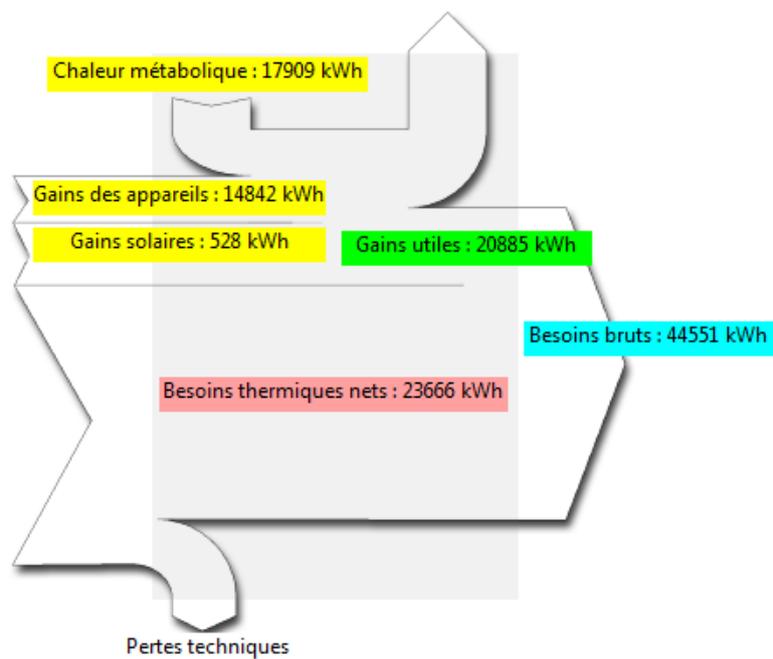


Figure 3.55: Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Sétif)

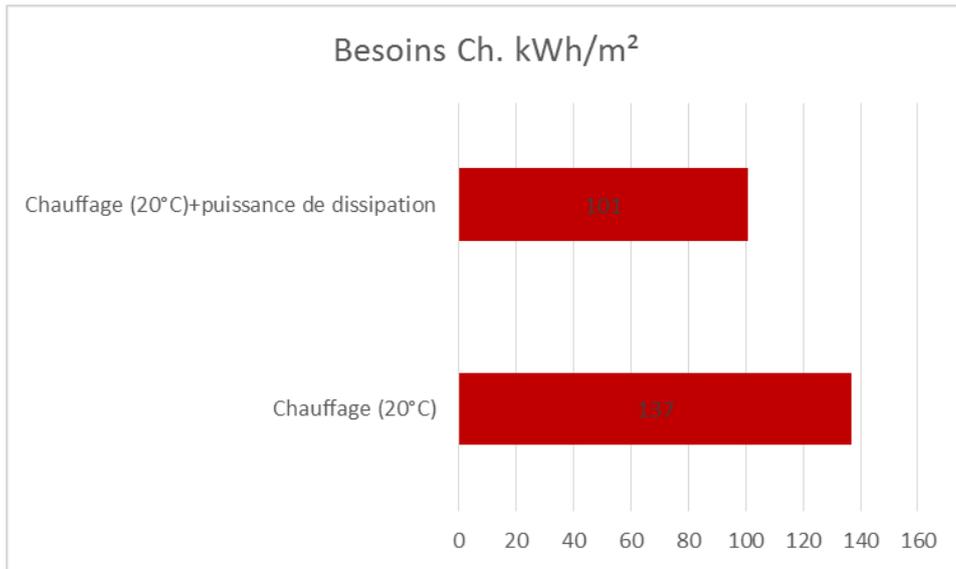


Figure 3.56: Besoins en chauffage dans les logements (Sétif)

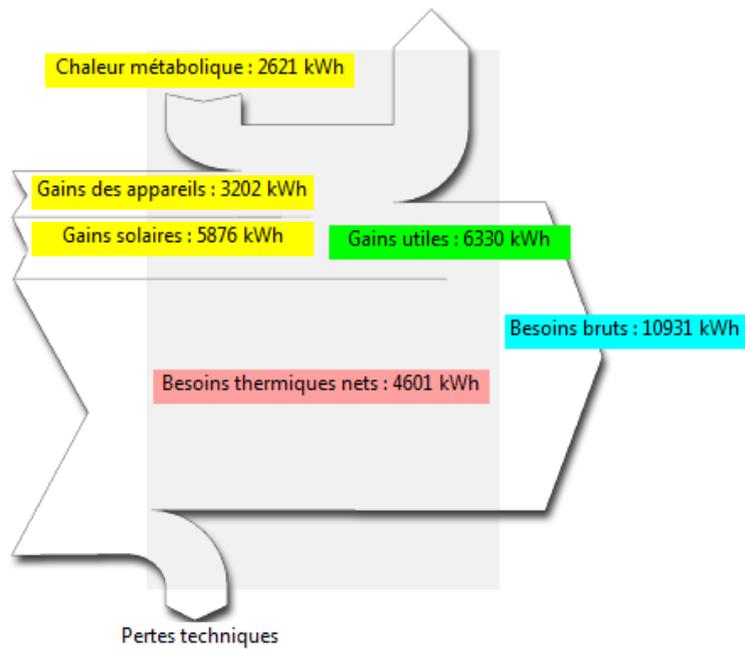


Figure 3.57: Diagramme de Sankey (Avec dissipation d'énergie) (Béchar)

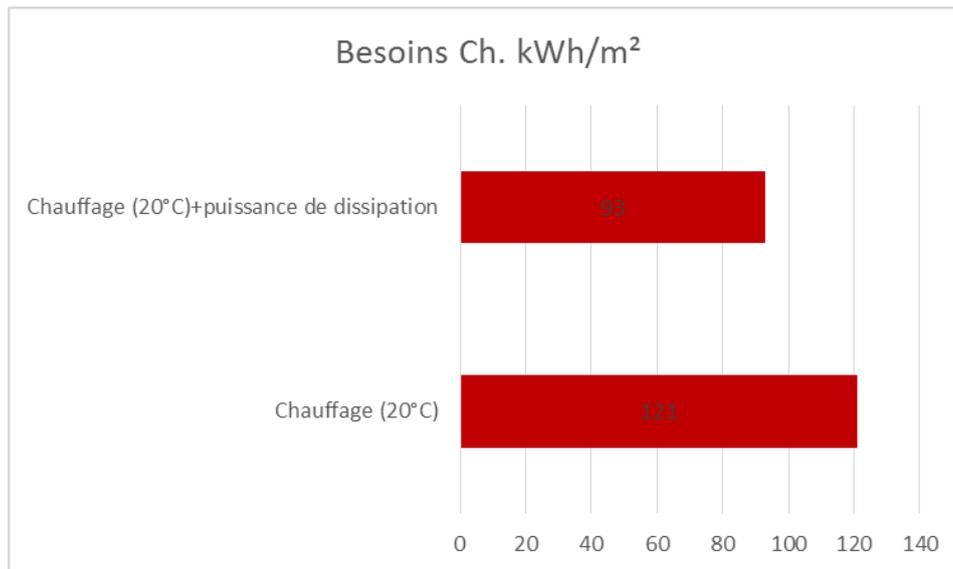


Figure 3.58: Besoins en chauffage dans les logements (Béchar)

Les résultats montrent que les besoins en chauffages passent de 53 kWh/m² à 37 kWh/m² à Oran, de 100 kWh/m² à 81 kWh/m² à Blida, de 137 kWh/m² à 101 kWh/m² et de 121 kWh/m² à 93 kWh/m² à Béchar.

Des diagrammes de Sankey on constate que le gain apporté par les appareils augmente les gains utiles de 12624 kWh à 23782kWh à Oran, de 11464kWh à 20689kWh pour Blida, 11530kWh à 20885kWh pour Sétif et de 5939kWh à 6330kWh pour Béchar.

La prise en compte de l'énergie dissipée par les équipements contribue à un apport au chauffage de 11,3% pour bâtiment situé à Oran, de 19% pour le bâtiment situé à Blida, de 26,3% pour le bâtiment situé à Sétif et de 30,2% pour le logement situé à Bechar.

En résumé les équipements peuvent apporter une part considérable des besoins thermiques en hiver mais induisent les besoins en climatisation en été.

En conclusion si on considère le seuil de consommation de 50 kWh/m² pour le chauffage et climatisation comme indicateur de haute performance énergétique, nous constatons de par les résultats issus des différentes simulations que l'enveloppe des bâtiments étudiés en saison estivale contribue à maintenir une certaine fraîcheur à l'intérieur des logements situés à Blida, Sétif et Oran puisque les besoins en cette période (avec une consigne de climatisation à 24°C) atteignent respectivement 41 kWh/m², 26 kWh/m² et 21 kWh/m². Ce qui n'est pas le cas pour le logement situé à Béchar où les besoins en climatisation atteignent les 92 kWh/m². La température idéale dans les logements étant celle adaptée à notre confort thermique, on considère que la sensation de confort est assurée si à l'intérieur d'un logement la température est de 6 à 8°C de moins que la température à l'extérieur. En temps de fortes chaleurs nous proposons une consigne de climatisation de 27°C les résultats obtenus sont la réduction sensible de ces besoins de 44,5% soit 51 kWh/m² à Béchar ce qui nous permet de rester dans la norme en termes de performances. Pour les autres bâtiments situés à Oran, Blida et Sétif les besoins sont réduits de 47,6 %, 56% et 53,8% respectivement.

Pour la saison hivernale les résultats des différentes simulations indiquent que les besoins en chauffage atteignent les 53 kWh/m², 100 kWh/m², 137 kWh/m² et 121 kWh/m² pour les logements situés à Oran, Blida, Sétif et Béchar et même en considérant l'énergie dissipée par les équipements les besoins restent au-dessus du seuil de l'indicateur des performances énergétiques de 50 kWh/m² pour les logements situés à Blida, Sétif et Béchar avec des besoins qui atteignent respectivement 81 kWh/m², 101 kWh/m² et 93 kWh/m². Ce qui montre clairement qu'il est nécessaire d'intégrer un système de chauffage pour assurer le confort de l'occupant en cette période.

L'Algérie étant un pays où le potentiel solaire est très important, nous proposons dans le chapitre suivant d'étudier la viabilité d'intégration de deux systèmes de chauffage solaire qui représentent une part non négligeable de notre facture énergétique : le chauffage de l'eau chaude sanitaire et le chauffage de l'habitat. Le scénario d'occupation et les besoins mensuels de chauffage considérés dans ce chapitre sont issus de notre simulation

CHAPITRE 4

INTEGRATION D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE SOLAIRE

4.1. Introduction

Dans le cadre de la nouvelle politique énergétique Algérienne, nous étudions dans ce chapitre la viabilité énergétique et économique de l'intégration des systèmes de chauffage solaire de l'eau et de l'habitat dans les logements à haute performance énergétique en Algérie. Afin de concevoir efficacement les systèmes solaires à installer, nous utilisons une méthode d'optimisation simple basée sur la détermination de la zone optimale du collecteur qui minimise les coûts de l'installation en tenant compte à la fois des facteurs économiques et des paramètres du système. La fraction solaire nécessaire pour cette analyse a été calculée à l'aide de la méthode F-Chart. Pour les calculs de la fraction solaire pour le chauffage solaire de l'eau et de l'habitat nous avons introduit respectivement le scénario d'occupation considéré et les besoins en chauffage obtenus par la simulation du chapitre précédent.

4.2. Fraction solaire et procédure d'optimisation

La méthode décrite ci-dessous permet de calculer le coût total minimal d'une installation solaire de chauffage d'eau composé par un système de captation ; un système de stockage un système d'appoint. Comme le montre la figure (4.1).

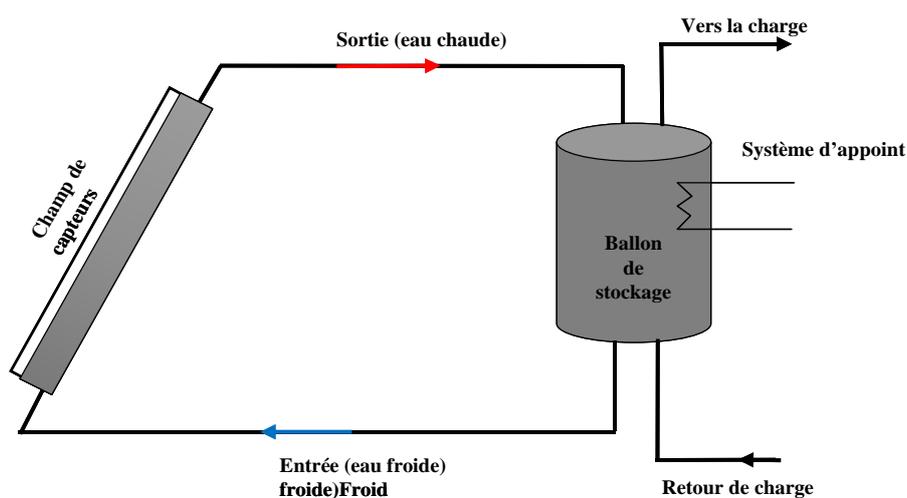


Figure 4.1: Schéma du système solaire de chauffage.

Nous avons choisi l'approche de Chang et Minardi [73] car tous les facteurs et paramètres intervenant dans les équations sont disponibles pour une application pour l'Algérie. Ce n'est pas le cas pour les autres approches existantes, qui utilisent surtout des facteurs et des taux qui ne peuvent être calculé vu l'instabilité économique de notre pays. Le coût annuel total P_T d'une installation d'un système solaire tel que proposée par Chang and Minardi est donnée par l'expression suivante:

$$P_T = (P_c + P_t b + P_1) S R + E P_f + P_2, \quad (4.1)$$

où P_c représente le coût du capteur par unité de surface; P_t est le coût de la cuve de stockage par unité de volume; b est la constante de proportionnalité entre le volume de stockage et la surface du capteur; P_1 représente la somme des autres coûts liés au capteur (ex: tuyaux, installation); S est la surface du capteur; R est le facteur de récupération du capital; E est la charge annuelle de l'énergie auxiliaire; P_f le coût de l'unité d'énergie conventionnelle; P_2 représente la somme des autres coûts qui ne sont pas liés au capteur (ex : les coûts d'entretien annuels). Le facteur de récupération de capital R s'écrit comme suit:

$$R = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}, \quad (4.2)$$

où r et n sont respectivement le taux d'intérêt annuel et le nombre d'années de paiement. La charge de chauffage annuelle E fournie par l'énergie auxiliaire est donnée par la relation suivante [137]:

$$E = (1 - F)L, \quad (4.3)$$

Dans laquelle la charge de chauffage annuelle totale L est obtenue à partir de la charge de chauffage mensuelle totale L_k qui a son tour est donnée par l'équation suivante pour le chauffage d'eau et le chauffage de l'espace [134,135]:

$$L = \left\{ \begin{array}{ll} V \rho c_p \sum_{k=1}^{12} N_k (T_d - T_{ik}) & \text{chauffage d'eau} \\ 0.024 G B \sum_{k=1}^{12} D_k & \text{chauffage de l'habitat} \end{array} \right\}, \quad (4.4)$$

où l'indice k représente le mois de l'année et $V = M N_p N_a$ avec M représentant la demande en eau chaude par personne et par jour, N_p le nombre de personnes dans l'appartement et N_a le nombre d'appartement dans le bâtiment. Les quantités ρ et c_p représentent la densité et la capacité calorifique de l'eau. Les quantités N_k , T_d et T_{ik}

sont respectivement le nombre de jours du mois k , la température d'eau chaude désirée et la température moyenne mensuelle de l'eau froide au cours du mois k . Les quantités G , B et D_k représentent respectivement le coefficient de déperdition volumique de l'habitation, le volume de l'habitation et le degrés-jours unifiés du mois.

La fraction de la demande de chaleur annuelle F fournie par le système solaire présentée dans l'équation (4.3) peut être calculée à partir de la fraction mensuelle F_k comme suit:

$$F = \frac{\sum_{k=1}^{12} F_k L_k}{\sum_{k=1}^{12} L_k} = \frac{\sum_{k=1}^{12} F_k L_k}{L}, \quad (4.5)$$

où F_k est donnée par les équations suivantes [138,139]:

$$\begin{aligned} X_k &= \left\{ \begin{array}{l} \frac{S F_R U_L (100 - T_{ak}) \Delta t_k}{L_k} \quad \text{chauffage d'eau} \\ \frac{0.1744 S N (100 - T_{ak})}{L_k} \quad \text{chauffage de l'habitat} \end{array} \right\} \\ Y_k &= \left\{ \begin{array}{l} \frac{S F_R (\tau\alpha)}{L_k} H_k N_k \quad \text{chauffage d'eau} \\ \frac{0.684 S N_k H_k}{L_k} \quad \text{chauffage de l'habitat} \end{array} \right\} \\ F_k &= \left\{ \begin{array}{l} \frac{1029Y_k - 65X_k - 245Y_k^2 + 1.8X_k^2 + 21.5Y_k^3}{1000} \quad \text{chauffage d'eau} \\ \text{Valeurs lues sur l'abaque (Figure 2)} \quad \text{chauffage de l'habitat} \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Où les quantités X_k et Y_k représentent l'énergie moyenne mensuelle respectivement perdue et absorbée par le capteur ; les deux sont normalisées à la charge de chauffage mensuelle L_k . Dans l'équation (4.6), F_R représente le coefficient d'échange thermique du capteur; U_L le coefficient de perte globale du capteur; T_{ak} la température ambiante moyenne mensuelle au $k^{ième}$ mois, Δt_k le nombre total de secondes dans le $k^{ième}$ mois; $(\tau\alpha)$ le produit moyen pondéré d'absorbance-transmittance du couvercle transparent et de la plaque absorbante du capteur et H_k le rayonnement quotidien moyen mensuel incident sur la surface du capteur par unité de surface.

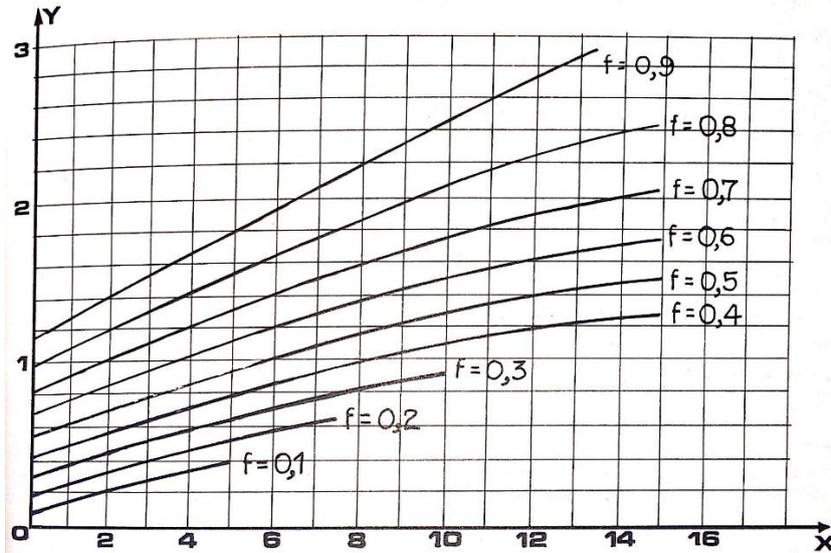


Figure 4. 2: Abaque permettant de lire pour X_k et Y_k donnés la valeur de la fraction mensuelle F_k de la demande en chauffage de l'habitat fournie par le système solaire.

Selon Chang et Minardi [73], l'énergie auxiliaire annuelle requise E évolue en fonction de la surface du capteur S selon une loi exponentielle donnée par:

$$E = E_0 \exp(-\alpha S), \quad (4.7)$$

où les quantités E_0 (énergie auxiliaire nécessaire pour $S = 0$) et α (constante de décroissance de la consommation d'énergie auxiliaire) sont reliés aux caractéristiques du système auxiliaire et sont calculées en ajustant l'équation (4.7) avec l'équation (4.3). Après avoir inséré l'équation (4.7) dans l'équation (4.1) et en dérivant par rapport à S , les auteurs ont obtenu que la surface optimale S_{op} minimisant le coût du système P_T est donnée par:

$$S_{op} = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{E_0 P_f \alpha}{(P_c + b P_t + P_1) R} \right). \quad (4.8)$$

Dans le Tableau 4.1 sont présentées les caractéristiques des différentes villes étudiées et qui sont Oran, Blida, Sétif et Bechar couvrant ainsi toutes les zones climatiques de l'Algérie, respectivement A, B, C et D [140].

Tableau 4.1: Caractéristiques des différentes zones climatiques étudiées

	Latitude	Longitude	Altitude (m)	$T_a(^{\circ}\text{C})$	Zone climatique
Oran (A)	35.63° N	-0.60° E	90	17.9	A
Blida (B)	36.47° N	2.80° E	260	15.2	B
Sétif (C)	36.17° N	5.32° E	1007	20.6	C
Bechar(D)	31.50° N	-2.25° E	809	21.2	D

La fraction solaire mensuelle F_k qui représente la fraction de la demande mensuelle de chaleur fournie par l'énergie solaire est une grandeur de référence très importante qui varie en fonction de plusieurs paramètres; notamment les données climatiques. Selon l'équation (4.6), elle est calculée en utilisant la température ambiante mensuelle mesurée T_{ak} et le rayonnement mensuel H_k qui sont rapportés dans le Tableau1.2 [141].

Tableau 4.2: Valeurs mensuelles $T_{ak}(^{\circ}\text{C})$, $H_k(3600\text{J}/\text{m}^2)$ pour les zones

	Oran (A)		Blida (B)		Sétif (C)		Bechar (D)	
	T_{ak}	H_k	T_{ak}	H_k	T_{ak}	H_k	T_{ak}	H_k
Jan.	11.5	4234	6.7	4366	5.0	4769	9.6	6734
Fev.	11.6	5486	6.6	5181	5.1	5636	12.3	6971
Mar.	13.2	6008	10.6	5766	8.3	5976	16.2	7382
Avr.	15.0	5889	14.0	5741	12.0	5978	20.1	7180
Mai.	18.3	6270	23.4	5950	15.6	6098	24.6	7275
Juin.	22.2	6471	24.0	6913	22.4	6377	30.0	7092
Juil.	25.1	6477	28.2	7001	26.2	6792	33.5	6552
Aout.	26.1	6488	27.4	7098	24.4	6959	32.9	6857
Sep.	23.6	5891	22.1	6100	20.4	6111	28.1	6400
Oct.	20.1	5513	19.1	5691	14.8	5605	21.7	6383
Nov.	15.4	4664	11.2	4218	9.9	4713	15.1	6350
Déc.	12.4	4092	8.8	3863	5.6	4102	10.7	5776

Nous considérons les besoins de chauffage de l'eau (avec une température souhaitée $T_d = 45^\circ\text{C}$) pour une famille moyenne avec des caractéristiques de logement typiques de chaque région et ceci en conformité avec le projet ECO-BAT (voir Tableau 4.3).

Tableau 4.3: Caractéristiques typiques des occupants pour chaque zone

	N_p	N_a	M (l/personne/jour)	$V(l)$
Oran (A)	5	12	50	3000
Blida (B)	6	10	50	3000
Sétif (C)	7	6	50	2100
Bechar (D)	6	1	50	300

Aussi les besoins en chauffage de l'habitat, présentés sur le Tableau 4.4, sont obtenus à partir des simulations des logements étudiés dans chaque zone effectuées en utilisant le logiciel Pleiades+COMFIE.

Tableau 4.4: Besoins mensuels en chauffage de l'habitat pour chaque zone.

Besoins (kWh)	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Nov.	Déc.
Oran (A)	8288	7354	6137	4201	3126	6650
Blida (B)	9769	8876	6356	3358	5588	7596
Sétif (C)	6556	5835	4776	2675	3725	5917
Bechar (D)	1646	1110	660	239	731	1471

Les paramètres caractéristiques F_{RU_L} et $F_{R(T\alpha)}$ des capteurs solaires utilisés dans cette étude sont respectivement égaux à $5 \text{ W/m}^2.\text{°C}$ et 0,8.

Pour le calcul de la surface optimale du capteur S_{op} donnée par l'équation (4.8), les valeurs de P_t , P_1 et P_2 sont prises en fonction des tendances du marché national respectivement de l'ordre 40000 DA/m^3 , 5000 DA/m^2 et 2000 DA . La constante de proportionnalité b est choisie égale à $0,08 \text{ m}$. Pour être en conformité avec les taux appliqués par le crédit à la consommation national, le taux d'intérêt annuel r est choisi

égale à 11% et le nombre d'années de paiement n égale à 6 ans. Les quantités $P_{cr} = 20000 \text{ DA/m}^2$ et $P_{fr} = 4,17 \text{ DA/kWh}$ sont les valeurs de référence réelles respectivement de P_c et P_f .

A ce stade, il convient de rappeler que les valeurs de S_{op} telles que décrites par l'équation (4.8) n'existent que si la dépendance du coût d'exploitation annuel du système solaire P_T en fonction de la surface du capteur S telle que donnée par l'équation (4.1) possède un minimum. Cela dépend fortement des deux paramètres variables P_c et P_f pour lesquels nous voulons étudier l'influence sur la performance du système solaire. L'existence du minimum révèle que l'énergie solaire est compétitive avec l'énergie conventionnelle.

4.3. Résultats et discussions

4.3.1. Cas du chauffage solaire d'eau sanitaire

Les figures (4.3) et (4.4) représentent respectivement la courbe tridimensionnelle et la courbe de densité montrant la variation de F_k à la fois en fonction du mois de l'année et de la surface du capteur S .

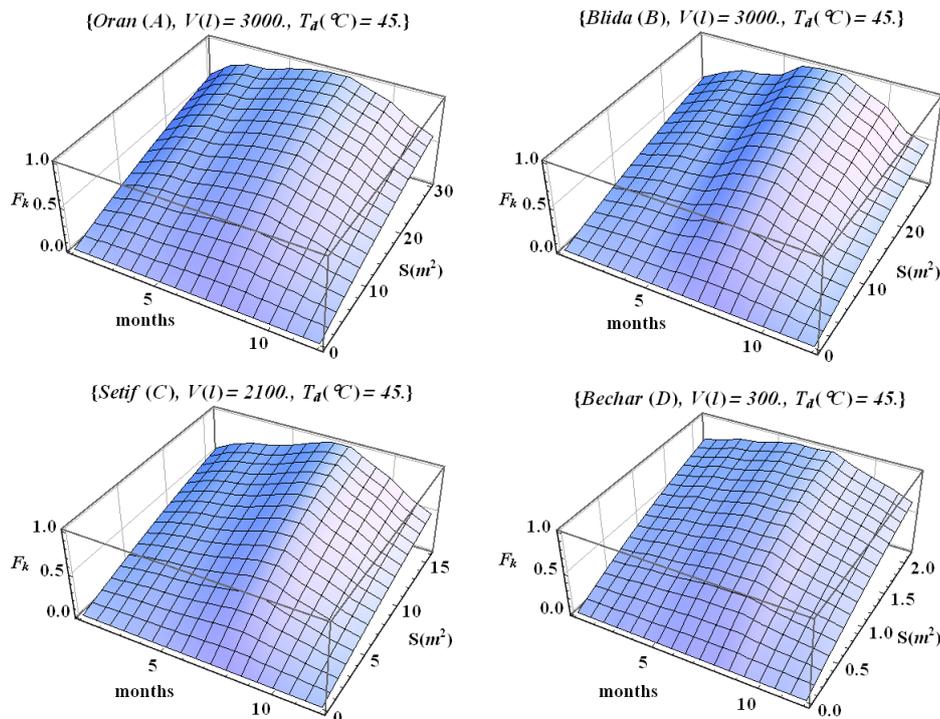


Figure 4.3: Représentation 3-D de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction du mois de l'année et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques

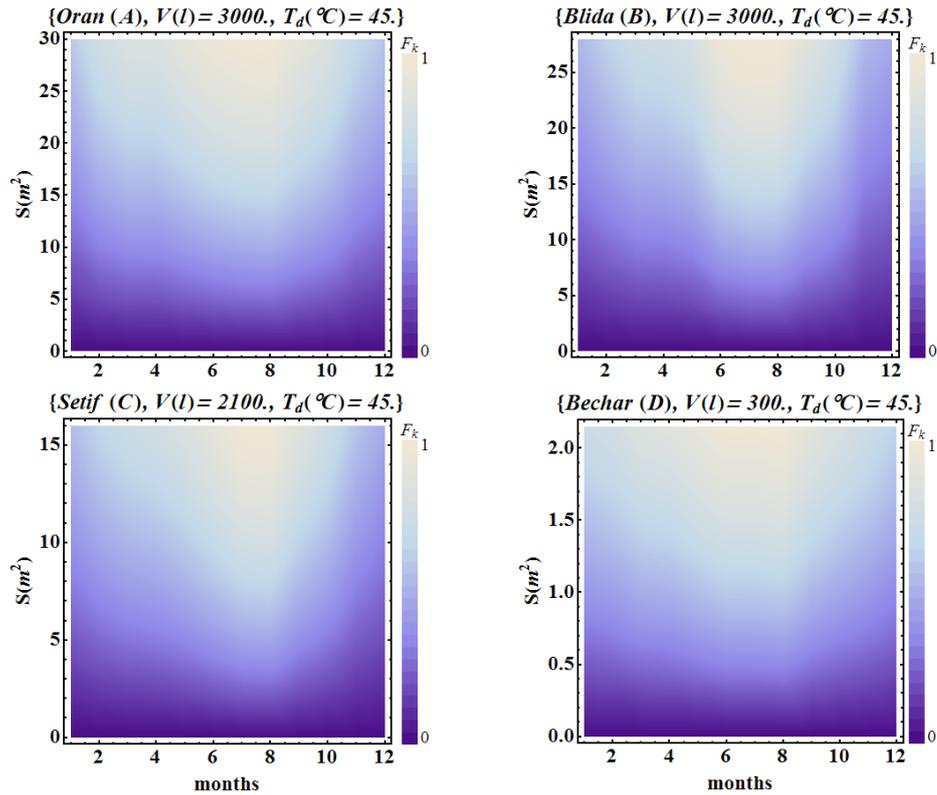


Figure 4.4: Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction du mois de l'année et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques.

Pour chaque région, on choisit une plage de S de 0 à une limite supérieure qui donne les valeurs maximales de F_k ne dépassant pas 1. Pour une meilleure illustration du comportement de F_k , nous montrons également sur les figures (4.5) et (4.6) des courbes représentant des coupes de la figure (4.3) respectivement pour des surfaces constantes S et pour chaque mois de l'année.

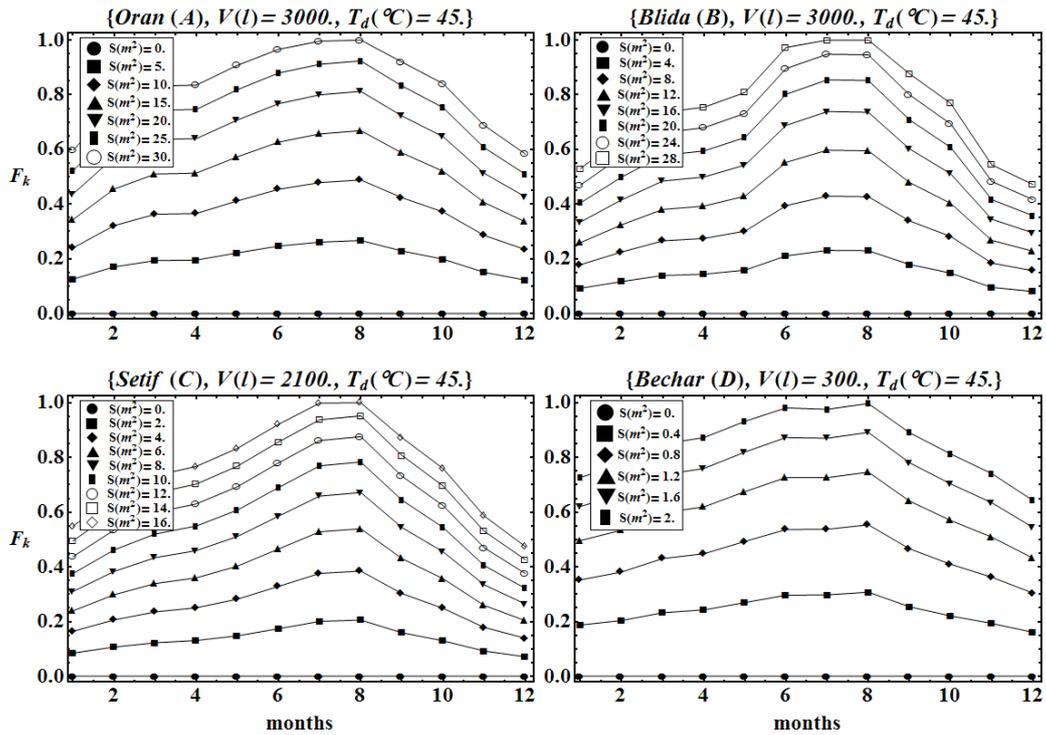


Figure 4.5: Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction du mois de l'année pour différentes valeurs fixées de la surface du capteur S et pour les différentes zones climatiques.

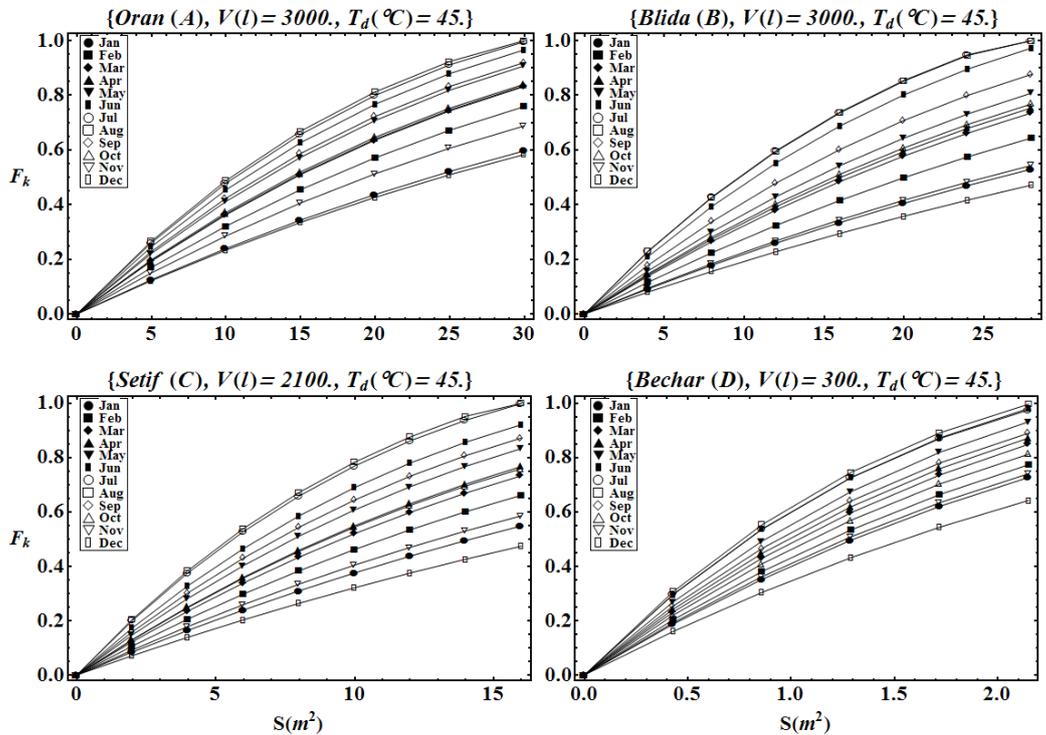


Figure 4.6: Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction de la surface du capteur S pour les différents mois de l'année et pour toutes les zones climatiques

En général, nous notons d'abord à partir de ces figures que plus la surface du capteur S est grande, plus la fraction solaire F_k est importante, comme attendu à partir de l'équation (4.6). Au cours de l'année, F_k augmente jusqu'à atteindre un maximum en août puis diminue à un minimum en décembre-janvier pour toutes les zones étudiées. Ce comportement est dû à l'influence des grandeurs météorologiques caractérisant chaque zone qui affectent directement les performances du système solaire. Nous remarquons également que des valeurs élevées de la fraction solaire F_k peuvent être atteintes dans toutes les régions. En effet, pour la valeur maximale de S utilisée dans le calcul, F_k varie en général entre une limite inférieure de 0,45 en hiver et une limite supérieure de près de 1 en été. Cela signifie qu'en fonction de la saison, environ 45% à 100% des besoins de chauffage d'eau peuvent être couverts par l'énergie solaire. Cela indique que les systèmes solaires ont une bonne performance pendant toutes les saisons. En particulier, la fraction solaire F_k est plus élevée dans les régions du sud où elle fluctue dans une plage étroite entre 0,7 et 1 à Bechar (Zone D). Cela s'explique par le rayonnement solaire important et les températures élevées caractérisant cette région tout au long de l'année.

Pour les résultats de l'optimisation, la figure (4.7) illustre des cas d'existence d'un minimum du coût d'exploitation annuel du système solaire P_T coïncidant avec une valeur optimale S_{op} de la surface du capteur pour les différents sites étudiés.

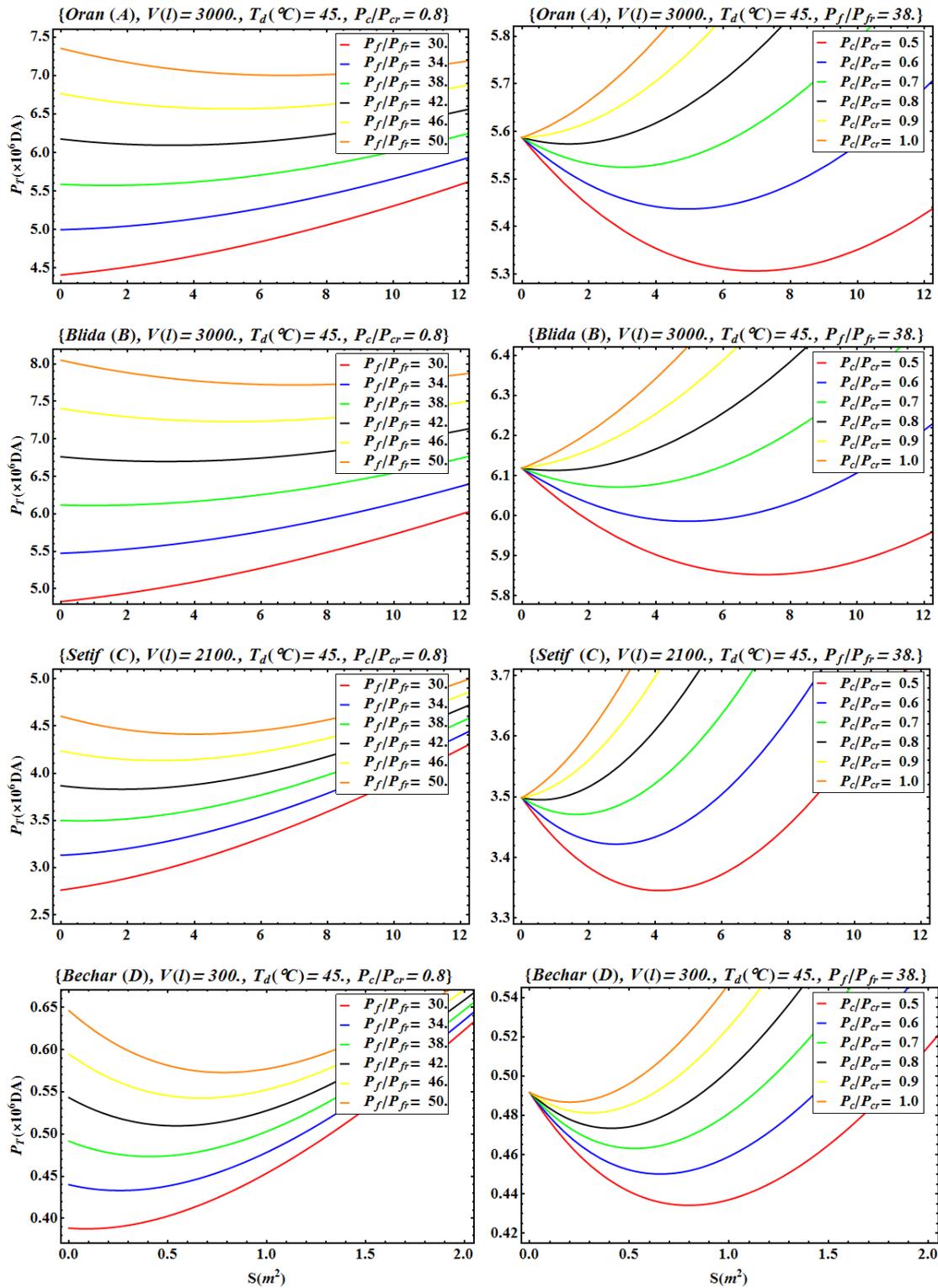


Figure 4.7: Cout de fonctionnement annuel du système solaire de chauffage d'eau P_T en fonction de la surface du capteur pour les différentes zones climatiques. Notez la présence de minimums indiquant les valeurs de la surface de collection optimales S_{op}

Par exemple pour le site d'Oran (A), on voit clairement que pour les courbes qui montrent un minimum, P_T diminue lorsque la surface du capteur S augmente, approche une valeur minimale puis augmente pour des valeurs plus élevées de S . Ce comportement montre que l'augmentation de la surface du capteur réduit les coûts dus à l'utilisation de l'énergie auxiliaire mais dès que la surface optimale est dépassée, cette réduction est inférieure aux coûts liés à la surface du capteur induisant ainsi une augmentation du coût annuel du système P_T . En effet, le panneau de gauche de la figure 6 représente la variation de P_T en fonction de S pour une valeur fixe du coût de capteur normalisé $P_c/P_{cr} = 0,8$ et pour différentes valeurs du coût d'électricité normalisé P_f/P_{fr} . On note que le minimum de P_T n'existe que pour des valeurs de P_f / P_{fr} égales à 38, 42, 46 et 50 correspondant respectivement à des surfaces optimales S_{op} égales à environ 1.5, 3.5, 5 et 7 m^2 . Dans le panneau de droite de la figure (4.7) est représentée la variation de P_T en fonction de S pour une valeur fixe du coût d'électricité normalisé $P_f/P_{fr} = 38$ et pour différentes valeurs du coût de capteur normalisé P_c/P_{cr} . On peut voir clairement que le minimum de P_T n'existe que pour des valeurs de P_c/P_{cr} égales à 0.5, 0.6, 0.7 et 0.8 correspondant respectivement à des surfaces optimales S_{op} égales à environ 7, 5, 3 et 1,5 m^2 .

Les figures (4.8) et (4.9) représentent respectivement la courbe tridimensionnelle et la courbe de densité montrant le comportement de la surface optimale de capteur S_{op} à la fois en fonction du coût de capteur normalisé P_c et du coût d'électricité P_f pour les différentes régions étudiés.

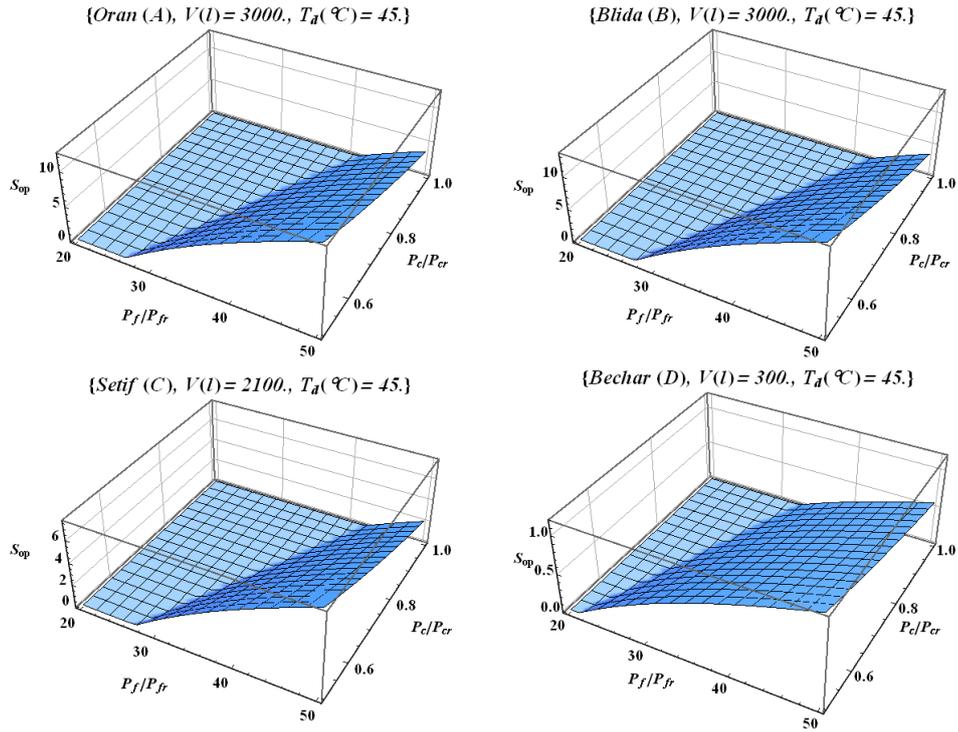


Figure 4.8: Représentation 3 D de la surface de captation optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes zones climatiques.

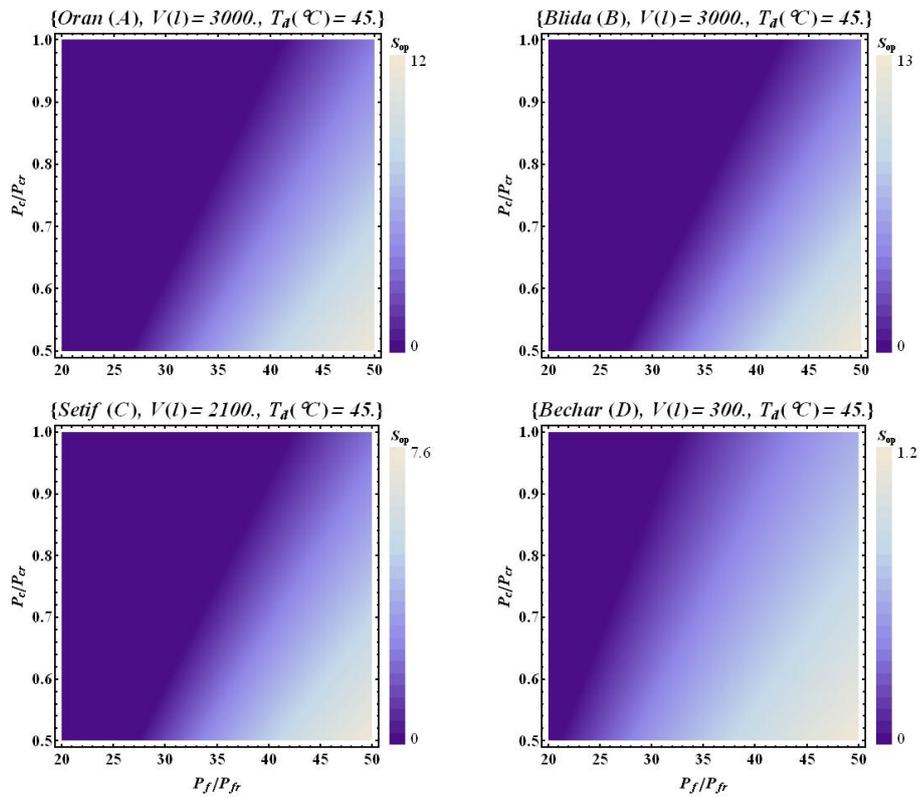


Figure 4.9: Densité de la surface de captation optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes zones climatiques

Nous montrons également sur les figures (4.10) et (4.11) des courbes représentants des coupes de la figure (4.8) respectivement pour des valeurs constantes P_c et P_f normalisés.

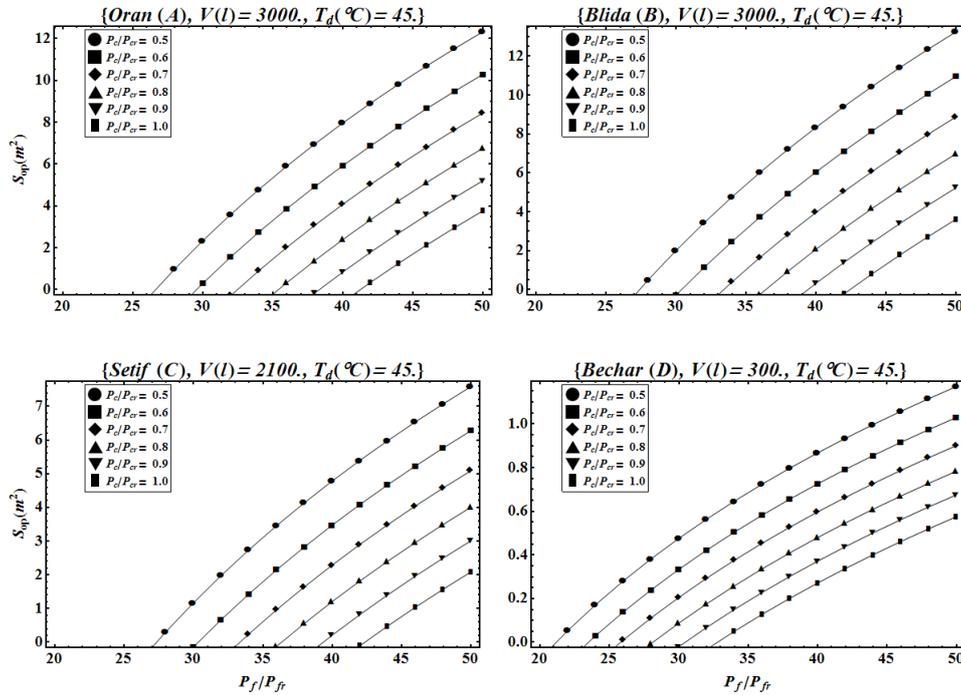


Figure 4.10: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout de l'électricité P_f pour différentes valeurs fixées du cout du capteur P_c et pour toutes les zones.

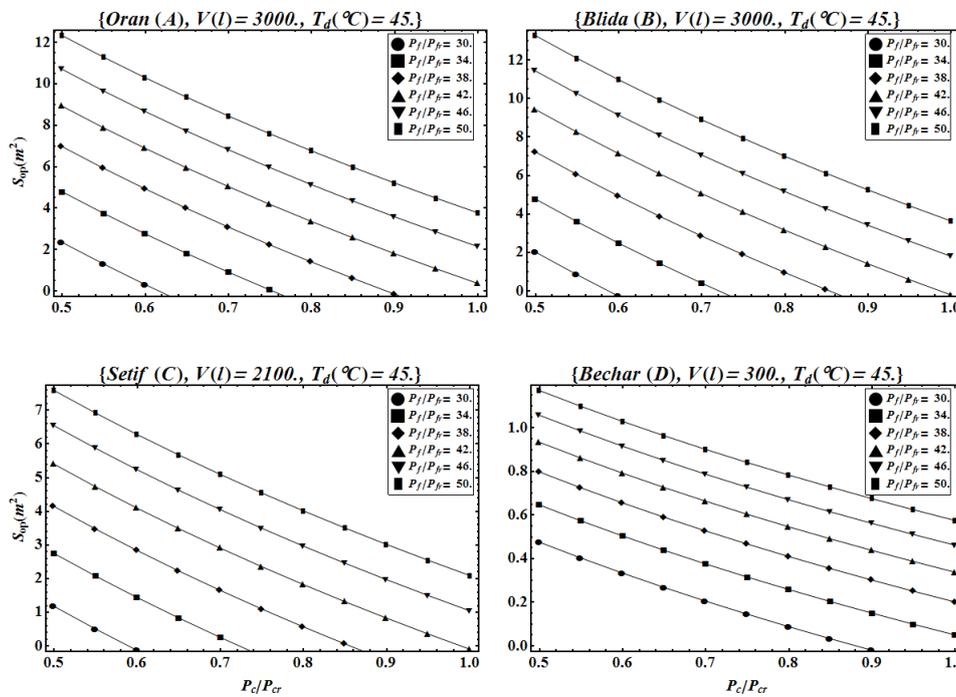


Figure 4.11: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c pour différentes valeurs fixées du cout de l'électricité P_f et pour toutes les zones.

Sur la figure (4.9), il est clair que pour les valeurs choisies de P_c/P_{cr} , il existe une valeur seuil de P_f/P_{fr} sous laquelle S_{op} n'existe pas. Cela signifie que P_T n'a pas de minimum et que l'énergie solaire ne peut donc jamais concurrencer l'énergie conventionnelle en dessous de cette valeur. Pour $P_c/P_{cr} = 0,5$, cette valeur seuil est située autour de $P_f/P_{fr} \approx 27$ pour Oran (A), Blida (B) et Sétif (C) et autour de $P_f/P_{fr} \approx 21$ pour Bechar (D). Par conséquent, pour que les systèmes solaires de chauffage d'eau soient économiquement réalisables, le coût actuel de l'électricité P_f doit être multiplié au moins par cette valeur seuil. On note également que la valeur de seuil augmente lorsque P_c/P_{cr} se rapproche de l'unité (c'est-à-dire que P_c se rapproche de sa valeur actuelle P_{cr}). Au-delà de la valeur de seuil, S_{op} augmente avec l'augmentation de P_f/P_{fr} et est plus important pour les plus petites valeurs de P_c/P_{cr} . Dans l'ensemble, nous pouvons déduire à la fois de la figure (4.10) et de la figure (4.11) que la surface optimale du capteur augmente à la fois avec l'augmentation de P_f/P_{fr} et avec la diminution de P_c/P_{cr} . Cela indique clairement qu'une augmentation du coût de l'énergie conventionnelle associée à une diminution du coût du capteur entraîne une plus grande compétitivité de l'énergie solaire par rapport à l'énergie conventionnelle avec la possibilité d'investir dans de plus grandes surfaces de captation. Par exemple, pour la zone A (Oran) si l'on suppose une politique de subvention de 50% sur le coût du capteur, soit $P_c/P_{cr} = 0.5$, les différentes valeurs du coût d'électricité $P_f/P_{fr} = 38, 42, 46$ et 50 donnent de surfaces optimales d'environ $7, 9, 10.5$ et 12.5 m^2 environ avec une contribution solaire correspondante et donc une économie de l'utilisation de l'énergie conventionnelle respectivement d'environ $28\%, 35\%, 41\%$ et 46% qui représente à son tour respectivement une fraction de $29\%, 37\%, 44\%$ et 51% du coût d'exploitation annuel du système. De plus, les résultats ont montré que ce comportement qui concerne la zone A peut être généralisé en toute sécurité à la zone B (Blida) et à la zone C (Sétif) puisqu'en moyenne ils ont presque le même potentiel solaire annuel. Pour la zone D (Bechar), un calcul similaire a révélé que pour un coût de capteur fixe $P_c/P_{cr} = 0,5$, les différentes valeurs du coût d'électricité $P_f/P_{fr} = 38, 42, 46$ et 50 donnent des surfaces optimales d'environ $0.8, 0.95, 1.1$ et 1.2 m^2 avec une contribution solaire correspondante d'environ $43\%, 48\%, 53\%$ et 57% représentant une proportion d'environ $47\%, 55\%, 62\%$ et 69% du coût d'exploitation annuel total de l'installation.

4.3.2. Cas du chauffage de l'habitat

Les figures 12 et 13 représentent respectivement la courbe tridimensionnelle et la courbe de densité montrant la variation de F_k à la fois en fonction du mois de l'année (pour les six mois les plus froids de l'année) et de la surface du capteur S .

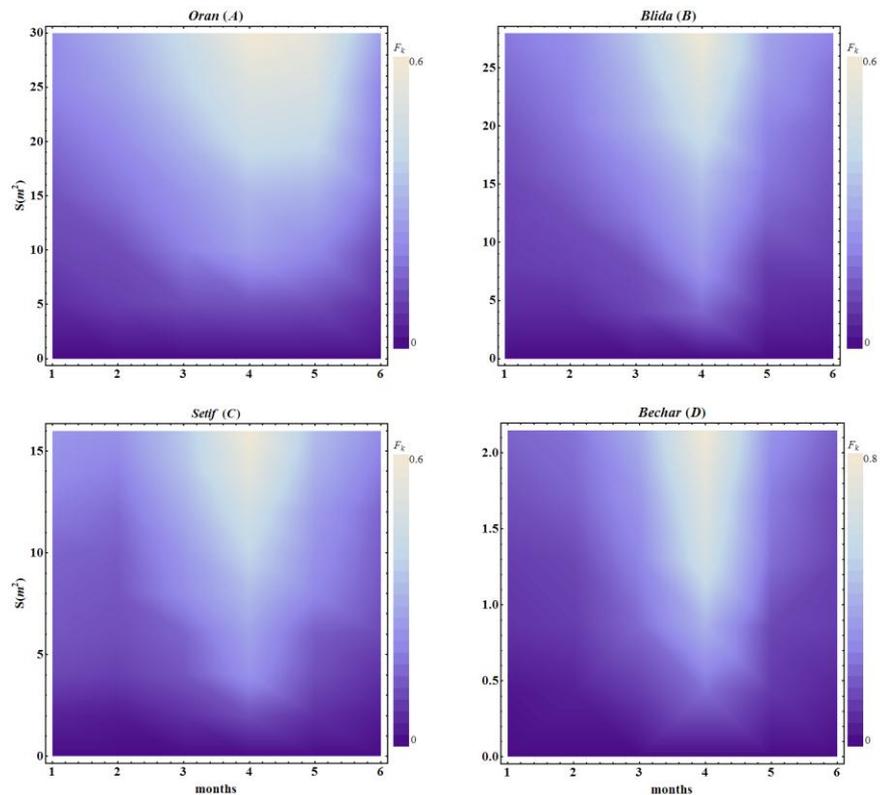


Figure 4.12: Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des mois étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques.

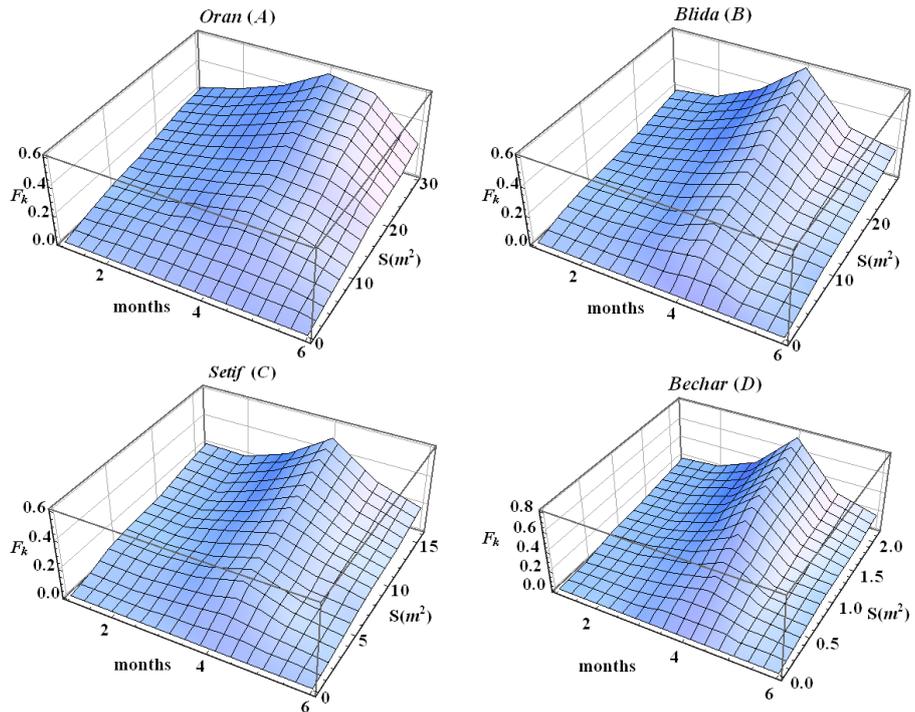


Figure 4.13: Représentation 3D de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des mois étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques

La plage de variation de S pour chaque région est choisie la même que pour la partie chauffage d'eau. Nous montrons également sur les figures (4.14) et (4.15) des courbes représentant des coupes de la figure (4.13) respectivement pour des surfaces constantes S et pour les mois de l'année étudiés.

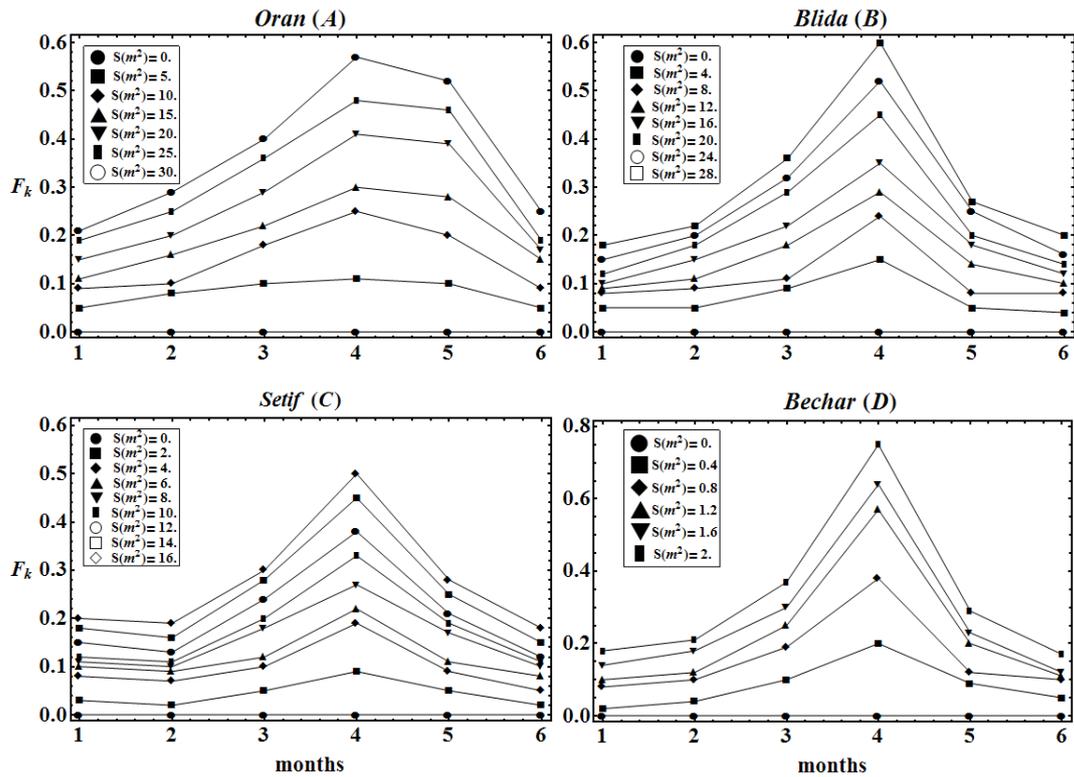


Figure 4.14: Densité de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction des mois étudiés et de la surface du capteur S pour toutes les zones climatiques.

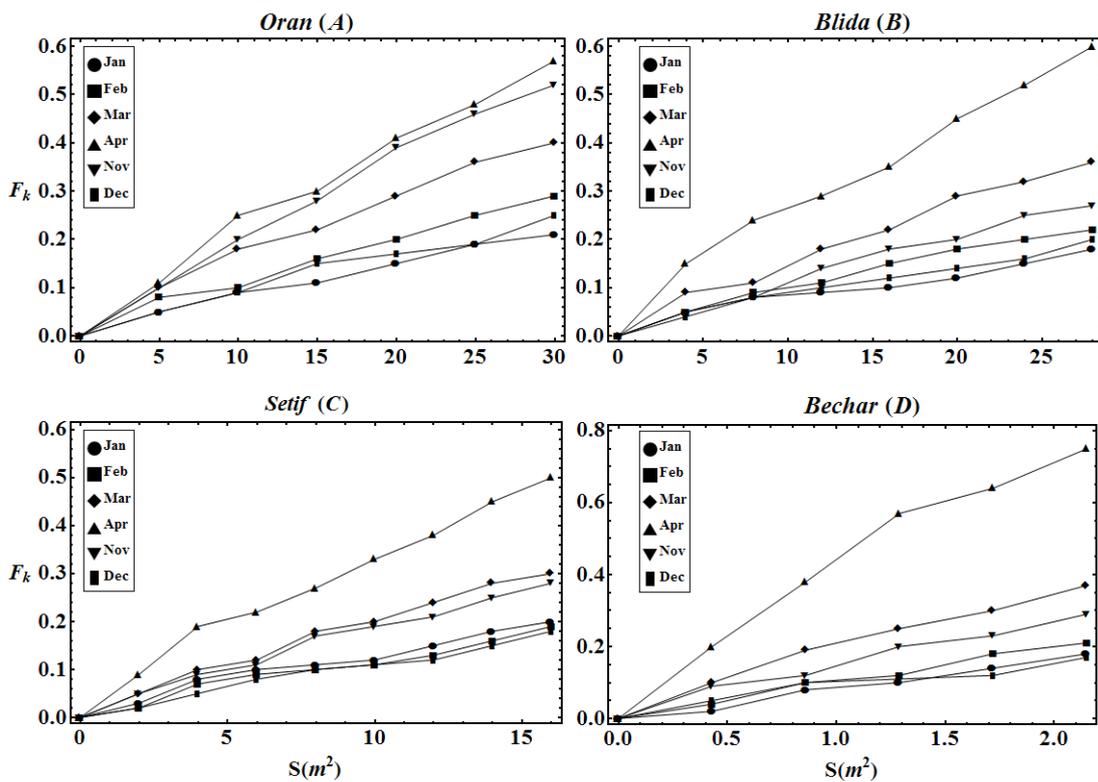


Figure 4.15: Variation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction de la surface du capteur S pour les différents mois étudiés et pour toutes les zones climatiques.

Comme pour le chauffage d'eau, nous notons une augmentation de la fraction solaire mensuelle F_k en fonction de la surface du capteur S conformément à partir de l'équation (4.6). Au cours des mois étudiés, F_k augmente jusqu'à atteindre un maximum en Avril puis diminue à un minimum en novembre-décembre pour toutes les zones étudiées et ceci sous l'influence des grandeurs météorologiques caractérisant chaque zone. Nous remarquons également que des valeurs assez élevées de la fraction solaire F_k peuvent être atteintes dans toutes les régions. En effet, pour la valeur maximale de S utilisée dans le calcul, F_k varie en général entre une limite inférieure de 0,2 et 0.6 pour les régions d'Oran (Zone A), Blida (Zone B) et Sétif (Zone C). Cela signifie qu'environ 20% à 60% des besoins de chauffage de l'habitat peuvent être couverts par l'énergie solaire. En particulier, la fraction solaire F_k est plus élevée dans les régions du sud où elle fluctue dans une plage étroite entre 0,2 et 0.8 à Bechar (Zone D). Cela s'explique par le rayonnement solaire important et les températures élevées caractérisant cette région tout au long de l'année et de fait nécessitant moins de besoins en chauffage.

Concernant la partie optimisation, la figure (4.16) illustre des cas d'existence d'un minimum du coût d'exploitation annuel du système solaire P_T coïncidant avec une valeur optimale S_{op} de la surface du capteur pour les différents sites étudiés.

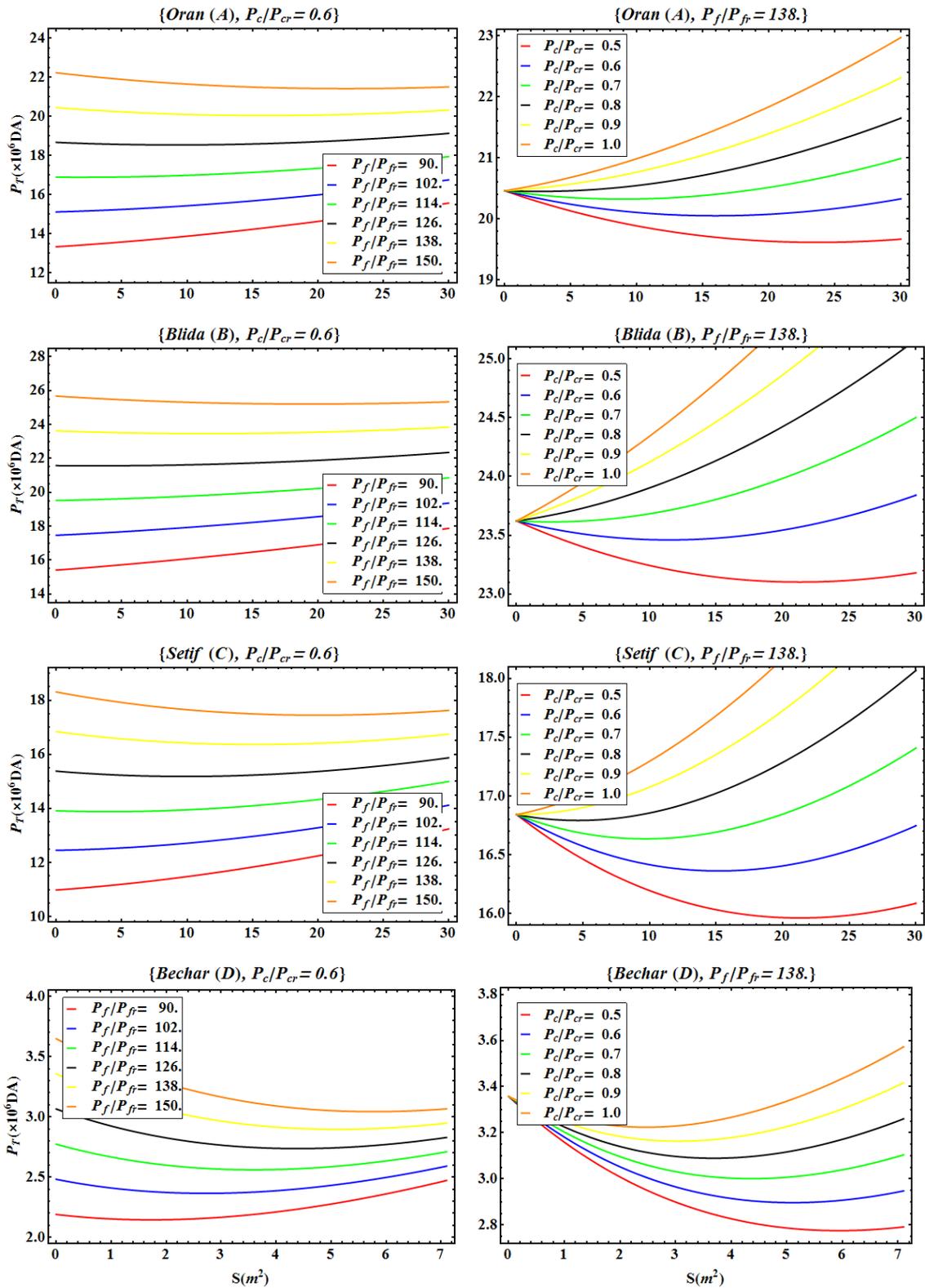


Figure 4.16: Cout de fonctionnement annuel du système solaire de chauffage P_T en fonction de la surface du capteur pour les différentes zones climatiques. Notez la présence de minimums indiquant les valeurs de la surface de collection optimales S_{op} .

Par exemple pour le site d'Oran (A), on voit clairement que pour les courbes qui montrent un minimum, P_T diminue avec lorsque la surface du capteur S augmente, approche une valeur minimale puis augmente pour des valeurs plus élevées de S . Ce comportement montre que l'augmentation de la surface du capteur réduit les coûts dus à l'utilisation de l'énergie auxiliaire mais dès que la surface optimale est dépassée, cette réduction est inférieure aux coûts liés à la surface du capteur induisant ainsi une augmentation du coût annuel du système P_T . En effet, le panneau de gauche de la figure (4.16) représente la variation de P_T en fonction de S pour une valeur fixe du coût de capteur normalisé $P_c/P_{cr} = 0,6$ et pour différentes valeurs du coût d'électricité normalisé P_f/P_{fr} . On note que le minimum de P_T n'existe que pour des valeurs de P_f/P_{fr} égales à 126, 138 et 150 correspondant respectivement à des surfaces optimales S_{op} égales à environ 9, 16 et 22 m^2 . Dans le panneau de droite de la figure (4.16) est représentée la variation de P_T en fonction de S pour une valeur fixe du coût d'électricité normalisé $P_f/P_{fr} = 138$ et pour différentes valeurs du coût de capteur normalisé P_c/P_{cr} . On peut voir clairement que le minimum de P_T n'existe que pour des valeurs de P_c/P_{cr} égales à 0.5, 0.6 et 0.7 correspondant respectivement à des surfaces optimales S_{op} égales à environ 24, 16 et 9 m^2 .

Les figures (4.17) et (4.18) représentent respectivement la courbe tridimensionnelle et la courbe de densité montrant le comportement de la surface optimale de capteur S_{op} à la fois en fonction du coût de capteur normalisé P_c et du coût d'électricité P_f pour les différentes régions étudiés.

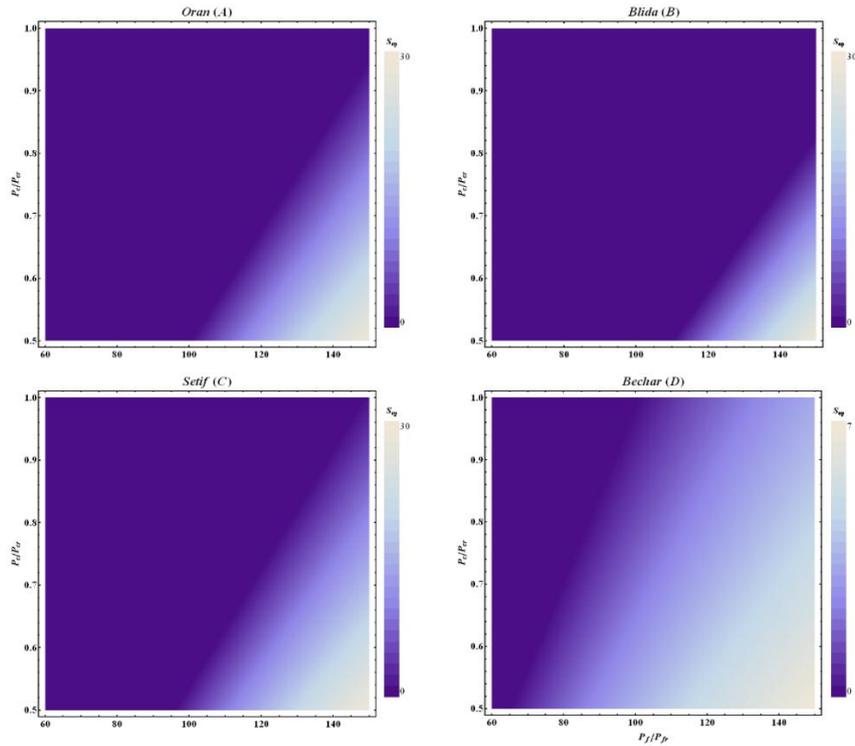


Figure 4.17: Densité de la surface de captation optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes zones climatiques.

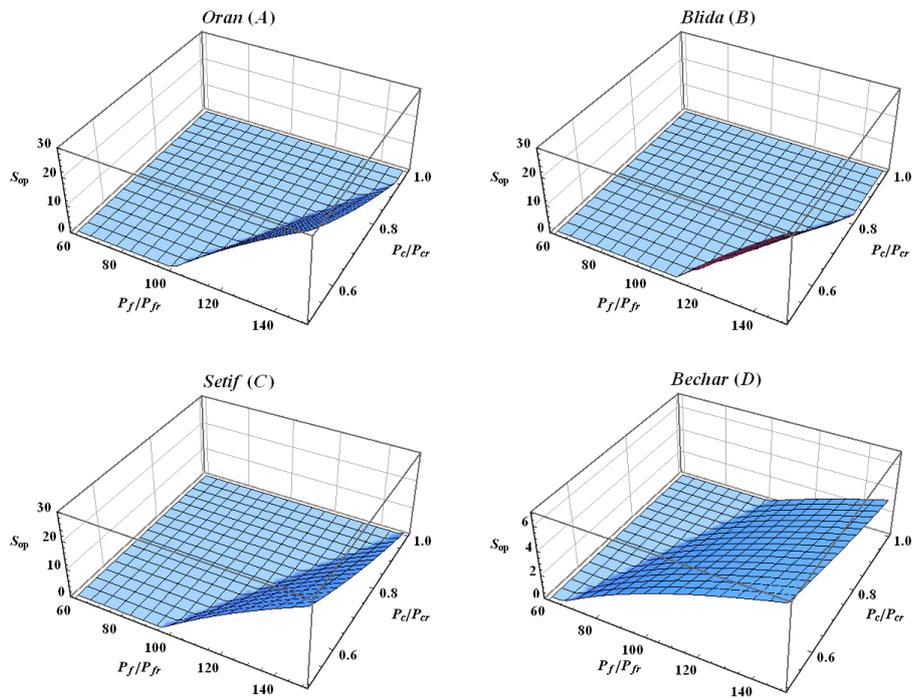


Figure 4.18: Représentation 3D la surface optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c et du cout de l'électricité P_f pour les différentes zones climatiques

Nous montrons également sur les figures (4.19) et (4. 20) des courbes représentant des coupes de la figure (4.17) respectivement pour des valeurs constantes P_c et P_f normalisés.

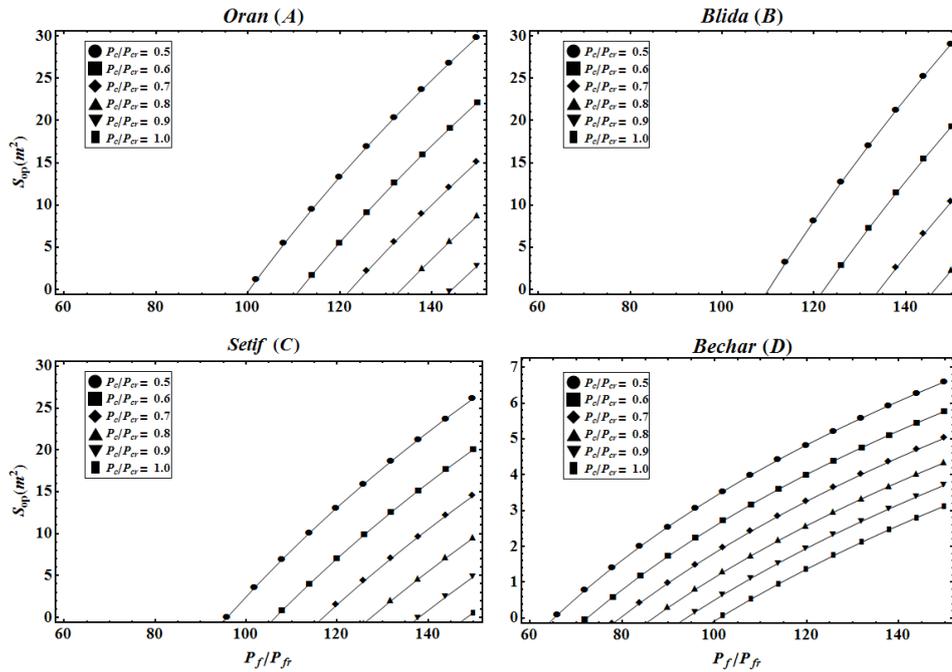


Figure 4.19: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout de l'électricité P_f pour différentes valeurs fixées du cout du capteur P_c et pour toutes les zones.

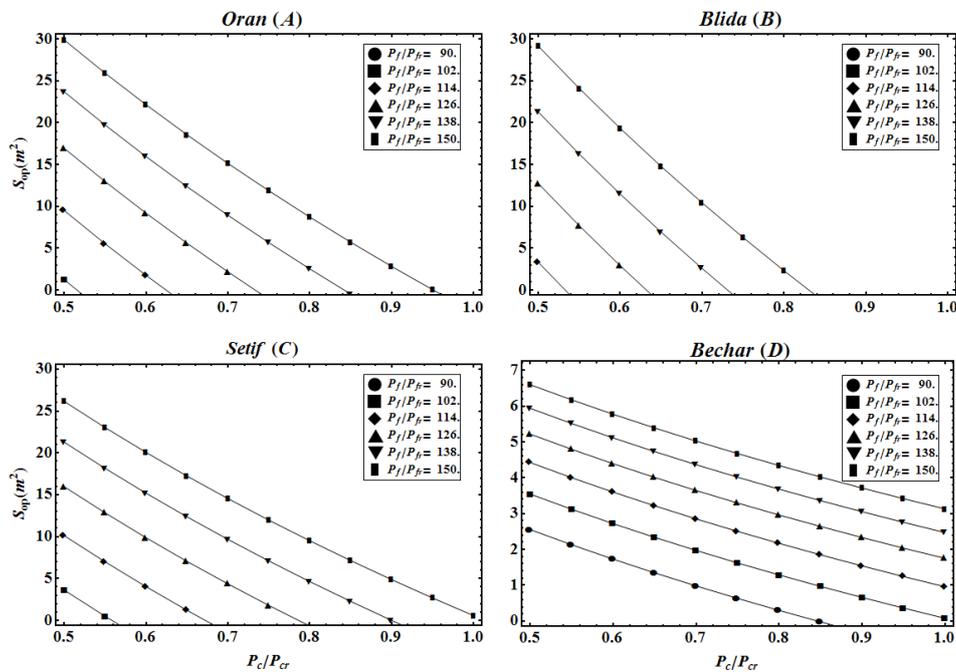


Figure 4.20: Variation de la surface optimale S_{op} en fonction du cout du capteur P_c pour différentes valeurs fixées du cout de l'électricité P_f et pour toutes les zones.

Sur la figure (4.18), il est clair que pour les valeurs choisies de P_c/P_{cr} , il existe une valeur seuil de P_f/P_{fr} sous laquelle S_{op} n'existe pas. Cela signifie que le P_T n'a pas de minimum et que l'énergie solaire ne peut donc jamais concurrencer l'énergie conventionnelle en dessous de cette valeur. Pour $P_c/P_{cr} = 0,5$, cette valeur seuil est située autour de $P_f/P_{fr} \approx 100$ pour Oran (A), $P_f/P_{fr} \approx 110$ pour Blida (B), $P_f/P_{fr} \approx 95$ pour Sétif (C) et autour de $P_f/P_{fr} \approx 65$ pour Bechar (D). Par conséquent, pour que les systèmes solaires de chauffage soient économiquement réalisables, le coût actuel de l'électricité P_f doit être multiplié au moins par cette valeur seuil. Dans l'ensemble, nous pouvons déduire à la fois de la figure (4.19) et de la figure (4.20) que la surface optimale du capteur augmente à la fois avec l'augmentation de P_f/P_{fr} et avec la diminution de P_c/P_{cr} . Cela indique clairement qu'une augmentation du coût de l'énergie conventionnelle associée à une diminution du coût du capteur entraîne une plus grande compétitivité de l'énergie solaire par rapport à l'énergie conventionnelle avec la possibilité d'investir dans de plus grandes surfaces de captation. Pour la zone A (Oran) si l'on suppose une politique de subvention de 40% sur le coût du capteur, soit $P_c/P_{cr} = 0.6$, les différentes valeurs du coût d'électricité $P_f/P_{fr} = 126, 138$ et 150 donnent des surfaces optimales d'environ 9, 16 et 22 m^2 environ avec une contribution solaire correspondante et donc une économie de l'utilisation de l'énergie conventionnelle respectivement d'environ 12%, 20%, et 26%. Le même calcul pour Blida (Zone B) donne des surfaces optimales d'environ 3, 11 et 20 m^2 , une économie de l'utilisation de l'énergie conventionnelle d'environ 4%, 13%, et 19%. Pour Sétif (Zone C), on obtient des surfaces optimales d'environ 10, 15 et 20 m^2 avec une économie de l'utilisation de l'énergie conventionnelle respectivement d'environ 16%, 23%, et 30%. Pour la zone D (Bechar), aussi le même calcul donne des surfaces optimales d'environ 4.4, 5.1 et 5.8 m^2 avec une contribution solaire correspondante d'environ 43%, 48% et 52% représentant une proportion d'environ 47%, 54% et 62% du coût d'exploitation annuel total de l'installation.

En conclusion, le calcul démontre que les valeurs de la fraction solaire mensuelle F_k dans presque toutes les régions étudiées sont très élevées. La couverture solaire varie de 45% à 100% pour les besoins en eau chaude solaire et de 20% à 70% des besoins en chauffage de l'habitat. L'étude économique a montré que la surface optimale du capteur S_{op} qui minimise le coût de l'installation solaire est fortement influencée à la fois par le coût du capteur et le coût de l'énergie

conventionnel, respectivement P_c et P_f . En effet, S_{op} augmente avec un P_f croissant et inversement diminue avec un P_c croissant. En particulier, il a également été montré la présence d'une valeur de seuil de P_f en dessous de laquelle l'énergie solaire ne peut jamais concurrencer l'énergie conventionnelle. Plus la valeur de P_c est petite, plus la valeur seuil de P_f requise pour la faisabilité du système solaire est petite. Dans l'ensemble, les résultats indiquent clairement qu'une augmentation de P_f associée à une diminution de P_c entraîne une plus grande compétitivité de l'énergie solaire par rapport à l'énergie conventionnelle avec la possibilité d'investir dans des surfaces de captation optimales S_{op} plus grandes.

Pour les valeurs des paramètres utilisés dans notre étude, les résultats en ce qui concerne l'approvisionnement en eau chaude solaire, ont révélé qu'une politique de financement pourrait aider à économiser jusqu'à 46% d'énergie conventionnelle dans les régions du nord et autour de 57% dans les régions du sud avec une économie sur les coûts d'exploitation annuels du système solaire d'environ 51% et 69% respectivement. Cela rendra sans aucun doute l'investissement dans l'énergie solaire économiquement rentable en Algérie. En ce qui concerne le chauffage de l'habitat, l'énergie solaire ne sera capable de rivaliser avec l'énergie conventionnelle que si le prix de cette dernière augmente considérablement. Dans ce cas, pour les valeurs choisies dans nos calculs, l'économie d'énergie conventionnelle atteint 20% dans les régions du nord et autour de 30% dans les régions sud avec une économie sur les coûts d'exploitation annuels du système solaire du même ordre mais à la condition.

Le solaire ne pouvant être compétitif avec l'énergie conventionnelle dans le contexte économique actuel. D'autres solutions doivent être explorées pour réduire la facture énergétique. La valorisation des matériaux locaux apparaît comme une bonne alternative. Le chapitre suivant traite de l'intégration du liège et des différentes parties du palmier dattier dans la conception de l'enveloppe des bâtiments étudiés.

CHAPITRE 5

LES MATERIAUX LOCAUX PROPOSES A L'INTEGRATION

5.1. Introduction

Le polystyrène est l'isolant thermique le plus utilisé actuellement dans les programmes de construction. Cet isolant est certes très efficace, Cependant il n'est pas écologique. IL est nécessaire de se tourner vers des solutions naturelles et respectueuses de la santé et de l'environnement. L'Algérie est l'un des pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (Alfa, Diss, Liège, Palmier Dattier,...). Mais, malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques est encore peu exploitée [141].

Nous proposons dans ce chapitre le remplacement au niveau de l'enveloppe des bâtiments l'isolant polystyrène par l'isolant liège pour les logements situés au nord et hauts plateaux, et l'intégration des matériaux traditionnels comme la brique de terre et le mortier de terre et le bois de palmier qui sont utilisés pour la maçonnerie et la toiture au sud du pays, dans le but de valoriser nos ressources locales et utiliser des matériaux écologiques, utiliser des matériaux locaux permet de contribuer au développement et au maintien d'une économie locale.

5.2. Intégration du liège pour les zones du nord et hauts plateaux

Les forêts de chêne de liège couvrent approximativement 2,7 millions d'hectares dans un territoire comprenant le Portugal, l'Espagne, l'Algérie, le Maroc, l'Italie, la Tunisie et la France. C'est une espèce typiquement méditerranéenne dont l'aire est limitée au bassin occidental de la Méditerranée et le littoral atlantique. [142]

En Algérie, le chêne-liège occupe une frange altitudinale comprise entre le niveau de la mer et 1300m ; il remonte exceptionnellement jusqu'à 1550m à Teniet El Had. Le chêne couvre de vastes espaces au Nord Est du pays où il recouvre 43 000 ha depuis l'Oranie jusqu'en Kabylie. Les principales subéraies algériennes sont localisées dans le Tell Oriental, situées essentiellement en zones subhumides et humides au Nord-est de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne. Elles se répartissent à travers 22 wilayas. [143].



Figure 5.1: Aire de répartition du chêne-liège en Algérie

Le plan de reboisement national PNR adopté par le conseil du gouvernement en septembre 1999 est un programme ambitieux visant la reconstruction du couvert forestier national mais aussi la protection, la valorisation et le développement des ressources naturelles rentrant dans le cadre du développement durable. Ce plan vise à planter sur une durée de 20 ans (2000-2020) une surface de l'ordre de 100.000 hectares par an. Le chêne liège se classe en premier rang parmi les essences forestières avec 160.000 hectares soit 24% [144].

Le liège présente de nombreux avantages :

- isolation thermique, acoustique et antivibratoire
- conductivité thermique de 0,036 à 0,040 W/m k
- matériau stable et durable
- naturel et recyclable
- bonne résistance au feu

Les panneaux de liège simulés ont les propriétés suivantes [127]

- Conductivité thermique $\lambda = 0.04 \text{ W / (m.k) ;}$
- Masse volumique $\rho = 120 \text{ kg/m}^3 ;$
- Chaleur spécifique = 1390 J/ (kg .k).

5.3. Intégration de matériaux locaux aux zones du sud

5.3.1. Palmier dattier (bois et fibres)

Le palmier dattier résiste bien à la chaleur, à la sécheresse et au froid. Il se trouve généralement sur la bande aride afro-asiatique qui s'étend de l'Afrique du Nord au Moyen-Orient, plus précisément dans les oasis du Sahara [145].

Le bois de palmier dattier possède une conductivité thermique proche de celle du sisal, mais cette valeur est supérieure à celle d'autres isolants (comme le liège). D'autre part, elle est inférieure à la conductivité thermique de chanvre et de banane. Il résulte des différents travaux entrepris en Algérie pour la valorisation du bois de palmier dattier [146] que Les propriétés thermiques des différentes variétés de bois de palmier dattier présentent de faibles valeurs de conductivité thermique. La grappe est le moins isolant, le pétiole le plus isolant.

Les propriétés du bois de pétiole du palmier dattier simulé pour notre travail sont comme suit : [146,147]

- Conductivité thermique $\lambda = 0.058 \text{ W / (m.k)}$;
- Masse volumique $\rho = 173 \text{ kg/m}^3$;
- Chaleur spécifique = 1168 J/ (kg .k) .

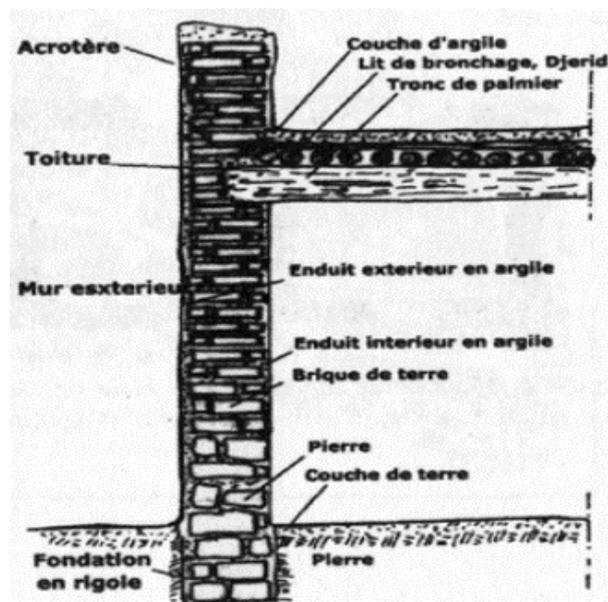


Figure 5.2: Construction traditionnelle au sud

Le tronc de l'arbre est aussi utilisé pour l'ébénisterie traditionnelle, bois de chauffage mais aussi charpentes de bâtiments.

Les propriétés du bois tronc de palmier dattier simulé sont comme suit : [148]

- Conductivité thermique $\lambda = 0.126 \text{ W / (m.k)}$;
- Masse volumique $\rho = 760 \text{ kg/m}^3$;
- Chaleur spécifique = 937 J/ (kg .k) .

Les différentes parties du palmier dattier sont représentés par la figure (5.3)



Figure 5.3: les différentes parties du palmier dattier

Le palmier dattier à une structure possédant quatre types de fibres [147]

- Fibres de bois de tronc
- Fibres de feuilles de pédoncules
- Fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (la grappe)
- Fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)
- Fibres de life (entre le kornef et le tronc, bourre fibreuse appelé life)

Les fibres de bois de palmier dattier sont considérées comme déchet en Algérie. En dépit de son important potentiel quantitatif (210 000 tonnes de pétioles, 73 000 tonnes de folioles et 52 000 tonnes de grappes chaque année) [147, 148], le bois de palmier n'est pas utilisé dans les différents secteurs industriels. Il y'a donc une nécessité d'explorer le potentiel d'utilisation de cette ressource au profit de l'industrie nationale. Vue leur propriétés thermiques, les fibres de palmier dattier (FPD) représentent un matériau de renforcement très efficace pour l'isolation thermique. [149].

Plusieurs études se sont aussi intéressées à la valorisation du mortier comme ressource naturelle et locale. Avec un ajout de 5% de fibres de palmier dattier au mortier de terre nous obtenons un composite qu'on peut utiliser comme renforcement à l'isolation dans le bâtiment

Les caractéristiques thermiques de ce matériau Mortier de terre +5%de fibres de palmier dattier simulé sont [146] :

- Conductivité thermique $\lambda = 0.39 \text{ W / (m.k)}$;
- Masse volumique $\rho = 1460 \text{ kg/m}^3$;
- Chaleur spécifique = 1097 J/ (kg .k) .

5.3.2. Briques de terres

En Algérie, l'usage de la terre est très ancien. Elle était utilisée autant dans les campagnes que dans les villes. Les maisons traditionnelles sont faites de terre associée à d'autres matériaux (végétaux ou minéraux).

Plusieurs travaux en Algérie ont été entrepris entre thèses et articles et ont traité de ce sujet. Nous nous sommes intéressés au travail effectué à l'université d'Ouargla en 2012 [150]. Pour la confection des briques de terre ils ont associé le sable des dunes et les fibres de palmiers à de la terre. Des prototypes ont été réalisés avec différents pourcentages de sable (0%,10%,20%, 30%et 40%) et de fibres de palmier (1%,2%,3%). Les résultats ont montré que le mélange améliore les propriétés de la brique de terre et que plus le pourcentage est important (40% sable et 3%fibres) meilleure était les propriétés thermiques [150].

La brique de terre (57% Argile, 40% sable et 3% fibre) est celle retenue suite à ce travail, dont es propriétés sont les suivantes :

- Conductivité thermique $\lambda = 0.76 \text{ W / (m.k)}$;
- Masse volumique $\rho = 1570 \text{ kg/m}^3$;
- Chaleur spécifique = 1410 J/ (kg .k) .

5.4. Résultats et discussion

5.4.1. Remplacement de l'isolant Polystyrène par le liège (zones du nord)

5.4.1.1. Les logements situés à Oran

On rappelle qu'avec la composition standard (isolation polystyrène : 4 cm pour la toiture, 4 cm pour le mur extérieur et le plancher bas non isolé), les besoins en chauffage et climatisation sont respectivement 53 kWh/m² et 21 kWh/m² pour le bâtiment situé à Oran.

Nous avons procédé à plusieurs simulations en variant à chaque fois l'épaisseur de l'isolant pour les parois considérées.

- 1- On commence par remplacer l'isolation du mur extérieur en variant l'épaisseur de l'isolant liège de 10 cm à 20 cm. L'épaisseur optimum obtenue est 15 cm. Les besoins de chauffage et climatisation sont respectivement de 46 kWh/m² et 18 kWh/m².
- 2- Nous avons procédé de la même manière pour la toiture. Une variation de l'épaisseur de l'isolant nous donne un optimum de 15 cm. Avec un mur extérieur (isolation de 15 cm de liège) et 15 cm pour la toiture, On obtient des besoins de chauffage et climatisation de 42 kWh/m² et 17 kWh/m² respectivement.
- 3- Même si pour la composition de base le plancher bas n'est pas isolé, nous l'avons isolé avec du liège et nous avons varié son épaisseur de 10 à 20cm l'optimum obtenu est 10 cm. Les besoins en chauffage et climatisation sont respectivement 40 kWh/m² et 17 kWh/m².

La figure (5.4) représente les besoins en chauffage et climatisation pour les différentes compositions proposées.

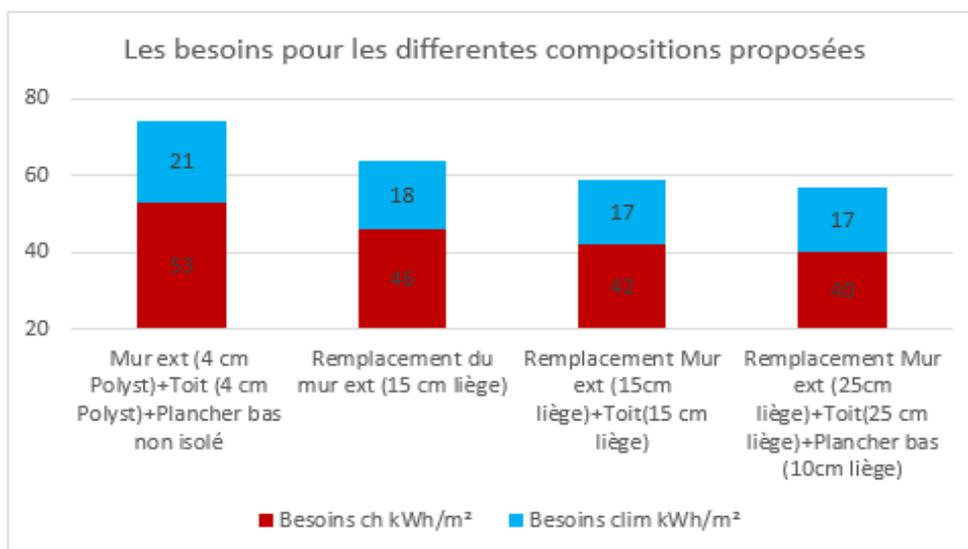


Figure 5.4: Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements situés à Oran

On constate que pour le plancher bas qu'il soit isolé ou non les besoins énergétiques restent plus ou moins similaires. Dons la composition retenue est celle avec le mur extérieur et la toiture isolés chacun avec 15cm de liège avec un plancher bas non isolé.

Les figures (5.5) et (5.6) représentent respectivement les températures moyennes mensuelles pour le mois le plus chaud et le mois le plus froid dans les logements.

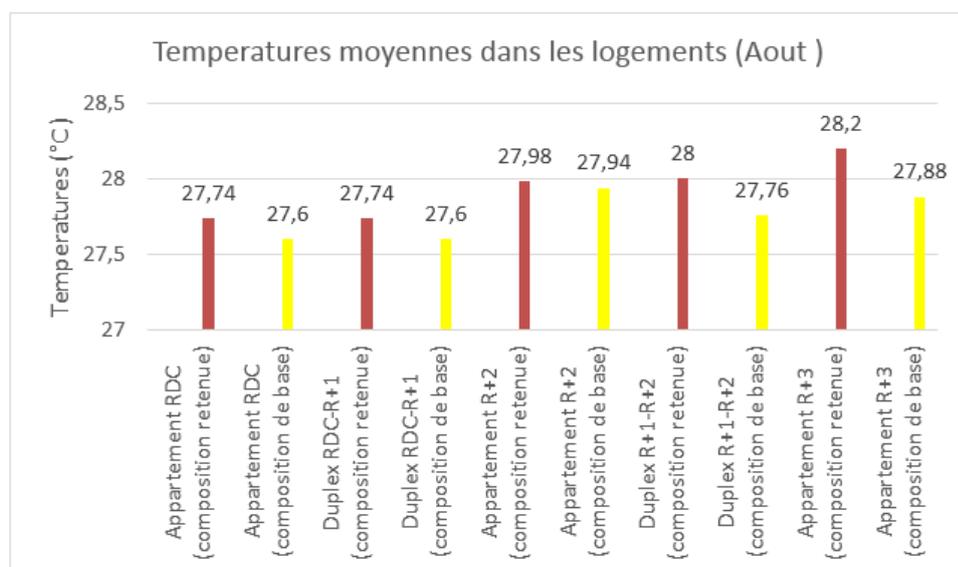


Figure 5.5: Températures moyennes dans les logements pour le mois d'Aout

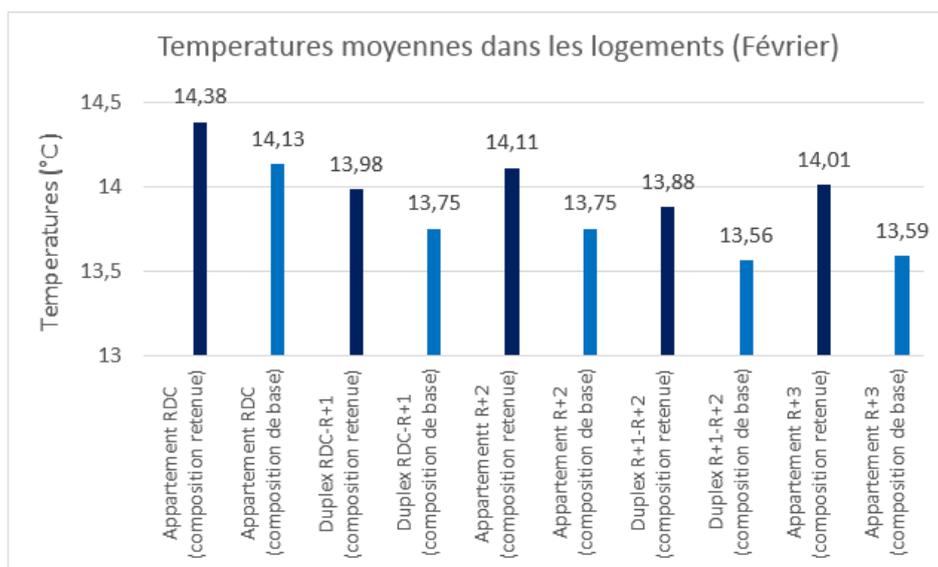


Figure 5.6: Températures moyennes dans les logements pour le mois de Février

Des figures on constate qu'avec la composition retenue les températures moyennes pour les mois les plus chaud et plus froid respectivement augmentent légèrement en assurant un confort en été et pas assez en hiver mais acceptable.

Cette composition nous permet de gagner environ 20% des besoins en chauffage et climatisation.

5.4.1.2. Les logements situés à Blida

On rappelle qu'avec la composition standard (isolation polystyrène : 8 cm pour la toiture, 8 cm pour le mur extérieur et 10cm pour le plancher bas), les besoins en chauffage et climatisation sont respectivement 100 kWh/m² et 41 kWh/m² pour le bâtiment situé à Blida.

Nous avons procédé à plusieurs simulations en variant à chaque fois l'épaisseur de l'isolant pour les parois considérées.

- 4- On commence par remplacer l'isolation du mur extérieur en variant l'épaisseur de l'isolant liège de 10 cm à 25 cm. L'épaisseur optimum obtenue est 20 cm. Les besoins de chauffage et climatisation sont respectivement de 94 kWh/m² et 39 kWh/m².
- 5- Nous avons procédé de la même manière pour la toiture. Une variation de l'épaisseur de l'isolant nous donne un optimum de 20 cm. Avec un mur extérieur (isolation de 20cm de liège) et 20 cm pour la toiture, On obtient des

besoins de chauffage et climatisation de 86 kWh/m² et 39 kWh/m² respectivement.

- 6- Avec une composition du mur extérieur et toiture isolés avec 20cm de liège nous avons cette fois ci isolé le plancher bas en faisant varier l'épaisseur du liège de 10 à 20 cm et les résultats que nous obtenons sont que pour une épaisseur optimum de 10 cm les besoins de chauffage sont 86 kWh/m² et les besoins en climatisation 41kWh/m². Enfin, Pour le plancher bas nous avons supprimé l'isolation et les résultats obtenus sont 108 kWh/m² pour les besoins en chauffage et 42 kWh/m² pour les besoins en climatisation respectivement.

La figure (5.7) représente les besoins en chauffage et climatisation pour les différentes compositions proposées.

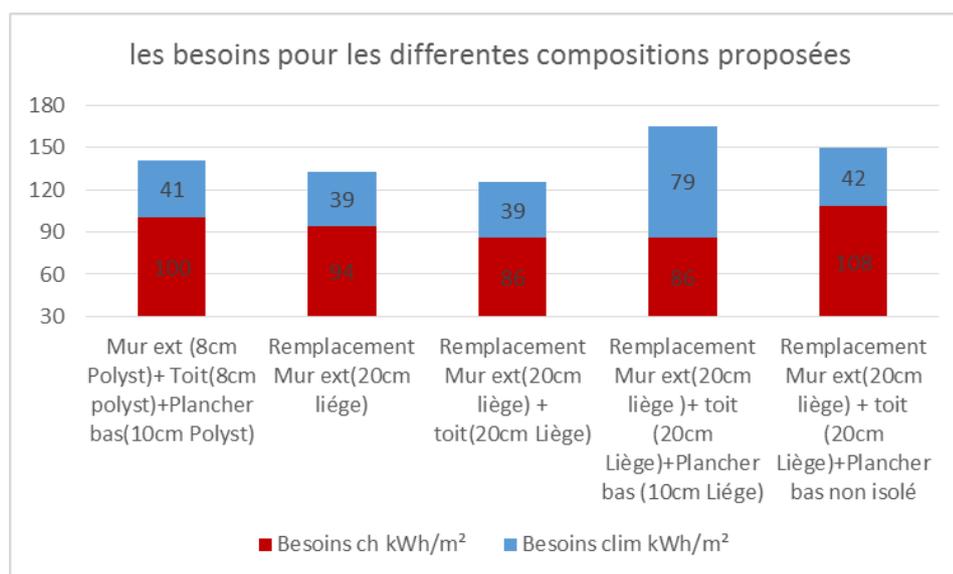


Figure 5.7: Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements situés à Blida

On constate que lorsque les murs extérieurs et la toiture sont isolés avec 20 cm de liège et le plancher bas n'est pas isolé nous obtenons des résultats plus ou moins similaires qu'avec la composition standard (isolation polystyrène) ; par contre si on isole aussi le plancher bas avec une épaisseur obtenue de 10cm de liège nous réduisons les besoins en chauffage de 14%mais induisons une augmentation de 92%pour les besoins en climatisation ce qui est considérable et non acceptable.

Notre but étant de supprimer l'isolant polystyrène de la composition des parois, nous retenons la composition qui nous semble la plus raisonnable c'est-à-dire celle avec 20 cm d'isolant liège pour les murs extérieurs et la toiture et pas d'isolation pour le plancher bas. Cette composition induit par contre une baisse de 0,5°C des températures moyennes mensuelles. Pour l'appartement du rez de chaussée comme le montre les figures (5.8) et (5.9) représentent les températures moyennes dans les logements respectivement avec la composition de base (isolation polystyrène) et la composition retenue (isolation liège).

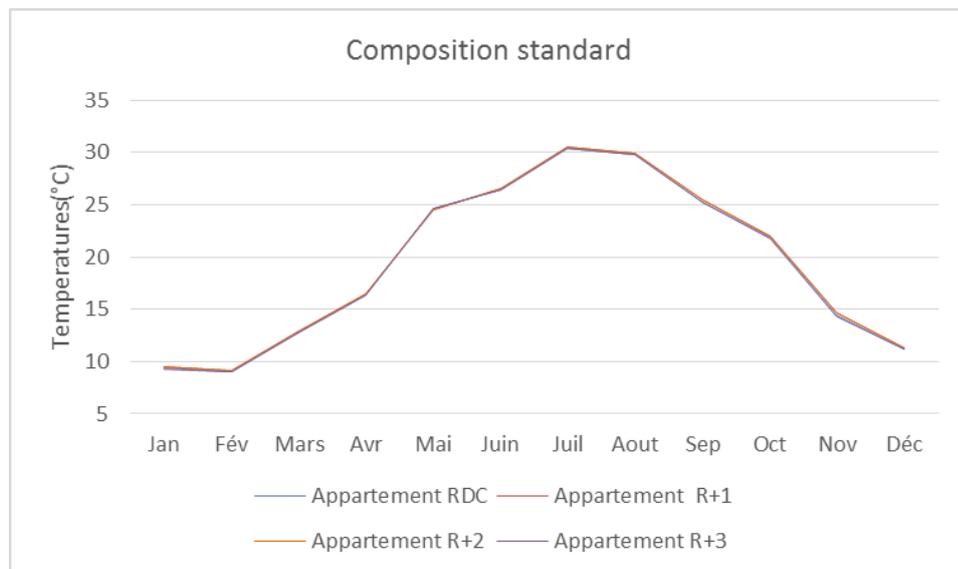


Figure 5.8: Températures moyennes (isolation polystyrène) (Blida)

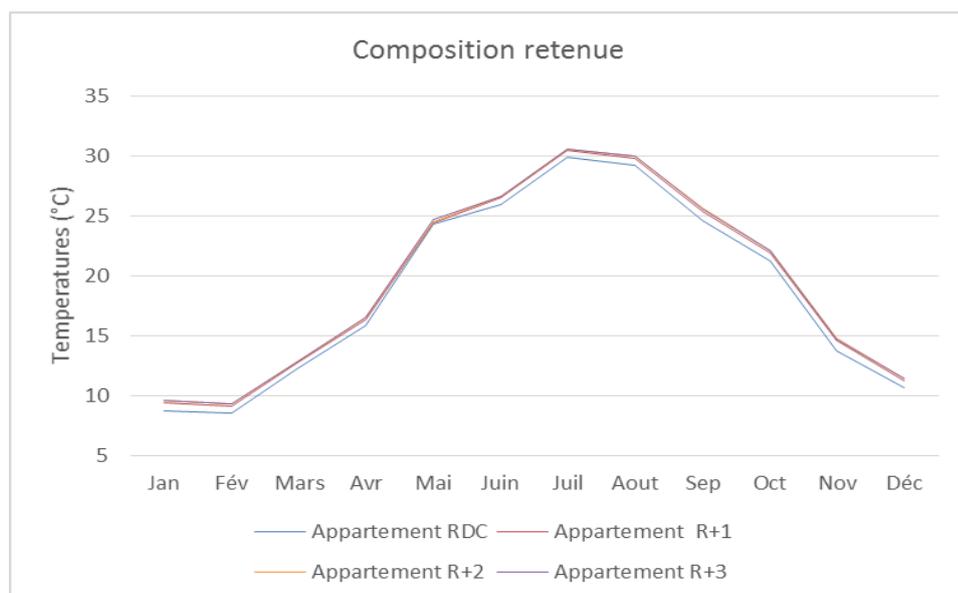


Figure 5.9: Températures moyennes (isolation liège) (Blida)

Cette composition retenue induit par contre 9 kWh/m² de plus des besoins totaux de la composition de base.

5.4.1. Remplacement de l'isolant Polystyrène par le liège (zone des hauts plateaux)

5.4.1.1. Les logements situés à Sétif

On rappelle qu'avec la composition standard (isolation polystyrène : 6 cm pour la toiture, 6 cm pour le mur extérieur et 10cm pour le plancher bas), les besoins en chauffage et climatisation sont respectivement 137 kWh/m² et 26 kWh/m² pour le bâtiment situé à Sétif.

Nous avons procédé à plusieurs simulations en variant à chaque fois l'épaisseur de l'isolant pour les parois considérées.

- 1- On commence par remplacer l'isolation du mur extérieur en variant l'épaisseur de l'isolant liège de 10 cm à 30 cm. L'épaisseur optimum obtenue est 25 cm. Les besoins de chauffage et climatisation sont respectivement de 114 kWh/m² et 26 kWh/m².
- 2- Nous avons procédé de la même manière pour la toiture. Une variation de l'épaisseur de l'isolant de 10 cm à 30 cm nous donne un optimum de 25cm. Les besoins de chauffage et climatisation sont respectivement de 128 kWh/m² et 26 kWh/m².
- 3- Avec un mur extérieur (isolation de 25cm de liège) et 25 cm pour la toiture, On obtient des besoins de chauffage et climatisation de 106 kWh/m² et 24 kWh/m² respectivement.
- 4- Avec une composition du mur extérieur et toiture isolés avec 25cm de liège nous avons cette fois ci isolé le plancher bas en faisant varier l'épaisseur du liège de 10 à 25 cm et les résultats que nous obtenons sont que pour une épaisseur optimum de 20 cm les besoins de chauffage sont 102 kWh/m² et les besoins en climatisation 24 kWh/m². Enfin, Pour le plancher bas nous avons supprimé l'isolation et les résultats obtenus sont 144 kWh/m² pour les besoins en chauffage et 26 kWh/m² pour les besoins en climatisation respectivement.

La figure (5.10) représente les besoins en chauffage et climatisation pour les différentes compositions proposées.

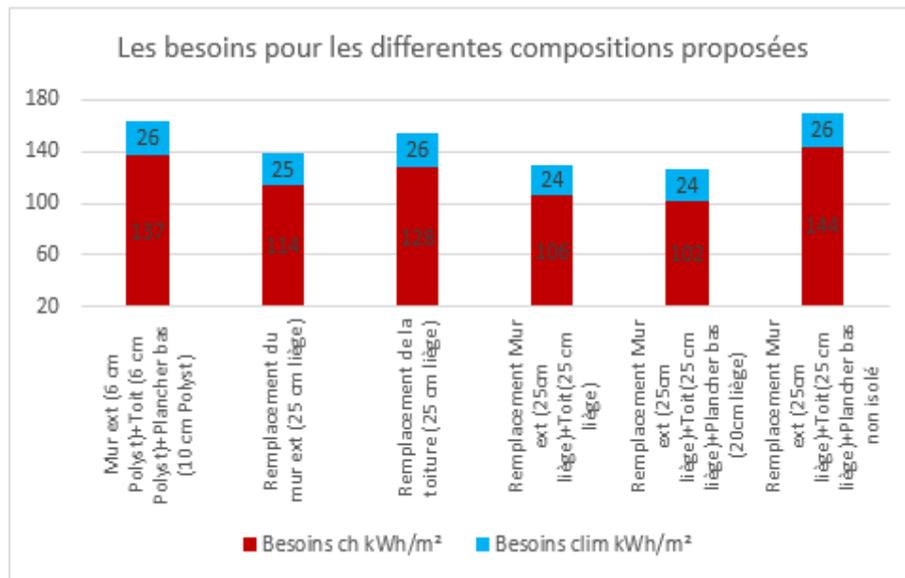


Figure 5.11: Les besoins en chauffage et climatisation pour les logements situés à Sétif

On constate que lorsque les murs extérieurs et la toiture sont isolés avec 25 cm de liège et le plancher bas isolé de 20 cm de liège nous réduisons les besoins en chauffage de 25% ; Par contre si nous isolons pas le plancher bas mais induisons une augmentation de 5% pour les besoins en climatisation.

Les figures (5.12) et (5.13) représentent respectivement les températures moyennes mensuelles pour le mois le plus chaud et le mois le plus froid dans les logements.

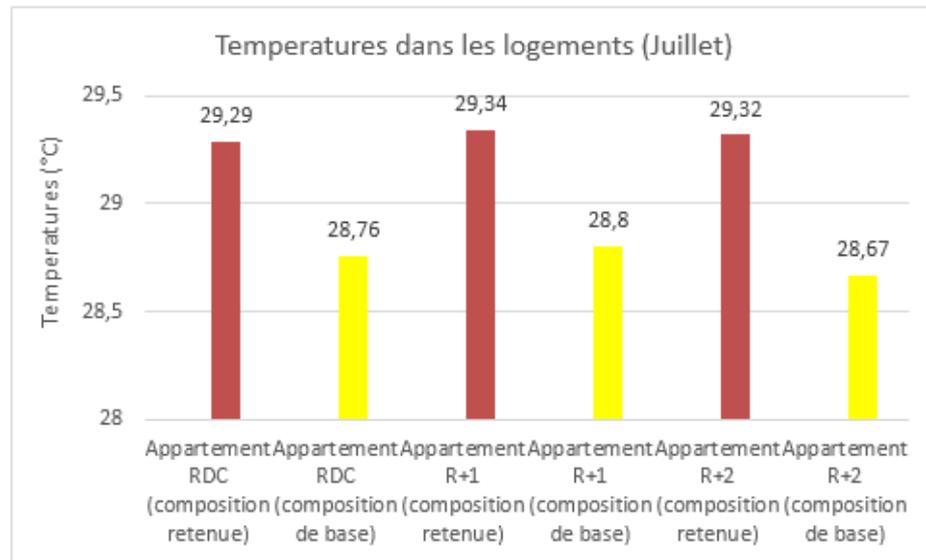


Figure 5.12: Températures moyennes dans les logements pour le mois de Juillet (Sétif)

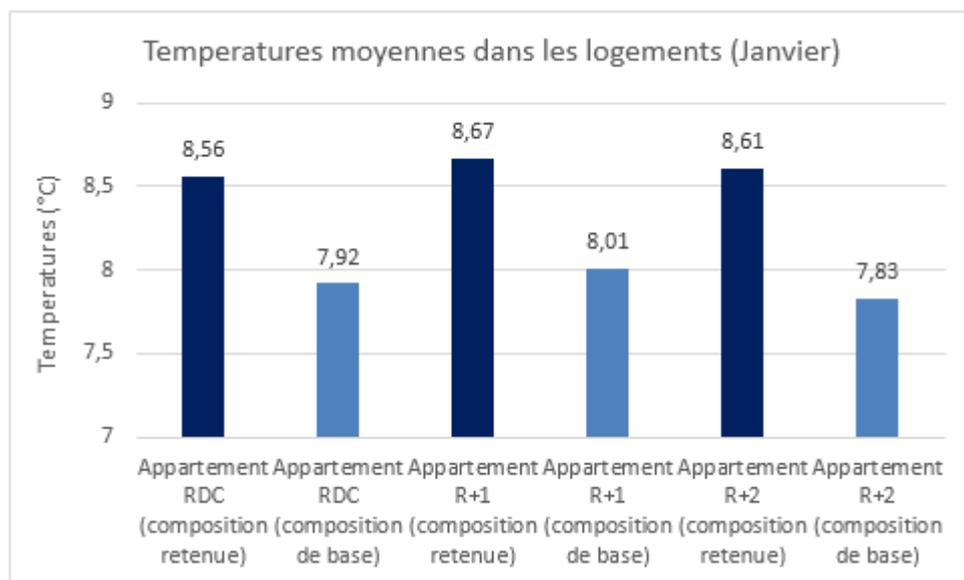


Figure 5.13: Températures moyennes dans les logements pour le mois de Janvier (Sétif)

Nous constatons que la composition retenue induit une hausse de températures moyennes dans les logements en été comme en hiver.

La composition qu'on propose est donc celle avec le mur extérieur et la toiture isolées avec 25 cm de liège chacun et le plancher bas isolé avec 20cm de liège.

Cette composition nous permet non seulement de remplacer totalement le polystyrène mais aussi un gain de 37% en besoins en chauffage et climatisation par rapport à la composition de base

5.4.2. Remplacement de la composition des parois (zone sud)

5-4-2-1-Le Logement situé à Béchar

On rappelle qu'avec la composition de base, les besoins en chauffage et climatisation sont respectivement 121 kWh/m² et 92 kWh/m² pour le logement situé à Béchar.

Nous avons procédé à plusieurs simulations en changeant la composition des parois (toiture, mur extérieur et plancher bas) en nous inspirant des constructions traditionnelles et qui ont prouvé leur efficacité.

Le tableau 5.1. Illustre les compositions proposées des différentes parois proposées pour le logement.

Tableau 5.1: Compositions proposées des différentes parois

Designation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/ (m.K)	R (m ² .K)/W
Mur Extérieur Brique de terre Variante1	1-Enduit à la chaux	0.015	0.700	0.02
	2-Mortier de terre+5% fibre de Palmier	0.02	0.390	0.05
	3- Bois de pétiole de palmier	0.05	0.058	0.86
	4- Brique de terre	0.50	0.760	0.66
	5-Platre courant	0.015	0.350	0.04
Mur Extérieur Brique de terre Variante2	1-Enduit à la chaux	0.015	0.700	0.02
	2-Brique de terre	0.50	0.760	0.06
	3-Platre courant	0.015	0.350	0.04
Toiture	1-Mortier de terre	0.10	0.500	0.20
	2-Bois de pétiole de palmier	0.05	0.058	0.86
	3-Bois de tronc de palmier	0.25	0.126	1.98

- 1- Nous avons commencé par proposer une composition de la toiture en bois de palmier (Tableau 5.1) telles les constructions traditionnelles au sud du pays, tout en respectant une épaisseur de 40cm. Nous constatons une nette amélioration en confort d'hiver vu que les besoins en chauffage passent à 52 kWh/m² par contre cette composition induit une augmentation en besoins de climatisation qui sont de 124 kWh/m².

- 2- Nous sommes ensuite intervenus sur le mur extérieur et nous avons simulé avec les deux variantes (mur extérieur en brique de terre avec isolation extérieure) et mur en brique de terre extérieure sans isolation (nous avons respecté l'épaisseur du mur usuelle dans la construction traditionnelle au sud de 50 à 60 cm).
- 3- Les résultats obtenus sont :
Mur extérieur (variante 1) : les besoins en chauffage sont 50kWh/m² et les besoins en climatisation sont 124kWh/m².
Mur extérieur (variante 2) : les besoins en chauffage sont 65kWh/m² et les besoins en climatisation sont 178kWh/m².
- 4- Il est clair que le mur extérieur isolé donne de meilleurs résultats. En gardant la toiture en palmier et le mur extérieur (variante1), nous nous sommes intéressés au plancher bas et nous avons supprimé l'isolant polystyrène. Les résultats obtenus montrent que la composition induit des besoins en chauffage et climatisation à respectivement 78kWh/m² et 151kWh/m². Nous a ensuite remplacé l'isolant polystyrène par 5 cm de bois de pétiole de palmier et les résultats obtenus sont plus intéressants puisque les besoins en chauffage baissent encore à 44kWh/m² mais les besoins en climatisation augmentent à 127kWh/m².

La figure (5.14) représente les besoins en chauffage et climatisation avec les différentes compositions proposées pour les différentes parois.

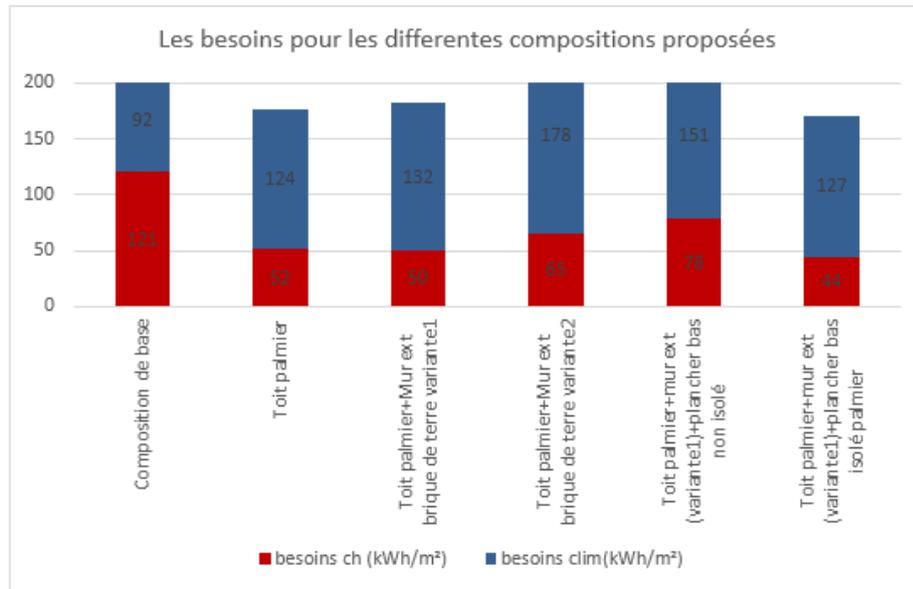


Figure 5.14: Les besoins en chauffage et climatisation pour les différentes parois proposées (Béchar)

La composition retenue est donc : Toiture en bois de palmier, mur extérieur en brique de terre (variante1) et plancher bas isolé au bois de palmier. Cette composition nous permet aussi de baisser les besoins énergétiques de 37 kWh/m² soit 19%. La figure (5.15) montre la variation annuelle des températures à l'intérieur des chambres des deux compositions. (Composition de base et composition retenue)

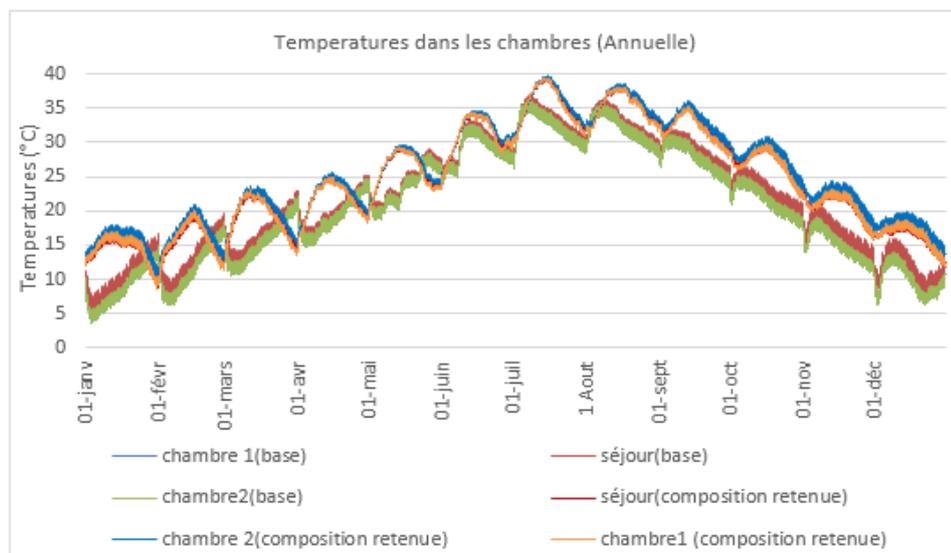


Figure 5.15: Comparaison entre les températures annuelles à l'intérieur des chambres (composition de base, composition retenue) (Béchar)

Pour comprendre le fait que les besoins en chauffage baissent et les besoins en climatisation augmentent nous nous sommes intéressé aux températures intérieures dans les chambres pour le mois le plus froid comme le montre la figure (5-12) et pour le mois le plus chaud comme le montre la figure (5-13).

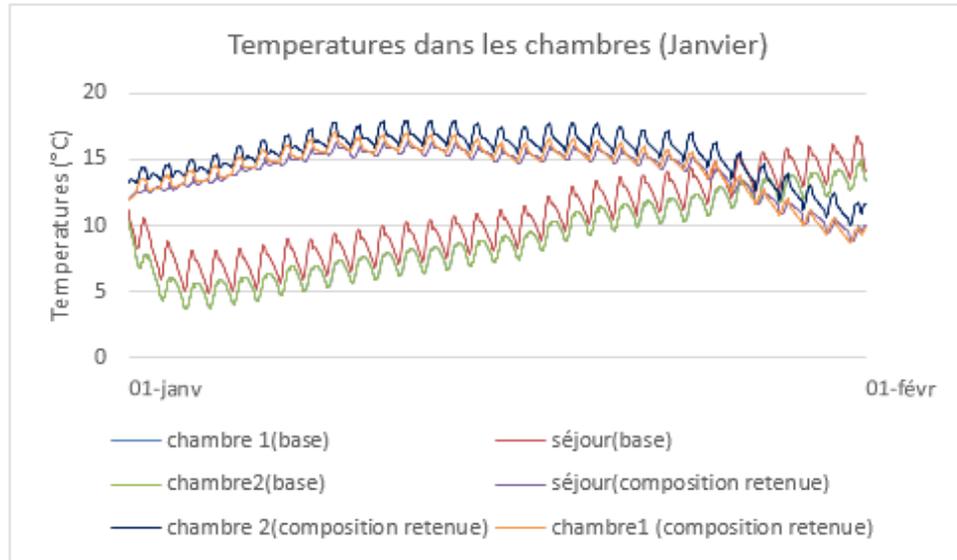


Figure 5.16: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour le mois de Janvier (composition de base, composition retenue) (Béchar)

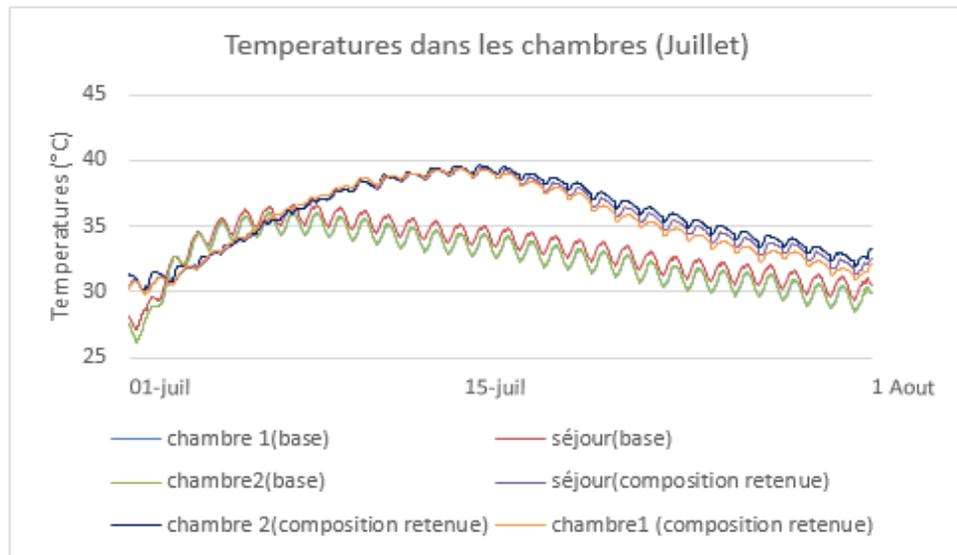


Figure 5.17: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour le mois de Juillet (composition de base, composition retenue) (Béchar)

On constate que l'effet de l'isolation augmente les températures considérablement en hiver ce qui apporte un meilleur confort hivernal puisque nous gagnons 62% en besoins.

Pour la période estivale comme le montre la figure (5.17) les températures augmentent et la température maximale dans le logement atteint les 39°C contre 37°C pour la composition de base soit 2°C de plus.

Les figures (5.18) et (5.19) représentent les températures à l'intérieur des logements pour la semaine la plus froide et la semaine la plus chaude respectivement.

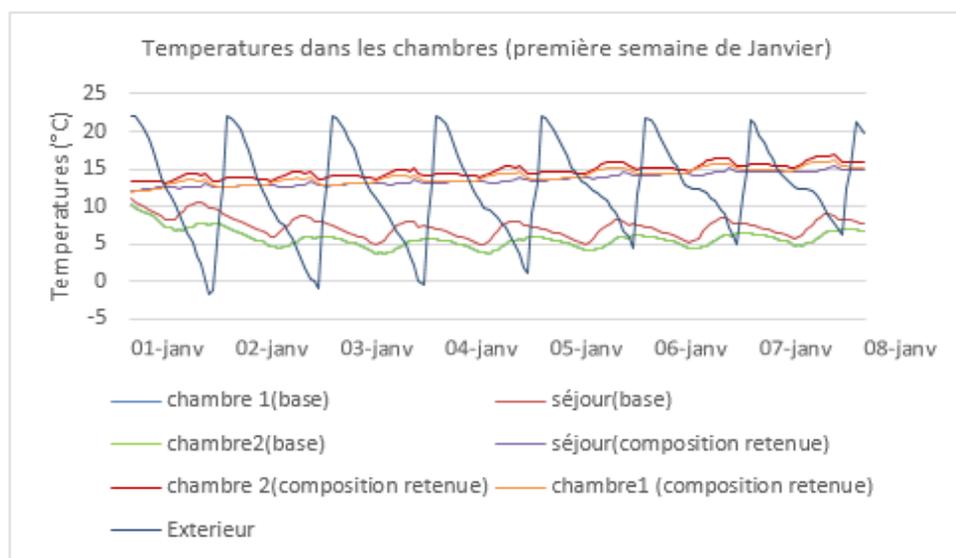


Figure 5.18: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour la première semaine de Janvier (composition de base, composition retenue) (Béchar)

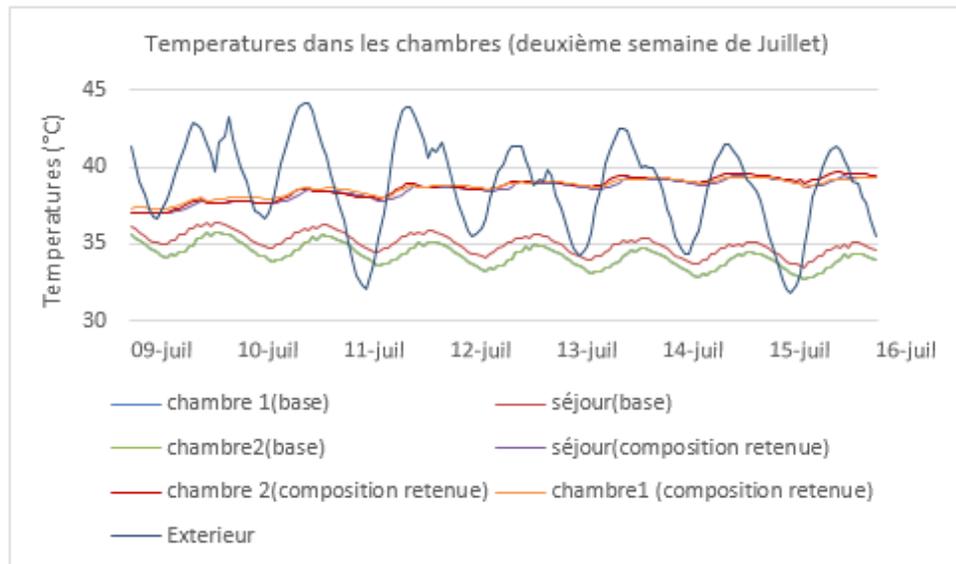


Figure 5.19: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour la deuxième semaine de Juillet (composition de base, composition retenue) (Béchar)

Les figures (5.18) et (5.19) permettent de constater que l'isolant limite les variations à l'intérieur des logements par rapport aux pics des températures extérieures

On illustre sur les figures (5.20) et (5.21) respectivement les variations des températures à l'intérieur des logements pour la journée la plus froide qui correspond au 3 Janvier et la plus chaude qui correspond au 9 Juillet.

Les figures montrent clairement l'effet de l'isolation et l'inertie du mur extérieur de la composition retenue par rapport à la composition de base. On constate que la température est maintenue presque constante dans le logement en dépit de la température extérieure. L'isolation et l'inertie ont permis de réduire considérablement les fluctuations des températures à l'intérieur des chambres

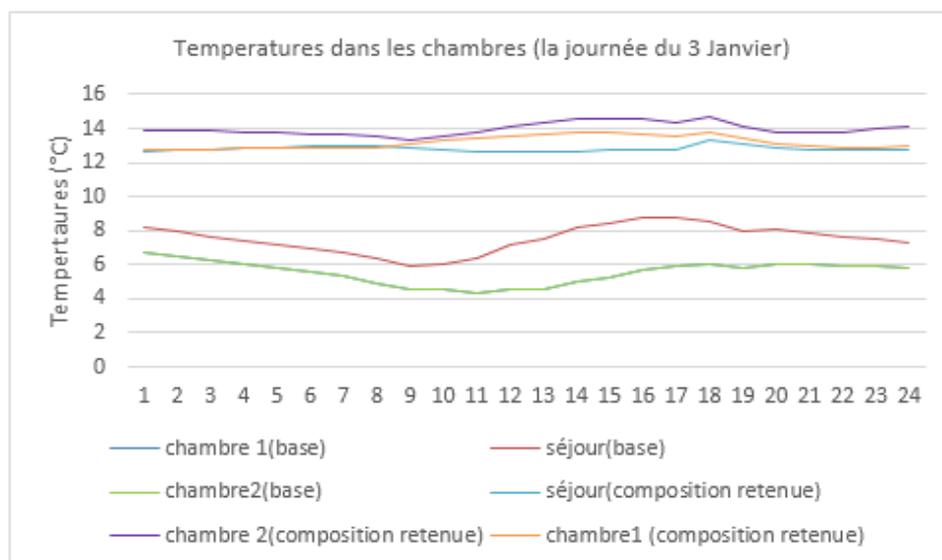


Figure 5.20: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour la journée du 3 Janvier (composition de base, composition retenue) (Béchar)

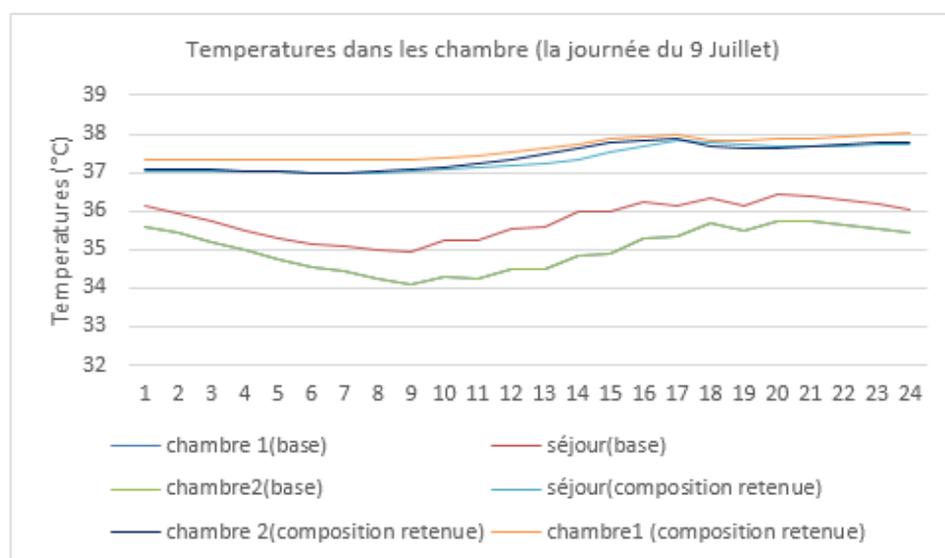


Figure 5.21: Comparaison entre les températures à l'intérieur des chambres pour la journée du 9 Juillet (composition de base, composition retenue) (Béchar)

La composition retenue induit en effet une hausse des températures en été de 3°C sans altérer au confort d'été mais assure un confort sensible en hiver avec une hausse des températures de 8°C.

En considérant un confort avec une limite supérieure de 28°C et une limite inférieure de 16°C nous passons d'un nombre d'heures d'inconfort se rapprochant des

2000h/an dans les chambres pour la composition de base à 0 h d'heures d'inconfort dans les chambres en changeant les compositions des parois et en adoptant la composition proposée.

En conclusion nous confirmer que l'intégration du liège comme alternative à l'isolant polystyrène est aussi efficace puisqu'elle induit un gain en besoins énergétiques de 20% et 37% respectivement pour les logements situés à Oran et Sétif et des besoins plus ou moins identiques à ceux obtenus avec la composition de base pour les logements situés à Blida. Aussi le recours à l'architecture traditionnelle au sud du pays pour le logement situé à Béchar et l'intégration de la brique de terre et du palmier dattier prouve son efficacité puisque nous obtenons avec la composition de l'enveloppe proposée un gain en besoins de chauffage de 62% ce qui est considérable et induit une réduction de 19% de l'ensemble des besoins énergétiques nécessaires pour chauffer et rafraichir le logement même si une augmentation de 38% est observée pour les besoins en climatisation avec un confort assuré puisque le taux d'inconfort sur la plage de températures $16^{\circ}\text{C} < T_{\text{int}} < 28^{\circ}\text{C}$ reste nul.

CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail nous avons étudié l'intégration des systèmes solaires dans les bâtis à haute performance énergétique situés à Oran, Blida, Sétif et Béchar ou chaque région représente une zone climatique différente A, B, C et D respectivement. Ce projet fait partie d'un programme lancé par les autorités comme une opération démonstrative et une opportunité de diffusion à l'échelle nationale des pratiques soucieuses de la maîtrise de la consommation d'énergie.

La détermination des besoins en chauffage et climatisation pour les bâtiments situés dans chaque zone s'est faite sous le logiciel Pléiades-COMFIE en fonction d'un scénario d'occupation prédéfini et en tenant compte de la moyenne nationale, de la taille des ménages pour chaque région et des caractéristiques climatiques de chaque site d'implantation. Des scénarios de ventilation nocturne et de dissipation d'énergie ont été aussi considérés pour les besoins de la simulation.

Les résultats obtenus montrent clairement que la performance énergétique est atteinte en été pour les logements situés au nord du pays (Oran et Blida) et les hauts plateaux (Sétif) puisque les besoins en climatisation sont au-dessous du seuil de 50 kWh/m² considéré comme indicateur de la performance énergétique. L'indicateur sur les consommations d'énergie par m² par an, bien qu'étant un indicateur pertinent, ne suffit pas à caractériser la performance énergétique du bâtiment et donc doit être mis en rapport avec les conditions d'utilisation du bâtiment. Il est clair d'après nos résultats que les habitudes des occupants influent sur la consommation énergétique. En adoptant par exemple une consigne de climatisation de 27°C, qui permettra toujours d'assurer une sensation de confort à l'intérieur des logement lors des fortes chaleurs, au lieu de 24°C permet de diminuer de 47,6 %, 56% et 53,8% respectivement des besoins en climatisation pour les logements situés à Oran ,Blida et Sétif. Pour le logement de Bechar en plus d'adopter une consigne à 27°C qui baisse les besoins en été de 44,5% et qui lui permettrait d'être au-dessous du seuil considéré, l'intervention de l'occupant en l'absence d'un système de climatisation sur l'ouverture des fenêtres en été, la nuit permet une ventilation qui favorise une baisse de températures à l'intérieur des chambres de 2,2°C.

Par contre l'enveloppe des bâtiments n'assurent pas le confort de l'occupant en hiver puisque les besoins en chauffage atteignent les 53 kWh/m², 100 kWh/m², 137 kWh/m² et 121 kWh/m² pour les logements situés à Oran, Blida, Sétif et Béchar et même en considérant l'énergie dissipée par les équipements les besoins restent au-dessus du seuil de l'indicateur des performances énergétiques (50 kWh/m²) pour les logements situés à Blida, Sétif et Béchar avec des besoins qui atteignent respectivement 81 kWh/m², 101 kWh/m² et 93 kWh/m². Ceci montre clairement qu'il est nécessaire d'intégrer un système de chauffage pour assurer le confort de l'occupant en cette période froide.

La faisabilité et la viabilité de l'intégration des systèmes solaires de chauffage d'eau et de l'habitat dans les logements à haute performance énergétique en Algérie ont été étudiées tant d'un point de vue énergétique qu'économique. Tout d'abord, le calcul énergétique a révélé des valeurs élevées très prometteuses de la fraction solaire mensuelle F_k dans presque toutes les régions étudiées qui, en fonction de la localisation et des besoins énergétiques, permettent de couvrir de 45% à 100% des besoins en eau chaude solaire et de 20% à 70% des besoins en chauffage de l'habitat. Cependant, l'étude économique a montré que la surface optimale du capteur S_{op} qui minimise le coût de l'installation solaire est fortement influencée à la fois par le coût du capteur et le coût de l'énergie conventionnel, respectivement P_c et P_f . En effet, S_{op} augmente avec un P_f croissant et inversement diminue avec un P_c croissant. En particulier, il a également été montré la présence d'une valeur de seuil de P_f en dessous de laquelle l'énergie solaire ne peut jamais concurrencer l'énergie conventionnelle. Plus la valeur de P_c est petite, plus la valeur seuil de P_f requise pour la faisabilité du système solaire est petite. Dans l'ensemble, les résultats indiquent clairement qu'une augmentation de P_f associée à une diminution de P_c entraîne une plus grande compétitivité de l'énergie solaire par rapport à l'énergie conventionnelle avec la possibilité d'investir dans des surfaces de captation optimales S_{op} plus grandes. Dans le contexte Algérien, cette situation pourrait être réalisée par la mise en place d'une nouvelle politique de financement consistant à supprimer la politique de subvention de l'énergie conventionnelle mise en œuvre depuis plusieurs décennies et la remplacer par une nouvelle politique de subventionnement sur le coût du capteur solaire. Pour les valeurs des paramètres utilisés dans notre étude, les résultats en ce qui concerne l'approvisionnement en eau chaude solaire, ont

révélé qu'une telle politique de financement pourrait aider à économiser jusqu'à 46% d'énergie conventionnelle dans les régions du nord et autour de 57% dans les régions du sud avec une économie sur les coûts d'exploitation annuels du système solaire d'environ 51% et 69% respectivement. Cela rendra sans aucun doute l'investissement dans l'énergie solaire économiquement rentable en Algérie. En ce qui concerne le chauffage de l'habitat les choses sont plus difficiles puisque la rentabilité de l'énergie solaire n'est achevée qu'à la condition d'une augmentation considérable du prix de l'énergie conventionnelle. Pour les valeurs choisies dans notre étude l'économie d'énergie conventionnelle atteint 20% dans les régions du nord et autour de 30% dans les régions sud avec une économie sur les coûts d'exploitation annuels du système solaire du même ordre.

Enfin, il convient de mentionner que la méthode d'optimisation utilisée dans cette étude est limitée par des valeurs fixes du taux d'intérêt annuel r et du nombre d'années de paiements n qui sont imposés par un régime rigide du crédit à la consommation nationale. De plus, la majeure partie des matériaux nécessaires à la réalisation de l'installation des systèmes solaires de chauffage d'eau ne sont pas produits localement. Par conséquent, leurs coûts ne sont pas fixes et fluctuent en fonction du taux de change international. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires et par conséquent une augmentation du coût d'installation du système solaire. Aussi, il est vrai que les résultats d'optimisation obtenus dans cette étude facilitent notre prise de décision concernant la conception de l'installation solaire et assurent théoriquement un fonctionnement optimal du système solaire. Cependant, les calculs théoriques doivent être vérifiés et confirmés expérimentalement à travers une phase préliminaire de contrôle et de surveillance avant de choisir une conception d'installation finale.

L'Algérie qui a ratifié la convention internationale visant à interdire l'utilisation de l'isolant polystyrène, se doit de se tourner vers des solutions naturelles et respectueuses de la santé et de l'environnement comme les isolants minéraux et végétaux exempts de polluants chimiques. Notre pays heureusement dispose d'une multitude de matériaux végétaux comme le liège et le palmier dattier. Dans ce travail nous avons essayé de valoriser ces matériaux dans les constructions étudiées, en proposant le liège en remplacement à l'isolant polystyrène. Le liège isolant propre de grande qualité est disponible au nord du pays et constitue la priorité dans le plan de

reboisement lancé par l'Algérie pour la protection, la valorisation et le développement des ressources naturelles rentrant dans le cadre du développement durable. Cette action accroîtra sa disponibilité dans les années à venir.

Pour les bâtiments situés aux nord et hauts plateaux : Oran, Blida et Sétif nous avons remplacé l'isolant existant par le liège pour toutes les parois considérées (mur extérieur, toiture et plancher bas quand nécessaire) et nous avons calculé les épaisseurs optimales de l'isolant. Mis à part les logements situés à Blida où la nouvelle composition induit des besoins équivalents pratiquement à la composition de base, les compositions proposées pour les logements situés à Oran et Sétif nous permettent de gagner environ 20% et 37% des besoins totaux de chauffage et climatisation respectivement. Il en résulte que l'intégration du liège semble une solution idéale de substitution à l'isolant utilisé actuellement. Toutefois, une analyse technico-économique devrait compléter cette analyse thermique pour conforter les résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

Aussi, il est important d'avoir recours aux matériaux locaux et à l'héritage architectural au sud du pays. Des économies importantes pourront être faites par rapport à la construction actuelle, le coût de l'isolant polystyrène souvent utilisé en plus de ne pas être écologique revient plus cher (coût du transport). Pour le logement situé à Béchar, l'intégration d'une toiture en bois de palmier dattier d'une épaisseur de 40 cm et l'intégration d'un mur extérieur d'une épaisseur de 60 cm composé de brique de terre. Cette enveloppe nous a permis, grâce à l'effet de l'inertie du mur et de l'isolation, une réduction en besoins de chauffage de 62% puisque nous passons de 121 kWh/m² avec la composition de base à 44 kWh/m² avec notre nouvelle composition. Cet effet de l'inertie et de l'isolation qui agit de la même manière en hiver comme en été et qui stocke la chaleur toute l'année a aussi induit des besoins en climatisation qui passent de 92 kWh/m² à 127 kWh/m². Avec la nouvelle composition nous obtenons une stabilisation remarquable durant la journée des températures à l'intérieur des chambres malgré les variations des températures extérieures. Cette composition reste néanmoins assez performante puisque par rapport à la composition de base nous avons une réduction de 19% des besoins énergétiques totaux du logement. Nous recommandons néanmoins de rechercher des matériaux autres que le bois du tronc de palmier et aussi efficace pour la composition de la toiture si nous prévoyons des constructions de haute performance

énergétique à grande échelle. En effet, le tronc de palmier est considéré comme la partie non renouvelable du palmier dattier qui peut atteindre plus de 100 ans d'âge. La solution que nous avons proposée est donc applicable pour des bâtisses individuelles à petite échelle tant que le tronc du palmier est disponible.

L'intégration des matériaux locaux est donc plus que nécessaire pour maîtriser les coûts et économiser de l'énergie dans nos constructions. L'enjeu étant principalement économique limitant ainsi le recours aux matériaux importés et renforçant l'entrepreneuriat local et la création d'emplois non délocalisables.

REFERENCES

- [1] Bilan énergétique national 2016 (Edition 2017).Ministère Algérien de l'énergie.
<http://www.energy.gov.dz>
- [2] Consommation Énergétique finale en Algérie. Chiffres clés Année 2015. (Edition 2017). Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie. APRUE.<http://www.aprue.org.dz>
- [3]Energies nouvelles, renouvelables et maitrise de l'énergie. Ministère Algérien de l'énergie .<http://www.energy.gov.dz>
- [4]Bachir Senouci. Energies Renouvelables en Algérie. Quelles perspectives ? Edition Fondation Friedrich Ebert. Alger 2012.<http://www.fes-alger.org>
- [5]M.Chabi. Etude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'Zab. Cas du ksar Tafilelt. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. Juin 2009.
- [6] B.Fezzioui et al. Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien. Revue des Energies Renouvelables. Volume 11.N°1(2008)
- [7] S.Sami-Mecheri, D.Semmar, A.Hamid. Simulation and comparison of energy requirements of a conventional housing, a HEP housing and a reinforced insulation housing: Application to the region of Tamanrasset (Algeria). Entech '13 energy Technologies Conference.Istanbul-Turkey.26-28 December 2013.
- [8] S.S. Chandel, Aniket Sharma, Bhanu M. Marwaha. Review of energy efficiency initiatives and regulations for residential buildings in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54 (2016) 1443-1458.
- [9] W. A. Friess, K. Rakhshan. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. Renewable and Sustainable Energy Reviews 72(2017) 485-496.
- [10] Samar Jaber, Salman Ajib. Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region. Energy and Buildings 43(2011) 1829-1834.

- [11] Comakli K, Yüksel B. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering* 2003; 23:473–9.
- [12] Jinghua Y, Changzhi Y, Liwei T. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China. *Energy and Buildings* 2008; 40:1536–46.
- [13] Omer Kaynakli. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012)415-425
- [14] Ucar A, Balo F. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Appl Energy* 2009; 86:730–6.
- [15] Ucar A, Balo F. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renew Energy* 2010; 35(1):88–94.
- [16] Kaynakli O. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renew Energy* 2008; 33:1164–72.
- [17] Bolatturk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Build Environ* 2008; 43(6):1055–64
- [18] Yu J, Yang C, Tian L, Liao D. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Appl Energy* 2009; 86:2520–9.
- [19] Mahlia TMI, Taufiq BN, Ismail, Masjuki HH. Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy Build* 2007; 39:182–7.
- [20] Al-Khawaja MJ. Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation. *Appl Therm Eng* 2004; 24:2601–10.

- [21] Daouas N, Hassen Z, Aissia HB. Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia. *Appl Therm Eng* 2010; 30:319–26
- [22] Moncef Krarti, Kankana Dubey, Nicholas Howarth, Evaluation of Building Energy Efficiency Investment Options for the Kingdom of Saudi Arabia, *Energy* (2017), doi: 10.1016/j.energy.2017.05.084
- [23] M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias, “Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece”, *Energy* 32 (2007) 1781–1788.
- [24] Zhai, XQ; Wang, RZ; Dai, YJ ; Wu, JY; Ma, Q. Experience on integration of solar thermal technologies with green buildings. *Renewable energy* (2008)
- [25] Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Dan Liao, « Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China”, *Applied Energy* 86 (2009) 1970–1985.
- [26] R. Pacheco, J. Ordóñez, G. Martínez. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012)3559-3573.
- [27] Aksoy UT, Inalli M. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Building and Environment* 2006;41: 1742–54.
- [28] Wang W, Rivard H, Zmeureanu R. Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics* 2006;20:363–78.
- [29] Ekici BB, Aksoy UT. Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS. *Expert Systems with Applications* 2011;38:5352–8.
- [30] Florides GA, Tassou SA, Kalogirou SA, Wrobel LC. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Applied Energy* 2002;73:299–328.
- [31] Mingfang T. Solar control for buildings. *Building and Environment* 2002;37:659–64.

- [32] Morrissey J, Moore T, Horne RE. Affordable passive solar design in a temperate climate: an experiment in residential building orientation. *Renewable Energy* 2011;36:568–77.
- [33] Gupta R, Ralegaonkar RV. Estimation of beam radiation for optimal orientation and shape decision of buildings in India. *Architectural Journal of Institution of Engineers India* 2004;85:27–32.
- [34] Long Enshen, Xiao Yimin, « Identifications: the relative increase rates of cooling or heating energy consumption are approximate in different cities with the same increase of ventilation rate », *Building and Environment* 40 (2005) 497–505.
- [35] F. Calise, A. Palombo and L. Vanoli, “Maximization of primary energy savings of solar heating and cooling systems by transient simulations and computer design of experiments”, *Applied Energy* 87 (2010) 524–540.
- [36] A. Allouhi , A. Jamil, T. Kousksou , T. El Rhafiki , Y. Mourad , Y. Zeraouli. Solar domestic heating water systems in Morocco: An energy analysis. *Energy Conversion and Management* 92(2015)105-113.
- [37] Hüseyin Benli. Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54(2016) 99-109.
- [38] Thiago P. Lima, Jose Carlos C. Dutra, Ana Rosa M. Primo, Janardan Rohatgib, Alvaro Antonio V. Ochoa. Solar water heating for a hospital laundry: A case study. *Solar energy* (2016) 99-109.
- [39] Dapeng Li, Shengming Liao. An integrated approach to evaluate the performance of solar water heater in the urban environment. *Energy and Buildings* 69(2014) 562-571.
- [40] P.D. Lund, « Sizing and applicability considerations of solar combisystems”, *Solar Energy* 78 (2005) 59–71.
- [41] J Benoni Arruda Lima, R T.A. Prado, V M Taborianski, “Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program », *Renewable Energy* 31 (2006) 1581–1595

- [42] S. Jaisankar, J. Ananth, S. Thulasi , S.T. Jayasuthakar , K.N. Sheeba. A comprehensive review on solar water heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2011)3045-3050.
- [43] A. Jamar, et al., A review of water heating system for solar energy applications, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>.
- [44] Oussama Ibrahim, Farouk Fardoun, Rafic Younes, Hasna Louahlia-Gualous. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. *Building and environment* 72(2014)259-286.
- [45] X.Q. Zhai, R.Z. Wang, Y.J. Dai, J.Y. Wu, Y.X. Xu, Q. Ma, “Solar integrated energy system for a green building”, *Energy and Buildings* 39 (2007) 985–993.
- [46] V. Badescu, B. Sicre, Renewable energy for passive house heating, II. Model, *Building and Energy* 35 (2003) 1085–1096.
- [47] Viorel Badescu, Mihail Dan Staicovici. Renewable energy for passive house heating Model of the active solar heating system. *Energy and Buildings* 38 (2006) 129–141.
- [48] Soteris A. Kalogirou. Environmental benefits of domestic solar Energy systems. *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 3075–3092.
- [49] Gülten Manioglu and Zerrin Yılmaz, “Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort”, *Energy and Buildings* 38 (2006) 266–272.
- [50] Ursula Eicker, “Cooling strategies, summer comfort and energy performance of a rehabilitated passive standard office building”, *Applied Energy* 87 (2010) 2031–2039
- [51] J. Miriel, L. Serres, A. Trombe. Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions, *Applied Thermal Engineering* 22(2002) 1861-1873.

[52] Ucar, A ; Inalli, M. Thermal and economic comparisons of solar heating systems with seasonal storage used in building heating .Renewable energy 33 (2008) p 2532-2539

[53]F. Calise, A. Palombo and L. Vanoli, “Maximization of primary energy savings of solar heating and cooling systems by transient simulations and computer design of experiments”, Applied Energy 87 (2010) 524–540.

[54]Oguz Bozkır, Suat Canbazoglu, « Unsteady thermal performance analysis of a room with serial and parallel duct radiant floor heating system using hot airflow» Energy and Buildings 2004; 36: 579–586

[55]Xing Jin, Xiaosong Zhang, Yajun Luo, « A calculation method for the floor surface temperature in radiant floor system» Energy and Buildings 2010; 42: 1753–1758.

[56] Patxi Hernandez, Paul Kenny, “Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 170– 177

[57] X.Q. Zhai, R.Z. Wang, Y.J. Dai, J.Y. Wu, Y.X. Xu, Q. Ma. Solar integrated energy system for a green building. Energy and Buildings 39 (2007) 985–993.

[58] Nurdil Eskin , Hamdi Turkmen .Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey.. Energy and Buildings 40 (2008) 763–773.

[59] Ming Qu , Hongxi Yin, David H. Archer. A solar thermal cooling and heating system for a building: Experimental and model based performance analysis and design. Solar Energy 84 (2010) 166–182.

[60] Hoy-Yen Chan, Saffa B. Riffat, Jie Zhu .Review of passive solar heating and cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 781–789

[61] B.Greening, A. Azapagic. Domestic solar thermal water heating: A sustainable option for the UK? Renewable Energy 63(2014) p 23-26.

- [62] S. Kalogirou .Solar water heating in Cyprus: status of technology and problems. Renewable Energy 10 (1997). p107-112
- [63] M.M.Sorour, A.A Ghoneim. Feasibility study of solar heating and cooling systems at different localities in Egypt. Renewable Energy 5 (1994) .p 489-491.
- [64] B.G.Akinoglu, A.M.Shariah, A.Ecevit. Solar domestic water heating in turkey. Energy Vol.24 (1999)363-374.
- [65] D.Diakoulaki, A.Zervos,J.Sarafidis,S.Mirasgedis. Cost benefit analysis for solar water heating system. Energy conversion and management Vol.42 (2001)1727-1739.
- [66] M.Hazami, N.Naili,I.Attar, A.Farhat. Solar water heating systems feasibility for domestic requests in Tunisia: thermal potential and economic analysis. Energy conversion and management Vol.76 (2013)599-608.
- [67] M.R.Abou-Zeid, M.N.Hawas. Economic evaluation and optimization of solar systems for space and domestic water heating. Energy conversion and management Energy conversion and management. Vol.23 (1983)251-256.
- [68] M.N.A.Hawladar, K.C.NG,T.T.Chandratilleke, D.Sharma and Kelvin Koay H.L. Economic evaluation, of a solar water heating system. . Energy conversion and management. Vol.27 (1987)197-204.
- [69] C. Dennis Barley and C. Byron Winn. Optimal sizing of solar collectors by the method of relative areas. Solar Energy (1978) volume 21. P 279 - 289
- [70] M.J. Brandemuehl, W.A. Beckman. Economic evaluation and optimization of solar heating systems. Solar Energy Vol.23 (1979)1 -10.
- [71] P J. Lunde. Simplified approach to economic analysis of solar heating and hot water systems and conservation measures. Solar Energy Vol.28 (1982)197 -203.
- [72] P R. Barnes .The optimization of solar heating systems. Solar Energy. Vol. 26 (1981) 375—376.

[73] K.Chang, A.Minardi. An optimization formulation for solar heating systems. Solar Energy. Vol.24 (1980)99-103.

[74] Nikoofard Sara, Ismet Ugursal V, Beausoleil, Morrison Ian. An investigation of the techno economic feasibility of solar domestic hot water heating for the Canadian housing stock. Solar Energy 2014; 101 P308–320.

[75] Abd-ur-Rehman Hafiz M, Al-Sulaiman Fahad A. Optimum selection of solar water heating (SWH) systems based on their comparative techno-economic feasibility study for the domestic sector of Saudi Arabia. Renew Sustain Energy Rev 2016;62 P336–349

[76] Martinopoulos Georgios, Tsalikis Georgios. Active solar heating systems for energy efficient buildings in Greece: a technical economic and environmental evaluation. Energy Build 2014; 68 P130–137.

[77] A.H. Al-Badi, M.H. Albadi. Domestic solar water heating system in Oman: status and future prospects. Renew Sustain Energy Rev 2012; 16 P5727-5731.

[78] Hazami Majdi, Kooli Sami, Naili Nabiha, Farhat Abdelhamid. Long-term performances prediction of an evacuated tube solar water heating system used for single-family households under typical Nord-African climate (Tunisia). Sol Energy 2013; 94: 283–298.

[79] Abhishek Gautam, Sunil Chamoli, Alok Kumar, Satyendra Singh. A review on technical improvements, economics feasibility and world scenario of solar water heating system. Renew Sustain Energy Rev 2017 ; 68 P 541-562.

[80] Atlas Encyclopedia. Larousse Edition 2014

[81] S.Sami Mecheri .Optimisation des surfaces de captation pour le chauffage d'eau sanitaire. Thèse de magister .Département Mécanique .Université Saad Dahlab Blida. Mars 2004.

[82] M.Khodja. Evaluation de la consommation énergétique des logements HPE de Tamanrasset .Mémoire de magister. Département de mécanique .université Saad Dahlab Blida. Juin 2012.

[83] Indicateurs de maîtrise de l'énergie dans les pays de la rive sud de la Méditerranée. Rapport final de l'Algérie. Agence nationale de la promotion et rationalisation de l'énergie APRUE 2011.

[84] C.Chitour La stratégie énergétique de l'Algérie. Janvier 2012.

[85] S. Sami-Mecheri, D. Semmar et A. Hamid. Efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique, 'HPE' : Application au site de Béchar. Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°2 (2012) 357 - 364

[86] Rapport. Recensement 2008 .Office national des statistiques ONS.

[87] M.Idir. Conception d'un logement à base de matériaux localement disponibles. Rapport interne CNERIB Ministre Algérien de l'habitat.2010.

[88] T. Moussaoui. Les techniques et les matériaux de construction en Algérie. Rapport interne CDER. Décembre 2014.

[89] C.-A. Sénit. L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques dans les PSEM, Iddri – Idées pour le débat N° 14/2008.

[90] S. Sami-Mecheri, D. Semmar et A. Hamid, Efficacité Energétique dans le Bâtiment : Expérience Algérienne. 2ième Congrès de l'Association Marocaine de Thermique, 18 - 19 Avril 2012, Casablanca, Maroc

[91] S. Sami-Mecheri, D. Semmar et A. Hamid. Efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique, 'HPE' : Application au site de Béchar. Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°2 (2012) 357 - 364

[92] DTR (document technique réglementaire) C3.2 : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : Règles de calcul des déperditions calorifiques .CNERIB 2007.

[93]Nadji Mohamed Amine. Réalisation d'un éco-quartier. Mémoire de magister. Université d'Oran. Avril 2015.

[94] L.Idir .Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie. Mémoire de magister .Université mouloud Mammeri Tizi Ouzou 2013.

[95] Hamid Benouali. La réglementation technique Algérienne de construction avec les matériaux locaux. Festival Architerre 2015.

[96] <https://fr.wikipedia.org/wiki/kabylie>

[97] Tiffrent Fayçal. Etude analytique analytique de l'habitation traditionnelle Aurassienne (cas de MENAA).Universit2 Larbi Tebesi.Tebessa.2016.

[98] Tafilelt.com/site/

[99] Samira Haoui, Samia Chergui. Terre, pierre et bois dans l'architecture vernaculaire des Aurès et des Zibans : des matériaux à usage complémentaire. J. Mater. Enviro. Sci (JMES) 7(10) (2016) p.3667-3676.

[100] K.Imessad. Efficience énergétique dans le secteur du bâtiment en méditerranée

Projet de coopération CDER-CNERIB & MED-ENEC. Bulletin des Energies Renouvelables, Publication du Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Semestriel N° 11 Juin 2007.

[101] R.Kharchi. Performance d'un habitat bioclimatique dans la région d'Alger", conférence plénière présentée à la Journée d'étude sur la lumière solaire et ses implications dans le développement durable, USTHB 12 mai 2015.

[102] Kharchi R, Benyoucef B and Belhamel M, « Influence of passive solar gains on the energy consumption of a typical house in Algiers » Revue des Energies Renouvelables Vol.14 N°3 (2011) 417 – 425.

[103] Kharchi R, Benyoucef B, Bartosiewicz Y, Seynhave JM and Hemidi A, « The Effect of Solar Heating Gain on Energetic Thermal Consumption of Housing », *Procedia Engineering* 33 (2012) 485 – 491.

[104] Kharchi R, Benyoucef B, Mokhtari F, Imessad K “Dynamic Simulation of both Thermal and Energetic Behavior for Dwellings Located in Algiers”, *Journal of Earth Science Climate Change* (2012) 3:122.

[105] K. Imessad, L. Derradji, N.Ait Messaoudene , F. Mokhtari , A. Chenak , R. Kharchi Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate. *Renewable energy* 2014 (71) p 589-597

[106] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani, M.R. Yaiche, N. Benamrane. Influence of the compactness index to increase the internal temperature of a building in saharien climate. *Energy and Buildings*, Volume 66, November 2013, Pages 678-687.

[107] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R. Yaiche, M.K. Cherier, M. Hamdani, F. Chellali. Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves. *Energy and*

[108] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani, N. Benamrane, M.R. Yaiche. Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures. Case of building located in Ghardaia region. *Construction and Building Materials*, Volume 52, 15 February 2014, Pages 59-70.

[109] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M.K. Cherier, M.R. Yaiche, N. Benamrane. Judicious choice of the building materials and their effect upon the interior temperatures. Case of building located in Ghardaia region. *Journal of Building Engineering*, Volume 1, March 2015, Pages 42-52

[110] M. Missoum, A. Hamidat, K. Imessad, S. Bensalem, A. Khoudja. Impact of a grid connected PV system application in abioclimatic house toward the zero energy status in the north of Algeria. *Energy and Buildings, Volume 128, 15 September 2016, Pages 370-383*

[111] M. Missoum, A. Hamidat, L. Loukarfi, K. Abdeladim. Impact of rural housing energy performance improvement on the energy balance in the north- west of Algeria. *Energy and Buildings, Volume 85, December 2014, Pages 374-388*

[112] S. Bahria, M. Amirat, A. Hamidat, M. El Ganaoui, M. Slimani. Parametric study of solar heating and cooling systems in different climates of Algeria. A comparison between conventional and high-energy-performance buildings. *Energy. Vol.113. (2016) 521-535.*

[113] A.Limam, A.Zerizer, D.Quenard, Sallee, A.Chenak. Experimental thermal characterization of bio-based materials (Aleppo pine wood, cork and their composites) for building insulation. *Energy and building 116(2016) 89-95.*

[114] F. Touloum, A. Younsi, A. Kaci, A. Benchabane. Formulation d'un composite bois de palmier dattier-ciment. *J. Appl. Eng. Sci. Technol. (2016) 2(2): 57-63*

[115] S.Abani, F.Hafsi. , A. Kriker, A.Bali. Valorisation of Date Palm Fibres in Sahara Constructions. *Energy Procedia 74 (2015) 289 – 293*

[116] S. Abani, A. Kriker, A. Bali. Effect of curing and mix design types on performance of date palm fibres reinforcement concrete under hot dry environment. IIBCC, 11th Int lorganic-Bonded Fiber composites Conference. November 5-7, 2008, Madrid, Spain.

[117] K. Almi, A. Benchabane, S. Lakel, A. Kriker .Potential utilization of date palm wood as composite reinforcement. *Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2015. DOI: 10.1177/0731684415588356.*

- [118] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and Buildings* 43(2011) 491-497.
- [119] T. Masri, H. Ounis, L. Sedira, A. Kaci, A. Benchabane. Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. *construction and building materials*.164 (2018)410-418.
- [120] A. Oushabi, S. Sair, Y. Abboud, O. Tanane, A. EL Bouari. Natural thermal-insulation materials composed of renewable resources: characterization of local date palm fibers (LDPF). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (12) (2015) 3395-3402.
- [121] A. Braiek, M. Karkri, A. Adili, L. Ibos, S. Ben Nasrallah. Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. *Energy and Building* 140(2017)268-279.
- [122] S. Selmi. Matériaux locaux et développement durable. Cas de la brique de terre comprimée appliquée au sud. Mémoire de magister. Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme. Juin 2012.
- [123] S. Hakkoum. Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya d'Ouargla. Mémoire de magister. Université KASDI MERBAH – Ouargla. Mai 2015.
- [125] A. Mekhermeche. Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksour sahariennes. Mémoire de magister. Université d'Ouargla. 2012.
- [126] S. Benmessaoud. Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset. Mémoire du diplôme de spécialisation et d'approfondissement- Architecture de Terre DSA- septembre 2006.
- [126] Crawley D., J. Hand, Kummert M., Griffith G. (2005) « Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs Version 1.0 », United-States Department of Energy, University of Strathclyde, and University of Wisconsin (2005).

[127] Salomon T., Mikolasek., Peuportier.B. «Outil de simulation thermique du bâtiment, Comfie » Journée thématique SFT-IBPSA (2005).

[128] Manuel- Algorithme pleiade-2014.

[129] Beranger Favre. "Etude de stratégies de gestion énergétique des bâtiments par l'application de la programmation dynamique». Ecole des mines de Paris. These de doctor at (2013).

[130]Peuportier B., Blanc-Sommereux I. « Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings» International Journal of Sustainable Energy, vol 8, issue 2, p. 109-120. (1990).

[131] Bacot.P. Analyse modale des systèmes thermiques. Thèse de doctorat, Université Paris VI. (1984).

[132]Sana Gaaloul, Benoît Delinchant, Frédéric WURTZ, Stéphane THIERS, Bruno PEUPORTIER. Couplage d'un modèle thermique issu de COMFIE avec un chauffage régulé électriquement pour une simulation temporelle hybride à pas variable IBPSA France 2010.

[133] I.B. Sommereux, G. Lefebvre, « Simulation de bâtiment multizone par couplage de modèles modaux réduits », Chauffage Ventilation Conditionnement d'air, n°5, p. 31-37, 1989.

[134] Manuel Météoclac .Izuba Energies. www.izuba.fr/logiciels/

[135] A.Khecharem. Modélisation thermique des bâtiments : évaluation des principaux critères architecturaux sur la qualité thermique des bâtiments. Mémoire de master. Ecole nationale supérieure d'architecture de Nancy.2009.

[136] S. Kalogirou, Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters, Solar Energy 83 (1) (2009) 39 – 48. doi:10.1016/j.solener.2008.06.005.

- [137] M. Schröder, B. Reddemann, Three different criteria to evaluate the economics of solar water heating systems, *Solar Energy* 29 (6) (1982) 549 – 555. doi:10.1016/0038-092X(82)90063-9.
- [138] T. Cabirol, D. Roux, *Chauffage solaire de l'habitat, Tome 2*, Edition Edisud, 1984.
- [139] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2013.
- [140] Données climatiques 1977-2007, Ministère Algérien des Transport, Office Nationale de la Météorologie -ONM-.URL <http://www.meteo.dz>
- [141] M. Yaiche, A. Bouhanik, *Atlas solaire*, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, Centre de Développement des Energie Renouvelables -CDER- Edition 2013.
- [142] M. Abdessamed, "Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier," Thèse de Magister, Université de Kasdi Merbah - Ouargla, 2006, pp. 98.
- [143] A.Slimani. Valorisation des potentialités locales pour un habitat écologique en zone de montagne : cas de la région de Yakouren. Thèse de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. Septembre 2012.
- [144] R.T Bouhraoua. L'œuvre de reboisement de chêne liège en Algérie entre contraintes écologiques et les exigences techniques. Journées du liège dans le Var. Novembre 2013.
- [145] K. Abdelouahed, "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec," Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2005, pp. 154.
- [146] N.Benmancour .Développement des composites naturels et caractérisation des composites naturels locaux adaptés à l'isolation thermique dans l'habitat. Thèse de doctorat. Université Hadj Lakhdar de Batna- Mai 2015.

[147] Mohamed Tlijani. Contribution à la caractérisation thermo-physique de matériaux bio isolants. Valorisation des déchets de Bois de palmier. Thèse de doctorat. Université Paris Est Creteil. Octobre 2017.

[148] K.Hamdi. Etude thermique d'une maison traditionnelle de la ville de Tamanrasset. Mémoire Master2 .Université Saad Dahlab Blida .Juin 2012

[149] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, and M. Fois, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 491-497, 2011.

[150] Mekhermeche Abdessalem. Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques de terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes. Mémoire de Magister. Université d'Ouargla.2012.