

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01



Faculté de Technologie

Département des Energies Renouvelables

MEMOIRE DE MASTER

ENERGIE RENOUVELABLE ET HABITAT BIOCLIMATIQUE

Thème :

**L'AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE
D'UN BATIMENT RESIDENTIEL ADAPTE DANS PLUSIEURS
SITES ALGERIENS**

Présenté par:

BOUMEDDINE Fatima
Takoua El-Koloub

Encadré par : Pr : HAMID AEK.

Mme S. OUKACI.

Jury de Soutenance

Président : Grade USDB1

Examineur : Grade USDB1

Encadreur : Grade USDB1

2019 /2020



Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance ;

*A celui qui a lutté et sacrifié pour m'offrir les conditions propices à ma réussite, mon chers
père MOHAMED*

*A celle qui m'a étreint de tendresse et d'affection et qui a constitué la première école de mon
existence, ma très précieuse, chaleureuse et aimable mère ZOUINA*

*Grace à mes parents que j'ai pu faire mes études et gravir les pentes qui me semblaient
infranchissables.*

*A l'âme de ma grand-mère, qui a toujours souhaité que je réussisse dans mes études. Je prie le
Tout Puissant ALLAH pour le repos de son âme, amen !*

*A mes chers frères CHOUAIB et YASSINE, pour leurs encouragements et je leurs souhaite
tout le bonheur et la réussite. En témoignage de leur amour et de leur affectation dont ils ont
toujours fait preuve.*

*A mes amis très proches KHAOULA, RAOUFE, AMINE et SIRINE je ne peux trouver les
mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi
des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs
de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je remercie le
bon dieu qui a croisé nos chemins.*

Que dieu vous garde.

*A mes grands-parents et toute ma famille avec tous mes sentiments de respect, d'amour, de
gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement
assurer mon éducation dans les meilleures conditions pour leurs encouragements et leurs
soutiens. Que ce travail soit l'expression de ma grande affection et un témoignage de mon
attachement et de mon grand profond amour.*



Remerciements

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu accomplir ce modeste travail

Ce travail du mémoire n'a pu voir le jour sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que je souhaite ici vivement remercier :

Monsieur HAMID AEK pour avoir guidé mon travail et ma réflexion avec intérêt, et j'adresse aussi mon sincère sentiment de gratitude à ma Co-promotrice madame SOUMIA OUKACI qui m'a aidée et orientée durant ce mémoire, jusqu'aux dernières minutes.

Je tiens également à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire. J'espère que ce mémoire servira d'exemple et de support pour les années à venir.

A l'ensemble des enseignants du département des énergies renouvelables et surtout Mr HAMID, Mr SEMMAR, Mme ZEBoudji, Mme GUEBLI, Mme MAAZOUZ, Mme OUKACI, Mme OUALI, Mr BOUZAKI, Mme KASBADJI, Mr AIT SAHED et Mr KACI. A mes enseignants, Mme CHATTA, Mr ABDLEKRIM, Mr LAZHAR et Mr KACIBI, je tiens à vous écrire un « Merci » très sincère pour votre soutien, votre enseignement et vos conseils tout au long de mon cursus scolaire et universitaire qui vient de s'écouler. Je voulais que vous sachiez que votre étudiante gardera toute sa vie un très bon souvenir de ce parcours.

Enfin, un grand merci à ceux qui ont fait l'honneur de jurer ce mémoire.

Résumé

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une étude de comparaison et proposition d'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment standard qui va être adapté pour des différentes régions représentant chacune une zone climatique différente couvrant ainsi tout le territoire national, considérant 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. Le bilan thermique réalisé grâce à la simulation avec le logiciel Pléiades nous permet d'identifier les besoins en chauffage (période hivernale) et climatisation (Période estivale), afin de minimiser la consommation énergétique. Les simulations effectuées avant et après amélioration nous ont permis de trouver la solution la plus efficace pour améliorer le confort thermique. Enfin, nous terminons cette étude par l'intégration d'un système de rafraîchissement adiabatique comme une solution écologique pour avoir un confort hygrothermique pour le sud du pays.

ملخص

يندرج هذا البحث في إطار دراسة مقارنة واقتراحات لتحسين الراحة الحرارية لنموذج سكني في مناطق مختلفة يمثل كل منهما منطقة مناخية معينة بحيث نغطي كامل الإقليم الوطني ، و ذلك بتحسين العزل الحراري لأغلفة المباني حسب كل منطقة باستعمال مواد محلية إيكولوجية، و دراسة أثر هذه الأخيرة على التدفئة و التكييف. عمليات المحاكاة المطبقة عن طريق برمجيات بلياد قبل و بعد عزل النموذج السكني و التوازن الحراري المحقق في المحاكاة يسمح لنا بتحديد احتياجات التدفئة (فترة الشتاء) وتكييف الهواء (فترة الصيف) ، من أجل الحد من الاستهلاك الطاقوي. وفي الأخير نختم باقتراح نظام تبريد إيكولوجي من أجل تحقيق الراحة الحرارية و تكييف الرطوبة في المناطق الجنوبية للبلاد.

Resume

Our work is part of a comparative study to improve the thermal comfort of a building model in different regions, each representing a different climate zone, thus covering the entire national territory, by insulating the building's envelope using local ecological materials, and studying their effect on heating and air conditioning demands. The simulations performed before and after improvement through Pleiades software, and the thermal balance achieved allowed us to find the most effective methods to improve thermal comfort and identify the needs in heating (winter period) and air conditioning (summer period), in order to minimize energy consumption. In the end, we conclude this research with suggesting the PDEC (Passive Dwindraught Evaporative Cooling) system to reach the hygrothermal comfort in the southern regions of the country.

TABLE DE MATIERES

Introduction générale :	1
1. Introduction :	3
2. L'architecture bioclimatique :	3
2.1. Les maisons Basse consommation :	3
2.2. Les maisons passives :	4
3. Solution d'amélioration énergétique :	4
3.1. Enveloppe du bâtiment :	5
3.1.1. Les ponts thermiques :	5
3.1.2. L'inertie thermique :	6
3.1.3. Isolation thermique :	6
3.2. Les énergies renouvelables :	6
4. La consommation énergétique en Algérie :	6
5. La stratégie nationale de la maîtrise d'énergie :	7
5.1. L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) :	8
6. Le contexte sur la maîtrise de l'énergie en matière d'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel :	8
6.1. Mise en application de la réglementation thermique des bâtiments :	9
7. Etat de l'art :	10
8. Conclusion :	14
1. Introduction :	15
2. Classification Des zones Climatiques En Algérie :	15
3. Présentation des villes étudiées :	16
3.1. Les données géographiques des villes étudiées :	16
3.2. Les données climatiques moyennes annuelles des villes étudiées :	16
4. Présentation du projet d'étude :	17
4.1. Identification des espaces intérieures :	18
4.2. Caractéristiques thermo-physiques des éléments constructifs :	18
5. Méthodologie de travail :	19
6. Les matériaux locaux proposés à l'intégration :	20

6.1.	Intégration du liège pour les zones du nord et hauts plateaux :	20
6.2.	Intégration du palmier dattier (bois et fibres) aux zones du sud :	20
7.	Conclusion :	21
1.	Introduction :	22
2.	Présentation des logiciels :	22
2.1.	Procédures d'injection des données sur pléiades :	23
3.	Processus d'application des logiciels :	24
3.1.	Création d'un fichier météorologique :	24
3.2.	Génération du fichier météorologique sous Météocalc :	25
3.3.	Sous Pléiades :	25
3.3.1.	Création des matériaux :	25
3.3.2.	Composition des éléments constructifs :	26
3.4.	Sous Alcyone :	27
3.4.1.	Définition des paramètres constructifs sous Alcyone :	27
3.4.2.	Dessin du plan sous Alcyone :	27
3.5.	Définition des scénarios sous Pléiades :	28
3.5.1.	Scénarios d'occupation:	28
3.5.2.	Scénarios de puissance dissipée :	30
3.5.3.	Scénario de ventilation:	33
3.5.4.	Scénarios de consigne de thermostat :	36
3.6.	Lancement de la simulation :	37
4.	Conclusion :	37
1.	Introduction :	38
2.	Les simulations du logement dans les différents sites d'études :	38
2.1.	Simulation sans consigne de thermostat : Variante 01	38
2.2.	Simulation avec consigne de thermostat : Variante 01	46
3.	Simulations après renforcement de l'isolation:	53
3.1.	Simulation sans consigne de thermostat : Variante 02	53
➤	Simulation hivernale :	53
3.2.	Simulation avec consigne de thermostat : Variante 02	57
➤	Simulation hivernale :	57
3.3.	Simulation sans consigne de thermostat : Variante 02	60

➤ Simulation estivale :	60
3.4. Simulation avec consigne de thermostat : Variante 02	64
➤ Simulation estivale :	64
Les zones du Nord et hauts plateaux:	67
Les zones arides :	68
4. Amélioration de confort hygrothermique des cas d'étude par l'intégration d'un système de rafraîchissement:	70
4.1. Principe de fonctionnement :	71
4.2. Méthode de calcul :	72
4.2.1. Résultats et discussions:	72
Conclusion générale.....	78

Listes des figures

Figure 1. 1: Consommation mondiale totale des énergies primaires en quadrillions de Btu, 1980- 2035 [1]	1
Figure 1. 2 : Les sources de déperdition de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment.	5
Figure 1. 3 : Consommation finale par secteur d'activité en 2017 [4]	7
Figure 2. 1 : Classification du climat en Algérie [8]	15
Figure 2. 2 : Localisation des villes étudiées	16
Figure 2. 3 : Façade principale [11]	17
Figure 2. 4 : vue sur le bâtiment étudié [11]	17
Figure 2. 5 : Plan du cas étudié [11]	17
Figure 2. 6 : répartition du chêne-liège en Algérie. [12]	20
Figure 2. 7 : les différentes parties du palmier dattier.	21
Figure 3. 1: Procédure d'injection des données sur pléiade et simulation [14]	23
Figure 3. 2: Interfaces Pleiades+Comfie [15]	24
Figure 3. 3: Création de fichier météorologique	24
Figure 3. 4: Génération du fichier météorologique	25
Figure 3. 5: Caractéristiques des matériaux utilisées [11]	25
Figure 3. 6: Création des matériaux	26
Figure 3. 7 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone	27
Figure 3. 8 : Plan du logement étudié	28
Figure 3. 9: Cas d'étude en 3D	28
Figure 4. 1 : Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER	38
Figure 4. 2: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF	39
Figure 4. 3: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET	39
Figure 4. 4: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA	40
Figure 4. 5: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'El Oued	40
Figure 4. 6: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH	41

Figure 4. 7: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER	42
Figure 4. 8: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF	43
Figure 4. 9: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET	43
Figure 4. 10: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA	44
Figure 4. 11: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED	44
Figure 4. 12: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH	45
Figure 4. 13: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER	46
Figure 4. 14: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF	47
Figure 4. 15: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET	47
Figure 4. 16: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA	48
Figure 4. 17: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED	48
Figure 4. 18: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH	49
Figure 4. 19: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER	50
Figure 4. 20: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF	50
Figure 4. 21: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET	51
Figure 4. 22: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA	51
Figure 4. 23: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED	52
Figure 4. 24: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH	52
Figure 4. 25: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER	53
Figure 4. 26: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF	54
Figure 4. 27: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET	54

Figure 4. 28: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA.....	55
Figure 4. 29: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED	55
Figure 4. 30: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH	56
Figure 4. 31: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER.....	57
Figure 4. 32: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF.....	57
Figure 4. 33: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET	58
Figure 4. 34: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA.....	58
Figure 4. 35: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED	59
Figure 4. 36: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH	59
Figure 4. 37: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER	60
Figure 4. 38: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF.....	61
Figure 4. 39: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET.....	61
Figure 4. 40: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA.....	62
Figure 4. 41: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED.....	62
Figure 4. 42: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH	63
Figure 4. 43: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER	64
Figure 4. 44: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF.....	64
Figure 4. 45: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET	65
Figure 4. 46: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA.....	65
Figure 4. 47: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED.....	66
Figure 4. 48: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH	66

Figure 4. 49: Une tour de rafraichissement par humidification adiabatique <i>PDEC</i> [18]	71
Figure 4. 50: Evolution des températures de sortie (Biskra)	73
Figure 4. 51: Evolution des températures de sortie (El Oued).....	74
Figure 4. 52: Evolution des températures de sortie (In Salah)	75
Figure 4. 53: La zone de confort hygrothermique dans le diagramme psychrométrique [21].....	76

Listes des tableaux

Tableau 2. 1: Données géographiques [9]	16
Tableau 2. 2: Données climatiques moyennes [10]	16
Tableau 2. 3: Caractéristique des pièces.	18
Tableau 2. 4: Listes des parois de base	18
Tableau 3. 1: Composition du mur extérieur	26
Tableau 3. 2: Composition du mur intérieur	26
Tableau 3. 3: Compositions des planchers	26
Tableau 4. 1: Variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones A, B' et C	41
Tableau 4. 2: Variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones D1 et D2	41
Tableau 4. 3: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones A, B' et C	45
Tableau 4. 4: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones D1 et D2	45
Tableau 4. 5: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques A, B' et C	49
Tableau 4. 6: besoins en chauffage pour les zones climatiques D1 et D2	49
Tableau 4. 7: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques A, B' et C	52
Tableau 4. 8: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques D1 et D2	53
Tableau 4. 9: Variation de température dans la semaine la plus froide cas amélioré dans les zones climatiques A, B' et C	56
Tableau 4. 10: Variation de température dans la semaine la plus froide cas amélioré dans les zones climatiques D1 et D2	56
Tableau 4. 11: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques A, B' et C cas amélioré	60
Tableau 4. 12: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques D1 et D2 cas amélioré	60
Tableau 4. 13: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones A, B' et C	63
Tableau 4. 14: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones D1 et D2	63
Tableau 4. 15: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques A, B' et C	66
Tableau 4. 16: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques D1 et D2	67
Tableau 4. 17 : Tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les zones du nord et hauts plateaux	67
Tableau 4. 18 : Tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour le zones arides	68
Tableau 4. 19: Le taux de réduction de consommation énergétique annuelle totale (A, B' et C)	69
Tableau 4. 20: Le taux de réduction de consommation énergétique annuelle totale (D1 et D2)	69
Tableau 4. 21: Résultats de ville de Biskra	73
Tableau 4. 22: Résultats de ville de El Oued	74
Tableau 4. 23: Résultats de ville d'In Salah	75

Nomenclature

Te : température entrée

Ts : température sèche

Th : température humide

WF : débit d'eau injecté dans le système

Acronyme

APRUE : agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie

BWh : Climat désertique chaud et sec.

Csa : climat tempéré chaud avec été sec (méditerranéen)

DTR : Document Technique Réglementaire.

DV : Double Vitrage.

PNEE : programme nationale d'efficacité énergétique.

STD : la simulation thermique dynamique.

VMC : ventilation mécanique contrôlé.

Introduction générale :

Le réchauffement planétaire, l'augmentation des gaz à effet de serre et l'épuisement des ressources naturelles sont autant d'enjeux actuels qui engagent l'humanité à se sensibiliser, à se mobiliser et à se responsabiliser. Un tel engagement consiste inévitablement à réduire, d'une part, la consommation énergétique mondiale et à profiter, d'autre part, des énergies primaires renouvelables, avec pour conséquence une réduction de l'exploitation des énergies fossiles telles le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Comme le montre la (**figure 1.1**), la celle des énergies renouvelables.

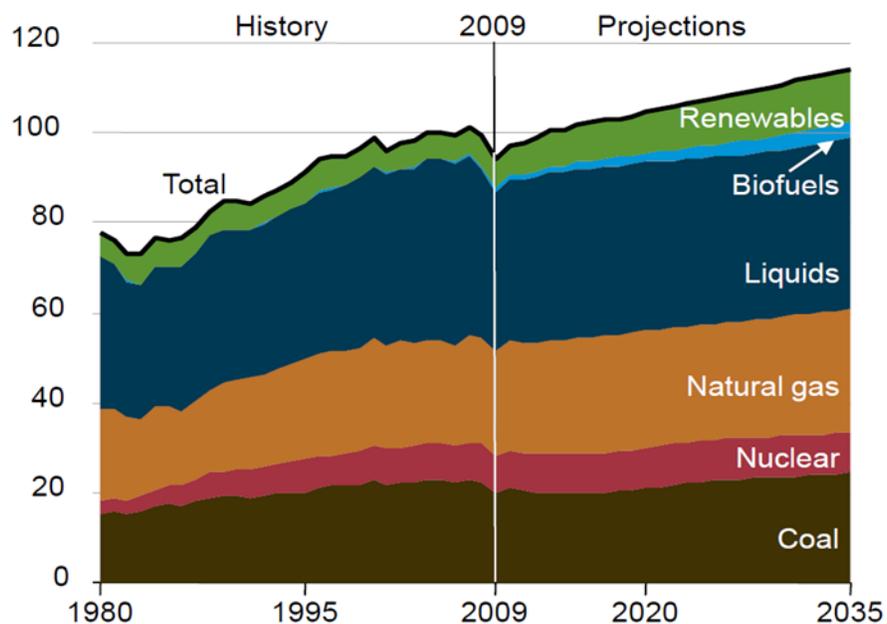


Figure 1. 1: Consommation mondiale totale des énergies primaires en quadrillions de Btu, 1980- 2035 [1]

Le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur en énergie au niveau mondial, et une cible de choix dans la réduction des consommations, vu que la cause de ce résultat est due à la forte demande de logement qui résulte d'une grande augmentation démographique. En Algérie, le secteur résidentiel est parmi les secteurs les plus énergivores, avec une consommation de 46% de l'énergie finale et de 28% (CDER, 2014) de l'énergie primaire, ce secteur est aujourd'hui l'un des premiers postes de consommation énergétique et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre, et comme partout ailleurs, la question concernant la réduction de la consommation d'énergie est d'actualité dans notre pays, lequel par une négligence des paramètres climatiques lors des différentes conceptions, se trouve confronté crucialement au problème de l'augmentation de la consommation énergétique, en particulier en été pour la climatisation et en hiver pour le chauffage.

Conscient de cela, l'amélioration et l'intégration de l'efficacité énergétique dans nos maisons sont mises en application par la construction des habitats bioclimatiques qui correspondent aux besoins de chauffage et climatisation.

La conception des bâtiments et la sélection des équipements dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne, cette méthode représente un bénéfice au bâtiment d'apport solaire gratuit en hiver et une protection des surchauffes en été. Aussi un calcul détaillé des déperditions thermique et des apports solaires permet d'optimiser les besoins énergétiques.

Concernant les solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique et les réductions de la consommation d'énergie des bâtiments on peut constater que les solutions appliquées dans l'architecture bioclimatique ont de nombreux paramètres tels que la forme de la construction, son orientation, ses matériaux de construction.....etc. Donc, une bonne maîtrise de ces paramètres garantit la performance énergétique de la construction et le confort souhaitable.

Problématique : En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'adaptation de la même typologie dans les différentes zones climatiques sans prise en considération du facteur climatique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage.

Donc, comment peut-on réduire les consommations d'énergies et quelles sont les solutions permettant de concilier une amélioration du confort thermique?

Dont le but d'atteindre notre objectif nous avons effectué une recherche qui comprend les chapitres suivants :

Le premier chapitre : Ce chapitre nous permis à travers une recherche bibliographique et l'état de l'art de tirer les recommandations nécessaires pour notre cas d'étude.

Le deuxième chapitre : Ce chapitre comprend les données climatiques des régions étudiées et la présentation du cas d'étude

Le troisième chapitre : Ce chapitre comprend la modélisation du cas d'étude adapté dans plusieurs sites Algériens.

Le quatrième chapitre : Ce chapitre comprend les résultats et discussions des différentes simulations, ainsi que les solutions proposées dont le but d'améliorer l'efficacité énergétique du cas d'étude.

À la fin de cette recherche, on terminera par une conclusion générale dans laquelle on présentera les résultats obtenus ainsi que les objectifs atteints à travers l'étude entreprise.

1. Introduction :

L'étude du confort thermique constitue l'une des bases principales dans la conception du bâtiment, elle met en évidence le comportement thermique d'une habitation à long terme, à partir de la prédiction des conditions de confort thermique (température et humidité).

Assurer une sensation de chaleur en hiver et se préserver des fortes chaleurs en été, est un souci majeur depuis longtemps pour les concepteurs. D'ailleurs, un des objectifs de l'architecture réside dans la satisfaction des occupants par le bien être thermique.

L'une des fonctions premières du bâtiment est de protéger l'homme des agressions du climat. Un Bâtiment "adapté au climat", engendre un microclimat intérieur plus confortable que les conditions extérieures. Ceci, nous introduira dans l'architecture dite « Bioclimatique », qui a pour but final la gestion plus économe de l'énergie, la qualité de l'air intérieur, le choix de matériaux respectueux de l'environnement. Le but est donc de pouvoir continuer à assurer le confort de l'utilisateur tout en minimisant la consommation d'énergie pour la climatisation et le chauffage ainsi que l'impact du bâtiment sur l'environnement. [2]

Ce premier chapitre consiste à la compréhension des différents concepts et notions clés, elle découle d'un état de l'art sur l'étude de confort thermique dans la conception bioclimatique.

2. L'architecture bioclimatique :

Une maison bioclimatique vise, par sa conception architecturale, à optimiser les ressources du milieu pour en profiter de façon passive. Cela permet de limiter les équipements « techniques actifs » consommateurs d'énergie primaire : les systèmes de chauffage, de transformation de l'énergie solaire en électricité, etc. Les options architecturales diffèrent en fonction du climat, de la latitude, des savoir-faire locaux, des besoins, voire des cultures. En climat continental, dans l'hémisphère Nord, elles se traduisent généralement par une orientation des vitrages au sud pour profiter des apports solaires directs en vue d'un chauffage passif en hiver, avec en complément des protections solaires l'été. Un bâtiment compact permet de limiter les surfaces de façades et le refroidissement provoqué par les vents dominants, entraînant des déperditions de chaleur. Les pièces de service sont situées au nord pour faire office de tampons thermiques.

L'autre aspect de l'architecture « bio » -climatique concerne la prise en compte de critères environnementaux dans le choix des procédés de construction et des matériaux.

2.1. Les maisons Basse consommation :

Le concept de bâtiment basse consommation (BBC) met l'accent sur les économies d'énergie et l'aspect thermique. Selon certains, le plus important est de commencer par améliorer l'enveloppe du bâtiment pour limiter les déperditions thermiques. Cette démarche est depuis peu référencée sous la forme d'un label dénommé « BBC-Effinergie », qui atteste d'une consommation de 50 kWh/ m² /an d'énergie primaire (avec des variantes selon la zone climatique et l'altitude). Elle

comprend également un contrôle de l'étanchéité à l'air, qui doit être inférieur à 0,6 m³ par heure et par mètre carré. D'après l'association Effinergie, ces objectifs peuvent être atteints sans difficulté et à des coûts raisonnables avec des techniques et des matériaux actuels éprouvés. [2]

2.2. Les maisons passives :

C'est en Allemagne qu'a été développé le concept de « Passiv-Haus ». Comme le label BBC français, il concerne des maisons à très faible consommation d'énergie, dont les performances, fixées par le Passiv-Haus de Darmstadt, sont une consommation de 15 kWh/m² /an pour le chauffage, une consommation en énergie primaire inférieure à 120 kWh/m² /an et une excellente étanchéité à l'air. Ces résultats sont rendus possibles par une isolation renforcée et des apports en chauffage passif. Mais la norme Passiv-Haus et le label suisse Minergie-P (sensiblement équivalent) insistent tous deux sur la sur isolation. Ce label allemand est délivré en France par l'association La Maison passive France. La limite de cette démarche réside dans le coût élevé des grandes épaisseurs d'isolants, des vitrages très performants et des équipements techniques. Il est en outre nécessaire de prévoir un appoint en chauffage pour pallier un manque d'ensoleillement de plusieurs jours. [2]

3. Solution d'amélioration énergétique :

Fournir un environnement intérieur confortable et sain est l'une des fonctions essentielles des systèmes énergétiques des bâtiments et représente environ un tiers de la consommation totale d'énergie des bâtiments. Les nouvelles technologies de chauffage, de climatisation et de ventilation peuvent non seulement générer d'importants gains d'efficacité, mais elles peuvent également améliorer la manière dont les systèmes de bâtiment répondent aux besoins et aux préférences des occupants en offrant un contrôle accru, en réduisant les variations de température indésirables et en améliorant la qualité de l'air intérieur. Les possibilités d'amélioration entrent dans les catégories de base suivantes:

- a) Bonne conception des bâtiments, y compris les systèmes passifs et l'aménagement paysager.
- b) Amélioration de l'enveloppe du bâtiment, y compris les toits, les murs et les fenêtres.
- c) Équipement amélioré pour chauffer et refroidir l'air et éliminer l'humidité.
- d) Stockage d'énergie thermique pouvant faire partie de la structure du bâtiment ou d'un équipement séparé.
- e) Capteurs, systèmes de contrôle et algorithmes de contrôle améliorés pour optimiser les performances du système.

La conception des bâtiments et la sélection des équipements dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne. [2]

Pour contribuer à la performance énergétique des bâtiments, tout le monde s'accorde à dire qu'il existe principalement trois leviers qui peuvent être activés : les solutions passives, les solutions actives et le comportement des occupants. [2]

3.1. Enveloppe du bâtiment :

L'enveloppe du bâtiment doit transformer les agressions extérieures en confort pour ses occupants. Cependant, les transferts de chaleur à travers le bâtiment représentent souvent la plus grande perte d'énergie pour celui-ci. Les besoins en chauffage et en climatisation seront plus ou moins importants selon les propriétés de l'enveloppe (Boursas, 2013): plus elle est performante, moins il sera nécessaire d'avoir recours aux systèmes énergétiques pour tempérer le bâtiment, et plus la consommation d'énergie sera faible.

Le niveau d'isolation de tous les points de l'enveloppe doit être le même pour éviter les ponts thermiques (discontinuité dans la couche isolante), ces derniers pouvant compromettre les efforts investis dans l'isolation en causant d'importantes pertes thermiques. Une enveloppe performante se doit de garantir une étanchéité suffisante en limitant au maximum les infiltrations et exfiltrations d'air inopportunes. La (figure 1.2) ci-dessous représente les pourcentages de déperdition de chaleur pour chaque composant de l'enveloppe.

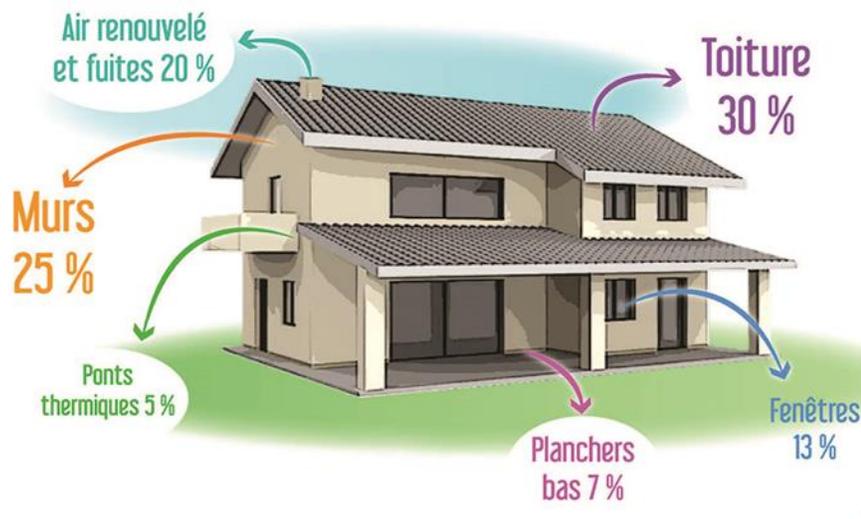


Figure 1. 2 : Les sources de déperdition de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment.

3.1.1. Les ponts thermiques :

Un pont thermique est une faiblesse dans l'enveloppe d'un bâtiment à travers laquelle les calories passeront en priorité. Les ponts thermiques se trouvent à différents endroits d'une enveloppe :

- Jonction entre 2 parois ;
- Jonction entre une paroi intérieure et une paroi donnant sur l'extérieur (mur de refend/terrasse, chape/balcon, chape/mur extérieur) ;
- Pourtour de baies vitrées, de portes ;
- Ouvertures techniques (prises électriques, serrures...).

Très présents dans les bâtiments isolés par l'intérieur, les ponts thermiques peuvent représenter jusqu'à 15% des déperditions totales des parois.

3.1.2. L'inertie thermique :

L'inertie thermique est une grandeur qui caractérise le retard et l'amortissement que subit une onde thermique avant d'atteindre l'intérieur. L'inertie dépend de plusieurs paramètres à savoir : l'isolation thermique, les caractéristiques thermiques des matériaux de construction (conductivité thermique, chaleur spécifique, masse volumique). Une bonne inertie thermique est celle qui produit une ambiance thermique intérieure stable, non soumise aux variations des conditions extérieures.

Plus les murs sont épais et les matériaux lourds (béton, pierre, brique pleine, terre crue, etc.), plus l'inertie est grande, de ce fait, la construction se réchauffe et se refroidit lentement. Elle a deux caractéristiques :

3.1.3. Isolation thermique :

Le rôle de l'isolation thermique est de s'opposer au passage des flux de chaleur qui tendent à traverser la paroi, de l'ambiance la plus chaude vers la plus froide. En saison froide, ce mouvement va de l'intérieur vers l'extérieur. En été, c'est l'inverse.

3.2. Les énergies renouvelables :

L'exploitation des énergies naturelles et renouvelables que procurent le soleil, le vent, l'eau en mouvement, la terre et la biomasse contribue à améliorer la durabilité de notre production énergétique en plus d'aboutir à des avantages sur le plan de l'environnement et de la santé humaine. Tout en étant renouvelables pour les futures générations, ces formes d'énergie n'entraînent aucune augmentation des niveaux de dioxyde de carbone ou d'autres agents polluants dans l'atmosphère terrestre. Les technologies d'énergies renouvelables représentent l'un des marchés avec le taux de croissance le plus rapide au monde actuellement.

Selon la localisation et l'environnement du bâtiment, diverses sources d'énergie renouvelable peuvent être utilisées, seules ou de façon complémentaire. [3]

4. La consommation énergétique en Algérie :

La forte demande de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles. Le bâtiment est un secteur énergivore par excellence. Selon

l'APRUE (l'Agence de la promotion et de rationalisation de l'utilisation de l'énergie), sa consommation représente plus de 40% (**figure 1.3**) de la consommation finale d'énergie.

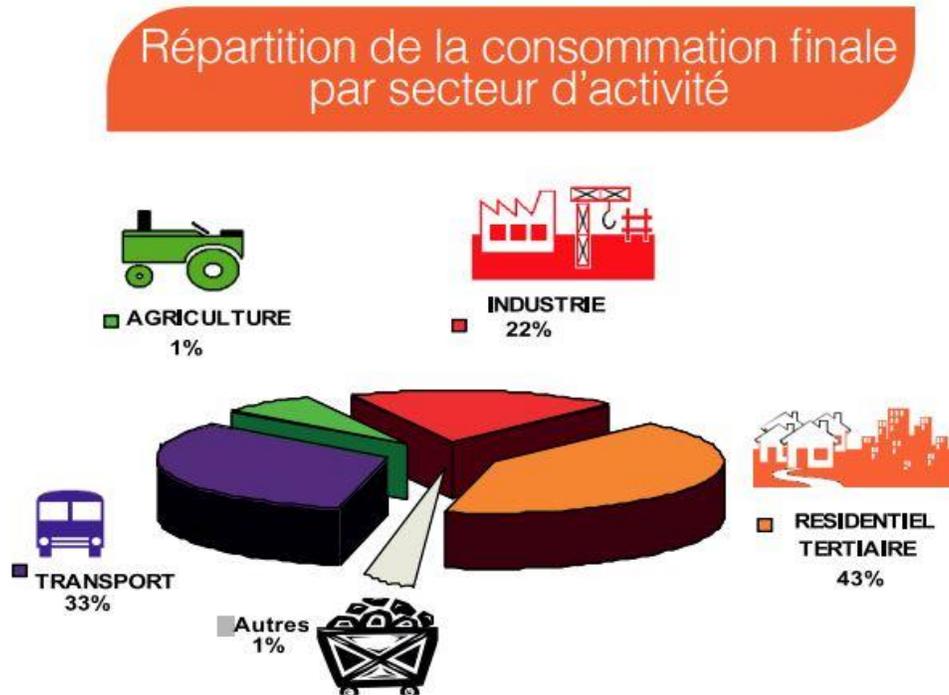


Figure 1. 3 : Consommation finale par secteur d'activité en 2017 [4]

5. La stratégie nationale de la maîtrise d'énergie :

En effet, la maîtrise d'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en point de vue utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables. Elle répond aux soucis suivants [5] :

- La préservation des ressources nationales d'hydrocarbures.
- La préservation des capacités de financement de pays utilisable dans d'autres domaines que le secteur énergétique.
- La protection de l'environnement.
- Pour maitre en œuvre cette nouvelle orientation et politique, le ministère de l'énergie et des mines (MEM) adopte les instruments suivants [5]:

5.1. L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) :

L'APRUE représente l'élément central des instruments, elle est chargée de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les acteurs publics impliqués dans la maîtrise de l'énergie.

L'APRUE dispose d'un certain nombre de programmes et d'initiative visant la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment parmi ces programmes il y a :

• Le programme ECO-BAT :

Le programme prévoit l'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation par :

- La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique.
- La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie.
- La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale et enfin, favoriser la mise en application des normes réglementaires. Contrairement au rôle complémentaire de la plupart des programmes précédents, le programme Eco-Bât à l'air important parce qu'il consiste à concevoir des bâtiments performant en matière d'énergie. Ainsi, Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie parce qu'il est le plus consommateur.

6. Le contexte sur la maîtrise de l'énergie en matière d'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel

La maîtrise de l'énergie constitue une des options stratégiques de la politique énergétique nationale. Elle est dictée par le souci de la préservation des ressources énergétiques nationales, le respect des engagements internationaux en matière de protection de l'environnement (réduction des gaz à effet de serre) et la sauvegarde de la santé des citoyens. Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans plusieurs domaines.

Pour les actions en matière d'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel portent sur :

- Isolation thermique des bâtiments ;
- Développement du chauffage –eau solaire ;
- Généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie ;
- Introduction des principales techniques de climatisation solaire.

6.1. Mise en application de la réglementation thermique des bâtiments :

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. Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants. 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 [6] :

- **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. 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.

La finalité de cette réglementation est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment et sa mise en application permettra d'apprêt l'APRU, de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30% à 40% pour les besoins en chauffage et climatisation.

Malgré cet arsenal juridique important, il faut reconnaître qu'actuellement, il n'existe aucune volonté politique pour prendre en charge la surconsommation énergétique dans notre bâtiment.

Les bâtiments en Algérie ne sont pas encore dotés d'une réglementation thermique spécifique, l'application des réglementations thermiques détaillées dans les différents documents techniques réglementaires (DTR.C 3-2, DTR.C 3-4, DTR.C 3-31) pour les bâtiments à usage d'habitation n'est pas obligatoire, c'est pour ces raisons que la quasi totalité des bureaux d'études n'ont pas une copie de cette réglementation.

La mise en place d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs et des mécanismes de contrôle devient par conséquent une nécessité étant donnée les perspectives

énergétiques futures du pays et les enjeux qui sont en premier lieux économiques pour réduire la facture énergétique et pour réduire les émissions de gaz à effet de serres. [6]

7. Etat de l'art :

❖ Les mémoires consultés :

- **Mémoire numéro 01 : pour l'obtention d'un diplôme de magister en architecture, forme ambiance et développement durable à l'université Mohamed Khider Biskra intitulé par : « ÉVALUATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET DU CONFORT THERMIQUE DANS L'HABITAT : Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida »**

Présenté par : Mme FERRADJI Kenza en 2017

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique au niveau du confort thermique et de la consommation énergétique. La méthodologie consister à utiliser la simulation thermique, par le biais du logiciel TRNSYS, afin d'arriver aux objectifs cités au préalables. Les résultats obtenus lors de l'investigation ont montré la nécessité d'une amélioration hivernale pour le modèle en HPE avec une satisfaction des solutions liées au confort estival. L'échantillon amélioré montre que la meilleure disposition, pour assurer le confort thermique en économisant la consommation énergétique, est celle où l'enveloppe est caractérisée par une grande inertie thermique avec une isolation du côté extérieur.

D'après leurs résultats, l'échantillon d'un logement ordinaire est le plus consommateur d'énergie en hiver comme en été. En hiver, le modèle HPE n'assure que 9% des économies énergétique par rapport au logement ordinaire. Bien que cette économie arrive à 50% pour l'amélioration en modèle (C). En été, l'appartement en HPE minimise la consommation énergétique par 80% bien que le modèle amélioré assure plus de 93% des économies énergétiques.

- **Mémoire numéro 02 : pour l'obtention d'un diplôme de master en architecture écologique à l'université 08 Mai 1945 de Guelma intitulé par : « Bâtiments à zéro énergie, une tentative vers l'autonomie énergétique »**

Présenté par : Mr. Lachi Elyes en 2017

L'objectif principal de ce travail est le développement d'une approche de conception afin d'informer et sensibiliser les gens que la solution est les bâtiments performants et sur tout l'autonomie énergétique avec des bâtiments à zéro énergie sur le plan énergétique et thermique et économique. Nous situons en premier, le bâtiment à zéro énergie dans son contexte environnemental et énergétique, via à un bilan sur la consommation mondiale et algérienne. Ainsi, il passe par la caractérisation et la compréhension des différents concepts et notions-clés liées aux bâtiments à haute performance énergétique. Puis dans un second temps, il aborde la conception architecturale de ce type de bâtiments tout en intégrant la notion de l'efficacité énergétique dans ses processus. Enfin, une fois les différentes connaissances sont déterminées, et la performance énergétique est intégré dans les processus de conception architecturale, il développe une approche de conception architecturale de bâtiment à zéro énergie.

Pour que cette conception devienne utile, elle doit prendre en considération l'aspect environnemental en générale et l'aspect énergétique en particulier dans les processus de conception architecturale du bâtiment.

- **Mémoire numéro 03 : pour l'obtention d'un diplôme de magister en sciences de l'environnement et climatologie à l'université d'Oran intitulé par : « la réalisation d'un éco-quartier »**

Présenté par : Mr Nadji Mohamed Amine en 2015

L'objectif de ce travail était d'établir une liste par ordre d'importance ,des critères de développement durable qui devrait être considéré dans l'élaboration d'un quartier urbain durable afin de maximiser ses chances de réussite car en fin de compte la ville reste une juxtaposition de quartiers ,en décortiquant avec précision l'exemple du projet du Bedzed (Sutton , Londres) il a pu mettre en évidence les acteurs pertinents ainsi que les résultats découlant de divers actions menées ,il est arrivé à la conclusion que la problématique fondamentale qui s'impose en Algérie réside dans la question de savoir comment procéder pour satisfaire une demande en logements de plus en plus accrue tout en réduisant l'impact des constructions sur l'environnement en protégeant le potentiel écologique et en respectant le mode de vie et les pratiques sociales des algériens pour essayer de répondre à ces questions il a fait une préposition d'aménagement d'un éco quartier , son choix s'est fixés sur un quartier d'Oran : Hai SEDDIKIA plus précisément le

lieu-dit : « Batimat Taliane » dont l'assiette est en voie de libération au profit d'un projet de modernisation de la ville.

Pour l'intégration du développement durable dans l'élaboration des nouveaux quartiers urbains et introduire cette tendance, quelques recommandations ont été faites :

- ✓ Réduction de la consommation énergétique par l'intégration d'un système de ventilation mécanique contrôlé à double flux thermodynamique capable d'assurer les trois fonctions de ventilation, chauffages climatisation, la toiture végétalisée et la protection des ouvrants.
- ✓ L'utilisation des énergies renouvelables par l'intégration des panneaux photovoltaïques.

❖ **Les articles consultés :**

- **Article 01 : « Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar »**

Mokhtari, K. Brahim et R. Benziada

Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, B.P. 1505, El M'Naouar, Oran 2 Centre Universitaire de Béchar en 2008

Cet article traite de la relation entre conception architecturale et confort climatique des usagers sans recours total ou partiel au conditionnement mécanique des locaux. Y sont présentés les principes de base de l'architecture bioclimatique et de l'art de construire, ainsi que des données relatives au climat saharien avec focalisation sur la ville de Béchar. La comparaison entre les valeurs simulées et les observations, en Janvier et Juillet, dans une maison individuelle de type F3 dans la zone sud-ouest de Béchar montre que l'on peut, presque atteindre le niveau de confort thermique requis par un choix judicieux des matériaux de construction, de la forme du bâtiment, de l'orientation et les dimensions des ouvertures

- **Article 02 : « L'impact de l'amélioration de l'enveloppe construite avec des matériaux locaux sur la consommation énergétique »**

M.Ouldzemirli, M. Bennabas et D. Lograb

Université Ahmed Draïa d'Adrar Faculté des Sciences et de la Technologie

Séminaire International sur les Matériaux Locaux et la Construction Durable (SIMaLoCoD) Adrar, le 04 et 05 décembre 2016

L'objectif de cet article est de tester l'adaptabilité et l'effet des matériaux locaux sur la consommation de l'énergie vis-à-vis du confort thermique, ils ont fait une étude comparative

entre deux boxes, l'un construit avec du parpaing « béton » et le deuxième avec l'adobe ou bloc de terre comprimé « BTC », afin de ressortir les besoins de consommations énergétiques pour la climatisation et le chauffage, le travail est effectué à l'aide de simulation avec le logiciel Pléiades + Comfie, dans des climats différenciés de nos régions, l'une au Nord (Batna) et l'autre au Sud du pays (Adrar). A travers cette étude ils ont approuvé qu'il y a des simples techniques qui nous offrent des constructions et des maisons bioclimatiques en favorisant les architectures de terre et respectent notre environnement.

➤ **Article 03 : « Approche bioclimatique comparative pour le confort et les stratégies passives de chauffage et de refroidissement en Algérie »**

S. Semahi, N. Zemmouri, M. Singh et S. Attia

Building and Environment

Volume 161, 15 August 2019, 106271

La consommation énergétique et le confort des bâtiments sont fortement affectés par les conditions climatiques. Pour cette raison, le but de cet article est d'analyser le potentiel bioclimatique des zones climatiques de l'Algérie. Cette analyse a été effectuée sur huit régions représentatives (Alger, Guelma, Chlef, Sétif, Biskra, Bechar, Adrar, Tamanrasset –In Guezzam) et basée sur le model ASHRAE 55-2017. L'évaluation du potentiel bioclimatique a été faite à l'aide du logiciel de simulation EnergyPlus. Les résultats des besoins en chauffage et climatisation ont été calculés et comparés pour chaque zone climatique afin de proposer des solutions passives telles que le chauffage solaire passif, la ventilation naturelle et le rafraichissement par évaporation direct.

8. Conclusion :

Dans ce chapitre l'attention a été portée principalement sur les techniques d'efficacités énergétiques dites passives, cet impérative a été dicté par le souci de mettre en lumière des solutions qui vont être simulées dans la prochaine étape afin d'analyser leurs impacts sur les besoins énergétiques du bâtiment.

Notre étude sera basée sur l'amélioration de l'adaptation climatique d'un logement standard calibre représentatif du logement contemporain algérien, ainsi qu'à l'amélioration de son efficacité énergétique.

1. Introduction :

La connaissance des données climatiques nous permet de faire une stratégie énergétique par rapport aux sites choisis, dans ce chapitre on va présenter les données climatiques ainsi que la présentation du cas d'étude.

2. Classification Des zones Climatiques En Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones [7]:

Zone A : comprend le rivage de la mer et parfois le versant Nord des chaînes côtières,

Zone B : comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtières et l'atlas tellien ; au sein de cette zone, on distingue une sous-zone B' qui comprend la vallée du Chélif ;

Zone C : comprend les Hauts-Plateaux compris entre l'atlas tellien et l'atlas Saharien ;

Zone D₁ : comprend le Sahara, et le Sahara centrale.

Zone D₂ : Comprend principalement la Wilaya d'Adrar.

Zone D₃ : Comprend principalement le Tassili et le Hoggar.

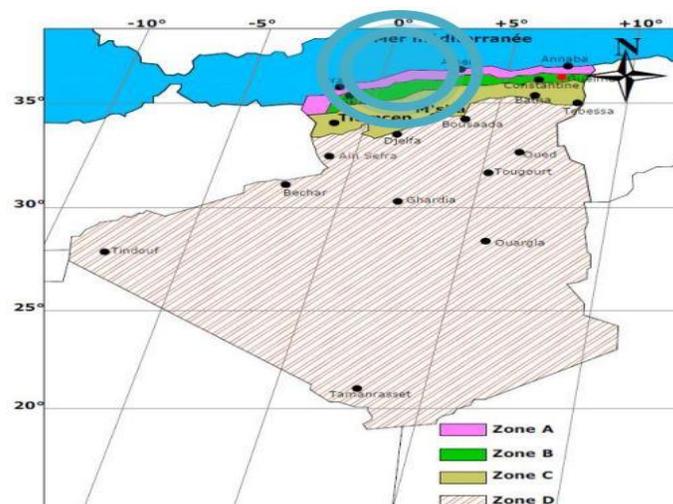


Figure 2. 1 : Classification du climat en Algérie [8]

3. Présentation des villes étudiées :



Figure 2. 2 : : Localisation des villes étudiées

3.1. Les données géographiques des villes étudiées :

Tableau 2. 1: Données géographiques [9]

NO.	VILLE	COORDONNEES	ALTITUDE (M)	ZONE CLIMATIQUE
1	Alger	36.8 °N 3.0 °E	116	A
2	Sétif	36.1 °N 5.4 °E	1038	C
3	Tiaret	35.5 °N 1.2 °E	563	B'
4	Biskra	34.7 °N 5.7 °E	88	D1
5	El Oued	33.50 °N 6.78 °E	63.5	D1
6	In Salah	27.23 °N 2.50 °E	268	D2

3.2. Les données climatiques moyennes annuelles des villes étudiées :

Tableau 2. 2: Données climatiques moyennes [10]

	ALGER	SETIF	TIARET	BISKRA	EL OUED	IN SALAH
T MAX (°C)	26.7 °C	24.8 °C	28.7 °C	33.4 °C	33.3 °C	42.5 °C
T MIN (°C)	11.0 °C	4.7 °C	7.8 °C	9.8 °C	9.9 °C	13.3 °C
HUMIDITE	58 ~ 76%	44 ~ 77%	34 ~ 76 %	22 ~ 55 %	23 ~ 53%	10 ~ 37%

4. Présentation du projet d'étude :

Notre projet est un logement standard représentatif du logement contemporain Algérien situé dans un bâtiment collectif en 1^{er} étage, composé d'un séjour, 2 chambres, cuisine, un hall, une salle de bain et un WC (Voir figure 2. 5).



Figure 2. 4 : vue sur le bâtiment étudié [11]

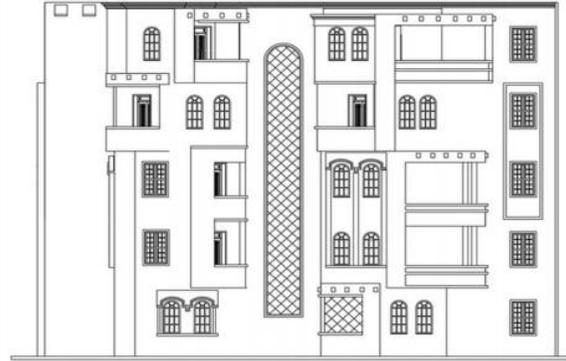


Figure 2. 3 : Façade principale [11]

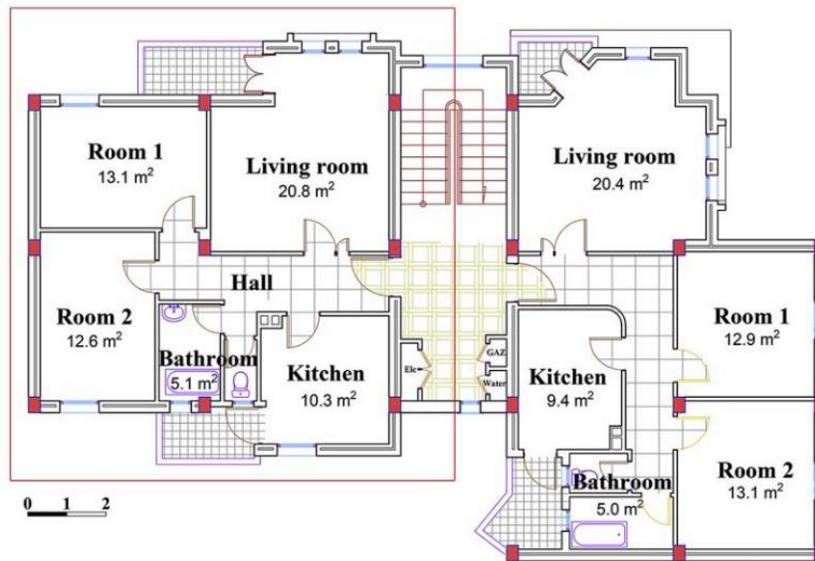


Figure 2. 5 : Plan du cas étudié [11]

4.1. Identification des espaces intérieurs :

Tableau 2. 3: Caractéristique des pièces.

Espace	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Orientation
Chambre 01	13.30	37.77	Nord
Chambre 02	13.16	37.37	Sud
Séjour	21.35	60.63	Nord
Cuisine	11.07	31.44	Sud
Salle de bain	4.54	12.89	Sud
WC	1.33	3.78	
Hall	10.81	30.70	Est
Totale	75.56	214.58	

4.2. Caractéristiques thermo-physiques des éléments constructifs :

Tableau 2. 4: Listes des parois de base

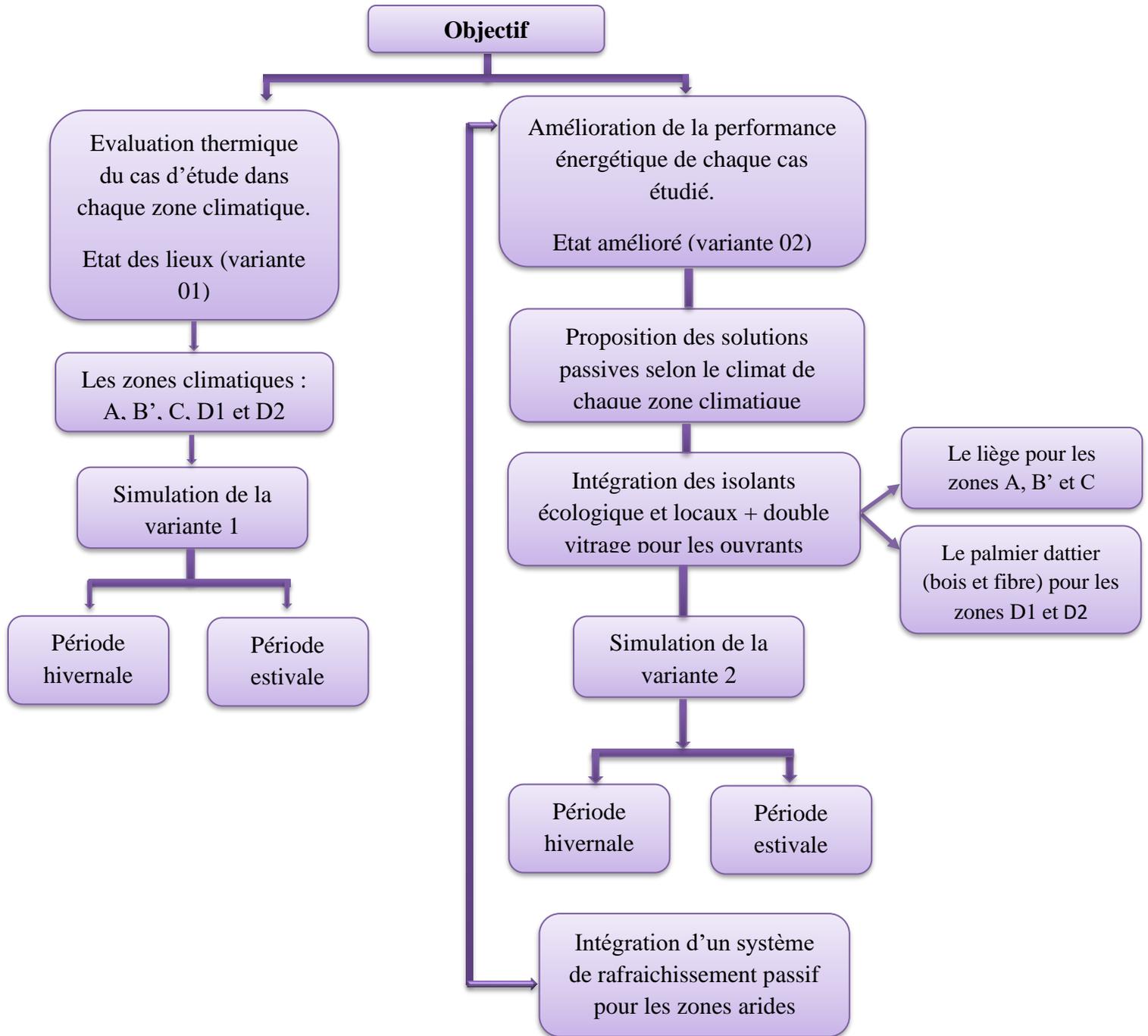
Désignation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/(m.K)	R (m ² .K)/W
<i>Mur extérieur</i>	Mortier	0.02	1.15	0.02
	Brique creuse	0.15	0.71	0.21
	Lame d'air	0.05	0.33	0.15
	Brique creuse	0.10	0.48	0.21
	Plâtre	0.02	0.35	0.06
<i>Mur Intérieur</i>	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Brique creuse	0.10	0.48	0.21
	Plâtre	0.015	0.35	0.04
<i>Plancher bas</i>	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Béton	0.03	1.33	0.15
	Mortier	0.20	1.15	0.03
	Carrelage	0.02	1.70	0.01
<i>Plancher haut</i>	Carrelage	0.02	1.70	0.01
	Mortier	0.20	1.15	0.03
	Béton	0.03	1.33	0.15
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

Type d'ouvertures : -Fenêtre en bois simple vitrage

-Porte fenêtre en bois.

-Porte en bois.

5. Méthodologie de travail :



6. Les matériaux locaux proposés à l'intégration

6.1. Intégration du liège pour les zones du nord et hauts plateaux :

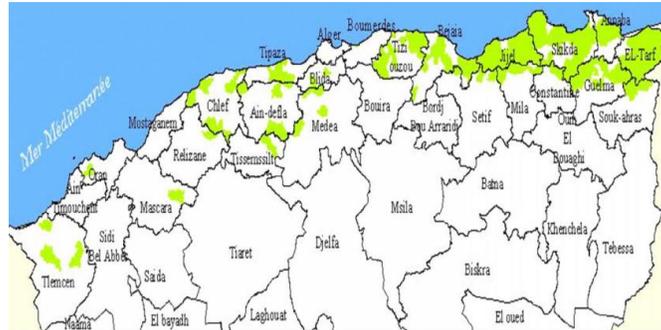


Figure 2. 6 : répartition du chêne-liège en Algérie. [12]

Utilisé comme isolant, le liège présente de nombreux avantages. Il s'agit avant tout d'un isolant naturel polyvalent. Il fait à la fois office d'isolant thermique et acoustique. Il est imperméable à l'eau et résiste au feu. Cette résistance est d'ailleurs gage d'une longue durée de vie. Contrairement aux autres isolants, le liège n'attire pas les rongeurs et les insectes. La souplesse de l'isolant en liège permet une pose facile du matériau. [13]

Les panneaux de liège simulés ont les propriétés suivantes [14] :

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

6.2. Intégration du palmier dattier (bois et fibres) aux zones du sud :

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. [14]

Les propriétés du bois de pétiole du palmier dattier simulé pour notre travail sont comme suit [14] :

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

Les différentes parties du palmier dattier sont représentés par la figure (2.8) :



Figure 2. 7 : les différentes parties du palmier dattier.

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 mortier de terre +5% de fibres de palmier dattier simulé sont [14] :

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

7. Conclusion :

Ce chapitre englobe les données climatiques et géographiques des 6 régions choisis : Alger, Sétif, Tiaret, Biskra, El Oued et In Salah. Ainsi les détails constructifs du logement étudié (entre autre parois extérieures et intérieures, plancher bas, plancher haut et les ouvrants), la méthodologie de travail et les matériaux locaux proposés pour notre cas d'étude.

1. Introduction :

Ce chapitre est destiné à la simulation dynamique du logement choisi pour notre étude, la simulation est faite sous le logiciel Pleiades+Comfie version 2.3.

2. Présentation des logiciels :



Pleiades+Comfie :

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 Pléiades par IZUBA Energies. Pléiades+Comfie est un couplage de deux logiciels. [15]

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 caractéristiques des éléments constructifs, 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. [15].



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. [15].



METEONORM 7.1 :

Le pack Stations Meteonorm comporte plus de 220 stations météo complémentaires (France métropolitaine, Belgique, Suisse, Luxembourg et pays du Maghreb) pour la simulation thermique dynamique. 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.

2.1. Procédures d'injection des données sur pléiades :



Figure 3. 1: Procédure d'injection des données sur pléiade et simulation [14]

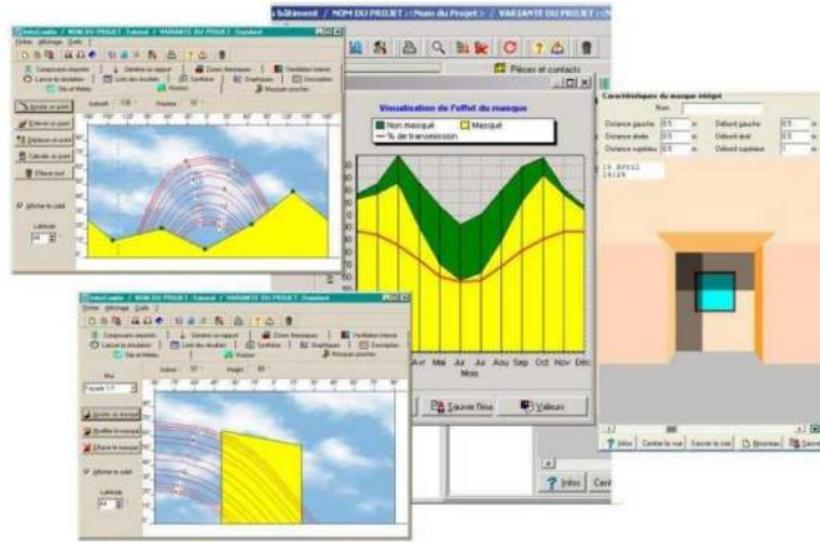


Figure 3. 2: Interfaces Pleiades+Comfie [15]

3. Processus d'application des logiciels :

3.1. Création d'un fichier météorologique :

Sous logiciel Météonorm 7.1 :

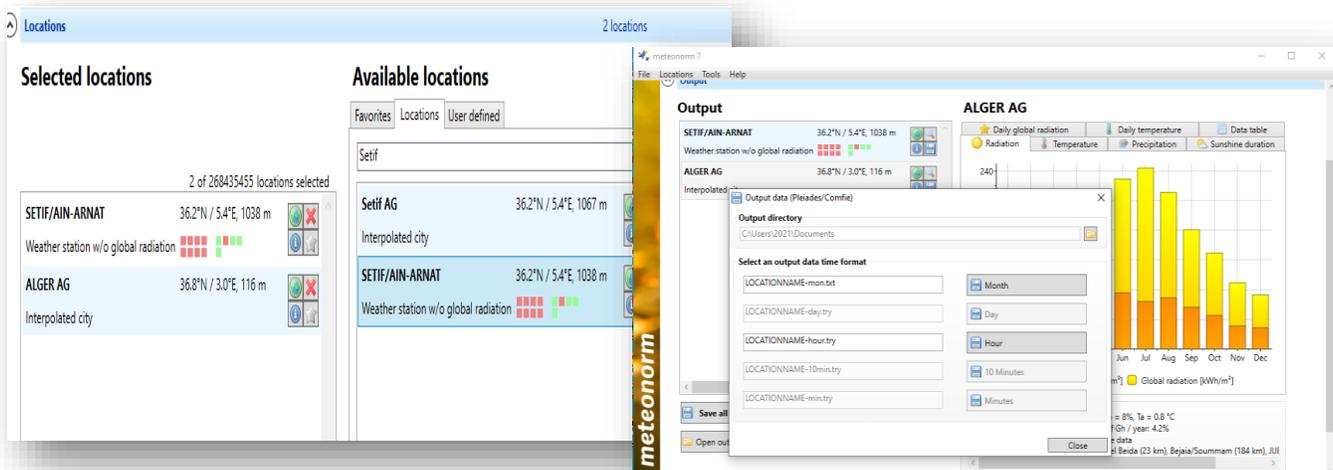


Figure 3. 3: Création de fichier météorologique

3.2. Génération du fichier météorologique sous Météocalc :

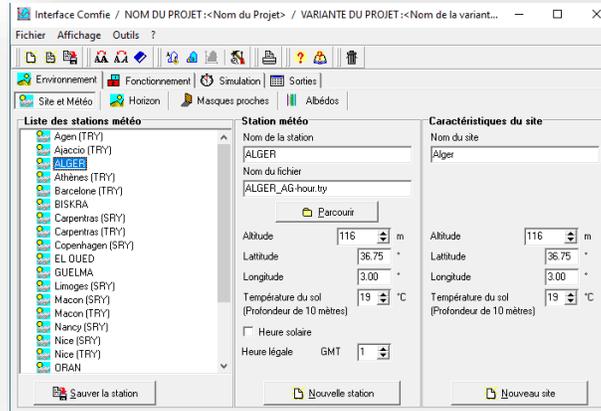


Figure 3. 4: Génération du fichier météorologique

3.3. Sous Pléiades :

3.3.1. Création des matériaux :

Le logiciel PLEIADE-COMFIE possède une grande base de données de matériaux, et même on peut intégrer d'autres éléments grâce à l'identification de leurs caractéristiques thermo-physiques.

Pour les caractéristiques nous avons utilisé les résultats de la littérature :

N°	Building element	Outside to inside	Composition	Thickness (m)	Thermal conductivity (W/m-K)	Density (kg/m3)	Specific heat capacity (kJ/kg K)	U-value (W/m2-K)
1	Exterior wall	Layer 1	Mortar	0.02	1.15	1900	1.08	1.118
		Layer 2	Hollow brick	0.15	0.48	900	0.93	
		Layer 3	Air cavity	0.05	0.024	1.22	1.00	
		Layer 4	Hollow brick	0.1	0.48	900	0.93	
		Layer 5	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	
2	Partition wall	Layer 1	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	1.857
		Layer 2	Hollow brick	0.1	0.48	900	0.93	
		Layer 3	Plaster	0.015	0.35	800	0.93	
3	Internal floor	Layer 1	Tiling	0.02	1.7	2200	0.93	1.985
		Layer 2	Mortar	0.03	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Concrete slab (hollow block)	0.2	1.45	1450	1.08	
4	Roof	Layer 4	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	0.584
		Layer 1	Tightness	0.015	0.7	2100	1.04	
		Layer 2	Mortar	0.04	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Polystyrene	0.05	0.04	20	1.4	
5	Ground floor	Layer 4	Concrete slab (hollow block)	0.2	1.45	1450	1.08	3.259
		Layer 5	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	
		Layer 1	Concrete	0.1	1.75	2500	1.08	
		Layer 2	Mortar	0.03	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Tiling	0.02	1.7	2200	0.93	

Figure 3. 5: Caractéristiques des matériaux utilisées [11]

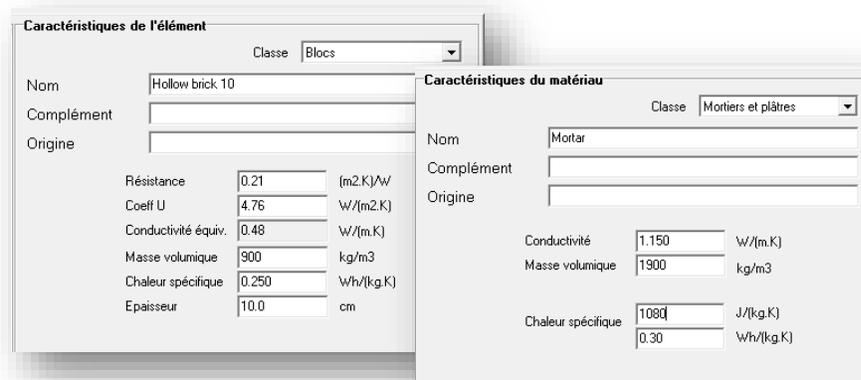


Figure 3. 6: Création des matériaux

3.3.2. Composition des éléments constructifs :

Tableau 3. 1: Composition du mur extérieur

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/(m.K)	R (m ² .K)/W
Mur extérieur	Mortier	0.02	1.15	0.02
	Brique creuse	0.15	0.71	0.21
	Lame d'air	0.05	0.33	0.15
	Brique creuse	0.10	0.48	0.21
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

Tableau 3. 2: Composition du mur intérieur

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/(m.K)	R (m ² .K)/W
Mur Intérieur	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Brique creuse	0.10	0.48	0.21
	Plâtre	0.015	0.35	0.04

Tableau 3. 3: Compositions des planchers

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	λ W/(m.K)	R (m ² .K)/W
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Béton	0.03	1.33	0.15
	Mortier	0.20	1.15	0.03
	Carrelage	0.02	1.70	0.01
Plancher haut	Carrelage	0.02	1.70	0.01
	Mortier	0.20	1.15	0.03
	Béton	0.03	1.33	0.15
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

3.4. Sous Alcyone :

3.4.1. Définition des paramètres constructifs sous Alcyone :

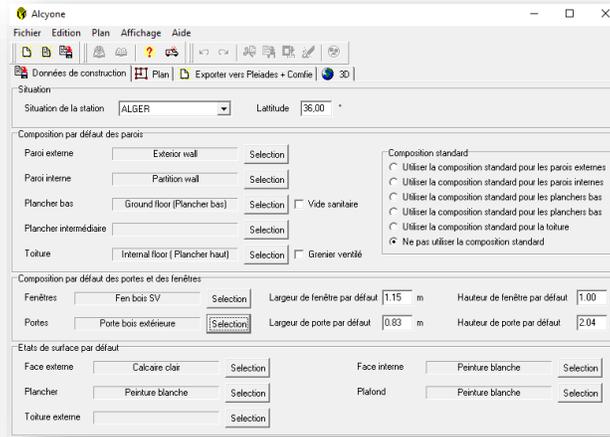


Figure 3.7 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone

3.4.2. Dessin du plan sous Alcyone :

- ✓ Caractéristiques des murs
- ✓ Caractéristiques des ouvrants
- ✓ Identification des pièces
- ✓ Identification des zones thermiques
- ✓ Identification de la position du Nord.

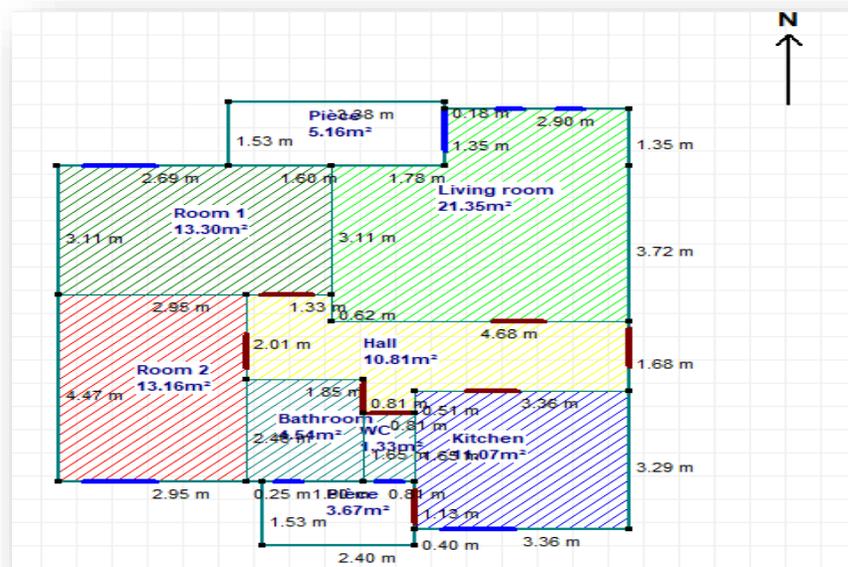


Figure 3. 8 : Plan du logement étudié

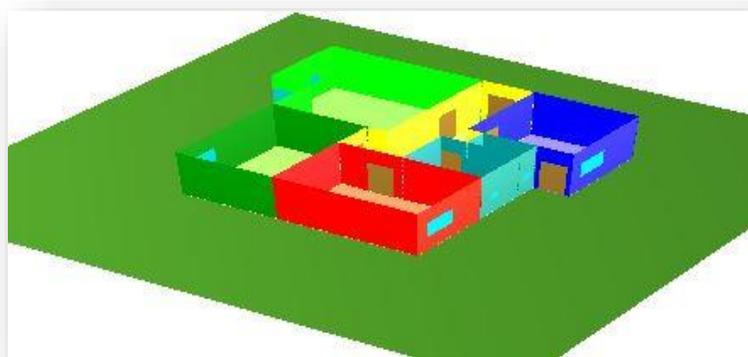


Figure 3. 9: Cas d'étude en 3D

3.5. Définition des scénarios sous Pléiades :

Avant de lancer les simulations, on modélise les scénarios qui présentent les gains internes (sources de chaleur liées à l'environnement intérieur provenant des occupants, de l'éclairage, des appareils électriques ou de l'évaporation d'eau). Des scénarios horaires peuvent être définis sur une année entière pour les consignes de températures, les occupations, les puissances dissipées par les équipements, les occultations des vitrages, les ventilations, etc. [16]

3.5.1. Scénarios d'occupation:

Le scénario d'occupation : permet de déterminer le nombre d'utilisateurs du logement ainsi que le taux de fréquentation de l'espace par heure, le but de ce scénario est de déterminer les apports internes produits par les occupants du logement étudié.

Pour notre simulation, nous avons décidé d'effectuer des scénarios d'occupation différents pour chaque zone selon l'occupation de l'espace par heure :

Nombre d'occupants : 05 personnes.

➤ **Scénario d'occupation proposé pour la zone de confort : chambres et séjour**

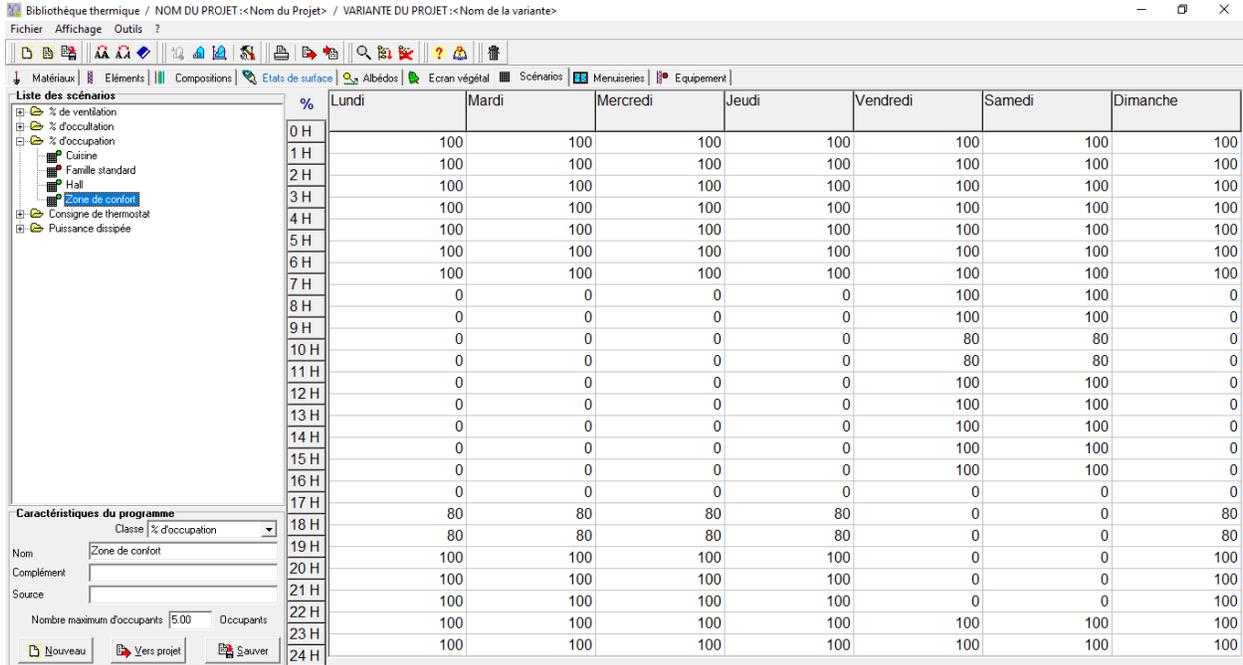


Figure 3. 10: Scénario d'occupation pour la zone de confort.

➤ **Scénario d'occupation proposé pour la cuisine :**

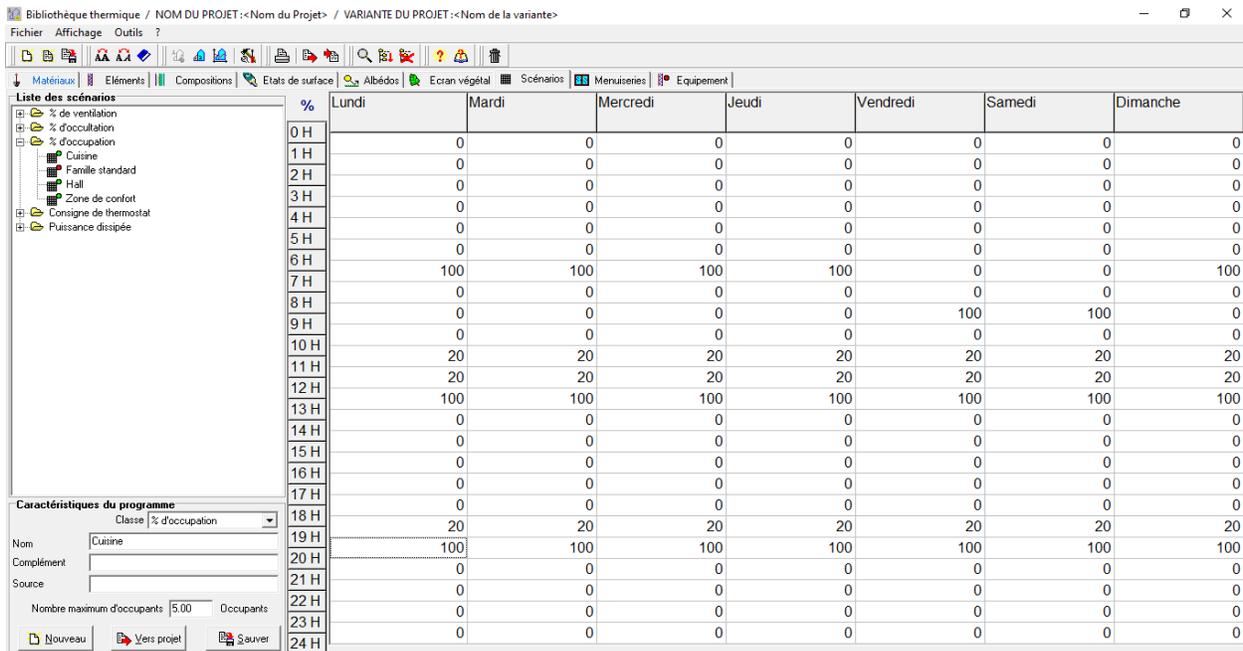


Figure 3. 11: Scénario d'occupation pour la cuisine.

➤ **Scénario d'occupation proposé pour le hall (espace de circulation) :**

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	20	20
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	20	20	20	20	20	0	0
8 H	20	20	20	20	20	0	20
9 H	20	20	20	20	20	20	20
10 H	20	20	20	20	20	20	20
11 H	20	20	20	20	20	20	20
12 H	20	20	20	20	20	20	20
13 H	20	20	20	20	20	20	20
14 H	20	20	20	20	20	20	20
15 H	20	20	20	20	20	20	20
16 H	20	20	20	20	20	20	20
17 H	20	20	20	20	20	20	20
18 H	20	20	20	20	20	20	20
19 H	20	20	20	20	20	20	20
20 H	20	20	20	20	20	20	20
21 H	20	20	20	20	20	20	20
22 H	20	20	20	20	20	20	20
23 H	20	20	20	20	20	20	20
24 H	0	0	0	0	0	20	0

Figure 3. 12: Scénario d'occupation pour le hall.

3.5.2. Scénarios de puissance dissipée :

Ce scénario permet de déterminer la chaleur émise par les appareils électriques pour la simulation thermique dynamique et toujours dans le but d'identifier les apports internes.

➤ **Scénario proposé pour la zone de confort :**

- 6 lampes (33 watts pour chaque une) de 18h-00h
- 1 tv + 1 Démodulateur + (100+100 watts) de 13h-22h
- Pc (100 watts) de 18h- 22h

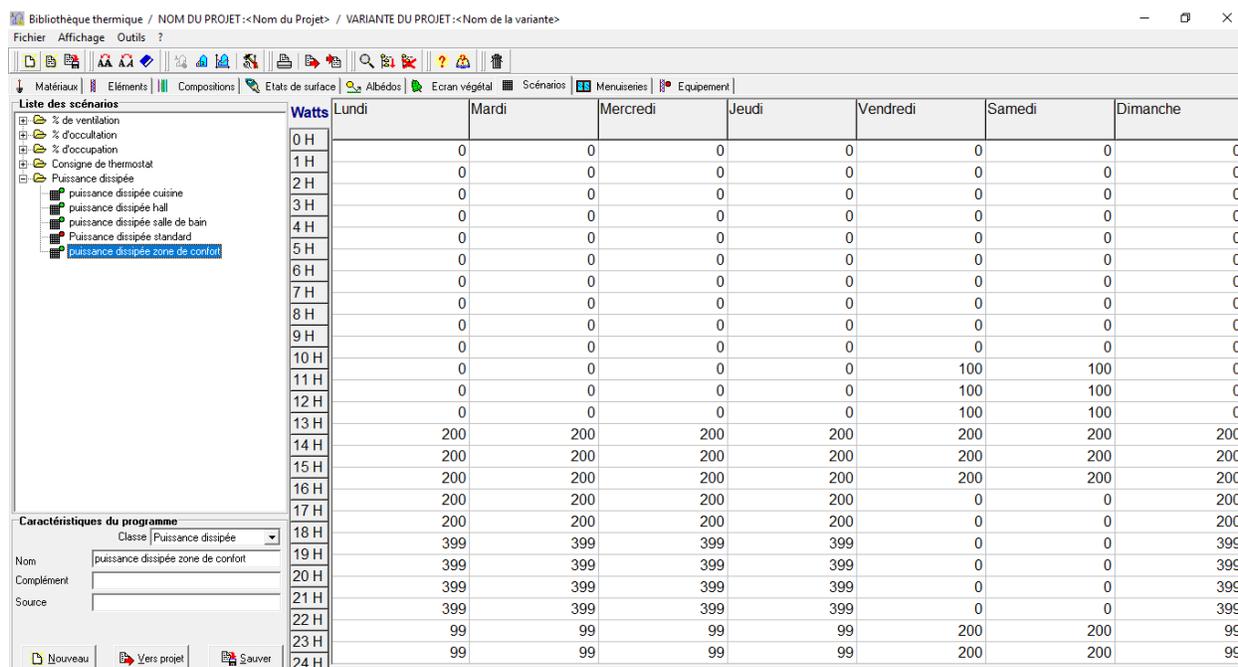


Figure 3. 13: Scénario de la puissance dissipée de la zone de confort.

➤ **Scénario proposé pour la cuisine :**

- Une lampe (33 watts) de 18h-00h
- Un réfrigérateur (70 watts)
- Four à gaz (300 watts) de 10h-12h et de 18h-19h.

Chapitre 03 : Modélisation de cas d'étude

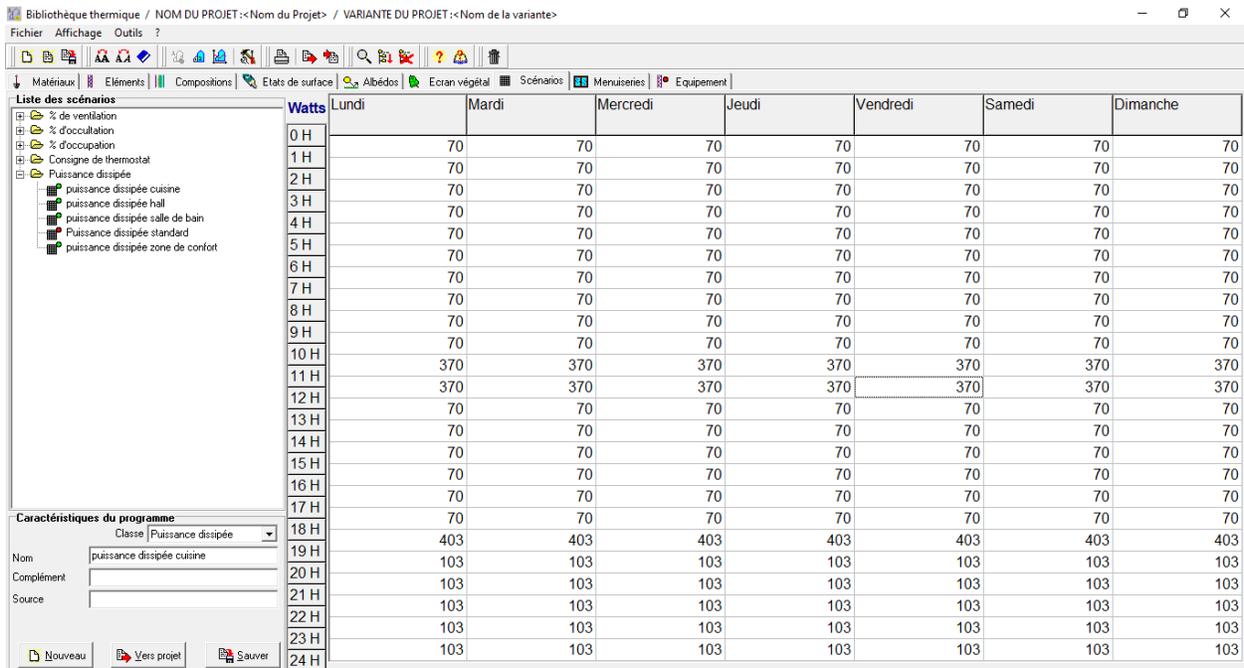


Figure 3. 14: Scénario de la puissance dissipée de la cuisine.

- Scénario proposé pour le hall :
- 2 lampes (33 watts)

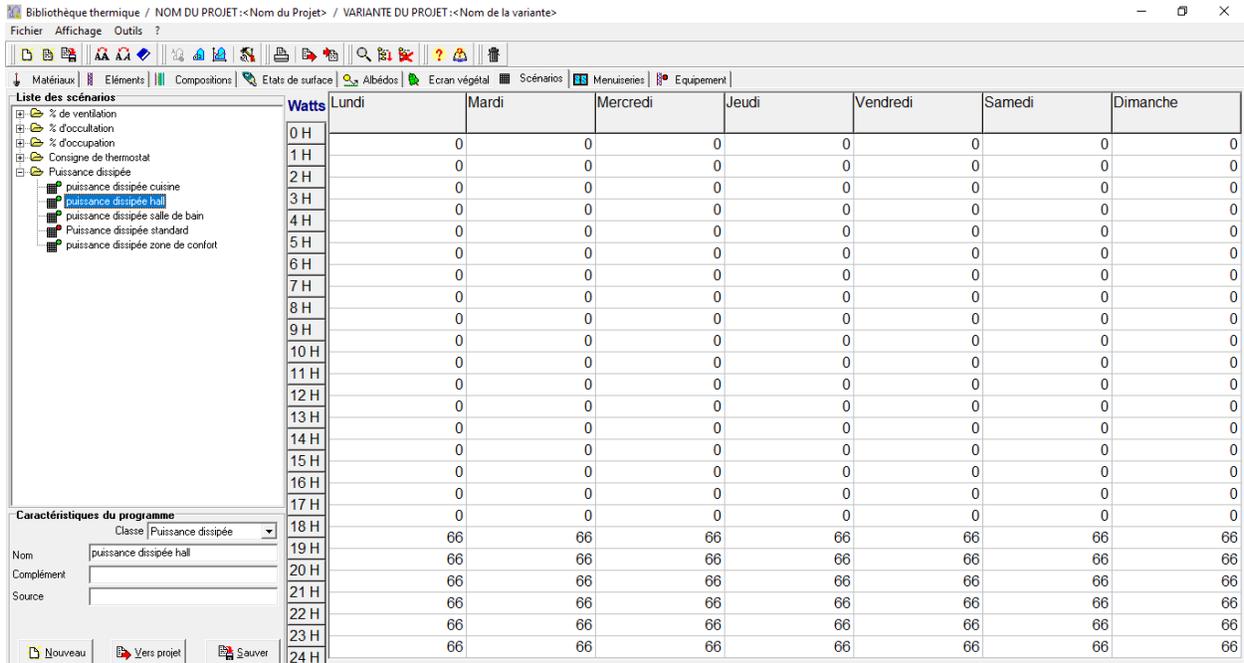


Figure 3. 15: Scénario de la puissance dissipée du hall.

➤ **Scénario proposé pour les salles d'eau :**

- 2 lampes (33 watts pour chaque une) de 18h-00h, on suppose qu'une seule lampe est allumée en alternance, une heure allumée et une heure atteinte.

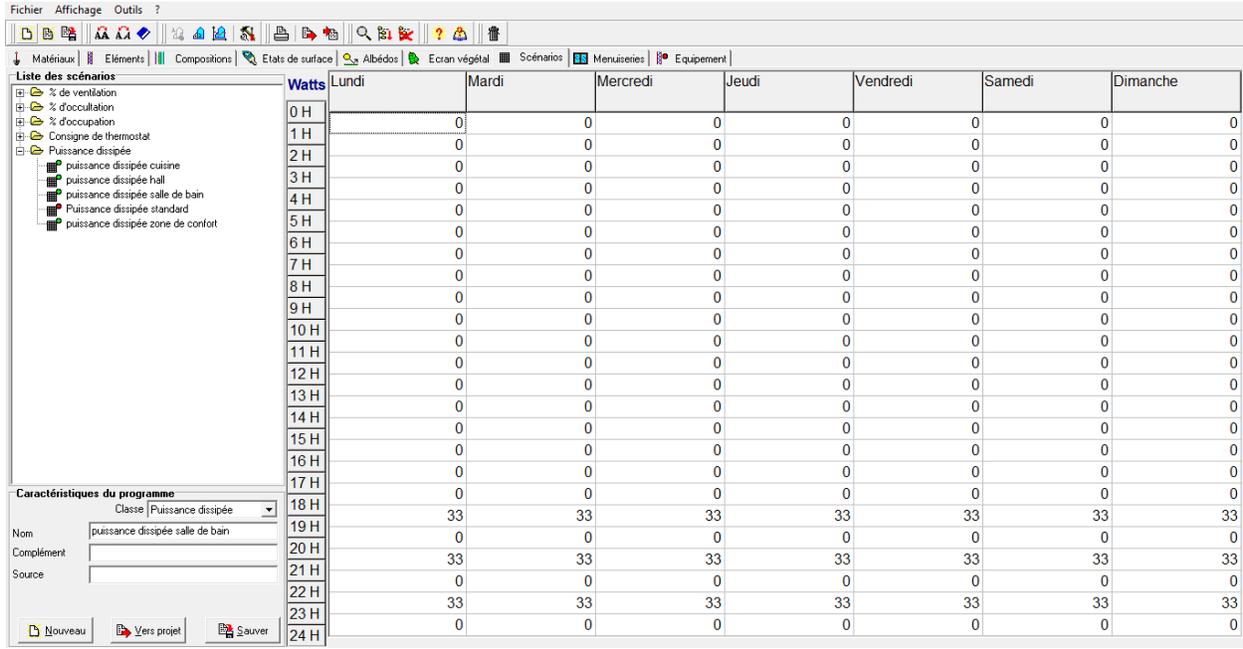


Figure 3. 16: Scénario de la puissance dissipée des salles d'eau.

3.5.3. Scénario de ventilation:

Une bonne qualité de l'air intérieur dans nos bâtiments est aujourd'hui une préoccupation de plus en plus grande.

Pour cette étude, on propose un taux de renouvellement d'air standard de 0.6 du volume habitable.

Chapitre 03 : Modélisation de cas d'étude

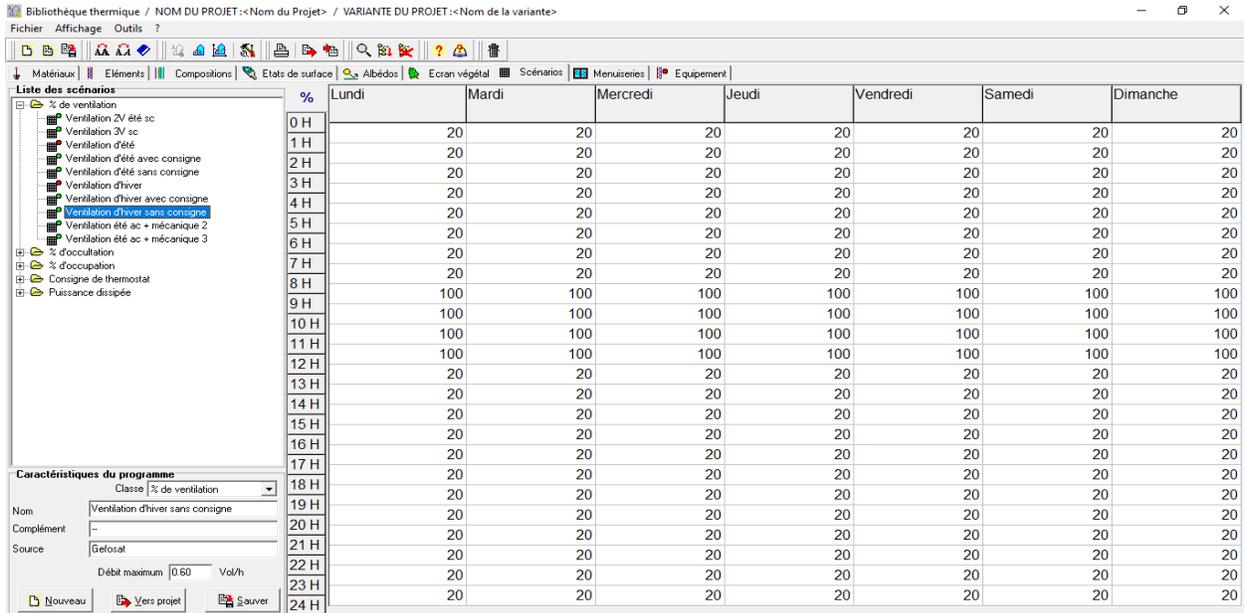


Figure 3. 17: Scénario de ventilation d'hiver sans consigne.

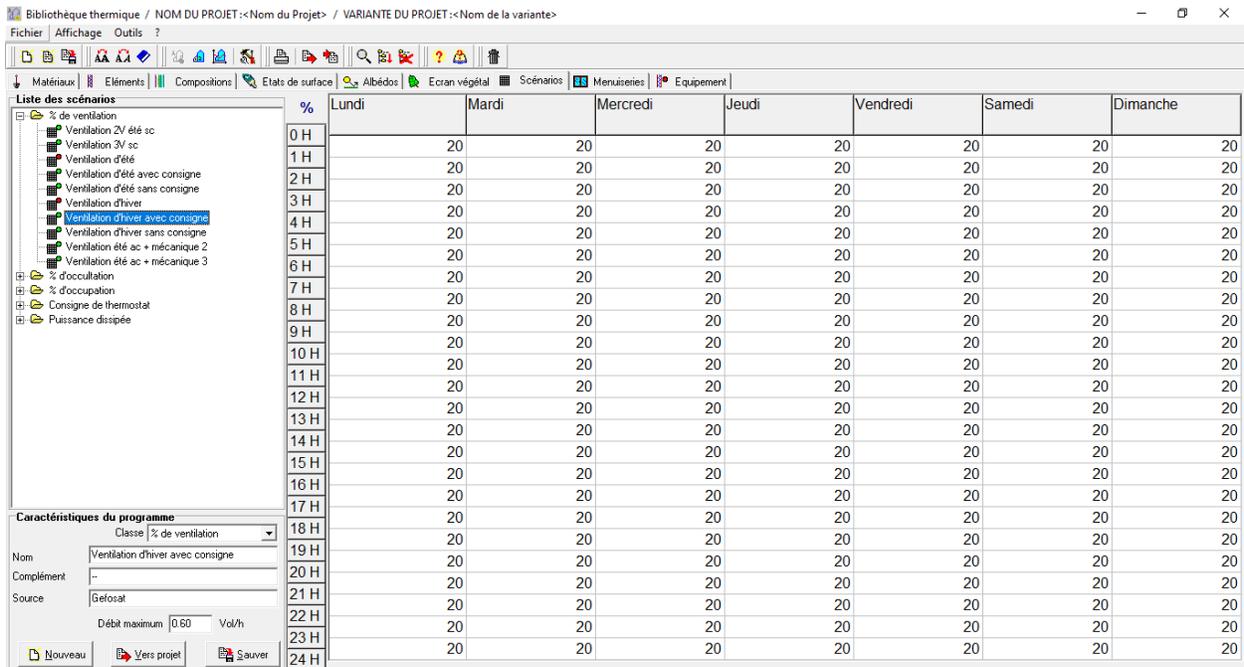


Figure 3. 18: Scénario de ventilation d'hiver avec consigne.

Chapitre 03 : Modélisation de cas d'étude

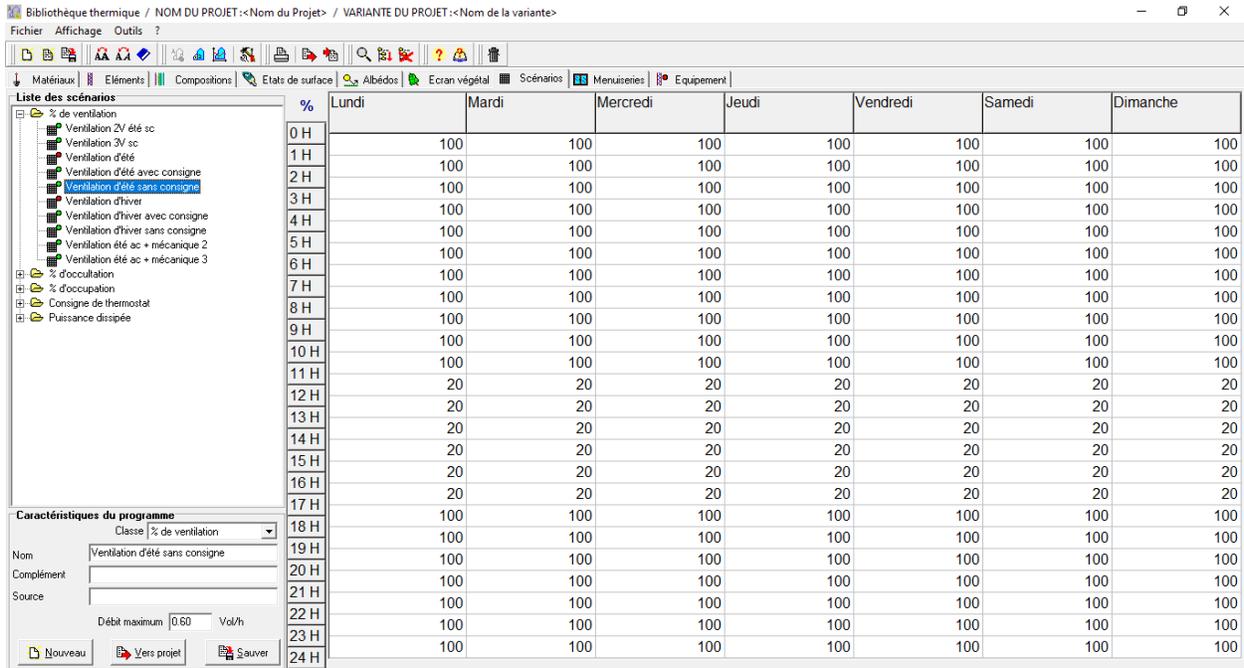


Figure 3. 19: Scénario de ventilation d'été sans consigne.

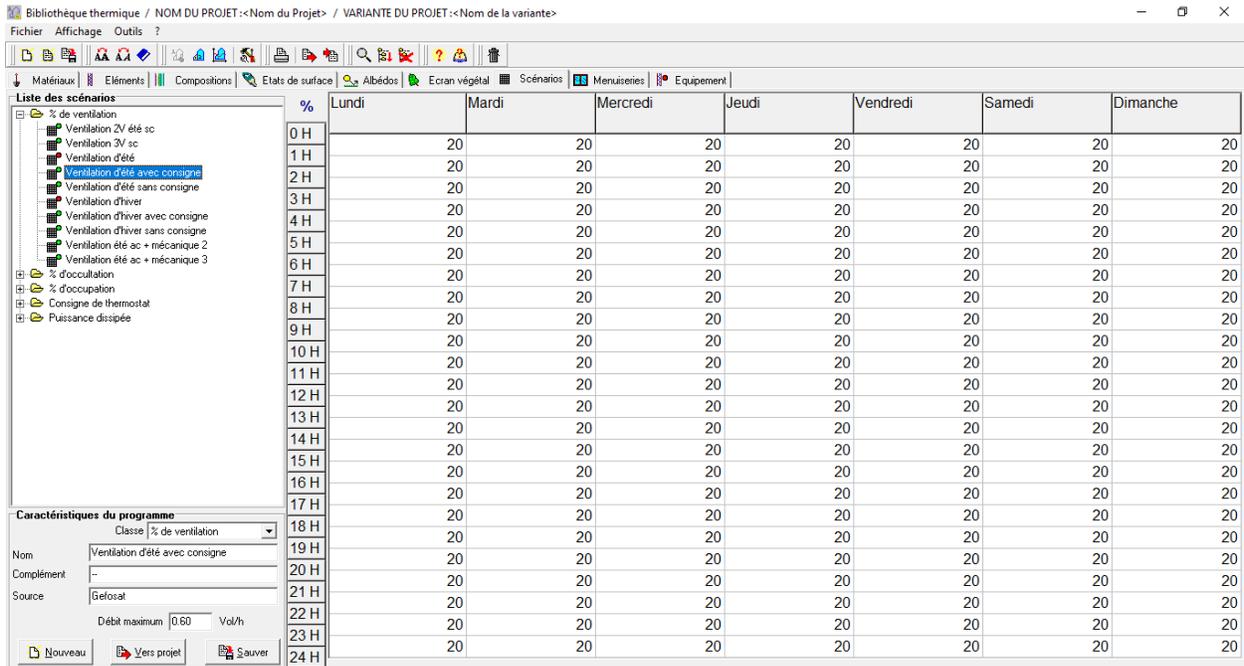


Figure 3. 20: Scénario de ventilation d'été avec consigne.

3.5.4. Scénarios de consigne de thermostat :

Température de consigne : La température de consigne de chauffage correspond à la température minimale acceptable dans le bâtiment : elle a été fixée à 20°C durant toute la journée (DTR C3.2). Dans les chambres et le séjour, La température de consigne de rafraîchissement correspond à la température maximale acceptable : elle a été fixée à 27°C (DTR C3.4).

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	20	20	20	20	20	20	20
2 H	20	20	20	20	20	20	20
3 H	20	20	20	20	20	20	20
4 H	20	20	20	20	20	20	20
5 H	20	20	20	20	20	20	20
6 H	20	20	20	20	20	20	20
7 H	20	20	20	20	20	20	20
8 H	20	20	20	20	20	20	20
9 H	20	20	20	20	20	20	20
10 H	20	20	20	20	20	20	20
11 H	20	20	20	20	20	20	20
12 H	20	20	20	20	20	20	20
13 H	20	20	20	20	20	20	20
14 H	20	20	20	20	20	20	20
15 H	20	20	20	20	20	20	20
16 H	20	20	20	20	20	20	20
17 H	20	20	20	20	20	20	20
18 H	20	20	20	20	20	20	20
19 H	20	20	20	20	20	20	20
20 H	20	20	20	20	20	20	20
21 H	20	20	20	20	20	20	20
22 H	20	20	20	20	20	20	20
23 H	20	20	20	20	20	20	20
24 H	20	20	20	20	20	20	20

Figure 3. 21: Scénario de consigne de thermostat de chauffage.

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	27	27	27	27	27	27	27
2 H	27	27	27	27	27	27	27
3 H	27	27	27	27	27	27	27
4 H	27	27	27	27	27	27	27
5 H	27	27	27	27	27	27	27
6 H	27	27	27	27	27	27	27
7 H	27	27	27	27	27	27	27
8 H	27	27	27	27	27	27	27
9 H	27	27	27	27	27	27	27
10 H	27	27	27	27	27	27	27
11 H	27	27	27	27	27	27	27
12 H	27	27	27	27	27	27	27
13 H	27	27	27	27	27	27	27
14 H	27	27	27	27	27	27	27
15 H	27	27	27	27	27	27	27
16 H	27	27	27	27	27	27	27
17 H	27	27	27	27	27	27	27
18 H	27	27	27	27	27	27	27
19 H	27	27	27	27	27	27	27
20 H	27	27	27	27	27	27	27
21 H	27	27	27	27	27	27	27
22 H	27	27	27	27	27	27	27
23 H	27	27	27	27	27	27	27
24 H	27	27	27	27	27	27	27

Figure 3. 22: Scénario de consigne de thermostat de climatisation.

3.6. Lancement de la simulation :

Pour finir il ne reste plus qu'à lancer la simulation, les résultats seront affichés dans le chapitre suivant.



Figure 3. 23: Lancement de la simulation.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini la simulation thermique dynamique, présenté le processus du fonctionnement du logiciel, aussi décrit toutes les scénarios effectués.

Dans le chapitre suivant on va présenter les résultats et discussions obtenus après lancement des simulations établies par le logiciel Pléiades.

1. Introduction :

En raison du coût et des durées expérimentales, la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimale.

2. Les simulations du logement dans les différents sites d'études :

Variante 01 : Etat des lieux

Variante 02 : Variante améliorée selon chaque zone climatique

2.1. Simulation sans consigne de thermostat : Variante 01

➤ Simulation hivernale :

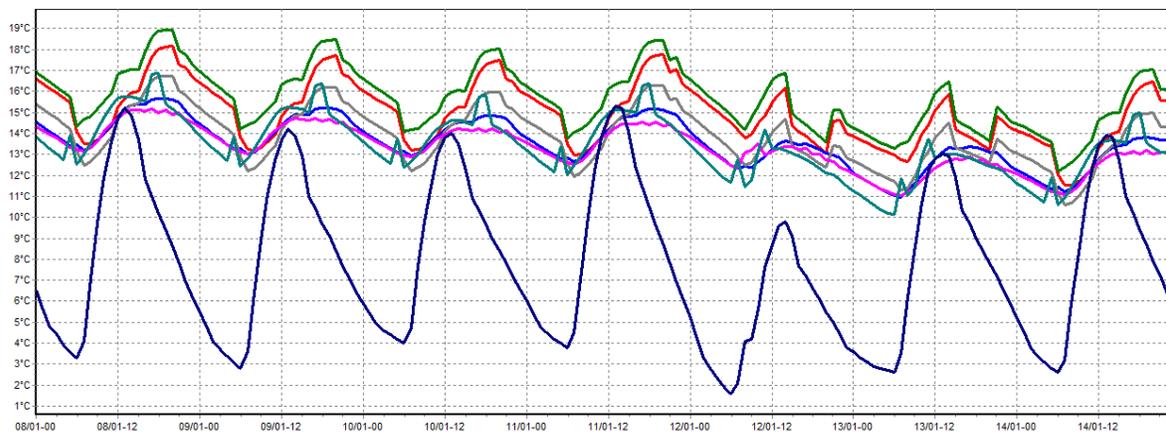
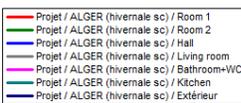


Figure 4. 1 : Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER

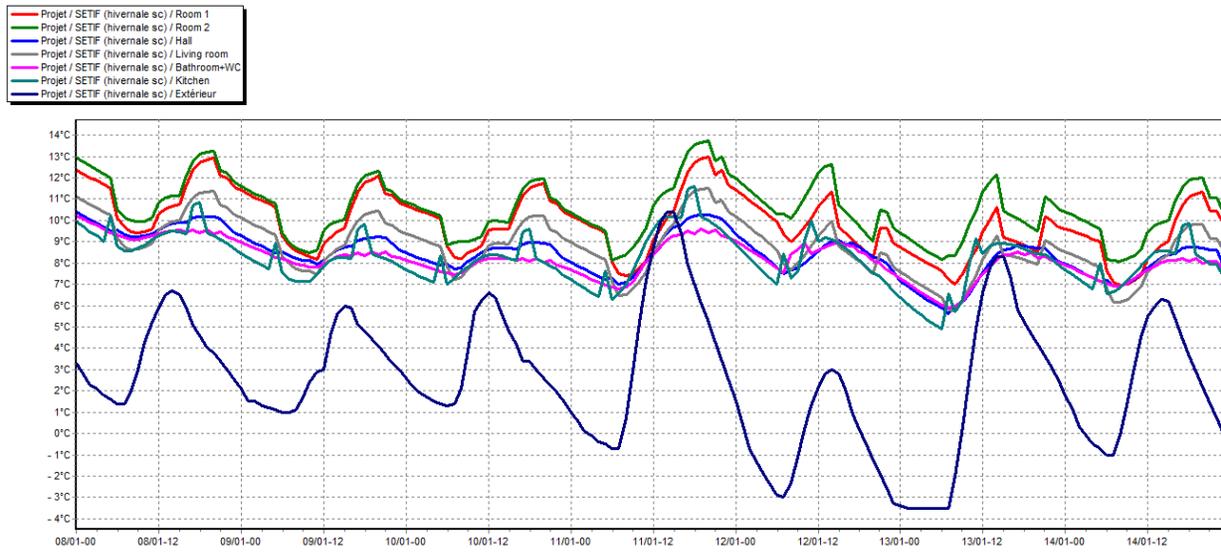


Figure 4. 2: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF

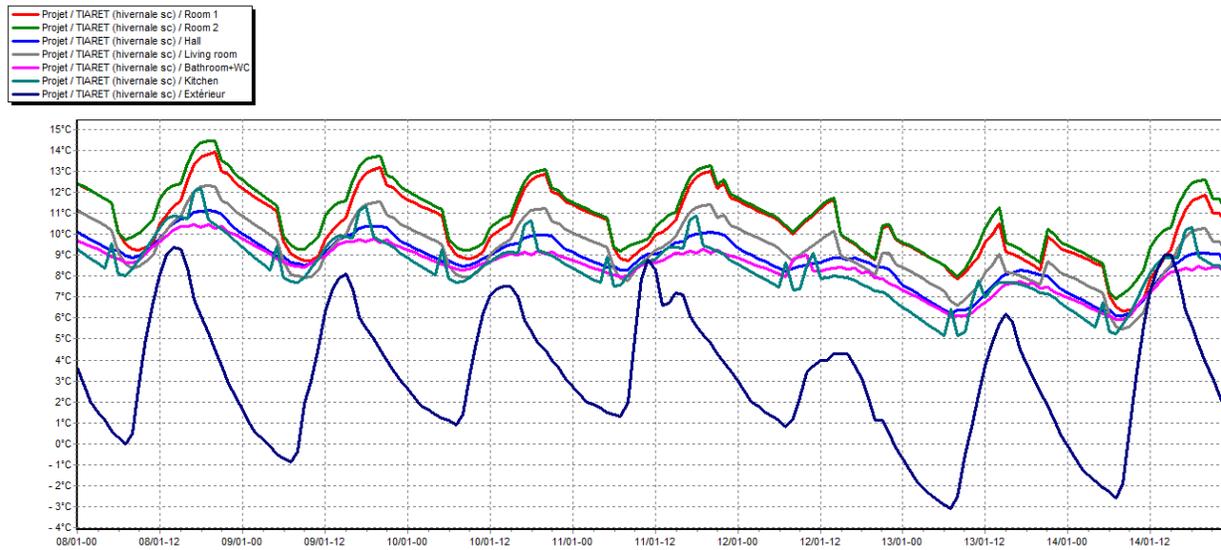


Figure 4. 3: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET

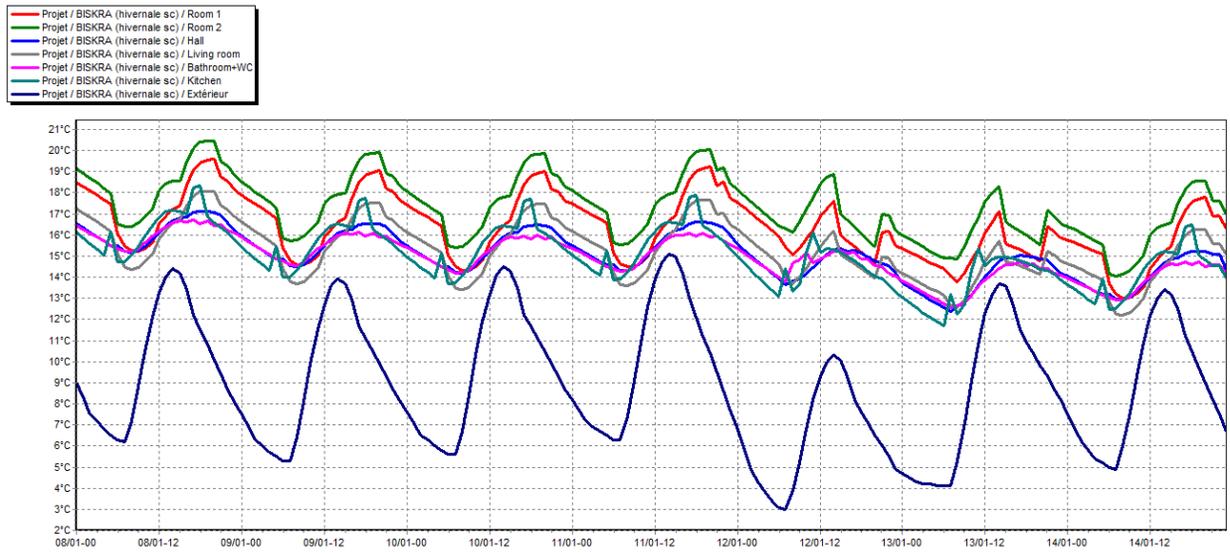


Figure 4. 4: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA

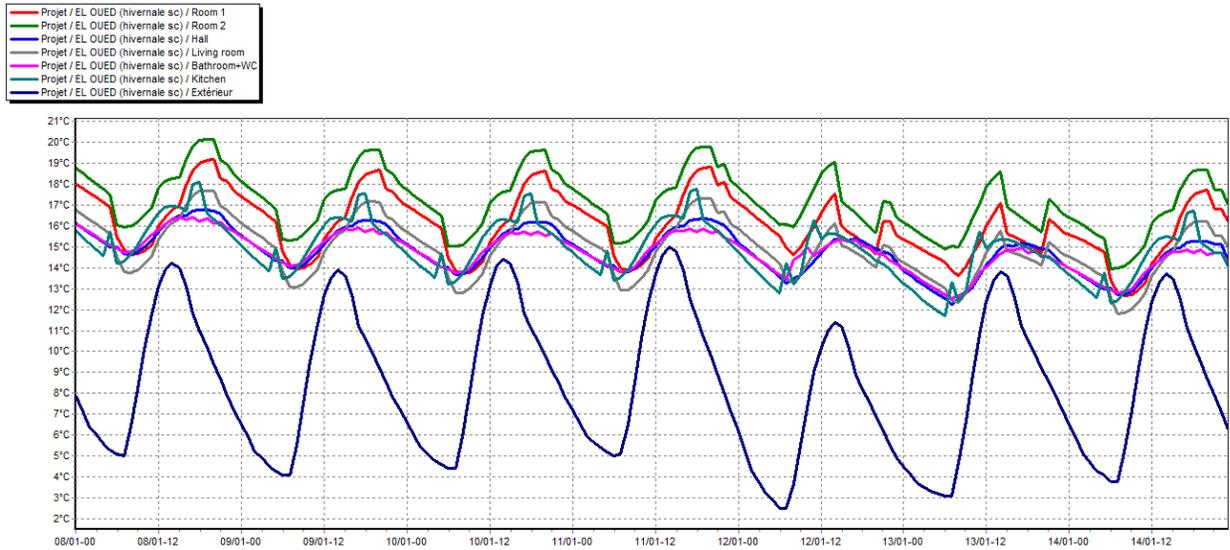


Figure 4. 5: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'El Oued

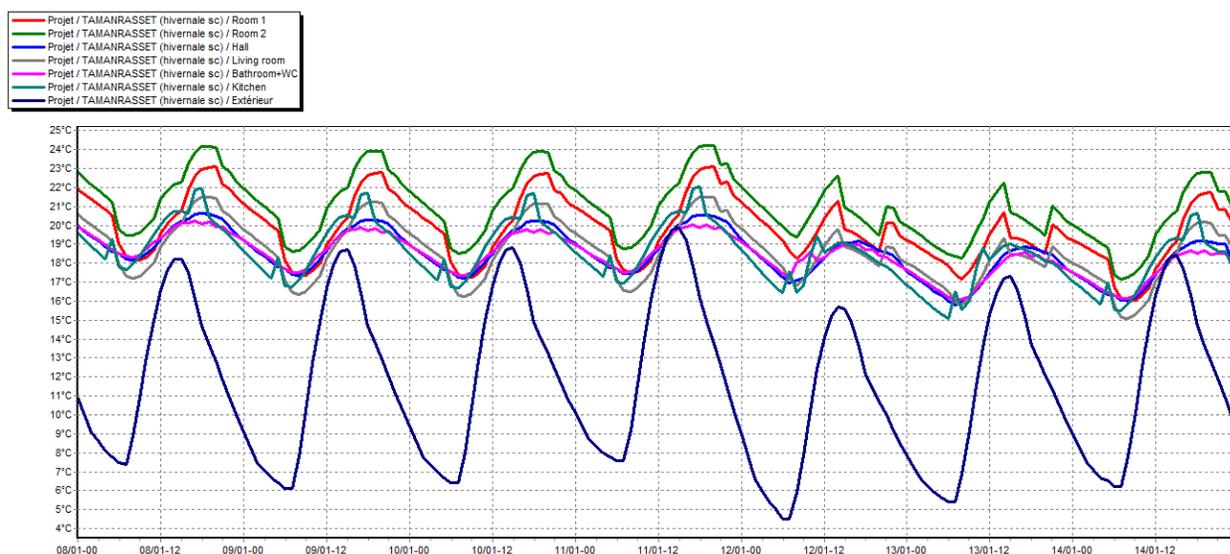


Figure 4. 6: Evolution de température en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 1: Variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones A, B' et C

	ALGER (A)	SETIF (C)	TIARET (B')
Chambre 01	13°C ~ 17.5°C	8°C ~ 12°C	9°C ~ 13°C
Chambre 02	14°C ~ 18°C	9°C ~ 14°C	10°C ~ 14.5°C
Séjour	10.5°C ~ 16.5°C	6°C ~ 11.5°C	8°C ~ 11°C
Cuisine	13°C ~ 17°C	7°C ~ 12°C	8°C ~ 12°C
Extérieur	1°C ~ 15°C	-4°C ~ 10°C	-3°C ~ 9°C

Tableau 4. 2: Variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones D1 et D2

	BISKRA (D1)	EL OUED (D1)	IN SALAH (D2)
Chambre 01	13°C ~ 19.5°C	13°C ~ 19°C	18°C ~ 23°C
Chambre 02	14°C ~ 20.5°C	14°C ~ 20°C	19°C ~ 24°C
Séjour	13°C ~ 17.5°C	13°C ~ 17°C	16°C ~ 21°C
Cuisine	14°C ~ 18°C	14°C ~ 18°C	17°C ~ 22°C
Extérieur	3°C ~ 15°C	2.5°C ~ 15°C	4°C ~ 20°C

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les températures intérieures sont supérieures à celle de l'extérieures dans les différentes régions étudiées et suivent les fluctuations des températures extérieures qui peut atteindre 1°C dans la région d'Alger, jusqu'à -3°C et -4°C pour Tiaret et Sétif, et atteindre les 3°C et 2.5°C dans Biskra et El Oued, et 4°C pour la région d'In Salah. (Voir tableaux 4.1- 4.2)

Pour les zones climatiques A, B' et C, on remarque que les températures à l'intérieur de la chambre 02 et la cuisine varient entre 13°C et 18°C dans la région d'Alger avec un écart de

13°C, de **7°C à 14°C** dans la région de Sétif et entre **8°C et 14.5°C** pour la région de Tiaret, dû à leur orientation vers le sud, ainsi que la puissance dissipée par les appareils de la cuisine, Par contre, les températures atteintes dans la chambre 01 et le séjour, varient de **10°C à 17°C** dans Alger, entre **6°C et 12°C** pour la région de Sétif, et de **8°C à 13°C** dans Tiaret, avec un écart de **12°C à 13°C**.

On remarque la même chose dans les zones arides, où les températures des pièces orientées sud (chambre 02 et cuisine) varient entre **14°C et 20°C** dans la région de Biskra et El Oued, et de **17°C à 24°C** dans la région d’In Salah. Dans les pièces orientées nord ils varient entre **13°C et 19°C** pour El Oued et Biskra et de **16°C à 23°C** pour le cas d’In Salah avec un écart de **10°C à 11°C** dans les régions de Biskra et El Oued, et peut atteindre les **15°C** à In Salah.

On constate que les températures atteintes en période hivernale dans les sites d’Alger, Sétif et Tiaret sont assez basses et ne sont pas conforme aux normes de confort recommandées par le DTR C3.2 (20°C~24°C) ce qui impose l’inconfort. Dans la zone climatique D1, les températures à l’intérieur des zones thermique pour les deux sites d’El Oued et Biskra ne sont aussi pas conforme aux normes, et pour le site de In Salah le confort hivernal est presque atteint avec des températures qui peuvent atteindre **24°C**.

➤ **Simulation estivale :**

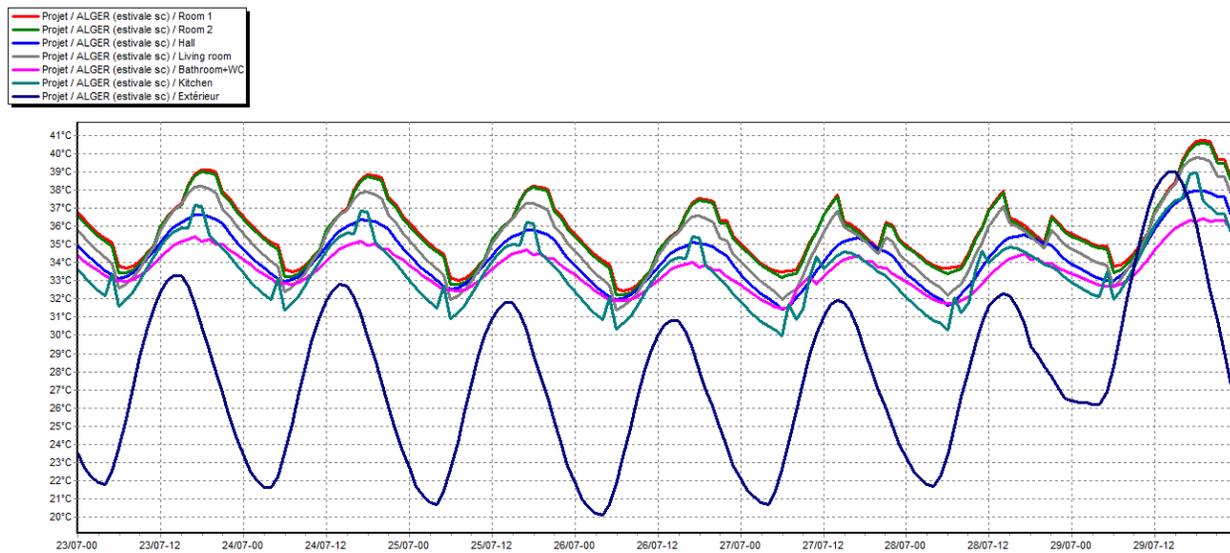


Figure 4. 7: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d’ALGER

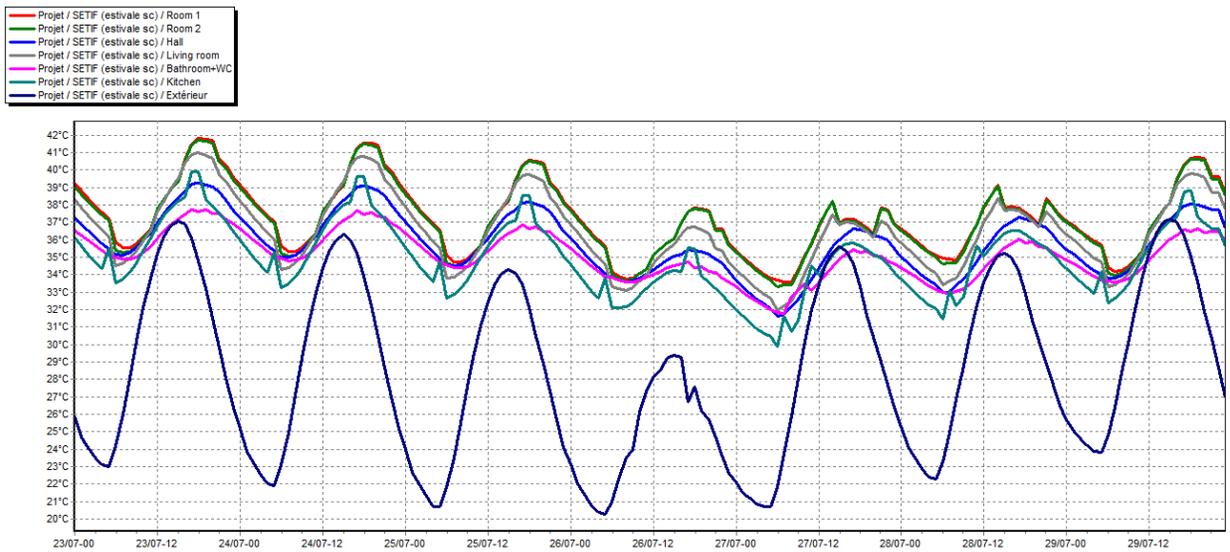


Figure 4. 8: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF

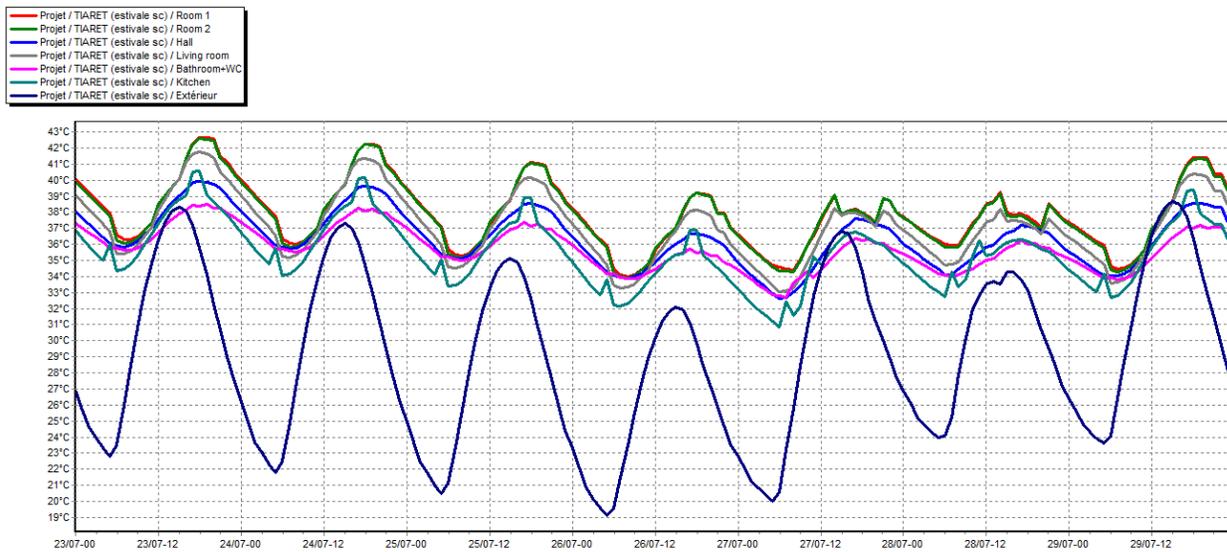


Figure 4. 9: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET

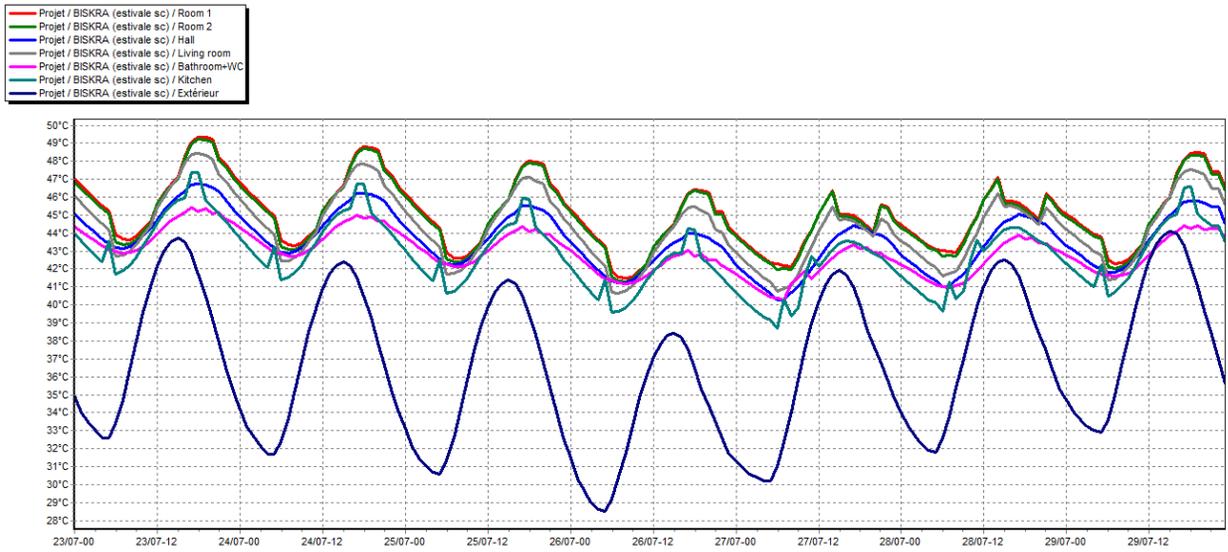


Figure 4. 10: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA

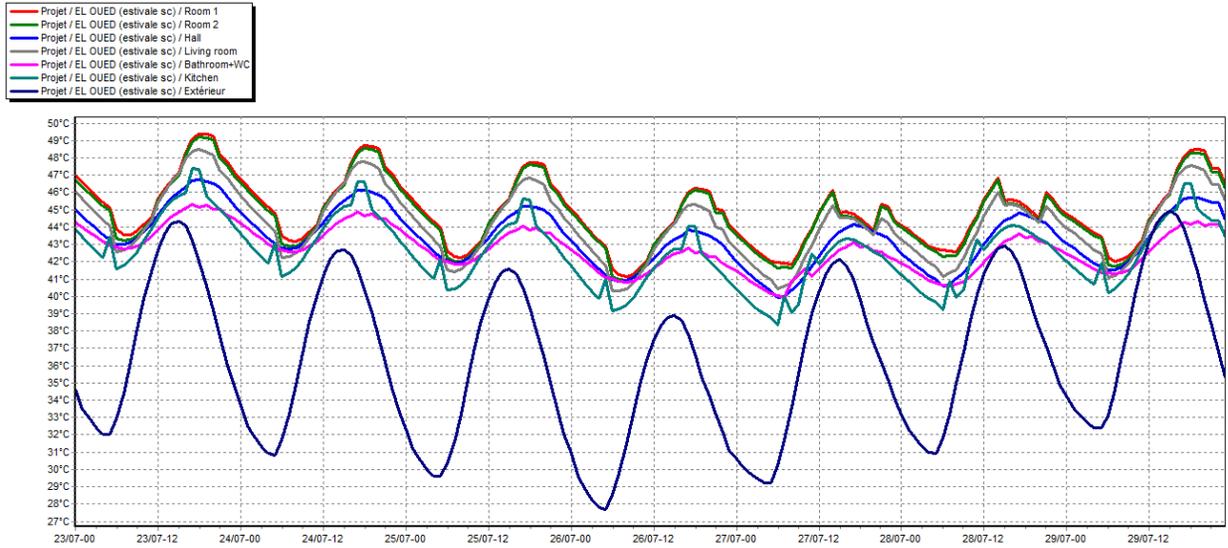


Figure 4. 11: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED

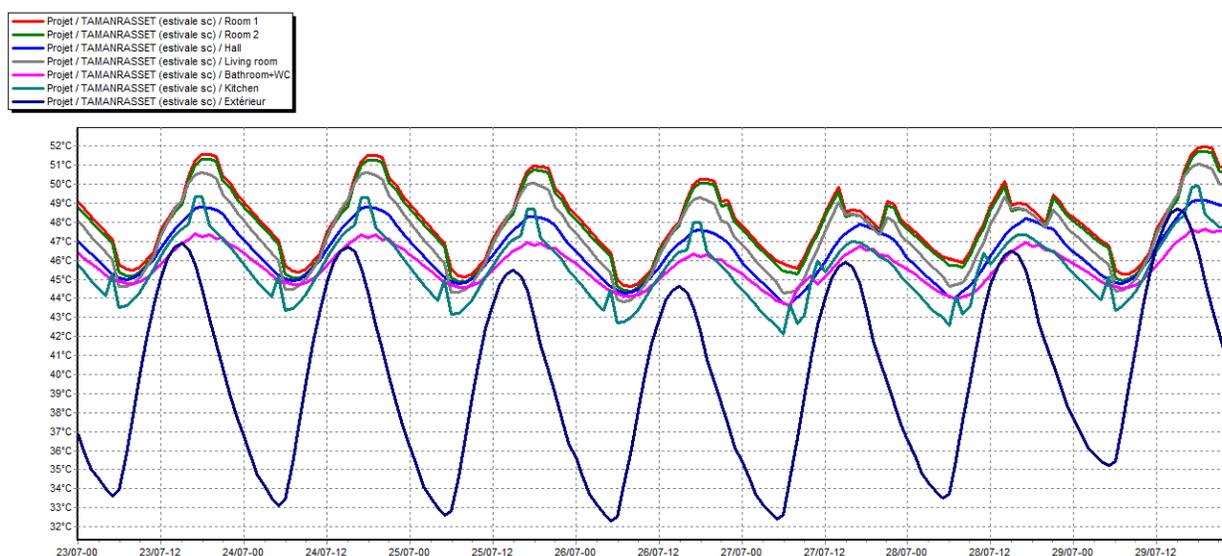


Figure 4. 12: Evolution de température en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 3: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones A, B' et C

	<i>ALGER (A)</i>	<i>SETIF (C)</i>	<i>TIARET (B')</i>
<i>Chambre 01</i>	33°C ~ 37°C	35°C ~ 39°C	34°C ~ 40°C
<i>Chambre 02</i>	33.5°C ~ 38°C	36°C ~ 40°C	36°C ~ 41°C
<i>Séjour</i>	32°C ~ 37°C	33°C ~ 39°C	35°C ~ 38°C
<i>Cuisine</i>	34°C ~ 39°C	34°C ~ 41°C	36°C ~ 42°C
<i>Extérieur</i>	20°C ~ 39°C	20°C ~ 37°C	19°C ~ 38°C

Tableau 4. 4: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones D1 et D2

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Chambre 01</i>	43°C ~ 48°C	43°C ~ 48°C	45°C ~ 49°C
<i>Chambre 02</i>	44°C ~ 49°C	43.5°C ~ 49°C	46°C ~ 50°C
<i>Séjour</i>	41°C ~ 46°C	41°C ~ 47°C	44°C ~ 49°C
<i>Cuisine</i>	42°C ~ 48°C	42°C ~ 48°C	45°C ~ 51°C
<i>Extérieur</i>	28.5°C ~ 44°C	28°C ~ 45°C	32°C ~ 49°C

Selon les résultats des simulations estivales nous avons aussi remarqué que les températures intérieures sont supérieures à celle de l'extérieures dans les différentes régions étudiées et suivent les fluctuations des températures extérieures, où les températures à l'intérieur du chambre 01 et le séjour qui sont orientés nord, varient entre **32°C** et **37°C**, **33°C** et **39°C**, et de **35°C** jusqu' à **40°C** pour les régions d'Alger, Sétif et Tiaret respectivement Ils varient de **34°C** à **39°C** dans la chambre 02 et la cuisine pour le cas d'Alger, entre **34°C** et **41°C** pour le cas

de Sétif et de 36°C jusqu'à 42°C dans la région de Tiaret, avec un écart de 13°C pour Alger et 15°C pour Sétif et Tiaret.

Pour les régions de Sud, les températures à l'intérieur de la chambre 01 et le séjour pour les deux sites d'El Oued et Biskra varient entre 41°C et 48°C, et de 44°C à 49°C pour le site d'In Salah. Ils varient de 42°C à 49°C, et de 46°C jusqu'à 51°C dans Biskra, El Oued et In Salah respectivement, dans la chambre 02 et la cuisines avec un écart qui peut atteindre 13°C à 15°C.

Donc, nous avons remarqué que le comportement thermique du bâtiment étudié pour les différents sites en période estivale n'est pas convenable aux normes de confort malgré l'intégration de la ventilation nocturne, dû à la mal isolation, surtout pour les régions arides où la température peut atteindre environ 45°C à Biskra et El Oued et jusqu'à 49°C à In Salah à cause de la faible inertie des matériaux de construction.

Tous ces résultats montrent que la différence en températures entre les pièces est dû au positionnement des pièces au sein du bâtiment, les pièces exposées au sud profitent du soleil bas de l'hiver et de ses apports gratuits de chaleur mais cela représente plutôt un inconvénient en été surtout pour les régions arides, avec les gains de chaleurs reçus à travers les ouvertures qui sont aussi orientées sud sans protection solaire, d'où l'intégration du chauffage et la climatisation est nécessaire pour améliorer le confort des occupants.

2.2. Simulation avec consigne de thermostat : Variante 01

La simulation avec consigne de thermostat nous permet de simuler avec chauffage en hiver, et climatisation en été, ce qui nécessite l'intégration des scénarios de consigne de thermostat, et cela nous permet de quantifier les besoins énergétiques.

➤ Simulation hivernale :

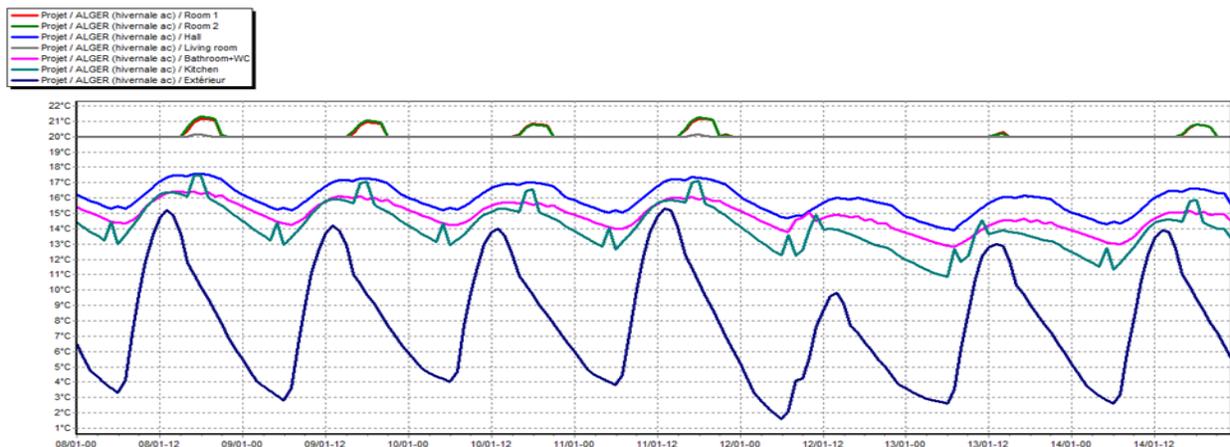


Figure 4. 13: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER

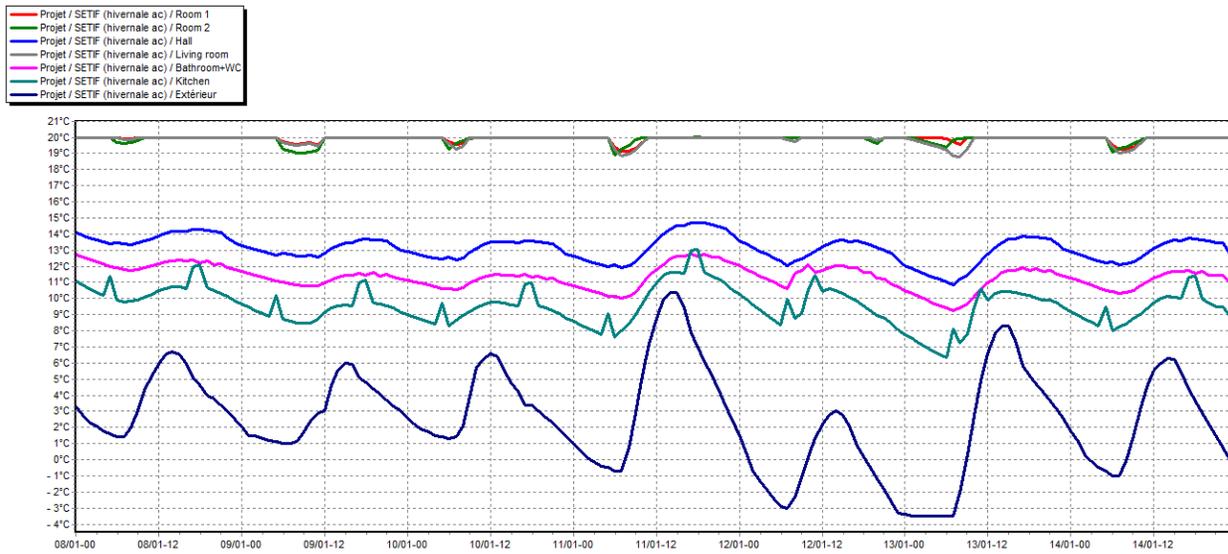


Figure 4. 14: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF

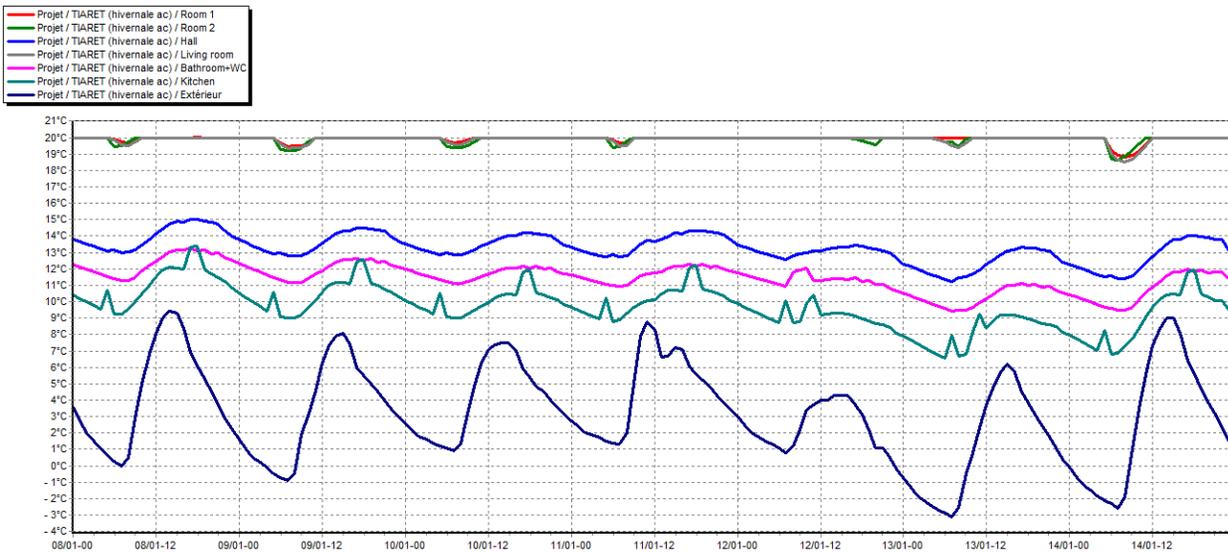


Figure 4. 15: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET

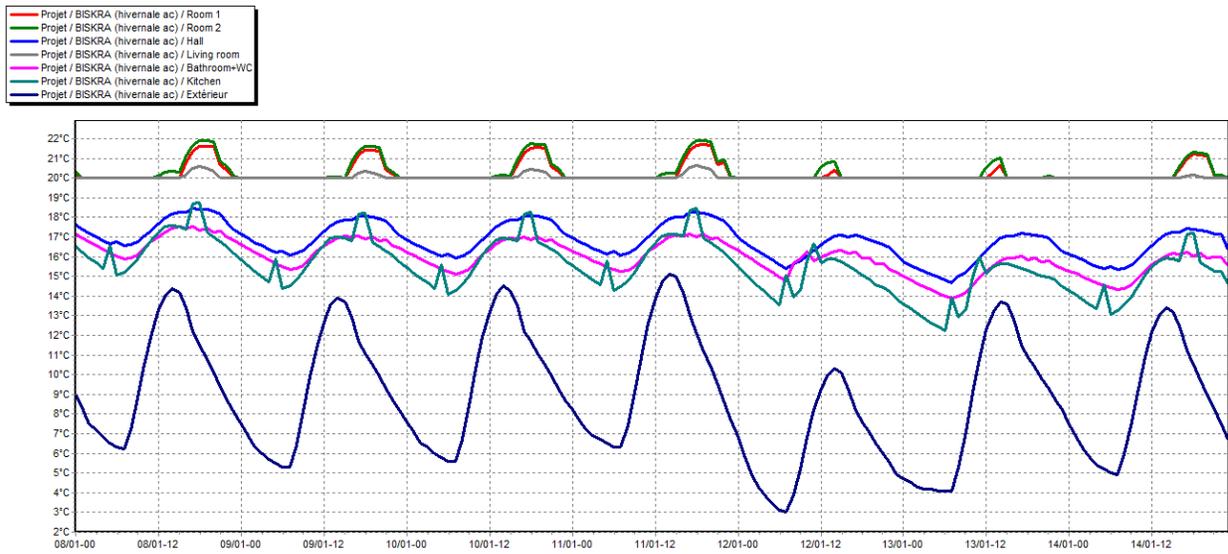


Figure 4. 16: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA

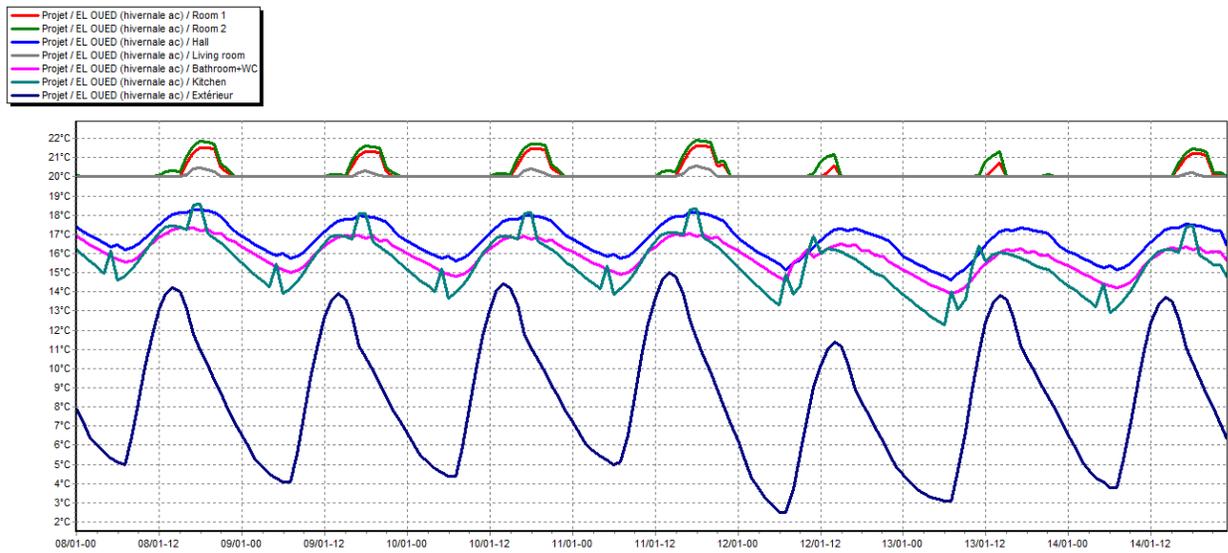


Figure 4. 17: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED

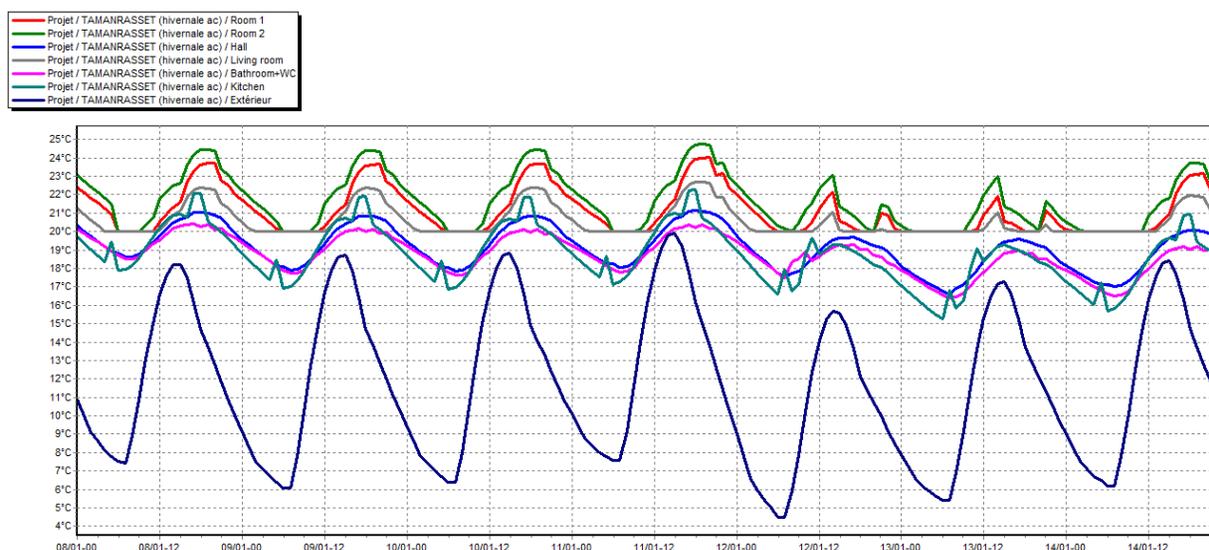


Figure 4. 18: Evolution de température en hiver avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 5: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques A, B' et C

	<i>ALGER (A)</i>	<i>SETIF (C)</i>	<i>TIARET (B')</i>
<i>Besoins en chauffage annuels</i>	2404 KWh 51.7 KWh/m ²	6810 KWh 146.45 KWh/m ²	6210 KWh 133.55 KWh/m ²

Tableau 4. 6: besoins en chauffage pour les zones climatiques D1 et D2

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Besoins en chauffage annuels</i>	1168 KWh 25.12 KWh/m ²	1376 KWh 29.6 KWh/m ²	220 KWh 4.73 KWh/m ²

D'après les résultats obtenus, on remarque que le confort est atteint dans les pièces de confort pour toutes les zones climatiques après l'intégration de la consigne de thermostat. Mais dans les régions d'In Saleh nous avons constaté des fluctuations des températures dans les pièces de confort dû à la faible inertie des éléments constructifs.

Avec une consommation annuelle de **51.7 KWh/m²**, **146.45 KWh/m²** et **133.55 KWh/m²** pour Alger, Sétif et Tiaret respectivement, on remarque que la consommation est élevée pour les deux sites de Sétif et Tiaret à cause de la température extérieure qui peut baisser jusqu'à -4°C à Sétif et -3°C à Tiaret.

Pour les régions de Biskra, El Oued et In Salah, la consommation annuelle a été estimée à **25.12 KWh/m²**, **29.6 KWh/m²** et **4.73 KWh/m²** respectivement, qui est relativement faible dû à la nature du climat de ces zones où l'hiver n'est pas assez froid.

➤ **Simulations estivale :**

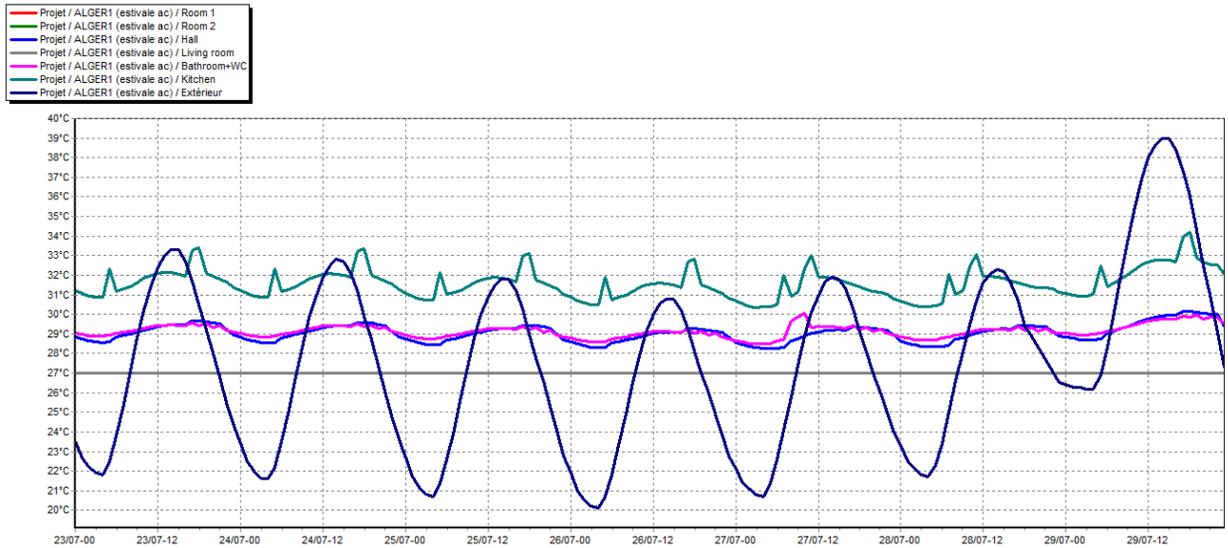


Figure 4. 19: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER

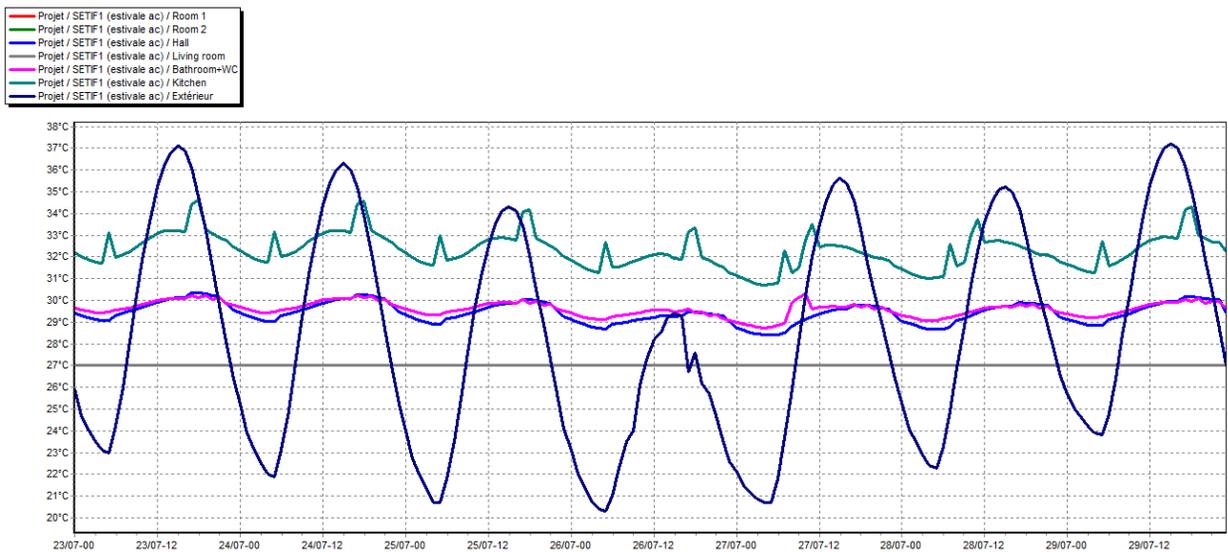


Figure 4. 20: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF

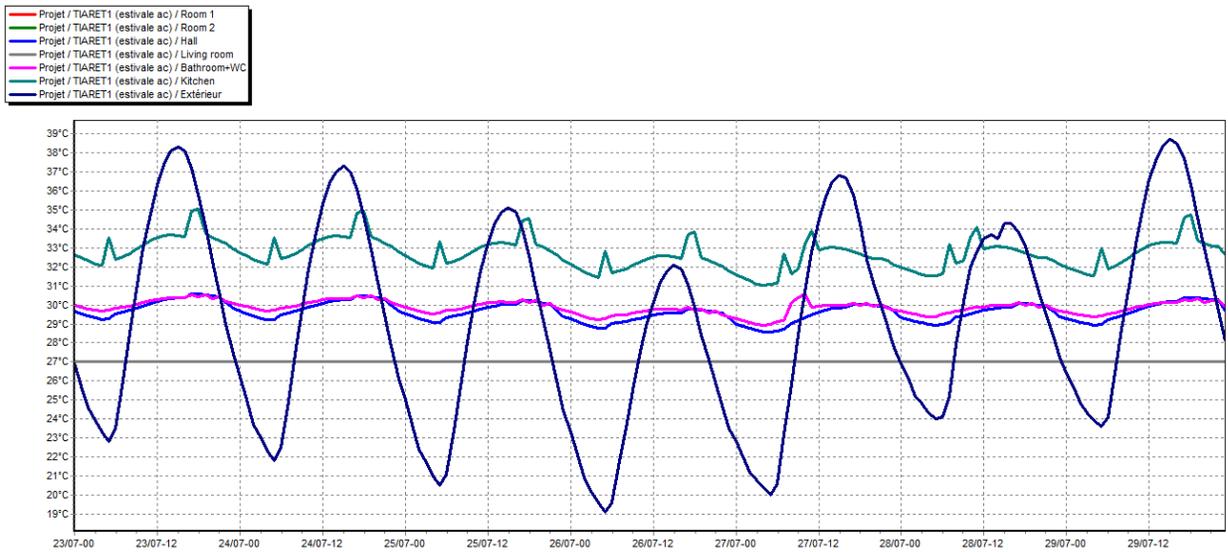


Figure 4. 21: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET

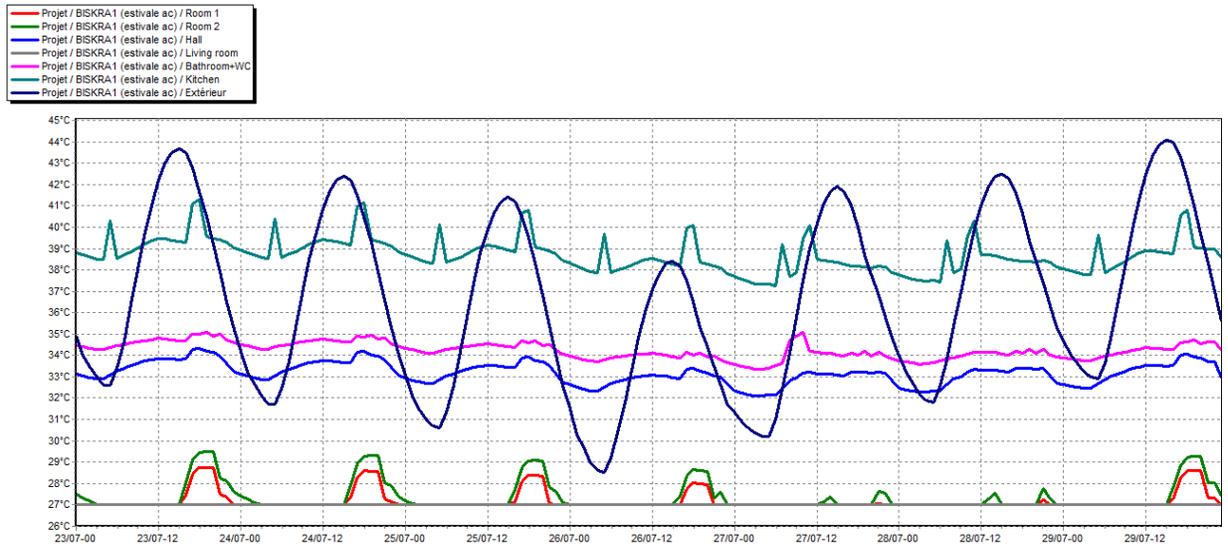


Figure 4. 22: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA

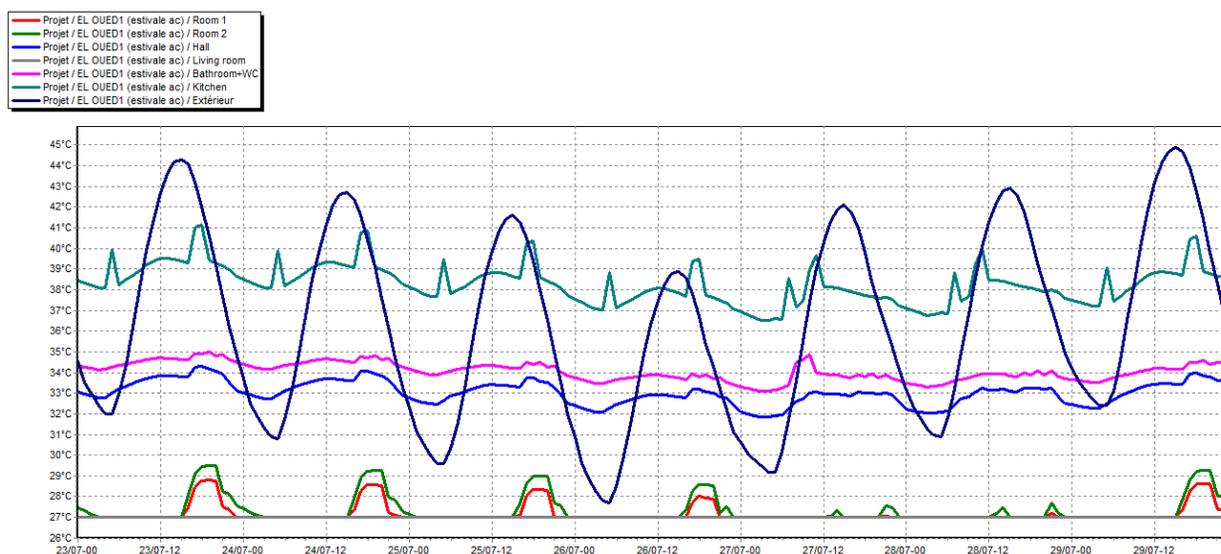


Figure 4. 23: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED

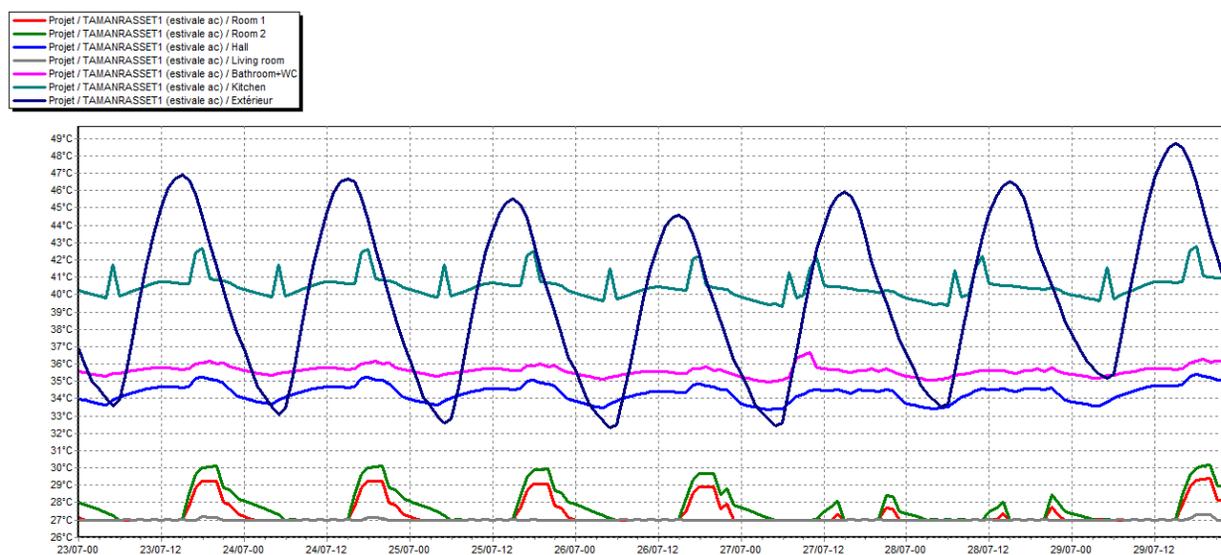


Figure 4. 24: Evolution de température en été avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 7: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques A, B' et C

	ALGER (A)	SETIF (C)	TIARET (B')
Besoins en climatisation annuels	5926 KWh 127.44 KWh/m ²	5442 KWh 117.03 KWh/m ²	6151 KWh 138.28 KWh/m ²

Tableau 4. 8: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques D1 et D2

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Besoins en climatisation annuels</i>	14443 KWh 310.60 KWh/m ²	14402 KWh 309.72 KWh/m ²	20001 KWh 430.13 KWh/m ²

Pour la période estivale, le confort thermique est atteint avec une consommation annuel estimée à **127.44 KWh/m²**, **117.03 KWh/m²** et **138.28 KWh/m²** pour Alger, Sétif et Tiaret respectivement, et une consommation très élevée de **310.60 KWh/m²**, **309.72 KWh/m²** et **430.13 KWh/m²** pour Biskra, El Oued et In Salah respectivement, dû à la température extérieure extrêmement chaude et la mauvaise isolation. Donc une bonne isolation écologique est nécessaire pour réduire la consommation d'énergie dans toutes les régions.

3. Simulations après renforcement de l'isolation:

Pour l'amélioration du cas d'étude, nous avons intégré des solutions passives proposées par de nombreuses études entreprises afin d'améliorer la performance énergétique du logement standard Algérien, et qui a été adapté dans les différentes régions climatiques.

- Région nord et hauts plateaux : intégration du liège + double vitrage
- Région sud : intégration bois de pétiole du palmier dattier et le mortier de terre +5% de fibres de palmier dattier + double vitrage

3.1. Simulation sans consigne de thermostat : Variante 02

➤ Simulation hivernale :

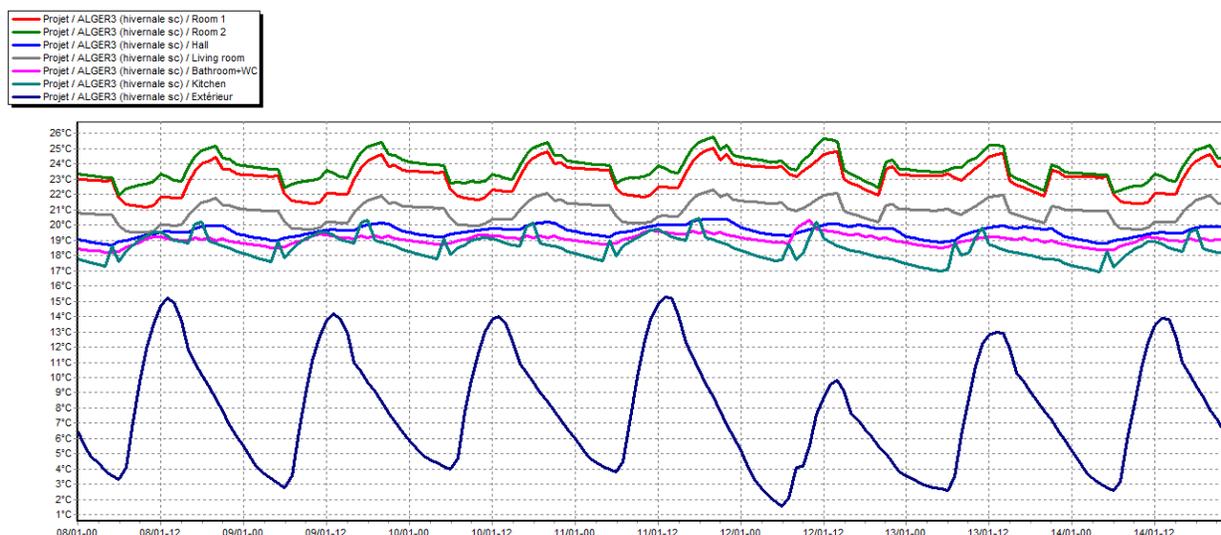


Figure 4. 25: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER

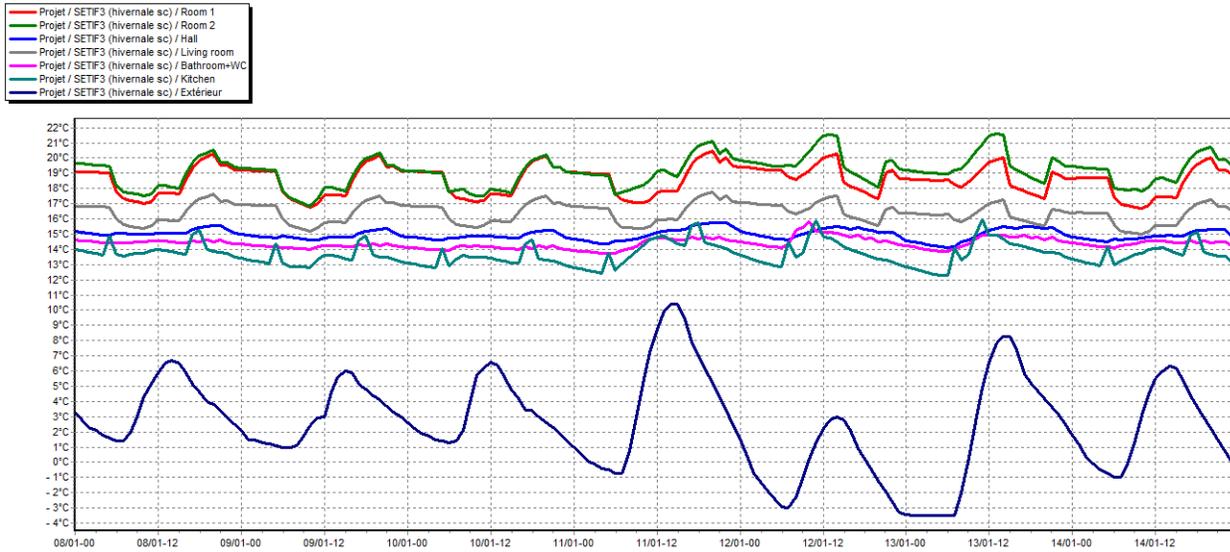


Figure 4. 26: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF

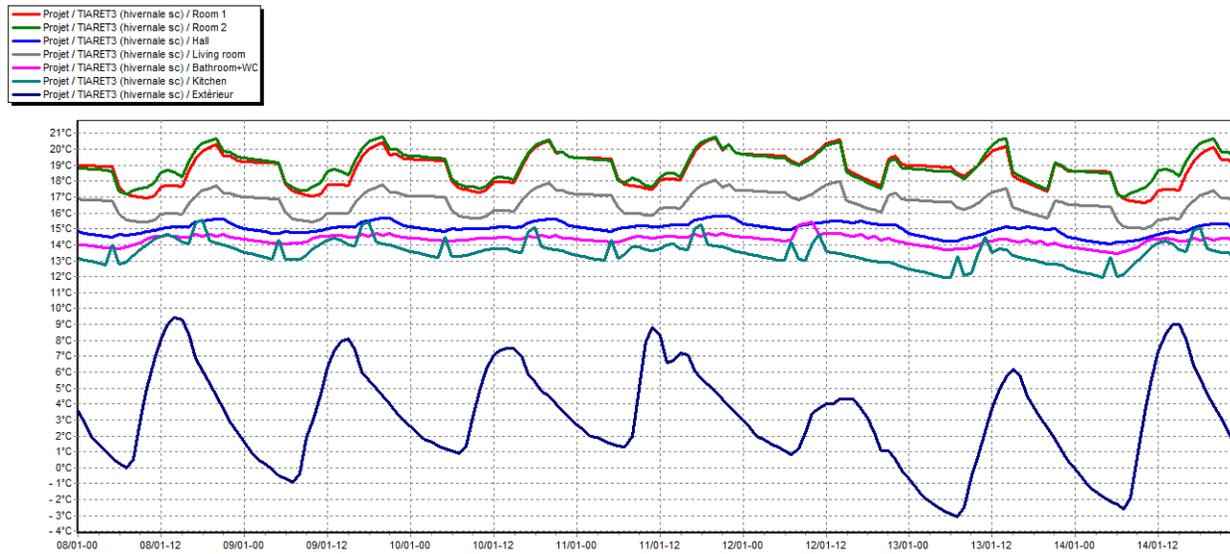


Figure 4. 27: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET

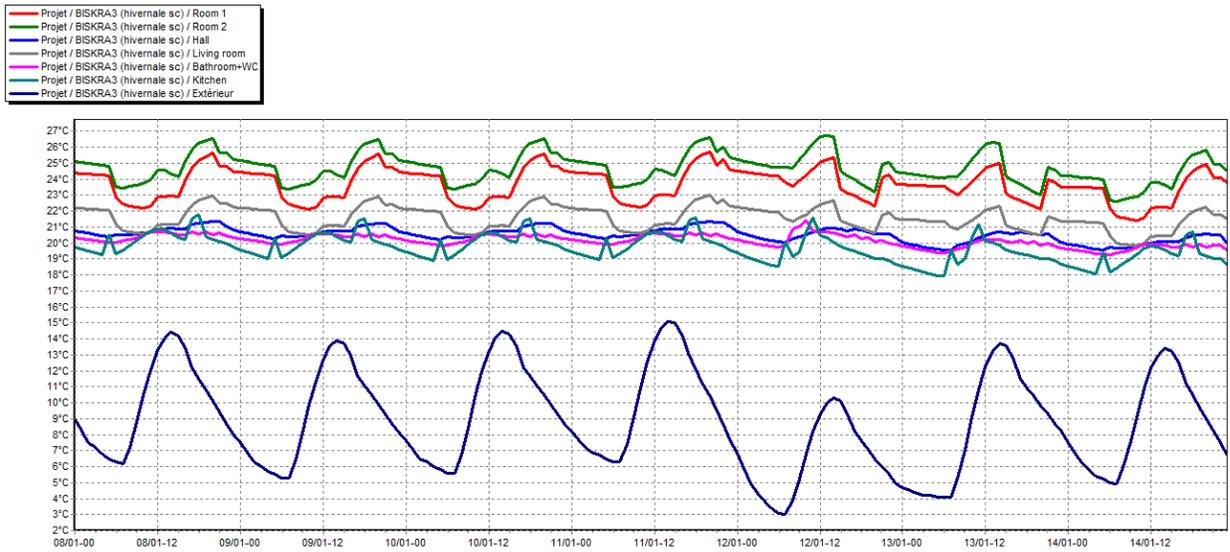


Figure 4. 28: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA

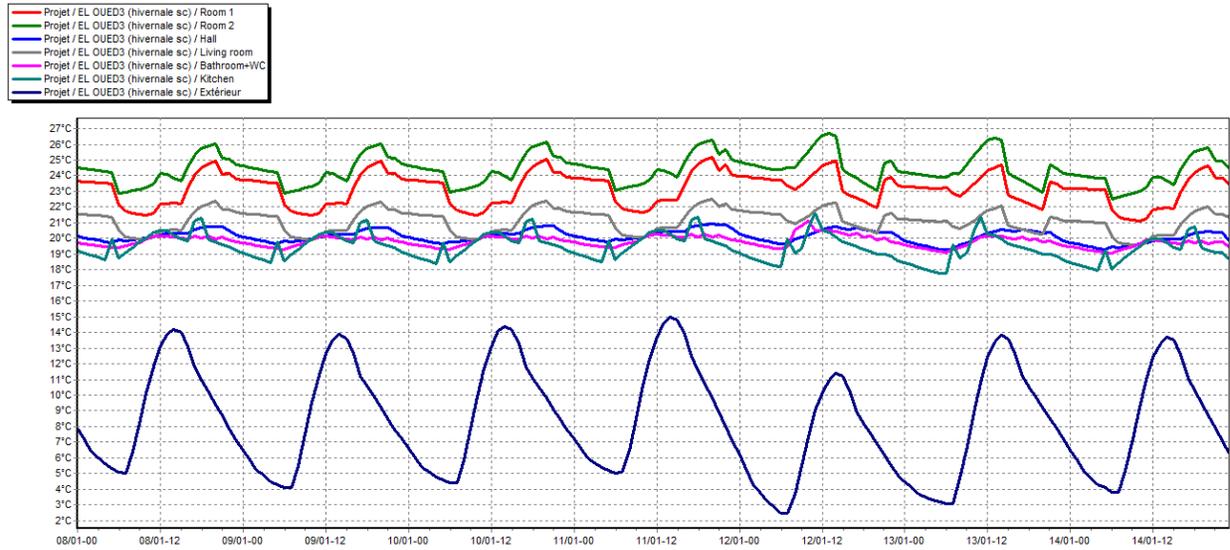


Figure 4. 29: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED

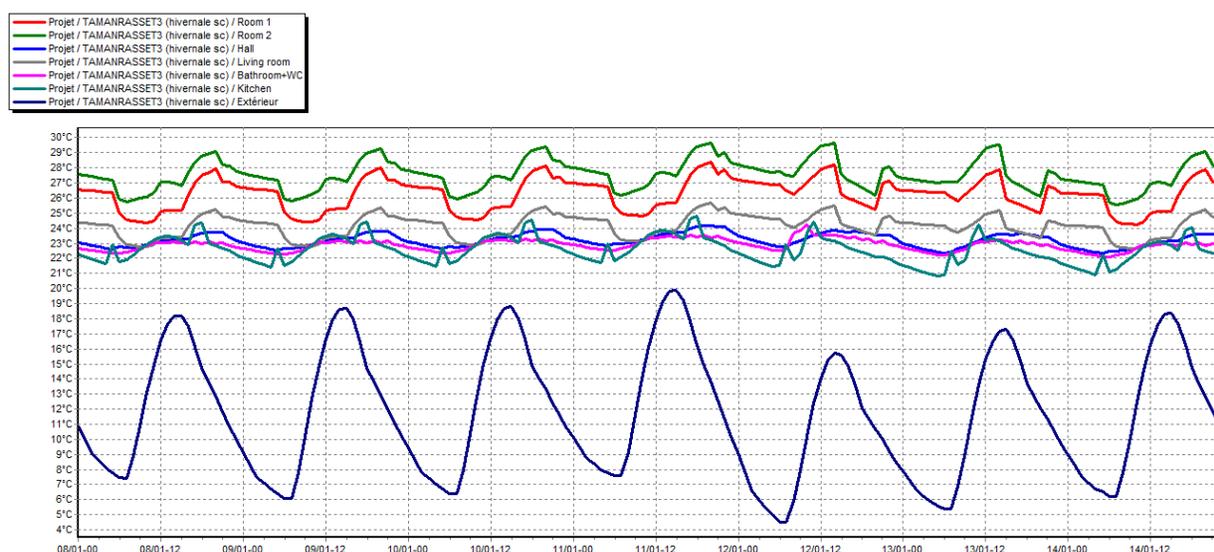


Figure 4. 30: Evolution de température en hiver cas amélioré sans consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 9: Variation de température dans la semaine la plus froide cas amélioré dans les zones climatiques A, B' et C

	<i>ALGER (A)</i>	<i>SETIF (C)</i>	<i>TIARET (B')</i>
<i>Chambre 01</i>	21°C ~ 25°C	17°C ~ 20°C	17°C ~ 20°C
<i>Chambre 02</i>	22°C ~ 26°C	18°C ~ 22°C	18°C ~ 21°C
<i>Séjour</i>	19°C ~ 20°C	13°C ~ 15°C	13°C ~ 15°C
<i>Cuisine</i>	20°C ~ 22°C	16°C ~ 18°C	16°C ~ 18°C
<i>Extérieur</i>	1°C ~ 15°C	-4°C ~ 10°C	-3°C ~ 9°C

Tableau 4. 10: Variation de température dans la semaine la plus froide cas amélioré dans les zones climatiques D1 et D2

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Chambre 01</i>	22°C ~ 25°C	22°C ~ 25°C	24°C ~ 27°C
<i>Chambre 02</i>	24°C ~ 27°C	23°C ~ 26°C	26°C ~ 29°C
<i>Séjour</i>	19°C ~ 21°C	18°C ~ 21°C	21°C ~ 24°C
<i>Cuisine</i>	21°C ~ 23°C	20°C ~ 22°C	23°C ~ 25°C
<i>Extérieur</i>	3°C ~ 15°C	2.5°C ~ 15°C	4°C ~ 20°C

Après l'isolation de l'enveloppe, on remarque que le profil de température est stabilisé, où les températures à l'intérieurs des zones de confort varient entre 20°C et 26°C, pour les sites de Sétif et Tiaret, ils varient de 16°C à 22°C et entre 17°C et 21°C respectivement, avec un écart qui peut atteindre 20°C.

Pour les zones arides, les températures varient de 21°C à 27°C pour le site de Biskra, entre 21°C et 26°C pour El Oued et de 23°C à 29°C pour le cas d'In Salah, avec écart de 20°C .

Nous avons constaté que les matériaux locaux intégrés ont eu un impact positif sur le comportement thermique du cas étudié pendant la période hivernale, malgré que les températures extérieures peuvent baisser jusqu'à 1°C .

3.2. Simulation avec consigne de thermostat : Variante 02

➤ Simulation hivernale :

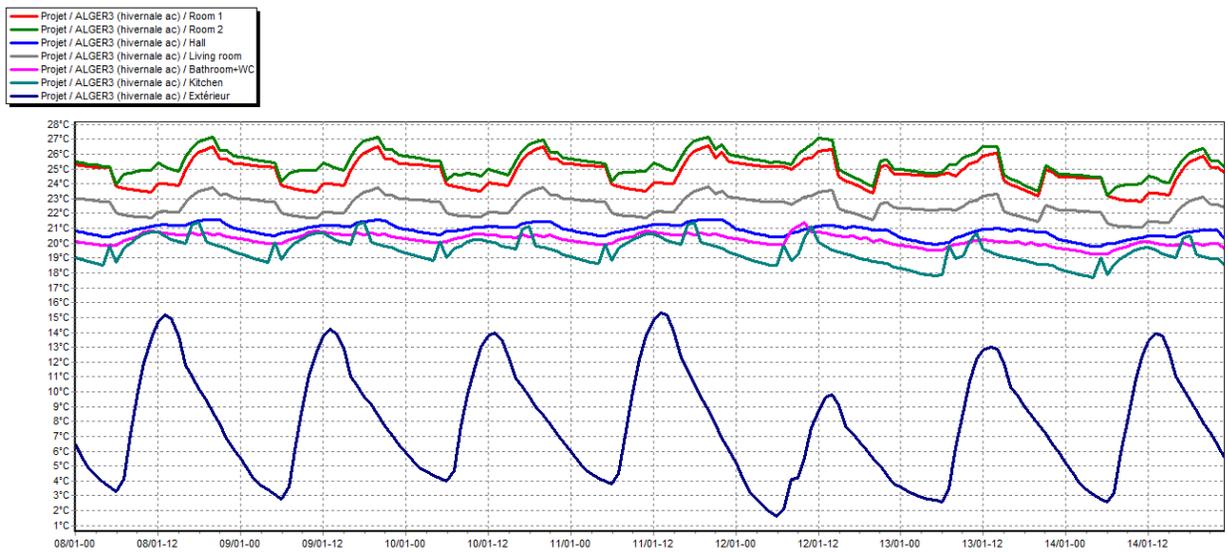


Figure 4. 31: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'ALGER

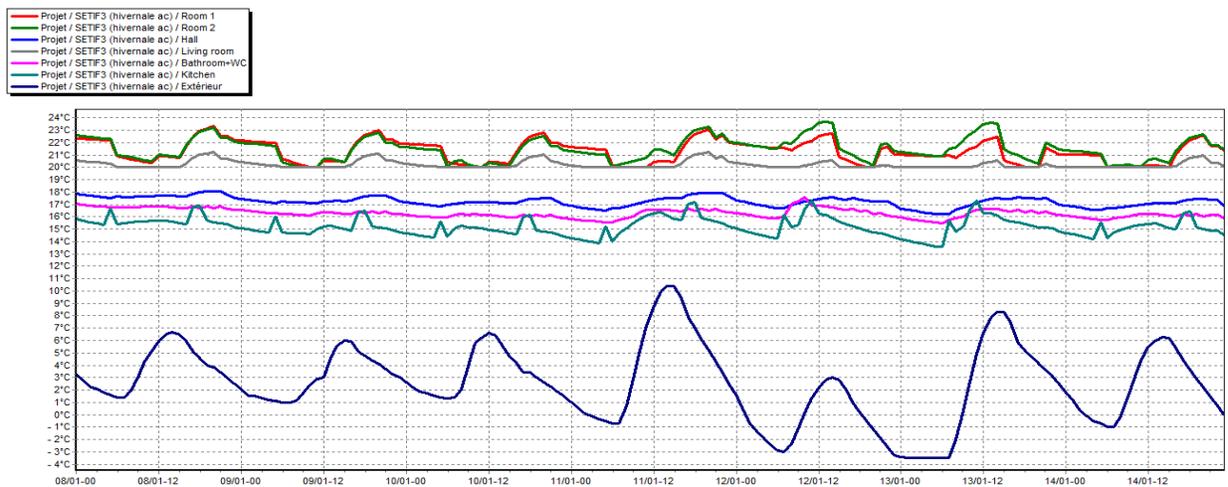


Figure 4. 32: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de SETIF

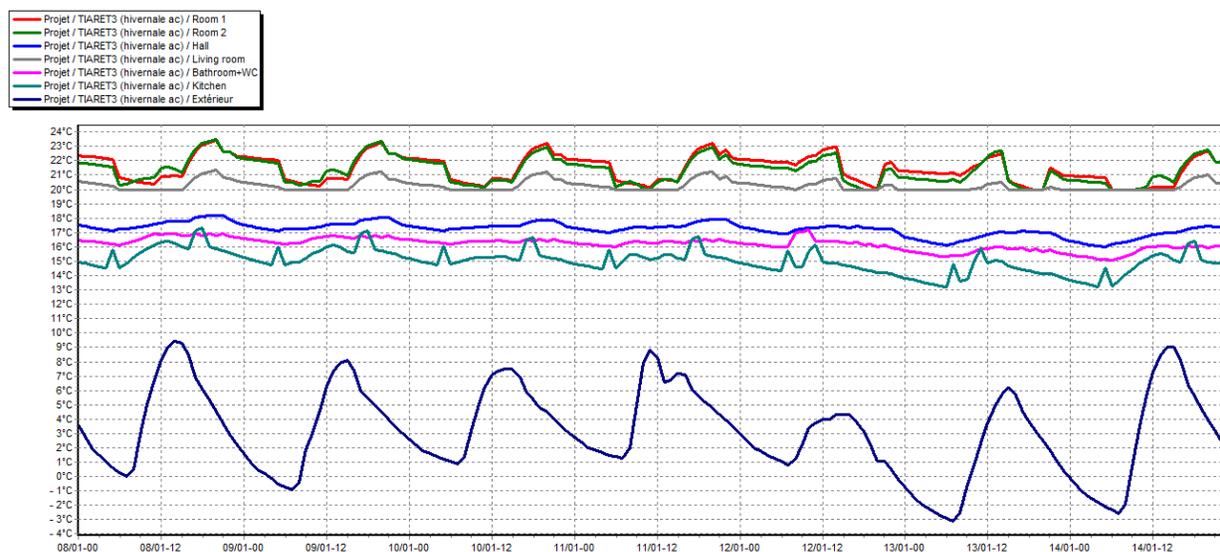


Figure 4.33: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de TIARET

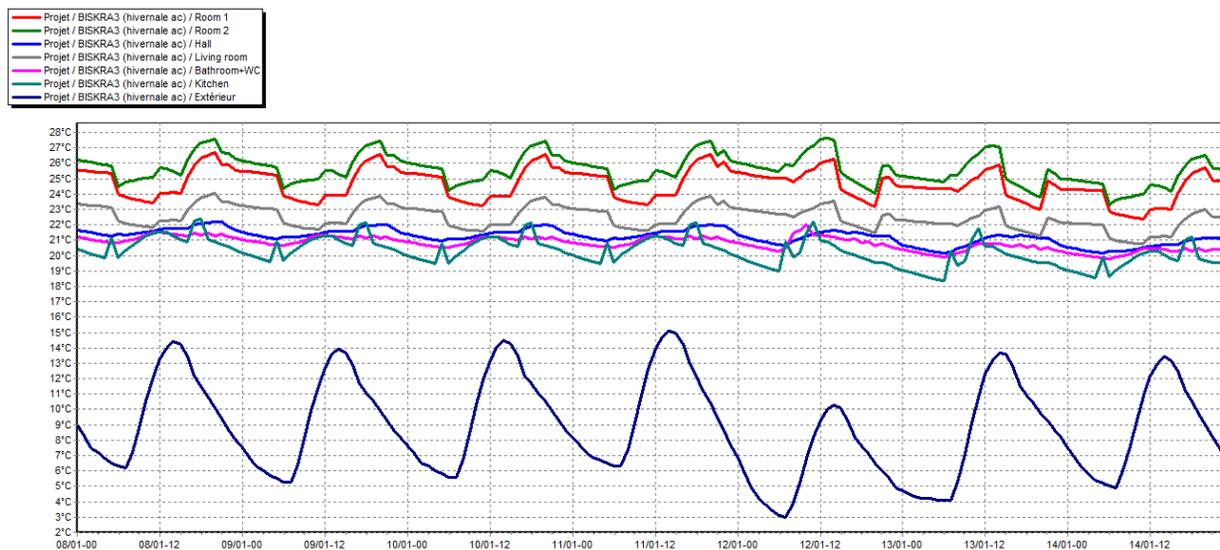


Figure 4.34: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région de BISKRA

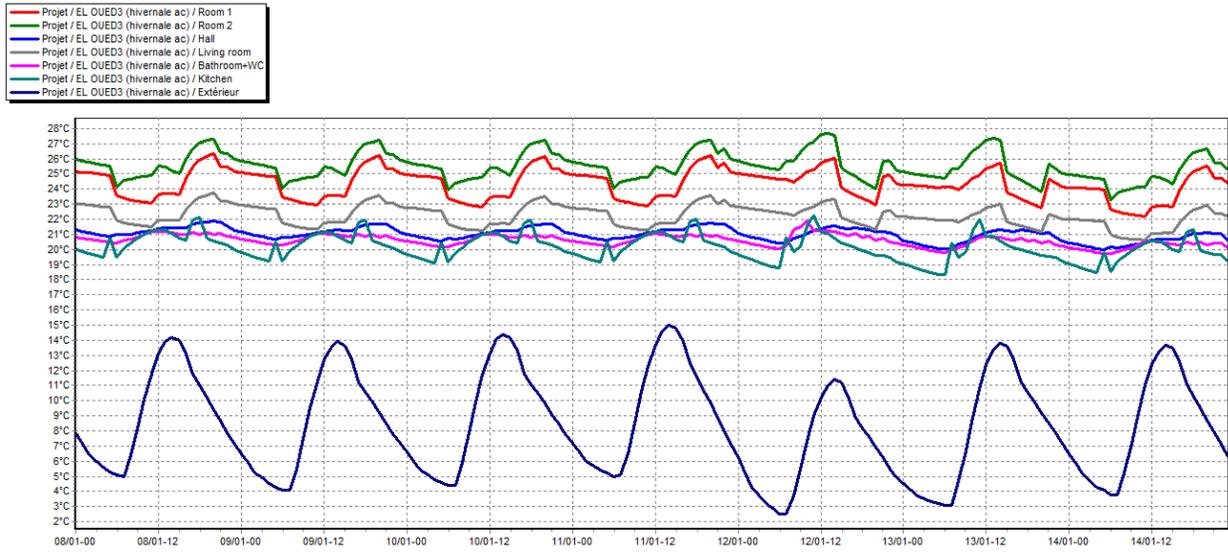


Figure 4. 35: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'EL OUED

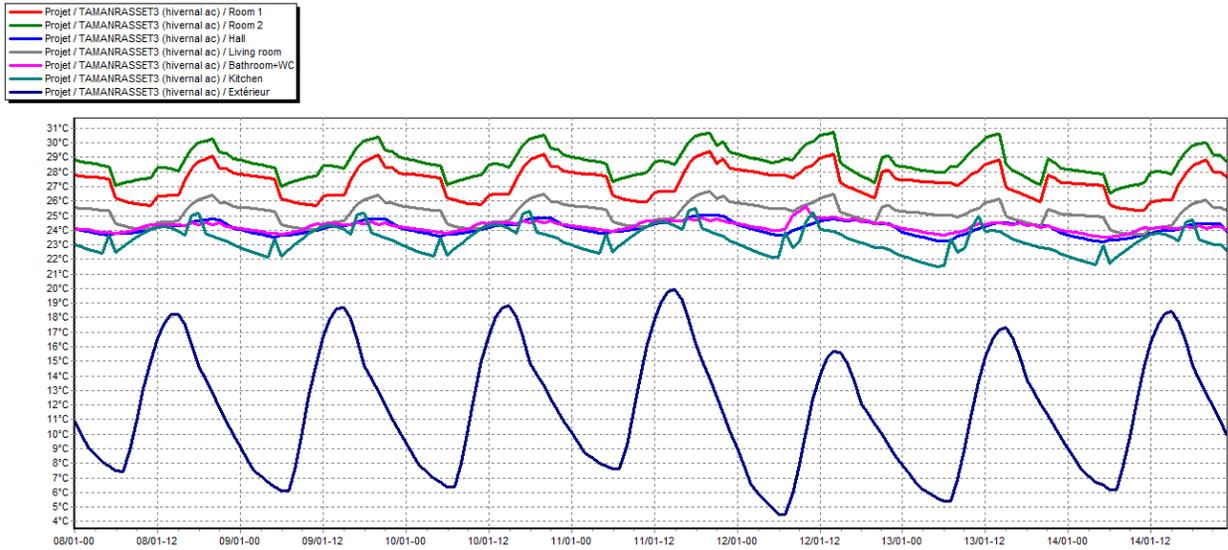


Figure 4. 36: Evolution de température en hiver cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus froide dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 11: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques A, B' et C cas amélioré

	<i>ALGER (A)</i>	<i>SETIF (C)</i>	<i>TIARET (B')</i>
<i>Besoins en chauffage annuels</i>	1 KWh 0.02 KWh/m ²	105 KWh 2.25 KWh/m ²	75 KWh 1.61 KWh/m ²

Tableau 4. 12: Les besoins en chauffage pour les zones climatiques D1 et D2 cas amélioré

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Besoins en chauffage annuels</i>	0 KWh	0 KWh	0 KWh

Suite aux résultats obtenus, on remarque que les besoins en chauffe sont nuls pour les zones arides, et considérablement réduits dans les régions de Sétif et Tiaret avec une consommation moyenne de **2.25 KWh/m²** pour Sétif et **1.61 KWh/m²** pour Tiaret pourtant les températures atteint jusqu'à -4°C. Donc il est bien évident que le renforcement de l'isolation de l'enveloppe minimise les transferts de chaleur entre l'air intérieur et celui de l'extérieur pour tous les zones climatiques, en effet cela permet de réduire les besoins en chauffage.

3.3. Simulation sans consigne de thermostat : Variante 02

➤ **Simulation estivale :**

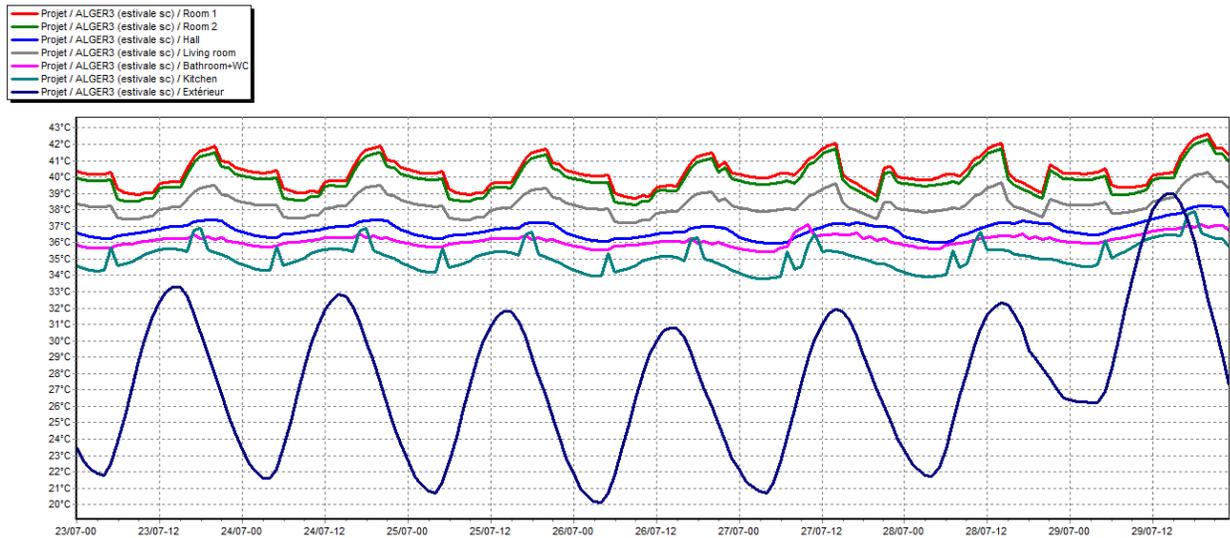


Figure 4. 37: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'ALGER

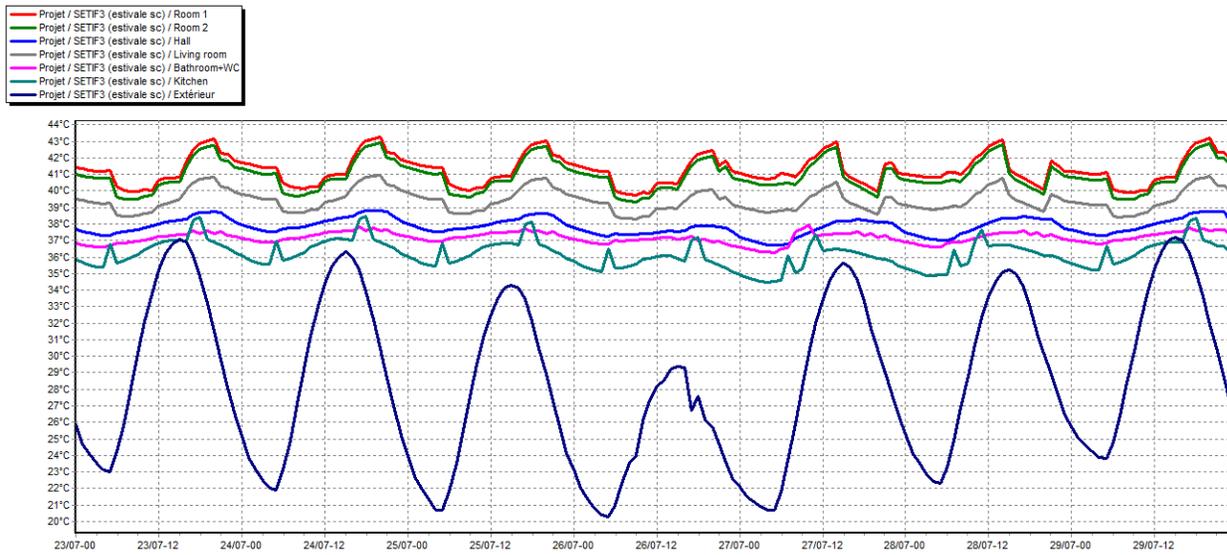


Figure 4. 38: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF

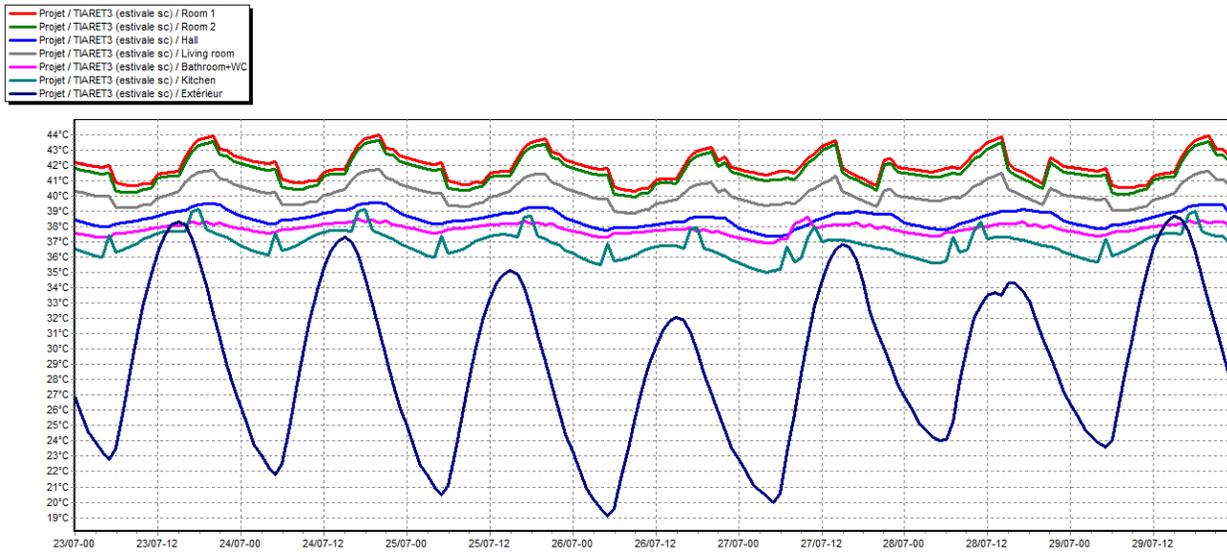


Figure 4. 39: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET

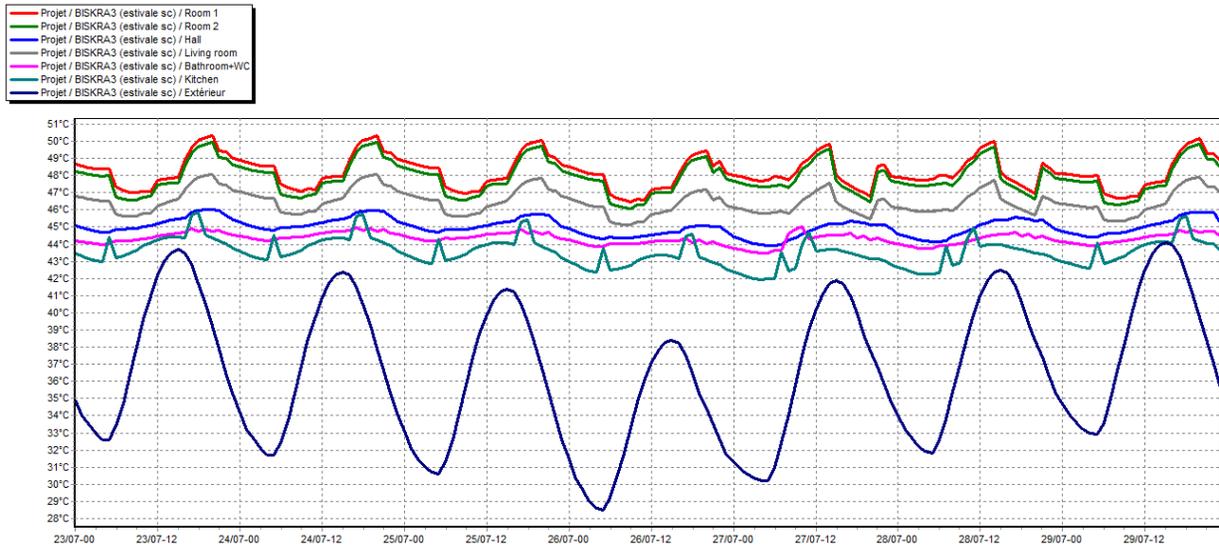


Figure 4. 40: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA

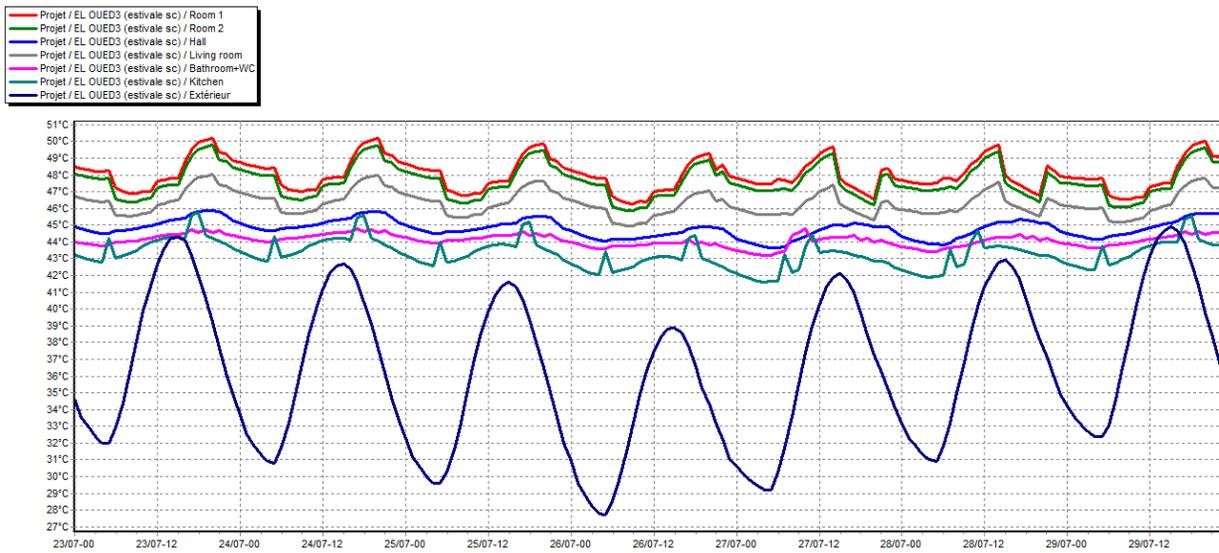


Figure 4. 41: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED

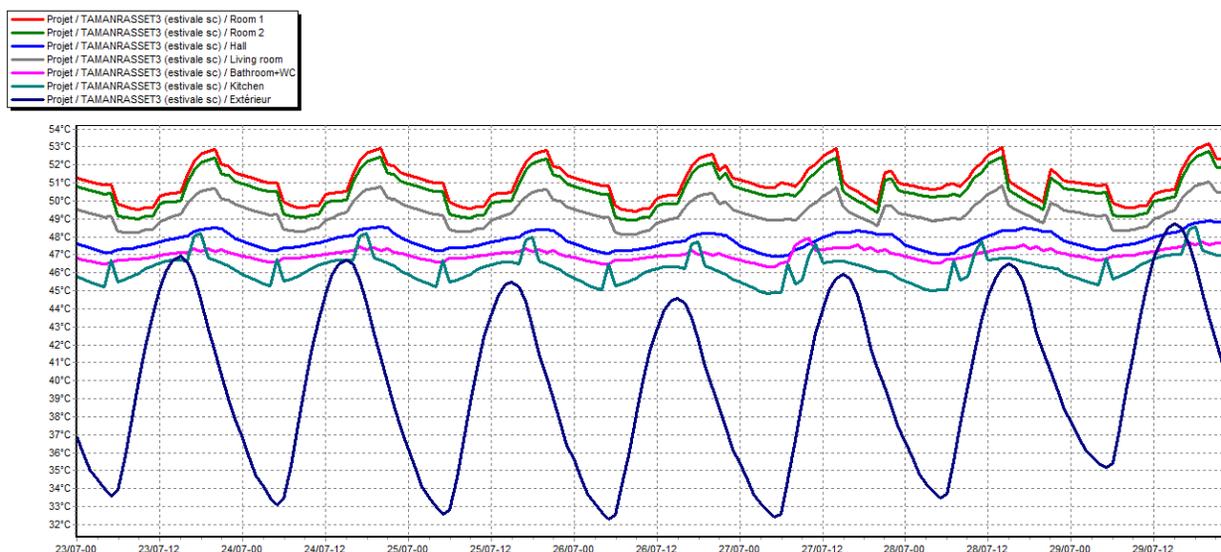


Figure 4. 42: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 13: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones A, B' et C

	<i>ALGER (A)</i>	<i>SETIF (C)</i>	<i>TIARET (B')</i>
<i>Chambre 01</i>	38.8°C ~ 41.5°C	39.5°C ~ 43°C	41°C ~ 44°C
<i>Chambre 02</i>	39°C ~ 42°C	40°C ~ 43°C	40°C ~ 43.5°C
<i>Séjour</i>	34°C ~ 36°C	35°C ~ 38°C	36°C ~ 38°C
<i>Cuisine</i>	37.5°C ~ 39°C	38°C ~ 41°C	39°C ~ 41°C
<i>Extérieur</i>	20°C ~ 39°C	20°C ~ 37°C	19°C ~ 38°C

Tableau 4. 14: Variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones D1 et D2

	<i>BISKRA</i>	<i>EL OUED</i>	<i>IN SALAH</i>
<i>Chambre 01</i>	46.5°C ~ 49.5°C	46.5°C ~ 49.5°C	49°C ~ 52°C
<i>Chambre 02</i>	47°C ~ 50°C	47°C ~ 50°C	49.5°C ~ 53°C
<i>Séjour</i>	43°C ~ 46°C	43°C ~ 45°C	45°C ~ 48°C
<i>Cuisine</i>	46°C ~ 48°C	45.5°C ~ 48°C	48°C ~ 51°C
<i>Extérieur</i>	28.5°C ~ 44°C	28°C ~ 45°C	32°C ~ 49°C

Pour la période estivale, nous avons constaté que malgré le profil de température est devenu stable, mais nous avons observé une surchauffe à l'intérieur des pièces dû à la sur-isolation, ce qui peut être résolue par l'augmentation du débit de ventilation.

3.4. Simulation avec consigne de thermostat : Variante 02

➤ Simulation estivale :

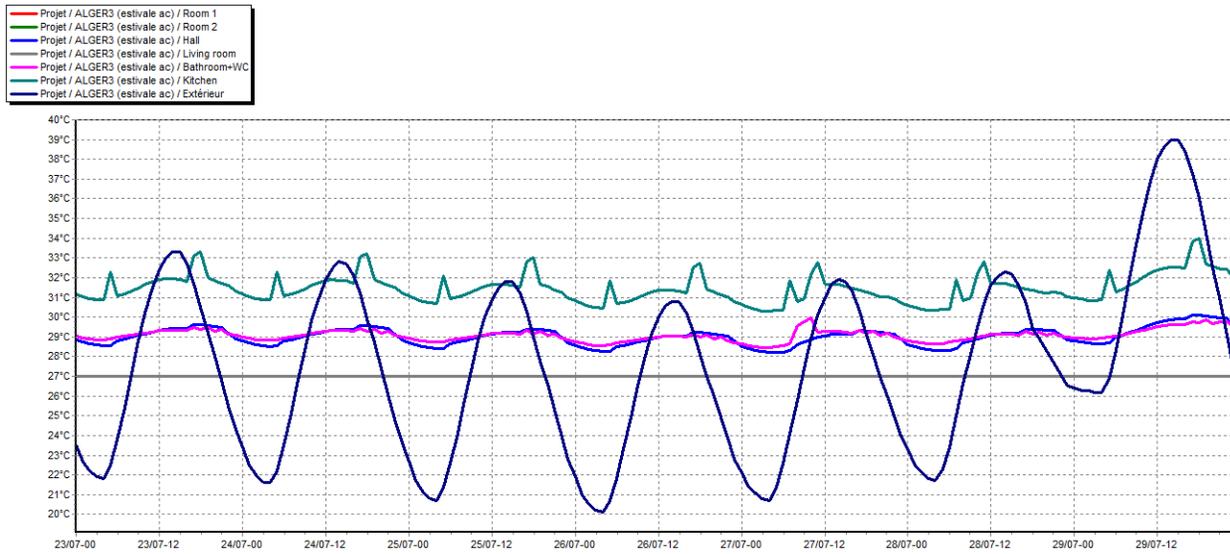


Figure 4. 43: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d’ALGER

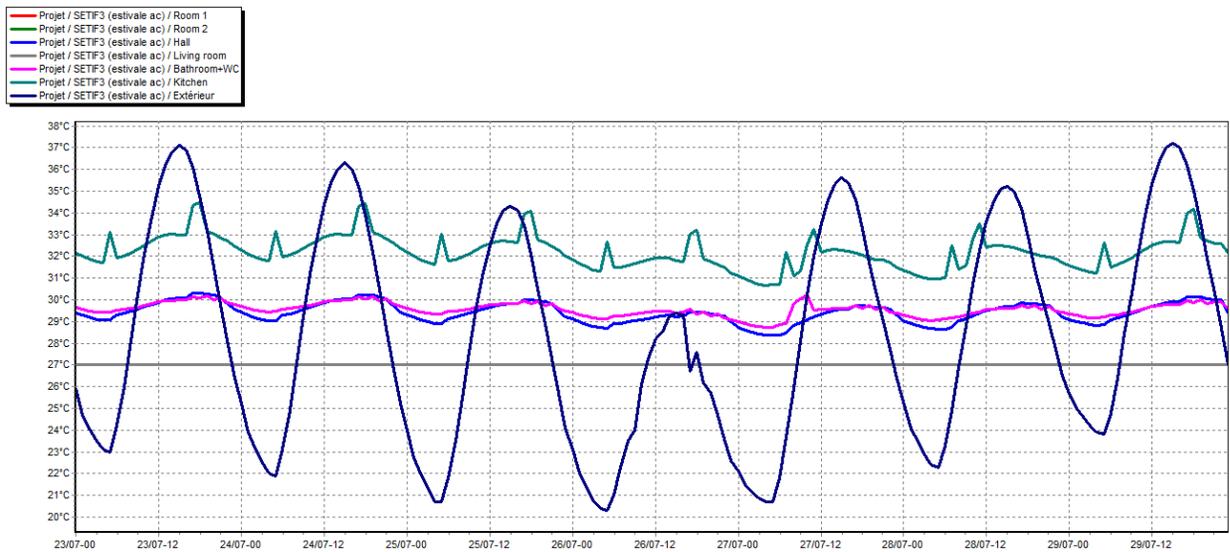


Figure 4. 44: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de SETIF

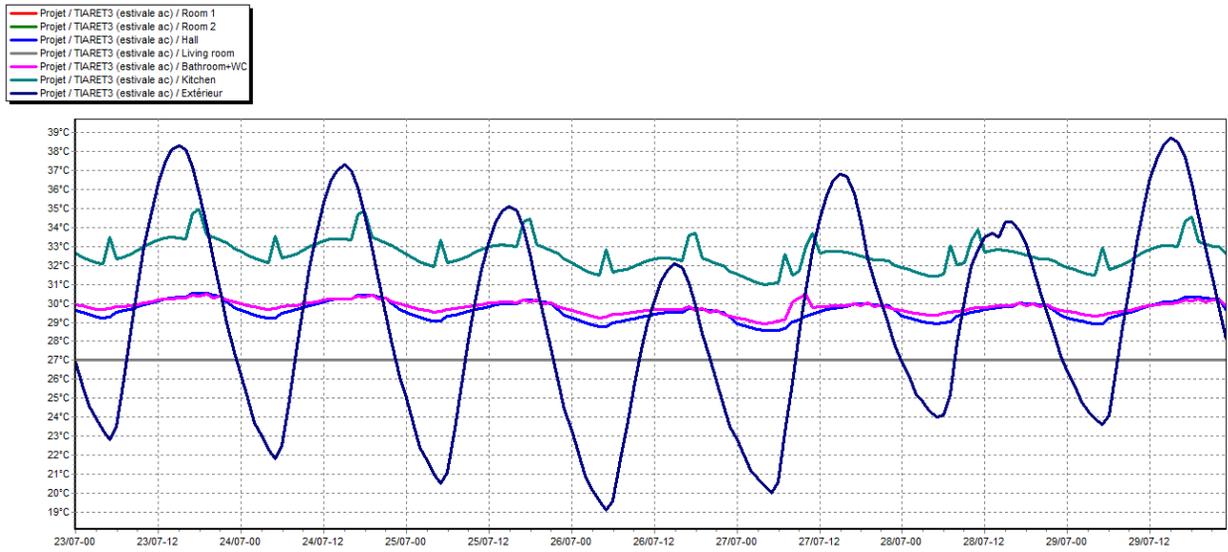


Figure 4. 45: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de TIARET

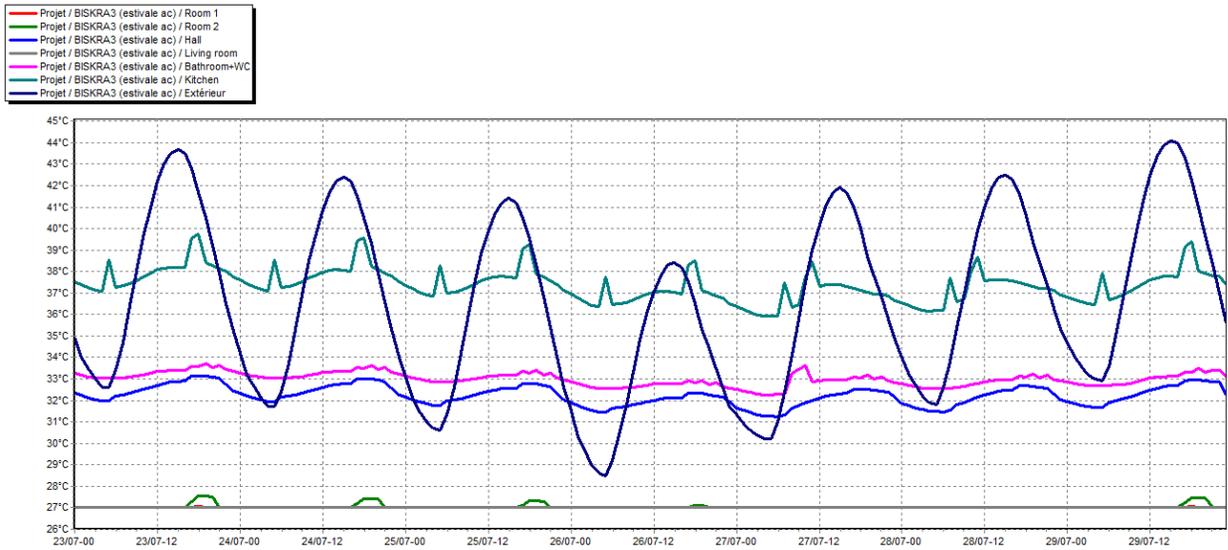


Figure 4. 46: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région de BISKRA

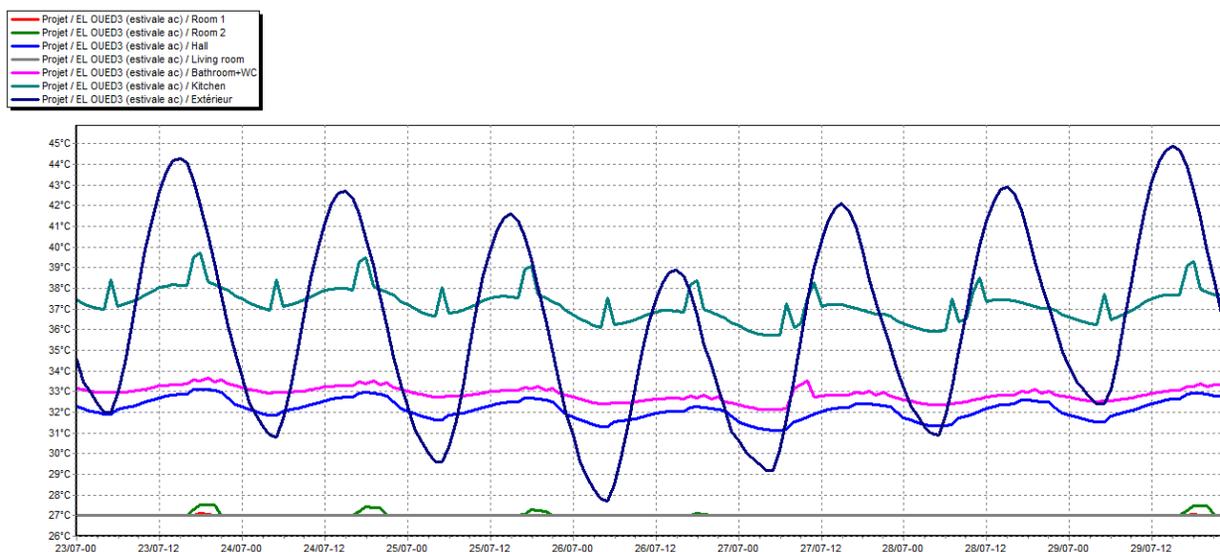


Figure 4. 47: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'EL OUED

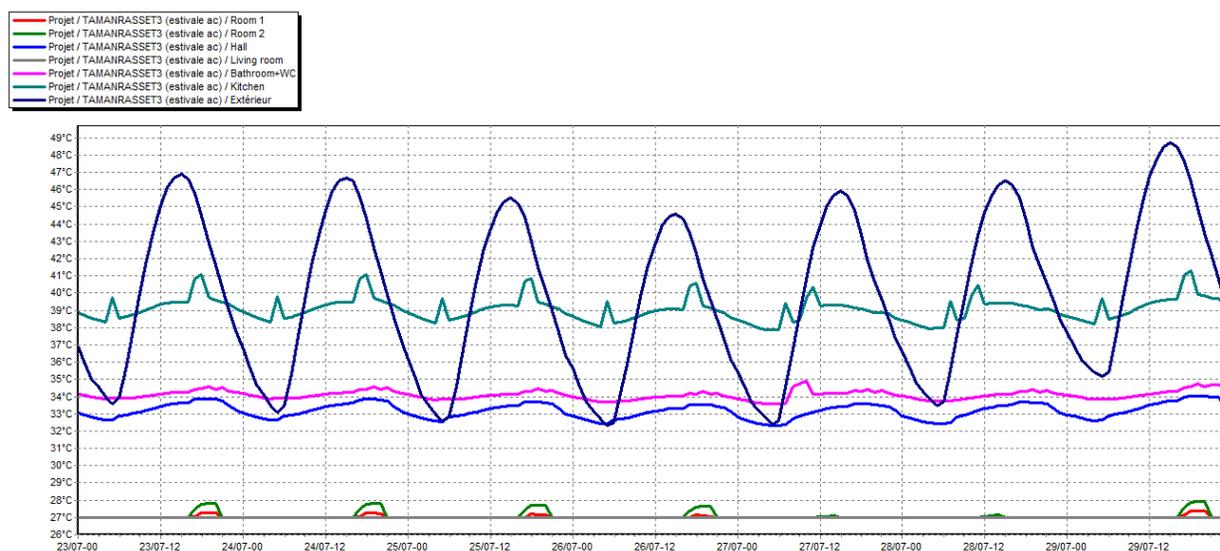


Figure 4. 48: Evolution de température en été cas amélioré avec consigne pendant la semaine la plus chaude dans la région d'IN SALAH

Tableau 4. 15: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques A, B' et C

	ALGER (A)	SETIF (C)	TIARET (B')
Besoins en climatisation annuels	5525 KWh 118.82 KWh/m ²	4457 KWh 95.85 KWh/m ²	4793 KWh 103.08 KWh/m ²

Tableau 4. 16: Les besoins en climatisation pour les zones climatiques D1 et D2

	<i>BISKRA (D1)</i>	<i>EL OUED (D1)</i>	<i>IN SALAH (D2)</i>
<i>Besoins en climatisation annuels</i>	9412 KWh 202.41 KWh/m ²	9270 KWh 199.35 KWh/m ²	12694 KWh 272.99 KWh/m ²

Pour la période estivale, nous remarquons que la consommation énergétique a diminué dans les différents sites à Alger, Sétif et Tiaret où les besoins sont estimés respectivement à **118.82 KWh/m²**, **95.85 KWh/m²** et **103.08 KWh/m²**. Ce qui a été aussi constaté pour les régions arides; la consommation est estimée respectivement à **202.41 KWh/m²**, **199.35 KWh/m²** et **272.99 KWh/m²** pour Biskra, El Oued et In Salah.

Nous avons effectué d'autres simulations dont le but d'améliorer l'efficacité énergétique du cas étudiés avec la variation de l'épaisseur de l'isolant ainsi que la vérification de l'impact de l'intégration des ouvertures avec double vitrage, et nous avons obtenus les résultats suivants :

Les zones du Nord et hauts plateaux:

- 1- On a commencé par intégrer l'isolation du mur extérieur en variant l'épaisseur de l'isolant liège de 10 cm à 15 cm. L'épaisseur optimum obtenue est 10 cm.
- 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 10 cm de liège) et 15 cm pour la toiture.
- 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 15 cm l'optimum obtenu est 10 cm.

Tableau 4. 17 : Tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour les zones du nord et hauts plateaux

ALGER (A)	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	2404	1	2	1
Climatisation (KWh)	5926	5717	5450	5525
TOTAL	8330	5718	5452	5525

SETIF (C) AIN ARNAT	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	6810	88	187	105
Climatisation (KWh)	5442	4609	4416	4457
TOTAL	12252	4697	4603	4562

TIARET (B') <i>SIDI ALI MELLAL</i>	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	6210	62	137	75
Climatisation (KWh)	6151	4954	4766	4793
TOTAL	12361	5016	4903	4868

Les zones arides :

- 1- Nous avons commencé par proposer d'intégrer l'isolation du mur extérieur en variant l'épaisseur du bois de palmier de 5 cm à 10 cm. L'épaisseur optimum obtenue est 10 cm avec 2 cm de mortier de terre +5% de fibres de palmier dattier.
- 2- Ensuite, nous avons isolé les planchers, en variant l'épaisseur de 5 à 15 cm, l'optimum obtenus est de 15 cm pour le plancher haut et de 10 cm pour le plancher bas, avec 3 cm de mortier de terre +5% de fibres de palmier dattier pour les deux planchers.

Tableau 4. 18 : Tableaux récapitulatifs des résultats obtenus pour le zones arides

BISKRA (D)	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	1168	41	0	0
Climatisation (KWh)	14443	10476	9598	9412
TOTAL	15611	10517	9598	9412

EL OUED (D)	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	1376	62	2	0
Climatisation (KWh)	14402	10272	9461	9270
TOTAL	15778	10334	9462	9270

TAMANRASSET (D') <i>IN SALAH</i>	Sans isolation	Isolation 1	Isolation 2	Double vitrage
Chauffage (KWh)	220	2	0	0
Climatisation (KWh)	20001	14730	13048	12694
TOTAL	20221	14732	13048	12694

D'après ces résultats, on peut dire que l'isolation des parois et l'intégration de double vitrage ont un influence positive sur le comportement thermique du bâtiment en été comme en hiver, ce qui induit des réductions en besoins de climatisation, mais nous avons constaté que l'intégration du double vitrage pour les cas d'Alger et Sétif a provoqué la surchauffe en période estivale.

Synthèse :

Tableau 4. 19: Le taux de réduction de consommation énergétique annuelle totale (A, B' et C)

	ALGER (A)	TIARET (B')	SETIF (C)
Consommation totale (cas initiale)	189.89 KWh/m ²	265.82 KWh/m ²	263.48 KWh/m ²
Consommation totale (cas amélioré)	117.24 KWh/m ²	104.68 KWh/m ²	98.11 KWh/m ²
Taux de réduction	38.26%	60.61%	62.77%

Tableau 4. 20: Le taux de réduction de consommation énergétique annuelle totale (D1 et D2)

	BISKRA (D ₁)	EL OUED (D ₁)	IN SALAH (D ₂)
Consommation totale (cas initiale)	335.72 KWh/m ²	309.72 KWh/m ²	434.86 KWh/m ²
Consommation totale (cas amélioré)	202.40 KWh/m ²	199.37 KWh/m ²	272.98 KWh/m ²
Taux de réduction	39.71%	41.25%	37.22%

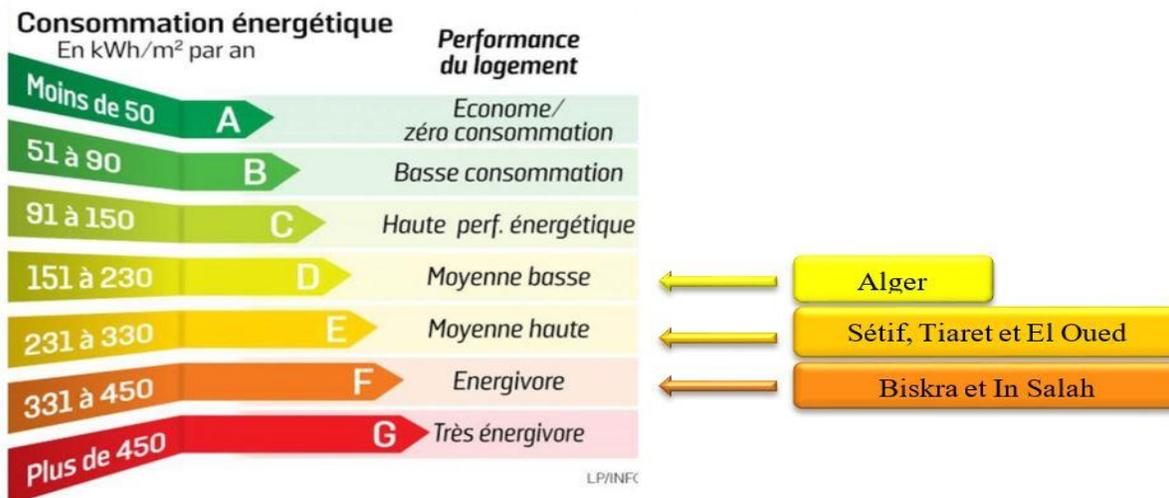


Figure 4. 49: Classement des cas d'étude avant l'amélioration selon l'étiquette énergétique.

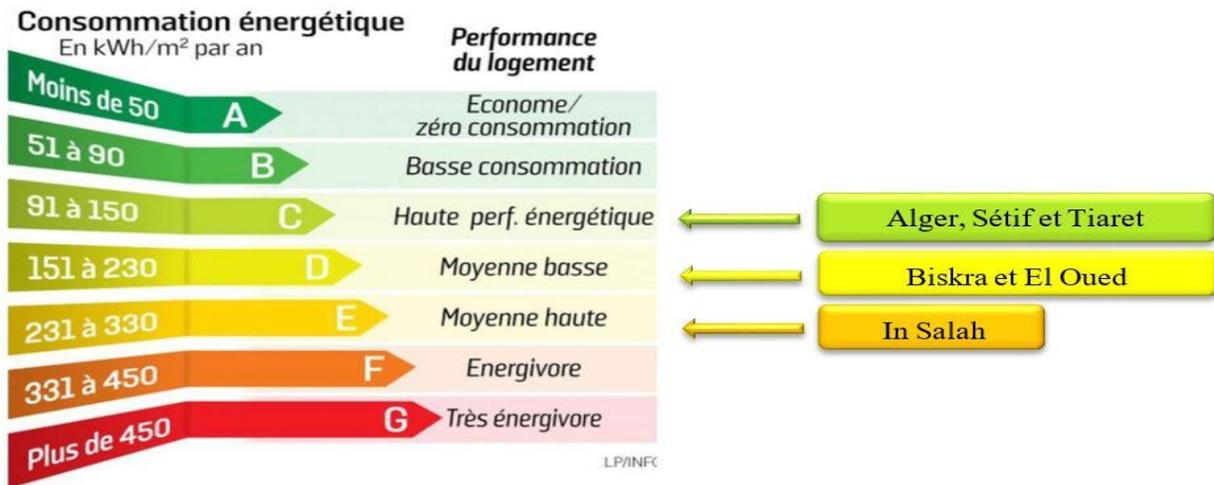


Figure 4. 50: Classement des cas d'étude après l'amélioration selon l'étiquette énergétique.

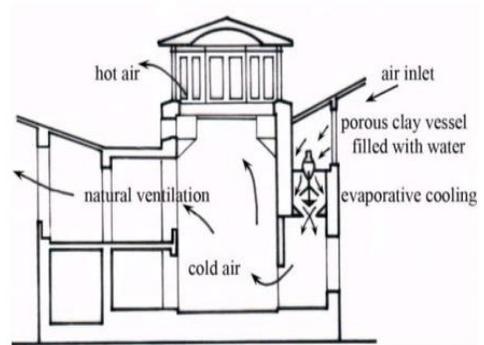
En conclusion, d'après les simulations et les résultats obtenus, nous confirmons que l'intégration du liège comme isolant est aussi efficace puisqu'elle induit un gain en besoins énergétiques de **38.26%** pour la région d'Alger et une réduction remarquable de **60.61%** et **62.77%** respectivement pour le cas de Sétif et Tiaret, avec une amélioration de classement dans l'étiquette énergétique, de classe **E** pour les régions de Sétif et Tiaret et classe **D** pour Alger à la classe **C** de la Haute Performance Energétique.

Aussi le recours aux matériaux locaux du sud du pays entre autre l'intégration du mortier de terre et du palmier dattier prouve ont prouvé leurs efficacités de et ont permis d'atteindre une réduction totale estimée respectivement à **39.71%**, **41.25%** et **37.22%** pour Biskra, El oued et In Salah. Malgré nous avons arrivé à améliorer leurs classements selon l'étiquette énergétique pour les zones arides, de classe **E** à **D** pour El Oued, de classe **F** à **D** pour Biskra et de **F** à **E** pour le cas d'In Salah, mais ces classes signifient que le logement affiche une performance énergétique moyenne et tend vers une performance faible et insuffisante, et pour cela nous avons proposé un system de rafraîchissement par humidification adiabatique afin d'augmenter la performance énergétique du cas étudiés.

4. Amélioration de confort hygrothermique des cas d'étude par l'intégration d'un système de rafraîchissement:

Dans le but d'améliorer la performance énergétique de notre cas d'étude, la stratégie la plus adéquate pour atteindre le confort estival dans les régions arides est le système de rafraîchissement par humidification adiabatique *PDEC* (*passive down-draught evaporative cooling*) selon la littérature [17,18, 19]

Le refroidissement adiabatique, également appelé refroidissement par évaporation, fonctionne selon le principe de l'évaporation de l'eau de sorte telle que l'air est refroidi à une température confortable. Depuis le début de la civilisation humaine, on utilise le refroidissement par évaporation pour rafraîchir le milieu de vie. Des peintures murales égyptiennes datant de l'an 2500 avant J.-C. ont été trouvées, montrant comment des fûts d'argile poreux, remplis d'eau, étaient placés sous une alimentation en air pour fournir un certain refroidissement lorsque l'air passait au travers. À l'époque, ils ne pouvaient pas utiliser de ventilateurs électriques ou d'autres techniques modernes, mais des éléments de refroidissement par évaporation ont été mis en œuvre dans la conception et l'architecture de leurs habitations pour assurer une certaine forme de climatisation. En outre, le refroidissement par évaporation à l'aide de chiffons humides, en combinaison avec une tour à vent (écran pare-vent), est un élément architectural iranien traditionnel pour le refroidissement de bâtiments. [17]



4.1. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un rafraîchisseur d'air, autrement appelé la bio-climatisation, est simple, une évaporation se fait lorsque de l'air chaud entre en contact avec de l'eau, celui-ci se refroidit grâce à l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau. Pour reproduire ce principe naturel, il suffit de passer de l'air chaud dans un échangeur humide.

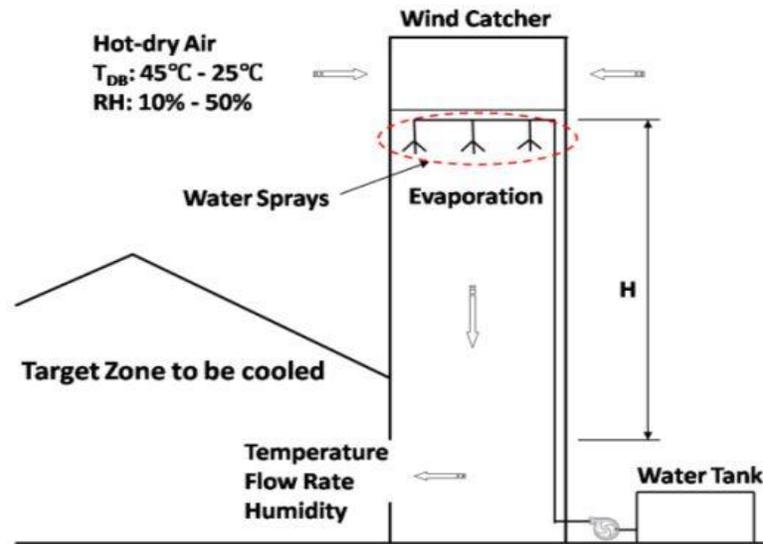


Figure 4. 49: Une tour de rafraichissement par humidification adiabatique PDEC [18]

4.2. Méthode de calcul :

Givoni [Y] a résumé les résultats d'une expérience dans un test en Californie (États-Unis) dans l'étude suivante. Une hauteur de tour de 2 m, l'étude a décrit une possibilité d'utilisation de l'eau de mer pour surmonter une limitation d'un système de PDEC puisque les ressources en eau dans un climat chaud et sec sont généralement limitée, lorsqu'un système de tour PDEC est adapté pour fonctionner. Qu'une plus grande hauteur de 3 m et un débit d'eau plus important ont permis de la diminution de la température. Deux équations empiriques tirées des résultats de l'expérience ont ensuite été formulées. Température de sortie de l'air a été exprimée en fonction de la dépression de la cuvette humide et de l'eau débit en tant que [19] :

$$T_e = T_s - [0.9(T_s - T_h) * (1 - \exp(-0.15WF))].$$

Te : température entrée

Ts : température sèche

Th : température humide

WF : débit d'eau injecté dans le système

4.2.1. Résultats et discussions:

Nous avons utilisé les conditions climatiques d'une journée estivale chaude de l'année 2021 [20], et nous avons opté pour l'utilisation du diagramme psychométrique pour la déduction des températures humide et les taux d'humidité.

Dans le but de vérifier l'impact de la variation débit sur le fonctionnement du système, nous avons aussi proposé des débits d'eau variables.

Débits proposés :

$$WF_1 = 5 \text{ L/h}, WF_2 = 10 \text{ l/h}, WF_3 = 15 \text{ l/h}$$

Tableau 4. 21: Résultats de ville de Biskra

T_s (°C)	T_h (°C)	T_{e1} (°C)	T_{e2} (°C)	T_{e3} (°C)	HR ₁ (%)	HR ₂ (%)	HR ₃ (%)
35	18.5	27.2	23.5	21.7	43.1	62.3	74.6
35	18.5	27.2	23.5	21.7	43.1	62.3	74.6
34	19	26.9	23.5	21.9	47.5	65.1	76.7
32	18.9	25.8	22.8	21.5	51.7	69.7	78.7
31	19.2	25.4	22.7	21.5	55.9	72.4	81.2
31	19.4	25.5	22.9	21.7	56.5	72.7	81.4
31	19.4	25.5	22.9	21.7	56.5	72.7	81.4
31	19.7	25.6	23.1	21.9	57.6	72.9	82.2
33	20.1	26.9	24.0	22.6	53.2	70	79.2
35	20.4	28.1	24.8	23.2	49.5	67.1	77.4
38	21.3	30.1	26.3	24.6	45.7	64.9	75.1
39	20.9	30.4	26.3	24.4	42.4	61.7	73.4
40	20.9	30.9	26.6	24.6	40.1	60.6	72.5
42	20.9	32.0	27.2	25.0	36.3	57.1	69.8
42	20.5	31.8	27.0	24.7	35	55.6	68.5
43	20.7	32.4	27.4	25.0	34.1	54.7	68.3
44	20.4	32.8	27.5	25.0	31.5	52.2	66.3
43	20.3	32.2	27.1	24.7	33.9	53.5	67
42	19.8	31.5	26.5	24.1	32.6	53.6	67.4
41	19.2	30.6	25.8	23.4	33.4	53.6	67.7
40	19.1	30.1	25.4	23.2	34.7	55.4	68.5
39	18.5	29.3	24.7	22.5	34.9	55.8	68.7
38	18.2	28.6	24.2	22.1	36	56.6	69.2
38	18.2	28.6	24.2	22.1	36	56	69.2

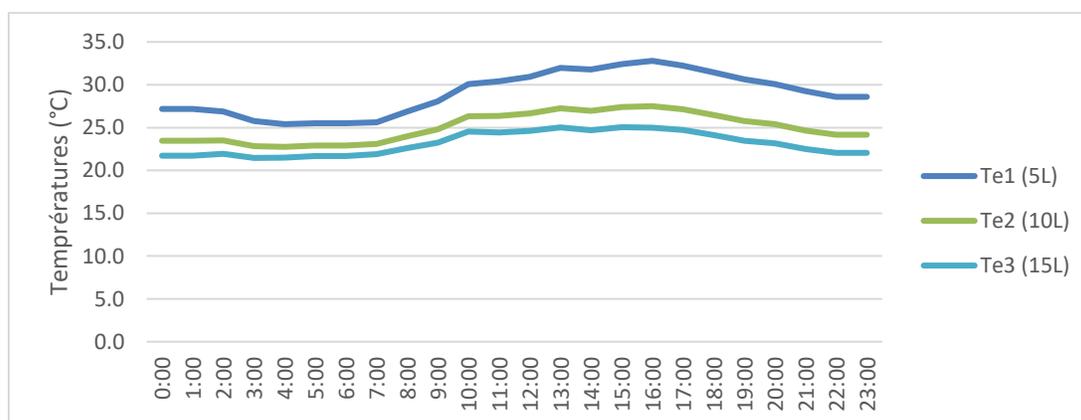


Figure 4. 50: Evolution des températures de sortie (Biskra)

Tableau 4. 22: Résultats de ville de El Oued

T_s (°C)	T_h (°C)	T_{e1} (°C)	T_{e2} (°C)	T_{e3} (°C)	HR ₁ (%)	HR ₂ (%)	HR ₃ (%)
35	19.3	27.5	24.0	22.4	46.2	64.7	75.5
33	18.7	26.2	23.0	21.5	49.1	67.1	77.4
31	18.3	25.0	22.1	20.8	52.8	69.8	79.6
30	18.6	24.6	22.0	20.8	56.7	73.3	81.6
29	18.9	24.2	21.9	20.9	60.7	73.7	83.6
29	18.9	24.2	21.9	20.9	60.7	73.7	83.6
29	19.2	24.3	22.1	21.1	62.4	77	83.9
29	19.2	24.3	22.1	21.1	62.4	77	83.9
32	19.5	26.1	23.3	21.9	54	70.3	80.4
36	19.7	28.3	24.6	22.9	44.4	63.9	74.4
40	18.7	29.9	25.1	22.9	34.5	54.5	67.5
42	18.9	31.0	25.8	23.4	30.5	52.2	65.5
44	19.5	32.4	26.9	24.3	28.7	50.1	64
46	19.4	33.4	27.4	24.6	25.6	46.9	61.8
47	20	34.2	28.1	25.3	25.5	47	61.2
47	20	34.2	28.1	25.3	25.5	47	61.2
47	20	34.2	28.1	25.3	25.5	47	61.2
47	20.5	34.4	28.5	25.7	27.2	48.3	62.5
46	20	33.7	27.8	25.1	26.9	48.3	62.4
45	20.1	33.2	27.6	25.0	28.6	50.2	63.8
44	19.5	32.4	26.9	24.3	28.7	50.1	64
43	18.8	31.5	26.1	23.5	28.6	49.9	64.5
42	18.9	31.0	25.8	23.4	30.5	51.7	66
40	18.3	29.7	24.8	22.5	32.6	54	67.5

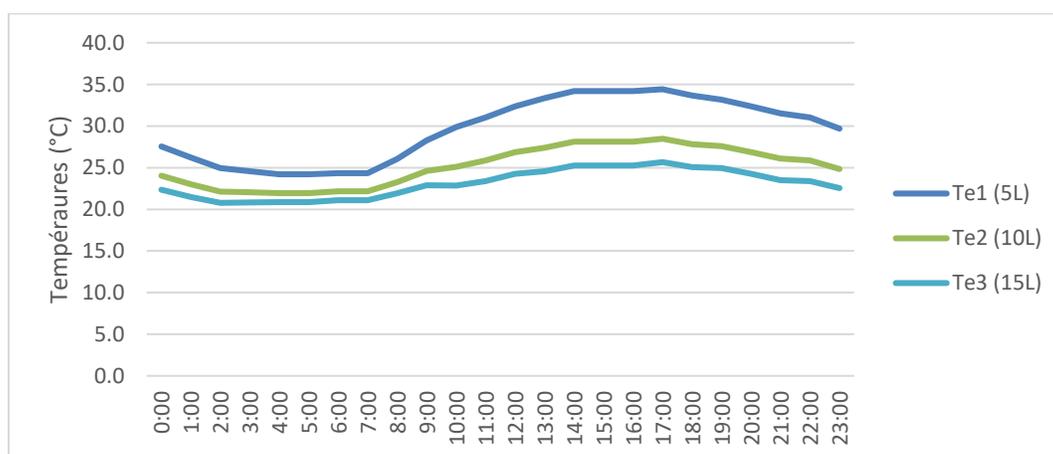


Figure 4. 51: Evolution des températures de sortie (El Oued)

Tableau 4. 23: Résultats de ville d’In Salah

T_s (°C)	T_h (°C)	T_{e1} (°C)	T_{e2} (°C)	T_{e3} (°C)	HR ₁ (%)	HR ₂ (%)	HR ₃ (%)
34.7	15.2	25.4	21.1	19.0	32.1	53.4	67.5
33.1	15.4	24.7	20.7	18.8	36.6	57.3	70.6
32.2	15.3	24.2	20.4	18.6	38.7	59.1	71.5
31.6	15.2	23.8	20.1	18.4	39.7	60.2	71.7
30.8	14.9	23.2	19.7	18.0	39.3	59.7	72
30.3	14.8	22.9	19.5	17.8	40.9	61.2	72.9
30.2	14.8	22.9	19.4	17.8	40.9	61.6	72.9
30.1	14.8	22.8	19.4	17.8	41.7	61.6	72.9
33	16	24.9	21.1	19.3	39.1	59.7	71.9
35.8	17.1	26.9	22.7	20.7	36.8	57.5	71
39.5	18.3	29.4	24.7	22.4	33.6	54.3	67.9
42.5	18.9	31.3	26.0	23.5	29.6	51.1	65.1
43.5	19.2	32.0	26.5	23.9	28.7	50.5	64.5
44.5	19.5	32.6	27.0	24.4	28.1	49.4	63.6
45.2	19.7	33.1	27.4	24.7	27.5	48.6	63
46.2	19.9	33.7	27.8	25.0	26.6	47.9	62.3
47	20	34.2	28.1	25.3	25.5	47	61.2
46.1	19.7	33.6	27.6	24.8	26.1	47.6	62.1
45.7	19.4	33.2	27.3	24.5	26.2	47.6	61.7
44.1	18.9	32.1	26.5	23.8	31.2	48.3	63.3
41.9	18.1	30.6	25.3	22.7	28.4	49.9	64.9
41.5	18	30.3	25.1	22.6	28.9	50.5	64.8
39	17.1	28.6	23.7	21.4	30.4	51.8	66.1
37.8	16.8	27.8	23.1	20.9	31.9	53.3	66.9

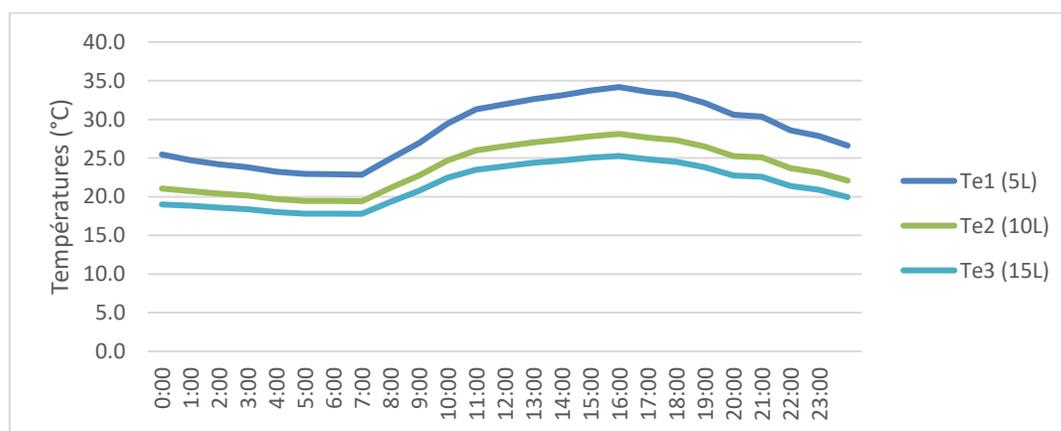


Figure 4. 52: Evolution des températures de sortie (In Salah)

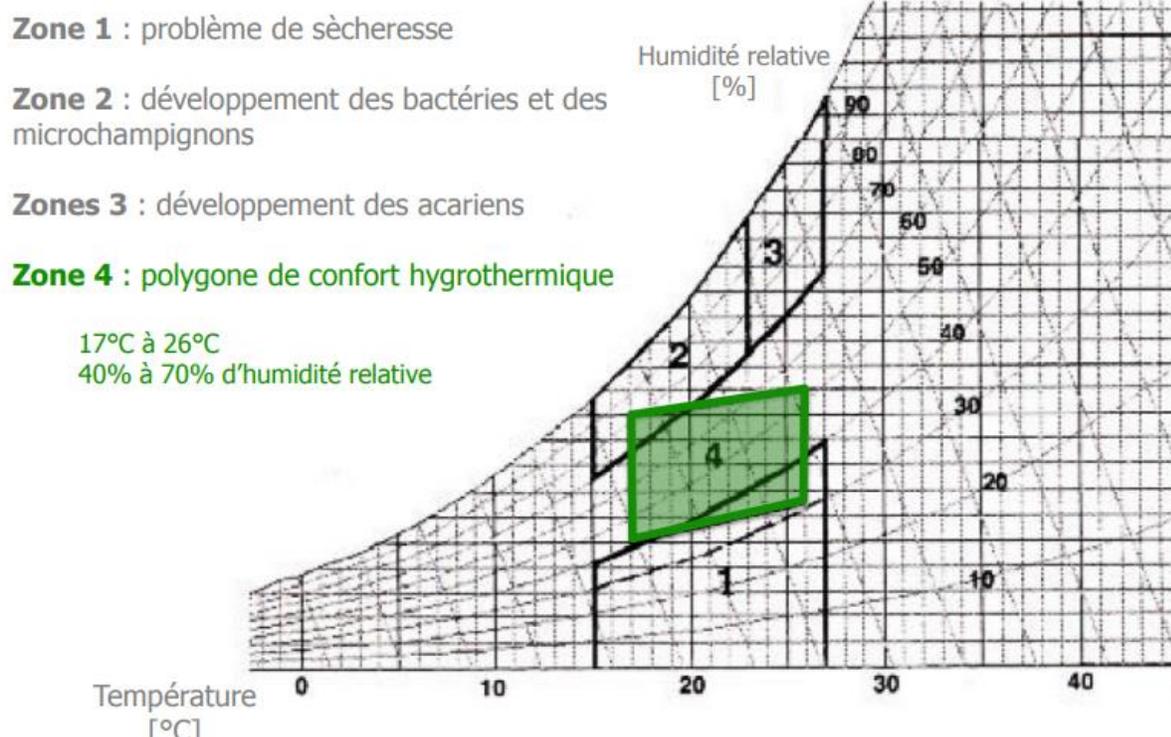


Figure 4. 53: La zone de confort hygrothermique dans le diagramme psychrométrique [21]

Selon les résultats obtenus de ce modèle, on peut déduire que le cas le plus favorable qui nous assure le confort hygrothermique est le 2eme cas de débit d'eau de 10L/h (WF=10L/h) avec des températures qui varient de 22°C à 27°C et des humidités qui peuvent atteindre 70% pour Biskra, de 21°C à 28°C et des humidités qui varient entre 40% jusqu'à 70% pour El Oued, et pour le cas d'In Salah nous avons obtenu un intervalle de température de 19°C à 27°C avec une humidité comprise entre 47% jusqu'à 61%, notant que les températures extérieures puissent atteindre plus que 45°C.

Suivant ces résultats, on note que le refroidissement adiabatique, au moyen d'un système direct, est une méthode de refroidissement hautement durable et peu énergivore, il garantit un climat confortable et sain, sachant que le processus de refroidissement adiabatique dans un système de refroidissement direct ne consomme que 10% de l'énergie nécessaire à la climatisation traditionnelle et produit pratiquement les mêmes températures [17]. De plus, contrairement à la climatisation traditionnelle, le refroidissement adiabatique ne fait pas recirculer de l'air intérieur chaud et pollué, mais assure une ventilation avec 100 % d'air extérieur frais, filtré, propre et refroidi dans un local ou un bâtiment, ce qui améliore considérablement la qualité de l'air intérieur.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail nous avons étudié le comportement thermique d'un logement standard représentatif du logement contemporain Algérien adapté dans différents sites algériens, Alger, Tiaret, Sétif, Biskra, El Oued et In Salah ou chaque région représente une zone climatique différente A, B', C, D₁ et D₂

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.

L'Algérie doit de se tourner vers des solutions naturelles et respectueuses de la santé et de l'environnement comme les isolants 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 la construction étudiée, en proposant le liège comme isolant propre de grande qualité est disponible au nord du pays, et on a obtenu des bons résultats, on a remarqué un abaissement des échanges calorifiques avec l'extérieur, résultant en réduction importante en besoins énergétiques de **33.67%** pour Alger, **60.61%** pour Tiaret et de **62.77%** pour la région de Sétif. 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 par exemple, souvent utilisé en plus de ne pas être écologique revient plus cher (coût du transport). Avec la nouvelle composition nous obtenons une stabilisation remarquée des températures à l'intérieur du bâtiment 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 **39.71%**, **41.25%** et **37.22%** des besoins énergétiques totaux du logement pour Biskra, El oued et In Salah respectivement.

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.

Les résultats obtenus montrent clairement que la performance énergétique est atteinte en hiver puisque les besoins en chauffage sont carrément nuls pour les zones situées au nord (Alger et Guelma), et le sud du pays (Biskra, El Oued et In Salah), et au-dessous du seuil de 50 kWh/m² considéré comme indicateur de la performance énergétique, pour les hauts plateaux (Sétif et Tiaret).

Par contre l'enveloppe des bâtiments n'assurent pas le confort de l'occupant en été, surtout pour les zones arides où les températures à l'extérieur peuvent atteindre 48°C. Ceci a exigé l'intégration d'un système de climatisation avec des consommations énergétiques qui ont dépassé le seuil de la performance énergétique (50 kWh/m²) ou les besoins en climatisation ont été estimés à **202.41 kWh/m²**, **199.35 kWh/m²** et **272.99 kWh/m²** pour Biskra, El Oued et In Salah respectivement. C'est pour cette raison nous avons opté pour le rafraîchissement par évaporation adiabatique, où les résultats obtenus clairement montrent que on peut assurer le confort hygrothermique des occupants avec le minimum de consommation énergétique et sans mettre l'environnement en danger.

Donc, si l'on veut continuer de rafraîchir les bâtiments sans réchauffer la planète, le refroidissement adiabatique s'imposera comme l'alternative naturelle à la climatisation, et avec les crises climatiques et les canicules à répétition, la solution de rafraîchissement adiabatique est appelée à un développement important, en neuf comme en rénovation.

REFERENCES

- [1] The Annual Energy Outlook 2011: With projections to 2035. U.S. Energy Information Administration. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1019039>
- [2] Ranck, L. (2011). Maisons écologiques : Cas pratiques. Edition Eyrolles. <https://issuu.com/ecoboxhabitat/docs/maisonsecologiques>
- [3] RAHMOUNI Sofiane. Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique. Mémoire de Magister. Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2. 2020.
- [4] Consommation Energétique Finale de l'Algérie. Chiffres clés : Année 2017. Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie. APRUE. (Edition 2019) <http://aprue.org.dz/index.php/communication/publication>
- [5] Maitrise d'énergie. Ses principaux acteurs et instruments. La Lettre de l'APRUE, Bulletin trimestriel n° 08 Mai 2005.
- [6] TOUIL Abdessalam, MERGHACHE Souad. Au Sujet de L'efficacité Énergétique vers des Bâtiments Moins Énergivores. Master en Génie Civil. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 2017.
- [7] DTR (document technique réglementaire) C3.4 : Climatisation : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments. CNERIB 2007.
- [8] S. SAMI-MECHERI, D. SEMMAR et A. HAMID, Efficacité Énergétique Des Logements À Haute Performance Énergétique, HPE: Application Au Site De Bechar. Université Saad Dahlab Blida-1. 2012.
- [9] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie-164/>
- [10] <https://latitudelongitude.org>
- [11] Samir Semahi, Noureddine Zemmouri, Manoj Kumar Singh, Shady Attia. Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria. Building and Environment. Volume 161, 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319304810>
- [12] Mounia, Benazza. Inventaire et Identification des Basidiomycètes de La Foret de M'sila (ORAN). Thèse de doctorat. Université d'Oran 1. 2017

- [13] la rédaction maison & travaux. Pourquoi choisir un isolant en liège.2019. <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/materiaux/bois-materiaux/liege>
- [14] SAMI Sabrina. Contribution A L'intégration de Composants Solaires dans La Structure Bâtie Application Aux Sites Algériens. Thèse de doctorat. Université Saad Dahlab Blida-1, 2018.
- [15] KHECHAREM Aymen. Modélisation thermique des bâtiments : Evaluation des principaux critères architecturaux sur la qualité thermique des bâtiments. Master en Architecture. Université Henri Poincaré, Nancy, 2009
- [16] BELARBI Dyhia, BELFACI Afraa. Etude de comportement thermique d'une habitation dans des différentes régions en Algérie « Bechar, Blida et Sétif ». Master Energies Renouvelables. Université Saad Dahlab Blida-1, 2020.
- [17] En quoi consiste le refroidissement adiabatique. (2019). <https://www.oxy-com.com/fr/en-quoi-consiste-le-refroidissement-adiabatique>
- [18] Kang, Daeho & Strand, Richard. (2009). Simulation of passive downdraught evaporative cooling (PDEC) systems in EnergyPlus. IBPSA 2009 - International Building Performance Simulation Association 2009.
- [19] CHERIFI Zakaria, ZOUGAIE Oussama. Impact de L'intégration du Rafraichissement Par Humidification Adiabatique dans L'habitat du Climat Aride (Cas du Ksar Tafilelt). Master Energies Renouvelables. Université Saad Dahlab Blida-1, 2020.
- [20] <https://www.my-meteo.com>
- [21] Confort Hygrothermique et Réduction des Consommations D'énergie. Qualité d'Usage, Confort et Qualité Environnementale dans Les Bâtiments Tertiaires. Nepsen. Edition des Journées Expertes de l'Architecture Durable. 2014. <https://nepsen.fr/wp-content/uploads/2014/08/Confort-Hygrothermique-et-réduction-des-consommations-dénergie.pdf>