

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA 1

FACULTÉ DE TECHNOLOGIES

DÉPARTEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES



Mémoire présenté en vue d'obtention du diplôme de master en  
énergies renouvelables

Option : Énergies renouvelables et habitat bioclimatique

Thème :

Impact des transformations constructives sur le confort thermique  
(cas d'une maison kabyle traditionnelle).

Présenté par :

HAMAZ Amghidh

TAHARBOUCHET Yacine

Soutenu publiquement le : 06/07/2022 devant le Jury composé de :

Mr. GUENOUNOU.A	Docteur	USDB	Président
Mr. HAMID.A	Professeur	USDB	Promoteur
Mme. OUKACIS	Doctorante	USDB	Co-promoteur
Mme. SAMI.S	Docteur	CDER	Examineur
Mr. LAFRI.D	Docteur	USDB	Examineur

# Remerciements

*Nous tenons à remercier tout d'abord Mr. HAMID Abdelkader, ainsi que Mme OUKACI Soumia pour leurs aides précieuses et pour le temps qu'ils nous ont consacré.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions, ainsi qu'à l'ensemble des membres du Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB).*

# Dédicaces

À mes chers parents.

À ma sœur et à mon frère.

À mon cher binôme.

À mes magnifiques ami(e)s.

Je n'ai que ces humbles mots en guise de gratitude, de reconnaissance et d'amour.

A.H

---

À mes chers parents.

À mes adorables sœurs Imane et Wissam et mon frère Hamza.

À mon cher binôme.

À mes magnifiques ami(e)s.

Nulle expression ne peut témoigner de mes remerciements, gratitude et de l'amour  
que je vous porte.

Y.T

### **Résumé :**

La présente recherche a pour but l'évaluation thermique de l'impact des transformations constructives sur la performance énergétique de la maison traditionnelle de Kabylie.

Notre étude comprend deux étapes, une étude expérimentale qui a permis d'identifier les caractéristiques des éléments constructifs du cas d'étude, et une simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel pléiades (version 5.22.7.1) qui nous a permis d'évaluer le cas étudié et de faire une comparaison entre la maison traditionnelle avant et après sa rénovation.

Les résultats obtenus lors de cette étude ont approuvé l'efficacité énergétique de la maison kabyle traditionnelle avant que celle-ci ne subisse des changements constructifs effectués au niveau de la toiture.

*Mots clés :* Évaluation thermique, transformations constructives, performances énergétiques, maison kabyle traditionnelle, modélisation thermique dynamique, pléiades, rénovation, efficacité énergétique.

### **Abstract :**

The purpose of this research is the thermal evaluation of the impact of constructive transformations on the energy performance of the traditional house of Kabylia.

Our study includes two stages, an experimental study which made it possible to identify the characteristics of the constructive elements of the case study, and a dynamic thermal simulation using the software pleiades (version 5.22.7.1) which allowed us to evaluate the case studied and make a comparison between the traditional house before and after its renovation.

The results obtained during this study approved the energy efficiency of the traditional kabyle house before it undergoes constructive changes made at the level of the roof.

*Keywords :* Thermal evaluation, constructive transformations, energy performance, traditional kabyle house, dynamic thermal modeling, pleiades, renovation, energy efficiency.

## ملخص :

الغرض من هذا البحث هو التقييم الحراري لتأثير التحولات البنائية على أداء الطاقة في منزل القبائل التقليدي.

تتضمن دراستنا مرحلتين، دراسة تجريبية أتاحت التعرف على خصائص العناصر البنائية لدراسة الحالة، و محاكاة حرارية ديناميكية باستخدام برنامج pléiades (الإصدار 5.22.7.1) مما سمح لنا بتقييم الحالة المدروسة و إجراء مقارنة بين المنزل التقليدي قبل وبعد تجديده.

النتائج التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة أثبتت كفاءة الطاقة في منزل القبائل التقليدي قبل أن يخضع لتغييرات بنائية على مستوى السطح.

*الكلمات المفتاحية :* التقييم الحراري، التحولات البنائية، أداء الطاقة، بيت القبائل التقليدي، النمذجة الحرارية الديناميكية، pléiades، التجديد، كفاءة الطاقة.

# *Table des matières*

REMERCIEMENTS	
DÉDICACES	
RÉSUMÉ	
TABLE DES MATIÈRES	
TABLE DES FIGURES	
TABLE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
<u>CHAPITRE 1 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART</u>	
1.1. INTRODUCTION :.....	3
1.2. CONCEPTION BIOCLIMATIQUE :.....	3
1.3. LE CONFORT THERMIQUE :.....	4
1.3.1. DEFINITION :.....	4
1.3.2. Les paramètres du confort thermique :.....	4
1.3.2.1. Le métabolisme :.....	4
1.3.2.2. L'habillement :.....	4
1.3.2.3. La température ambiante de l'air (Ta) :.....	4
1.3.2.4. La température moyenne des parois (Tp) :.....	4
1.3.2.5. L'humidité relative de l'air (HR) :.....	4
1.3.2.6. La vitesse de l'air :.....	5
1.4. L'HABITAT TRADITIONNEL REFERENCE DE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE :.....	5
1.4.1. HABITAT ET ARCHITECTURE VERNACULAIRES :.....	5
1.4.2. L'ARCHITECTURE TRADITIONNELLE EN ALGERIE :.....	5
1.4.3. HABITAT TRADITIONNEL EN KABYLIE (UXXAM) :.....	5
1.4.3.1. Les techniques de construction :.....	5
1.4.3.1.1. Les fondations :.....	5
1.4.3.1.2. Les éléments porteurs :.....	6
1.4.3.1.3. Les planchers :.....	8
1.4.3.1.4. Les revêtements :.....	8
1.4.3.1.5. Le seuil (amnar) :.....	9
1.4.3.1.6. La porte d'entrée (tabburt bbwakham) :.....	9
1.4.3.1.7. Les évacuations (tazulikht) :.....	9
1.4.3.1.8. Le foyer (L'ka noun) :.....	9
1.4.3.1.9. Le toit :.....	9
1.4.3.2. Techniques passives utilisées :.....	11
1.5. ÉTAT DE L'ART :.....	12
1.6. CONCLUSION :.....	14
<u>CHAPITRE 2 : CAS D'ÉTUDE</u>	
2.1. INTRODUCTION :.....	15
2.2. PRÉSENTATION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE :.....	15
2.2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE TIZI-OUZOU :.....	15

2.2.2. CLASSIFICATION THERMIQUE DES COMMUNES DE LA REGION DE TIZI-OUZOU :	15
2.3. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE :	16
2.3.1. PRESENTATION DU SITE :	16
2.3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE :	17
2.3.2.1. Températures et précipitations moyennes :	17
2.3.2.2. Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations :	18
2.3.2.3. Températures maximales :	18
2.3.2.4. Précipitations :	19
2.3.2.5. Vitesse du vent :	19
2.3.2.6. Rose des vents :	20
2.3.3. DESCRIPTION DE LA MAISON KABYLE TRADITIONNELLE ETUDIEE :	20
2.3.3.1. Plan de la maison kabyle :	20
2.3.3.2. Orientations des Façades de la maison :	22
2.3.3.3. Configuration spatiale de la maison :	24
2.3.3.4. Les matériaux de construction qui composent les enveloppes de la maison :	25
2.4. ETUDE EXPERIMENTALE :	26
2.4.1. CARACTERISATION DES PROPRIETES THERMO PHYSIQUES DES MATERIAUX :	26
2.4.1.1. Appareil de mesure :	26
2.4.1.2. Principe de fonctionnement :	26
2.4.1.3. PREPARATION DES EPROUVETTES :	26
2.4.1.3.1. Instruments utilisés :	26
2.4.1.3.2. Revêtement 1 :	26
2.4.1.3.3. Revêtement 2 :	28
2.4.1.3.4. Revêtement 3 :	30
2.4.1.3.5. Mortier (liant) :	30
2.4.1.3.6. La pierre :	31
2.4.1.3.7. Le bois :	32
2.4.1.3.8. La tuile :	32
2.4.1.3.9. Séchage accéléré et pansage :	33
2.4.1.3.10. Résultats :	33
2.4.2. MESURE DE L'HUMIDITE ET DE LA TEMPERATURE DE L'AIR :	34
2.4.2.1. Mesure de l'humidité relative de l'air :	34
2.4.2.2. Mesure de la température de l'air :	35
2.5. CONCLUSION :	35
<b>CHAPITRE 3 : SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE</b>	
3.1. INTRODUCTION :	36
3.2. PRESENTATION DU LOGICIEL PLEIADES :	36
3.3. PROCESSUS D'APPLICATION DE LOGICIEL :	36
3.3.1. CREATION DE LA STATION METEO :	36
3.3.2. Création des matériaux de construction :	37
3.3.3. Création des éléments constructifs :	39
3.3.4. CREATION DES MENUISERIES :	40
3.3.5. Définition des scénarios :	41
3.3.5.1. Scénario d'occupation :	41
3.3.5.2. Scénario de température :	42
3.3.5.3. Scénario de Ventilation :	43

3.3.5.4. Scénario de puissance dissipée :.....	44
3.3.5.5. Scénario d’occultation :.....	44
3.3.5.6. Ponts thermique :.....	44
3.3.6. Dessin du plan :.....	46
3.3.7. Lancement des différentes simulations :.....	46
3.4. CONCLUSION :.....	46
<b><u>CHAPITRE 4 : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS</u></b>	
4.1. INTRODUCTION :.....	47
4.2. LES SIMULATIONS SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT :.....	47
4.2.1. LES SIMULATIONS EN PERIODE ESTIVALE:.....	47
4.2.1.1. Toiture rénovée :.....	47
4.2.1.2. Toiture ancienne :.....	48
4.2.2. LES SIMULATIONS EN PERIODE HIVERNALE:.....	48
4.2.2.1. Toiture rénovée :.....	48
4.2.2.2. Toiture ancienne :.....	49
4.3. LES SIMULATION AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT :.....	50
4.3.1. LES SIMULATIONS EN PERIODE ESTIVALE :.....	50
4.3.1.1. Toiture rénovée :.....	50
4.3.1.2. Toiture ancienne :.....	51
4.3.2. LES SIMULATIONS EN PERIODE HIVERNALE :.....	52
4.3.2.1. Toiture rénovée :.....	52
4.3.2.2. Toiture ancienne :.....	53
4.3.3. TABLEAU RECAPITULATIF DES BESOINS ENERGETIQUES :.....	54
4.3.3.1. Comparaison des besoins entre toiture rénovée et toiture ancienne :.....	54
4.3.4. Classe énergétique :.....	55
4.4. ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES RESULTATS EXPERIMENTAUX ET THEORIQUES :.....	56
4.4.1. SIMULATION SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT POUR LA JOURNEE DU 13 JUIN (TOITURE RENOVE) :.....	56
4.4.2. Comparaison graphique :.....	56
4.4.2.1. Calcul de l’erreur relative :.....	57
4.5. CONCLUSION :.....	57
CONCLUSION GENERALE.....	57
RÉFÉRENCES.....	60

# Liste des figures

---

## *Chapitre 1 : Analyse bibliographique et état de l'art*

FIGURE 1.1 : LES TROIS ELEMENTS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE [7].....	3
FIGURE 1.2 : UNE MAISON KABYLE BATIE A MEME LA ROCHE AU VILLAGE DE BOUMANSOUR ©.....	6
FIGURE 1.3 : MUR EN PISE [11].....	6
FIGURE 1.4 : MUR EN PIERRE SECHE [12]. .....	6
FIGURE 1.5 : MUR EN PIERRE [13]. .....	6
FIGURE 1.6 : VU SUR LES POUTRES ET LES PILIERS ©.....	7
FIGURE 1.7 : LES POUTRES SUR LESQUELS REPOSE TAKANNA ©.....	7
FIGURE 1.8 : ORNEMENTATION DU MUR DE TASGA ©.....	9
FIGURE 1.9 : TOITURES EN TUILES [14]. .....	10
FIGURE 1.10 : COMPOSITION D'UNE TOITURE A TUILES [15]. .....	10
FIGURE 1.11 : TOITURES-TERRASSES DANS UN VILLAGE D'ALTITUDE DU DJURDJURA (GRANDE KABYLIE) [16]. .....	11
FIGURE 1.12 : LES DIFFERENTS TYPES DE VENTILATION NATURELLE [18] .....	12

## *Chapitre 2 : Cas d'étude*

FIGURE 2.1 : VU EN 3D DU VILLAGE DE BOUMANSOUR [21]. .....	17
FIGURE 2.2 : TEMPERATURES ET PRECIPITATIONS MOYENNES DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22]. .....	17
FIGURE 2.3 : CIEL NUAGEUX, SOLEIL ET JOURS DE PRECIPITATIONS DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22]. .....	18
FIGURE 2.4 : TEMPERATURES MAXIMALES DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22]. .....	18
FIGURE 2.5 : QUANTITE DE PRECIPITATIONS DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22]. .....	19
FIGURE 2.6 : VITESSE DU VENT DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22].....	19
FIGURE 2.7 : ROSE DES VENTS DE LA REGION DE BOUMANSOUR [22]. .....	20
FIGURE 2.8 : PLANS ET COUPES DE LA MAISON KABYLE [23]. .....	21
FIGURE 2.9 : COUPE VUE DE DROITE ©.....	22
FIGURE 2.10 : COUPE VUE DE GAUCHE ©.....	22
FIGURE 2.11 : COUPE VUE DE DERRIERE ©.....	22
FIGURE 2.12 : COUPE VUE DE FACE ©.....	22
FIGURE 2.13 : VU DE FACE ©.....	23
FIGURE 2.14 : VU DE GAUCHE ©.....	23
FIGURE 2.15 : VU DE.....	23
FIGURE 2.16 : VU DE DROITE ©.....	23
FIGURE 2.17 : VU SUR ADDAYNIN ©.....	24
FIGURE 2.18 : VU SUR TAARICHT ©.....	24
FIGURE 2.19 : VU SUR TAQAAT ©.....	24
FIGURE 2.20 : LA COMPOSITION DE L'ENVELOPPE MURALE ©.....	25
FIGURE 2.21 : LA COMPOSITION DE L'ENVELOPPE DU PLANCHER BAS ©.....	25
FIGURE 2.22 : LA COMPOSITION DE LA TOITURE ©.....	25
FIGURE 2.23 : DES PETITS BOUTS DE PAILLE IMMERGE DANS DE L'EAU ©.....	27
FIGURE 2.24 : PETRISSAGE DE LA TERRE ARGILEUSE ©.....	27
FIGURE 2.25 : AJOUT DE BOUSE DE VACHE DURANT LE SECOND PETRISSAGE ©.....	28
FIGURE 2.26 : SECHAGE DES EPROUVETTES DU REVETEMENT 1 A L'AIR LIBRE ©.....	28
FIGURE 2.27 : RECOLTE DE LA TERRE ROUGE ©.....	29
FIGURE 2.28 : LES CAILLOUX (TAFFEZA) TROUVES DANS LA TERRE ROUGE ©.....	29
FIGURE 2.29 : SECHAGE DES EPROUVETTES DU REVETEMENT 2 A L'AIR LIBRE ©.....	29

FIGURE 2.30 : CARRIERE D'ARGILE BLANCHE (TUMLILT) ©. ....	30
FIGURE 2.31 : ARGILE BLANCHE (TUMLILT) PEINT SUR UN ECHANTILLON DE REVETEMENT ©. ....	30
FIGURE 2.32 : ARGILE ©. ....	30
FIGURE 2.33 : ARGILE IMMERGEE DANS DE L'EAU DURANT 24 HEURES ©. ....	31
FIGURE 2.34 : SECHAGE DES EPROUVETTES DE MORTIER A L'AIR LIBRE ©. ....	31
FIGURE 2.35 : LA PIERRE A L'ETAT BRUT ©. ....	32
FIGURE 2.36 : LA TAILLE DE LA PIERRE A TIZI-TGHIDHET ©. ....	32
FIGURE 2.37 : LA PIERRE APRES LA TAILLE ©. ....	32
FIGURE 2.38 : TRONC DE BOIS CHENE ZEN ©. ....	32
FIGURE 2.39 : TRONC DE BOIS CHENE ZEN APRES LA COUPE ©. ....	32
FIGURE 2.40 : TUILES ROMAINE ©. ....	33
FIGURE 2.41 : TUILES A EMBOITEMENT ©. ....	33
FIGURE 2.42 : SECHAGE DES EPROUVETTES DANS UNE ETUVE ©. ....	33
FIGURE 2.43 : LA VARIATION DE L'HUMIDITE A L'INTERIEUR ET L'EXTERIEUR DE LA MAISON. ....	34
FIGURE 2.44 : LA VARIATION DE LA TEMPERATURE A L'INTERIEUR ET L'EXTERIEUR DE LA MAISON. ....	35

### *Chapitre 3 : Simulation thermique dynamique*

FIGURE 3.1 : FICHER METEO DE LA REGION DE BOUMANSOUR SOUS FORMAT EPW [26]. ....	37
FIGURE 3.2 : CARACTERISTIQUES DE LA PIERRE. ....	37
FIGURE 3.3 : CARACTERISTIQUES DU MORTIER (LIANT). ....	37
FIGURE 3.4 : CARACTERISTIQUES DU REVETEMENT 1 (REV 1). ....	38
FIGURE 3.5 : CARACTERISTIQUES DU REVETEMENT 2 (REV 2). ....	38
FIGURE 3.6 : CARACTERISTIQUES DU BOIS CHENE ZEN. ....	38
FIGURE 3.7 : CARACTERISTIQUES DU BRANCHAGE. ....	38
FIGURE 3.8 : CARACTERISTIQUES DE LA TUILE A EMBOITEMENT. ....	39
FIGURE 3.9 : CARACTERISTIQUES DE LA TUILE ROMAINE. ....	39
FIGURE 3.10 : LA COMPOSITION DU PLANCHER-BAS. ....	39
FIGURE 3.11 : LA COMPOSITION DU MUR. ....	39
FIGURE 3.12 : LA COMPOSITION DE LA TOITURE RENOVEE ET ANCIENNE. ....	40
FIGURE 3.13 : CARACTERISTIQUES DE LA FENETRE FAÇADE EST. ....	40
FIGURE 3.14 : CARACTERISTIQUES DE LA FENETRE FAÇADE OUEST. ....	40
FIGURE 3.15 : CARACTERISTIQUES DE LA PORTE. ....	41
FIGURE 3.16 : LE SCENARIO D'OCCUPATION DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	41
FIGURE 3.17 : LE SCENARIO D'OCCUPATION DURANT LA PERIODE HIVERNALE. ....	42
FIGURE 3.18 : LE SCENARIO DE CONSIGNE DE RAFFRAICHISSEMENT DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	42
FIGURE 3.19 : LE SCENARIO DE CONSIGNE DE CHAUFFAGE DURANT LA PERIODE HIVERNALE. ....	42
FIGURE 3.20 : LE SCENARIO DE VENTILATION DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	43
FIGURE 3.21 : LE SCENARIO DE VENTILATION DURANT LA PERIODE HIVERNALE. ....	43
FIGURE 3.22 : SCENARIO DE VENTILATION + INFILTRATION. ....	43
FIGURE 3.23 : PUISSANCE DISSIPÉE DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	44
FIGURE 3.24 : PUISSANCE DISSIPÉE DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	44
FIGURE 3.25 : LE SCENARIO D'OCCULTATION DURANT LA PERIODE ESTIVALE. ....	44
FIGURE 3.26 : LE SCENARIO D'OCCULTATION DURANT LA PERIODE HIVERNALE. ....	45
FIGURE 3.27 : PONTS THERMIQUES LINEIQUES. ....	45
FIGURE 3.28 : PONTS THERMIQUES MENUISERIES. ....	45
FIGURE 3.29 : PLAN DE LA MAISON DE NOTRE CAS D'ETUDE REALISE AVEC PLEIADES. ....	46
FIGURE 3.30 : VU EN 3D DE LA MAISON DE NOTRE CAS D'ETUDE REALISER AVEC LE LOGICIEL SKETCHUP. ....	46

## Chapitre 4 : Analyse et interprétation des résultats

FIGURE 4.1 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE ESTIVALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS CHAUDE SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE).....	47
FIGURE 4.2 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE ESTIVALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS CHAUDE SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ....	48
FIGURE 4.3 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE HIVERNALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS FROIDE SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE) . ....	49
FIGURE 4.4 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE HIVERNALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS FROIDE SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ....	49
FIGURE 4.5 LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE ESTIVALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS CHAUDE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE).....	51
FIGURE 4.6 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE ESTIVALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS CHAUDE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ....	52
FIGURE 4.7 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE HIVERNALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS FROIDE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE).....	53
FIGURE 4.8 : LES EVOLUTIONS DES TEMPERATURES EN PERIODE HIVERNALE PENDANT LA SEMAINE LA PLUS FROIDE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ....	54
FIGURE 4.9 : COMPARAISON DES BESOINS ENERGETIQUES ENTRE LA TOITURE RENOVEE ET LA TOITURE ANCIENNE. ....	55
FIGURE 4.10 : LA CLASSE ENERGETIQUE DE LA MAISON AVEC LA TOITURE ANCIENNE ET LA TOITURE RENOVEE [27].....	55
FIGURE 4.11 : SIMULATION SANS CONSIGNE DE THERMOSTAT POUR LA JOURNEE DU 13 JUIN (TOITURE RENOVEE). ....	56
FIGURE 4.12 : COMPARAISON ENTRE LE GRAPHE EXPERIMENTALE ET THEORIQUE. ....	56

# Liste des tableaux

---

## *Chapitre 2 : Cas d'étude*

TABEAU 2.1 : CLASSIFICATION THERMIQUE DES COMMUNES DE LA WILAYA DE TIZI-OUZOU [19].....	16
TABEAU 2.2 : ORIENTATION DES FAÇADES DE LA MAISON.....	23
TABEAU 2.3 : CONFIGURATION SPATIALE DES ESPACES INTERIEURS DE LA MAISON ETUDIEE.....	24
TABEAU 2.4 : LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION QUI COMPOSENT LES ENVELOPPES DE LA MAISON. ....	25
TABEAU 2.5 : CARACTERISTIQUES THERMO PHYSIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....	34

## *Chapitre 4 : Analyse et interprétation des résultats*

TABEAU 4.1 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION EN PERIODE ESTIVALE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE).....	50
TABEAU 4.2 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION EN PERIODE ESTIVALE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ....	51
TABEAU 4.3 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION EN PERIODE HIVERNALE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE RENOVEE). ....	52
TABEAU 4.4 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION EN PERIODE HIVERNALE AVEC CONSIGNE DE THERMOSTAT (TOITURE ANCIENNE). ...	53
TABEAU 4.5 : LES BESOINS ENERGETIQUES DE LA MAISON AVANT ET APRES RENOVATION. ....	54

# Introduction générale

---

## ***Introduction générale***

Depuis l'apparition de l'être humain sur terre il n'a guère cessé de fuir le froid glacial de l'hiver et la chaleur étouffante de l'été. Alors, la notion du confort thermique était bien présente depuis des millénaires, néanmoins, absente dans le langage.

À la recherche de cette notion abstraite et d'un abri adéquat, l'homme a réussi à accomplir des prouesses dans l'art de bâtir. Il a façonné son mode de vie avec l'environnement extérieur qui l'entoure en valorisant au mieux les ressources locales, à titre d'exemple en Afrique du Nord, l'Algérie est un vaste pays qui s'étend sur une surface de 2.381.741 km<sup>2</sup>, nous y trouvons a priori trois climats, le méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas tellien, un climat semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays et en dernier le climat désertique dès que nous franchissons la chaîne de l'Atlas saharien [1]. De part son climat diversifié, des maisons traditionnelles sont implantées du nord au sud et d'est en ouest, cela malgré toutes les intempéries que ses régions subissent durant toute l'année. Parmi ces bâtisses anciennes nous citons, la maison mozabite, la maison médinoise, la maison de touareg autrement dit la zeriba qui est une maison traditionnelle touareg faite de pierres et de feuilles de palmiers construite au pied d'une colline ou d'un monticule pour éviter les vents de sable ...etc [2]. Les techniques de constructions et les matériaux utilisés par nos ancêtres montrent le degré de leurs ingéniosités et de leurs savoirs faire dans le domaine de la conception architecturale.

Entre écologie et durabilité, l'architecture traditionnelle villageoise de Kabylie constitue une richesse unique caractérisée par son adaptation climatique ce qui a été confirmé par plusieurs recherches antérieures [3]. Alors que l'intégration de nouvelles techniques constructives et les changements effectués dans les maisons kabyles traditionnelles ont impacté sur sa performance énergétique. Notre recherche s'inscrit dans ce contexte et qui a pour but l'évaluation des transformations constructives d'une maison kabyle traditionnelle.

La pierre, l'argile, le bois, et la paille sont des matériaux majeurs pour la construction de la maison kabyle traditionnelle, qui est réputée pour le confort thermique qu'elle procure pour ses occupants.

Dans notre cas d'étude, nous étudierons une maison kabyle traditionnelle dans l'ancien village de Boumansour qui a été construite en 1920 et réhabilitée en 2018. Cela nous pousse à poser la question suivante : quel est l'impact du changement des matériaux de construction sur le confort thermique ainsi que sur la consommation énergétique ?

Pour répondre à cette problématique nous y mettons l'hypothèse suivante qui est l'utilisation des matériaux de construction ancestraux peut améliorer le confort thermique.

Le présent travail de recherche a pour objectif d'évaluer le confort thermique d'une maison kabyle traditionnelle située dans l'ancien village de Boumansour dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous veillerons proprement à répondre à la problématique citée précédemment, et lui proposer une solution en cas de défaillance. Notre recherche comprend les chapitres suivants :

- Chapitre 1 : Bibliographie et état de l'art

Ce premier chapitre se subdivise en deux parties. La première, sera dédiée à la bibliographie sur la conception bioclimatique, le confort thermique et l'habitat traditionnel. Tandis que, la seconde partie, est exclusivement consacrée pour les études antérieures.

- Chapitre 2 : Cas d'étude

Comprend l'identification de notre cas d'étude, à savoir la présentation de la région et du site d'implantation, la description de la maison kabyle traditionnelle étudiée, ainsi que l'étude expérimentale.

- Chapitre 3 : Simulation thermique dynamique

Comprend la présentation du logiciel. Ainsi que, les différentes simulations thermiques dynamiques effectuées.

- Chapitre 4 : Analyse et interprétation des résultats

Ce dernier chapitre, comprend l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus lors des différentes simulations effectuées dans le chapitre précédent.

# Chapitre 1 :

*Analyse bibliographique et état de l'art*

Chapitre 1 :

Analyse bibliographique et état de l'art

### 1.1. Introduction :

L'architecture depuis l'Antiquité a impliqué l'exploitation des ressources naturelles pour répondre aux besoins humains. De ce fait, émergea une longue tradition de construction en harmonie avec l'environnement et le climat. Socrate, environ 400 avant JC a eu quelques idées sur la convenance climatique des maisons et la façon par laquelle elles avaient été construites pour assurer le confort thermique. Vitruvius, 1 siècle avant JC, a également écrit au sujet de la nécessité de considérer le climat comme élément de conception de bâtiment, pour des raisons de santé et de confort [4].

Dans ce premier chapitre, nous nous focaliserons sur l'analyse bibliographique et l'état de l'art. La première section, sera dédiée à la description de la conception bioclimatique, le confort thermique et l'habitat traditionnel. La deuxième section, s'étalera sur l'état de l'art.

### 1.2. Conception bioclimatique :

Olgay a utilisé le terme « bioclimatique » pour la première fois en 1953 pour définir l'architecture qui répond à son environnement climatique en vue de réaliser le confort pour les occupants grâce à des décisions de conception appropriées [5].

La conception bioclimatique, concerne tous les types de bâtiments, habitat, tertiaire et industriel. Elle a pour objectif de réduire au minimum les besoins énergétiques du cycle de vie d'un bâtiment (construction, exploitation, rénovation, déconstruction) sans créer de pression sur les ressources environnementales, afin de maintenir des températures constantes et agréables, tout en contrôlant l'hygrométrie, la qualité de l'air et la lumière intérieures [6].

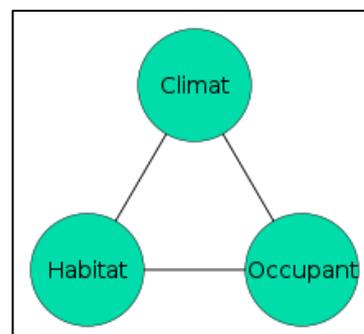


Figure 1.1 : Les trois éléments de l'architecture bioclimatique [7].

### **1.3. Le confort thermique :**

#### **1.3.1. Définition :**

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement [8]. Complexe, il peut être décrit avec de nombreux paramètres physiologiques, psychologiques, physiques, quantitatifs ou qualitatifs, plus ou moins incertains et imprécis. Pluridisciplinaire, il est tout ce qui contribue au bien-être, et s'exprime par une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiologiques et l'absence de tensions psychologiques [9].

#### **1.3.2. Les paramètres du confort thermique :**

Le confort thermique est traditionnellement associé à six paramètres :

##### **1.3.2.1. Le métabolisme :**

Ensemble des transformations chimiques et biologiques qui s'accomplissent dans l'organisme.

##### **1.3.2.2. L'habillement :**

Il représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

##### **1.3.2.3. La température ambiante de l'air ( $T_a$ ) :**

La température ambiante est une valeur de la température de l'air du milieu ambiant, généralement valable à environ 21 °C pour le bien-être humain.

##### **1.3.2.4. La température moyenne des parois ( $T_p$ ) :**

Il s'agit de la température des parois avec lesquelles le corps échange de la chaleur par rayonnement.

##### **1.3.2.5. L'humidité relative de l'air (HR) :**

Exprimée en pourcentage, l'humidité relative est une mesure de la vapeur d'eau dans l'air. Plus précisément, il s'agit de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air.

#### **1.3.2.6. La vitesse de l'air :**

Plus le mouvement de l'air est important plus le refroidissement du corps ou échange de chaleur par convection avec l'air ambiant est accéléré. Le mouvement de l'air est donc à éviter en hiver (infiltrations et courants d'air) et plutôt à rechercher en été.

### **1.4. L'habitat traditionnel référence de conception bioclimatique :**

#### **1.4.1. Habitat et architecture vernaculaires :**

L'architecture vernaculaire se caractérise par la transmission de méthodes de construction de génération en génération, communément répandu dans un pays, un territoire ou une aire donnée à une époque donnée. Elle prend en compte divers facteurs dont le climat, la géographie et l'utilisation des matériaux locaux pour la construction.

#### **1.4.2. L'architecture traditionnelle en Algérie :**

Comme tous les pays du continent africain, l'Algérie est caractérisée par un patrimoine architectural défini de divers types d'habitats traditionnels, comme la médina d'Alger, l'habitat kabyle, l'habitat de Chaouia, les ksours du sud et l'habitat du « M'Zab ». Ces bâtiments rendent compte de la diversité des techniques de construction et des matériaux utilisés, appropriés pour l'environnement.

#### **1.4.3. Habitat traditionnel en Kabylie (uxxam) :**

La maison kabyle traditionnelle est une maison rurale, intégrée au site de la montagne. Elle est construite à partir de divers matériaux locaux : la pierre, l'argile, la terre rouge, le bois...etc. Sa construction fait appel à l'entraide (*tiwizi, twiza*).

#### **1.4.3.1. Les techniques de construction :**

##### **1.4.3.1.1. Les fondations :**

Les fondations de la maison kabyle sont peu profondes et peuvent atteindre une profondeur de 1,20 m. Cependant, lorsque le sol est constitué de roche les fondations n'existent pas [10].



Figure 1.2 : Une maison kabyle bâtie à même la roche au village de Boumansour ©.

#### 1.4.3.1.2. Les éléments porteurs :

##### a. Les murs :

La pierre est le matériau majeur durant l'étape de la construction des murs. Ces derniers, sont édifiés selon trois procédés bien distincts :

- Mur en pierre : Dans ce procédé les pierres sont liées avec un mortier à base d'argile (**tikhmirt**).
- Mur en pisé : C'est un mur qui est construit à base de mortier d'argile, en utilisant un coffrage en bois pour le moulage des murs.
- Mur en pierres sèches : Dans ce procédé les pierres sont posées l'une sur l'autre à sec sans l'utilisation de mortier (liant).

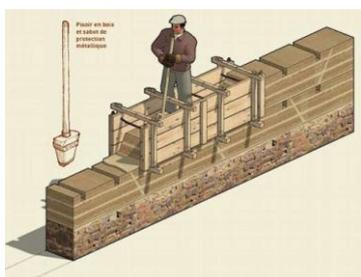


Figure 1.3 : Mur en pisé [11].



Figure 1.4 : Mur en pierre sèche [12].



Figure 1.5 : Mur en pierre [13].

##### b. Les poutres et les piliers :

Les poutres de la maison Kabyle sont de deux types, celles de toute la maison et sur lesquelles repose le toit mais également celles sur lesquelles repose la soupente (**Takanna**).

La maison est soutenue par trois ou cinq poutres longitudinales qui reposent sur les murs pignons. En kabyle, la poutre centrale est connue sous le nom d'**assalas alemmas**, cette dernière supporte en majeure partie tout le poids de la toiture, et l'homme de la famille y est comparé à celle-ci. Quant aux poutres latérales elles sont appelées **isulas iderfiyen**. Les piliers ou autrement dit, **tigejda** leur rôle principal c'est de soutenir les poutres [10].



Figure 1.6 : Vu sur les poutres et les piliers ©.

Pour **Takanna** ou soupenne, elle repose sur trois ou quatre poutres horizontales et leurs extrémités sont enfouies dans les murs. Cependant, ce procédé diffère d'une région à l'autre.



Figure 1.7 : Les poutres sur lesquels repose takanna ©.

L'essence des poutres et des piliers est du bois massif, et la variété du bois utilisée diffère selon l'abondance.

*c. Les linteaux :*

Les linteaux en bois ne sont utilisés que pour les portes d'entrée, pour les autres ouvertures c'est l'agencement des pierres qui joue ce rôle.

**1.4.3.1.3. Les planchers :**

*a. Takaât ou Tigherghert ou Agguns :*

**Takaât** est réservée aux gens pour manger, dormir, procréer, mourir (les événements essentiels de l'existence). Elle occupe les deux tiers de la surface totale de la maison. Elle est constituée de pierre, de gravier et de mortier à base d'argile auquel on rajoute de la paille et de la bouse de vache [10].

*b. Addaynin :*

Cet espace est réservé au bétail (moutons, bœufs, ânes, vaches et chèvres), il occupe le tiers de la surface de la maison et son sol est constitué de grosses dalles.

*c. Takanna :*

Au-dessus d'**addaynin** se trouve **takanna**, séparée par un plancher intermédiaire en bois qui est enduit d'un mortier à base de terre comme pour **tigherghert** [10].

**1.4.3.1.4. Les revêtements :**

Qu'il soit mural ou autre ce travail est confié à la femme comme tant d'autres tâches. En plus de tigherghert et des murs qu'elle revêt assez régulièrement de terre rouge mélangée à de l'eau et à la bouse de vache, les murs bénéficient aussi d'un enduit qui est à base d'argile blanche tumlilt diluée dans de l'eau qui remet les murs à neuf une fois l'application finie. Cet enduit est utilisé aussi pour blanchir ikuffan (les jarres de terre), les piliers et les banquettes.

La partie inférieure du mur de tasga présente une ornementation à base de certaines formes géométriques que les femmes dessinent avec soin en utilisant de l'argile avec des couleurs vives.



Figure 1.8 : Ornementation du mur de tasga ©.

#### **1.4.3.1.5. Le seuil (*amnar*) :**

Il est sous forme de dalle de schiste d'une certaine hauteur qui sert de barrière pour l'eau de pluie et d'appui pour les vantaux de la porte. Ce seuil marque l'entrée à uxxam.

#### **1.4.3.1.6. La porte d'entrée (*tabburt bbwakham*) :**

La porte d'entrée de la maison Kabyle est à deux vantaux, en bois, très épaisse, elle présente un système de fermeture assez original de l'intérieur, quant à l'extérieur elle se ferme à l'aide d'un cadenas.

#### **1.4.3.1.7. Les évacuations (*tazulikht*) :**

À l'entrée de la maison juste après **amnar** on retrouve une petite surface en pente qui finit vers l'extrémité de la porte par une rigole **tazulikht** par laquelle l'eau s'évacue. L'évacuation dans l'étable sert pour l'évacuation du purin [10].

#### **1.4.3.1.8. Le foyer (*L'kanoun*) :**

Le foyer, son feu de bois à une double fonction, le chauffage et la cuisson des repas. Il est en général creusé au centre de **takaât** ou **tighe rghert** [10].

#### **1.4.3.1.9. Le toit :**

Il existe deux types de toit en Kabylie, le toit en tuiles et le toit en terrasse. C'est le premier type qui prédomine dans la plupart des régions, mais le deuxième est également présent dans d'autres régions de manière très caractéristique.

a. La toiture à tuiles :

Le toit en Kabylie repose sur trois (ou cinq) poutres qui sont la poutre maitresse **asselas alemmas** et deux (ou quatre) poutres latérales qui sont **issulas iderfiyen**, qui reposent à leurs tours sur les murs pignons qui sont soutenus par des piliers dont **tigue jdit** ou le pilier central [10].

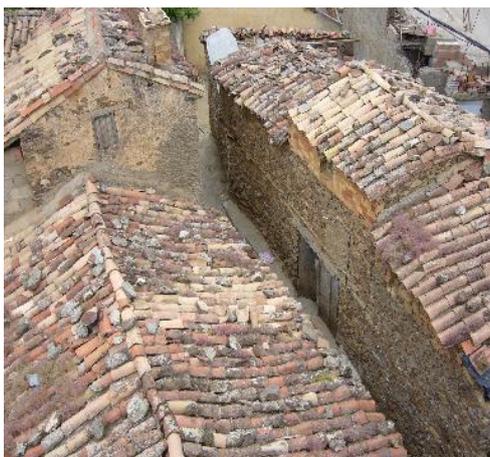


Figure 1.9 : Toitures en tuiles [14].

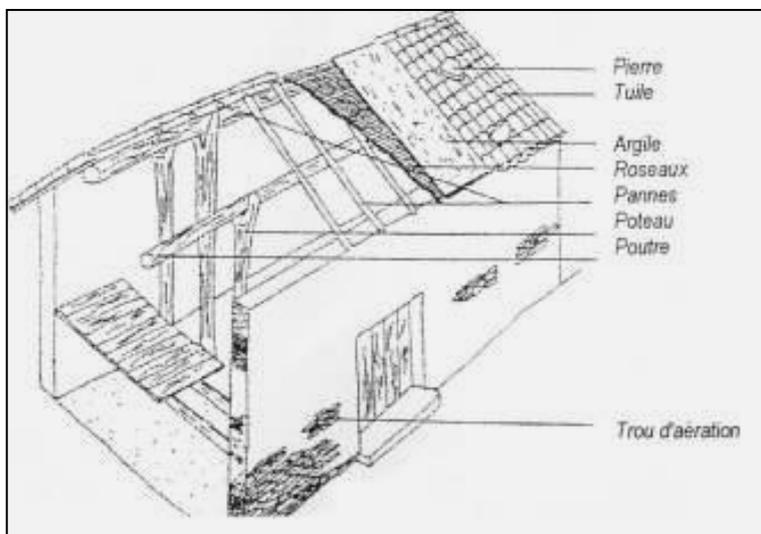


Figure 1.10 : Composition d'une toiture à tuiles [15].

Toute fois, Il est important de spécifier que la composition de la toiture à tuiles diffère d'une région à l'autre.

*b. La toiture terrasse :*

La toiture terrasse repose comme la toiture à tuiles sur des poutres en bois, disposées dans le sens de la longueur. Ces poutres reposent sur les piliers tiguejda. Des troncs d'arbres constituant les liteaux sont disposés ensuite dans le sens transversal et entre les espaces les séparant, on ajuste des branches de bois. Toute la surface sera recouverte de plaques de liège ou autres écorces. Sur cette dernière surface on étale une couche de petites pierres qu'on couvrira par la suite d'un mortier de terre qu'on tâchera de bien tasser pour une meilleure imperméabilité à l'eau. Une bordure de pierres plates est ensuite disposée pour empêcher les eaux de s'écouler le long des murs [10].

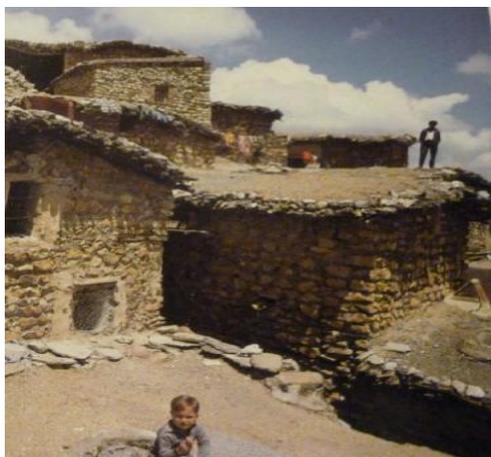


Figure 1.11 : Toitures-terrasses dans un village d'altitude du Djurdjura (Grande Kabylie) [16].

**1.4.3.2. Techniques passives utilisées :**

Beaucoup de techniques dites passives sont utilisées dans la construction des maisons kabyles traditionnelles.

*a. Le chauffage :*

Les maisons se réchauffent naturellement à travers la chaleur emmagasinée dans le sol durant les journées d'hiver, et se refroidissent de la même manière en été. Cette terre, tout comme la pierre utilisée dans les murs, emmagasine la chaleur captée du rayonnement solaire durant les journées d'hiver. Cette chaleur est ensuite restituée à l'intérieur des maisons une fois la nuit tombée. En été c'est le processus contraire qui s'y produit [17]. De plus, les chaleurs corporelles dégagées par les occupants, et le bétail jouent un rôle important dans le

processus de chauffage. Cependant, durant les mois de l'hiver glacial se rajoute l'utilisation de bois comme combustible pour apporter la chaleur suffisante à l'habitat.

*b. La ventilation naturelle :*

Dans un seul village en Kabylie, nous pouvons y trouver les trois processus de ventilation naturelle. Les plus répandus sont la ventilation naturelle traversante et la ventilation mono-exposée, en second plan vient la ventilation naturelle par cheminée.

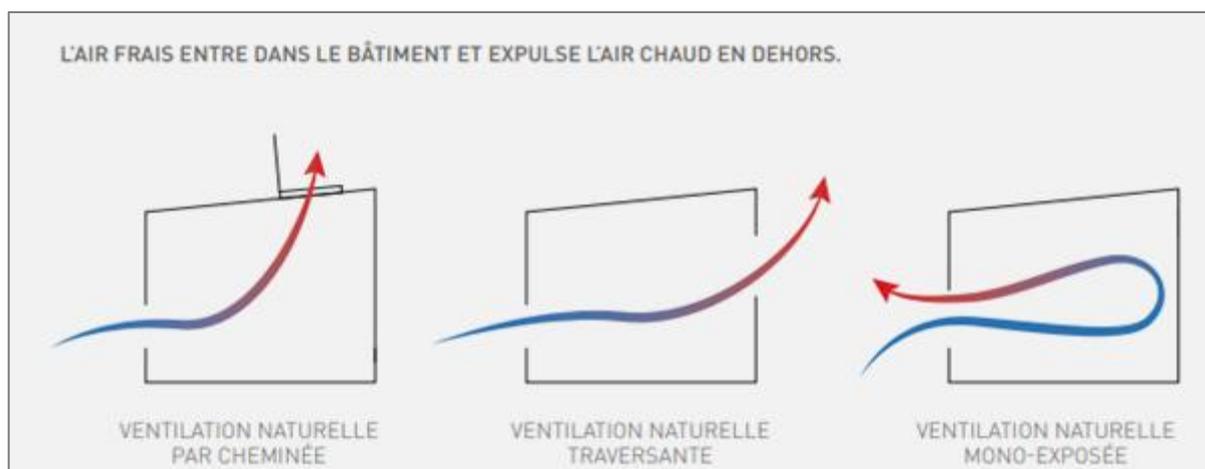


Figure 1.12 : les différents types de ventilation naturelle [18]

### 1.5. État de l'art :

Thème : Etude Thermique D'une Maison Traditionnelle Cas De Tizi-Ouzou

- Présenté par : **Sennoun Kahina**, en vue d'obtention du diplôme de master en énergies renouvelables, option : **habitat bioclimatique**, soutenue en **2018**, à l'université de Saad Dahleb, Blida 1.

La présente recherche s'intéresse à l'étude thermique d'une maison traditionnelle kabyle située au village Ihemziéne, à la commune de d'Iloula Oumalou.

Le but de cette recherche est de vérifier si les matériaux locaux de construction utilisés confèrent à la maison une performance thermique convenable.

Les résultats montrent que le comportement thermique de la maison en pierre est meilleur que celle en brique creuse avec un écart de température allant jusqu'à **5° C**.

Thème : **Analyse Des Besoins De Confort Thermique Par Conception Bioclimatique D'un Habitat Individuel - Cas Du Climat Méditerranéen -**

- Présenté par : **Helal Soraya**, en vue d'obtention du diplôme de Master, option : **Application des énergies renouvelables dans l'habitat**, soutenu en **juin 2015**, à l'université de Saad Dahleb, Blida 1.

La présente recherche s'intéresse au calcul des besoins de confort thermique d'une maison individuelle réalisée sur des concepts bioclimatiques situé à Tipaza en exploitant les paramètres de l'habitat en faisant un bilan thermique par simulation à l'aide du logiciel PLEIADES+COMFIE.

Le but est d'apporter des solutions aux exigences du confort thermique demandé et de réduire les besoins en chauffage et en rafraîchissement en utilisant les énergies renouvelables, et cela par un dimensionnement d'un système attribué à ce type d'habitat.

Les résultats de cette étude montrent une baisse significative des besoins énergétiques de **82,44 KWh/m<sup>2</sup>/an** à **49,82 kWh/m<sup>2</sup>/an**, après l'application d'un système actif (le puits canadien), ce qui a permis de l'évaluer dans la classe A de l'étiquette énergétique.

Thème : **Le Confort Thermique Et L'efficacité Énergétique Dans Une Maison Construite En Matériau De Terre Bts (blocs En Terre Stabilisés)**

- Présenté par : **Kouidri Imane**, en vue d'obtention du diplôme de Master en architecture, option : **Architecture bioclimatique**, soutenue en **2017**, à l'université de Saad Dahleb, Blida 1.

Ce travail consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux de terre en utilisant les blocs de terre stabilisés comme matériau de construction de l'enveloppe extérieure.

Les résultats de cette recherche montrent que l'utilisation du mur en BTS dans l'enveloppe extérieure de la maison étudiée sous les différents étages bioclimatiques des villes proposées d'Algérie nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à **45%** en adoptant le bloc en terre stabilisé de **40 cm** d'épaisseur sur le niveau national au lieu de la brique creuse.

Thème : **Evaluation thermique et énergétique d'un échantillon de l'habitat traditionnel de la Casbah**

- Présenté par : **Ghezal Mohamed Amine & Yamnaine Rédha**, en vue d'obtention du diplôme de master en énergies renouvelables, option : **habitat bioclimatique**, soutenue en **2020**, à l'université de Saad Dahleb, Blida 1.

Ce travail consiste à évaluer l'efficacité et la conformité énergétique d'une maison traditionnelle située dans le quartier de la casbah.

La thématique sur laquelle est basée cette recherche a eu pour objectif l'évaluation d'un échantillon de la casbah et particulièrement l'étude de l'impact de l'intégration du patio sur l'évolution des températures et la consommation énergétique ainsi que l'intégration du système photovoltaïque afin de diminuer la consommation électrique des appareils domestiques.

Les résultats obtenus ont montré que le patio est un élément qui peut créer un micro climat durant la période estivale et permet de réduire jusqu'à **34%** des besoins en climatisation, mais peut être un élément qui contribue à baisser la température durant la période hivernale par conséquent augmenter les besoins jusqu'à **41.5%**.

### ***1.6. Conclusion :***

Dans ce premier chapitre, nous avons fait une étude bibliographique, et un aperçu sur les travaux antérieurs similaire a notre thématique de recherche ce qui nous a permis de tirer les recommandations nécessaires pour notre présente recherche.

# Chapitre 2 :

*Cas d'étude*

---

*Chapitre 2 :*

*Cas d'étude*

### ***2.1. Introduction :***

L'Algérie est formée par plusieurs microclimats abritant divers écosystèmes. De la méditerranée au nord, du désert au sud, une pluralité de contextes naturels fragiles auxquels les populations tendent de s'acclimater [17].

Nous nous focaliserons dans ce deuxième chapitre sur notre cas d'étude. La première section de ce chapitre sera donc dédiée à la description de la région étudiée. La seconde partie sera résolument tournée vers la présentation du cas d'étude, tandis que la troisième sera sur l'étude expérimentale.

### ***2.2. Présentation de la région étudiée :***

#### ***2.2.1. Situation géographique de Tizi-Ouzou :***

Tizi-Ouzou est une ville d'Algérie située en Kabylie, à 100 km d'Alger la capitale, et à 30 km des côtes méditerranéennes. Son nom vient du kabyle Tizi Uzzu qui signifie le col des genêts. Elle cumule à une altitude de 200 m au-dessus du niveau de la mer avec une latitude de 36° 43' 00" nord et une longitude de 4° 03' 00" est.

La région de Tizi-Ouzou possède un climat méditerranéen qui est un type de climat tempéré. La partie du littoral et les communes des alentours possèdent un climat pluvieux et doux en hivers, sec et chaud en été. D'une autre part, le climat des zones de montagnes quant à lui, est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver pluvieux et froid, où la température atteint parfois les 0° C et moins (souvent accompagnées par des chutes de neige).

#### ***2.2.2. Classification thermique des communes de la région de Tizi-Ouzou :***

Selon le document technique réglementaire (D.T.R C 3-2) la wilaya de Tizi-Ouzou possède deux zones climatiques, la zone A qui comprend le rivage de la mer et parfois le

versant Nord des chaînes côtières et la zone B qui comprend à elle aussi la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre chaînes côtières et l'atlas tellien [19].

Tableau 2.1 : Classification thermique des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou [19].

Wilaya	Communes	zone
15 Tizi-Ouzou	Gourpes de Communes 1 : Aghrib-Ait Chaffa-Akerrou-A zzefoun-Ifllissen-Mizrana-Tig zirt-Zekri	A
	Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1	B

### 2.3. Présentation du cas d'étude :

#### 2.3.1. Présentation du site :

Le village de Boumansour se situe sur le territoire historique de la confédération (arc) des Ait Flik. Il se trouve à environ huit kilomètre au nord-est du chef-lieu de la commune de Yakourene. Il est situé à 56.97 km à l'est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou et à 18,55 Km à l'est de son chef-lieu de daïra Azazga [20].

L'implantation même du village est en soi une innovation. La montagne sur laquelle il s'établie crée un obstacle naturel contre les vents froids du nord et expose les maisons en plein sud. De ce fait, elle optimise l'ensoleillement des maisons tout au long de l'année et contribue à la bonne ventilation des espaces d'habitations.

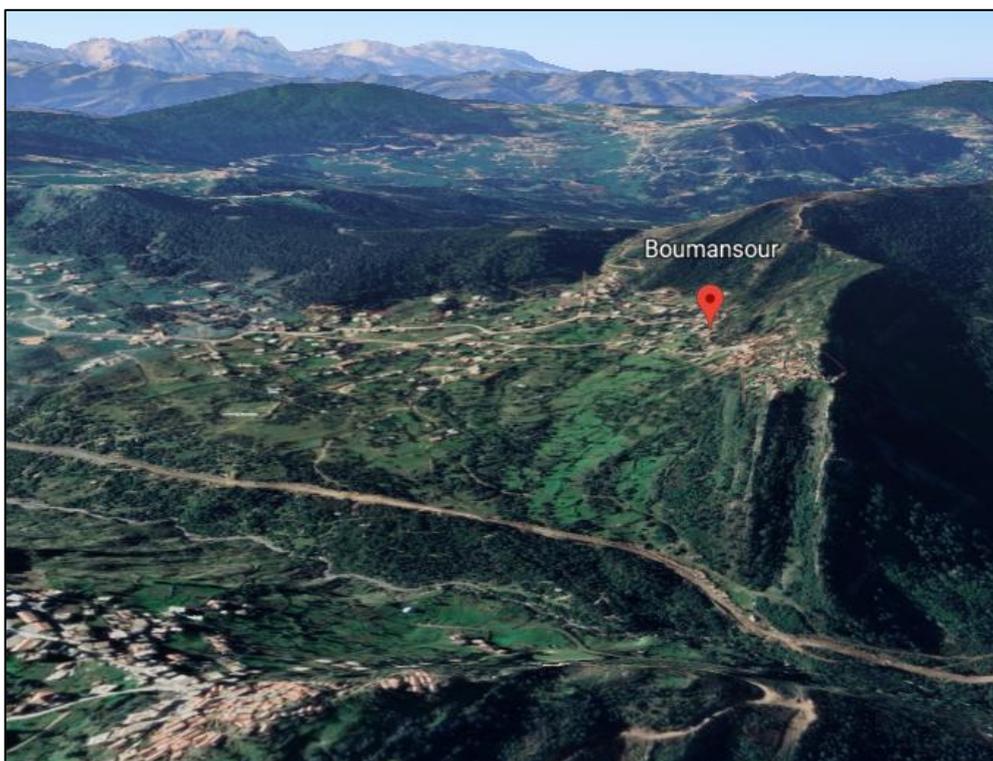


Figure 2.1 : Vu en 3D du village de Boumansour [21].

### 2.3.2. Contexte climatique :

#### 2.3.2.1. Températures et précipitations moyennes :

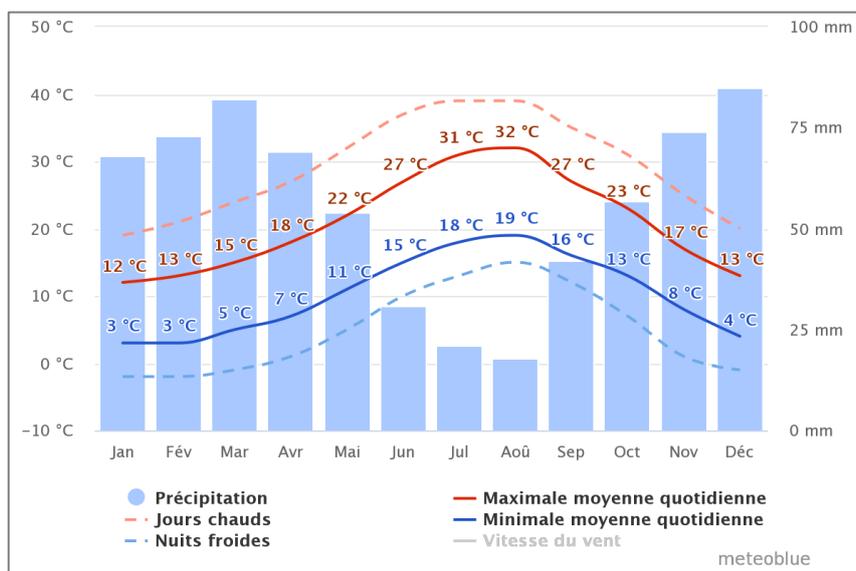


Figure 2.2 : Températures et précipitations moyennes de la région de Boumansour [22].

À partir de la figure précédente, la ligne rouge continue montre la température maximale moyenne d'un jour pour chaque mois à Boumansour. De même, la ligne bleue

continue montre la moyenne de la température minimale. Tandis que les lignes bleu et rouge en pointillés montrent la moyenne de la journée la plus chaude et la nuit la plus froide de chaque mois des 30 dernières années.

### 2.3.2.2. Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations :

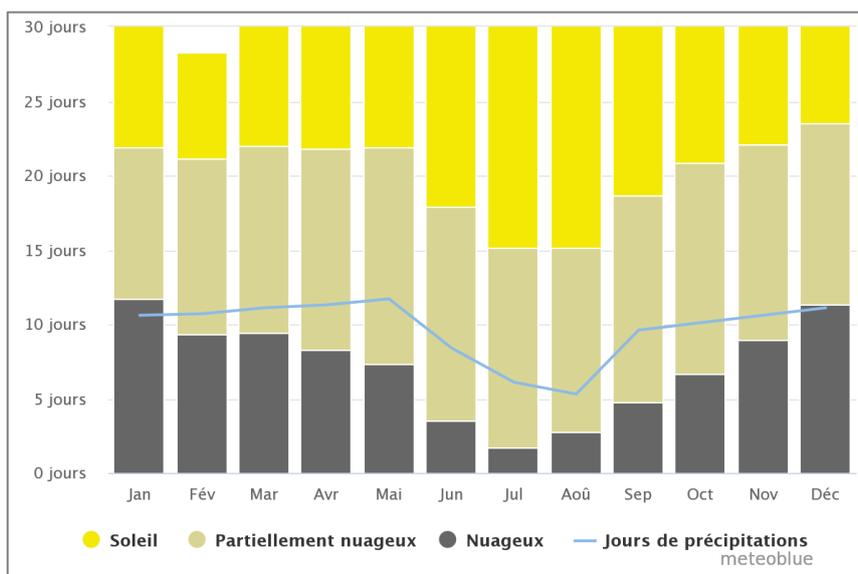


Figure 2.3 : Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations de la région de Boumansour [22].

La figure ci-dessus nous montre le nombre de jours : d'ensoleillement, de ciel partiellement nuageux, de ciel nuageux et de précipitations pour chaque mois.

### 2.3.2.3. Températures maximales :

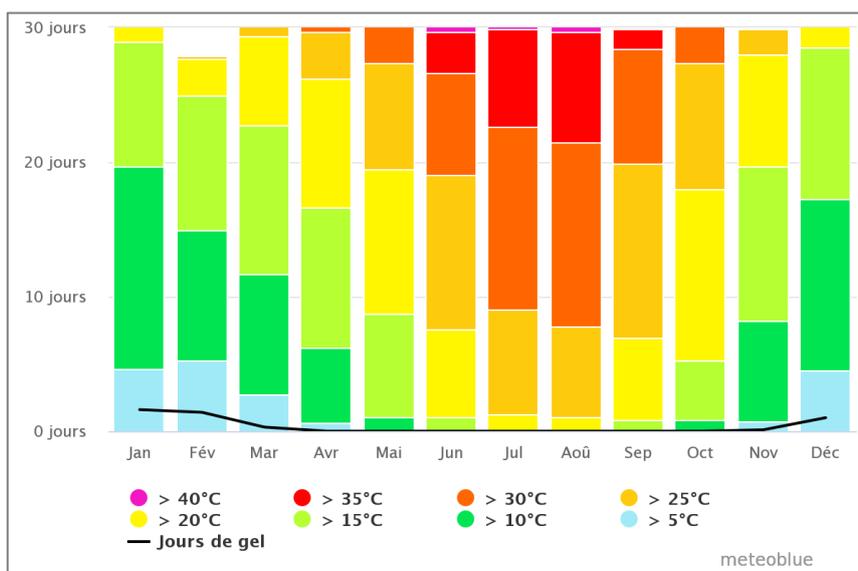


Figure 2.4 : Températures maximales de la région de Boumansour [22].

Le diagramme en bâtons empilés précédent montre le nombre de jours par mois qui atteignent certaines températures à Boumansour.

### 2.3.2.4. Précipitations :

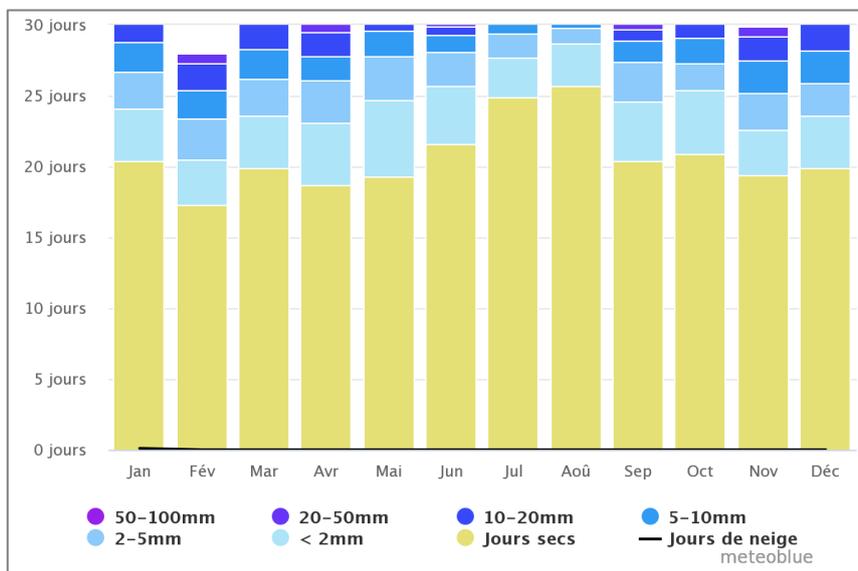


Figure 2.5 : Quantité de précipitations de la région de Boumansour [22].

Le diagramme de la figure 2.5 indique le nombre de jours par mois, qu'une certaine quantité de précipitations est atteinte à Boumansour.

### 2.3.2.5. Vitesse du vent :

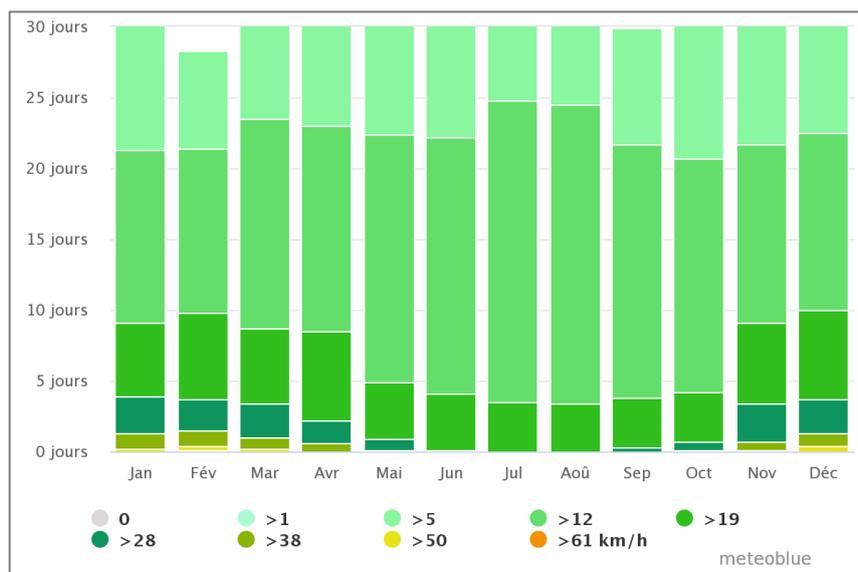
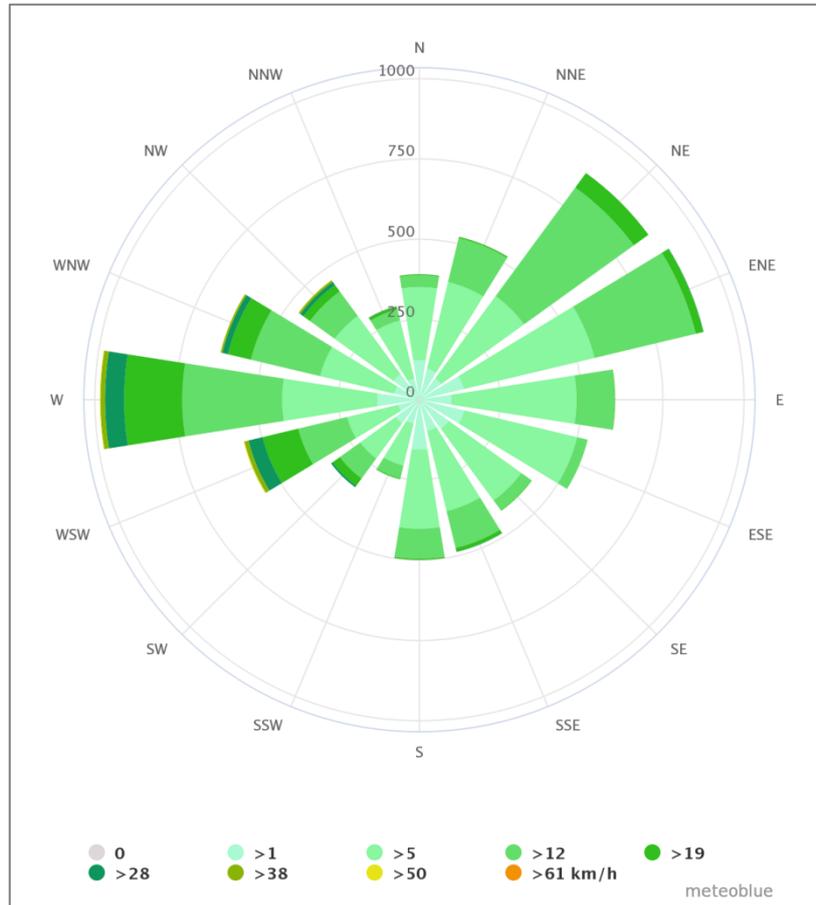


Figure 2.6 : Vitesse du vent de la région de Boumansour [22].

La figure précédente montre les jours par mois, durant lesquels le vent atteint une certaine vitesse à Boumansour.

### 2.3.2.6. Rose des vents :



La figure 2.7 qui représente la rose des vents pour Boumansour, montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée.

### 2.3.3. Description de la maison kabyle traditionnelle étudiée :

L'habitat traditionnel étudié se situe dans l'ancien village de Boumansour à une altitude de 636 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette maison a été construite en 1920 et rénovée en 2018 dans le cadre de la réhabilitation des anciennes maisons kabyles, pour redonner vie à ses bâtisses et pour attirer les visiteurs, afin de rendre ce village une destination touristique.

#### 2.3.3.1. Plan de la maison kabyle :

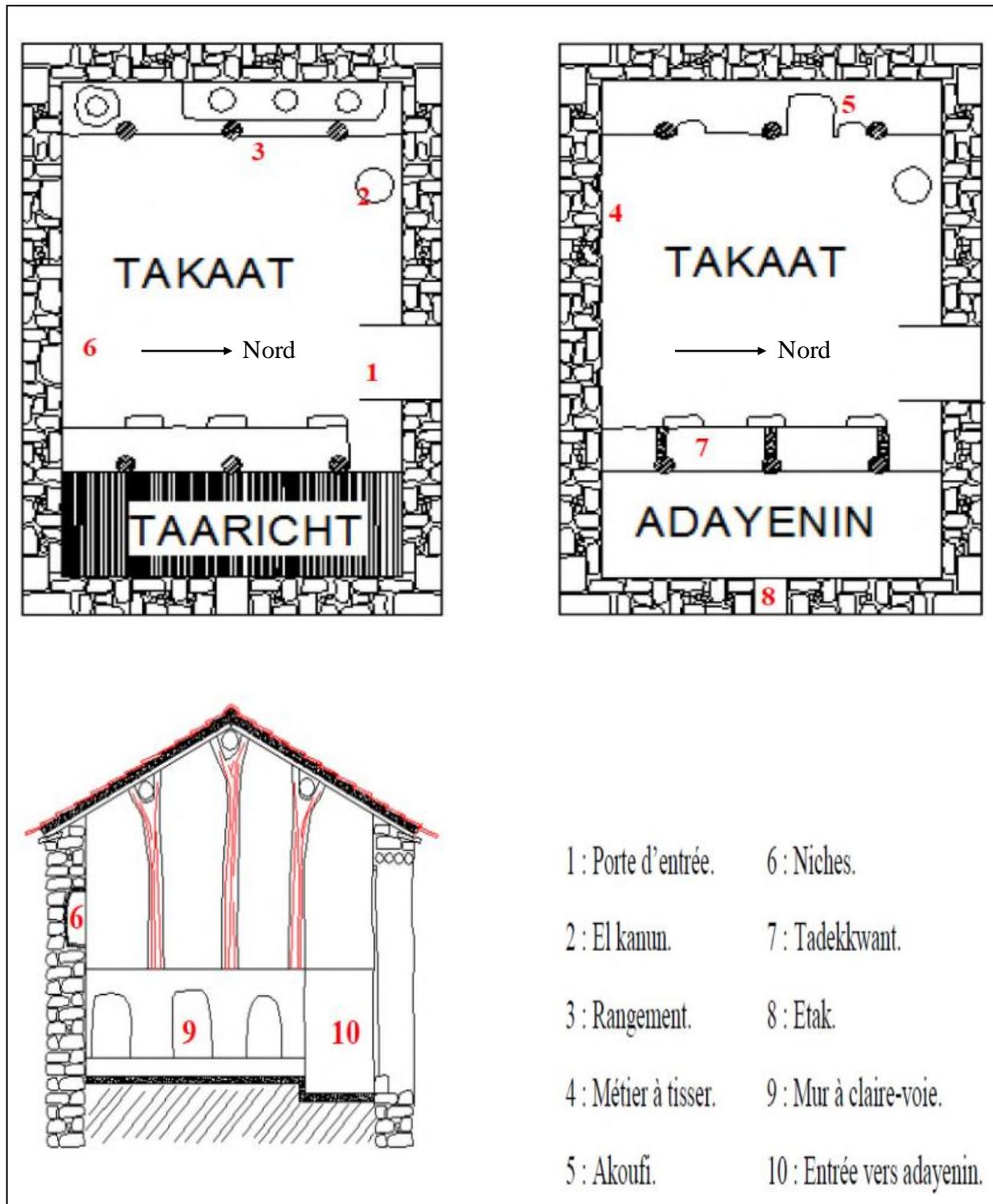


Figure 2.8 : Plans et coupes de la maison kabyle [23].

Les coupes ci-dessous sont réalisées avec le logiciel SketchUp Pro (version : 2022) de modélisation 3D, d'animation et de cartographie orienté vers l'architecture.

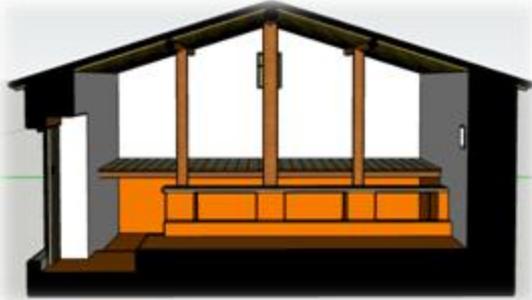


Figure 2.9 : Coupe vue de droite ©.



Figure 2.10 : Coupe vue de gauche ©.



Figure 2.11 : Coupe vue de derrière ©.

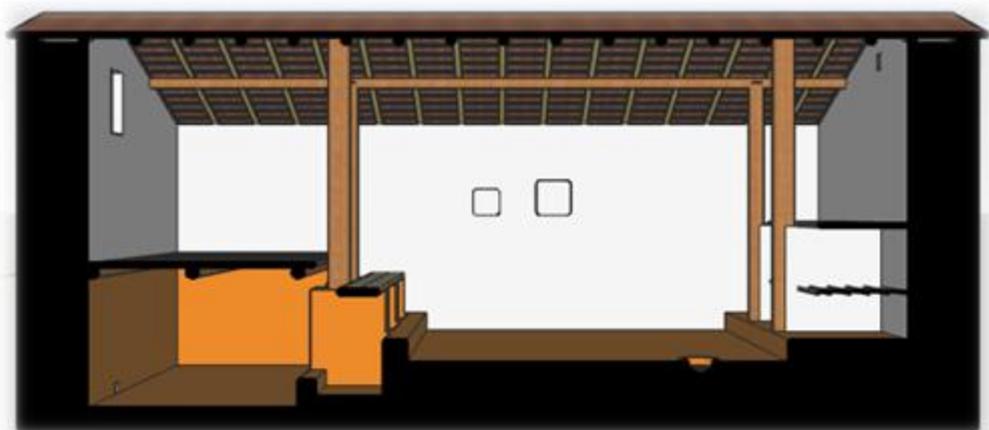
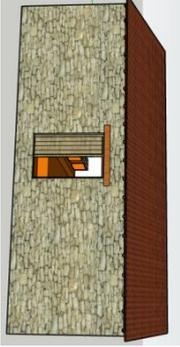
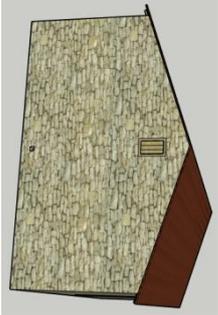


Figure 2.12 : Coupe vue de face ©.

### 2.3.3.2. Orientations des Façades de la maison :

Tableau 2.2 : Orientation des façades de la maison.

Façade	 <p>Figure 2.13 : Vu de face ©.</p>	 <p>Figure 2.14 : Vu de gauche ©.</p>	 <p>Figure 2.15 : Vu de Derrière ©.</p>	 <p>Figure 2.16 : Vu de droite ©.</p>
Orientation	Nord	Est	Sud	Ouest
Dimension de la façade	Longueur du mur extérieur : 840 (Cm) Longueur du mur intérieur : 720 (Cm) Epaisseur du mur : 60 (Cm)	Longueur du mur extérieur : 630 (Cm) Longueur du mur intérieur : 510 (Cm) Epaisseur du mur : 60 (Cm)	La même dimension que celle de la façade Nord.	La même dimension que celle de la façade Est.
Ouverture (es)	La façade Nord contient une seule ouverture qui est celle de la porte d'entrée.	La façade Sud (mur aveugle) ne contient aucune ouverture.	La façade Est contient deux ouvertures : une fenêtre et une sortie [Tazulikht]	La façade Ouest contient une seule ouverture qui laisse échappée les fumées de Lekanoun
Dimension de/des ouvertures (es)	P : 190 (cm)*115 (cm)	/	F : 60 (cm)*40(cm) T : 10(cm)*10(cm)	Taq u dhekan : 15(cm)*10(cm)

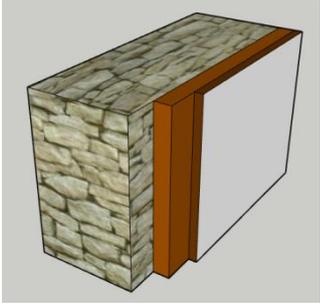
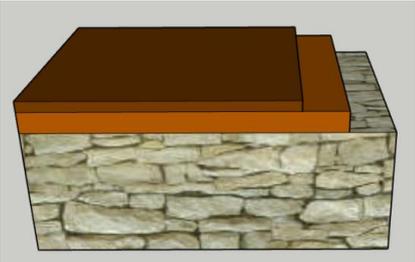
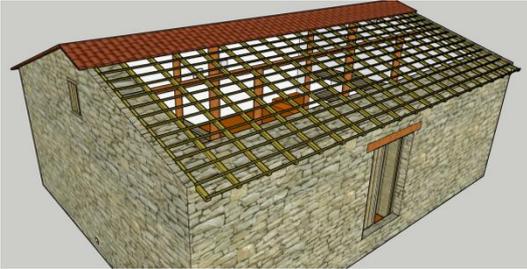
### 2.3.3.3. Configuration spatiale de la maison :

Tableau 2.3 : Configuration spatiale des espaces intérieurs de la maison étudiée.

Espace	Orientation	Surface (m <sup>2</sup> )	Fonction(s)	Forme
Addaynin	Nord-Sud	9,435	Abris pour animaux.	 <p>Figure 2.17 : Vu sur addaynin ©.</p>
Taàricht	Nord-Sud	10,2	Elle fait office de chambre parentale et de stockage d'aliments.	 <p>Figure 2.18 : Vu sur Taaricht ©.</p>
Taqaât	Sud	12,9	Taqaât est un espace multifonctionnel, on peut y cuisiner, manger, dormir, faire le tissage, etc....	 <p>Figure 2.19 : Vu sur taqaat ©.</p>

**2.3.3.4. Les matériaux de construction qui composent les enveloppes de la maison :**

Tableau 2.4 : Les matériaux de construction qui composent les enveloppes de la maison.

Enveloppe	Matériaux	Images
Mur	Pierre Mortier (liant) Revêtement 1 Revêtement 2 Revêtement 3	 <p>Figure 2.20 : La composition de l'enveloppe murale ©.</p>
Plancher bas	Pierre Mortier (liant) Revêtement 1 Revêtement 2	 <p>Figure 2.21 : La composition de l'enveloppe du plancher bas ©.</p>
Toiture	Tuile à emboitement Linteaux Chevrons	 <p>Figure 2.22 : La composition de la toiture ©.</p>

Mortier (liant) : Argile + eau

Revêtement 1 : terre argileuse (idheqi) + Paille + Bouse de vache + eau

Revêtement 2 : Terre rouge + Bouse de vache + eau

Revêtement 3 : Argile blanche (en kabyle : tumlilt) + eau

## **2.4. Etude expérimentale :**

### **2.4.1. Caractérisation des propriétés thermo physiques des matériaux :**

#### **2.4.1.1. Appareil de mesure :**

Le CT-Mètre est un appareil de contrôle thermique non destructif, il a été élaboré dans le but d'évaluer avec précision, les paramètres thermiques d'un certain nombre de matériaux, et de contrôler la production des matériaux isotropes et homogènes par prélèvements [24].

#### **2.4.1.2. Principe de fonctionnement :**

Le CT-Mètre fonctionne selon le principe du fil chaud. Il consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée [25].

#### **2.4.1.3. Préparation des éprouvettes :**

##### **2.4.1.3.1. Instruments utilisés :**

- Deux coffrages en bois d'une dimension de 15 cm de longueur, 10 cm de largeur et 4 cm de hauteur.
- Un tamis en bois.
- Des seaux.
- Papier de verre abrasif.
- CT Mètre.
- Carte Arduino Uno, deux capteurs de température et d'humidité, Carte mémoire.
- Batterie externe pour alimenter la carte Arduino Uno.

##### **2.4.1.3.2. Revêtement 1 :**

Pour la confection de la première couche de revêtement, nous avons mis la terre argileuse (idheqi) dans l'eau pour faciliter le procédé du modelage. Nous l'avons extraite dans une carrière située près d'une source d'eau naturelle au sein du village.

Le foin (alim), nous l'avons coupé en fonction des dimensions des deux coffrages en bois (des petits bouts entre 1.5 cm et 2.5 cm), puis nous avons mis le tout dans de l'eau, pour que la terre s'adhère parfaitement avec les bouts de foin, au préalable cela doit être fait 24h avant le premier pétrissage.



Figure 2.23 : Des petits bouts de paille immergé dans de l'eau ©.

Dans une ferme, nous avons ramassé de la bouse de vache que nous avons mise dans un sachet que nous avons immédiatement fermé pour éviter qu'elle se pétrifie (pourrisse), celle-ci doit être impérativement fraîche. Cependant, il faut veiller à se renseigner tout d'abord auprès de l'éleveur de bovins sur l'alimentation de son bétail.

Après que la terre argileuse soit devenue modulable, nous l'avons retiré de l'eau et procédé au premier pétrissage, ensuite nous avons ajouté de l'eau et laissé reposer la pâte obtenue durant une heure complète.



Figure 2.24 : Pétrissage de la terre argileuse ©.

Au second pétrissage, nous avons ajouté un peu d'eau et une quantité de bouse de vache, après quelques minutes de malaxage nous avons obtenu une pâte homogène.



Figure 2.25 : Ajout de bouse de vache durant le second pétrissage ©.

Au dernier pétrissage, nous avons ajouté de l'eau et les bouts de foin (alim). Une fois que nous avons obtenu une pâte adhérente, la dernière partie consiste à remplir les coffrages qui ont été fait. Vingt quatre heures, plus tard, s'est suivi le décoffrage, en laissant les deux éprouvettes sécher à l'ombre durant deux semaines.



Figure 2.26 : Séchage des éprouvettes du revêtement 1 à l'air libre ©.

#### **2.4.1.3.3. Revêtement 2 :**

La terre rouge récoltée au village contient des cailloux (taffeza) de différentes dimensions, à l'aide d'un tamis en bois nous avons obtenu une terre pure. Les cailloux quant à eux sont broyés plusieurs fois puis tamisés pour obtenir du sable fin.



Figure 2.27 : Récolte de la terre rouge ©.



Figure 2.28 : Les cailloux (taffeza) trouvés dans la terre rouge ©.

Nous avons mis la terre rouge tamisée dans un seau, puis nous avons rajouté de l'eau et nous avons modelé le mélange jusqu'à l'obtention d'une pâte, après nous avons ajouté la bouse de vache et de l'eau une seconde fois, nous avons pétri le mélange deux fois de suite pour obtenir une pâte facile à travailler. Se suit l'étape de remplissage, puis celle du décoffrage après vingt-quatre heures. Nous avons laissé les deux éprouvettes sécher à l'ombre pendant une semaine.



Figure 2.29 : Séchage des éprouvettes du revêtement 2 à l'air libre ©.

#### 2.4.1.3.4. Revêtement 3 :

La dernière couche de revêtement est une peinture blanche autrement dit ; l'argile blanche (Tumlilt) mélangé à de l'eau, en kabyle cette étape est communément connue sous le nom de Afegedh qui veut dire moucheté.



Figure 2.30 : Carrière d'argile blanche (tumlilt) ©.



Figure 2.31 : Argile blanche (tumlilt) peint sur un échantillon de revêtement ©.

#### 2.4.1.3.5. Mortier (liant) :

En kabyle le mortier est connu sous le nom de tikhmirt, ce dernier est composé d'argile mélangée à de l'eau.



Figure 2.32 : Argile ©.

Avant le premier pétrissage, nous avons mis l'argile récoltée dans un seau rempli d'eau, après que vingt-quatre heures se sont écoulées, nous avons pétri l'argile 3 fois de suite en lui incorporant de l'eau durant chaque pétrissage pour avoir une pâte homogène et pour faciliter l'étape de remplissage des coffrages.



Figure 2.33 : Argile immergée dans de l'eau durant 24 heures ©.

Deux jours plus tard, nous avons procédé au décoffrage, puis nous avons séché les deux éprouvettes à l'ombre.



Figure 2.34 : Séchage des éprouvettes de mortier à l'air libre ©.

#### **2.4.1.3.6. La pierre :**

La pierre choisie a été taillée au village de Tizi-tghidhet, ce dernier est à 4,1 km du village de Boumansour.



Figure 2.35 : La pierre à l'état brut ©.



Figure 2.36 : La taille de la pierre à Tizi-Tghidhet ©.



Figure 2.37 : La pierre après la taille ©.

#### 2.4.1.3.7. Le bois :

Étant donné le refus du propriétaire de prélever des échantillons du bois chêne zen utilisé dans la maison, ce dernier nous a tout de même recommandé de descendre aux abords de la rivière qui se situe en bas du village afin de récupérer des échantillons d'arbres chêne zen.

Les morceaux de bois trouvés à la forêt dite Boukhroufe ont été taillés dans une menuiserie.



Figure 2.38 : Tronc de bois chêne zen ©.



Figure 2.39 : Tronc de bois chêne zen après la coupe ©.

#### 2.4.1.3.8. La tuile :

Nous y trouvons deux types de tuiles, la tuile en terre cuite (tuile romaine) et la tuile à emboîtement.



Figure 2.40 : Tuiles romaine ©.



Figure 2.41 : Tuiles à emboîtement ©.

#### 2.4.1.3.9. Séchage accéléré et pansage :

Nous disposions d'un court délai de séchage des éprouvettes, ces dernières ont été mises dans une étuve au sein du CNERIB pour accélérer le processus d'assèchement. De plus, les éprouvettes ont été ponçées en utilisant du papier de verre abrasif pour obtenir des surfaces lisses.



Figure 2.42 : Séchage des éprouvettes dans une étuve ©.

#### 2.4.1.3.10. Résultats :

Conditions de l'essai : Température ambiante : 23.30° C.

Tableau 2.5 : Caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction.

Éprouvette	Conductivité thermique (W/m.k°)	Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spécifique (J/K.g.k°)
Pierre	0.15	258.4	950
Mortier (liant)	0.84	146	12437
Revêtement 1	1.041	100	21067
Revêtement 2	0.690	103	14926
Bois	0.298	315	3278
Tuiles romaines	0.671	1900	936

### 2.4.2. Mesure de l'humidité et de la température de l'air :

Les mesures de l'humidité et de la température sont effectuées à l'aide d'une carte Arduino Uno programmé pour fonctionner comme un thermo-hygromètre. Ce dernier terme fait référence à un matériel électronique mesurant à la fois la température (généralement en °C) et l'humidité relative (en % du seuil de saturation).

#### 2.4.2.1. Mesure de l'humidité relative de l'air :

- Le 13 juin 2022 :

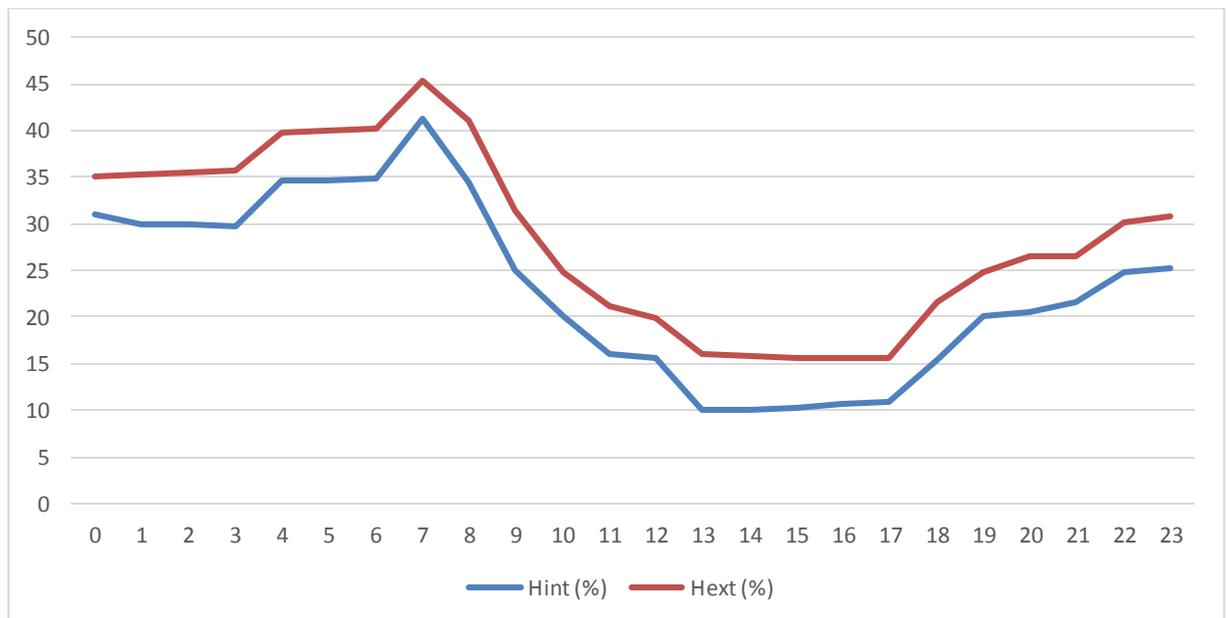


Figure 2.43 : La variation de l'humidité à l'intérieur et l'extérieur de la maison.

- **Interprétation :**

À partir de la figure ci-dessus, nous observons que la courbe d'humidité intérieure est inférieure à celle de l'extérieur sur tout le long de la période de mesure, elle varie de 10 % à 42%, tandis qu'à l'extérieur l'humidité varie de 15 % à 46 %.

#### 2.4.2.2. Mesure de la température de l'air :

- **Le 13 juin 2022 :**

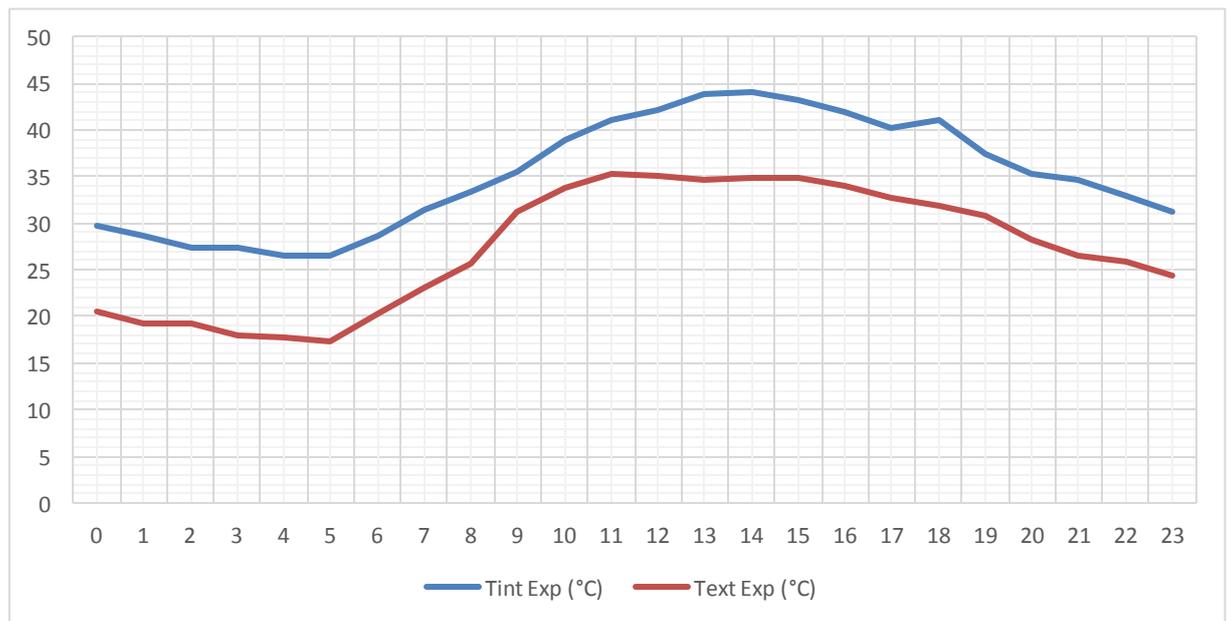


Figure 2.44 : La variation de la température à l'intérieur et l'extérieur de la maison.

- **Interprétation :**

À partir de la figure 2.44, nous remarquons que la courbe de température à l'intérieur de la maison progresse de la même manière que celle de l'extérieur avec des valeurs supérieures à cette dernière.

La température à l'intérieure varie entre 26° C et 44° C et à l'extérieur elle varie de 17° C à 35° c.

## 2.5. Conclusion :

L'étude expérimentale nous a permis d'évaluer notre cas d'étude et de définir les caractéristiques thermo physique des matériaux de constructions. Le chapitre suivant sera consacré à la modélisation thermique dynamique qui nous permettra d'évaluer notre cas d'étude à long terme.

# **Chapitre 3 :**

*Simulation thermique dynamique*

---

*Chapitre 3 :*  
*Simulation thermique dynamique*

### ***3.1. Introduction :***

La simulation numérique est devenue un élément indispensable dans les domaines des sciences et de l'ingénierie. Elle nous permet de comprendre et de modéliser le fonctionnement des systèmes réels. Dans ce troisième chapitre, nous calculerons les besoins thermiques de la maison kabyle traditionnelle étudiée, à l'aide d'une simulation thermique dynamique (std).

### ***3.2. Présentation du logiciel pléiades :***

Développé et diffusé par IZUBA énergies, Pléiades est un logiciel d'écoconception des bâtiments. Polyvalent, il réunit tous les outils pour l'évaluation de la performance énergétique et environnementale des bâtiments. Convivial et innovant, ce logiciel dispose d'une interface à l'ergonomie éprouvée pour une saisie rapide et facile qui s'enrichit régulièrement de fonctionnalités intégrant les dernières avancées de la recherche scientifique.

### ***3.3. Processus d'application de logiciel :***

#### ***3.3.1. Création de la station météo :***

Tout d'abord, nous nous sommes rendus sur le site [European Commission](#) pour télécharger le fichier météo de la région de Boumansour sous format epw. Après que le fichier est importé avec succès à l'aide de meteoalc. Via l'onglet « exporter » vers pléiades, nous avons attribué un nom à la station et nous l'avons ajouté à la liste des stations météo.

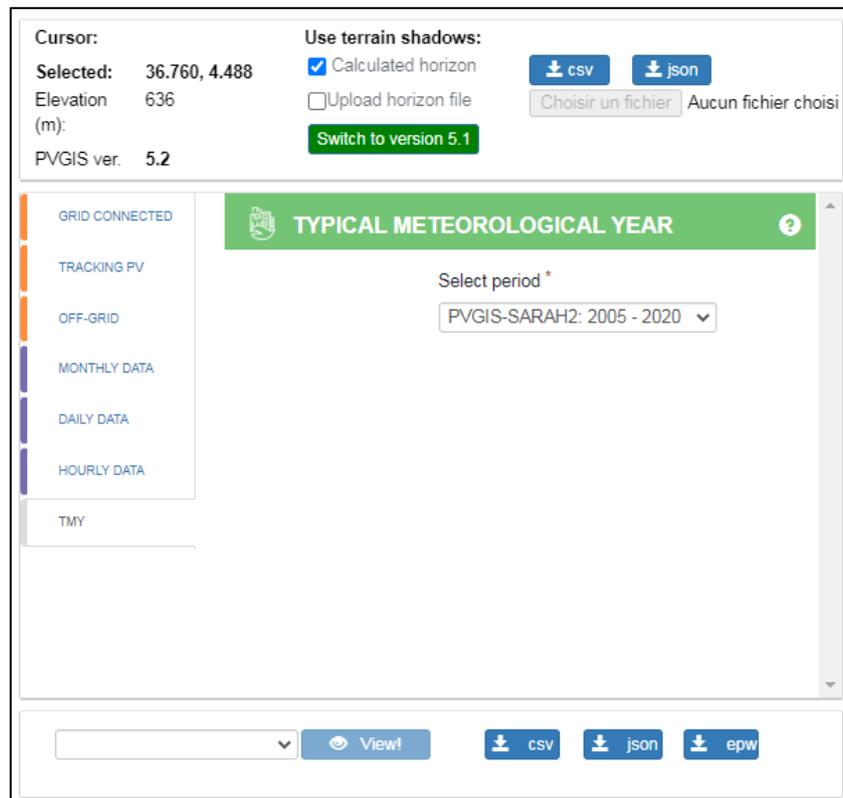


Figure 3.1 : Fichier météo de la région de Boumansour sous format epw [26].

### 3.3.2. Création des matériaux de construction :

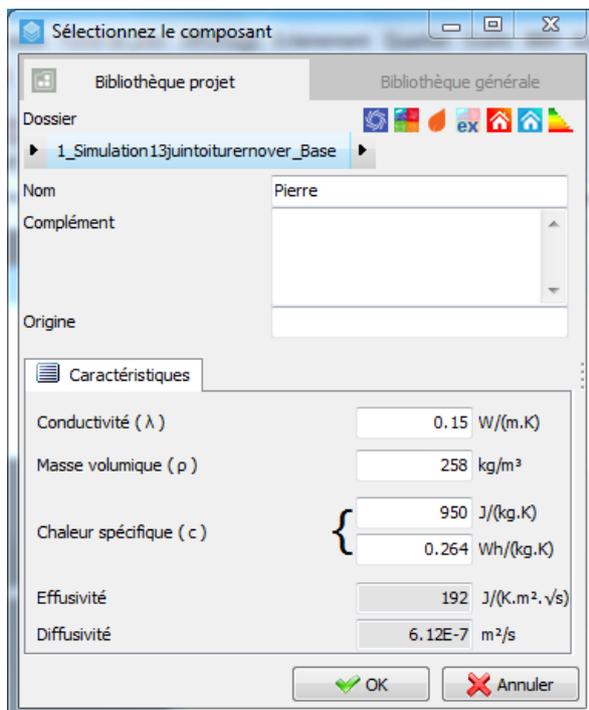


Figure 3.2 : Caractéristiques de la pierre.

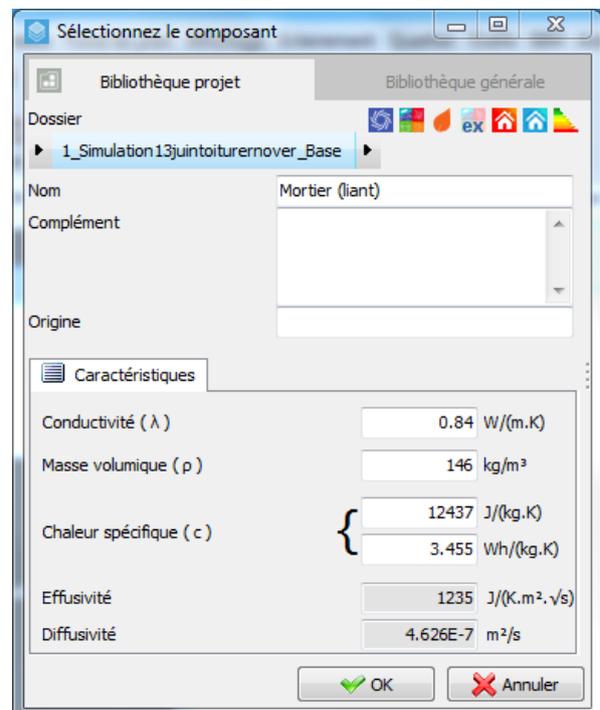


Figure 3.3 : Caractéristiques du mortier (liant).

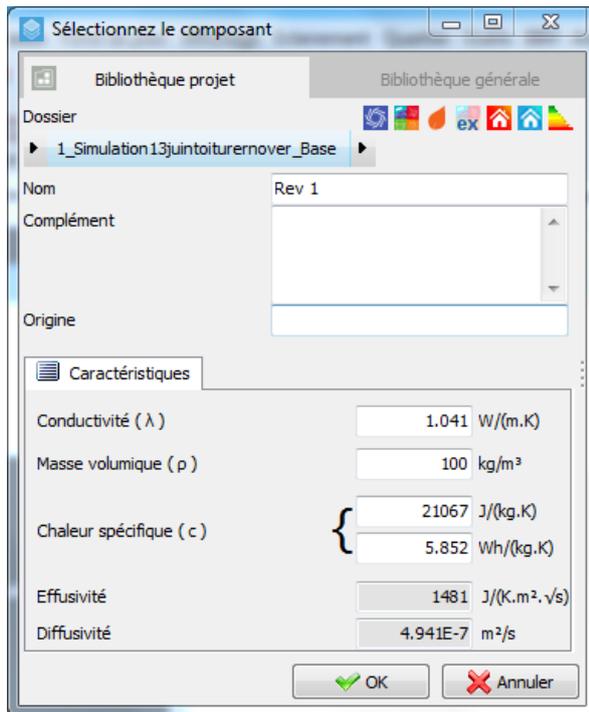


Figure 3.4 : Caractéristiques du revêtement 1 (Rev 1).

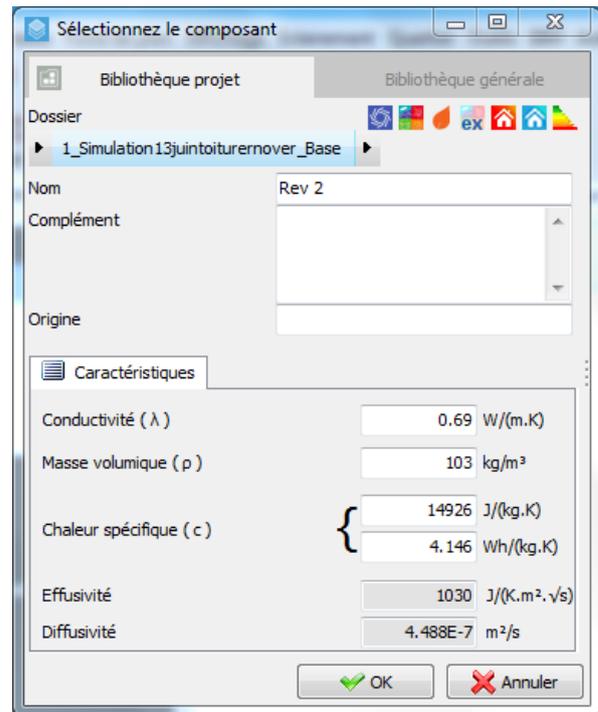


Figure 3.5 : Caractéristiques du revêtement 2 (Rev 2).

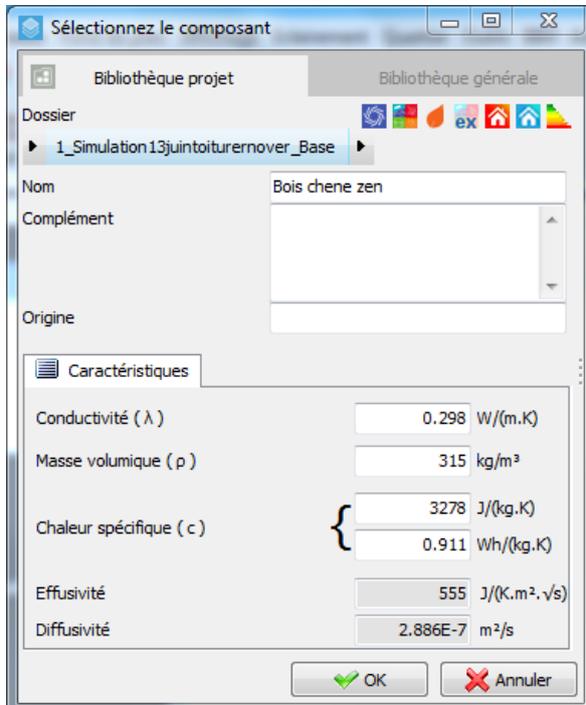


Figure 3.6 : Caractéristiques du bois chêne zen.

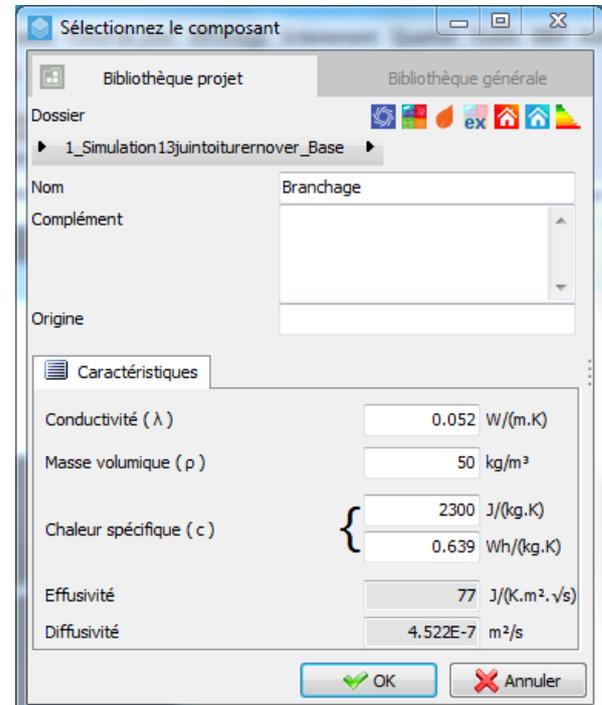


Figure 3.7 : Caractéristiques du branchage.

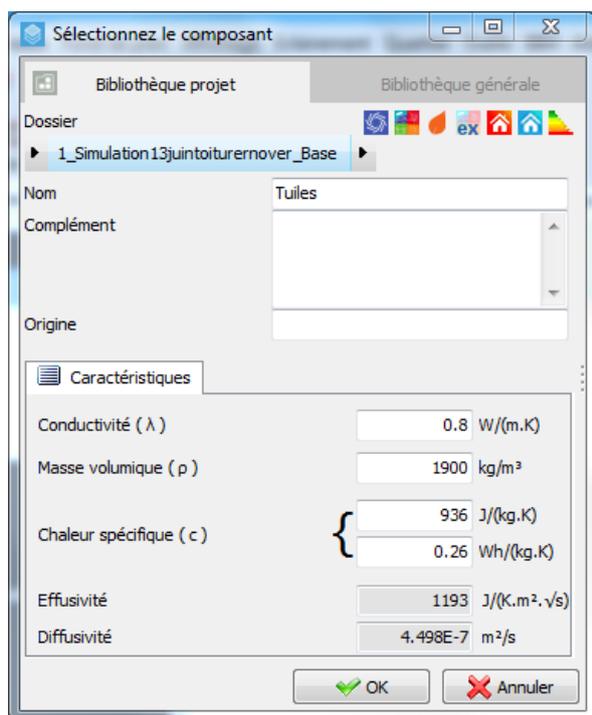


Figure 3.8 : Caractéristiques de la tuile à emboîtement.

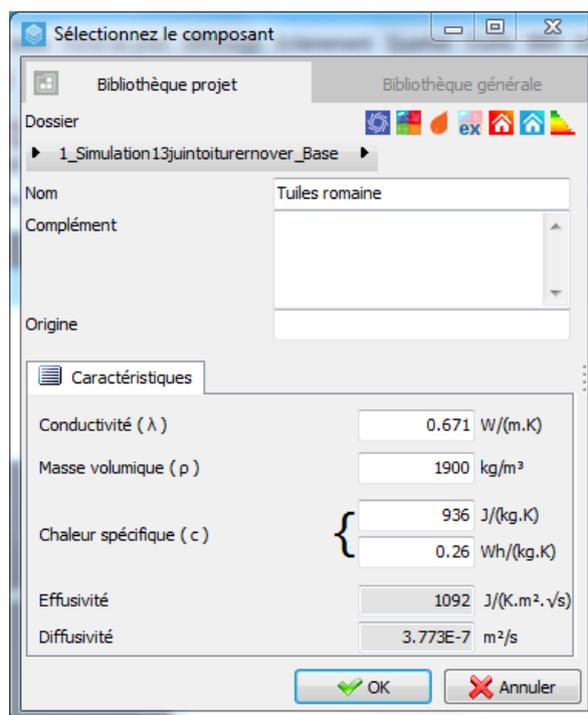


Figure 3.9 : Caractéristiques de la tuile romaine.

### 3.3.3. Création des éléments constructifs :

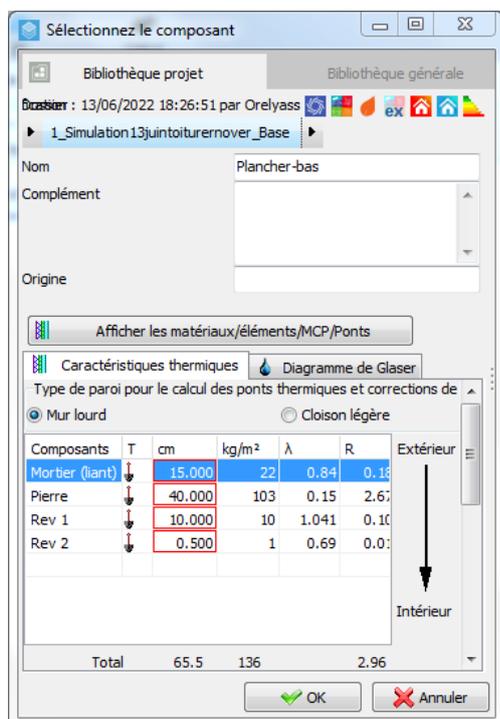


Figure 3.10 : La composition du plancher-bas.

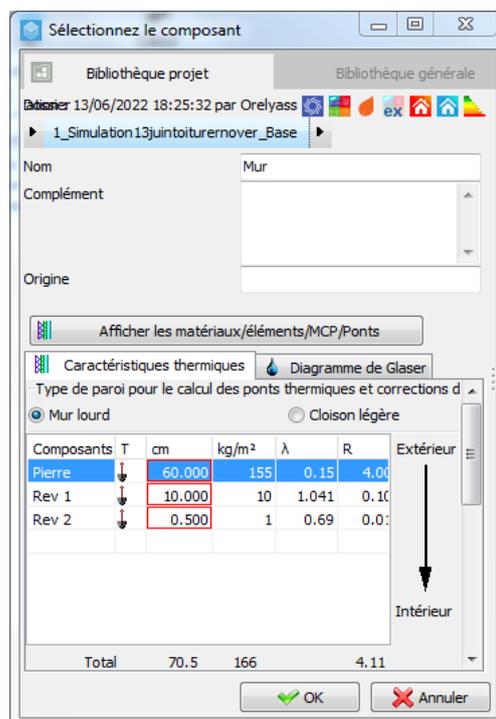


Figure 3.11 : La composition du mur.

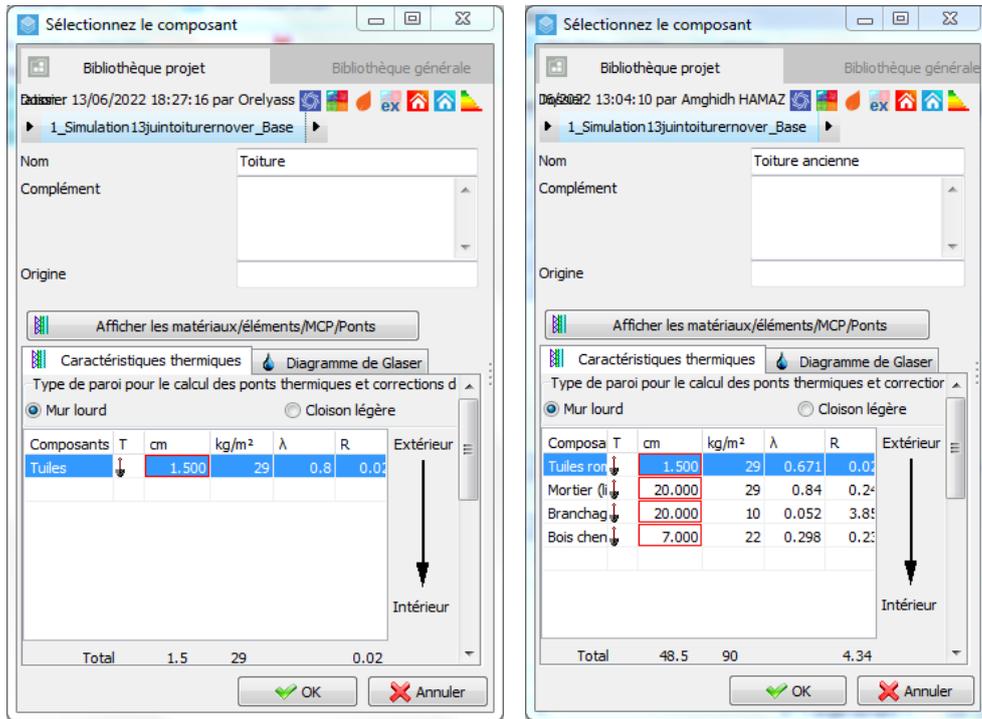


Figure 3.12 : La composition de la toiture rénovée et ancienne.

### 3.3.4. Création des menuiseries :

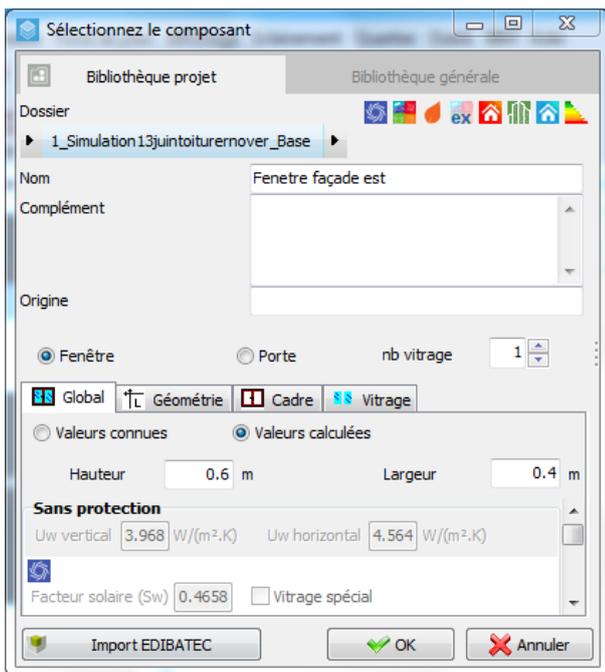


Figure 3.13 : Caractéristiques de la fenêtre façade est.

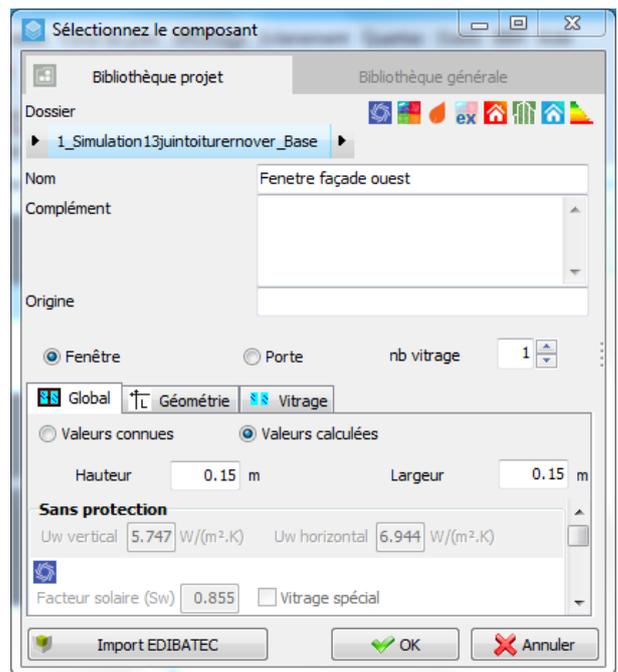


Figure 3.14 : Caractéristiques de la fenêtre façade ouest.

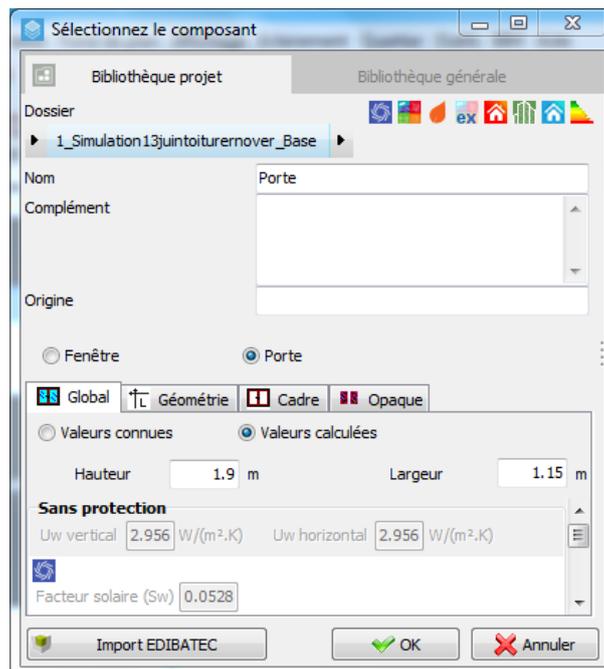


Figure 3.15 : Caractéristiques de la porte.

### 3.3.5. Définition des scénarios :

Dans le cadre de cette étude nous avons intégrés les scénarios de fonctionnement suivant : **scénario d'occupation**, **scénario de température**, **scénario de ventilation**, **scénario de puissance dissipée** et le **scénario d'occultation**.

#### 3.3.5.1. Scénario d'occupation :

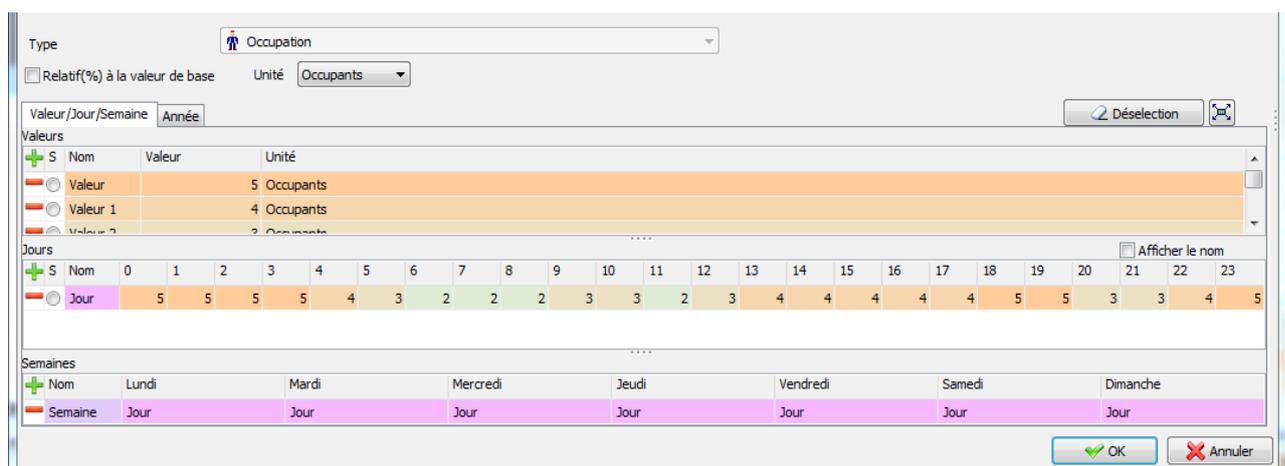


Figure 3.16 : Le scénario d'occupation durant la période estivale.

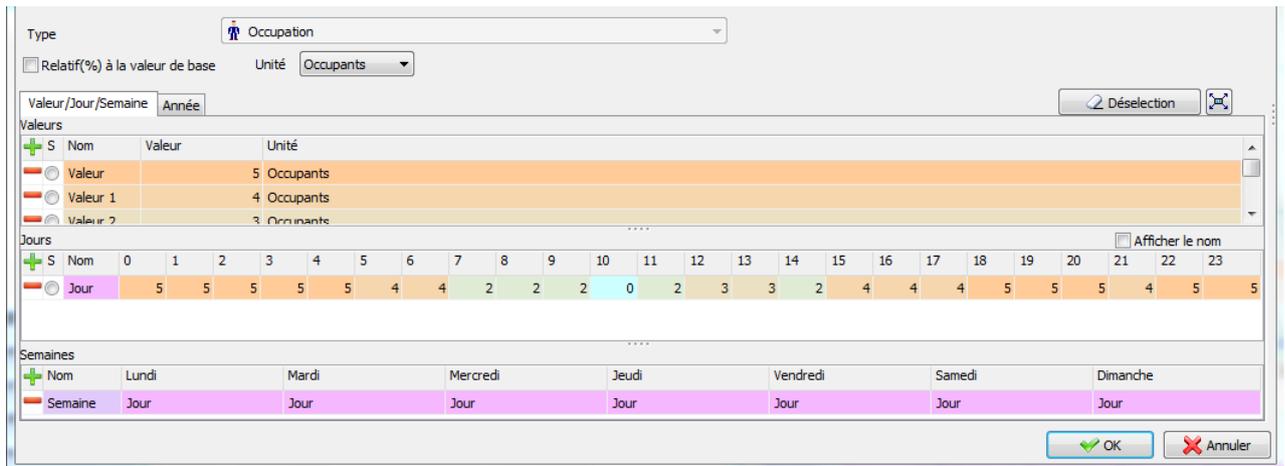


Figure 3.17 : Le scénario d'occupation durant la période hivernale.

### 3.3.5.2. Scénario de température :

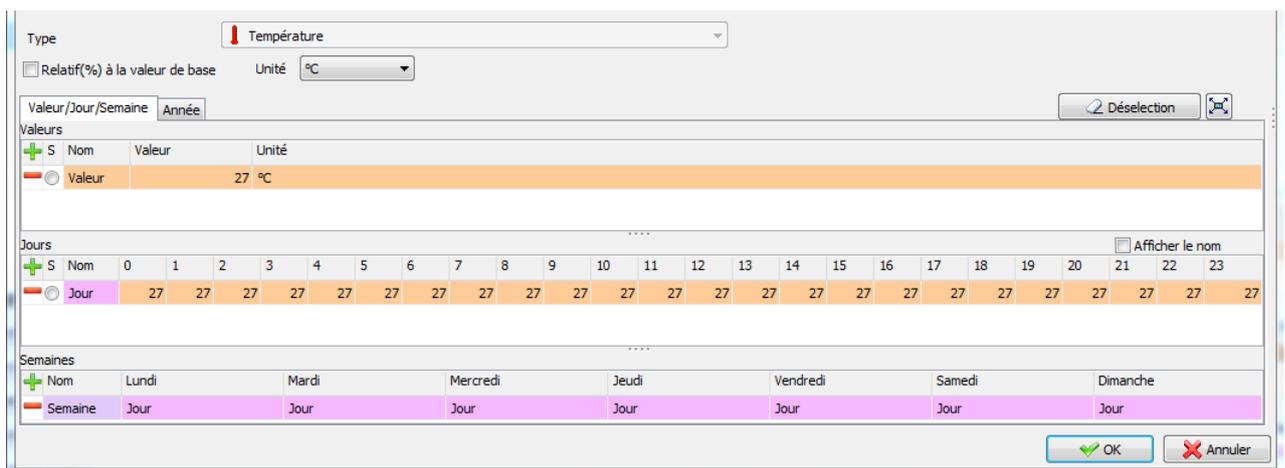


Figure 3.18 : Le scénario de consigne de rafraîchissement durant la période estivale.

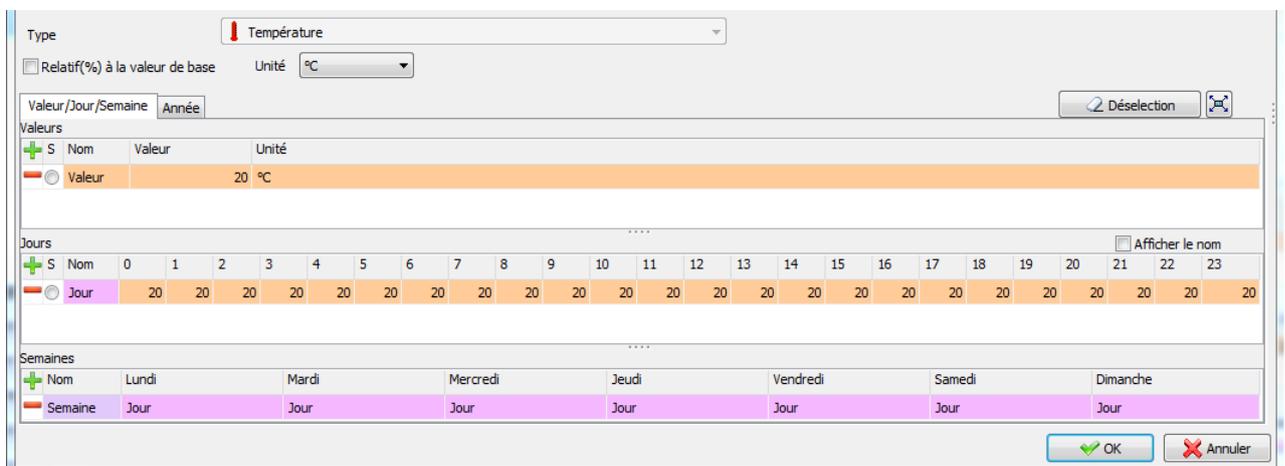


Figure 3.19 : Le scénario de consigne de chauffage durant la période hivernale.

### 3.3.5.3. Scénario de Ventilation :

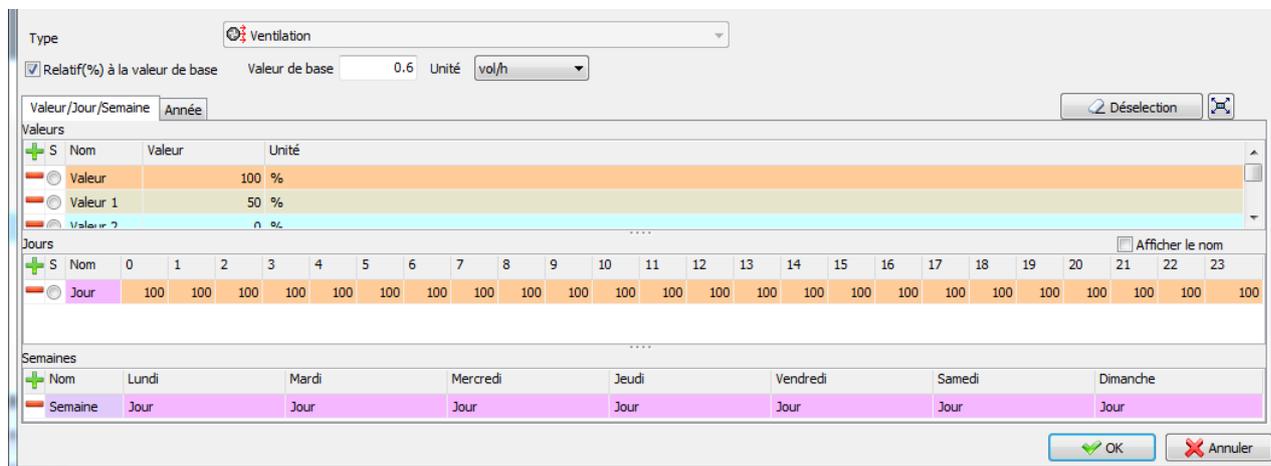


Figure 3.20 : Le scénario de ventilation durant la période estivale.

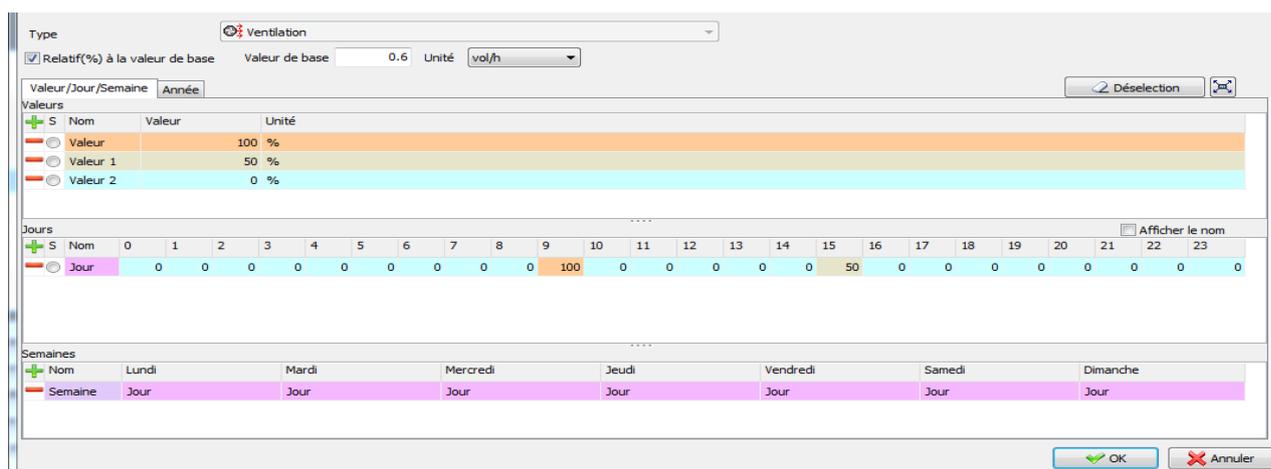


Figure 3.21 : Le scénario de ventilation durant la période hivernale.

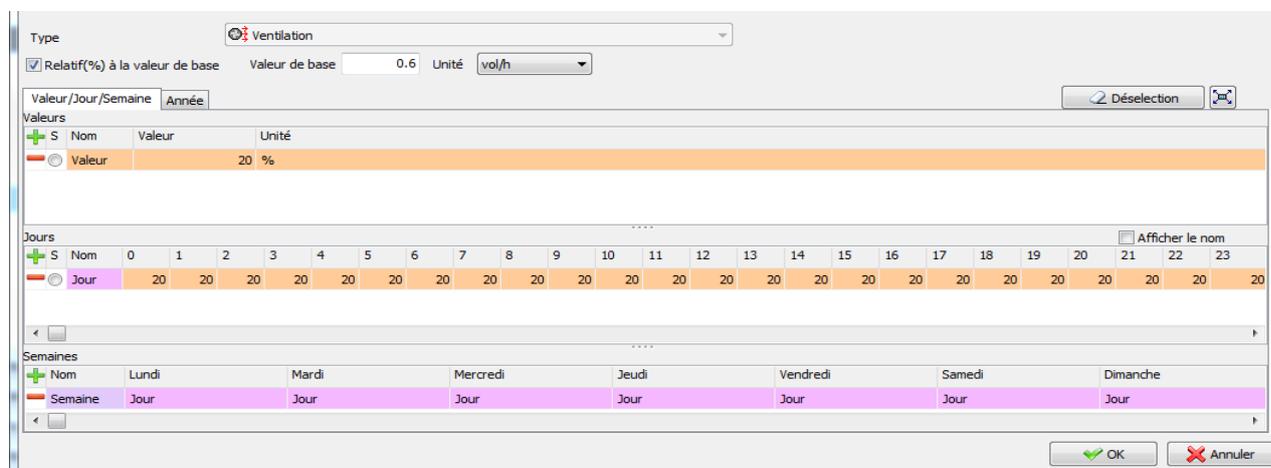


Figure 3.22 : Scénario de ventilation + infiltration.

### 3.3.5.4. Scénario de puissance dissipée :

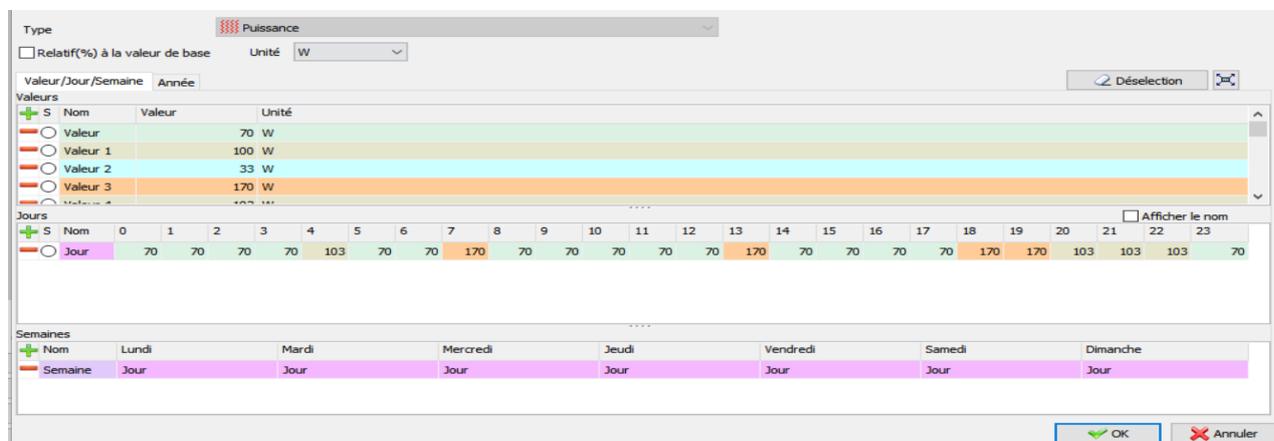


Figure 3.23 : puissance dissipée durant la période estivale.

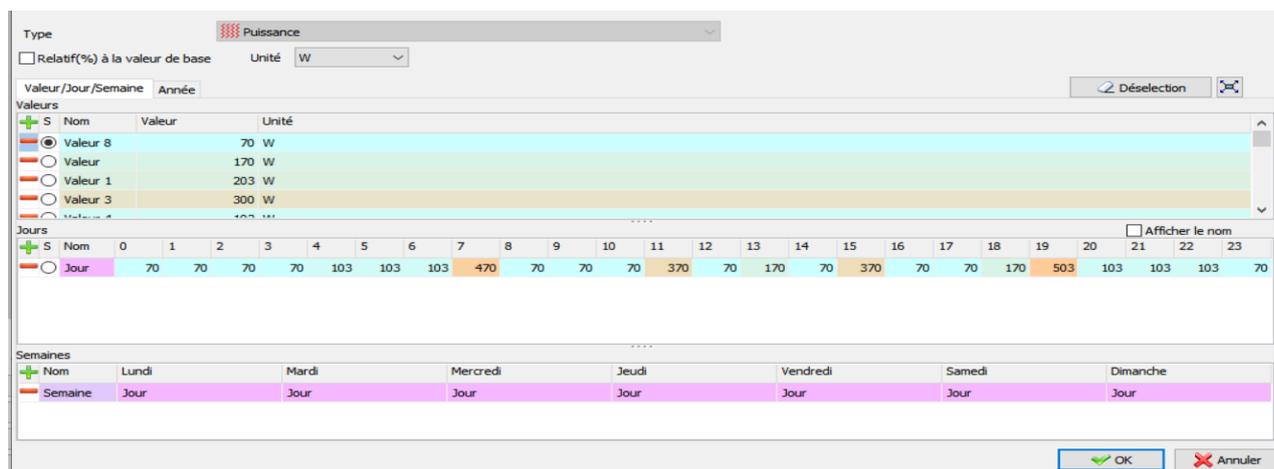


Figure 3.24 : puissance dissipée durant la période estivale.

### 3.3.5.5. Scénario d'occultation :

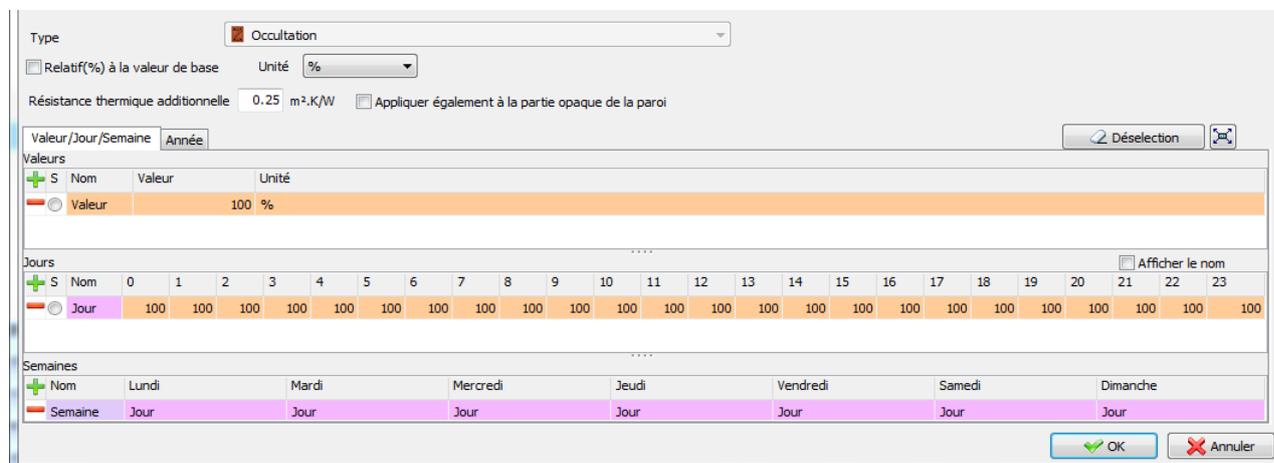


Figure 3.25: Le scénario d'occultation durant la période estivale.

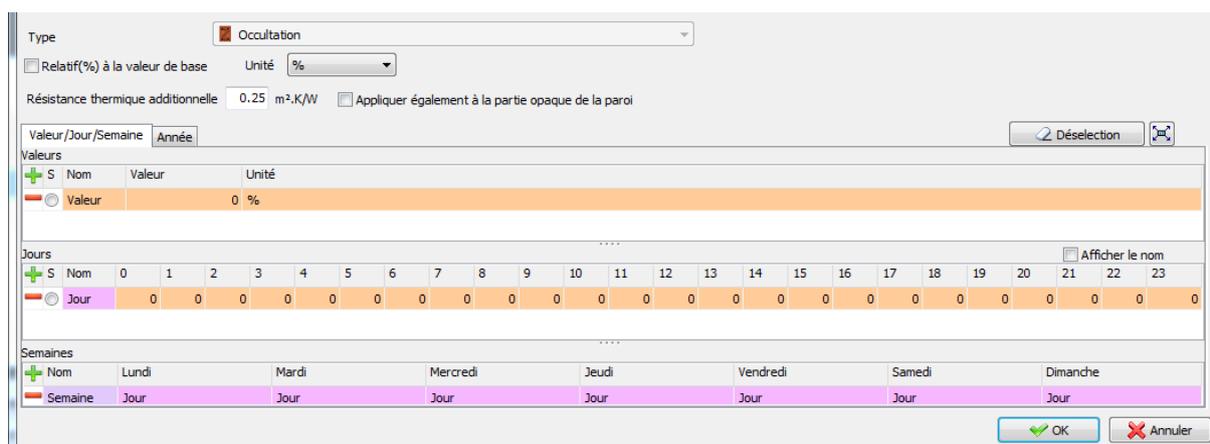


Figure 3. 26 : Le scénario d'occultation durant la période hivernale.

### 3.3.5.6. Ponts thermiques :

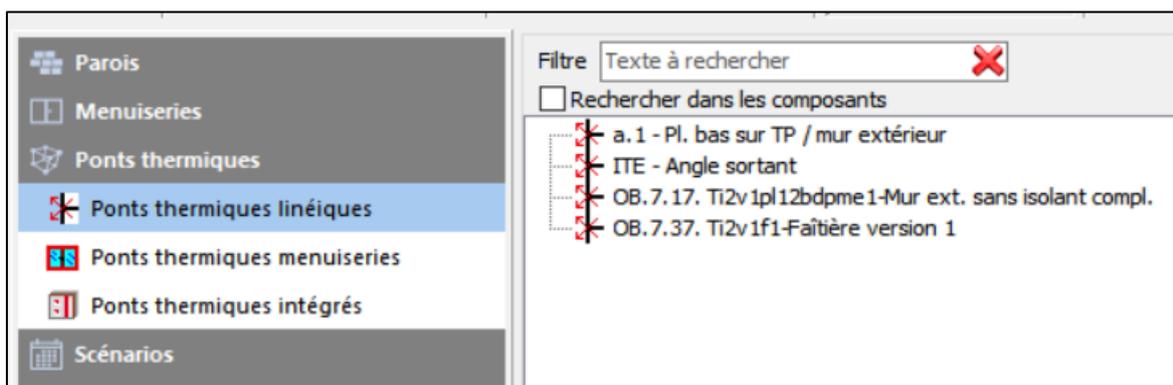


Figure 3.27 : Ponts thermiques linéiques.

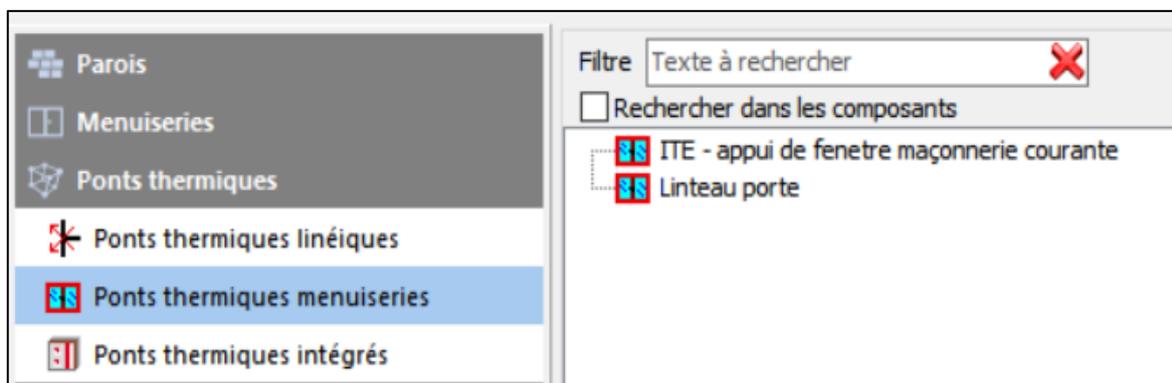


Figure 3.28 : Ponts thermiques menuiseries.

### 3.3.6. Dessin du plan :

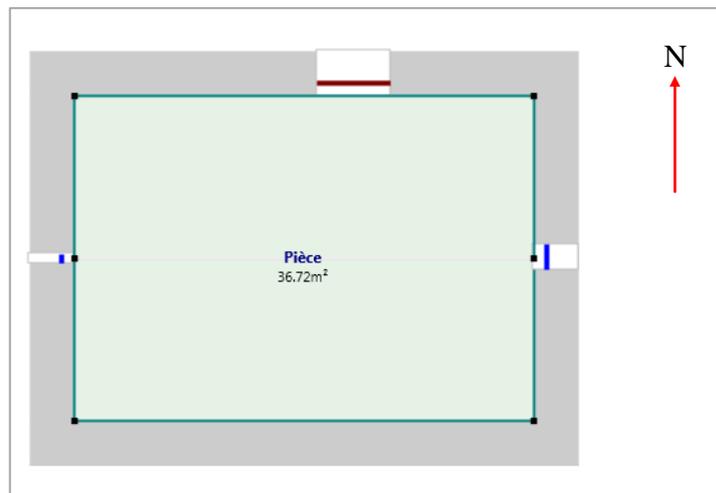


Figure 3.29 : Plan de la maison de notre cas d'étude réalisé avec pléiades.

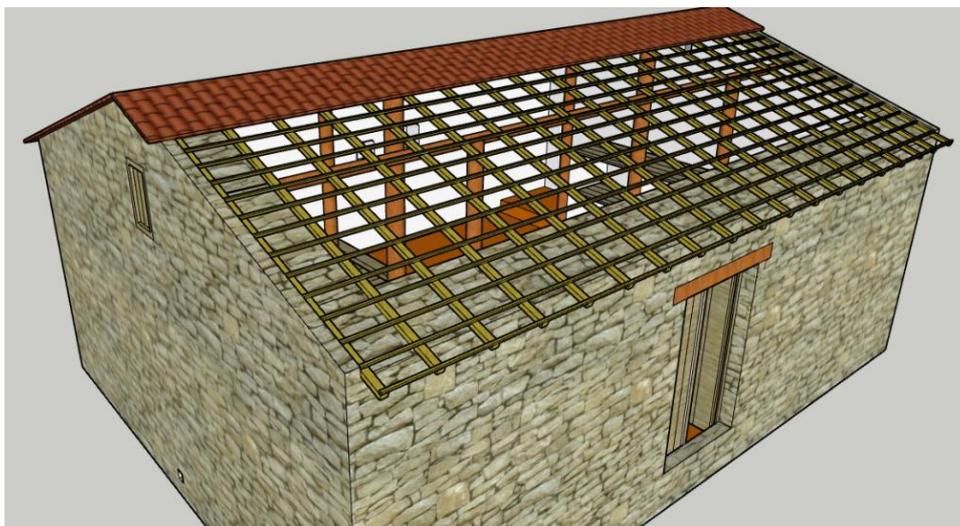


Figure 3.30 : Vu en 3D de la maison de notre cas d'étude réalisée avec le logiciel SketchUp.

### 3.3.7. Lancement des différentes simulations :

Avant le lancement de chaque simulation, il faut veiller à lui intégrer les scénarios nécessaires.

### 3.4. Conclusion :

Après lancement des simulations, nous avons obtenu les résultats qui seront présentés au niveau du chapitre suivant.

# **Chapitre 4 :**

*Analyse et interprétation des résultats*

---

*Chapitre 4 :  
Analyse et interprétation des résultats*

**4.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des différentes simulations, ainsi que la comparaison des résultats expérimentaux avec les théoriques.

**4.2. Les simulations sans consigne de thermostat :**

- **Scénarios de fonctionnement intégrés :**

- ☞ Scénario d’occupation.
- ☞ Scénario de puissance.
- ☞ Scénario d’occultation.
- ☞ Scénario de ventilation.

**4.2.1. Les simulations en période estivale:**

**4.2.1.1. Toiture rénovée :**

- **Le graphe de simulation durant la semaine la plus chaude :**

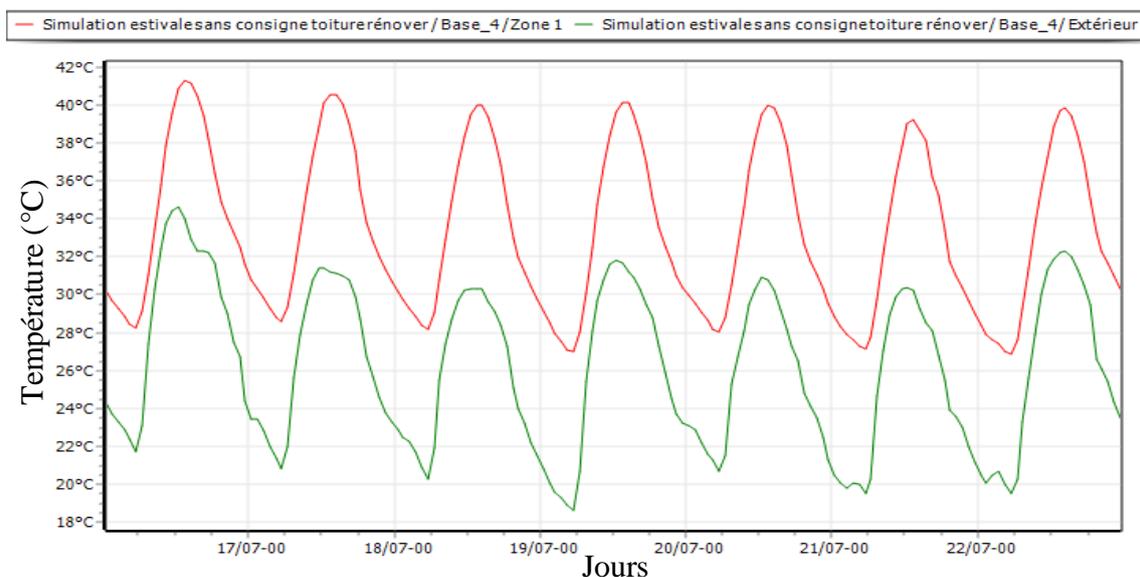


Figure 4.1 : Les évolutions des températures en période estivale pendant la semaine la plus chaude sans consigne de thermostat (toiture rénovée).

#### 4.2.1.2. Toiture ancienne :

- Le graphe de simulation durant la semaine la plus chaude :

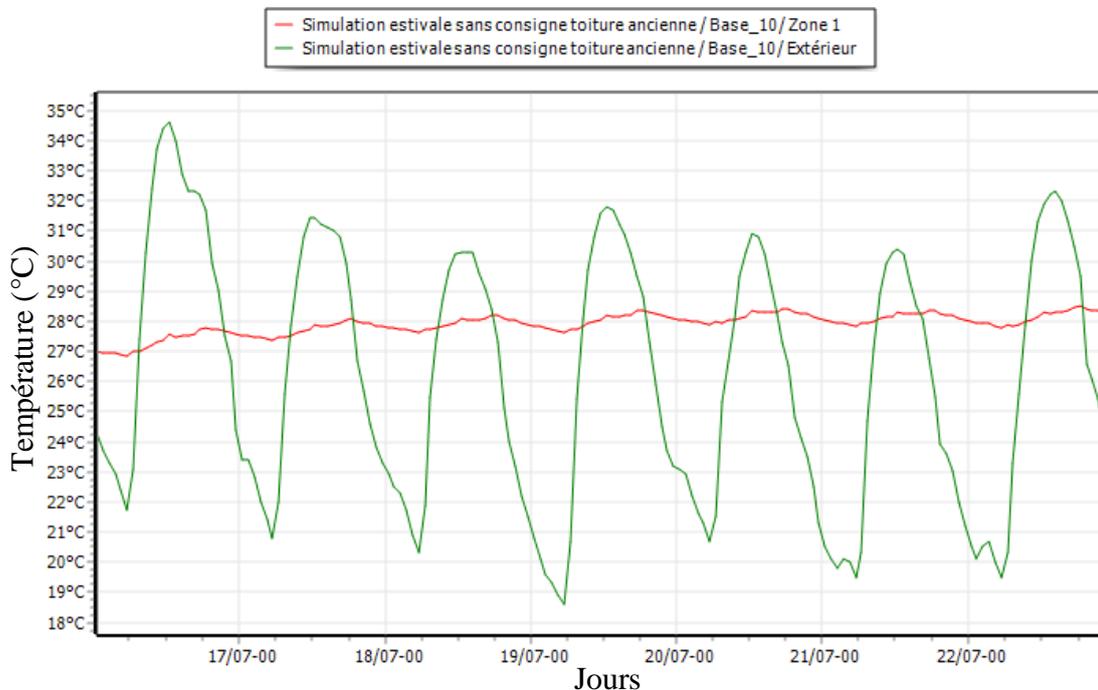


Figure 4.2 : Les évolutions des températures en période estivale pendant la semaine la plus chaude sans consigne de thermostat (toiture ancienne).

- Interprétation :

Selon les résultats obtenus, nous constatons que la température interne de la maison avec la toiture rénovée suit la courbe des fluctuations de la température extérieure qui varie de 18,5° C à 34,5° C. Cependant, à l'intérieur la température est supérieure à celle de l'extérieur, et elle varie entre 27° C et 41° C.

Contrairement à la maison avec la toiture rénovée, le comportement de la température intérieure de la maison avec l'ancienne toiture est quasiment constant et varie de 26,9° C à 28,5° C.

#### 4.2.2. Les simulations en période hivernale:

##### 4.2.2.1. Toiture rénovée :

- Le graphe de simulation durant la semaine la plus froide :

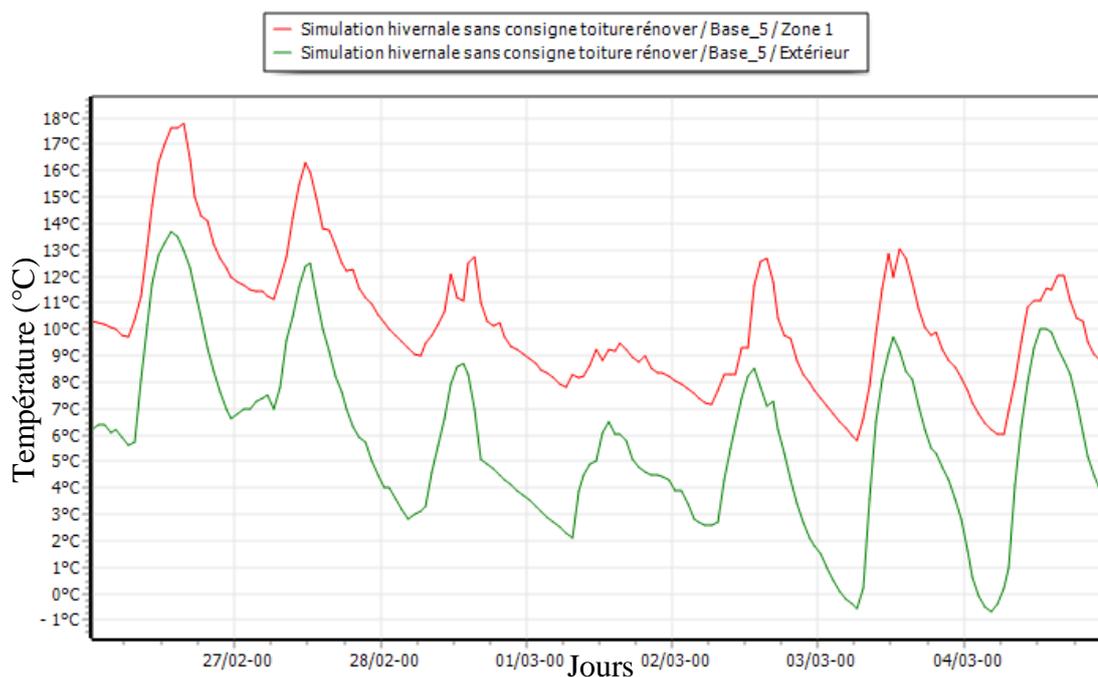


Figure 4.3 : Les évolutions des températures en période hivernale pendant la semaine la plus froide sans consigne de thermostat (Toiture rénovée).

#### 4.2.2.2. Toiture ancienne :

Le graphe de simulation durant la semaine la plus froide :

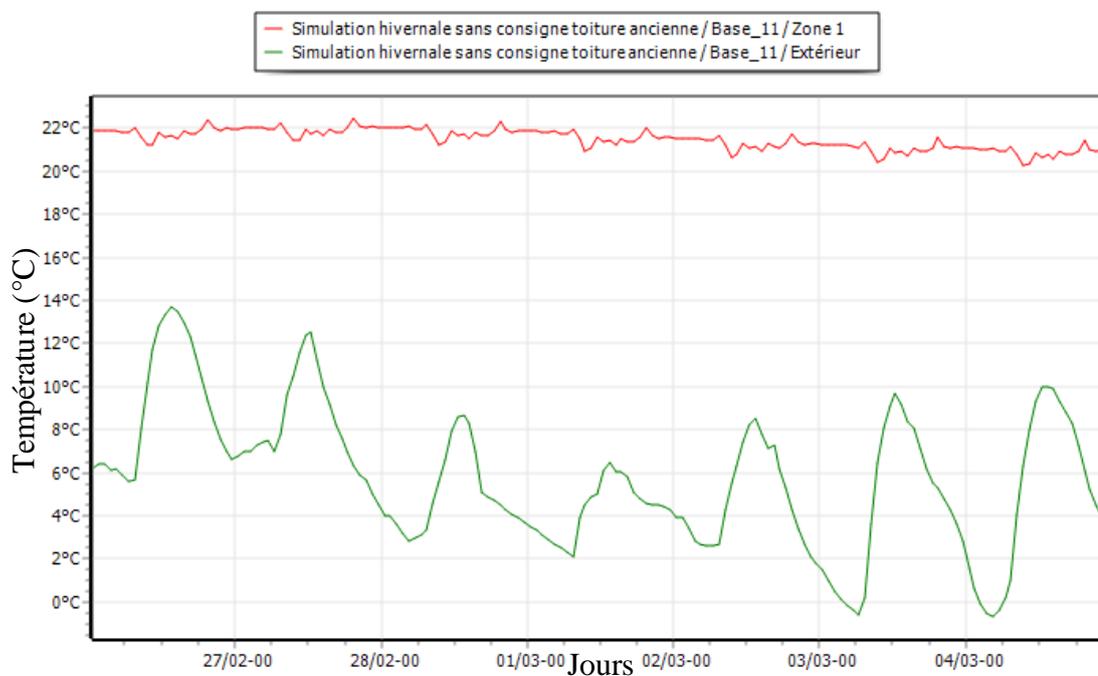


Figure 4.4 : Les évolutions des températures en période hivernale pendant la semaine la plus froide sans consigne de thermostat (Toiture ancienne).

- **Interprétation :**

Selon les résultats obtenus, nous constatons que la température interne de la maison avec la toiture rénovée suit la courbe des fluctuations de la température extérieure qui varie de  $-1^{\circ}\text{C}$  à  $13.8^{\circ}\text{C}$ . Cependant, à l'intérieur la température est supérieure à celle de l'extérieur, et elle varie entre  $5.9^{\circ}\text{C}$  et  $17.9^{\circ}\text{C}$ .

Contrairement à la maison avec la toiture rénovée, le comportement de la température intérieure de la maison avec l'ancienne toiture est quasiment constant et varie de  $20.1^{\circ}\text{C}$  à  $22.2^{\circ}\text{C}$ .

- **Synthèse :**

D'après les résultats obtenus à partir des simulations estivales et hivernales précédentes (sans consigne de thermostat), nous constatons que la maison avec l'ancienne toiture se comporte mieux que celle avec la toiture rénovée, et cela est dû à l'intégration du mortier, du branchage et du bois chêne zen (qui sont considérés comme isolants naturels). Cette composition permet de minimiser les déperditions thermiques.

### 4.3. Les simulation avec consigne de thermostat :

- **Scénarios de fonctionnement intégrés :**

- ☞ Scénario d'occupation.
- ☞ Scénario de température.
- ☞ Scénario de puissance.
- ☞ Scénario d'occultation.
- ☞ Scénario de ventilation.

#### 4.3.1. Les simulations en période estivale :

##### 4.3.1.1. Toiture rénovée :

- **Les Résultats de la simulation :**

Voici ci-dessous les résultats obtenus après le lancement de la simulation.

Tableau 4.1 : Les résultats de la simulation en période estivale avec consigne de thermostat (toiture rénovée).

	Besoin Clim.	Besoin Clim.
Toiture rénovée	3 361 kWh	92 kWh/m <sup>2</sup>

- **Le graphe de simulation durant la semaine la plus chaude :**

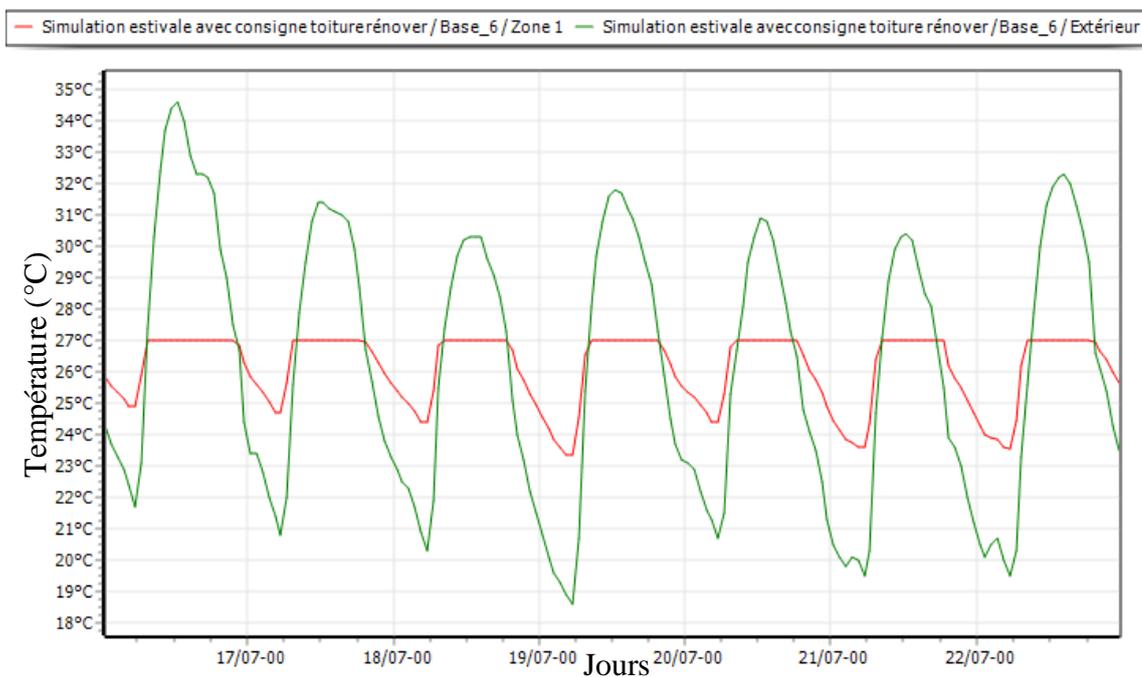


Figure 4.5 Les évolutions des températures en période estivale pendant la semaine la plus chaude avec consigne de thermostat (toiture rénovée).

#### 4.3.1.2. Toiture ancienne :

- **Les Résultats de la simulation :**

Voici ci-dessous les résultats obtenus après le lancement de la simulation.

Tableau 4.2 : Les résultats de la simulation en période estivale avec consigne de thermostat (toiture ancienne).

	Besoin Clim.	Besoin Clim.
Toiture ancienne	87 kWh	2 kWh/m <sup>2</sup>

- **Le graphe de simulation durant la semaine la plus chaude :**

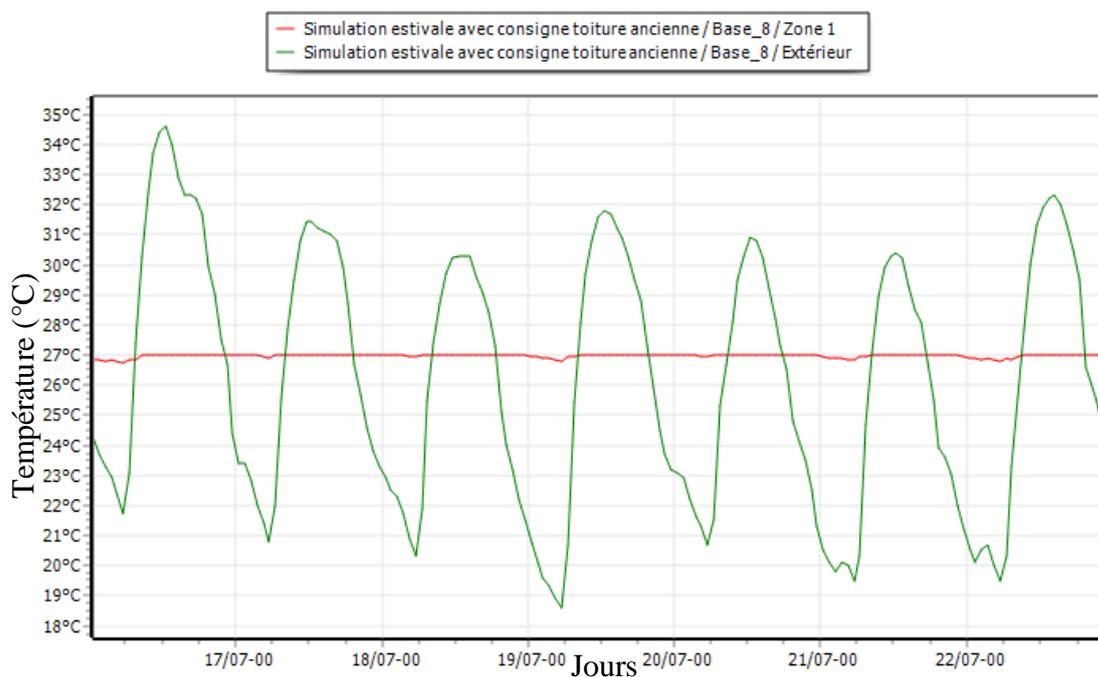


Figure 4.6 : Les évolutions des températures en période estivale pendant la semaine la plus chaude avec consigne de thermostat (toiture ancienne).

### 4.3.2. Les simulations en période hivernale :

#### 4.3.2.1. Toiture rénovée :

- **Les Résultats de la simulation :**

Voici ci-dessous les résultats obtenus après le lancement de la simulation.

Tableau 4.3 : Les résultats de la simulation en période hivernale avec consigne de thermostat (toiture rénovée).

	Besoin Ch.	Besoin Ch.
Toiture rénovée	6 205 kWh	169 kWh/m <sup>2</sup>

- **Le graphe de simulation durant la semaine la plus froide :**

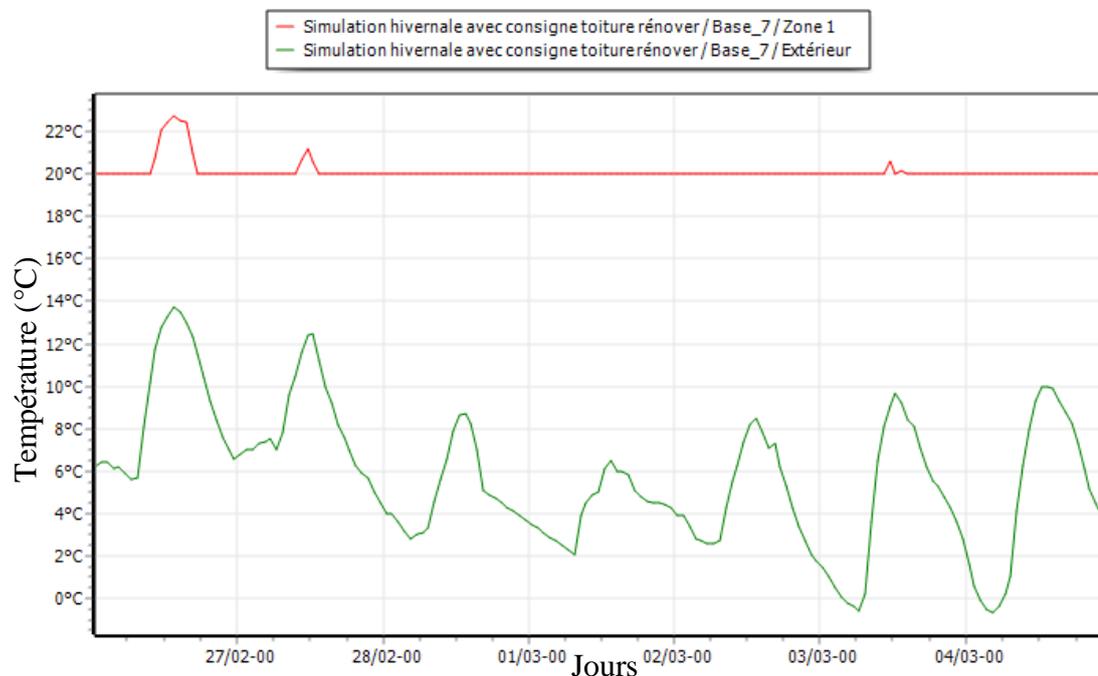


Figure 4.7 : Les évolutions des températures en période hivernale pendant la semaine la plus froide avec consigne de thermostat (toiture rénovée).

#### 4.3.2.2. Toiture ancienne :

- **Les Résultats de la simulation :**

Voici ci-dessous les résultats obtenus après le lancement de la simulation.

Tableau 4.4 : Les résultats de la simulation en période hivernale avec consigne de thermostat (toiture ancienne).

	Besoin Ch.	Besoin Ch.
Toiture ancienne	0 kWh	0 kWh/m <sup>2</sup>

- **Le graphe de simulation durant la semaine la plus froide :**

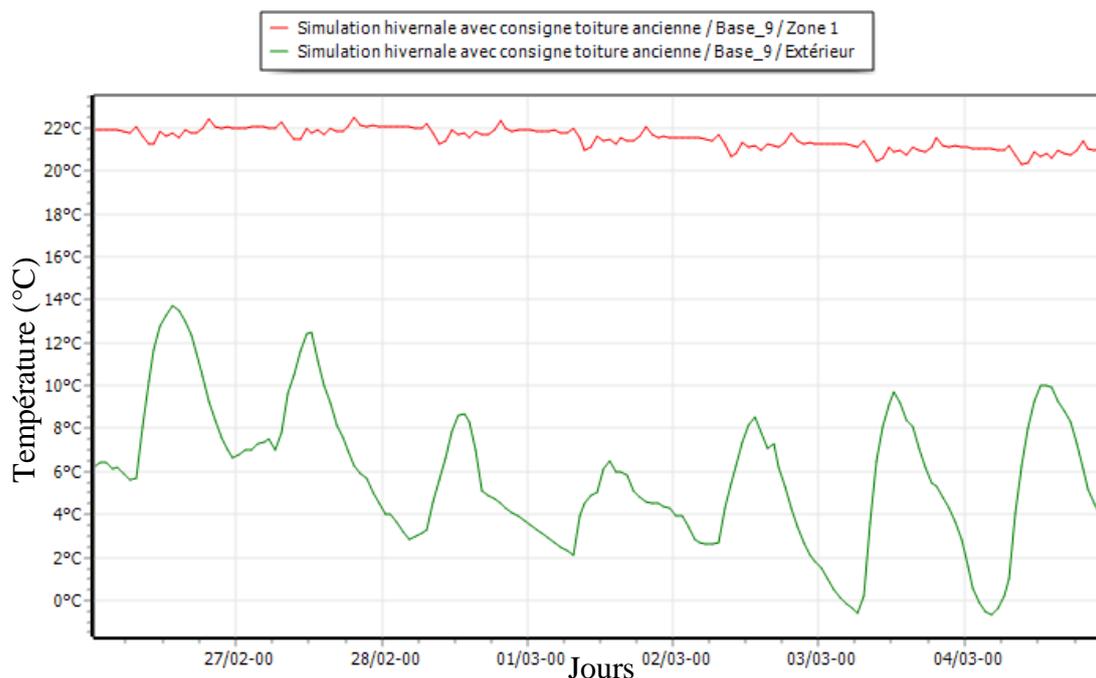


Figure 4.8 : Les évolutions des températures en période hivernale pendant la semaine la plus froide avec consigne de thermostat (toiture ancienne).

### 4.3.3. Tableau récapitulatif des besoins énergétiques :

Tableau 4.5 : Les besoins énergétiques de la maison avant et après rénovation.

	Besoin Ch.	Besoin Ch.	Besoin Clim.	Besoin Clim.	Besoin annuelle
Toiture rénovée	6 205 kWh	169 kWh/m <sup>2</sup>	3 361 kWh	92 kWh/m <sup>2</sup>	261 kWh/m <sup>2</sup>
Toiture ancienne	0 kWh	0 kWh/m <sup>2</sup>	87 kWh	2 kWh/m <sup>2</sup>	2 kWh/m <sup>2</sup>

#### 4.3.3.1. Comparaison des besoins entre toiture rénovée et toiture ancienne :

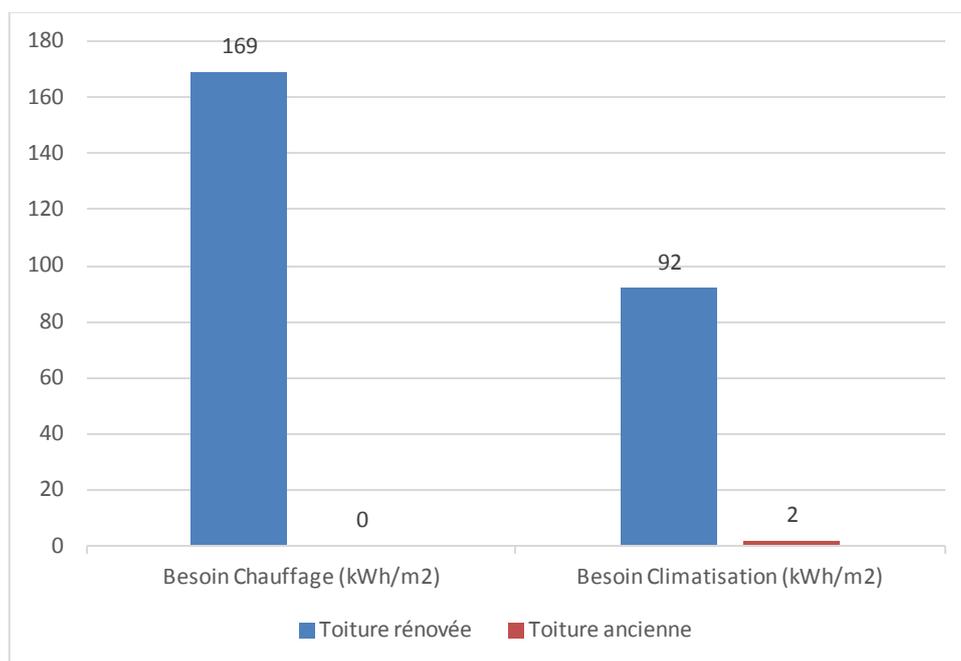


Figure 4.9 : Comparaison des besoins énergétiques entre la toiture rénovée et la toiture ancienne.

D’après les résultats obtenus, nous remarquons que les besoins en chauffage de la maison avec la toiture rénovée sont estimés à 169 kWh/m<sup>2</sup>, alors qu’ils sont estimés à 0 kWh/m<sup>2</sup> pour celle avec l’ancienne toiture. D’où une baisse de 169 kWh/m<sup>2</sup> l’équivalent de 100% des besoins. Pour la période estivale, nous remarquons que les besoins en climatisation de la maison avec la toiture rénovée sont estimés à 92 kWh/m<sup>2</sup>, alors qu’ils sont estimés à 2 kWh/m<sup>2</sup> pour celle avec l’ancienne toiture. D’où une baisse de 90 kWh/m<sup>2</sup> l’équivalent de 97.82 % des besoins.

#### 4.3.4. Classe énergétique :

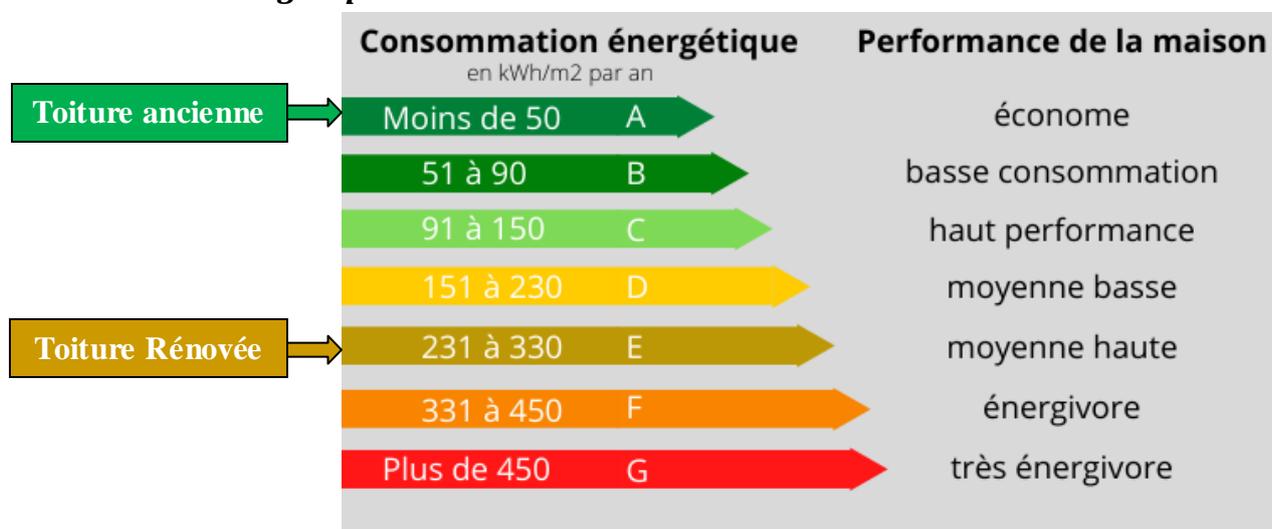


Figure 4.10 : La classe énergétique de la maison avec la toiture ancienne et la toiture rénovée [27].

#### 4.4. Étude comparative entre les résultats expérimentaux et théoriques :

##### 4.4.1. Simulation sans consigne de thermostat pour la journée du 13 juin (Toiture rénové) :

- Scénarios de fonctionnement intégrés :
  - ☞ Scénario de ventilation + infiltration.
- Le graphe de simulation :

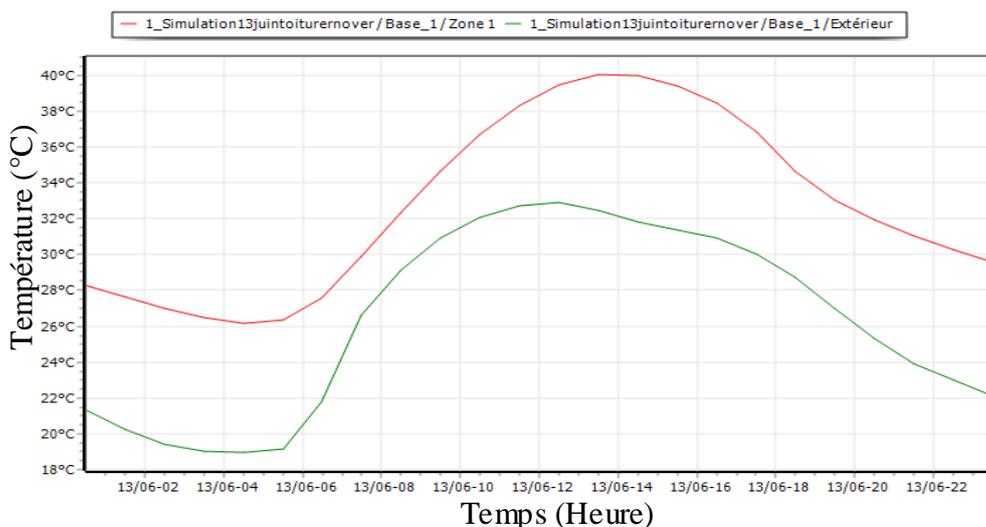


Figure 4.11 : Simulation sans consigne de thermostat pour la journée du 13 juin (toiture rénovée).

##### 4.4.2. Comparaison graphique :

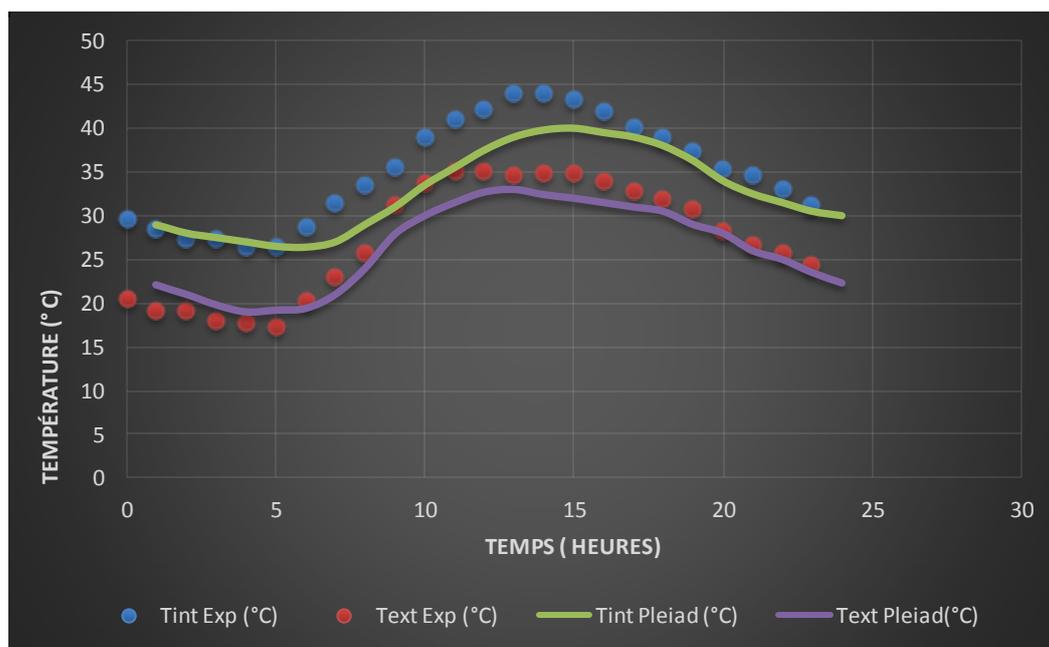


Figure 4.12 : Comparaison entre le graphe expérimentale et théorique.

- **Interprétation :**

On remarque que les évolutions expérimentales et théoriques ont les mêmes allures. Pour les températures intérieures l'écart est de 2.23° C et celui de l'extérieur est de 0.97° C.

#### **4.4.2.1. Calcul de l'erreur relative :**

$$e_G^{\text{relatif}} = [(G_{\text{mes}} - G_{\text{ref}}) / G_{\text{ref}}] \times 100 \dots\dots\dots [28].$$

- Erreur relative de la température intérieure : 6 %.
- Erreur relative de la température extérieure : 3 %.

#### **4.5. Conclusion :**

En comparant les résultats de la toiture rénovée avec ceux de l'ancienne toiture, nous avons constaté que les besoins de chauffage et de climatisation ont diminué par rapport à ceux de la toiture rénovée. Le taux de réduction des besoins de chauffage est estimé à 100 % et celui de la climatisation est estimé à 97.82 %. Ce qui prouve que l'impact des transformations constructives est négatif sur les performances énergétiques.

# Conclusion générale

---

## ***Conclusion générale***

Dans un monde où les besoins énergétiques augmentent jour après jour en utilisant des sources épuisables, c'est le temps de prendre conscience de la manière la plus efficace d'améliorer les ambiances intérieures en réduisant les impacts énergétiques et environnementaux liés à une forte consommation d'énergie.

Pour répondre à ce contexte énergétique, nous avons présenté dans ce travail de recherche une étude qui concerne l'impact des transformations constructives sur les performances énergétiques d'une maison kabyle traditionnelle avant et après que cette dernière ne subit une modification au niveau de la toiture abimée.

Un des aspects de notre étude est basé sur l'enquête sur terrain, un certain nombre de questions ont été traitées en faisant référence à la perception du propriétaire de la maison étudiée et les conséquences de la modification. De plus, une identification des caractéristiques thermo physiques des matériaux locaux a été faite au centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB).

A l'aide du logiciel pléiades, nous avons fait une simulation thermique dynamique de la maison kabyle traditionnelle avant et après sa rénovation. Ce qui nous a permis d'évaluer le confort thermique, ainsi que les besoins de chauffage et de climatisation qui permettent d'atteindre ou de maintenir une sensation de confort tout le long de l'année.

Les résultats obtenus de la simulation de la maison kabyle traditionnelle rénovée ont montrés que les changements constructifs ont engendrés un inconfort thermique à l'intérieur de la maison et que les besoins énergétiques en chauffage sont estimés à  $261 \text{ kWh/m}^2$  et ceux de la climatisation sont estimés à  $92 \text{ kWh/m}^2$ . Et nous avons constaté que la maison avant rénovation a permis d'atteindre une baisse de réduction de 100 % en chauffage et de 97.82 % en climatisation. Ce qui signifie que les changements constructifs ont contribué à l'augmentation de la consommation énergétique de la maison kabyle traditionnelle rénovée.

A partir des résultats ci-dessus, nous pouvons alors répondre plus directement à la problématique soulevée dans l'introduction générale et que nous rappelons ici : Qu'elle est l'impact du changement des matériaux de construction sur le confort thermique ainsi que sur la consommation énergétique ?

La réponse à la question est que les changements constructifs ont impactés les performances énergétiques de la maison d'une manière néfaste, vu que la modification a été faite sans prendre en considération les techniques ancestrales utilisées auparavant.

Ainsi, les perspectives futures c'est d'arriver à intégrer, à concevoir et à bâtir avec les matériaux locaux qui sont naturels et non polluants.

Pour conclure, ce travail n'est qu'une prise de conscience et un processus de réflexions qui a apporté une attention sur le confort thermique d'une maison kabyle traditionnelle. Afin de sensibiliser et éveiller les esprits en ce qui concerne le secteur du bâtiment, pour éviter la surconsommation énergétique.

## Références

---

- [1] <https://harba-dz.com/presentation-de-lalgerie/>
- [2] <https://www.mbarchitecture.xyz/2016/12/les-maisons-traditionnelles-en-algerie.html>.
- [3] **Sennoun Kahina**, « Etude Thermique D'une Maison Traditionnelle Cas De Tizi-Ouzou », mémoire de master, université de Blida 1, 2018.
- [4] **Szokolay, S et Aulicems, A**, « Thermal comfort », The University of Queensland, 2007.
- [5] **Evans. J. M.**, « The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design », thèse de doctorat, Delft University, 2007.
- [6] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Architecture-bioclimatique.html>.
- [7] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archibio.svg>.
- [8] <https://www.oxalis-asso.org/?p=1705>.
- [9] **Dr R.Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino**, « Complexité du confort thermique dans les bâtiments », 6ème congrès Européen de Science des Systèmes Paris, 19-22 septembre 2005.
- [10] <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16920679/savoir-faire-vernaculaires-de-larchitecture-kabyle->.
- [11] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/ architecture-pise-17869/>
- [12] <https://www.gerbeaud.com/jardin/amenagement/mur-pierre-seche,1791.html>.
- [13] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-3599-monter-mur-pierre.html>.
- [14] <http://aitouabane.over-blog.com/article-maison-traditionnelle-kabyle-volet-2-114540327.html>.
- [15] **KACI Mebarek**, « L'architecture rurale traditionnelle en kabylie, un patrimoine en péril », université de Blida, 2006.

- [16] <https://dokumen.tips/documents/charly-guibbaud-maison-kabylepdf-la-maison-kabyle-element-structurant-de.html?page=1>
- [17] **Taous Messaoudi**, « L'architecture vernaculaire une solution durable : Cas de la maison traditionnelle kabyle (nord algérien) », École Nationale des Travaux Publics de l'État et École nationale supérieure de l'architecture de Lyon, 2017.
- [18] [https://www.tellierbrisesoleil.com/media/03\\_genatis\\_catalogue\\_gestion\\_energetique\\_naturelle.pdf](https://www.tellierbrisesoleil.com/media/03_genatis_catalogue_gestion_energetique_naturelle.pdf).
- [19] [https://www.academia.edu/11791860/DTR\\_C3\\_2\\_Reglement\\_thermique\\_des\\_batiments\\_dhabitation\\_regle\\_de\\_calcul\\_des\\_peperdition\\_calorifique\\_FACICULE1](https://www.academia.edu/11791860/DTR_C3_2_Reglement_thermique_des_batiments_dhabitation_regle_de_calcul_des_peperdition_calorifique_FACICULE1).
- [20] **F. Hachour**, « Processus de valorisation du patrimoine en faveur d'un développement local », mémoire de master, ummto, 2018.
- [21] <https://earth.google.com/web/@36.75952915>.
- [22] <https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/36.760N4.487E>.
- [23] **AMAR AIS**, « Pour une nouvelle gestion de la croissance des établissements humains, exemple d'un village de montagne », mémoire de magister, ummto, 2003.
- [24] **Ouaneche Samira**, « Etude et élaboration de nouveaux matériaux composites isolants », mémoire de master, ummto, 2014.
- [25] **B. Djebri 1, L. Derradji 2, F. Boudali Errebai 2, M. Amara 2 et Y. Maoudj 2**, « Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie », Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°4 (2015) 657 – 666, 2015.
- [26] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#).
- [27] <https://www.maisonsur.com/blog/2020/11/25/comprendre-la-classe-energetique-de-sa-maison/>
- [28] [https://ics.utc.fr/PS90/chapitre%202/co/calc\\_err.html](https://ics.utc.fr/PS90/chapitre%202/co/calc_err.html).