

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:

**Amélioration de la performance énergétique d'une
maison d'hôtes
d'un village éco touristique à Beni Yenni**

Présenté par : BEN HAMICHE Melissa.

Soutenu publiquement le : 16 /07/2023 devant le Jury composé de :

| | | | |
|---------------|------------|------|---------------|
| Mme. OUKACI.S | Docteur | USDB | promoteur |
| Mr. HAMID.A | Professeur | USDB | Co- Promoteur |
| Mme. Guebli.W | Docteur | USDB | Examineur |

Remerciement :

Madame OUKACI Soumia , Monsieur HAMID Abdelkader, je souhaite exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour votre rôle essentiel en tant qu'encadrants de mon mémoire de fin d'études. Votre accompagnement tout au long de ce processus a joué un rôle déterminant dans la réussite de mon projet.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers tous les professeurs et intervenants qui ont prodigué leurs précieux conseils. Grâce à eux, j'ai été orientée vers des sources pertinentes qui ont grandement contribué à la qualité de mon travail. Leurs critiques constructives m'ont permis d'approfondir mon analyse, d'améliorer mon argumentation et d'obtenir des résultats plus solides.

Enfin, je tiens à adresser mes chaleureux remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Dédicace

Je dédie cet humble travail avec grand amour sincérité et fierté :

*A mes chers parents et grands-parents, source de tendresse, noblesse et
d'affection*

A ma sœur Leticia et mon frère Makipssa.

A ma chère amie Chaimaa

A mes professeurs et tout ceux qui m'ont aidé a réaliser ce modeste travail.

ملخص:

إن السعي إلى تحسين الظروف المعيشية داخل الموائل مع تقليل تأثير الطاقة والبيئة الناتج عن ارتفاع استهلاك الطاقة هو مصدر قلق رئيسي لجميع دول العالم مثل الجزائر ، بالنظر إلى أن قطاع الإسكان هو المسؤول عن الحصة الأكبر من استهلاك الطاقة في البلاد. الهدف من هذه الأطروحة هو تحديد الظروف المناخية السائدة في بنائين ، أحدهما مغلف خشبي والآخر من الصلب ، والسعي لتحسين راحتها الداخلية مع وضعهما بشكل أفضل على الملصق.الطاقة.

تم إجراء قياسات درجة الحرارة والرطوبة باستخدام مستشعرات DHT11 و DHT22 ولوحة اردوينو ، تليها محاكاة حرارية ديناميكية أجريت على pleiades 2.23.4.4. لتقييم الأجواء الداخلية واحتياجات الطاقة للمطعم والكوخ. أظهرت النتائج أن سلوك المطعم وعلية الشاليه كان حساسا للظروف الخارجية ، بينما كانت غرفة نوم الشاليه أكثر استقرارا. وقدرت احتياجات التكييف للشاليه بـ 82 كيلو واط / متر مربع و 124 كيلو واط / متر مربع للمطعم ، مع احتياجات تدفئة 444 كيلو واط / متر مربع للمطعم و 419 كيلو واط / متر مربع للشاليه. بعد تدعيم العزل الحراري ، انخفضت احتياجات التكييف بشكل ملحوظ ، بنسبة 74.7% للمطعم و 47.8% للشاليه ، بينما انخفضت احتياجات التدفئة بنسبة 49.1% للشاليه و 14.1% للمطعم.

من خلال الجمع بين العزل والتهوية بتأثير المدخنة ، تم تقليل احتياجات تدفئة الشاليه بنسبة 68.7% واحتياجات تكييف الهواء بنسبة 67.7%. كما أدى دمجها مع الغطاء النباتي خلال فصل الصيف إلى تقليل احتياجات التكييف بنسبة 76.7%.

تظهر نتائج هذه الدراسة أن استخدام الحلول السلبية يمكن أن يحسن الراحة الحرارية للمغلفات الخشبية والفولاذية.

الكلمات الدالة :

ظرف خشبي - ظرف صلب - راحة حرارية - مناخ البحر الأبيض المتوسط

RESUME:

Chercher à améliorer les conditions de vie à l'intérieur des habitats, que se soit les habitats tertiaires ou résidentiels tout en réduisant l'impact énergétique et environnemental résultant d'une consommation d'énergie importante est une préoccupation centrale pour tout les pays du monde a l'instar de l'Algérie, vu que le secteur de l'habitat est responsable de la plus grande part de la consommation énergétique dans le pays. L'objectif de cette thèse porte donc sur déterminer les conditions climatiques qui règnent dans deux constructions, une avec une enveloppe en bois et l'autre en acier, et de chercher à améliorer leur confort intérieur tout en les positionnant plus favorablement sur l'étiquette énergétique.

Des mesures de température et d'humidité ont été effectuées dans les deux constructions durant deux jours, suivis d'une simulation thermique dynamique effectuée sur pleiades 2.23.4.4 pour évaluer les ambiances intérieures et les besoins énergétiques du restaurant et du chalet. Les résultats ont montré que le comportement du restaurant et du comble du chalet était sensible aux conditions extérieures, tandis que la chambre du chalet était plus stable. Les besoins en climatisation ont été estimés à 82 KWh/m² pour le chalet et 124 KWh/m² pour le restaurant, avec des besoins en chauffage de 444 KWh/m² pour le restaurant et 419 KWh/m² pour le chalet. Après le renforcement de l'isolation thermique, les besoins en climatisation ont diminué de manière significative, de 74,7% pour le restaurant et de 47,8% pour le chalet, tandis que les besoins en chauffage ont diminué de 49,1% pour le restaurant et de 14,1% pour le chalet.

En combinant l'isolation avec une ventilation par effet cheminée, les besoins en climatisation du chalet ont diminué de 67,8%. Aussi l'intégration de végétation pendant l'été, a permis de réduire les besoins en climatisation de 76,7% pour le restaurant.

Les résultats de cette étude mettent en évidence que l'utilisation de solutions passives peut améliorer le confort thermique des enveloppes en bois et en acier.

Mots clés :

Enveloppe en bois- enveloppe en acier- confort thermique- climat méditerranéen, isolation, besoins en chauffage et climatisation

ABSTRACT:

Seeking to improve living conditions inside tertiary and residential buildings while reducing the energy and environmental impact resulting from significant energy consumption is a central concern for countries worldwide, including Algeria. The housing sector is responsible for the largest share of energy consumption in the country. The objective of this thesis is to determine the climatic conditions prevailing in two buildings, one with a wooden envelope and the other with a steel envelope, and to seek to improve their indoor comfort while positioning them more favorably on the energy label.

Temperature and humidity measurements were taken in both buildings over a two-day period, followed by dynamic thermal simulations performed on Pleiades 2.23.4.4 to evaluate the indoor environments and energy needs of the restaurant and the chalet. The results showed that the behavior of the restaurant and the chalet attic was sensitive to external conditions, while the chalet bedroom was more stable. The estimated air conditioning requirements were 82 kWh/m² for the chalet and 124 kWh/m² for the restaurant, with heating requirements of 444 kWh/m² for the restaurant and 419 kWh/m² for the chalet. After reinforcing the thermal insulation, air conditioning requirements significantly decreased by 74.7% for the restaurant and 47.8% for the chalet, while heating requirements decreased by 49.1% for the chalet and 14.1% for the restaurant.

By combining insulation with chimney effect ventilation, the chalet's heating requirements decreased by 14,1%, and air conditioning requirements decreased by 67.8%. Additionally, integrating vegetation during the summer in the improved variants resulted in a 76.7% reduction in air conditioning needs.

The results of this study highlight that the use of passive solutions can improve the thermal comfort of both wooden and steel envelopes.

Keywords:

Wooden envelope, steel envelope, thermal comfort, Mediterranean climate, insulation, heating and air conditioning needs.

Table des matières

REMERCIEMENTS

DÉDICACES

RÉSUMÉ

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES

TABLE DES TABLEAUX

TABLE DES ABREVIATIONS

NOMENCLATURE

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1 : Bibliographie et état de l'art

| | |
|---|-----------|
| 1.1 La conception bioclimatique: | 5 |
| 1.1.1 Définition de l'architecture bioclimatique: | 5 |
| 1.1.2 Principes de l'architecture bioclimatique:..... | 5 |
| 1.1.2.1 L'implantation : | 5 |
| 1.1.2.2 L'Orientation : | 6 |
| 1.1.2.3 La morphologie du bâtiment : | 6 |
| 1.1.2.4 L'organisation des espaces intérieurs : | 6 |
| 1.1.2.5 Le choix des matériaux de construction : | 6 |
| 1.2 Généralités sur l'architecture traditionnelle de Kabylie : | 7 |
| 1.2.1 L'habitat traditionnel en Kabylie (axxam) : | 7 |
| 1.2.1.1 Matériaux et techniques de constructions : | 8 |
| 1.3 Les constructions légères : | 10 |
| 1.3.1 Constructions en bois : | 11 |
| 1.3.1.1 Description du matériau : | 11 |
| 1.3.1.2 Les propriétés du bois : | 11 |
| 1.3.1.3 L'utilisation du bois dans la construction : | 14 |
| 1.3.2 Les constructions en acier : | 16 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.3.2.1 | Description du matériau : | 16 |
| 1.3.2.2 | Les propriétés de l'acier : | 17 |
| 1.3.2.3 | L'utilisation de l'acier dans la construction : | 17 |

Chapitre 2 : cas d'étude.

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.1 | Présentation de la région étudiée : | 27 |
| 2.1.1 | Le climat de la région étudiée : | 28 |
| 2.1.2 | Hydrographie:..... | 28 |
| 2.1.3 | Relief : | 28 |
| 2.1.4 | Classification thermique de la ville deTizi Ouzou : | 29 |
| 2.2 | Présentation du cas d'étude :..... | 30 |
| 2.2.1 | Présentation du site : | 30 |
| 2.2.1.1 | Les données climatiques de la région: | 30 |
| 2.2.2 | Critères du choix : | 35 |
| 2.2.3 | Description du restaurant et du chalet étudiés :..... | 35 |
| 2.2.3.1 | Description du restaurant : | 37 |
| 2.2.3.2 | Description du chalet : | 40 |
| 2.3 | Étude expérimentale : | 43 |
| 2.3.1 | Mesure de température de l'air et de l'humidité à l'intérieur du restaurant:..... | 44 |
| 2.3.1.1 | La température : | 44 |
| 2.3.1.2 | L'humidité de l'air : | 45 |
| 2.3.2 | Mesure de température de l'air et de l'humidité à l'intérieur du chalet:..... | 46 |
| 2.3.2.1 | La température : | 46 |
| 2.3.2.2 | L'humidité de l'air : | 46 |
| 2.4 | Etude statique : | 47 |
| 2.4.1 | Vérification de la conformité des deux cas d'étude aux exigences réglementaires : 47 | |
| 2.4.1.1 | Vérification de la conformité du restaurant aux exigences réglementaires :..... | 49 |
| 2.4.1.2 | Vérification de la conformité du chalet aux exigences réglementaires :..... | 51 |

Chapitre 3: Modélisation du cas d'étude

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.1 | Le concept de la simulation : | 55 |
| 3.2 | Présentation des logiciels : | 55 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2.1 | Pléiades: | 55 |
| 3.2.1.1 | Les interfaces de pléiades : [40] | 56 |
| 3.2.2 | Métronom 8.0.2 :[41] | 56 |
| 3.3 | Les étapes de la simulation : | 57 |
| 3.3.1 | Sous METEONORM : | 58 |
| 3.3.1.1 | Création d'une station météorologique : | 58 |
| 3.3.2 | Sous pléiades : | 58 |
| 3.3.2.1 | Création des matériaux de construction : | 58 |
| 3.3.2.2 | Composition des parois : | 59 |
| 3.3.2.3 | Création des menuiseries : | 62 |
| 3.3.2.4 | Le dessin sous modeleur : | 63 |
| 3.3.2.5 | Définition des scénarios dans le Modeleur Pléiades : | 67 |
| 3.3.2.6 | Lancement de la simulation : | 75 |
| 3.4 | Méthodologie de simulation : | 76 |
| 3.4.1 | Présentation des différentes variantes étudiées dans le cas du restaurant : | 77 |
| 3.4.2 | Présentation des différentes variantes étudiées dans le cas du chalet : | 78 |

Chapitre 4: Résultats et discussions

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1 | Les simulations du restaurant : | 83 |
| 4.1.1 | Les simulations sans consigne de thermostat : | 83 |
| 4.1.1.1 | Les simulations estivales : | 83 |
| 4.1.1.2 | Les simulations hivernales : | 89 |
| 4.1.2 | Les simulations avec consigne de thermostat : | 92 |
| 4.1.2.1 | Simulations estivales: | 93 |
| 4.1.2.2 | Simulations hivernales: | 94 |
| 4.1.3 | Étude comparative entre les résultats expérimentaux et théoriques : | 97 |
| 4.1.3.1 | Simulations sans consigne de thermostat pour la période du 19 au 21 mars 2022 : 97 | |
| 4.2 | Les simulations du chalet : | 98 |
| 4.2.1 | Les simulations sans consigne de thermostat : | 98 |
| 4.2.1.1 | Les simulations estivales : | 98 |
| 4.2.1.2 | Les simulations hivernales: | 104 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2.2 | Les simulations avec consigne de thermostat : | 108 |
| 4.2.2.1 | Les simulations estivales : | 108 |
| 4.2.2.2 | Les simulations hivernales: | 110 |
| 4.2.2.3 | Classe énergétique : | 113 |
| 4.2.3 | Étude comparative entre les résultats expérimentaux et théoriques :..... | 113 |
| 4.2.3.1 | Simulations sans consigne de thermostat pour la période du 19 au 21 mars 2022 : 113 | |

CONCLUSION GENERALE

REFEENCES

Liste des figures

Chapitre 1 : Bibliographie et état de l'art

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : l'utilisation des matériaux locaux dans l'architecture traditionnelle kabyle | 7 |
| Figure 1.2: axxam à Ait Allaoua..... | 8 |
| Figure1.3 : Mur en pierre | 8 |
| Figure1.4 : La composition d'une toiture en tuile | 9 |
| Figure 1.5 : Comparaison de la résistance thermique de 100 mm d'épaisseur entre le bois résineux, le béton et l'acier..... | 13 |
| Figure 1.6 : Tavaillon de bois | 15 |
| Figure 1.7 : Finitions intérieures en bois | 15 |
| Figure 1.8 : porte en bois d'une maison traditionnelle kabyle | 16 |
| Figure 1.9: maison à ossature métallique en acier | 18 |
| Figure 1.10 : Restaurant métallique à bardage simple peau..... | 19 |

Chapitre 2 : Etude de cas

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 : carte de situation de la wilaya de Tizi Ouzou..... | 27 |
| Figure 2.2 : Montagned'Ait Ouabane..... | 29 |
| Figure2.3 : Montagne d'Ait Allaoua..... | 29 |
| Figure 2.4 : Village d Ait Allaoua ,..... | 30 |
| Figure 2.5 : Températures mensuelles de la région d'Ait Allaoua..... | 31 |
| Figure 2.6 : Les températures journalières de la région d'Ait Allaoua..... | 32 |
| Figure 2.7 : Le rayonnement global et diffus de la région d'Ait Allaoua..... | 32 |
| Figure 2.8 : Le rayonnement global journalier de la région d'Ait Allaoua..... | 33 |
| Figure2.9 : Les précipitations de la région de la région d'Ait Allaoua..... | 33 |
| Figure 2.10 : La durée d'insolation de la région d'Ait Allaoua..... | 34 |
| Figure 2.11 : Ruisseau a Ait Allaoua..... | 34 |
| Figure 2.12 : la tente en toile, le restaurant, les deux chalets de Cairn mountain,..... | 36 |
| Figure 2.13 : chalet en bois..... | 36 |
| Figure 2.14 : restaurant métallique..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Figure 2.15 : méthode de mesure avec TESTEUR HUMIDITE ISOTECH RS-1367 | 43 |
| Figure 2.16 : Mesure de température et d'humidité avec l'arduino..... | 44 |
| Figure 2.17 : évolution de la température extérieure et la température intérieure du restaurant..... | |
| Figure 2.18 : Variations de l'humidité relative extérieure et à l'intérieur du restaurant..... | 44 |
| Figure 2.19 : évolution de la température extérieure et la température intérieure du chalet..... | 45 |
| Figure 2.20 : évolution de l'humidité relative extérieure et à l'intérieur du chalet... | 46 |
| | 46 |

Chapitre 3: Modélisation du cas d'étude

| | |
|---|----|
| Figure 3.1 : Les étapes et la procédure de la simulation..... | 57 |
| Figure 3.2 : Création d'une station météorologique..... | 58 |
| Figure 3.3 : Caractéristiques de la tuile..... | 58 |
| Figure 3.4 : Caractéristiques de la tuile romaine..... | 58 |
| Figure 3.5 : Caractéristiques de la dalle de sol..... | 59 |
| Figure 3.6 : Caractéristiques du branchage..... | 59 |
| Figure 3.7 : Composition du mur extérieur du restaurant..... | 59 |
| Figure 3.8 : Composition du mur intérieur du restaurant..... | 59 |
| Figure 3.9 : Composition du plancher bas du restaurant..... | 60 |
| Figure 3.10 : Composition de la toiture du restaurant..... | 60 |
| Figure 3.11 : Composition du mur extérieur du chalet..... | 60 |
| Figure 3.12 : Composition du mur intérieur du chalet..... | 60 |
| Figure 3.12 : composition du plancher haut du chalet..... | 61 |
| Figure 3.13 : Composition de la toiture du chalet..... | 61 |
| Figure 3.14 : Composition du plancher bas du chalet..... | 61 |
| Figure 3.15 : Les caractéristiques de la fenêtre de la salle de restauration..... | 62 |
| Figure 3.16 : Porte métallique de la cuisine du restaurant..... | 62 |
| Figure 3.17 : Les caractéristiques de la fenêtre de la chambre du chalet..... | 62 |
| Figure 3.18 : Les caractéristiques de la porte bois extérieur du chalet..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Figure 3.19 : Le plan en 2D du niveau 0 du chalet..... | 63 |
| Figure 3.20 : Le plan en 2D du niveau 1 du chalet..... | 63 |
| Figure 3.21 : Le plan en 2D du restaurant..... | 63 |
| Figure 3.22 : Le zonage thermique du niveau 0 chalet | 64 |
| Figure 3.23 : Le zonage thermique du niveau 1 du chalet..... | 64 |
| Figure 3.24 Le zonage thermique du restaurant..... | 64 |
| Figure 3.25 : La vue en 3D du niveau 0 du chalet..... | 65 |
| Figure 3.26 : La vue en 3D du niveau 1 du chalet..... | 65 |
| Figure 3.26 : La vue en 3D du restaurant..... | 65 |
| Figure 3.27 : Orientation et vue en 3D du chalet avec le toit..... | 66 |
| Figure 3.28 : Orientation et vue en 3D du restaurant avec le toit..... | 66 |
| Figure 3.29 : Scénario d’occupation pour la salle de restauration..... | 67 |
| Figure 3.30 : Scénario d’occupation pour la cuisine..... | 68 |
| Figure 3.31 : Scénario d’occupation pour la chambre du chalet..... | 68 |
| Figure 3.32 : Scénario d’occupation pour le comble du chalet..... | 69 |
| Figure 3.33 : Scenario de puissance dissipée pour la salle de restauration..... | 69 |
| Figure 3.34 : Le scenario de puissance dissipée pour la cuisine..... | 70 |
| Figure 3.35 : Le scenario de puissance dissipée de la chambre de chalet..... | 70 |
| Figure 3.36 : Scenario de puissance dissipée du comble du chalet..... | 71 |
| Figure 3.37 : Le scenario d'occultation de la chambre du chalet..... | 71 |
| Figure 3.38 : Le scenario de ventilation de la salle de restauration..... | 72 |
| Figure 3.39 : Le scenario de ventilation sans consigne de thermostat pour la cuisine | 72 |
| Figure 3.40 : Le scenario de ventilation sans consigne pour la chambre du chalet.... | 73 |
| Figure 3.41 : Le scenario de ventilation sans consigne pour le comble et le sanitaire du chalet..... | 73 |
| Figure 3.42 : Scenario de ventilation pour le vide..... | 74 |
| Figure 3.43 Le scenario de ventilation avec consigne de thermostat..... | 74 |
| Figure 3.44 : Le scenario de température..... | 75 |
| Figure 3.45 : Lancement de la simulation..... | 75 |
| Figure 3.46 : La méthodologie de la simulation..... | 76 |
| Figure 3.47 : La composition de mur extérieure après le renforcement de l'isolation | 77 |

| | |
|---|----|
| Figure 3.48 : La composition de la toiture après le renforcement de l'isolation..... | 77 |
| Figure 3.49 : Création d'une nouvelle fenêtre à double vitrage (fenêtre salle du restaurant)..... | 77 |
| Figure 3.50 : Intégration des brises soleil..... | 77 |
| Figure 3.51 : Intégration de la végétation..... | 78 |
| Figure 3.52 : Composition de la toiture du chalet après le renforcement de l'isolation | 79 |
| Figure 3.53 : Composition de la toiture du chalet après l'intégration du branchage... | 80 |
| Figure 3.54 : Création d'une lucarne..... | 81 |
| Figure 3.55 : Vue en 3D du chalet après l'intégration des lucarnes..... | 81 |
| Figure 3.56 : Scenario de ventilation appliquée à la variante 03 du chalet..... | 81 |
| Figure 3.57 : Définition d'une hauteur sous la dalle de 4m pour le niveau 2 du chalet | 82 |

Chapitre 4: Résultats et discussions

| | |
|--|----|
| Figure 4.1 : Variante1: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant..... | 83 |
| Figure 4.2 : Variante 02 : Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant..... | 84 |
| Figure 4.3 : Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant..... | 85 |
| Figure 4.4 : Variante 04: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant..... | 86 |
| Figure 4.5 : Variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant..... | 87 |
| Figure 4.6 : Variante 01: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant..... | 89 |
| Figure 4.7 : Variante 02 et variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant..... | 90 |
| Figure 4.8 Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant..... | 91 |
| Figure 4.9 : Les besoins en climatisation des différentes variantes du restaurant(en | |

| | |
|--|-----|
| kwh/m ²)..... | 93 |
| Figure 4.10 : Les besoins en chauffage des différentes variantes du restaurant..... | 95 |
| Figure 4.11 : la classe énergétique de la variante 01 et 05 du restaurant..... | 96 |
| Figure 4.12 : Simulation sans consigne de thermostat du restaurant pour la période du 19 au 21 mars 2023..... | 97 |
| Figure 4.13 : Comparaison entre le graphe expérimentale et théorique pour le cas du restaurant..... | 97 |
| Figure 4.14 : Variante 1: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | 98 |
| Figure 4.15 Variante 02: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | 99 |
| Figure 4.16 : Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | |
| Figure 4.17 : Variante 04: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | 100 |
| Figure 4.18 : Variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | 101 |
| Figure 4.19 : Variante 06: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet..... | 102 |
| Figure 4.20 : Variante 01 et variante 04 : Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet..... | 103 |
| Figure 4.21 : Variante 02 et variante 06: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet..... | 104 |
| Figure 4.22 : Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet..... | 105 |
| Figure 4.23 : Variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet..... | 106 |
| Figure 4.24 : Les besoins en climatisation des différentes variantes du chalet..... | 107 |
| Figure 4.25 : Les besoins en chauffage des différentes variantes du chalet..... | 109 |
| Figure 4.26 : la classe énergétique des variantes 01 et 06 du chalet..... | 111 |
| Figure 4.27 : Simulation sans consigne de thermostat de la chambre du chalet pour | 113 |

la période du 19 au 21 mars 2023..... 114

Figure 4.28 : Comparaison entre le graphe expérimentale et théorique pour le cas du chalet..... 114

Liste des tableaux

Chapitre 1 : Bibliographie et état de l'art

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1: La masse volumique apparente du bois varie en fonction de la teneur en humidité et de l'espèce..... | 12 |
| Tableau 1.1 les propriétés des métaux selon le DTR C3-2..... | 17 |

Chapitre 2 : Etude de cas

| | |
|---|----|
| Tableau 2.1 : Classification thermique des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou.... | 29 |
| Tableau 2.2 : Configuration spatiale du restaurant..... | 37 |
| Tableau 2.3 : Les orientations des façades du restaurant..... | 38 |
| Tableau 2.4 : La composition des parois du restaurant..... | 39 |
| Tableau 2.5 : Configuration spatiale du chalet..... | 40 |
| Tableau 2.6 : Orientation des façades du chalet..... | 41 |
| Tableau 2.7 : Compositions des parois du chalet..... | 42 |
| Tableau 2.8 : Calcul des déperditions surfaciques à travers les parois opaques du Restaurant..... | 49 |
| Tableau 2.9 : Calcul du coefficient des portes et des fenêtres du restaurant..... | 50 |
| Tableau 2.10 : Calcul des déperditions surfaciques à travers les parois opaques du chalet..... | 51 |
| Tableau 2.11 : Calcul du coefficient des portes et des fenêtres du chalet..... | 52 |

Chapitre 4: Résultats et discussions

| | |
|---|----|
| Tableau 4.1: les températures minimales et maximales et les écarts avec l'extérieur des zones du restaurant en période estivale..... | 88 |
| Tableau 4.2: les températures minimales et maximales et les écarts avec l'extérieur des zones du restaurant en période hivernale..... | 92 |
| Tableau 4.3 : Simulations estivales avec consigne des différentes variantes du Restaurant..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 4.4 : Simulations hivernales avec consigne des différentes variantes du Restaurant..... | 94 |
| Tableau 4.5 : les besoins annuels des différentes variantes du restaurant..... | 95 |
| Tableau 4.6 : les températures minimales et maximales, les écarts avec l'extérieur et avec le cas initial des différentes variantes du chalet en période estivale..... | 104 |
| Tableau 4.7 : les températures minimales et maximales, les écarts avec l'extérieur et avec le cas initial des différentes variantes du chalet en période hivernale | 108 |
| Tableau 4.8 : Simulations estivales avec consigne des différentes variantes du Chalet..... | 109 |
| Tableau 4.9 : Simulations hivernales avec consigne des différentes variantes du chalet..... | 110 |
| Tableau 4.10 : Les besoins annuels du chalet..... | 112 |

Liste des abréviations:

BA:bords amincis.

BIM:Building Information Modeling

BLC: bois lamellé collé

BTP : bâtiment et travaux publique.

CLT: cross laminated timber.

DHT: Digital-output relative Humidity & Temperature sensor.

DTR : document technique réglementaire.

HD: haute définition

HPE : haute performance énergétique.

ISO: International Organization for Standardization.

MCP : matériaux à changement de phase.

NCT : Negative Température Coefficient

OSB: oriented Strand board.

PVC: polychlorure de vinyle

SD:Secure Digital

STD: simulation thermique dynamique.

TN: tôle nervure.

Nomenclature:

D_{Ti} : les déperditions par transmission d'un volume ($W/°C$).

D_{ref} : les déperditions de références ($W/°C$).

D_s : les déperditions surfaciques à travers les parois ($W/°C$).

D_{li} : les déperditions linéiques (à travers les liaisons) ($W/°C$).

D_{sol} : les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ($W/°C$).

D_{inc} : les déperditions à travers les parois en contact avec locaux non chauffés ($W/°C$).

e : L'épaisseur de la couche de matériau (m).

λ : La conductivité thermique du matériau ($W/mC°$).

K : Coefficient de transmission surfacique ($mC° /W$).

C : chaleur spécifique ($J/kg.C°$).

R : Résistance superficiel de chaque Paroi ($m^2C°/W$).

R_h : L'Humidité relative (%).

N : nord

E : est.

A : la surface (m^2).

K_{vn} : le coefficient k du vitrage nu ($w/m^2.°C$)

r_v : c'est la résistance supplémentaire des voilages éventuels ($r_v=0,025m^2.°C / w$). ($m^2.°C / w$).

r_{id} : c'est la résistance supplémentaire des rideaux éventuels ($r_v=0,030m^2.°C / w$). ($m^2.°C / w$).

r_{occ} : c'est la résistance supplémentaire des occultations. Elle est donnée par la formule suivante :

$$r_{occ}=0,16 + e_{occ}/\lambda_{occ}(m^2.°C/w).$$

e_{occ} : l'épaisseur de l'occultation (m).

λ_{occ} : c'est la conductivité thermique du matériau qui constitue l'occultation ($w/m.°C$).

h_i : coefficients d'échange superficielle intérieure ($W/m^2.°C$).

he : coefficients d'échange superficielle extérieur (W/m².°C).

Introduction générale

Introduction générale

L'habitat semble être l'un des concepts les plus anciens de l'histoire de l'humanité, et a évolué avec cette dernière au fil du temps et des espaces. Initialement, il s'agissait simplement de huttes pour se protéger des aléas climatiques et des animaux sauvages. Mais au fil des époques, il a acquis une dimension psychologique en devenant un lieu d'enracinement, alliant abri et confort.

L'homme a donc subi depuis la nuit des temps l'influence des matériaux, il construisait avec ceux dont il pouvait disposer, d'où l'emploi prépondérant du bois et de la pierre et de la terre.

Le bois partout où il s'offrait, fut le matériau le plus utilisé pour la construction des navires, édifices, et maisons [1]. Cependant dans la méditerranée la pierre l'a supplanté.

Dans cette région, les habitants ont adapté leurs constructions aux matériaux les plus durs disponibles, afin de faire face aux défis climatiques spécifiques de leur environnement. La Kabylie n'en fait pas exception.

En raison de son relief montagneux, la Kabylie est soumise à des variations climatiques importantes tout au long de l'année. Les hivers peuvent être rigoureux, avec des chutes de neige abondantes et des températures froides. Les étés, quant à eux, sont généralement chauds, avec des températures élevées [2].

Les habitants de la Kabylie ont développé des techniques de construction adaptées pour garantir le confort thermique à l'intérieur des habitations. Les constructions en pierre sont particulièrement prisées en raison de leurs propriétés thermiques favorables [3], à savoir l'inertie thermique élevée, ce qui leur permet de stocker la chaleur pendant les journées ensoleillées et de la libérer lentement pendant les nuits fraîches, et la bonne capacité d'isolation thermique, ce qui signifie qu'ils réduisent les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Et cela crée un équilibre thermique naturel à l'intérieur des maisons, aidant à maintenir une température confortable et régulière.

Cependant, au 19^{ème} siècle, l'industrialisation a entraîné d'importantes avancées dans le domaine de la construction. Elle a permis de développer de nouveaux matériaux tels que l'acier et le béton [1] qui est devenu le symbole de l'architecture moderne.

Grâce à sa résistance et à sa capacité à être moulé dans des formes variées, le béton est devenu un matériau de construction essentiel. Mais de nos jours, le développement durable occupe une place centrale dans les débats architecturaux. Dans ce contexte, le béton présente certaines limites, notamment puisqu'il est énergivore. Les habitats tertiaires (comme les bureaux, les commerces et les équipements touristiques), sont aujourd'hui tous construits avec ce matériau, et ils représentent une part significative de la consommation énergétique en Algérie, avec environ 7% de l'énergie totale consommée en 2017[4].

D'un autre côté, le marché des constructions légères en bois et en acier a connu une augmentation significative, [5] ces dernières années. Cette croissance est due aux nombreux avantages qu'offrent ces types de constructions, notamment leur évolutivité et l'utilisation de matériaux écologiques et recyclables.

Mais malgré les avantages nombreux que ces constructions se contentent d'offrir, elles ont une faible inertie thermique [5], ce qui signifie qu'elles ne peuvent pas stocker beaucoup de chaleur [6]. Cela peut entraîner des variations plus importantes de la température intérieure en fonction des conditions extérieures. Par conséquent, pendant les hivers froids, ces constructions peuvent être plus sensibles aux pertes de chaleur, nécessitant ainsi un chauffage plus fréquent pour maintenir une température confortable. De même, pendant les étés chauds, elles peuvent avoir plus de difficultés à maintenir une température intérieure fraîche sans recourir à des systèmes de climatisation.

Ce qui nous pousse à se poser ces questions :

- Est-ce que le bois et l'acier peuvent remplacer la pierre, tout en garantissant des ambiances thermique intérieures confortables ?
- Est-ce que la faible conductivité thermique du bois lui permettra d'assurer un certain confort thermique par rapport à l'acier?

Pour répondre à cette problématique nous y mettons les hypothèses suivantes :

- Une enveloppe en bois ou en acier, en raison de sa faible inertie thermique, réagira de manière plus sensible aux conditions extérieures, ce qui entraînera des fluctuations de température importantes à l'intérieur du bâtiment.

- Le renforcement de l'isolation thermique, la ventilation, l'utilisation des protections solaires peuvent atténuer les variations de température et améliorer l'efficacité énergétique dans les constructions en bois et en acier.

La présente recherche a donc pour objectif d'évaluer le comportement thermique et améliorer l'efficacité énergétique de deux constructions légères, une construction en acier et une construction en bois situées dans une maison d'hôtes eco touristique à BenniYenni en Kabylie.

Donc, notre travail comprendra les chapitres suivants :

Chapitre 1 : Bibliographie et état de l'art.

Le premier chapitre sera divisé en deux parties distinctes. La première partie sera consacrée à bibliographie sur la conception bioclimatique, l'habitat traditionnel kabyle et les constructions légères. Quant à la deuxième partie, elle sera entièrement dédiée à l'examen des études précédentes réalisées dans ce domaine.

Chapitre 2 : Cas d'étude.

Ce chapitre comportera l'identification de nos cas d'étude, commençant par la présentation de la région et du site d'implantation, à la description détaillée des deux constructions étudiées, ainsi que la mise en place d'une étude expérimentale.

Chapitre 3 : Simulation thermique dynamique.

Comprend la présentation du logiciel utilisé pour la simulation, ainsi que, les différentes étapes de la simulation thermique dynamique effectuée et la méthodologie de travail.

Chapitre 4 : résultats et discussion.

Le dernier chapitre se focalisera sur l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus à partir des différentes simulations réalisées dans le chapitre précédent

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale dans laquelle nous présenterons les différents résultats obtenus qui permettront de vérifier nos hypothèses de départ .Voire une mise en perspectives sera également proposée dans le but de s'ouvrir sur d'autres optiques.

Chapitre 1 :
Bibliographie et état de l'art

Introduction :

Traditionnellement, les modes d'architecture dépendaient des usages et des climats ou ils prenaient place [1]. Le critère prépondérant était le matériau qu'on avait sous la main. On retrouve ainsi les constructions en bois, en pierre ou en terre, qui s'offraient en abondance. Cependant l'industrialisation a permis de développer de nouveaux matériaux tels que l'acier.

Le présent chapitre tentera à travers une recherche bibliographique de révéler des généralités, des connaissances déjà acquises sur le bioclimatisme, l'architecture vernaculaire kabyle et les constructions légères, et puis restituer ces notions telles qu'elles sont rapportées par des études précédentes.

1.1 La conception bioclimatique:

« *Cette architecture est basée sur la recherche d'une stratégie de réconciliation entre la forme, la matière et l'énergie* ». [7] (Zard, J-L, 1979.)

1.1.1 Définition de l'architecture bioclimatique:

C'est une technique ou méthode de conception qui a pour objectif d'assurer le confort thermique des habitants d'un bâtiment en tenant compte des particularités du site, afin d'établir une certaine harmonie ou équilibre entre l'environnement, l'habitat et l'occupant.

1.1.2 Principes de l'architecture bioclimatique:**1.1.2.1 L'implantation :**

Le choix du site de construction est une étape primordiale pour la conception bioclimatique. Il influe directement sur les apports solaires qui atteignent l'enveloppe du bâti et donc sur le confort thermique de l'occupant.

Cette étape nécessite une analyse approfondie des caractéristiques du site (nature du sol, relief, végétation...), climat (température, humidité, pluviométrie...) [8] et la prise en considération du contexte urbain, le raccordement au réseau de gaz, électricité, eau ...

1.1.2.2 L'Orientation :

Le sud: le soleil suit un parcours du Sud-Est vers le Sud-Ouest, dont c'est l'orientation la plus intéressante pour installer les grandes parois vitrées, à moins qu'on se protège en été.

L'est et l'ouest: ces deux orientations sont les plus défavorables par rapport aux autres à causes de la possibilité de surchauffe.

Le nord : il est importante de limiter les ouvertures dans cette face, parce qu'elle représente une source de déperditions importante.

1.1.2.3 La morphologie du bâtiment :

La compacité est un paramètre important qui indique le degré d'exposition du bâtiment aux conditions climatiques, elle est déterminée par un coefficient C_f qui est le rapport entre les surfaces de l'enveloppe en contact avec l'extérieur sur le volume habitable [9] : $C_f = \frac{S(m^2)}{V(m^3)}$.

Un coefficient de forme faible indique que la forme est compacte, donc la surface d'échange avec l'extérieur est réduite ce qui diminue aussi les déperditions thermiques.

1.1.2.4 L'organisation des espaces intérieurs :

La distribution des espaces intérieurs ou « le zonage thermique » [8] consiste à organiser les différentes pièces de l'habitat en fonction de l'usage, de manière à ce que les ambiances thermiques correspondent aux activités et aux heures d'utilisation ; par exemple les pièces les moins utilisées seront au nord pour jouer un rôle protecteur vis-à-vis du froid.

1.1.2.5 Le choix des matériaux de construction :

Il faut privilégier l'utilisation des matériaux locaux disponible sur site tels que la pierre, la terre, l'argile et le bois pour leurs caractéristiques thermiques performantes (la conductivité thermique, la chaleur spécifique, l'inertie thermique) d'une part, et pour le faible coût d'extraction et éviter l'utilisation d'un moyen de transport [8] d'autre part.



Figure1.1 : l'utilisation des matériaux locaux dans l'architecture traditionnelle kabyle

Source auteur le 23/03/2023

1.2 Généralités sur l'architecture traditionnelle de Kabylie :

«Le kabyle est essentiellement sédentaire et se construit des habitations fixes, groupées en villages que la nécessité de la défense contre les ennemis permanents, ou même des rivalités de famille , a fait percher comme des nids d'aigle sur les rochers, ou les pitons les plus inaccessibles » [10]

1.2.1 L'habitat traditionnel en Kabylie (axxam) :

C'est un habitat rural, qui s'intègre parfaitement au site et au climat de la montagne, construit à partir de matériaux locaux tels que la pierre, la terre et le bois [11].

Ce terme désigne aussi tous ceux qui habitent cet habitat, c'est-à-dire *tawacult* (la famille), qui est généralement composée de trois générations : les enfants, le père, la mère, la grand-mère et le grand père.



Figure 1.2: axxam à Ait Allaoua
source auteur le 19/03/2023

1.2.1.1 Matériaux et techniques de constructions :

La maison kabyle est construite à base de matériaux locaux biosourcés et géosourcés durables et à hautes performance énergétique.

1.2.1.1.1 Les murs: on distingue deux techniques :

1.2.1.1.1.1 Le mur en pierre :

Celle-ci est extraite du site lui-même lors du terrassement du terrain. Le collage de ces pierres est assuré par un liant qu'on appelle *tixmirt*, constitué à base d'argile, mélangé à de l'eau[3].



Figure1.3 : Mur en pierre
source auteur le 23/03/2023

1.2.1.1.2 Le mur en pisé :

Pour des raisons d'économie ou de difficultés d'acheminement, la pierre peut être remplacée par le pisé, constitué de terre argileuse légèrement mouillée, comprimé dans des moules de bois [12].

1.2.1.1.2 Le toit :

Deux types de toits se présentent en kabylie, le toit en tuile et le toit terrasse :

1.2.1.1.2.1 Le toit en tuile:

Ce type de toitures est privilégié dans les villages près des sommets enneigés, et elles sont construites d'une couche de tuiles d'argile cuite, recouvrant une couche d'isolation thermique faite à base de foin et posée entre les tuiles et les chevrons de bois.

L'ossature porteuse de la toiture (*asalas*, voir figure 1.6) est faite de troncs d'arbres séchés, généralement de pain ou de peuplier, qui sont les plus disponibles dans la région, et qui se caractérisent par une forte rigidité.[3]

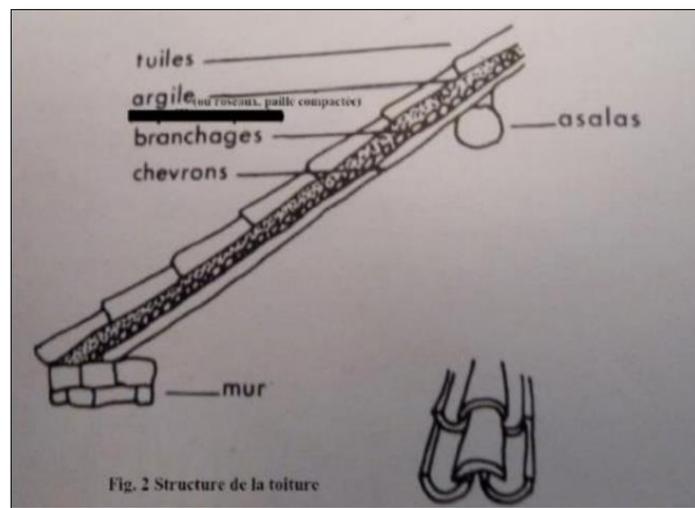


Figure1.4 : La composition d'une toiture en tuile [3].

1.2.1.1.2.2 La toiture terrasse:

Elle est composée d'une terre tassée imperméable à l'eau sur des dalles de liège assurant une isolation thermique. Cette terrasse repose comme la toiture à tuiles sur des poutres en bois, et qui reposent à leurs tours sur les piliers *tiguejda* [12].

1.2.1.1.3 Les revêtements :

Le revêtement utilisé dans maisons dépend des moyens du propriétaire. Il peut se contenter d'un revêtement simple et gratuit, fait à base d'un mélange d'argile ou de terre rouge et de bouse d'animaux séchée au soleil ; comme il peut ajouter une épaisse couche d'argile blanche (*tumlilt*) du sol au plafond. En plus d'isoler la maison thermiquement, ces revêtements luttent contre l'accumulation de l'humidité, et contre les virus et les moisissures et sont facile à l'entretien [10].

1.3 Les constructions légères :

C'est un système constructif qui privilège l'utilisation de matériaux légers tels que le bois et l'acier au lieu des matériaux traditionnels lourds pour composer l'ossature de l'habitat.

Ce système présente plusieurs avantages [13] :

- Construction rapide et facile à transporter.
- Utilisation de matériaux recyclables et réutilisables.
- Construction sèche qui ne nécessite aucun recours à l'eau.
- Légèreté et résistance mécanique élevée.
- Grande évolutivité et flexibilité architecturale.
- Grand potentiel pour la rénovation.
- Préfabrication facile.

Cependant la faible inertie thermique des matériaux légers et leurs conductivités thermiques (la conductivité thermique de l'acier : 52W/m.k [14]) peuvent présenter un inconvénient majeur s'ils ne sont pas pris en considération lors de la conception.

1.3.1 Constructions en bois :

1.3.1.1 Description du matériau :

Le bois est un matériau bio-sourcé issu d'un ensemble de transformation de la matière première qui est l'arbre. Ce dernier est premièrement tronçonné et transformé en grumes qui sont ensuite sciées, déroulées ou tranchées en fonction des utilisations. Les produits ainsi obtenus, subissent à leurs tours d'autres transformations pour donner différents produits finis.

En ce qui concerne le bois destiné à la construction, les trois produits les plus courants sont [15]:

- Le bois massif, obtenu par sciage et séchage des grumes.
- Le bois lamellé-collé BLC, obtenu par superposition et collage de planches en bois massif.
- le bois lamellé croisé (CLT pour « Cross Laminated Timber ») obtenu par superposition de plusieurs couches de planches orientées selon différents angles.

Le bois est un matériau dont environ 50% de son poids sec est constituée d'atomes de carbone. Lors de sa croissance, cette matière organique absorbe et stocke le CO₂ par photosynthèse, et le libère en fin de vie lors de sa combustion et donc le cycle du carbone est considéré comme étant neutre [16].

Contrairement à de nombreux produits de construction, le bois ne dégage, lors de sa combustion, que de l'eau et du CO₂, qui est un gaz non toxique [17].

1.3.1.2 Les propriétés du bois :

1.3.1.2.1 Propriétés physiques:

1.3.1.2.1.1 Masse volumique:[6]

La masse volumique apparente (incluant l'eau) de ce matériau végétal diffère d'une espèce à une autre. Elle dépend de plusieurs paramètres, tels que la teneur en humidité, qui est le rapport exprimé en pourcentage de la masse de l'eau présente dans le bois sur la masse du bois anhydre (sec),

Le Tableau 1.1 montre que la masse volumique apparente du bois augmente avec l'augmentation de la teneur en humidité. Il est très léger à l'état sec.

Tableau2.1: La masse volumique apparente du bois varie en fonction de la teneur en humidité et de l'espèce [6]

| Type de l'espèce | La teneur en humidité (%) | Masse volumique apparente (kg/m ³) |
|------------------|---------------------------|--|
| Feuillus | 0 | 650 |
| | 20 | 810 |
| | 50 | 1300 |
| Résineux | 0 | 450 |
| | 20 | 560 |
| | 50 | 900 |

1.3.1.2.2 Propriétés thermiques :

1.3.1.2.2.1 La conductivité thermique λ (W/m.k) :

C'est la quantité de chaleur qui se propage à travers le matériau par unité de temps, de surface et de différence de température [6]. La conductivité thermique du bois dépend de l'espèce utilisée [18] mais sa valeur est largement inférieure à celles de la plupart des matériaux de construction utilisés dans les structures. Elle est environ 8 fois plus faible que celles du béton et 230 fois plus faible que celle de l'acier.

1.3.1.2.2.2 La résistance thermique R (m².°C/W) : [6]

La figure 1.7 compare la résistance thermique entre le bois résineux, le béton et l'acier. Les résultats montrent que le bois possède une résistance thermique 500 fois plus grande que celle de l'acier et sept fois plus grande celle du béton. Donc on peut déduire qu'un immeuble construit en bois demandera plus d'énergie pour le chauffer qu'un habitat construit en béton ou en acier.

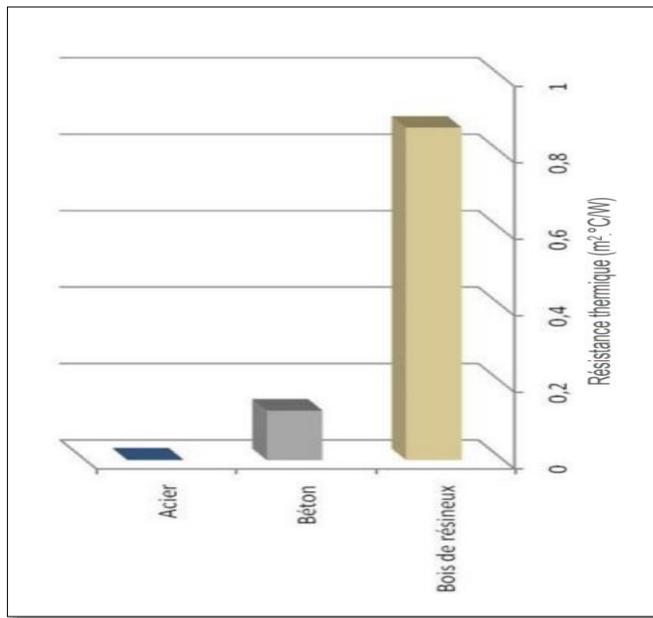


Figure 1.5 : Comparaison de la résistance thermique de 100 mm d'épaisseur entre le bois résineux, le béton et l'acier [6]

1.3.1.2.2.3 L'inertie thermique (J/kg) : [6]

C'est la capacité d'un matériau à stocker la chaleur. Un bâtiment à forte inertie thermique va stocker la chaleur du jour et la restituer la nuit pour maintenir une température moyenne et assurer une ambiance climatique confortable pour ses occupants.

L'inertie thermique massique du bois est trois fois plus grande que celle du béton (2386 à 2721 J/kg pour le bois, 879 J/kg pour le béton, à 20°C).

1.3.1.2.2.4 La chaleur spécifique C(J/kg.k): [18]

C'est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température d'un kelvin. On peut citer quelques valeurs pour le matériau bois :

- **L'isolant fibre de bois** : 1100 J/kg.K.
- **Le CLT en épicéa** : 1500 J/kg.K.
- **Les bois massifs plus denses** : 2500 J/kg.K.

La chaleur spécifique du bois dépend de l'humidité, lorsqu'il se remplit d'eau, l'air sec est remplacé par l'eau dont la capacité thermique est plus grande ($C = 4180 \text{ J/(kg.K)}$), donc la capacité thermique du bois augmente.

1.3.1.3 L'utilisation du bois dans la construction :

L'utilisation du bois dans la construction est privilégiée pour les nombreux avantages écologiques et techniques qu'il peut présenter : Ses performances thermiques, sa rigidité et facilite de mise en œuvre.

1.3.1.3.1 Les structures en bois :[17]

Le bois peut parfaitement être exploité comme matériau de structure selon trois méthodes :

1.3.1.3.1.1 Habitat à ossature bois :

C'est un habitat dont le squelette est construit de membrures en bois entre lesquelles s'insère une isolation thermique et acoustique. Cette structure peut recevoir différents types de revêtements comme le bardage en bois et le bardage en PVC, dans le premier cas les murs seront composés de différentes couches de bois, de panneaux de bois et d'isolant selon les constructeurs.

1.3.1.3.1.2 Habitat en bois massif empilé :

Cet habitat est souvent appelé chalet, il est constitué comme le nom l'indique par empilement horizontal de longs éléments de bois massifs (madriers, rondins) pour monter le mur.

1.3.1.3.1.3 Le bâtiment en panneaux de bois contrecollés :

C'est un habitat avec une ossature en bois sur lesquels sont fixés des panneaux constitués de couches de planches de bois contrecollés.

Actuellement, l'utilisation des panneaux structuraux de CLT dans la construction connaît un grand essor. Ils possèdent une bonne stabilité mécanique grâce à l'empilement de 3 planches de bois, ce qui leur permet de construire des bâtiments à plusieurs étages avec le bois [18].

1.3.1.3.2 Les finitions en bois :

1.3.1.3.2.1 Les finitions extérieures : [17]

Le bois peut être utilisé comme finition extérieure en bardeau ou tavaillons. Ce sont des planchettes de bois refendu dans le fil ayant 15 à 20 centimètres de largeur pour 30 à 40 cm de longueur et fixées à l'aide de clous sur la volige.



Figure1.6 : Tavaillon de bois [17]

1.3.1.3.2 Les finitions intérieures :[17]

Au passé, le bois était utilisé dans les finitions intérieures comme le plancher pour sa simplicité de mise en œuvre. Mais de nos jours, il est choisi pour son aspect esthétique, il est utilisé en lambris ou en parquet et escaliers.



**Figure1.7 : Finitions intérieures en bois
source auteur le 22/02/2023.**

1.3.1.3.3 Les menuiseries en bois : [17]

Le bois était le matériau consacré pour la construction des portes, fenêtres, ou cadres des ouvertures vitrées.

Son utilisation est aujourd'hui en concurrence par de nouveaux matériaux comme le plastique, l'aluminium, etc.



Figure 1.8 : porte en bois d'une maison traditionnelle kabyle source auteur le 23/03/2023

1.3.2 Les constructions en acier :

1.3.2.1 Description du matériau :

L'acier est un matériau métallique classé dans la catégorie des alliages ferreux, il se compose de fer, une certaine quantité de carbone et d'autres éléments chimiques (nickel, chrome, etc.).[15]

L'utilisation de l'acier pour Les bardages et toitures extérieurs est intéressante, grâce aux multiples avantages qu'il représente : sa résistance à la corrosion et donc durée de vie plus longue, faible entretien, protection élevée contre les fuites ou infiltrations d'air et les pertes de chaleur, et le plus important c'est que c'est un matériau recyclable.

1.3.2.2 Les propriétés de l'acier :

1.3.2.2.1 Propriétés thermiques et physiques:

Selon le document technique réglementaire (DTR C3-2) l'acier possède une conductivité thermique de 52 W/m°C et une chaleur spécifique de 468 (J/Kg°C). Quant à sa masse volumique, elle est de $\rho = 7780 \text{ kg/m}^3$.

Tableau 1.3 : les propriétés des métaux selon le DTR C3-2

| | Masse volumique (kg/m ³) | Conductivité thermique (W/m°C) | Capacité thermique (J/Kg°C) |
|-----------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Métaux | | | |
| Fer pur..... | 7870 | 72 | 468 |
| Acier | 7780 | 52 | 468 |
| Fonte | 7500 | 56 | 468 |
| Aluminium | 2700 | 230 | 936 |
| Cuivre..... | 8930 | 380 | 432 |
| Plomb..... | 11340 | 35 | 468 |
| Laiton..... | 8400 | 110 | 468 |

1.3.2.3 L'utilisation de l'acier dans la construction :

Dans le domaine du BTP(bâtiment et travaux publics), l'acier est utilisé presque partout, des fondations (réalisées en béton armé) à l'équipement(tuyauterie) et à la décoration.

1.3.2.3.1 L'acier pour les produits longs : [19]

L'acier est utilisé pour la fabrication des poutrelles laminées, palplanches, rond à béton...etc. Cependant son usage courant est la charpente métallique.

Elle correspond à l'ossature principale du bâtiment et sert de support de couverture (poutre, poteaux et toiture). Elle était réservée toutefois aux habitats industriels et agricoles, mais actuellement elle s'implante aussi dans les habitats individuels.



Figure 1.9: maison à ossature métallique en acier source auteur le 10/01/2023

1.3.2.3.2 L'acier pour les produits plats :

Les principales utilisations des produits plats en acier dans la construction sont :

1.3.2.3.2.1 Les planchers:[19]

Les bacs acier peuvent être combinés avec une dalle en béton pour former un bac ou un plancher collaborant.

1.3.2.3.2.2 Les façades :

Pour les hangars, les entrepôts, les garages mais aussi pour les maisons, ce matériau est largement employé en façade soit en bardage simple peau ou double peau :

1.3.2.3.2.2.1 Bardage simple peau :[20]

C'est une paroi composée généralement de profils nervurés en acier posés horizontalement ou verticalement et fixés sur l'ossature de l'habitat constituant une façade.



**Figure 1.10 : Restaurant métallique à bardage simple peau
source auteur le 19/03/2023**

1.3.2.3.2.2 Bardage double peau : [20]

Il est composé d'un plateau en bac acier fixé sur la structure porteuse, d'un isolant, le tout recouvert d'un parement extérieur qui est des plaques nervurées, posé horizontalement ou verticalement. Ce type de bardage présente de meilleures performances énergétiques comparant au bardage simple.

1.3.2.3.2.3 La couverture : [19]

Les bacs acier ou la tôle galvanisée sont largement employés pour la couverture et la toiture des habitats (couverture sèche ou un support d'étanchéité). Et pour des performances énergétiques meilleures, on peut mettre en œuvre une toiture en panneau sandwich qui va jouer à la fois le rôle de la couverture et d'isolation.

1.4 Etat de l'art :

Articles consultés:

En 2017: 'Un abri auto-construit en bois et en panneaux de liège aggloméré pour une utilisation temporaire dans les zones de climat méditerranéen.' [21]

Par: Francesco Barreca*, Viviana Tirella.

Cette étude a pour objectif la création d'un habitat écologique en bois et en panneaux de liège aggloméré qui peut être utilisé comme abri temporaire ou pour l'écotourisme, et vérifier ses performances thermiques.

Méthodologie:

Ils ont construit un habitat en charpente en bois, et des murs et toiture en panneaux multicouches de 19 cm d'épaisseur et qui sont composés de 2 couches de liège aggloméré, et un panneau d'OSB. Et ils ont mesuré les températures et d'autres conditions climatiques intérieures à l'aide d'un analyseur microclimat "HD32. 3" et pendant les mois de Février Mars, Avril, Juillet.

Ils ont utilisé les logiciels Design Builder et Energy plus pour analyser le comportement thermique de cet abri, et les résultats obtenus sont comparés avec ceux de deux autres habitats qui ont le même volume, l'un est construit en brique et blocs (29,4 cm) et l'autre en métal (6,9cm).

Résultats :

- La simulation dynamique et la comparaison avec les habitats en métal et en brique ont prouvé que l'habitat en bois a de meilleures performances durant toute l'année.
- Durant la période froide qui s'étale d'octobre à mars, la température à l'intérieur de l'abri métallique était la plus proche de la température extérieure, suivi par la température de l'habitat en brique. La température de l'abri en bois était la plus élevée (De 6°C à l'extérieur à 16°C à l'intérieur de l'abri en bois), et durant la période chaude ce dernier était le plus froid (quand il faisait 29°C à l'extérieur, la température de l'abri métallique était 30°C, alors que celle de l'abri en bois était 26°C).

En 2018 : Etude expérimentale du comportement thermique d'un local avec enveloppe en bois 'Iroko' dans la ville de Douala au Cameroun. Réalisé au Cameroun [22].

Par : ChugouaNjamen et al.

L'objectif de ce travail, est d'étudier expérimentalement le comportement thermique d'un local construit en bois d'Iroko à Douala, qui est une région camerounaise.

Méthodologie:

Pour atteindre cet objectif, ils ont effectué une série de mesures de température sur une période de trois mois, en utilisant un thermo hygromètre Log 32TH d'une part et d'un système d'acquisition de données utilisant des capteurs DTH22 et une carte Arduino d'autre part.

Les données recueillies sont ensuite traitées dans Matlab 8.1.

Résultats :

- Les résultats obtenus montrent un décalage entre les conditions extérieures et intérieures de l'enveloppe en bois de l'essence Iroko, de l'ordre 3°C pour une diminution du taux d'humidité relative de 15 à 20 %
- La comparaison entre les conditions intérieures de ce local et celles d'un autre local construit en parpaing montrent que les ambiances qui règnent dans le local construit en bois sont plus favorables.

En 2017: 'L'architecture vernaculaire une solution durable : Cas de la maison traditionnelle kabyle (nord algérien)'.[3]

Par : TaousMessaoudi.

L'objectif de ce travail est de comprendre le principe de l'architecture vernaculaire kabyle qui lui permet d'avoir une haute performance énergétique, et sa contribution au respect de l'environnement.

Pour répondre à cet objectif Taous Messaoudi a tout d'abord étudié la constitution d'une maison kabyle située au village d'Ait Râa à Bejaia: sa configuration spatiale, le mode de construction, les propriétés thermiques des différents matériaux utilisées. Ensuite elle a effectué une enquête sociale par interview avec les habitants du village visant à mieux comprendre leur mode de vie écologique que ce soit dans le village ou dans la maison.

Cette recherche a permis de constater que l'architecture vernaculaire kabyle du village d'Ait Raâ répond parfaitement aux principes du bioclimatisme, commençant par l'orientation des maisons vers le sud qui optimise la captation des rayons solaires, à l'utilisation de matériaux locaux, à forte inertie thermique et à faible conductivité (entre 0.052W/mK à 0.84W/mK) pour la construction. Le tout combiné à un mode de vie écologique.

En 2021 : 'Opportunités de l'ossature légère en acier pour le confort thermique dans les climats du sud de l'Europe: Suivi à long terme et comparaison avec la construction lourde.'[23]

Présenté par : Eduardo Roque, Romeu Vicente , Ricardo M.S.F. Almeida.

Ce travail vise à comparer les performances énergétiques de deux systèmes constructifs en considérant une occupation résidentielle intermittente: une construction légère en acier, et une construction en brique creuse, dans un climat méditerranéen.

A cette fin, une analyse expérimentale de deux cellules d'essai identiques a été menée, pendant une année complète au Portugal qui est caractérisé par un climat méditerranéen tempéré.

Les deux cellules sont différentes juste dans le système constructif, une est en acier et l'autre en maçonnerie de brique creuse. Et elles sont équipées de capteurs de température d'air, et de lampes chauffantes placées à mi-distance entre le plafond et le sol permettant de simuler les gains internes dus à l'occupation et aux appareils. L'ampleur et la période des gains internes sont simulés conformément à la norme ISO 13790.

Résultat :

La récapitulation des résultats:

- La cellule construite en acier avait un comportement dépendant des conditions extérieures (elle a représenté des fluctuations de températures importantes) alors que le comportement de la cellule en brique creuse était plus stable.
- la cellule en acier a présenté une réaction plus rapide vis-à-vis des gains intérieurs, qui s'est traduit par une augmentation de la température intérieure, et ce comportement

s'avère bénéfique en hivers où la cellule en acier était plus performante durant les périodes d'occupation.

- L'analyse du confort thermique a montré que pendant la saison estivale (avril à septembre) les deux cellules ont présenté un environnement intérieur confortable. Alors qu'en hivers on a enregistré un pourcentage d'inconfort élevé dans les deux cellules allant de 42%(octobre) à 100%(de novembre à janvier) pour la cellule en acier et de 51%(octobre) à 100%(de novembre a mars)pour la cellule en brique creuse.

Mémoires consultés:

En 2017: ' Etude des performances thermiques de la maison solaire de l'udes'. [24]

Présenté par : Moulai Imene, à l'université de blida1.

Ce travail présente une analyse du comportement thermique d'une maison solaire réalisée au sein de l'unité de développement des équipements solaire a Bou Ismail à Tipaza.

Cette maison considérée passive d'une surface habitable de 57m² est construite en panneaux sandwich et en respectant les principes de la conception bioclimatique (l'orientation des fenêtres, l'isolation, la minimisation des apports internes, la distribution intérieure.)

Pour analyser le comportement thermique de cette maison des mesures de températures et de l'éclaircement ont été prises durant une semaine du printemps, dans la chambre le séjour et la cuisine, et à l'aide de thermocouple de type k et d'un pyranometre, ensuite elle a réalisé une simulation thermique de la maison dans le cas réel et après l'amélioration à l'aide du logiciel TRNSYS.

Les résultats :

- La température intérieure mesurée durant la semaine du printemps oscille entre 18°C et 30°C alors que la température ambiante était de 17°Cà 23°C.
- L'utilisation d'un double vitrage et l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant a diminué la température intérieure de la maison de l'ordre de 2°C.

En 2022:'Impact des transformations constructives sur le confort thermique (cas d'une maison kabyle traditionnelle).' [12]

Présenté par : Hamaz Amghidh et Taharbouchet Yacine, à l'université de Blida 1.

Cette étude a pour objectif d'évaluer le confort thermique et déterminer les besoins en chauffage et climatisation d'une maison traditionnelle kabyle située au village de Boumansour à Azazga avant et après la rénovation de sa toiture.

Afin d'atteindre cet objectif, une étude expérimentale qui a permis d'identifier les caractéristiques thermo physiques des éléments constructifs de La maison traditionnelle a été menée, suivie d'une simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel pléiades qui a permis d'évaluer thermiquement le cas étudié avant et après les transformations constructives.

Les résultats obtenus ont montré que la rénovation de la toiture de la maison kabyle a provoqué une augmentation des besoins en chauffage de 169 kWh/m², et les besoins en climatisations de 90 kWh/m², ce qui renforce l'hypothèse soulevée dans l'introduction générale qui est : l'utilisation des matériaux de construction traditionnels peut améliorer le confort thermique dans habitat.

En 2022 : 'Etude du comportement thermique d'une habitation dans des différentes régions en Algérie « Bechar Blida et Setif ».'[25]

Présenté par : Benlarbi Dyhia et Belfaci Afraa, à l'université de Blida 1.

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer et de comparer les performances énergétiques d'un habitat R+1 de type HPE, dans trois régions climatiques différentes de l'Algérie : Blida, Bechar et Setif.

En recourant au document technique réglementaire algérien, Ils ont infirmé la conformité de cette maison aux exigences réglementaires dans les trois régions d'étude, ensuite ils ont effectué en utilisant le logiciel pléiades deux simulations thermiques dynamique : estivale et hivernale.

Les résultats obtenus de la simulation thermique dynamique du cas réel leurs ont permis de constater des besoins en climatisations importants par rapport aux besoins en chauffage dans les trois différentes régions notamment à Bechar.

L'étude paramétrique a montré une baisse significative des besoins en climatisation dans les trois régions après l'intégration du polystyrène expansé et l'application d'une ventilation nocturne, allant de 29135 KWh à 68KWh pour le site de Bechar qui le plus inconfort.

Conclusion :

Ce premier chapitre a présenté une recherche bibliographique sur notre thématique d'étude, et des recherches précédentes qui ont été réalisés dans le monde, et qui nous ont permis d'approfondir nos connaissances et tirer des recommandations et des conclusions adéquates pour notre étude.

Chapitre 2 :
Le cas d'étude

2 Introduction:

Chercher à identifier les ambiances des deux cas d'étude, et donc leurs comportements vis-à-vis les conditions extérieures, nécessite avant tout une connaissance du contexte climatique de la région étudiée, et les compositions des différentes parois qui constitue ces espaces.

Ce deuxième chapitre vise donc à répondre à ces objectifs. Dans la première partie, nous nous intéresserons à la région étudiée qui est la région de Beni Yenni à TiziOuzou, ensuite nous allons présenter nos cas d'étude dans une deuxième partie, et la troisième section sera tournée vers l'étude expérimentale.

2.1 Présentation de la région étudiée :

La ville de Tizi Ouzou (col des genêts en Kabyle) est située dans la partie centrale de l'atlas tellien au Nord de l'Algérie , à 100 Km à l'est de la capitale d'Alger, à une latitude de $36^{\circ}42' N$, longitude de $04^{\circ}03' E$ et une altitude de 188m au dessus du niveau de la mer. [12]

Elle s'étend sur une superficie de 2992,9 m², dominée par des ensembles montagneux, et elle est bordée au nord par la mer méditerranée, à l'est par la wilaya de Bejaia, à l'ouest par la wilaya de Boumerdes et au sud par la wilaya de Bouira. Elle est composée de soixante-sept communes et vingt-un daïra. [26]

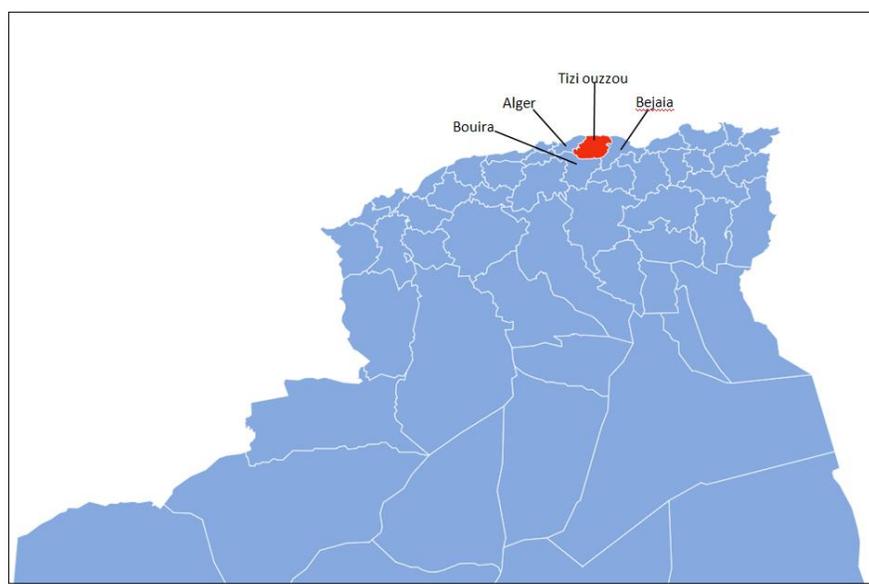


Figure 2.1 : carte de situation de la wilaya de Tizi Ouzou[27]

2.1.1 Le climat de la région étudiée :

Le climat de la région de Tizi Ouzou est de type méditerranéen tempéré à été chaud et sec (Csa) et à hiver frais et pluvieux selon la classification de Köppen-Geiger. Dans les massifs montagneux qui entourent la ville, il peut parfois neiger en hiver. En été, la chaleur peut être très élevée dans les vallées et les plateaux intérieurs à cause de l'exposition aux vents du sud. [2]

2.1.2 Hydrographie:

La Kabylie dispose d'un réseau hydrographique très dense et recèle des potentialités hydriques considérables, fournies essentiellement par la forte pluviométrie (varie de 600 à 1000mm par an) et la fonte de neige du massif du Djurdjura (avec une altitude de plus de 2000 m)[28]. Ce qui fait de cette région un réservoir appréciable d'eau.

Du point de vue hydrographique, cette région est découpée en un ensemble de sous bassins versants, dont le plus important est le sous bassin de Sebaou qui recueille à travers ses affluents l'essentiel des eaux en provenance du Djurdjura et qui draine la presque totalité de la wilaya de Tizi-Ouzou et la partie Est de la wilaya de Boumerdès.

Un barrage de Taksebt , avec un volume régularisé de 181hm³/an, est mis en service en novembre 2001 à Oued Aissi et il est destiné à l'alimentation en eau potable des wilayas de Tizi-Ouzou, Boumerdes,et une partie d'Alger . Le volume alloué à la wilaya de Tizi-Ouzou est de 65hm³/par an recouvrant 38 centres urbains, et 750 villages répartis sur l'axe Azazga, Tizi-Ouzou, Draa Ben Kheda, Tadmait et les communes du flanc nord de la wilaya[29]. Il est alimenté par les eaux de pluie et de fonte du manteau nival du Djurdjura.

2.1.3 Relief :

La Wilaya de Tizi-Ouzou présente un relief montagneux fortement accidenté qui est l'une des caractéristiques principales de la région d'étude. Il s'étale sur une superficie de 2 994 km² dont 82% se situe sur une pente supérieure à 12% contre seulement 18% de la superficie totale occupée par des plaines dont la pente n'excède pas 3% [30].

Elle comprend : une chaîne côtière située de la rive droite de Sebaou jusqu'à la mer ,composée de la totalité des communes relevant des dairas de Tizirt, Makouda, Ouagnoun, Azeffoun, et Azazga, ainsi que la commune de Sidi-Naamane rattachée a la daïra de Draa-Ben-Khedda (21

communes au total) ;et un massif central situé entre l’Oued Sebaou et la dépression de Drâa El Mizan Ouadhias. La ville est construite à une altitude de 200 m. [31]



Figure 2.2 : Montagne d'Ait Ouabane
Source auteur



Figure2.3 : Montagne d'Ait Allaoua
Source auteur

2.1.4 Classification thermique de la ville deTizi Ouzou :

Selon le document technique réglementaire (D.T.R C 3-2), huit sur les soixante-sept communes qui constituent la wilaya de Tizi Ouzou sont de la zone climatique A, qui représente le rivage de la mer et le versant Nord de la chaine côtière.

Tableau 2.1 : Classification thermique des communes de la wilaya de Tizi-Ouzo

| Wilaya | Communes | Zone climatique |
|-----------------|--|-----------------|
| TiziOuzou 15 | Groupe de communes 1: Aghrib- Ait Chaffa – Akerrou-Azefoun-Iflissen-Mizrana-Tigzirt - Zekri | A |
| | Groupe de communes 2: Toutes les autres communes différentes de celles du groupe 1 | B |

2.2 Présentation du cas d'étude :

2.2.1 Présentation du site :

Ait Allaoua est un village de la Kabylie, situé à une dizaine de kilomètres du chef-lieu de la commune d'Iboudraren, daïra d' Beni Yenni, et à 55 Km au sud-est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou et niché à plus de 1000m d'altitude.

C'est le hameau le moins peuplé des neuf villages qui constituent la commune d'Iboudraren, avec seulement 105 habitants, contre plus de 500 habitants avant la décennie noire, et qui ont tous abandonné leurs maisons à cause de l'insécurité et du terrorisme qui sévissait cette région fortement isolée [32].



Figure 2.4 : Village d Ait Allaoua ,

Source auteur le 22 fevrier 2023

2.2.1.1 Les données climatiques de la région:

2.2.1.1.1 Le climat :

La région est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec 2 saison distinctes : un été chaud et sec d'une durée moyenne de 4 mois (de Juin à Septembre) ; un hiver froid et pluvieux (Octobre à Avril).

La pluviométrie est assez élevée avec des précipitations généralement toujours supérieures à 1000 mm. La neige recouvre la région assez régulièrement, avec une épaisseur qui varie de quelques centimètres à plus d'un 1,50m. [33]

Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de Tizi Ouzou, on interprète Les données des différents paramètres climatiques (température, rayonnement, précipitations...), obtenus à partir de Métronom version 8.02.

2.2.1.1.1 Les températures mensuelles :

La région est caractérisée par des températures élevées en été qui atteignent 40°C durant le mois de Juillet qui est le mois le plus chaud. En hivers les températures peuvent baisser jusqu'à -2°C Durant le mois de Janvier et Février.

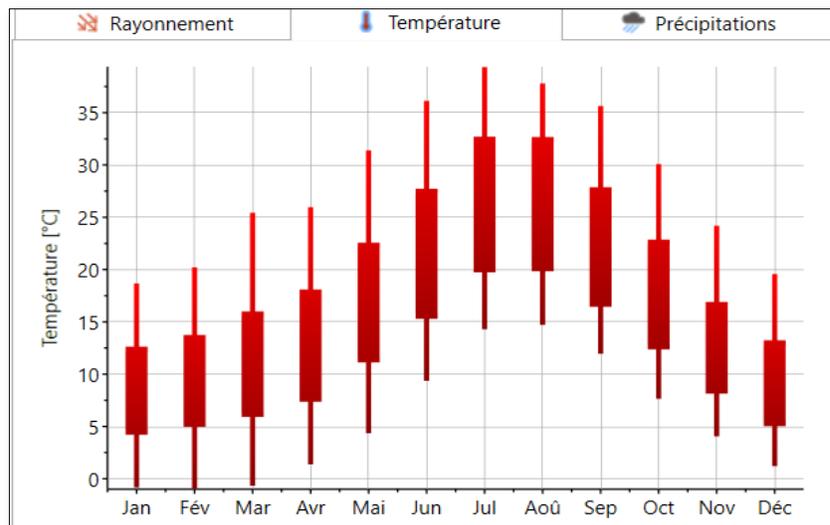


Figure 2.5 : Températures mensuelles de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.2 Les températures journalières :

La figure des températures journalières de la région d'Ait Allaoua (voir figure 2.6) montre des fluctuations importantes de températures qui peuvent atteindre 15°C.

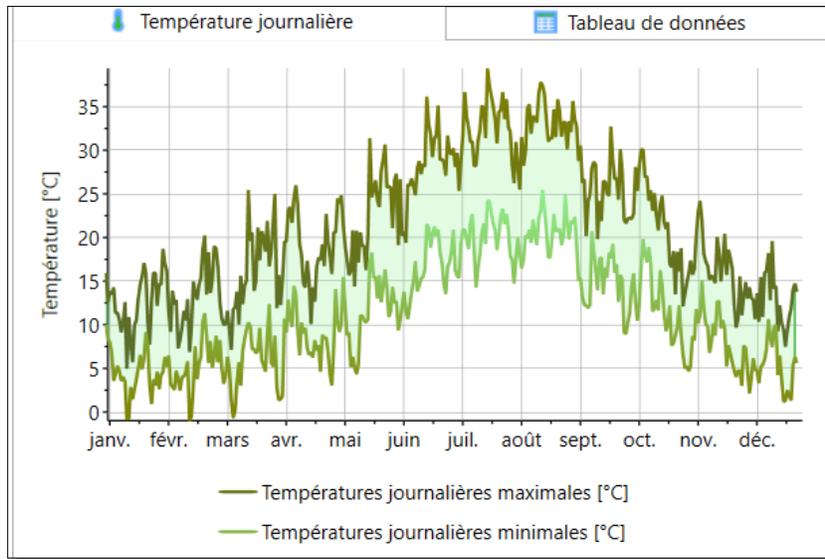


Figure 2.6 : Les températures journalières de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.3 Le rayonnement :

Le mois de Juillet est le mois ayant le rayonnement global le plus important avec une valeur de 225 KWh/m². Quant au rayonnement diffus il est plus important au mois de Mai avec 80 KWh/m².

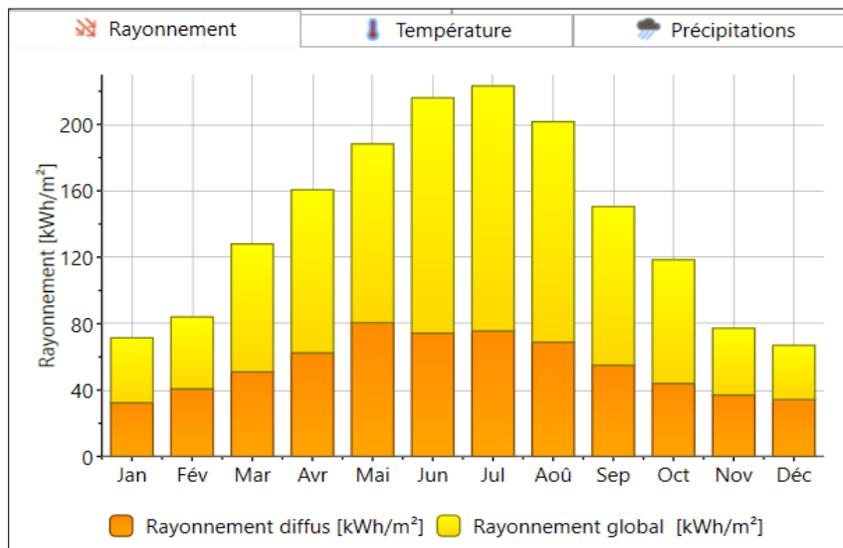


Figure 2.7 : Le rayonnement global et diffus de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.4 Le rayonnement global journalier :

Le rayonnement global journalier de cette région atteint un maximum de 4,75 KWh/m² en hivers, et 8,75 KWh/m² en été.

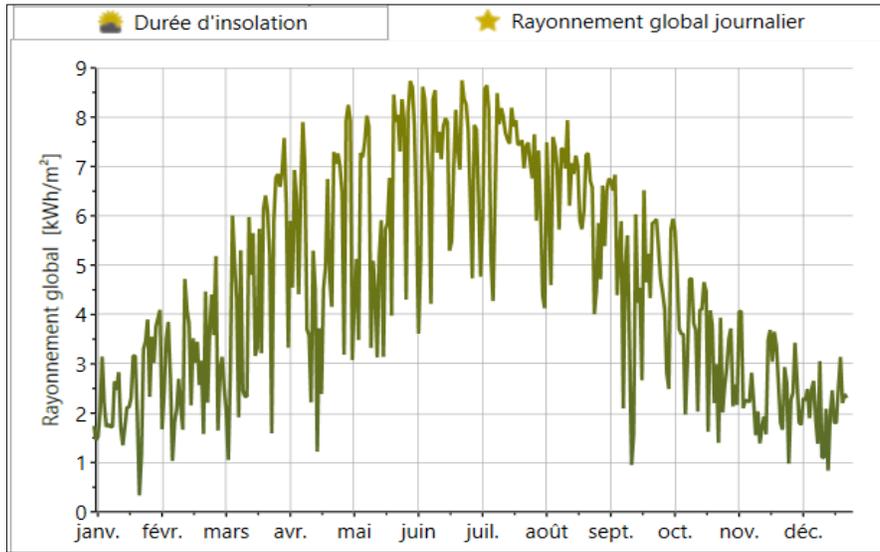


Figure 2.8 : Le rayonnement global journalier de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.5 Les précipitations :

Les précipitations dans cette région atteignent un maximum de 110 mm durant le mois de Décembre.

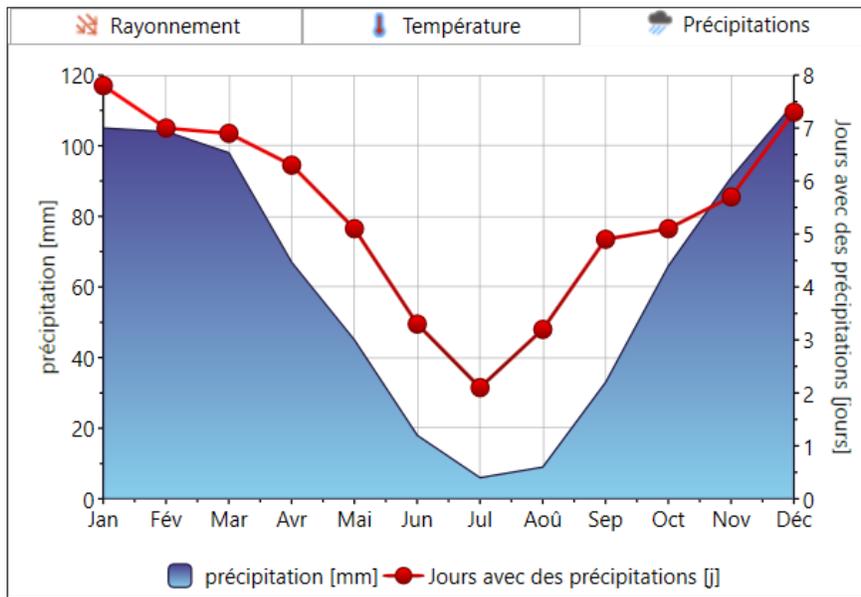


Figure 2.9 : Les précipitations de la région de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.6 La durée d'insolation :

La région est caractérisée par une durée d'insolation importante. La valeur maximale est enregistrée au mois de Juillet, et la valeur minimale au mois de Janvier et Décembre.

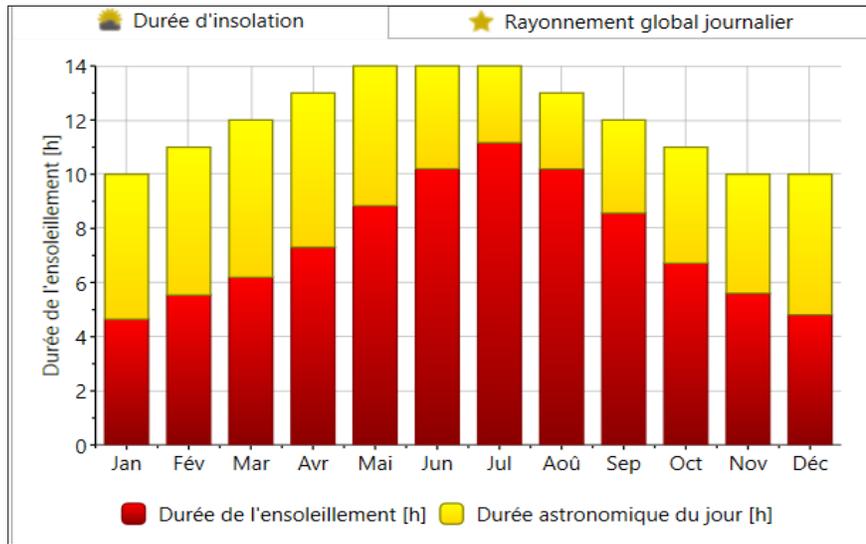


Figure 2.10 : La durée d'insolation de la région d'Ait Allaoua

2.2.1.1.2 Hydrographie :

Les fortes précipitations et la fonte de neige alimentent les différentes ressources en eau, allant de petits ruisseaux (Ighzer Lahouana, Ighzer Bounsef, Ighzer Nassaakâ,...) aux oueds (Assif El Hammam et Thassifh Ath Boudrare) qui sont les principaux affluents du barrage Taksebt [34]. Cette eau est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.

La forêt d'Ait Allaoua comporte aussi Assif Thissa, qui est le principal cours d'eau de la région. Il est composé de plusieurs sources très importantes et avec un fort débit d'écoulement, et qui alimente l'usine hydroélectrique d'Assif el hammam [35].



Figure 2.11 : Ruisseau a Ait Allaoua
source auteur le 19/03/2023

2.2.2 Critères du choix :

- Ait Allaoua est une région touristique mais malheureusement méconnue. En plus des ce beau village miniature, sa forêt qui s'étale sur une surface de 100ha [33] fait partie du Parc National du Djurjura, et présente une richesse floristique et faunistique, elle abrite plusieurs espèces végétales (Chêne vert et le cerisier) et animales (Le singe Magot; le chacal, Porc épic et l'Hérisson.)
- Le bois est un matériau écologique, comportant des propriétés qui le démarquent des matériaux classiques utilisés dans la construction en Algérie (la brique, le béton...) tels que les bonnes performances thermiques et sismiques, la facilité de la mise en œuvre et l'esthétisme.
- Le restaurant possède un style distinctif qui évoque celui d'une serre ou véranda, lui conférant une atmosphère prestigieuse. Sa structure est construite en métal, un matériau réputé pour sa résistance et sa solidité. Cependant, étant un conducteur thermique, il se refroidit durant les hivers et absorbe la chaleur durant les étés. Par conséquent, il est pertinent d'analyser son comportement thermique.

2.2.3 Description du restaurant et du chalet étudiés :

Cairn Mountain, est une maison d'hôtes et ferme pédagogique éco-touristique, constituée de 2 chalets, 4 grandes tentes en toiles et un restaurant en métal ; et qui se situe à Beni Yenni, à une altitude de 1100m.



Figure 2.12 : la tente en toile, le restaurant, les deux chalet de Cairn mountain, [36]

Dans notre étude nous nous intéressons au chalet, construit en 2019 (d’après Mme Ould Hamouda Yasmine, la directrice générale de Cairn Mountain Expérience) en bois rouge, et au restaurant métallique.



Figure 2.13 : chalet en bois



Figure 2.14 : restaurant métallique

2.2.3.1 Description du restaurant :

2.2.3.1.1 Configuration spatiale :

Tableau 2.2 : Configuration spatiale du restaurant

| Espace | Orientation | Surface (m ²) | Fonction | Forme |
|------------|----------------|---------------------------|------------------------------|--|
| La salle | Est-nord-ouest | 24,61m ² | Salle à manger du restaurant |  |
| La cuisine | Est-sud-ouest | 9,84 m ² | On cuisine y |  |

2.2.3.1.2 Les orientations des façades du restaurant :

Tableau 2.3 : Les orientations des façades du restaurant.

| Façade | Orientation | Dimensions de la façade | Ouverture | Dimensions des ouvertures |
|---|-------------|---|--|--|
|  <p>Vue de gauche</p> | Est | -la hauteur du mur : 260cm. -Longueur du mur extérieur 700cm. -Longueur du mur intérieur 687,4cm. | Cette façade contient 4 fenêtres, Et une porte qui est la porte extérieure de la cuisine | F :152(cm)*80(c m) Simple vitrage P :222(cm)*85(c m) |
|  <p>Vue de face</p> | Nord | -La hauteur du mur : 260cm. -Longueur du mur extérieur 520cm. -Longueur du mur intérieur 507,4cm. | Cette façade nord contient 5 fenêtres, et une seule porte qui est la porte d'entrée | F :152(cm)*80(c m) Simple vitrage P :240(cm)*90(c m) |
|  <p>Vue de derrière</p> | Sud | -La hauteur du mur : 260cm. -Longueur du mur extérieur 520cm. -Longueur du mur intérieur 507,4cm. | La façade sud contient une seule ouverture qui est La fenêtre extérieure de la cuisine. | F :88(cm)*88(cm) Simple vitrage |
|  <p>Vue de droite</p> | ouest | -La hauteur du mur : 260cm. -Longueur du mur extérieur 700cm. -Longueur du mur intérieur 687,4cm. | Cette façade ouest contient 5 fenêtres. | F :152(cm)*80(c m) Simple vitrage |

2.2.3.1.3 La composition des différentes parois :

Tableau 2.4 : La composition des parois du restaurant.

| Enveloppe | Image | Composition | | |
|-----------------------------------|---|--------------|----------------|---------------------------------|
| | | matériau | Epaisseur (cm) | Conductivité thermique (W/m°C). |
| Mur extérieur |  | Acier | 5(cm) | 50(W/m°C)[14] |
| | | BA13 | 1.3(cm) | 0.325(W/m°C)[14] |
| Plancher bas |  | Pierre | 20 (cm) | 0,15(W/m°C)[12] |
| | | Béton lourd | 10 (cm) | 1,75(W/m°C)[14] |
| | | Mortier | 3(cm) | 1,15(W/m°C)[14] |
| | | Dalle de sol | 2(cm) | 1(W/m°C)[37] |
| Toiture |  | Dalle de sol | 2(cm) | 1(W/m°C)[37] |
| | | Mortier | 3(cm) | 1,15(W/m°C) |
| | | Béton lourd | 5(cm) | 1.75(W/m°C) |
| | | Ternite TN40 | 0.5(cm) | 50(W/m°C) |
| | | acier | 14(cm) | 50(W/m°C) |
| Mur intérieur (mur de séparation) |  | BA13 | 1,3(cm) | 0.325(W/m°C) |
| | | Lame d'air | 5(cm) | 0.625 (W/m°C)[37] |
| | | BA13 | 1,3(cm) | 0.325(W/m°C) |

2.2.3.2 Description du chalet :

2.2.3.2.1 Configuration spatiale :

Tableau 2.5 : Configuration spatiale du chalet.

| Espace | Orientation | Surface (m ²) | Fonction | Forme |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|---|--|
| La chambre | Toutes les orientations | 14,03m ² | C'est une chambre qui peut accueillir 3 personnes |  |
| Le WC | Est-sud-ouest | 1,33 m ² | Sanitaire. |  |
| Le comble | Toutes les orientations | 13,17 m ² | Espace qui peut accueillir 2 à 3 personnes. |  |

2.2.3.2.2 Orientation des façades du chalet :

Tableau 2.6 : Orientation des façades du chalet.

| Façade | orientation | Dimensions de la façade | Ouverture | Dimensions des ouvertures |
|---|-------------|---|---|--|
|  <p>Vue de face</p> | Est | -la hauteur du mur : 300cm. -Longueur du mur extérieur : le mur est devisé en 2, la longueur du mur sortant est 170 cm et le mur qui contient la porte a 230cm | Cette façade contient une porte qui est la porte d'entrée | P :240(cm)*85(c m) |
|  <p>Vue de droite</p> | Nord | -La hauteur du mur : 300cm. -Longueur du mur extérieur 325cm. -Longueur du mur intérieur 307cm. | Cette façade nord est aveugle, elle ne contient aucune ouverture | |
|  <p>Vue de derrière</p> | Ouest | -La hauteur du mur : 300cm. -Longueur du mur extérieur : 400cm. -Longueur du mur intérieur 382cm. | Cette façade ouest est aveugle, elle ne contient aucune ouverture | |
|  <p>Vue de gauche</p> | Sud | -La hauteur du mur : 300cm. -Longueur du mur extérieur 485cm. Longueur du mur intérieur 467cm. | Cette façade sud contient 2 fenêtres, la fenêtre extérieure de la chambre et celle du WC. | F : 115(cm)*100(c m) Fwc: 45(cm)*60(cm) |

2.2.3.2.3 Composition des parois du chalet :

Tableau 2.7 : Compositions des parois du chalet

| Enveloppe | Image | Composition | | |
|----------------------------------|---|--------------------|----------------|---|
| | | Matériau | Epaisseur (cm) | Conductivité thermique (W/m ^{°c}) |
| Mur extérieur |  | Bois de chêne | 2(cm) | 0,298(W/m ^{°c})[12] |
| | | Panneau de liège | 5 (cm) | 0,04(W/m ^{°c})[14] |
| | | Bois de chêne | 2(cm) | 0,298(W/m ^{°c})[14] |
| Plancher bas |  | Pierre | 20(cm) | 0,15(W/m ^{°c}) |
| | | Béton lourd | 10(cm) | 1,75(W/m ^{°c}) |
| | | Mortier | 3(cm) | 1,15(W/m ^{°c}) |
| | | Carrelage | 2(cm) | 1,7(W/m ^{°c})[14] |
| Toiture |  | Tuile | 1,2(cm) | 0,8(W/m ^{°c})[37] |
| | | Contreplaqué | 1,2(cm) | 0,11(W/m ^{°c})[14] |
| | | Bois de chêne | 7(cm) | 0,298(W/m ^{°c}) |
| Mur intérieur (mur du sanitaire) |  | Bois de chêne | 2(cm) | 0,298 (W/m ^{°c}) |
| | | panneau liège | 5(cm) | 0,04(W/m ^{°c}) |
| | | Bois de chêne | 2(cm) | 0,298(W/m ^{°c}) |
| | | mortier | 3(cm) | 1,15(W/m ^{°c}) |
| | | carreaux céramique | 0,6(cm) | 1(W/m ^{°c})[37] |

2.3 Étude expérimentale :

La mesure de la température et de l'humidité :

Nous avons mesuré la température et l'humidité relative à l'intérieur du restaurant et du chalet durant 2 jours du 19 au 21 mars 2023 à l'aide de deux instruments de mesure :

TESTEUR HUMIDITE ISOTECH RS-1367 :

C'est un appareil électronique thermo-hygromètre, c'est-à-dire mesurant à la fois la température et l'humidité ambiante d'une pièce. Il est placé au milieu de la pièce, à 1m du sol et il permet un affichage instantané des mesures.[38]



Figure 2.15 : méthode de mesure avec TESTEUR HUMIDITE ISOTECH RS-1367
Source auteur le 10/01/2023

Carte arduino UNO :

C'est une carte électronique équipée d'un microcontrôleur permettant l'exécution d'un programme informatique, dans notre cas qui va mesurer la température (en °C) et l'humidité (en %) ambiante. [12]

Deux capteurs sont raccordés à cette carte, le capteur DHT11 mesure la température et l'humidité à l'intérieur de la pièce et le capteur DHT22 mesure la température et l'humidité extérieure.

Les données informatiques sont ensuite enregistrées et stockées dans une carte Sd.

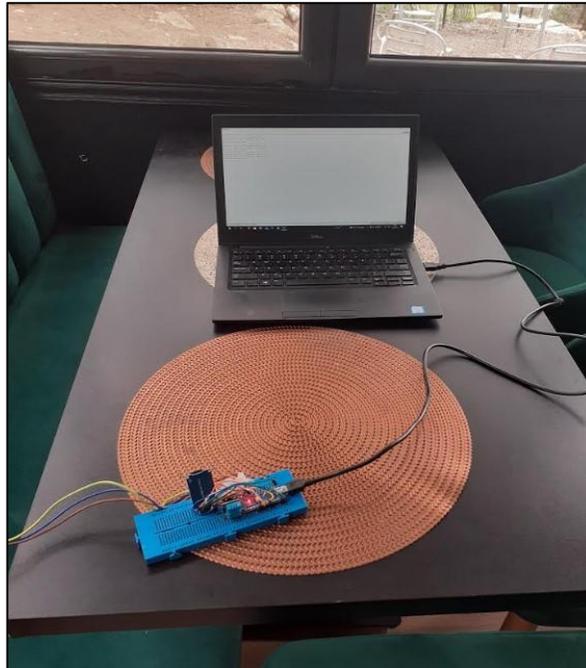


Figure 2.16 : Mesure de température et d'humidité avec l'arduino

Source auteur le 19/03/2023.

2.3.1 Mesure de température de l'air et de l'humidité à l'intérieur du restaurant:

2.3.1.1 La température :

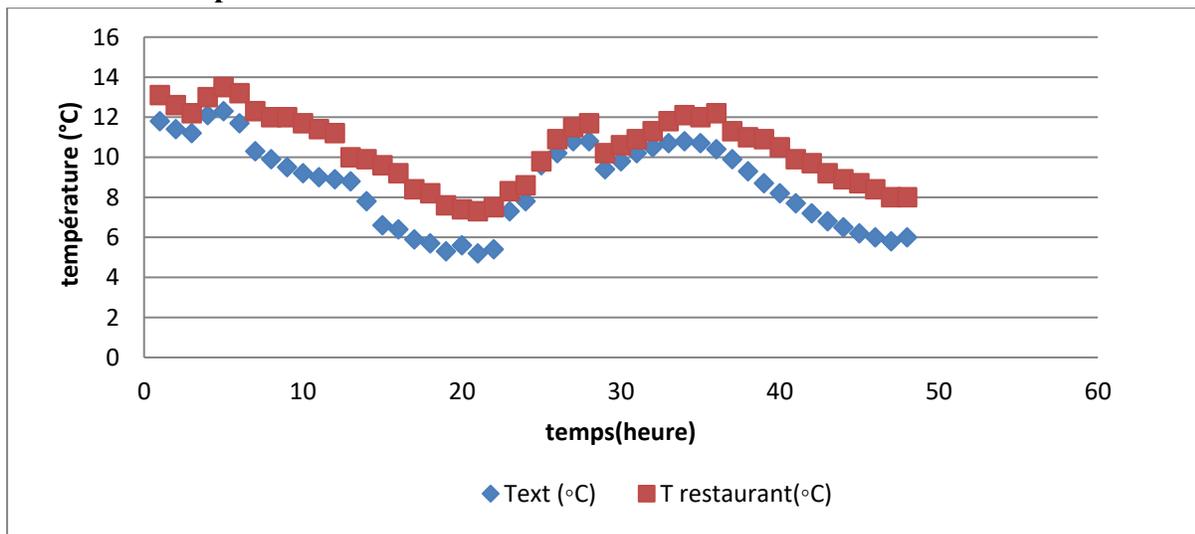


Figure 2.17 : évolution de la température extérieure et la température intérieure du restaurant.

L'interprétation:

D'après le graphe de la figure 2.17, nous pouvons constater que les températures intérieures du restaurant varient de manière similaire aux températures extérieures, avec un écart maximal de 2,4°C. Les températures extérieures oscillent entre 5,2°C et 12,3°C, tandis que celles à l'intérieur du restaurant varient entre 7,3°C et 13,5°C. Ce comportement peut être expliqué par les propriétés de l'acier, qui est un métal ayant une conductivité thermique élevée et une faible inertie thermique. Ce qui le rend capable de transmettre rapidement la chaleur ou le froid de l'extérieur vers l'intérieur et vice versa.

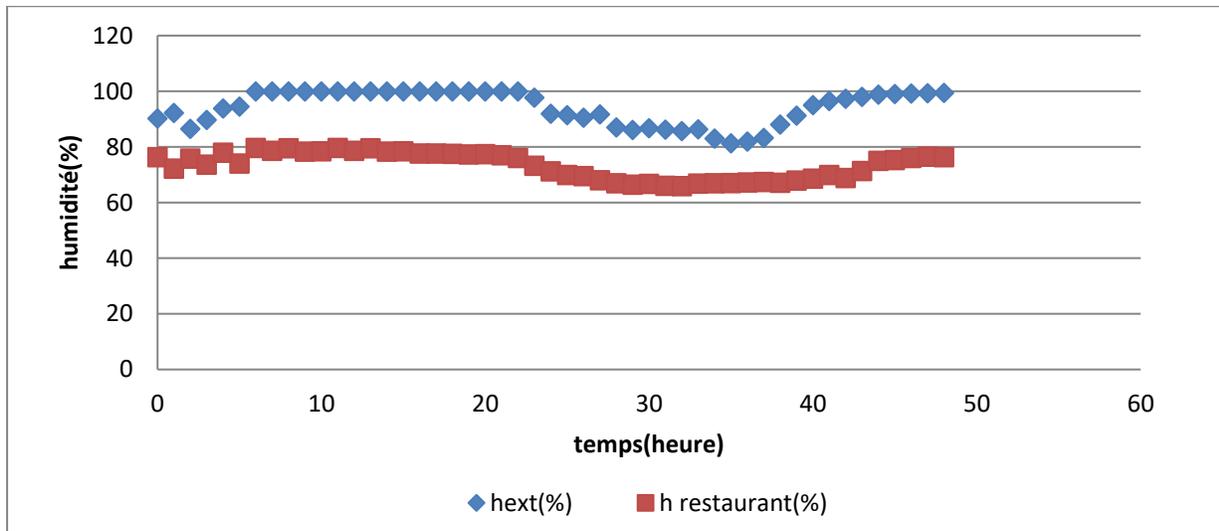
2.3.1.2 L'humidité de l'air :

Figure 2.18 : Variations de l'humidité relative extérieure et à l'intérieur du restaurant

L'interprétation:

Le graphe de la figure 2.18 nous montre que l'humidité relative extérieure varie de 81,3% à 99,9%, alors que celle à l'intérieure du restaurant de 65,9% à 79,6%.

2.3.2 Mesure de température de l'air et de l'humidité à l'intérieur du chalet:

2.3.2.1 La température :

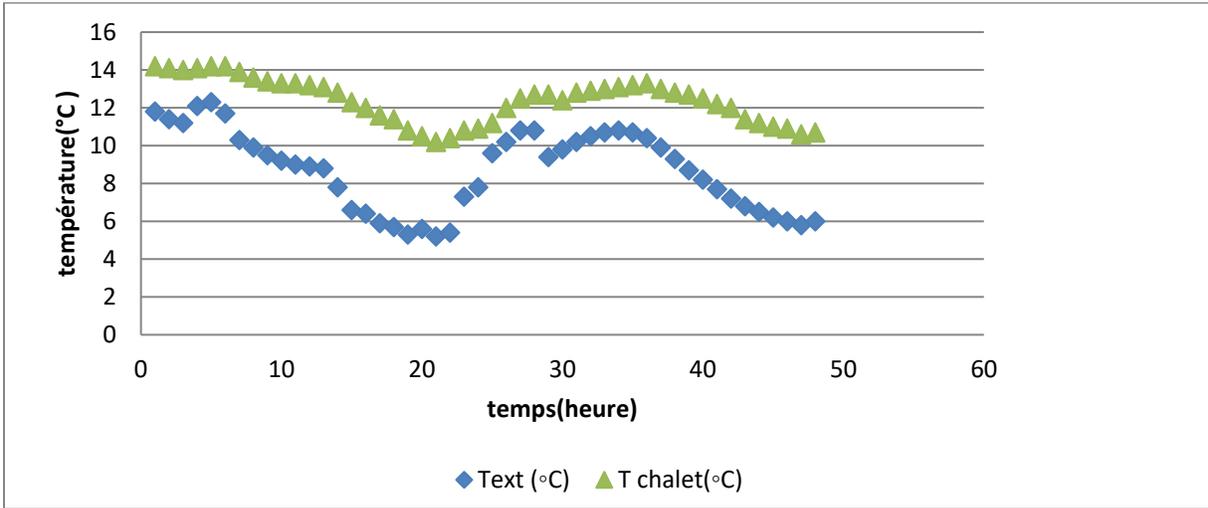


Figure 2.19 : évolution de la température extérieure et la température intérieure du chalet.

Interprétation :

Le graphe de la figure 2.19, montre que pendant que les températures à l'extérieur oscillent entre 5,2°C et 12,3°C, le comportement du chalet est plus stable avec des températures qui varient de 10,2°C à 14,2°C, et un écart maximal de 4,9°C avec l'extérieur. Ce comportement peut être justifié par l'utilisation du bois pour la construction de ce chalet et qui un matériau ayant une faible conductivité thermique et aussi à l'isolation des murs avec du liège.

2.3.2.2 L'humidité de l'air :

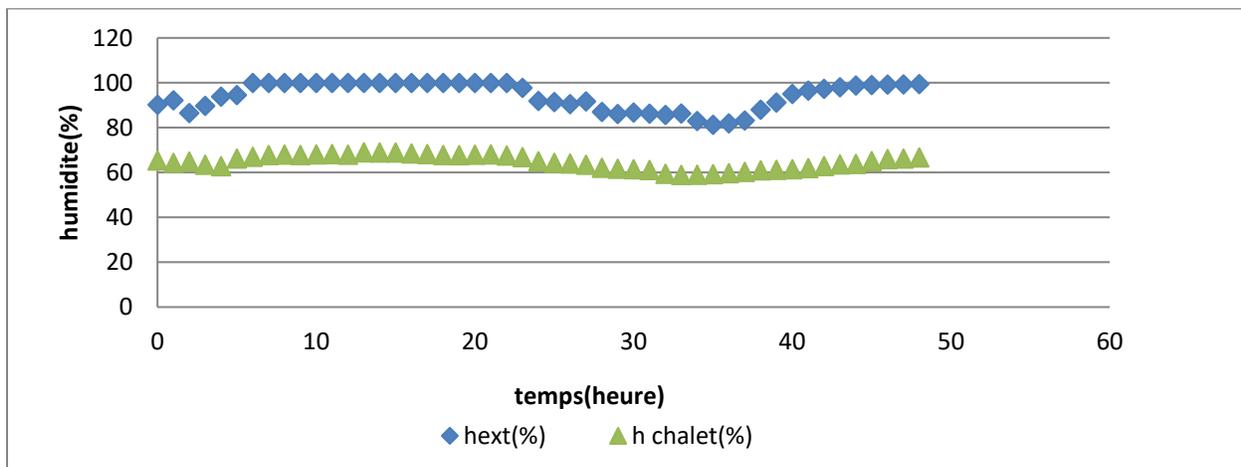


Figure 2.20 : évolution de l'humidité relative extérieure et à l'intérieur du chalet.

Interprétation :

D'après le graphe de la figure ci-dessus, nous observons que l'humidité relative à l'intérieur du chalet en bois est inférieure à l'humidité extérieure, elle varie entre 58,8 % et 69%, tandis que celle de l'extérieur oscille entre 81,3% et 99,9%.

2.4 Etude statique :**2.4.1 Vérification de la conformité des deux cas d'étude aux exigences réglementaires :**

Selon le document technique réglementaire (DTR C3-2) les déperditions par transmission du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{ref}[W/^\circ C].$$

Avec :

- $D_{T i} [W/^\circ C]$ représente les déperditions par transmission d'un volume.
- $D_{ref}[W/^\circ C]$ représente les déperditions de références.

Les déperditions par transmission d'un volume:

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i [W/^\circ C].$$

Où :

- $(D_s)_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions surfaciques à travers les parois.
- $(D_{li})_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions linéiques (à travers les liaisons).
- $(D_{sol})_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol.
- $(D_{inc})_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec locaux non chauffés.

Les déperditions surfaciques à travers les parois :

$$D_s = \sum(k \times A) [W/^\circ C].$$

Où :

- $k [w/m^2. ^\circ C]$: est le coefficient de transmission surfacique (la conductance).
- $A [m^2]$: la surface intérieure de la paroi.

Calcul du coefficient de transmission surfacique :

Le coefficient de transmission surfacique des parois opaques : $\frac{1}{k} = \sum R + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ [w/m².°C]

avec:

- $R_i = e_i / \lambda_i$ en [m. °C / w] : est la résistance thermique de la couche i.
- e_i : est l'épaisseur de la couche i.
- λ_i : est la conductivité thermique du matériau.
- La somme $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ [m². °C / W] représente la somme des coefficients d'échange superficielles.

Le coefficient k des parois vitrées :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{vn}} + r_v + r_{id} + r_{occ}$$

Avec:

- K_{vn} [w/m².°C] représente le coefficient k du vitrage nu.
- r_v [m².°C / w] c'est la résistance supplémentaire des voilages éventuels ($r_v = 0,025$ m².°C / w).
- r_{id} [m².°C / w] c'est la résistance supplémentaire des rideaux éventuels ($r_v = 0,030$ m².°C / w).
- r_{occ} [m².°C/w] c'est la résistance supplémentaire des occultations. Elle est donnée par la formule suivante : $r_{occ} = 0,16 + e_{occ} / \lambda_{occ}$ [m². °C/w]
- e_{occ} [m] représente l'épaisseur de l'occultation.
- λ_{occ} [w/m.°C] c'est la conductivité thermique du matériau qui constitue l'occultation.

Le coefficient k des portes : il est donné dans le tableau 3.3 page 26 du DTR C3-2

Les déperditions à travers les ponts thermiques:

$$D_{li} = 0,20 \sum (K \times A) \text{ [W/°C]}.$$

Les déperditions de références :

$$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5$$

Avec:

- Les S_i [m^2] représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement : S_1 la toiture, S_2 le plancher bas, S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les portes- fenêtres.
- Les coefficients a, b, c, d et e [$w/m^2 \cdot ^\circ C$] dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

2.4.1.1 Vérification de la conformité du restaurant aux exigences réglementaires :**Le coefficient de transmission surfacique des parois opaques :****Tableau 2.8 : Calcul des déperditions surfaciques à travers les parois opaques du restaurant**

| Parois Opaque | Surface | Composition | $R=e/\lambda$ (m. $^\circ C /w$) | $\frac{1}{hi} + \frac{1}{he}$ | K ($w/m^2 \cdot ^\circ C$) | K \times A ($W/^\circ C$) |
|----------------------|---------|---|---|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Mur extérieur | 41,54 | Acier BA13 | 0,05/50=0,001 0,013/0,325=0,04 | 0,17 | 4,7393 | 196,87 |
| Mur intérieur | 10,165 | BA13 Lame d'air BA13 | 0,013/0,325=0,04 0,05/0,625=0,08 0,013/0,325=0,04 | 0,22 | 2,6315 | 26,7491975 |
| Plancher bas | 34,878 | Pierre Béton lourd mortier dalle de sol | 0,2/0,15=1,33 0,1/1,75=0,06 0,03/1,15=0,03 0,02/1=0,02 | 0,22 | 0,6024 | 21,0109144 |
| Toiture | 36,4 | Dalle de sol Mortier Béton lourd Ternite TN40 Acier | 0,02/1=0,02 0,03/1,15=0,03 0,05/1,75=0,03 0,005/50=0,00 0,14/50=0,002 | 0,14 | 4,5045 | 163,9638 |

Le coefficient k des portes et des fenêtres :

Tableau 2.9 : Calcul du coefficient des portes et des fenêtres du restaurant.

| Paroi | Type d'ouverture | La surface des ouvertures | Le nombre des ouvertures | Le coefficient k (w/m ² . °C) | $\Sigma(K \times A)$ (W/°C) |
|----------------------|---|---------------------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| Mur extérieur | Fenêtre en métal simple vitrage | $0,8 \times 1,52 = 1,22$ | 14 | 5,8 | 98,7392 |
| | Fenêtre en métal simple vitrage | $0,88 \times 0,88 = 0,77$ | 1 | 5,8 | 4,4915 |
| | Porte en métal équipé de vitrage simple | $2,4 \times 0,9 = 2,16$ | 1 | 5,8 | 12,528 |
| | Porte en métal opaque | $2,22 \times 0,85 = 1,89$ | 1 | 5,8 | 10,9446 |
| Mur intérieur | Porte en métal opaque | $1 \times 2,04 = 2,04$ | 1 | 4,5 | 9,18 |
| | Fenêtre en bois simple vitrage | $0,8 \times 0,6 = 0,48$ | 1 | 5,5 | 2,64 |

Les déperditions surfaciques totales du restaurant:

$$D_s = 196,87 + 26,7491975 + 21,0109144224 + 163,9638 + 98,7392 + 4,4915 + 12,528 + 10,9446 + 9,18 + 2,64 = 547,1172 \text{ W/°C.}$$

Les déperditions à travers les ponts thermiques du restaurant :

$$D_{li} = 0,20 \times 455,4308 = 109,4234 \text{ W/°C.}$$

Les déperditions par transmission du restaurant :

$$D_T = 547,1172 + 109,4234 = 656,5406 \text{ W/°C.}$$

Les déperditions de références :

Le restaurant est un logement collectif de la zone climatique B donc :

$$a=0,9 ; b=2,4 ; c=1,2 ; d=3,5 ; e=4,5.$$

$$D_{ref} = 0,9 \times 36,4 + 2,4 \times 34,878 + [1,2 \times (45,54 + 10,165)] + [3,5 \times (2,16 + 1,89)] + [4,5 \times (17,08 + 0,77)] = 277,8132 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

$$\text{On a: } 1,05 \times D_{ref} = 291,70386 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

$$\text{Et: } 546,51696 \geq 291,70386.$$

Donc le restaurant n'est pas conforme aux exigences réglementaires.

2.4.1.2 Vérification de la conformité du chalet aux exigences réglementaires :

Le coefficient de transmission surfacique des parois opaques :

Tableau 2.10 : Calcul des déperditions surfaciques à travers les parois opaques du chalet.

| Parois opaque | Surface | Composition | $R=e/\lambda$ (m. °C /w) | $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ | K (w/m ² . °C) | K × A (w/°C) |
|----------------------|---------|--|--|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Mur extérieur | 59,64 | Bois de chêne Panneau de liège Bois de chêne | 0,02/0,298=0,07 0,05/0,04=1,25 0,02/0,298=0,07 | 0,17 | 0,6410 | 38,22924 |
| Mur intérieur | 4,2294 | Bois de chêne panneau liège Bois de chêne mortier carreaux céramique | 0,02/0,298=0,07 0,05/0,04=1,25 0,02/0,298=0,07 0,03/1,15=0,03 0,006/1=0,01 | 0,22 | 0,6060 | 2,5630164 |
| Plancher bas | 15,36 | Pierre Béton lourd mortier Carrelage | 0,2/0,15=1,33 0,1/1,75=0,06 0,03/1,15=0,03 0,02/1,7=0,01 | 0,22 | 0,6060 | 9,30816 |
| Plancher haut | 18,83 | Panneau contreplaqués Bois de chêne | 0,012/0,11=0,11 0,07/0,298=0,23 | 0,34 | 1,4705 | 27,689515 |
| Toiture | 102,5 | Tuile Contreplaqué Bois de chêne | 0,012/0,8=0,07 0,012/0,11=0,11 0,07/0,298=0,23 | 0,14 | 1,8181 | 186,35525 |

Le coefficient k des portes et des fenêtres :

Tableau 2.11 : Calcul du coefficient des portes et des fenêtres du chalet.

| Paroi | Type d'ouverture | La surface des ouvertures | Nombre des ouvertures | K (w/m ² . °C) | K × A (w/°C) |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|
| Mur extérieur | Fenêtre en bois simple vitrage | 1 × 1,15 = 1,15 | 1 | 2,04 | 2,35 |
| | Fenêtre en bois simple vitrage | 0,6 × 0,45 = 0,27 | 1 | 6,5 | 1,755 |
| | Porte en bois opaque | 2,4 × 0,85 = 2,04 | 1 | 3,5 | 7,14 |
| Mur intérieur | Porte en bois opaque | 2,4 × 0,65 = 1,56 | 1 | 2 | 3,12 |

Les déperditions surfaciques totales du chalet:

$$D_s = 38,22924 + 2,5630164 + 9,30816 + 27,689515 + 186,35525 + 2,35 + 1,755 + 7,14 + 3,12 = 278,5102 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

Les déperditions à travers les ponts thermiques du chalet :

$$D_{li} = 0,20 \times 278,5102 = 55,70204 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

Les déperditions par transmission du chalet :

$$D_T = 278,5102 + 55,70204 = 334,21224 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

Les déperditions de références :

Le chalet est un logement collectif de la zone climatique B donc :

$$a=0,9 ; b=2,4 ; c=1,2 ; d=3,5 ; e=4,5.$$

$$D_{\text{ref}} = 0,9 \times 102,5 + [2,4 \times (18,83 + 15,36)] + [1,2 \times (4,2294 + 59,64)] + [3,5 \times (2,04 + 1,56)] + [4,5 \times (1,15 + 0,27)] = 269,93928 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

$$\text{On a: } 1,05 \times D_{\text{ref}} = 283,4362 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

$$\text{Et: } 334,21224 \geq 283,4362 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

Donc le chalet n'est pas conforme aux exigences réglementaires.

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré premièrement pour la présentation des différents matériaux utilisés dans la construction des deux cas d'étude, deuxièmement pour l'étude expérimentale effectuée pour déterminer leurs températures et humidité intérieures et ainsi leurs comportements, et enfin pour la vérification de leurs conformités aux exigences réglementaires.

Chapitre 3 :
Modélisation du cas d'étude

3 Introduction :

La modélisation est un outil de conception qui permet de comparer, modifier et alterner les différentes options de configuration d'un projet et donc d'évaluer l'intérêt d'utiliser un tel matériau plutôt qu'un autre, de voir quelle surface de vitrages doit être mise en place au sud pour minimiser les besoins de chauffage sans pour autant augmenter les besoins de climatisation... Ainsi, dans chaque projet de construction neuve ou de rénovation d'un bâtiment, la simulation est un outil d'aide incontournable.

Dans ce troisième chapitre nous utiliserons le logiciel pléiades 5.23.4.4 pour modéliser le comportement thermique de nos cas d'étude et calculer leurs besoins en chauffage et climatisation.

3.1 Le concept de la simulation :

Une simulation (ou modélisation) énergétique d'un bâtiment consiste généralement à analyser sa consommation d'énergie globale, en utilisant un logiciel spécialisé qui permet d'entrer les données spécifiques, telles que la surface, la composition des murs, du toit et du plancher, l'orientation, les types de menuiseries utilisées ainsi que les différents scénarios de fonctionnement.

Ces données sont associées à un fichier météorologique choisi selon la position géographique du bâtiment et conçu pour les calculs énergétiques.[39]

3.2 Présentation des logiciels :

3.2.1 Pléiades:

C'est un logiciel d'éco conception des bâtiments développé à la fin des années 80 par IZUBA Energie [40] et qui permet à travers ces différentes interfaces (bibliothèque, modéleur, éditeur, résultats) d'évaluer la performance et énergétique d'un habitat par : simulation thermique dynamique, vérification réglementaire, dimensionnement des équipements, analyse du cycle de vie et qualité de l'air intérieur.

3.2.1.1 Les interfaces de pléiades : [41]



Bibliothèque:

Pléiades BIBLIOTHÈQUE est la base de données de ce logiciel, elle donne accès à l'ensemble des éléments utilisables par les différents composants de Pléiades: matériaux, menuiseries, ponts thermiques, équipements et scénarios. Cette bibliothèque est autonome et propre à l'ordinateur sur lequel le logiciel est installé, et elle est entièrement personnalisable : l'utilisateur peut la faire évoluer en y ajoutant de nouveaux éléments.



Modeleur :

Pléiades Modeleur est le composant de saisie graphique de Pléiades. Il permet de définir l'ensemble des paramètres géométriques du bâtiment, d'attribuer à chacune des parois sa composition et donc ses caractéristiques thermiques, de réaliser le zonage et d'attribuer les scénarios d'utilisation et les paramètres propres aux différents calculs proposés par Pléiades.

Il permet de visualiser la saisie en trois dimensions ce qui donne la possibilité de vérifier la cohérence de votre saisie et de dimensionner les protections solaires.



Résultats :

Pléiades résultats permet de visualiser les résultats des calculs lancés à partir du Modeleur, le BIM ou l'Éditeur à l'aide de nombreux tableaux de synthèse, de graphiques, de rapports d'études entièrement personnalisables.

3.2.2 Métronom 8.0.2 :[42].

METEONORM est un logiciel qui permet de créer des données météorologiques pour différents climats et différentes zones géographiques dans le monde pour les utiliser dans d'autres logiciels pertinents. C'est une base de données de contenant plus de 8 325 stations et donc qui permet d'avoir accès aux paramètres suivants:

- les températures mensuelles et journalières, humidité, précipitation, jours avec précipitation, vitesse et direction du vent, durée d'ensoleillement durant les périodes : 1961 à 1990 et 2000 à 2009.
- Données de rayonnement global mises à jour pour la période 1981- 2010.

Nouveautés de METEONORM version 8:

- Nouvelles périodes climatiques (2000-2019 / 1996-2015)
- Nouvelle série chronologique pour l'Amérique du Nord et du Sud et l'Asie.
- L'interface du logiciel a été renouvelée.

3.3 Les étapes de la simulation :

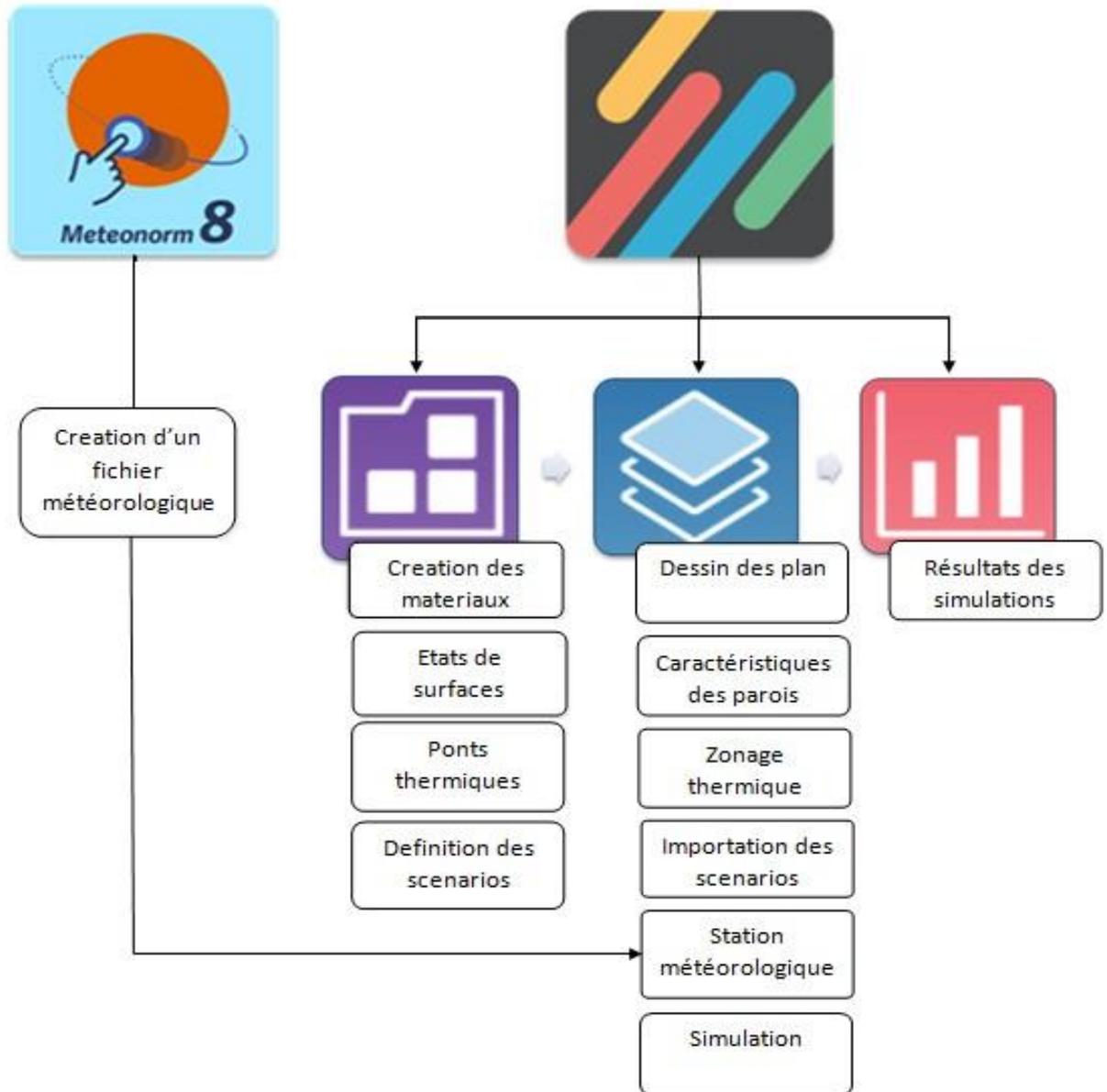


Figure 3.1 : Les étapes et la procédure de la simulation

3.3.1 Sous METEONORM :

3.3.1.1 Création d'une station météorologique :

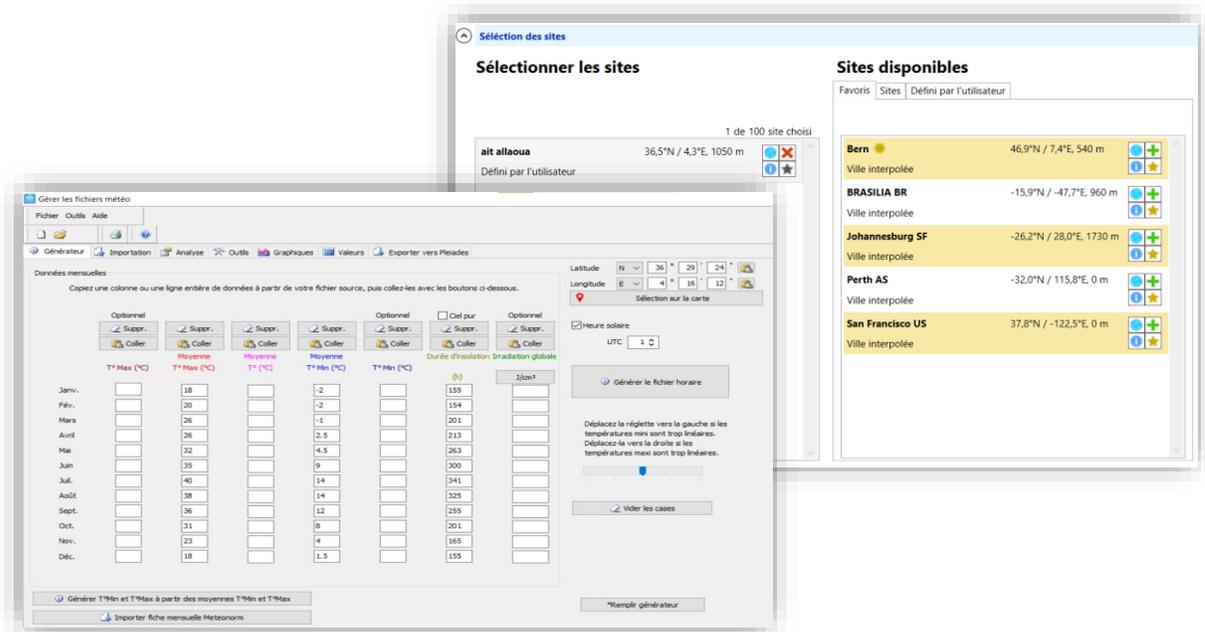


Figure 3.2 : Création d'une station météorologique

3.3.2 Sous pléiades :

3.3.2.1 Création des matériaux de construction :

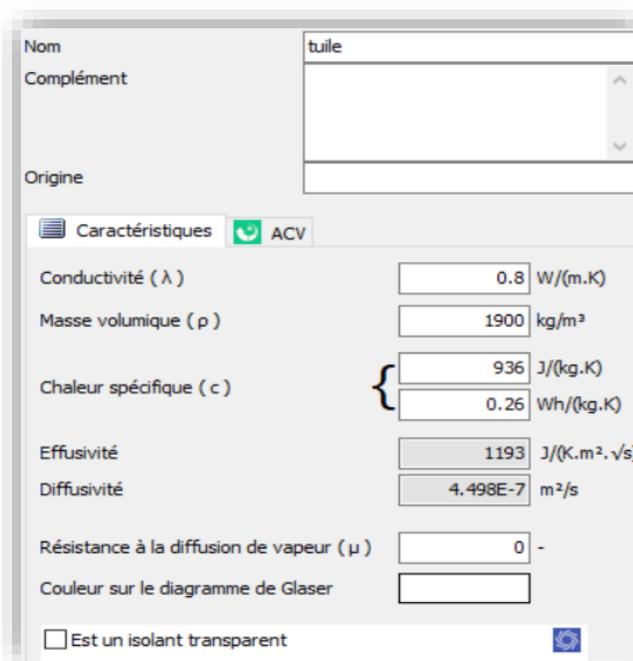


Figure 3.3 : Caractéristiques de la tuile

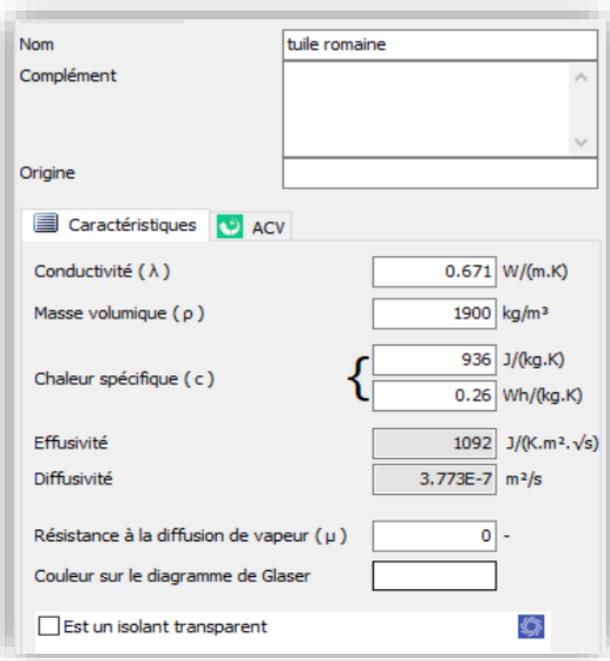


Figure 3.4 : Caractéristiques de la tuile romaine

Nom: dalle de sol

Complément:

Origine:

Caractéristiques

Conductivité (λ): 1 W/(m.K)

Masse volumique (ρ): 1900 kg/m³

Chaleur spécifique (c): 936 J/(kg.K) / 0.26 Wh/(kg.K)

Effusivité: 1334 J/(K.m².√s)

Diffusivité: 5.623E-7 m²/s

Résistance à la diffusion de vapeur (μ): 0 -

Couleur sur le diagramme de Glaser:

Est un isolant transparent

Figure 3.5 : Caracteristiques de la dalle de sol

Nom: branchage

Complément:

Origine:

Caractéristiques ACV

Conductivité (λ): 0.052 W/(m.K)

Masse volumique (ρ): 50 kg/m³

Chaleur spécifique (c): 2300 J/(kg.K) / 0.639 Wh/(kg.K)

Effusivité: 77 J/(K.m².√s)

Diffusivité: 4.522E-7 m²/s

Résistance à la diffusion de vapeur (μ): 0 -

Couleur sur le diagramme de Glaser:

Est un isolant transparent

Figure 3.6 : Caractéristiques du branchage

3.3.2.2 Composition des parois :

Sélectionnez le composant

Bibliothèque projet / Bibliothèque générale

Nom: mur extérieur restaurant

Complément:

Origine:

Afficher les matériaux/éléments/MCP/Ponts

| Composants | T | cm | kg/m ² | λ | R |
|-------------------|---|------------|-------------------|-----------|-------------|
| Acier | | 5.000 | 390 | 50 | 0.04 |
| Placoplatre BA 13 | | 1.30 | 11 | 0.325 | 0.04 |
| Total | | 6.3 | 11 | | 0.04 |

Extérieur / Intérieur

OK / Annuler

Figure 3.7 : Composition du mur extérieur du restaurant.

Sélectionnez le composant

Bibliothèque projet / Bibliothèque générale

Nom: mur intérieur (de separation)

Complément:

Origine:

Afficher les matériaux/éléments/MCP/Ponts

Caractéristiques thermiques / Données méthode RTS / Diagramme c

Type de paroi pour le calcul des ponts thermiques et corrections de surface

Mur lourd Cloison légère

| Composants | T | cm | kg/m ² | λ | R |
|---------------------------------|---|------------|-------------------|-----------|-------------|
| Placoplatre BA 13 | | 1.30 | 11 | 0.325 | 0.04 |
| Lame d'air faible ventil. 50 mm | | 5.00 | 0 | 0.625 | 0.08 |
| Placoplatre BA 13 | | 1.30 | 11 | 0.325 | 0.04 |
| Total | | 7.6 | 22 | | 0.16 |

Extérieur / Intérieur

OK / Annuler

Figure 3.8 : Composition du mur intérieur du restaurant.

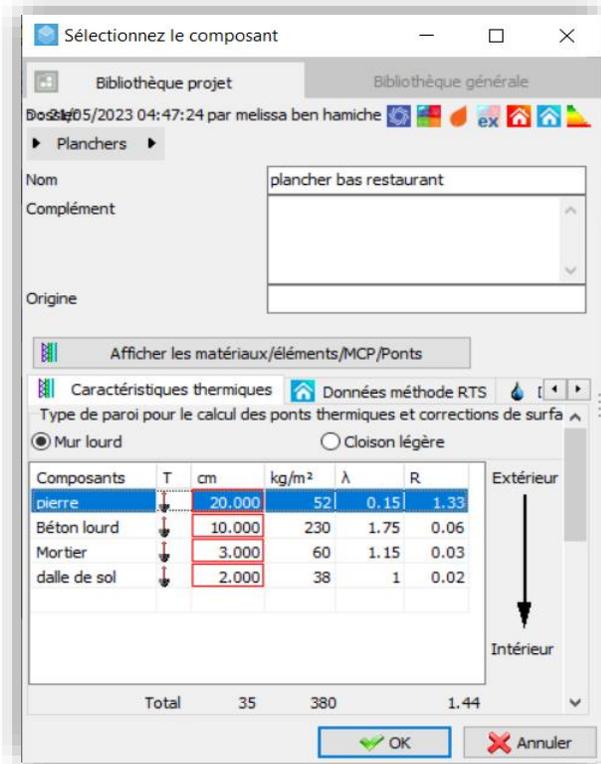


Figure 3.9 : Composition du plancher bas du restaurant

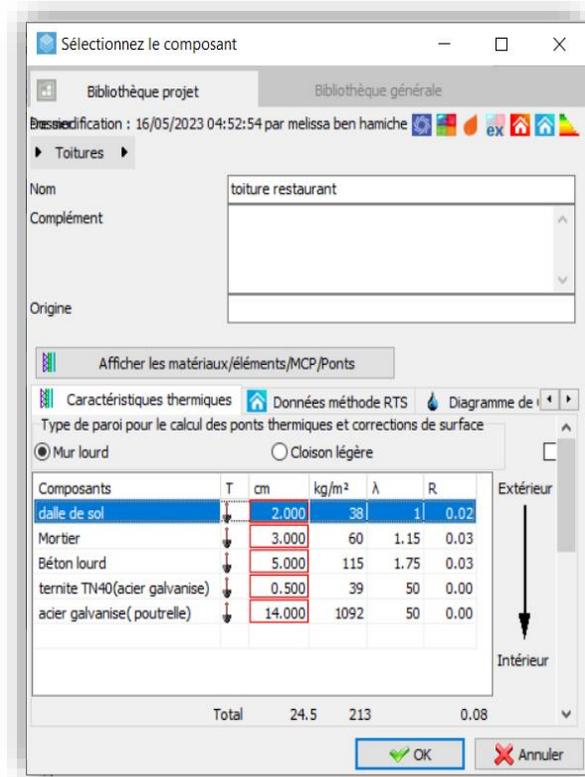


Figure 3.10 : Composition de la toiture du restaurant

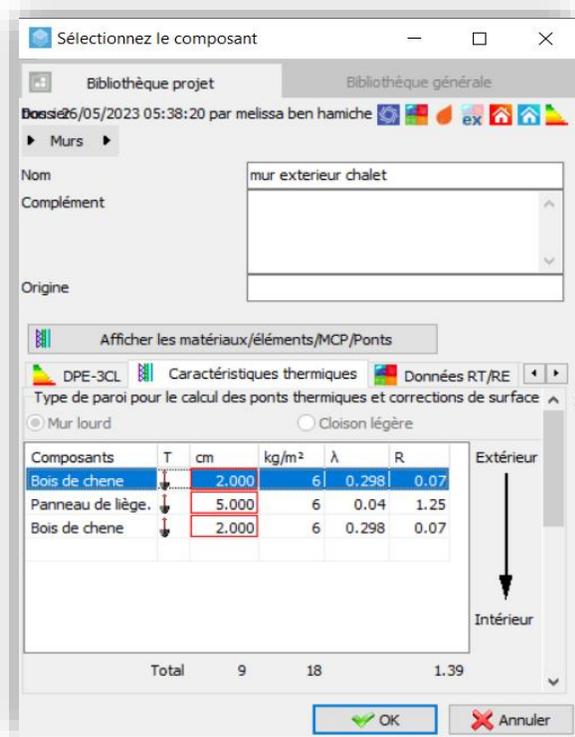


Figure 3.11 : Composition du mur extérieur du chalet

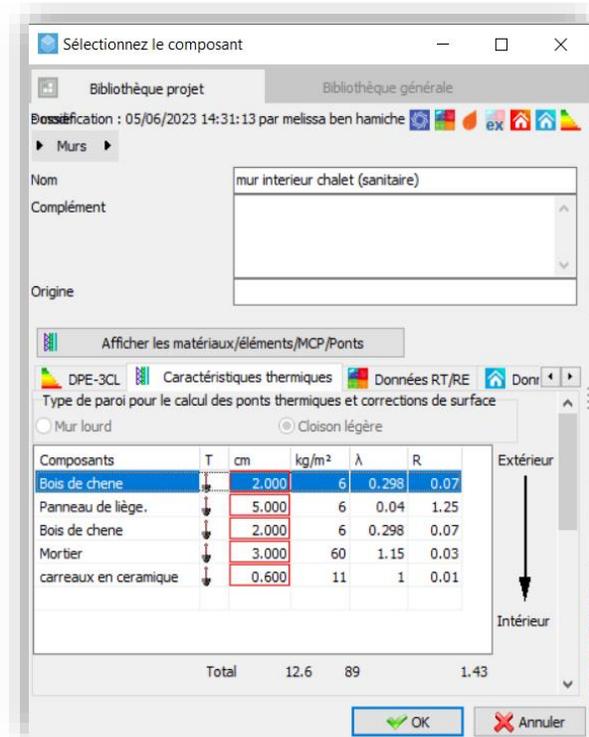


Figure 3.12 : Composition du mur intérieur du chalet

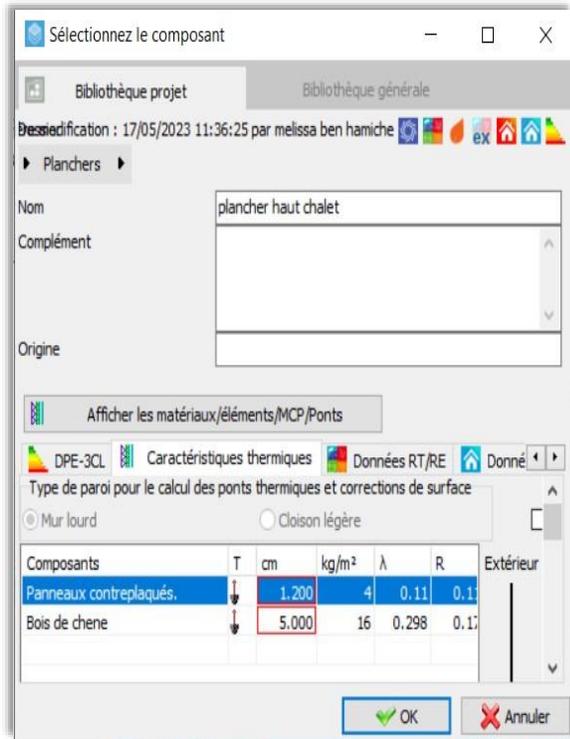


Figure 3.12 : composition du plancher haut du chalet

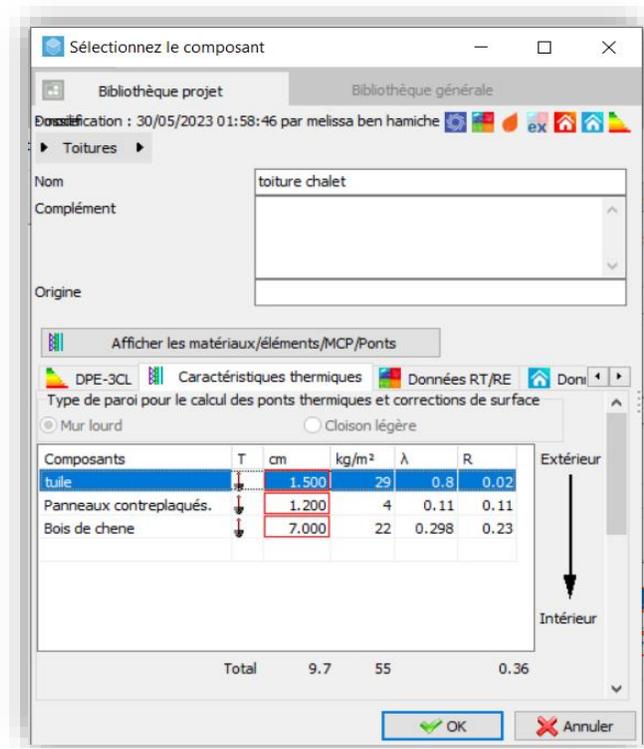


Figure 3.13 : Composition de la toiture du chalet

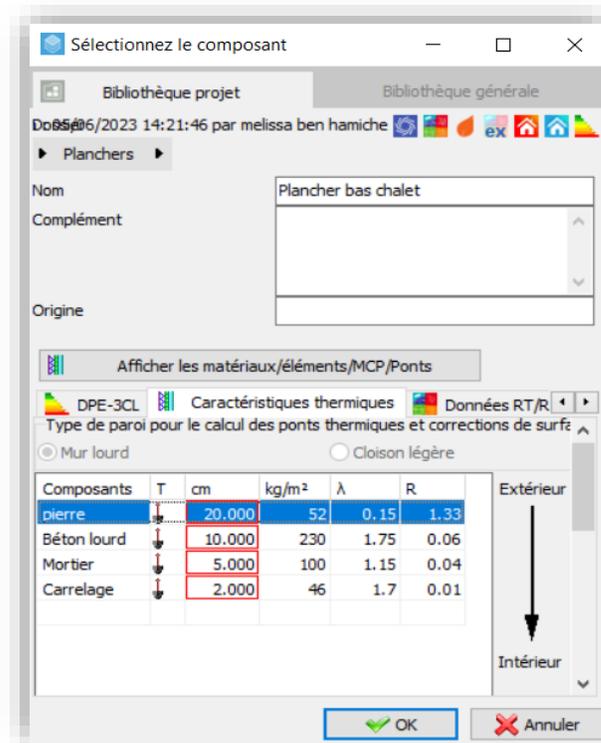


Figure 3.14 : Composition du plancher bas du chalet.

3.3.2.3 Création des menuiseries :

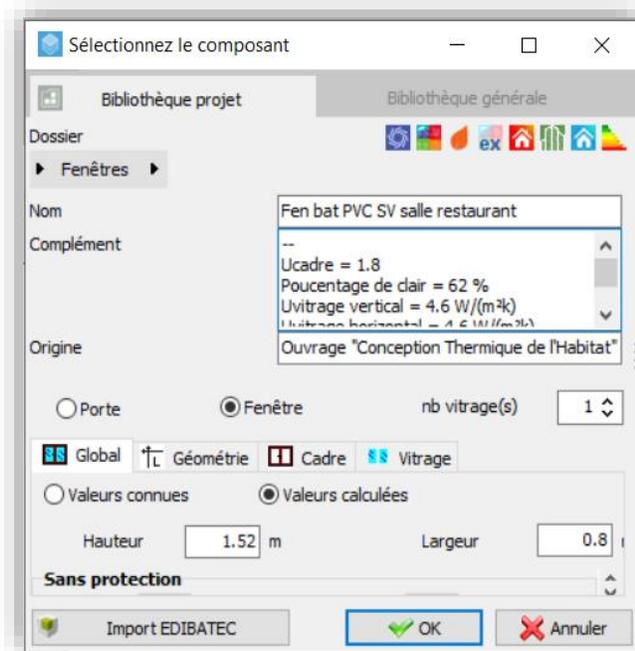


Figure 3.15 : Les caractéristiques de la fenêtre de la salle de restauration.

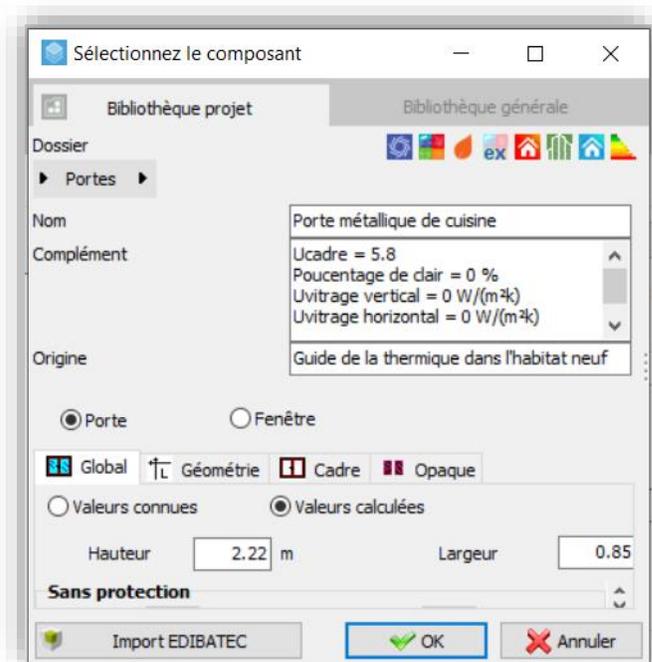


Figure 3.16 : Porte métallique de la cuisine du restaurant.

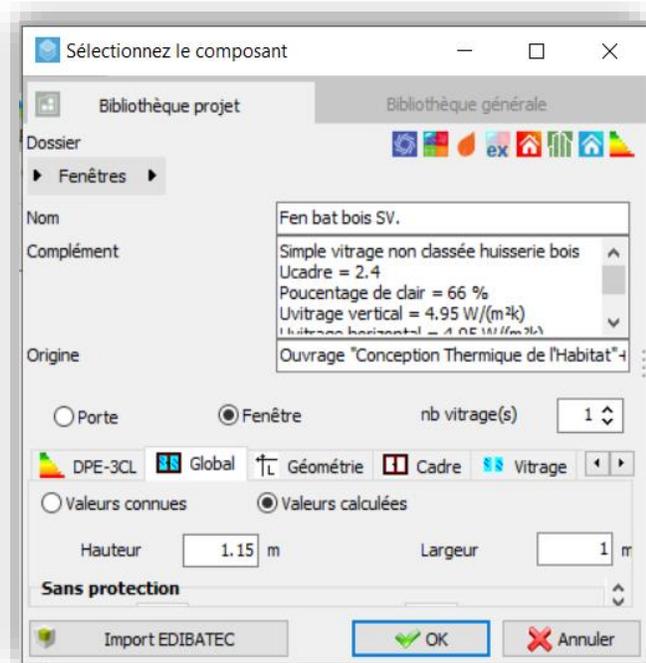


Figure 3.17 : Les caractéristiques de la fenêtre de la chambre du chalet.

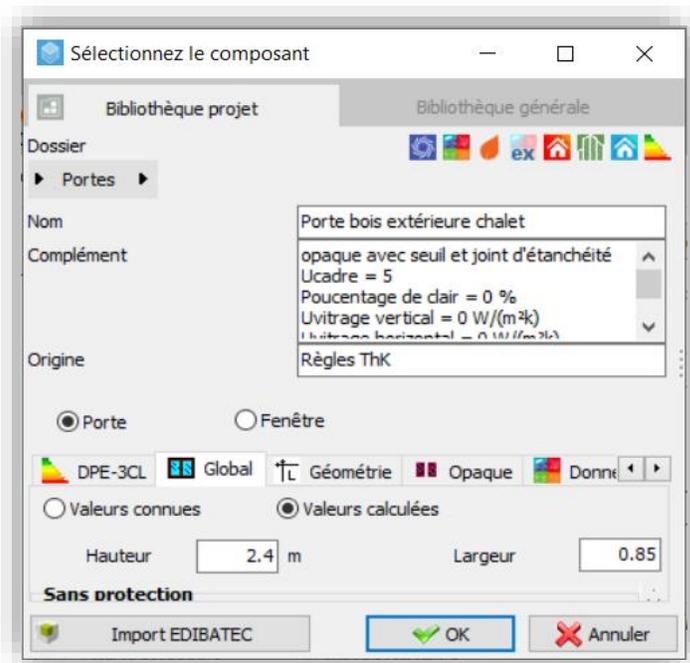


Figure 3.18 : Les caractéristiques de la porte bois extérieur du chalet.

3.3.2.4 Le dessin sous modelleur :

3.3.2.4.1 Les plans en 2D :

Le chalet :

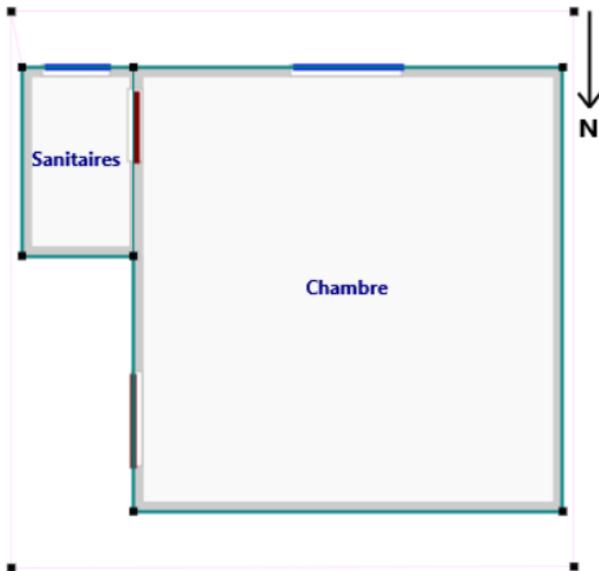


Figure 3.19 : Le plan en 2D du niveau 0 du chalet.

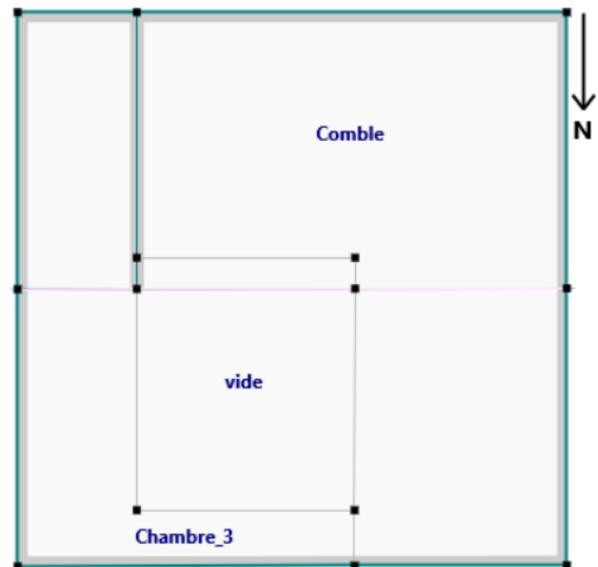


Figure 3.20 : Le plan en 2D du niveau 1 du chalet.

Le restaurant :

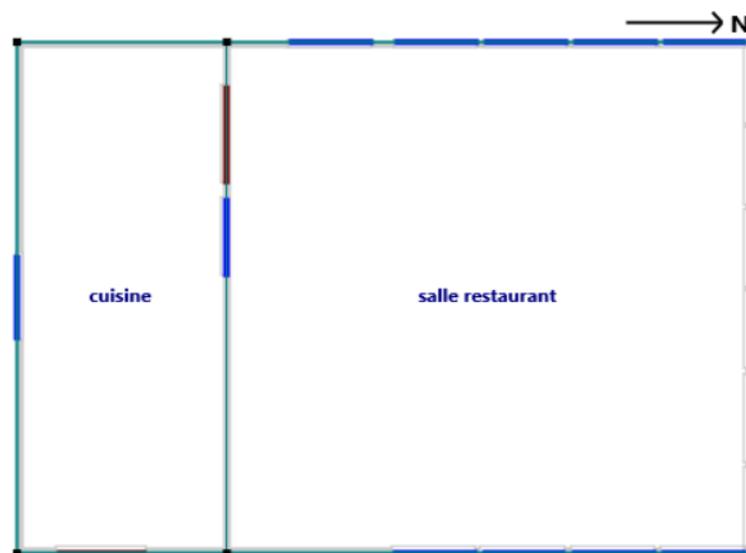


Figure 3.21 : Le plan en 2D du restaurant.

3.3.2.4.2 Le zonage thermique :

Le chalet :

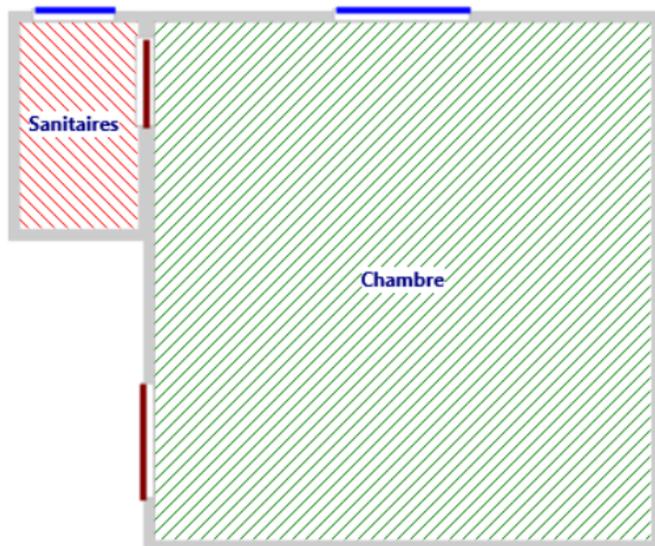


Figure 3.22 : Le zonage thermique du niveau 0.

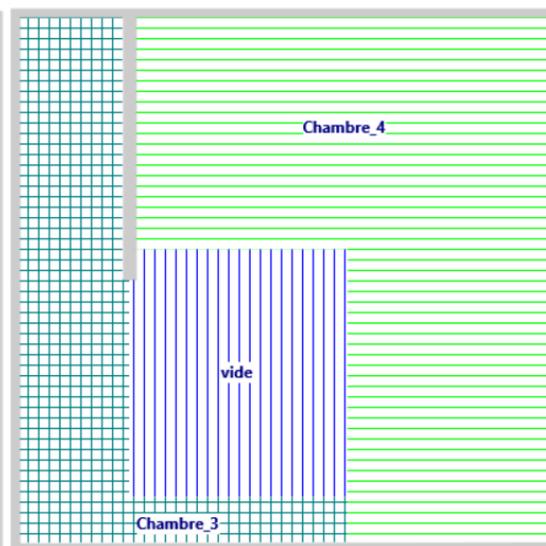


Figure 3.23 : Le zonage thermique du du chalet niveau 1 du chalet.

Le restaurant :

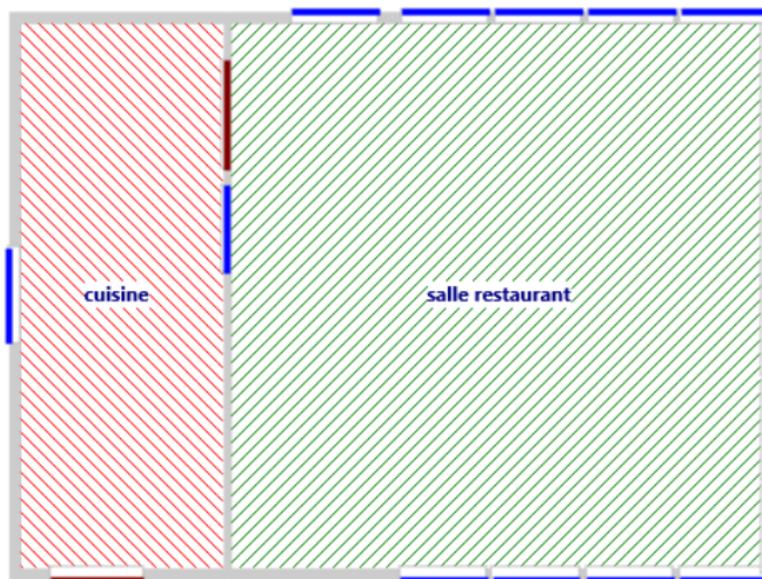


Figure 3.24 Le zonage thermique du restaurant

3.3.2.4.3 La vue en 3D :

3.3.2.4.3.1 La vue en 3D sans toit :

Le chalet :

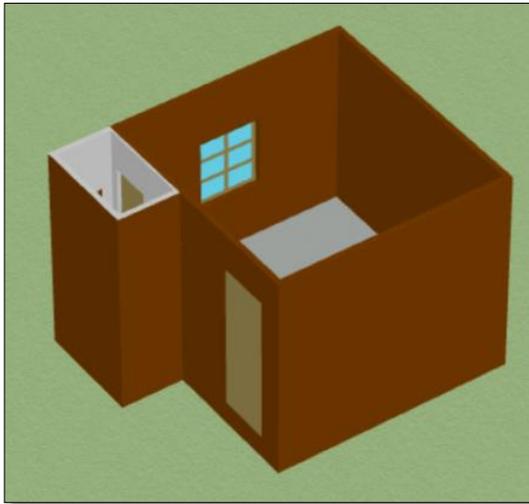


Figure 3.25 : La vue en 3D du niveau 0 du chalet.

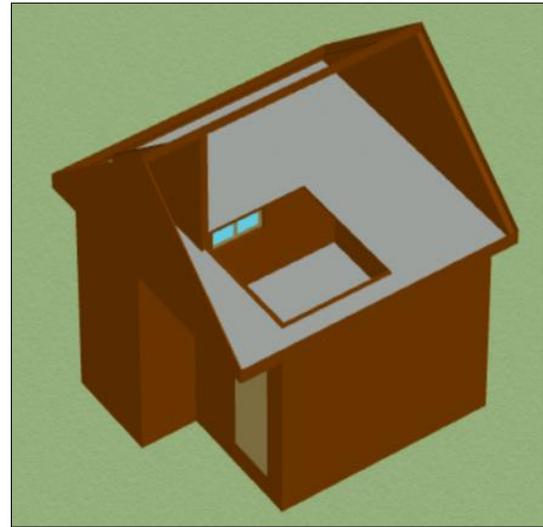


Figure 3.26 : La vue en 3D du niveau 1 du chalet.

Le restaurant :

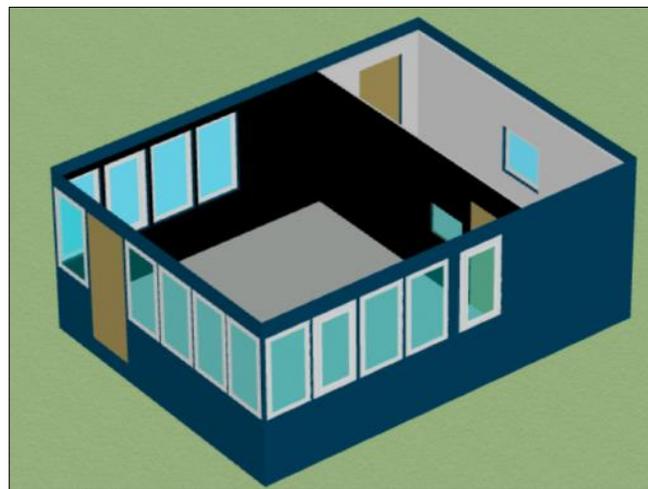


Figure 3.26 : La vue en 3D du restaurant.

3.3.2.4.3.2 L'orientation et la vue en 3D avec toit :

Le chalet :

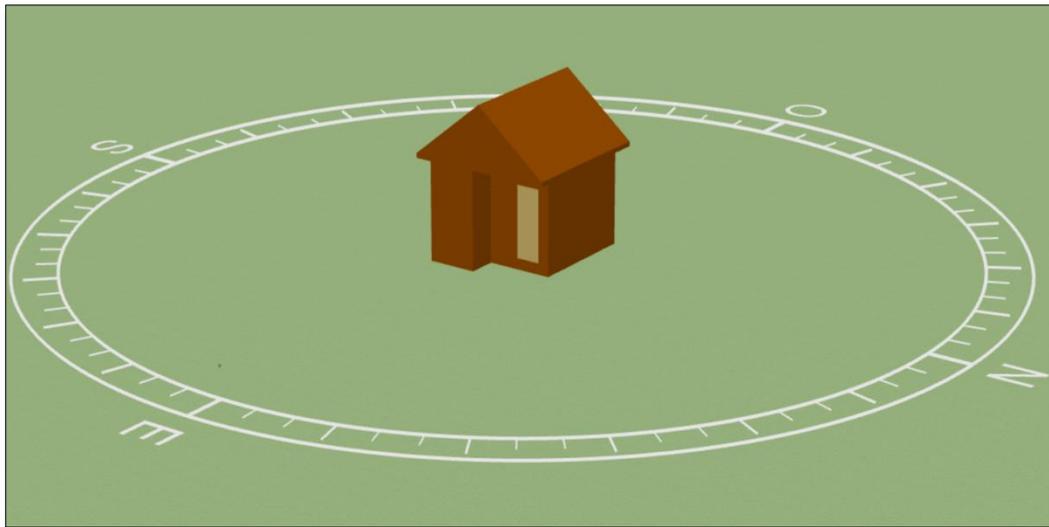


Figure 3.27 : Orientation et vue en 3D du chalet avec le toit

Le restaurant :



Figure 3.28 : Orientation et vue en 3D du restaurant avec le toit

3.3.2.5 Définition des scénarios dans le Modeleur Pléiades :

Pour nos deux cas d'étude nous avons intégré les scénarios suivant: scenario d'occupation, scenario d'occultation, scenario de puissance dissipée, scénario de température et scenario de ventilation.

3.3.2.5.1 Scenario d'occupation :

Ce scenario permet de déterminer le nombre d'occupants du logement ainsi que le taux de fréquentation de l'espace par heure, le but de ce scenario est de déterminer les apports internes produits par les occupants de l'habitat étudié.

La chaleur et l'humidité dégagée par chaque occupant sont respectivement 80 W sensible et 0.055 kg eau/h.

3.3.2.5.1.1 Le scenario d'occupation de la salle de restauration :

La salle du restaurant peut être occupée par 18 clients et 2 serveurs.

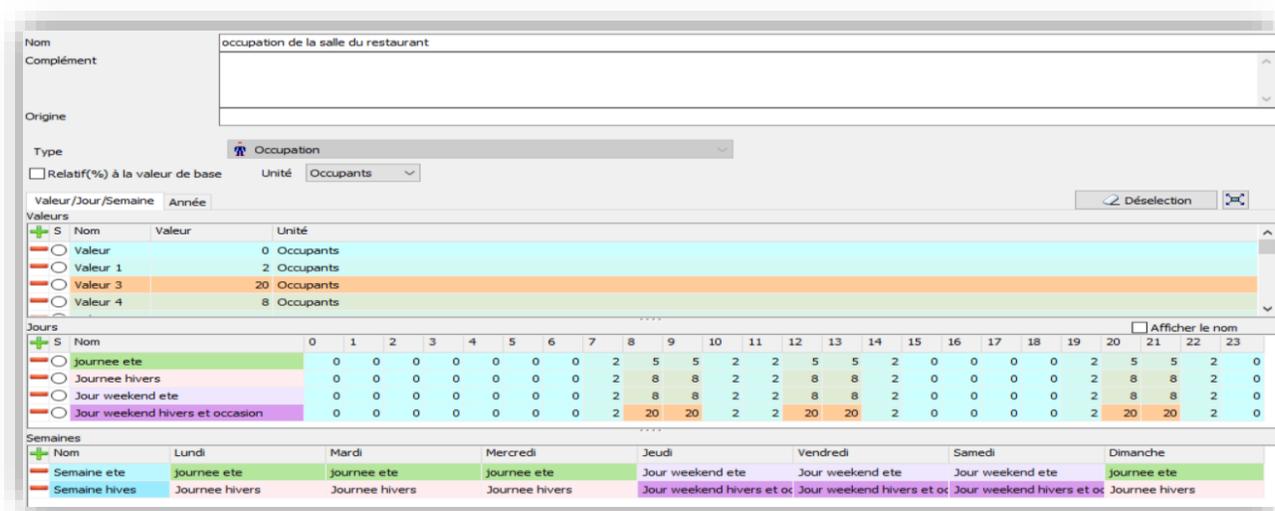


Figure 3.29 : Scénario d'occupation pour la salle de restauration

3.3.2.5.1.2 Le scenario d'occupation de la cuisine du restaurant :

La cuisine est occupée par deux employés de 7h à 15h et de 18h à 23h.

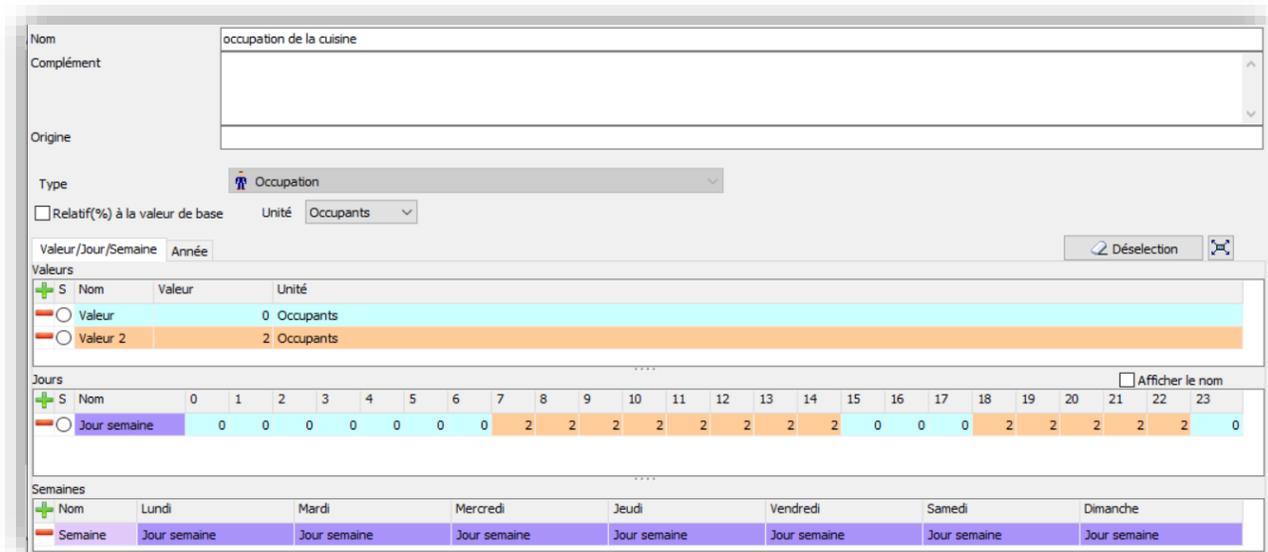


Figure 3.30 : Scénario d'occupation pour la cuisine

3.3.2.5.1.3 Le scenario d'occupation du comble du chalet :

La chambre du chalet peut accueillir jusqu'à 3 occupants.

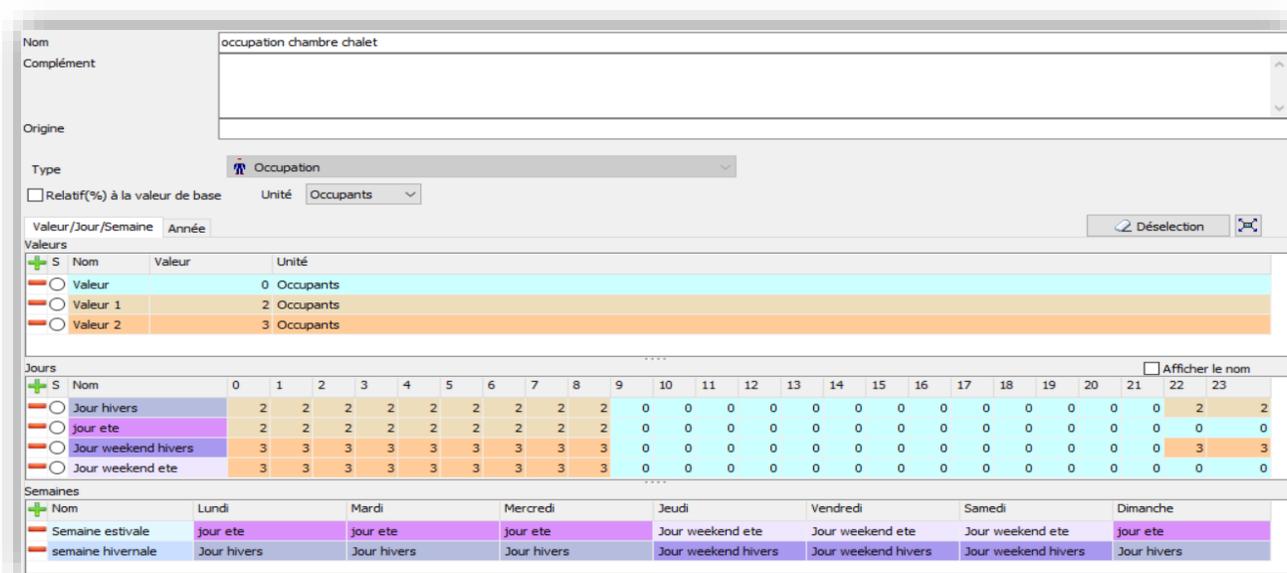


Figure 3.31 : Scénario d'occupation pour la chambre du chalet.

3.3.2.5.1.4 Le scenario d'occupation du comble du chalet :

Le comble du chalet peut accueillir jusqu'à 3 occupants.

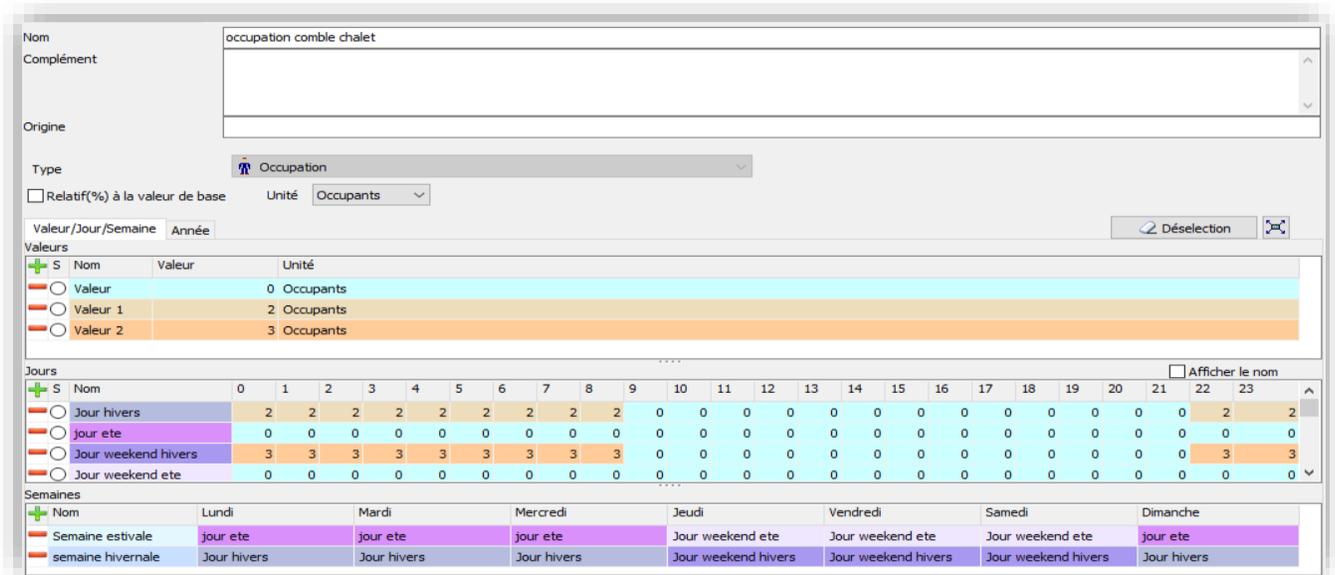


Figure 3.32 : Scénario d'occupation pour le comble du chalet

3.3.2.5.2 Le scenario de puissance dissipée :

3.3.2.5.2.1 Scénario proposé pour la salle de restauration :

La salle contient 2 lampes (33 watts pour chacune) allumées de 19h à 23h en été, de 7h à 8h et de 18h à 23h en hiverns.

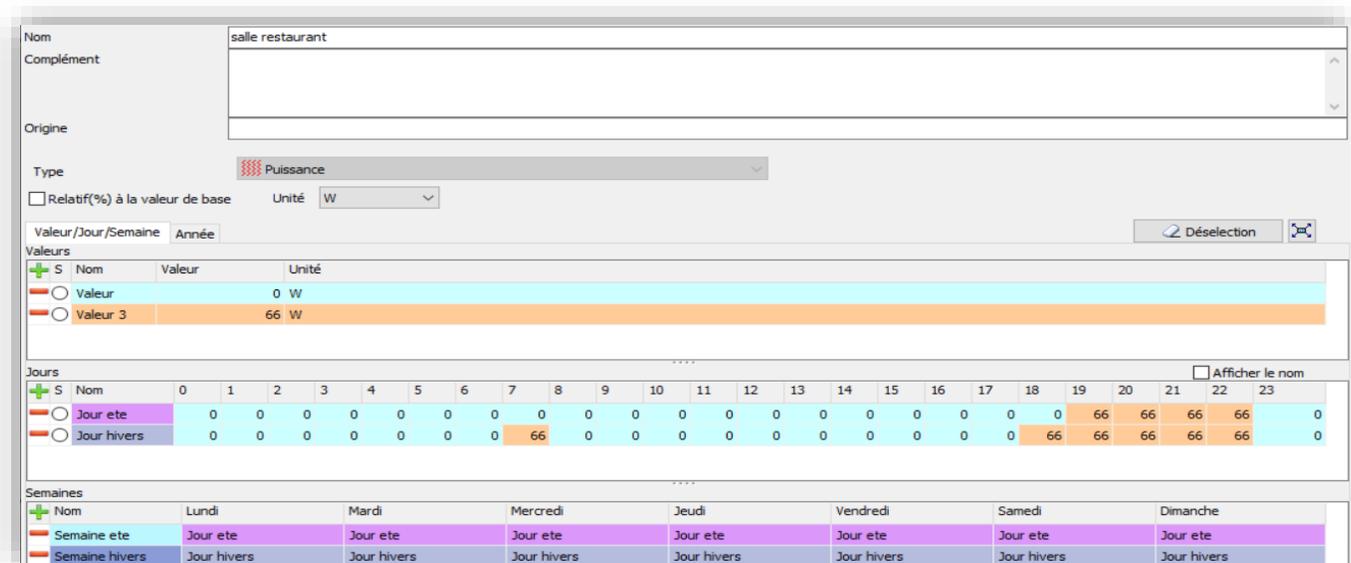


Figure 3.33 : Scenario de puissance dissipée pour la salle de restauration

3.3.2.5.2.2 Scénario proposé pour la cuisine : La cuisine du restaurant contient :

- une lampe (33watts) allumée de 19h à 23h en été, de 7h à 15h et de 18h à 23h en hivers.
- Un réfrigérateur (70watts) qui fonctionne tout le temps.
- Un four à gaz (300 watts) qui fonctionne de 7h à 14h et de 18h à 22h.

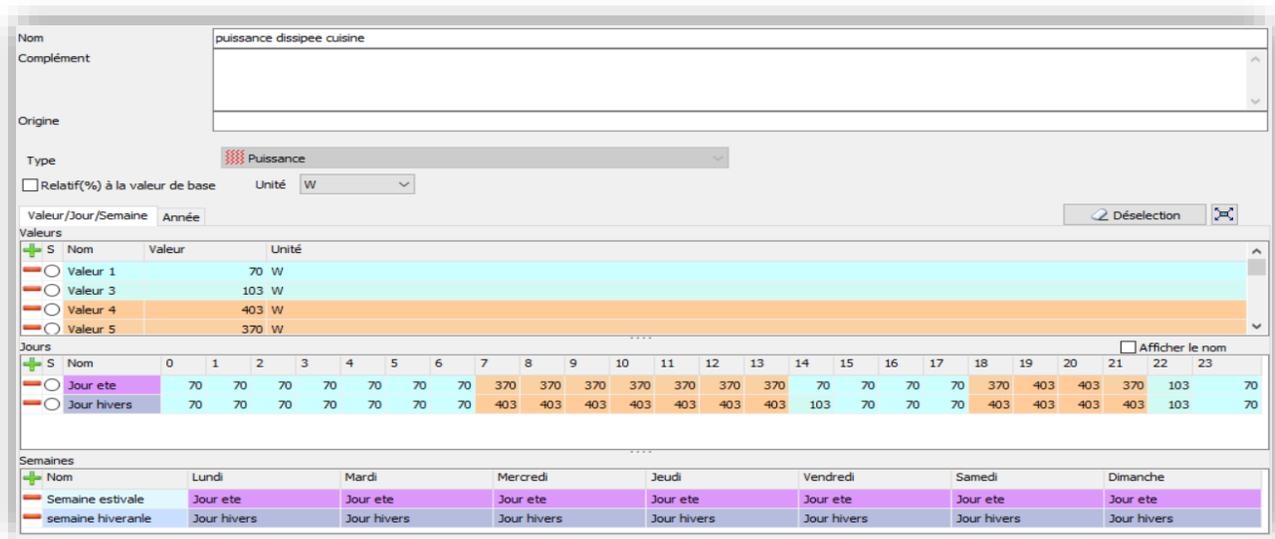


Figure 3.34 : Le scenario de puissance dissipée pour la cuisine.

3.3.2.5.2.3 Scénario proposé pour la chambre du chalet :

Une lampe (33watts) de 00h à 2h en été, de 7h à 9h et de 22h à 00h en hivers.

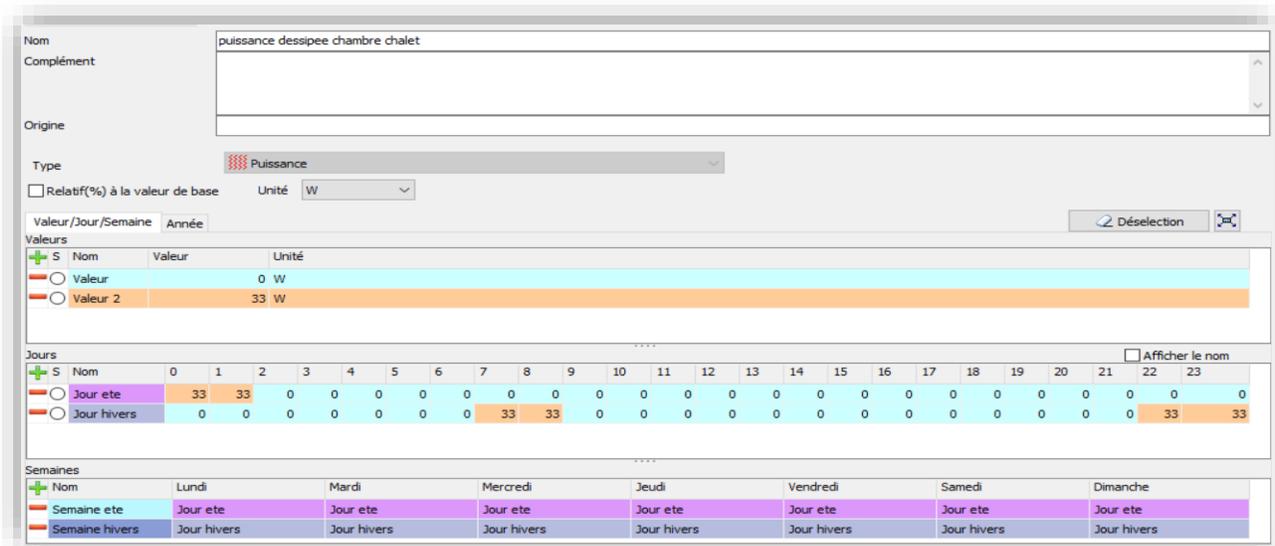


Figure 3.35 : Le scenario de puissance dissipée de la chambre de chalet

3.3.2.5.2.4 Scénario proposé pour le comble du chalet :

Une lampe (33watts) de 7h à 9h et de 22h à 00h en hivers.

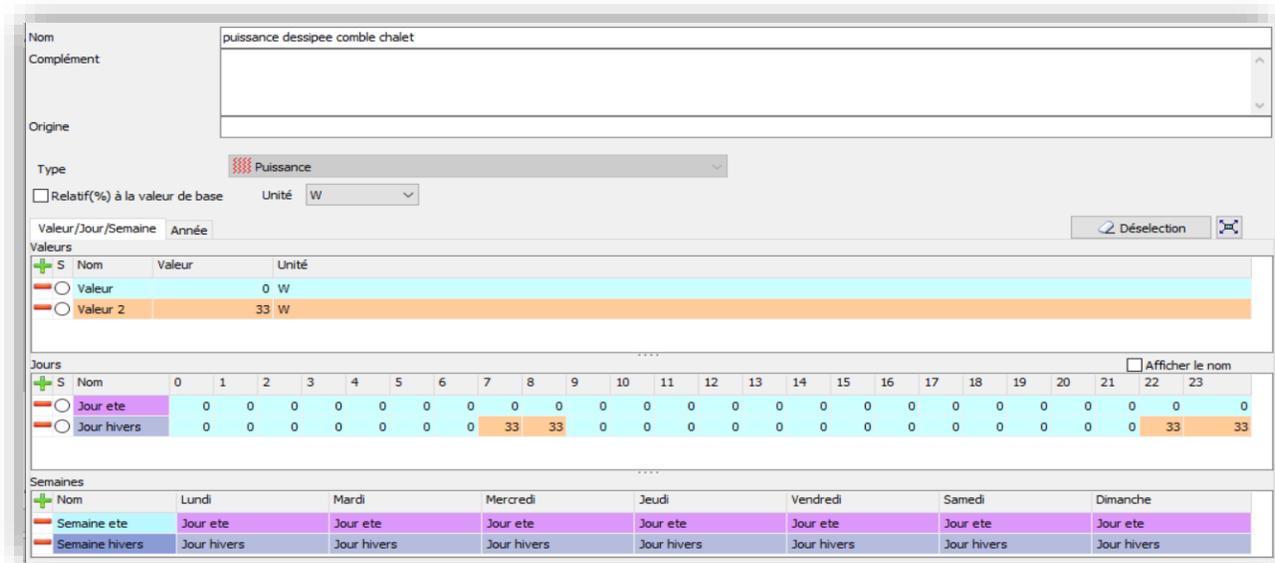


Figure 3.36 : Scenario de puissance dissipée du comble du chalet.

3.3.2.5.3 Le scenario d'occultation pour la chambre du chalet :

Les volets de la fenêtre de la chambre sont ouverts de 00h à 9h en été, et de 8h à 9h en hivers.

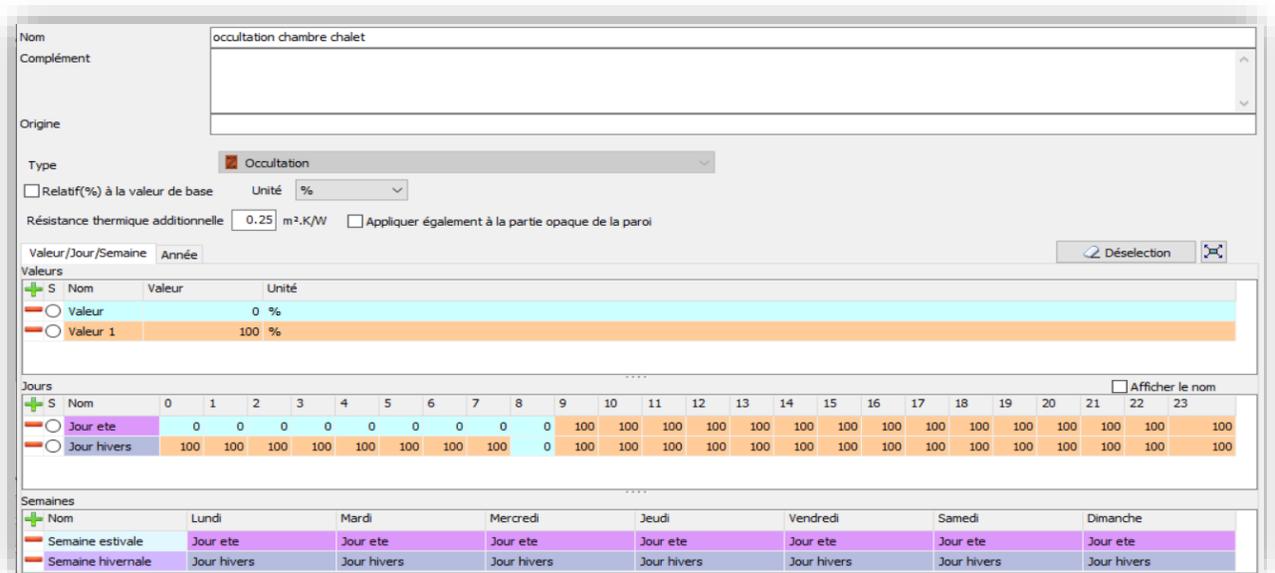


Figure 3.37 : Le scenario d'occultation de la chambre du chalet.

3.3.2.5.4 Le scenario de ventilation :

3.3.2.5.4.1 Le scenario de ventilation sans consigne de thermostat pour la salle de restauration :

Parmi les 14 fenêtres,3 seulement s'ouvrent.

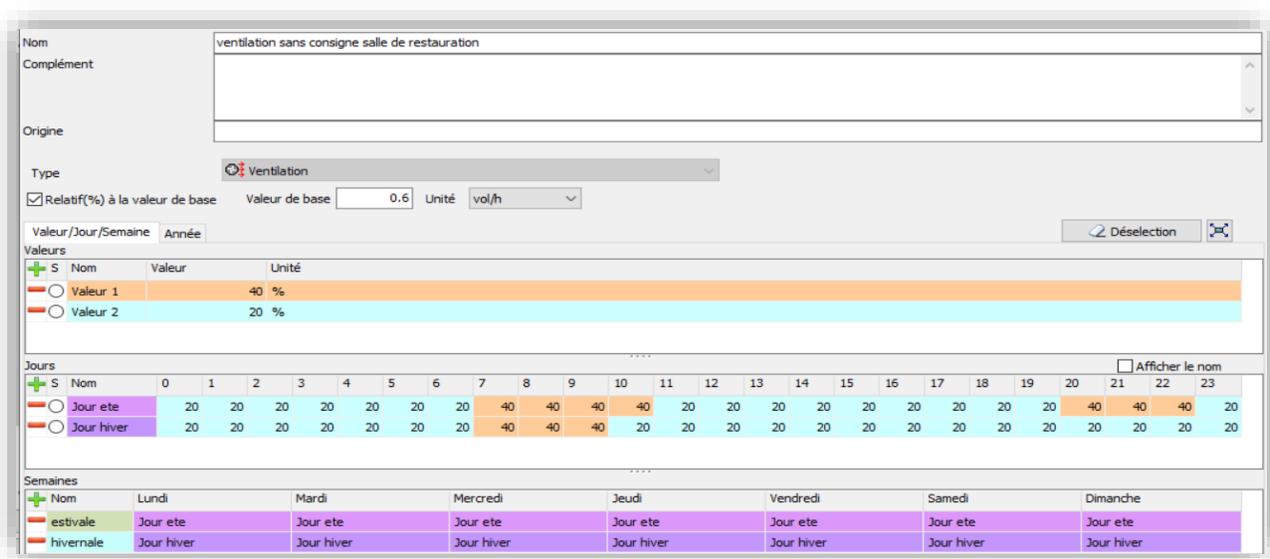


Figure 3.38 : Le scenario de ventilation de la salle de restauration.

3.3.2.5.4.2 Le scenario de ventilation sans consigne de thermostat proposé pour la cuisine :

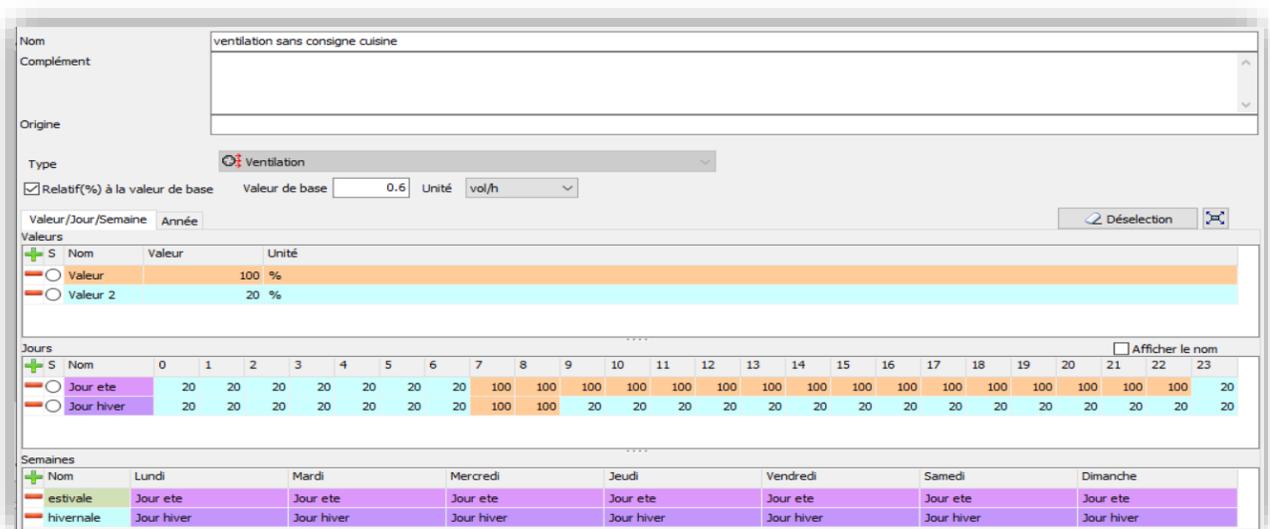


Figure 3.39 : Le scenario de ventilation sans consigne de thermostat pour la cuisine.

3.3.2.5.4.3 Le scenario sans consigne de thermostat proposé pour la chambre du chalet :

La fenêtre de la chambre est ouverte de 00h à 09h en été, et de 08h à 9h en hiver

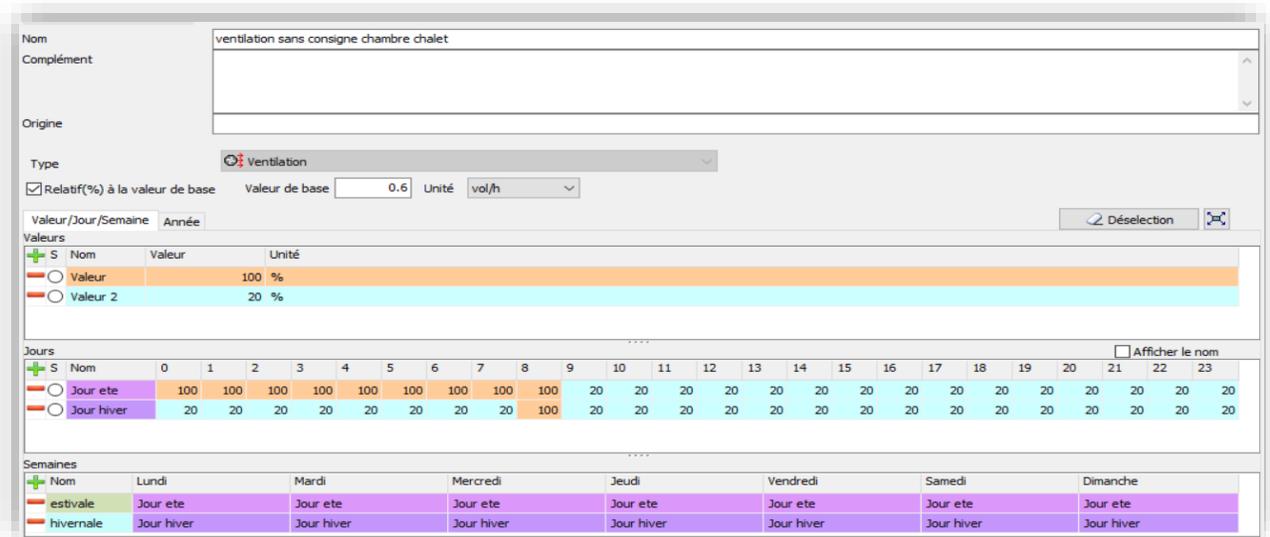


Figure 3.40 : Le scenario de ventilation sans consigne pour la chambre du chalet.

3.3.2.5.4.4 Le scenario de ventilation sans cosigne proposée pour le comble et le sanitaire du chalet :

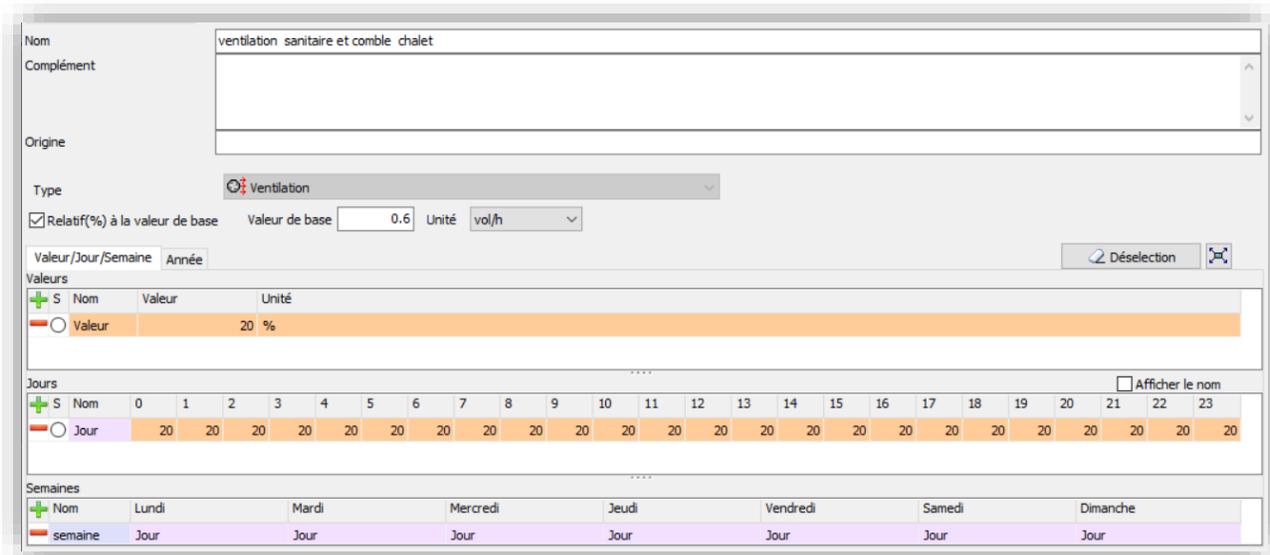


Figure 3.41 : Le scenario de ventilation sans consigne pour le comble et le sanitaire du chalet.

3.3.2.5.4.5 Le scenario de ventilation avec consigne de thermostat :

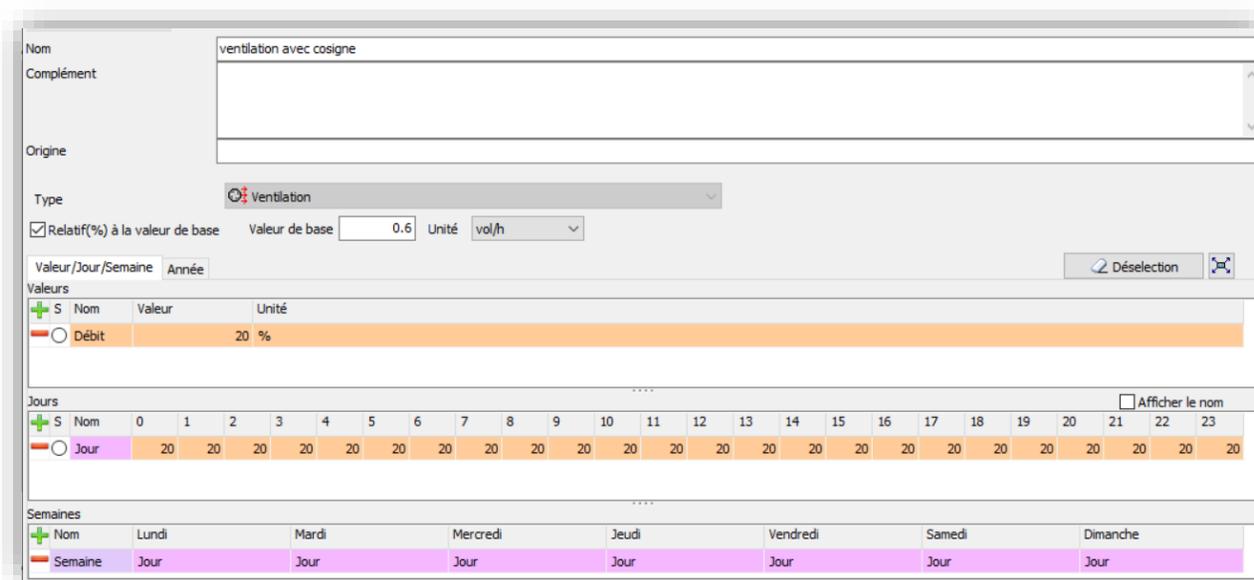


Figure 3.42 : Le scenario de ventilation avec consigne de thermostat

3.3.2.5.5 Le scenario de consigne de thermostat :

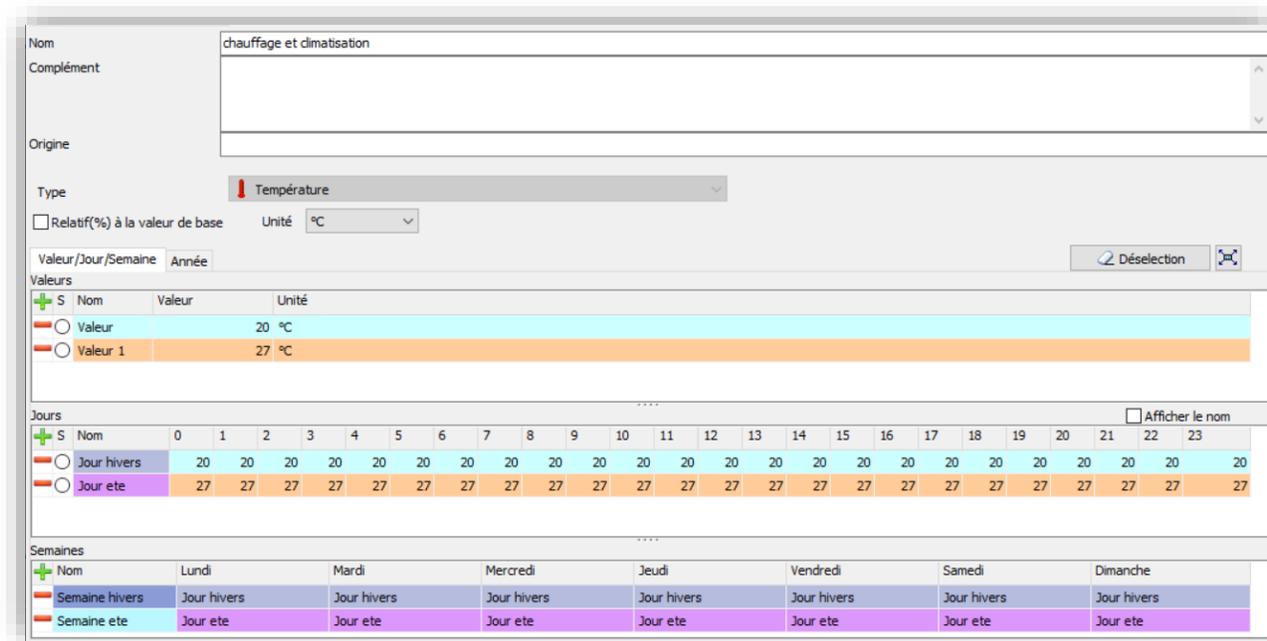


Figure 3.43 : Le scenario de température

3.3.2.6 Lancement de la simulation :

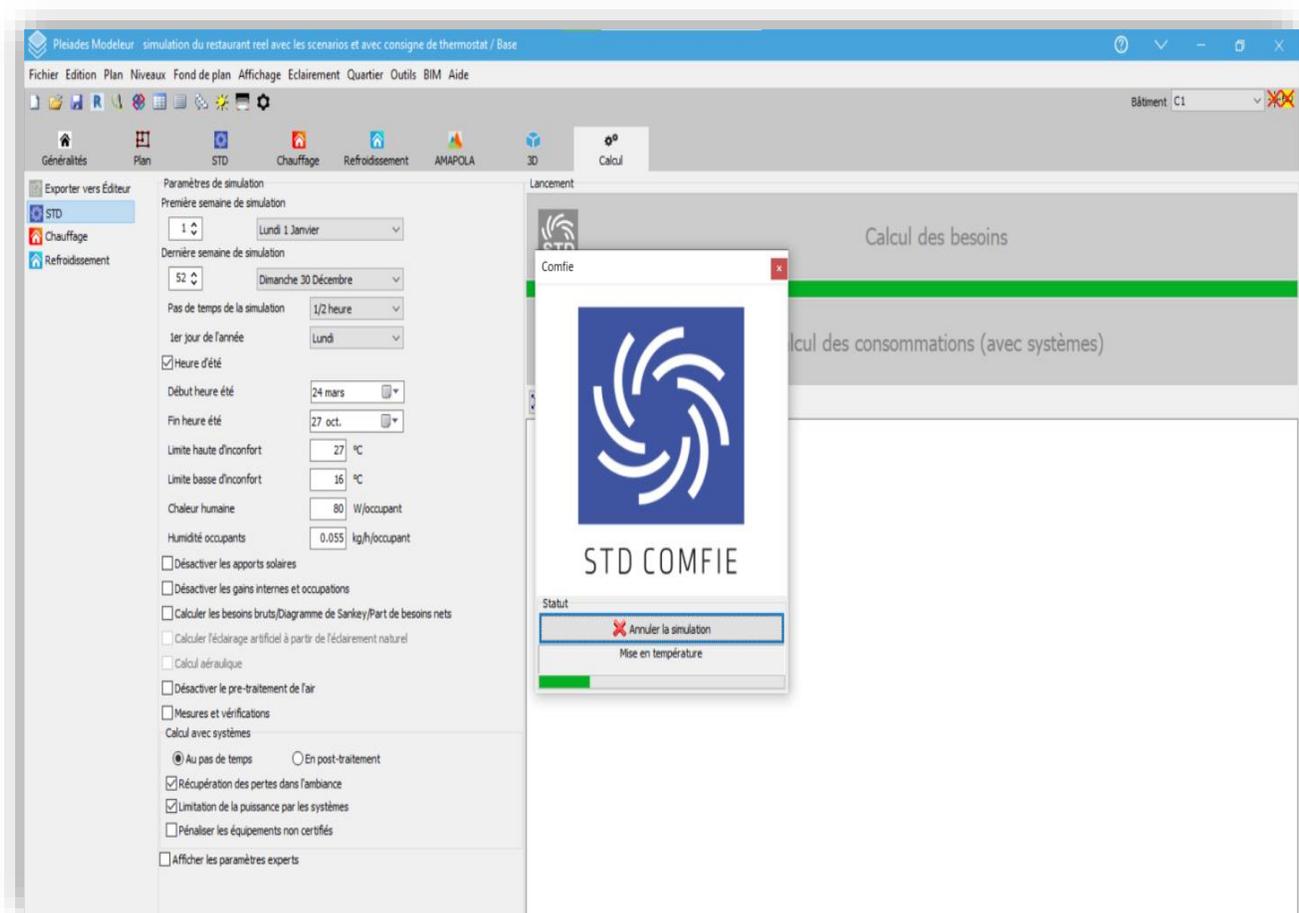


Figure 3.44 : Lancement de la simulation.

3.4 Méthodologie de simulation :

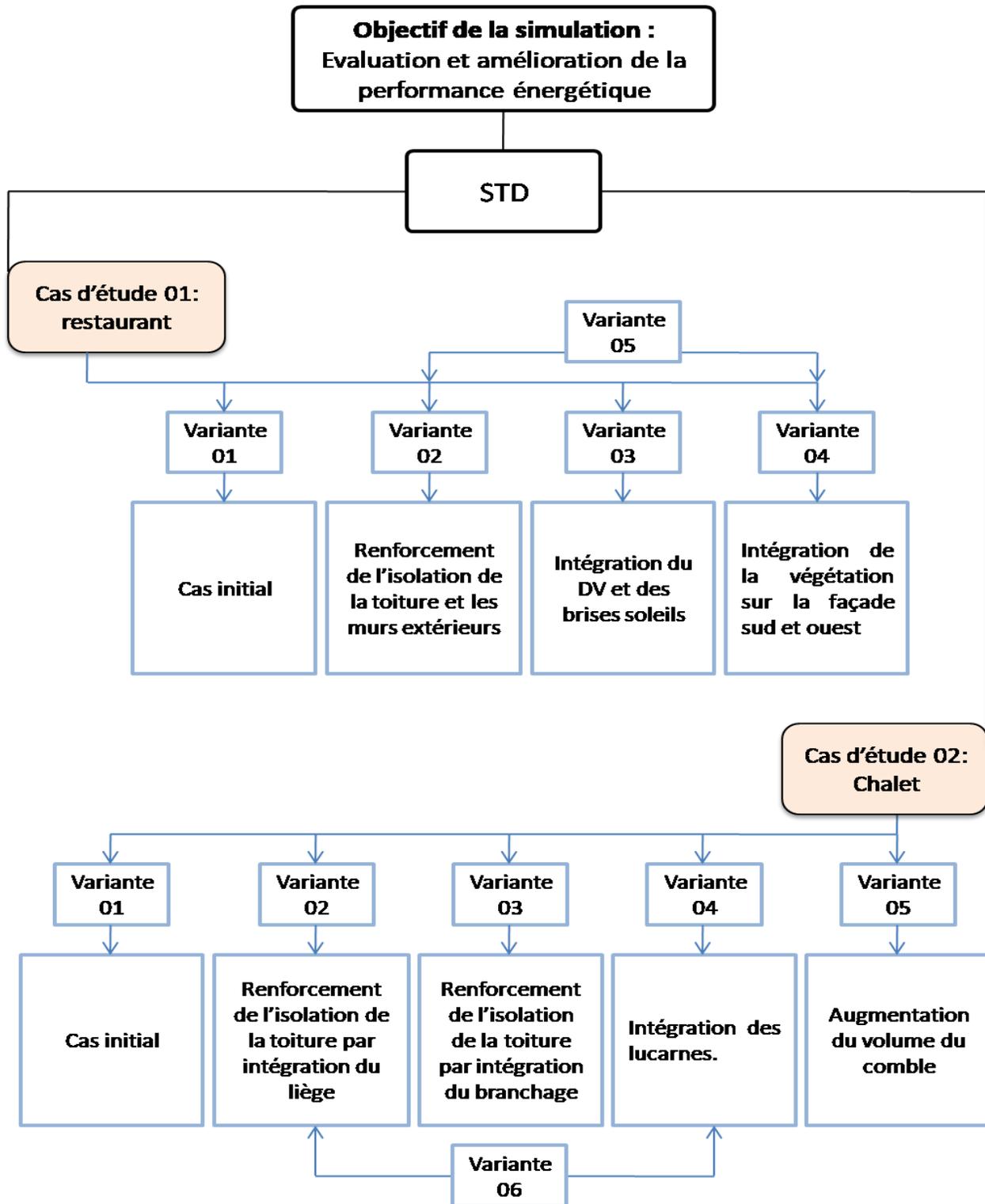


Figure 3.45 : La méthodologie de la simulation

3.4.1 Présentation des différentes variantes étudiées dans le cas du restaurant :

Variante 01 : cas initial.

Variante 02 : renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture.

- Intégration de 5 cm de liège dans les murs extérieurs.
- Intégration de 10 cm de liège dans la toiture.

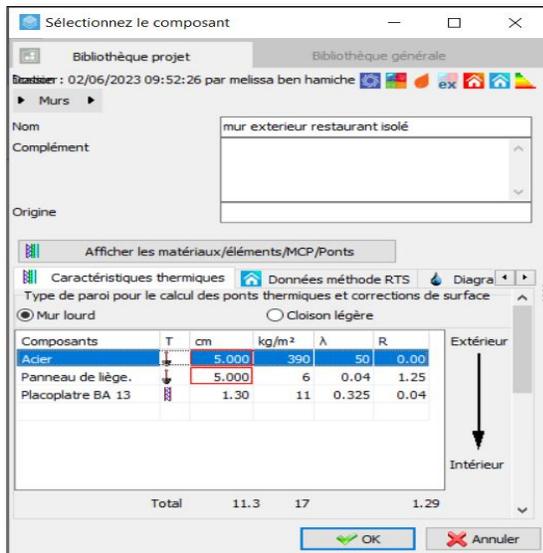


Figure 3.46 : La composition de mur extérieure après le renforcement de

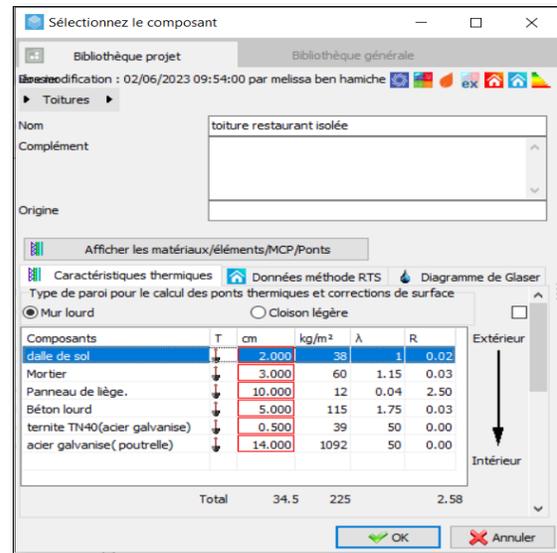


Figure 3.47 : La composition de la toiture après le renforcement de l'isolation.

Variante 03 : remplacement des ouvertures a simple vitrage par celles à double vitrage et intégration des brises soleil horizontaux.

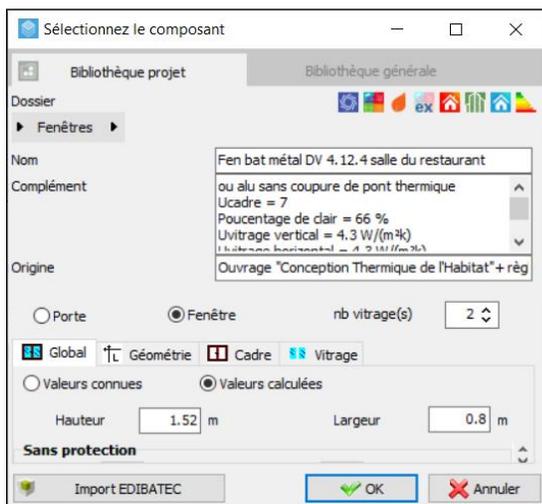


Figure 3.48 : Création d'une nouvelle fenêtre à double vitrage (fenêtre salle du restaurant)

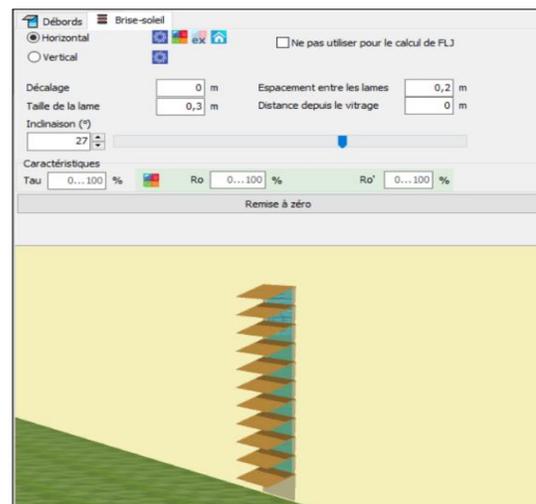


Figure 3.49 : Intégration des brises soleil

Variante 04: intégration de la végétation.

Dans cette variante nous avons proposé une solution de refroidissement passif en été, qui est l'intégration de 10 cm de lierre qui est une plante grimpante (lierre) sur la façade sur et est du restaurant.

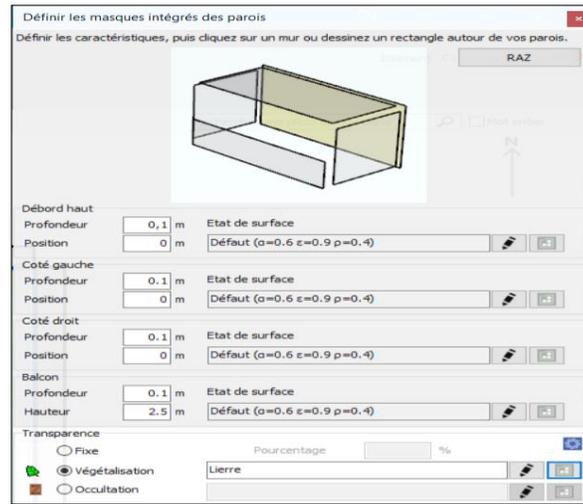


Figure 3.50 : Intégration de la végétation

Variante 05 : renforcement de l'isolation et intégration de la végétation.

Dans cette variante nous avons proposé de renforcer l'isolation du restaurant en intégrant 10 cm de liège dans la toiture et dans les murs extérieurs. Et aussi d'intégrer 10 cm de lierre sur les murs extérieurs durant la période estivale seulement.

3.4.2 Présentation des différentes variantes étudiées dans le cas du chalet :

Variante 01: cas initiale.

Variante 02: renforcement de l'isolation de la toiture.

- Intégration de 10 cm de liège dans la toiture

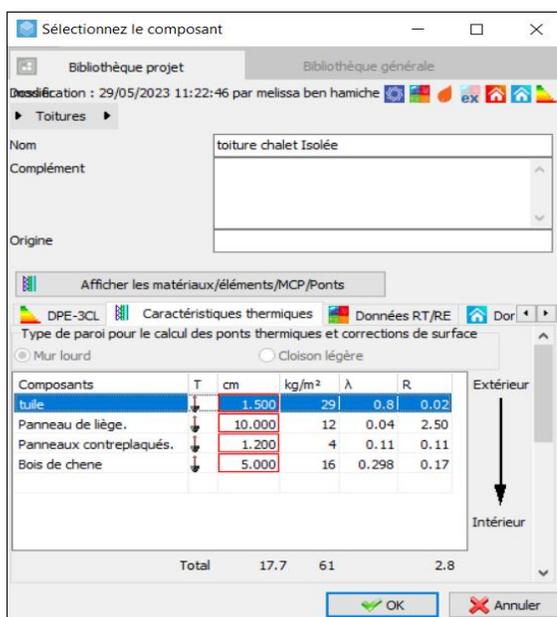


Figure 3.51 : Composition de la toiture du chalet après le renforcement de l'isolation.

Variante 03 : intégration du branchage dans la toiture du chalet.

- Intégration de 10cm du branchage dans la toiture du chalet.

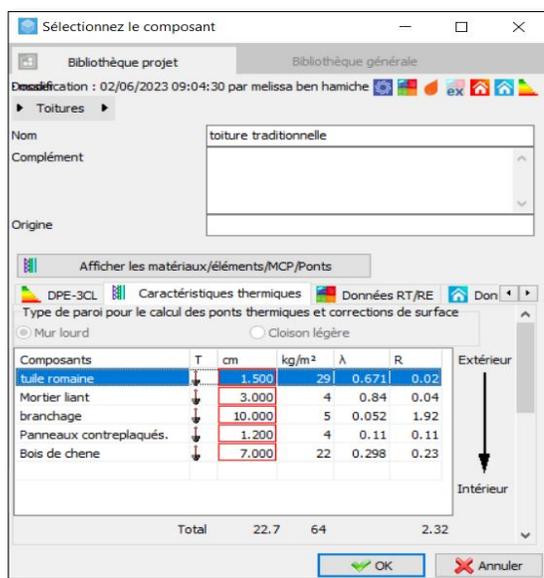


Figure 3.52 : Composition de la toiture du chalet après l'intégration du branchage.

Variante 04 : intégration de lucarne et création d'une ventilation par effet cheminée :

Dans cette variante nous avons intégré deux lucarnes de (0,5×0,5) m sur la toiture du chalet en bois pour crée une ventilation naturelle par effet cheminée en période estivale.

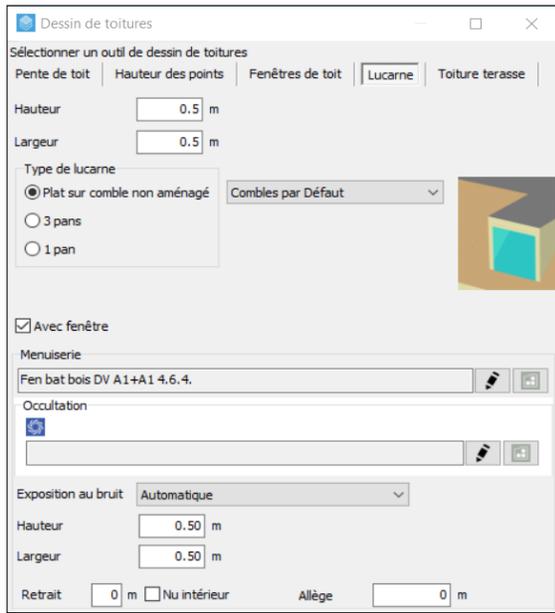


Figure 3.53 :Création d'une lucarne.



Figure 3.54 : Vue en 3D du chalet après l'intégration des lucarnes.

Le scenario de ventilation intégré :

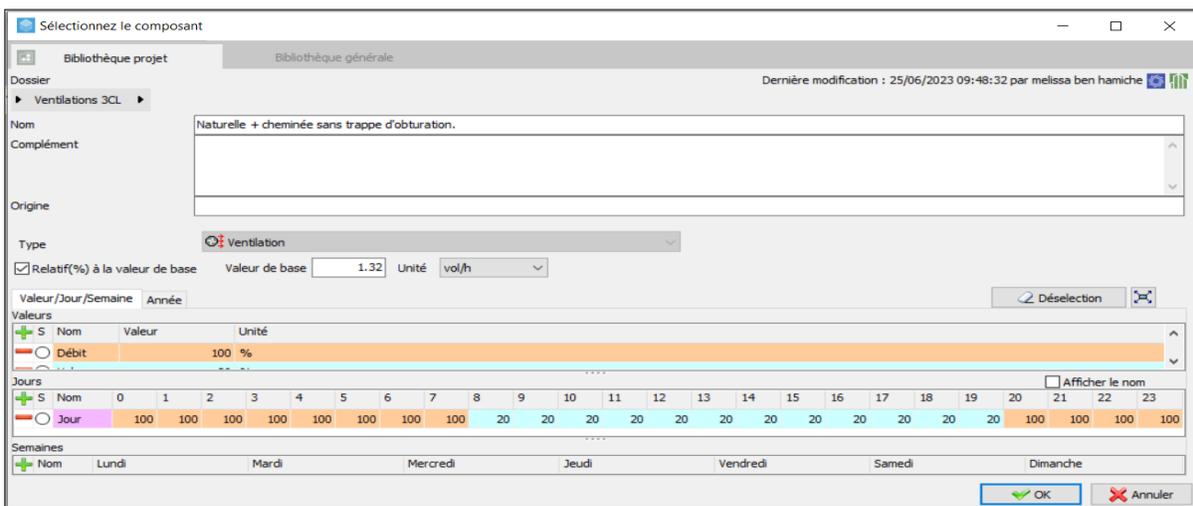


Figure 3.55 : Scenario de ventilation appliquée à la variante 03 du chalet.

Variante 05 :

Dans cette variante nous avons proposé de définir la hauteur sous la toiture du comble à 4m.

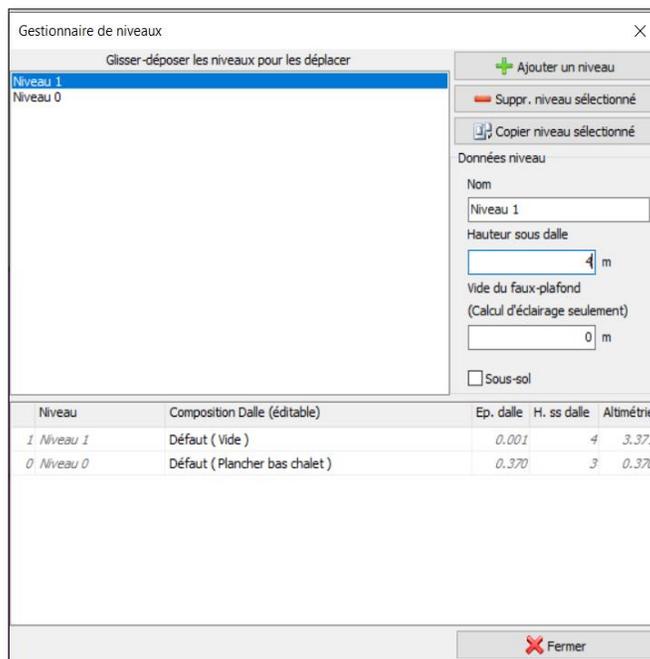


Figure 3.56 : Définition d'une hauteur sous la dalle de 4m pour le niveau 2 du chalet.

Variante 6 : renforcement de l'isolation de la toiture et intégration de deux lucarnes :

- Intégration de 10cm de liège dans la toiture.
- Intégration de deux lucarnes de (0,5×0,5) m dans la toiture et création d'une ventilation par effet cheminée.

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présenté le logiciel utilisé pour la simulation thermique dynamique de nos deux cas d'étude ainsi que les différentes étapes suivies. Les résultats de la simulation seront présentés dans le prochain chapitre.

Chapitre 4 :
Résultats et discussion

4 Introduction:

Au cours de ce chapitre, nous exposerons les résultats issus des diverses simulations réalisées, et aussi une comparaison entre les résultats expérimentaux et théoriques obtenus de nos deux cas d'étude.

4.1 Les simulations du restaurant :

4.1.1 Les simulations sans consigne de thermostat :

Les scenarios de fonctionnement :

- Scenario d'occupation.
- Scenario d'occultation.
- Scenario de puissance dissipée.
- Scenario de ventilation.

4.1.1.1 Les simulations estivales :

4.1.1.1.1 Variante 01: cas initial:

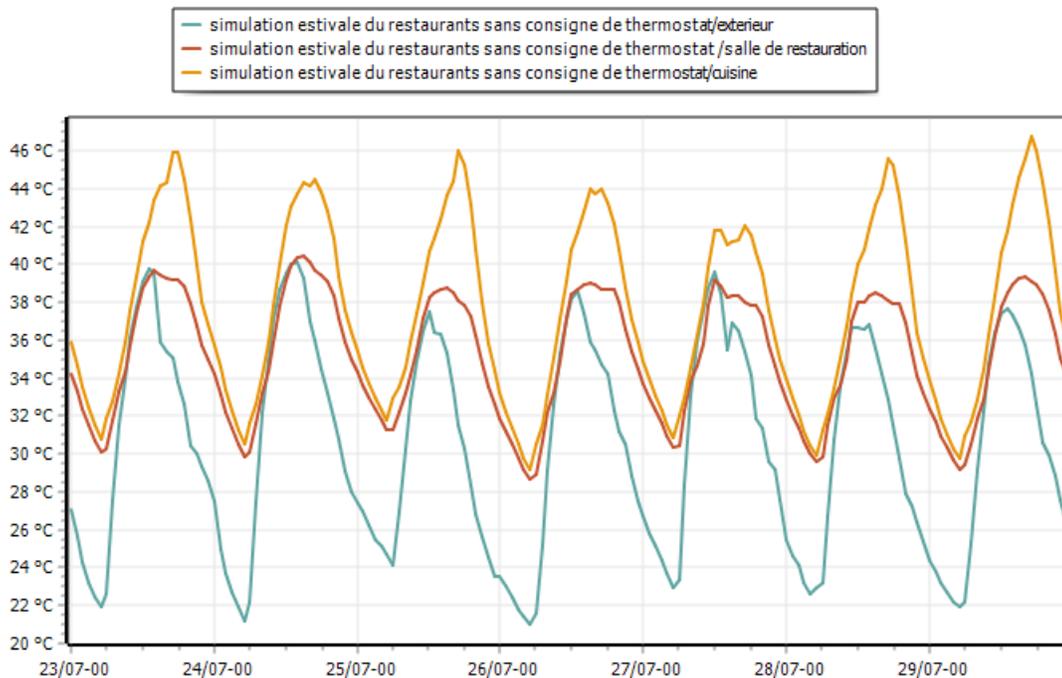


Figure 4.1 : Variante1: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant.

Interprétation :

D'après le graphique ci-dessus, nous pouvons observer que les températures extérieures varient entre 21°C et 40,1°C. Tandis qu'à l'intérieur de la salle de restauration, les températures fluctuent entre 28,8°C et 40,5°C, et dans la cuisine, elles varient entre 29,5°C et 46,5°C. Ce qui représente un écart de 0,4°C et de 6,4°C avec l'extérieur, dans la salle et la cuisine respectivement.

Ces fluctuations significatives dans les deux zones du restaurant s'expliquent par la nature du matériau utilisé, le métal, qui présente une conductivité thermique élevée et une faible inertie thermique. De plus, les apports internes générés par les différents appareils de cuisine contribuent également à ces fluctuations, tout comme l'orientation de la cuisine vers le sud.

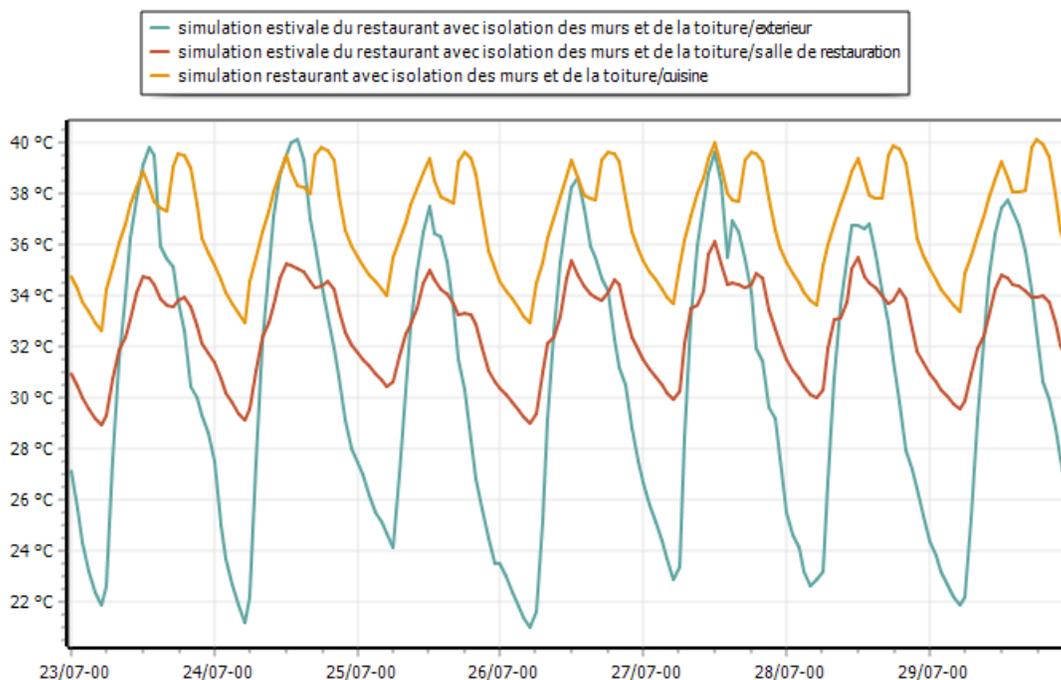
4.1.1.1.2 Variante 02 : renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture :

Figure4.2 : Variante 02 : Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant

Interprétation :

Après le renforcement de l'isolation de la toiture et des murs extérieurs du restaurant, nous observons que la température à l'intérieur de la salle varie entre 28,5°C et 36,1°C, et celle à

l'intérieur de la cuisine entre 32,3°C et 40,1°C donc elles ont baissé, de l'ordre de 4,4°C dans la salle et de 6,4°C comparant au cas initial, dans la salle et la cuisine respectivement.

Comparant à la température extérieure, la température à l'intérieur de la salle a baissé de 4°C, et celle à l'intérieur de la cuisine n'a pas varié ce qui nous prouve l'impact positif de l'intégration de l'isolation thermique sur les conditions intérieures du restaurant.

4.1.1.1.3 Variante 03 : remplacement des ouvertures à simple vitrage par celles à double vitrage et intégration des brises soleil horizontaux :

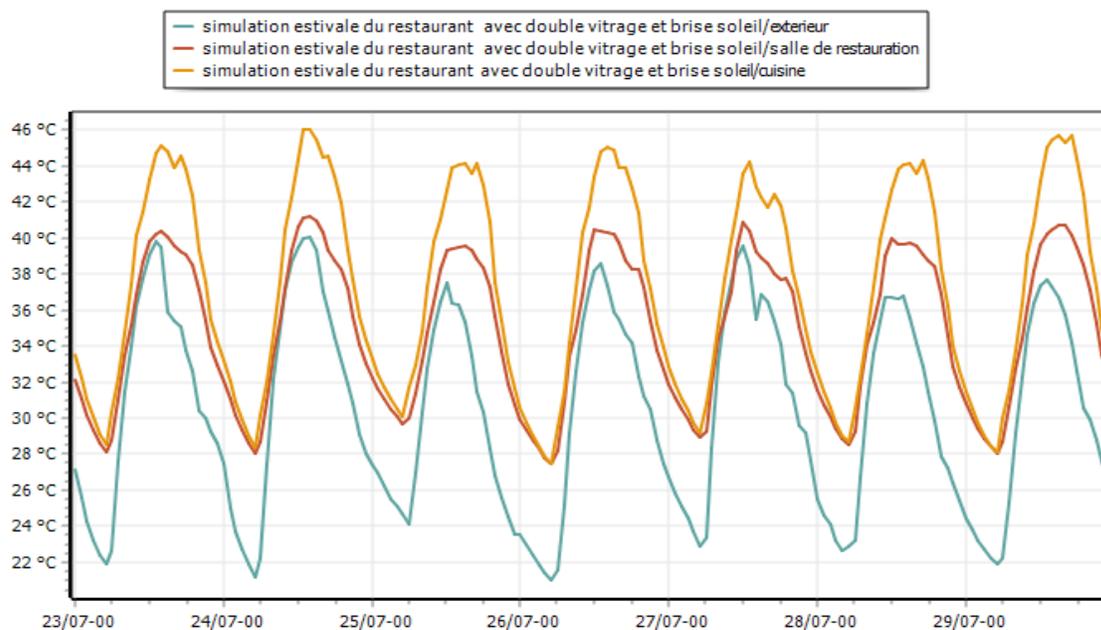


Figure 4.3 : Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant.

4.1.1.1.4 Variante 04: intégration de la végétation.

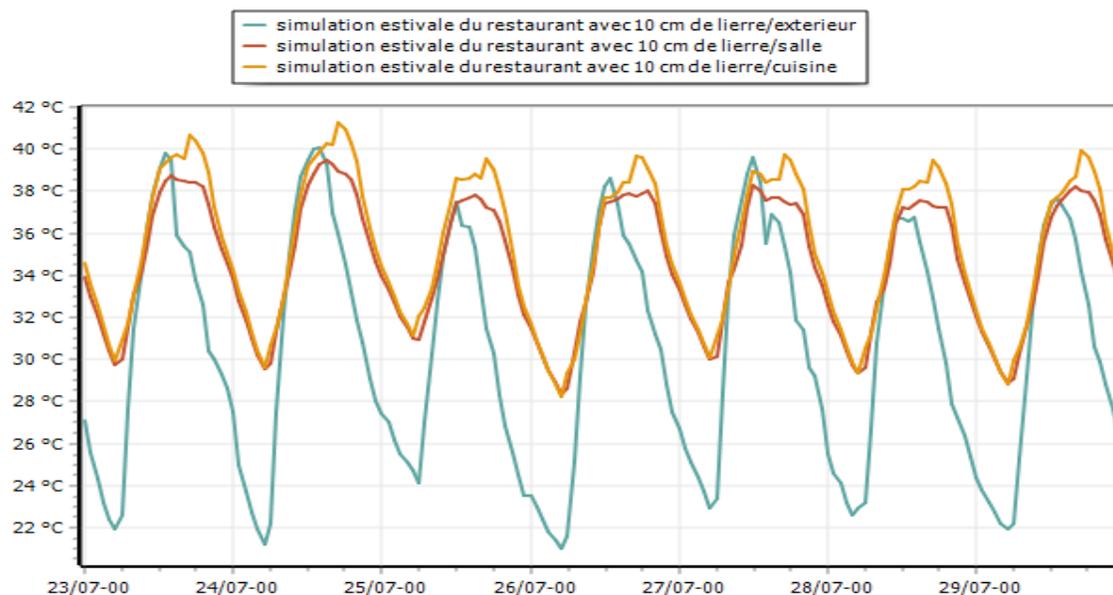


Figure 4.4 : Variante 04: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant.

Interprétation :

En se référant du graphe présenté dans la figure 4.4 , nous pouvons observer que l'intégration d'un double vitrage et des brises soleil (variante 03) a entraîné une augmentation de la température de la salle de $0,7^{\circ}\text{C}$ comparant au cas initial et de $1,1^{\circ}\text{C}$ comparant à la température extérieure, avec des températures fluctuant entre $27,5^{\circ}\text{C}$ et $41,2^{\circ}\text{C}$. Cette augmentation est due à la favorisation de l'effet de serre.

Quant à la température de la cuisine elle varie entre $27,5^{\circ}\text{C}$ et 46°C , ce qui fait qu'elle a baissé de $0,5^{\circ}\text{C}$ comparant aux températures enregistrées au cas initial, et elle a augmenté de $5,9^{\circ}\text{C}$ comparant aux températures extérieures.

En ce qui concerne la variante 04, il est remarquable que l'intégration de la végétation qui sert au refroidissement passif, a fait diminuer la température intérieure de la salle de restauration de $1,1^{\circ}\text{C}$ par rapport au cas initial et de $0,7^{\circ}\text{C}$ par rapport à la température extérieure, avec des températures qui varie entre $28,1^{\circ}\text{C}$ et $39,4^{\circ}\text{C}$. Et pour le cas de la cuisine, ses températures fluctuent entre $28,1^{\circ}\text{C}$ et $41,3^{\circ}\text{C}$, donc elles ont baissé de $5,2^{\circ}\text{C}$ par rapport au cas initial, mais elle reste supérieure à la température extérieure (avec une différence de $1,2^{\circ}\text{C}$).

Cette augmentation de la température de la cuisine est en raison de la chaleur émise par les divers appareils ainsi que de son orientation vers le sud.

4.1.1.1.5 Variante 05 : renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture et intégration de la végétation :

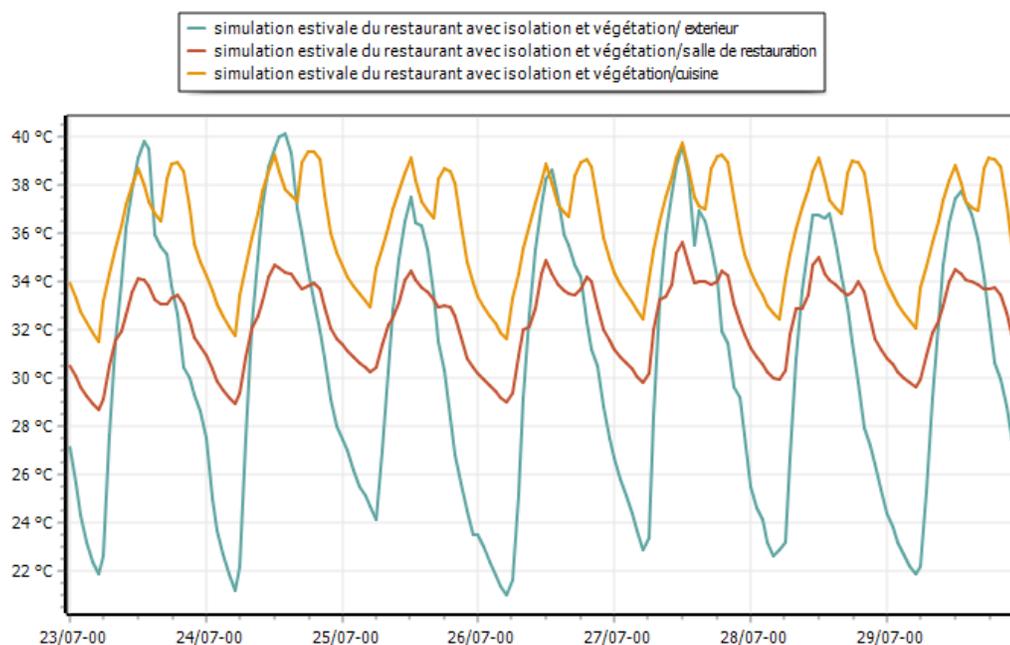


Figure 4.5 : Variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le restaurant.

Interprétation :

D'après le graphe de la simulation estivale de la variante 05, nous pouvons constater que le comportement du restaurant est plus stable après le renforcement de son isolation et l'intégration de la végétation. La salle de restauration a présenté des températures qui oscillent entre 28,7°C et 35,6°C, soit un écart de **4,9°C** avec la température de la salle au cas initial, et de **4,5°C** avec la température extérieure.

Pour le cas de la cuisine, la température a varié entre 31,5°C et 39,7°C, donc elle a présenté un écart de **6,8°C** avec la température de la cuisine au cas initial, et de **0,4°C** avec la température extérieure.

Synthèse :**Tableau 4.1: les températures minimales et maximales et les écarts avec l'extérieur des zones du restaurant en période estivale**

| | Salle de restauration | | | | Cuisine | | | |
|--------------------|-----------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | Tmin (°C) | T max (°C) | Ecart avec L'extérieur (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) | Tmin (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieur (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) |
| Variante 01 | 28,8 | 40,5 | 0,4 | 0 | 29,5 | 46,5 | 6,4 | 0 |
| Variante 02 | 28,5 | 36,1 | 4 | 4,4 | 32,3 | 40,1 | 0 | 6,4 |
| Variante 03 | 27,5 | 41,2 | +1,1 | +0,7 | 27,5 | 46 | +5,9 | -0,5 |
| Variante 04 | 28,1 | 39,4 | 0,7 | 1,1 | 21,8 | 41,3 | +1,2 | 5,2 |
| Variante 05 | 28,7 | 35,6 | 4,5 | 4,9 | 31,5 | 39,7 | 0,4 | 6,8 |

4.1.1.2 Les simulations hivernales :

4.1.1.2.1 Variante 01: cas initial et variante 4 : Intégration de la végétation.

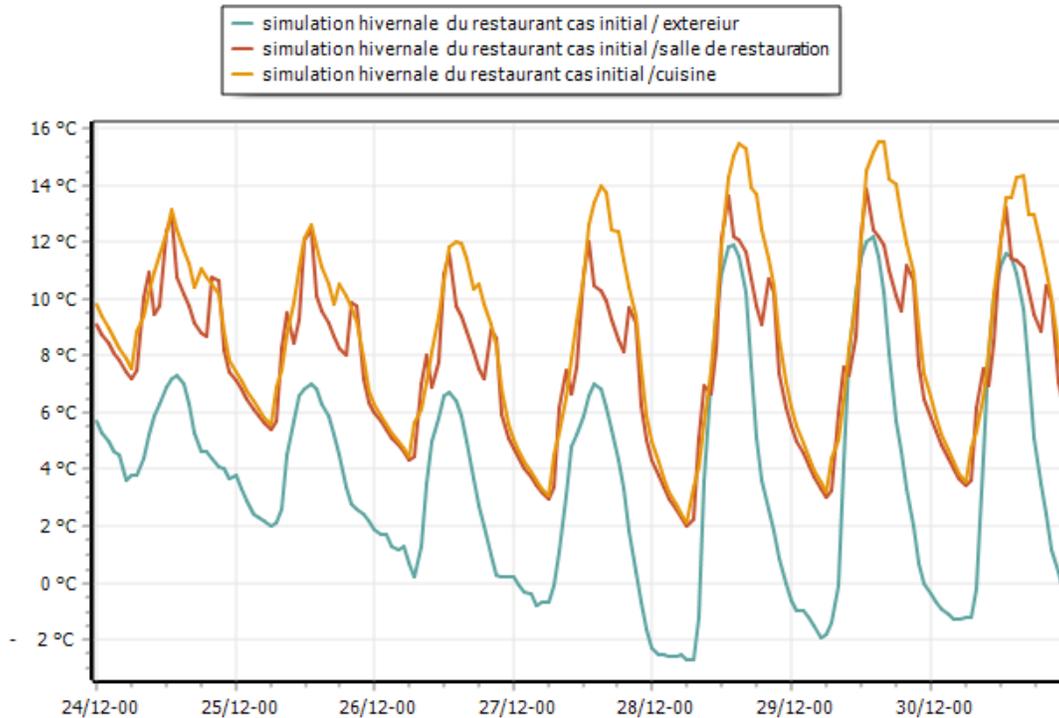


Figure 4.6 : Variante 01 et variante 04 : Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant.

Interprétation :

Selon les résultats obtenus, nous constatons que la température interne des deux zones du restaurant suit la courbe des fluctuations de la température extérieure qui varie entre $-2,7^{\circ}\text{C}$ et $12,1^{\circ}\text{C}$. Cependant, à l'intérieur la température est supérieure à celle de l'extérieur, à cause des apports internes et elle varie entre $2,1^{\circ}\text{C}$ et $13,9^{\circ}\text{C}$ dans la salle, et entre 2°C et $15,5^{\circ}\text{C}$ dans la cuisine. Donc l'écart entre les températures intérieures et extérieures est de $4,8^{\circ}\text{C}$ dans la salle et $4,7^{\circ}\text{C}$ dans la cuisine.

4.1.1.2.2 Variante 02 : renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture, et variante 05 : renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture et intégration de la végétation:

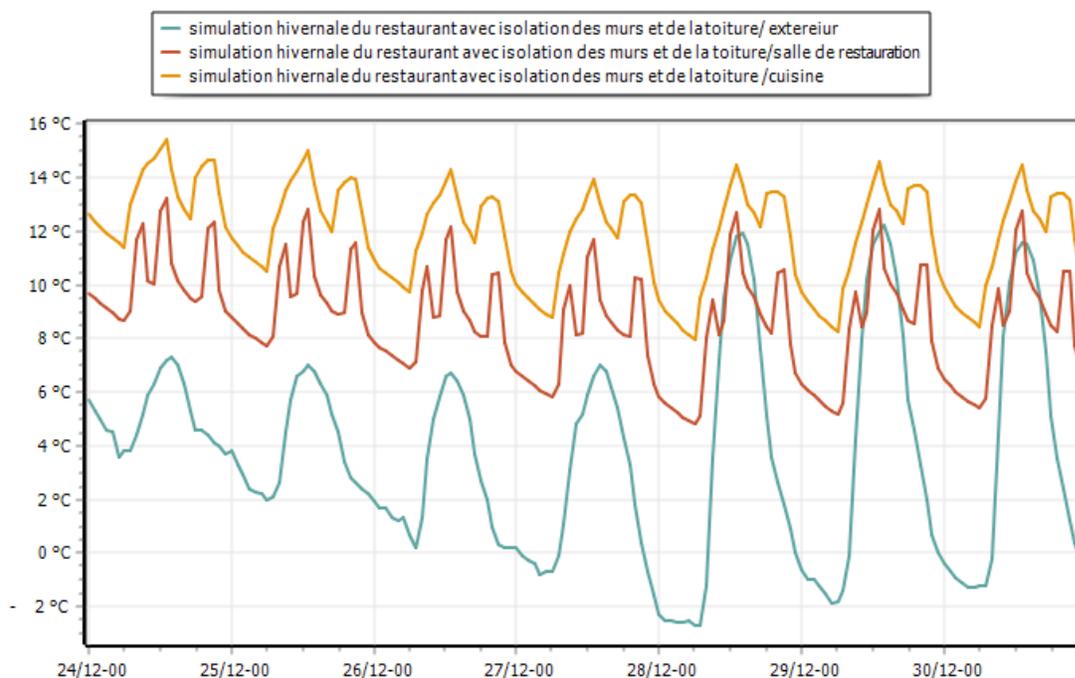


Figure 4.7 : Variante 02 et variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant.

Interprétation :

En interprétant les résultats obtenus de la simulation hivernale de la variante 02 et la variante 05 (voir figure 4,7), nous observons que dans la salle la température minimale est estimée à 4,9°C et la température maximale atteint 13,2°C ; soit un écart de 7,2°C par rapport à l'extérieur, et de 2,8°C par rapport au cas initial. Et dans la cuisine la température est entre une valeur minimale de 8°C et une valeur maximale de 15,5°C, ce qui représente une augmentation de 10,7°C par rapport à l'extérieur et de 6°C par rapport au cas initial.

Cette amélioration dans les conditions intérieures des deux zones du restaurant est due au renforcement de son isolation thermique et donc diminutions des déperditions.

4.1.1.2.3 Variante 03 : remplacement des ouvertures à simple vitrage par celles à double vitrage et intégration des brises soleil horizontaux :

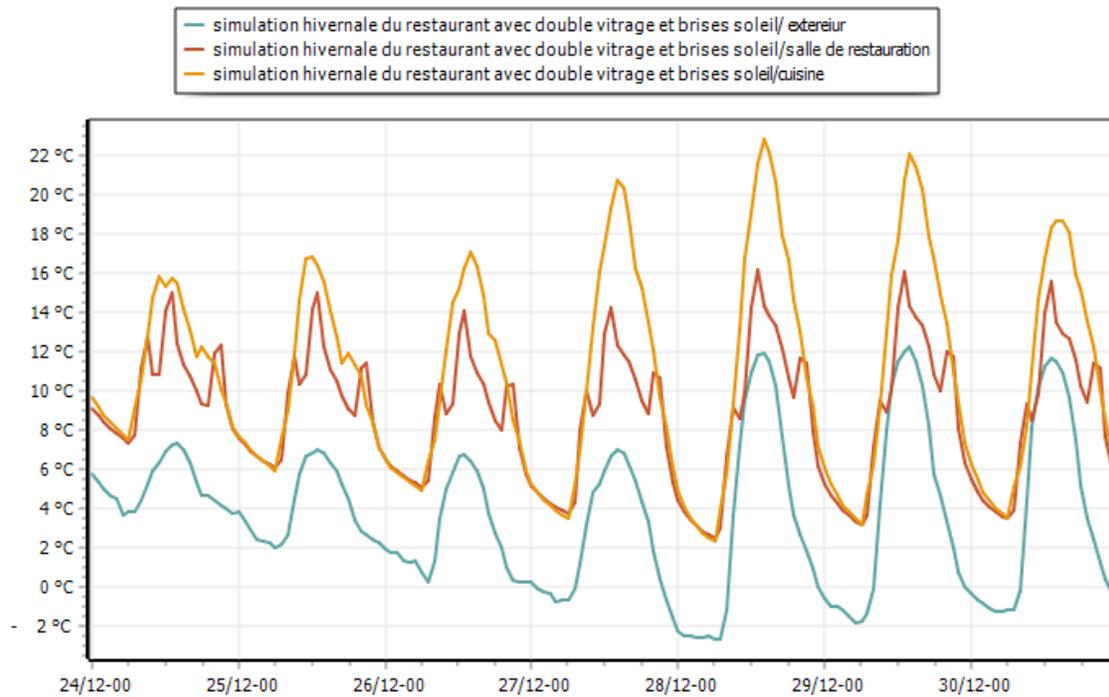


Figure 4.8 Variante 03: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le restaurant.

Interprétation :

D'après les résultats présentés ci-dessus (voir figure 4.8), nous constatons que, l'intégration d'un double vitrage et des brises soleil horizontaux (variante 03) a un impact positif sur les abiances intérieures des deux zones du restaurant. La température à l'intérieur de la salle de restauration a augmenté de **0,4°C** par rapport au cas initial et de **5,2°C** par rapport à l'extérieur, elle varie entre une valeur minimale de **2,5°C** et une valeur maximale de **16,2°C**. Quant à la température à l'intérieur de la cuisine, elle est entre **2,3°C** et **22,9°C**, donc elle a augmenté de **0,3°C** comparant au cas initial et de **5°C** comparant à l'extérieur.

Synthèse :**Tableau 4.2: les températures minimales et maximales et les écarts avec l'extérieur des zones du restaurant en période hivernale.**

| | Salle de restaurant | | | | Cuisine | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | Tmin (°C) | Tmax (°C) | Ecart avec l'extérieur (°C) | Ecart cas initial (°C) | Tmin (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieur (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) |
| Variante 01 | 2,1 | 13,9 | 4,8 | 0 | 2 | 15,5 | 4,7 | 0 |
| Variante 02 et 05 | 4,9 | 13,2 | 7,2 | 2,8 | 8 | 15,5 | 10,7 | 6 |
| Variante 03 | 2,5 | 16,2 | +5,2 | +0,4 | 2,3 | 22,9 | 5 | 0,3 |

4.1.2 Les simulations avec consigne de thermostat :**Les scénarios de fonctionnement :**

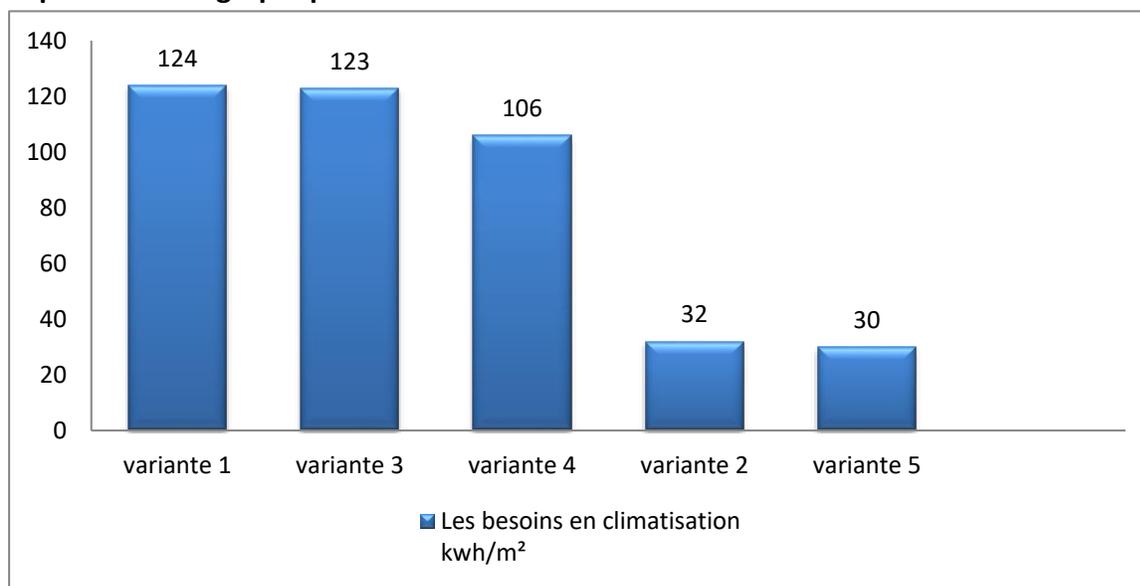
- Scenario d'occupation.
- Scenario d'occultation.
- Scenario de puissance dissipée.
- Scenario de ventilation.
- Scenario de température.

4.1.2.1 Simulations estivales:

Tableau 4.3 : Simulations estivales avec consigne des différentes variantes du restaurant.

| | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Les besoins en clim Kwh | 3088 | 781 | 3048 | 2636 | 719 |
| Les besoins en clim kwh/m ² | 124 | 32 | 123 | 106 | 30 |
| Taux de reduction des besoins en clim % | 0 | 74,7 | 1,3 | 14,6 | 76,7 |

Représentation graphique :

Figure 4.9 : Les besoins en climatisation des différentes variantes du restaurant(en kwh/m²)

Interpretation :

D'après les résultats obtenus des simulations estivales avec consigne de thermostat présentées ci-dessus (voir figure4.9 et tableau 4.3), nous constatons que les besoins en climatisation du restaurant sont estimés à 124 kwh/m². Tandis que après le renforcement de l'isolation thermique

des murs extérieurs et de sa toitures les besoins ont diminué jusqu'à 32 kwh/m², soit un taux de réduction de 74,7%.

Pour le cas de la variante 03 et la variante 04, les besoins ont diminué de 31,4% et de 14,6% respectivement.

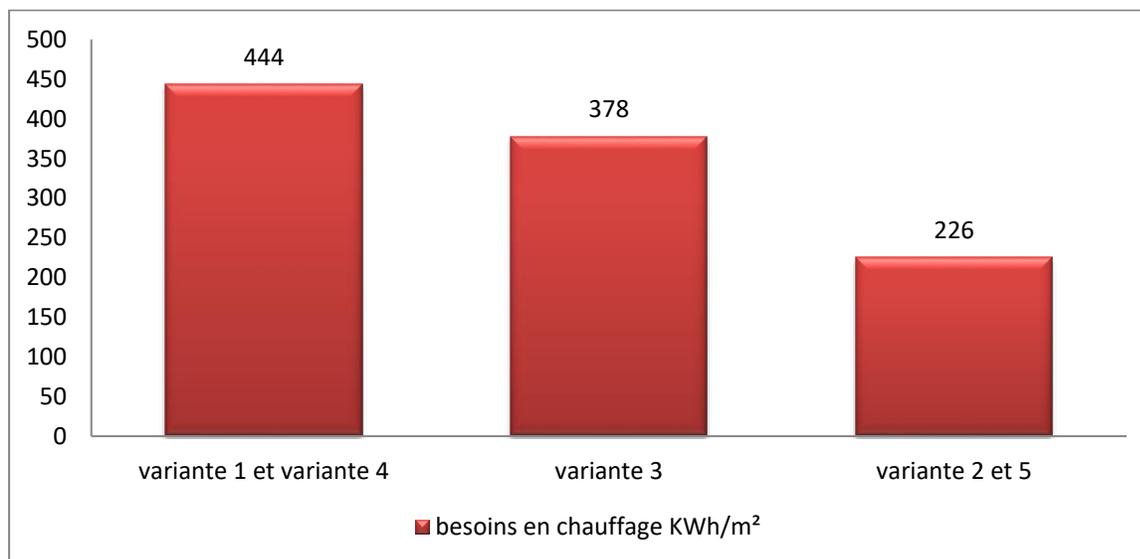
La variante 05, qui est l'intégration de la végétation et le renforcement de l'isolation des murs extérieurs et de la toiture, a présenté les meilleurs résultats avec des besoins estimés à 30 kwh/m² et un taux de réduction de 76,7%.

4.1.2.2 Simulations hivernales:

- **Variante 01** : cas initial.
- **Variante 02**:renforcement de l'isolation de la toiture et des murs extérieurs.
- **Variante 03** : remplacement des ouvertures à simple vitrage par celles à double vitrage et intégration des brises soleil horizontaux.
- **Variante 04** : Intégration de la végétation.
- **Variante 05** : renforcement de l'isolation et intégration de la végétation.

Tableau 4.4 : Simulations hivernales avec consigne des différentes variantes du restaurant

| | Variante 01 et 04 | Variante 02 et 05 | Variante 03 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| Les besoins en ch KWh | 11028 | 5449 | 9401 |
| Les besoins en ch KWh/m² | 444 | 226 | 378 |
| Taux de reduction ou d'augmentation des besoins en ch % | 0 | -49,1 | 14,8 |

Représentation graphique :**Figure 4.10 : Les besoins en chauffage des différentes variantes du restaurant.****Interpretation :**

D'après les résultats obtenus des simulations hivernales avec consigne de thermostat présentées ci-dessus, nous constatons que les besoins en chauffage du restaurant sont estimés à 444 kwh/m².

Pour le cas de la variante 02, et la variante 05, les besoins sont estimés à 226 kWh/m² ce qui représente un taux de réduction des de 49,1%.

Quant à la variante 03, elle a fait diminuer les besoins en chauffage de 444kwh/m² à 245kWh/m², soit un taux de réduction de 1,8%.

Les besoins annuels :**Tableau 4.5 : les besoins annuels des différentes variantes du restaurant.**

| | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Les besoins annuels en KWh | 14116 | 6230 | 12449 | 13664 | 6168 |
| Les besoins annuels en KWh/m² | 568 | 258 | 501 | 550 | 256 |
| Le taux de réduction total (%) | 0 | 55,9 | 11,7 | 3 | 56,3 |

Synthèse :

D'après les résultats des simulations avec consigne de thermostat du restaurant, nous pouvons constater que la meilleure solution pour la diminution des besoins du restaurant en chauffage et en climatisation c'est de renforcer son isolation thermique, et aussi intégrer de la végétation durant la période estivale.

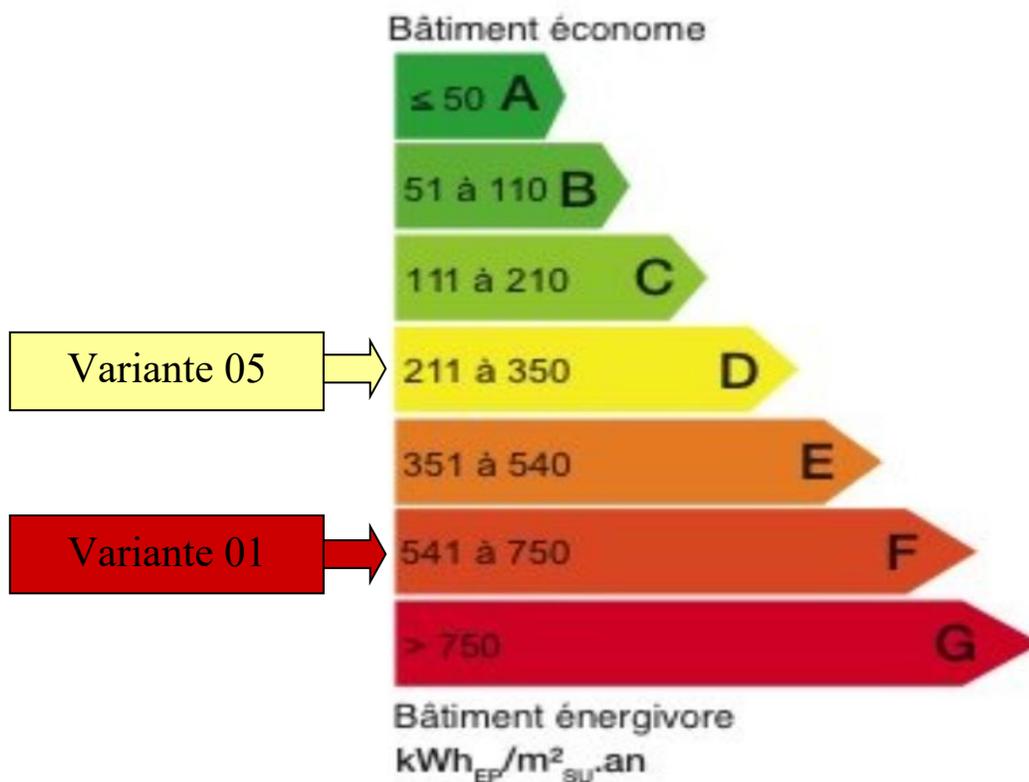
La classe énergétique :

Figure 4.11 : la classe énergétique des variantes 01 et 05 du restaurant.

4.1.3 Étude comparative entre les résultats expérimentaux et théoriques :

**4.1.3.1 Simulations sans consigne de thermostat pour la période du 19 au 21 mars 2022 :
Scénarios de fonctionnement intégrés :**

- Scénario de ventilation + infiltration.

Le graphe de simulation pour la salle de restauration :

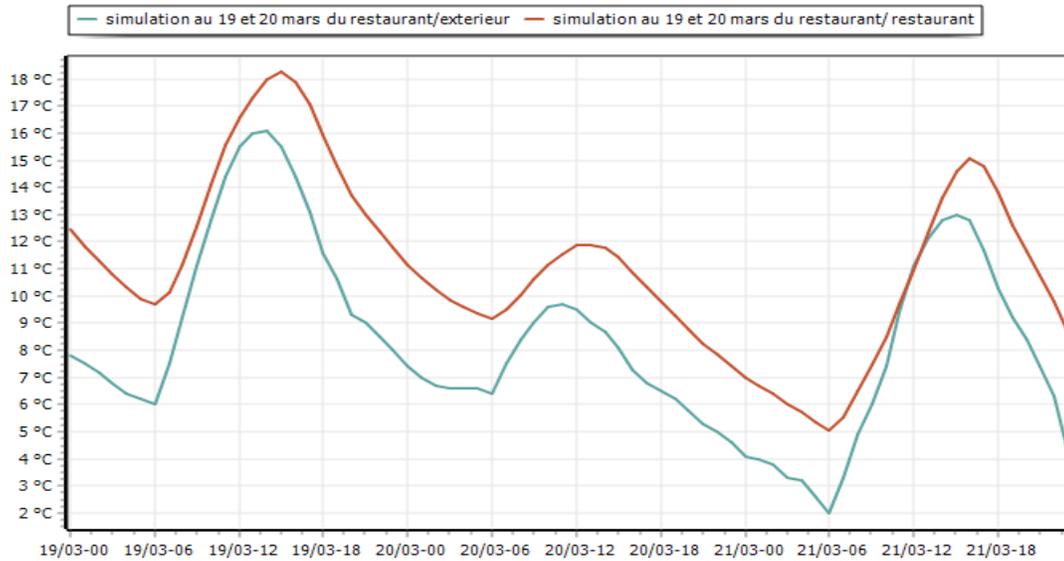


Figure 4.12 : Simulation sans consigne de thermostat du restaurant pour la période du 19 au 21 mars 2023.

Comparaison graphique :

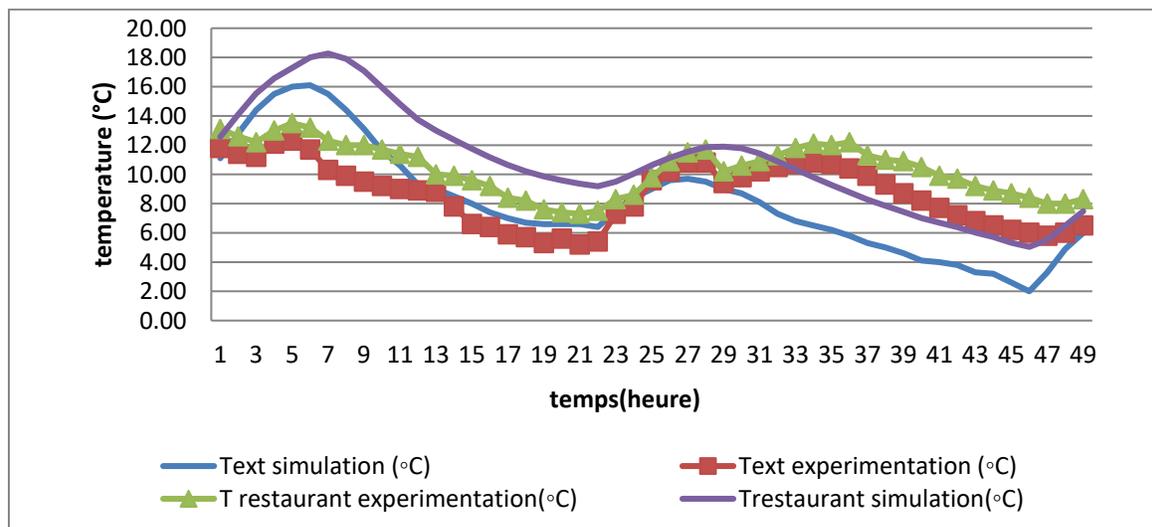


Figure 4.13 : Comparaison entre le graphe expérimentale et théorique pour le cas du restaurant.

Interprétation :

D'après le graphique présenté dans la figure 4,13, nous observons que les températures à l'intérieur du restaurant sont proches des températures extérieures, tant dans le cadre de l'expérimentation que de la simulation. Cependant, nous remarquons une différence dans l'évolution des températures entre les données expérimentales et théoriques. L'écart maximal entre les températures intérieures expérimentales et théoriques est de 5,9 °C, tandis que l'écart maximal entre les températures extérieures expérimentales et théoriques est de 4,6 °C.

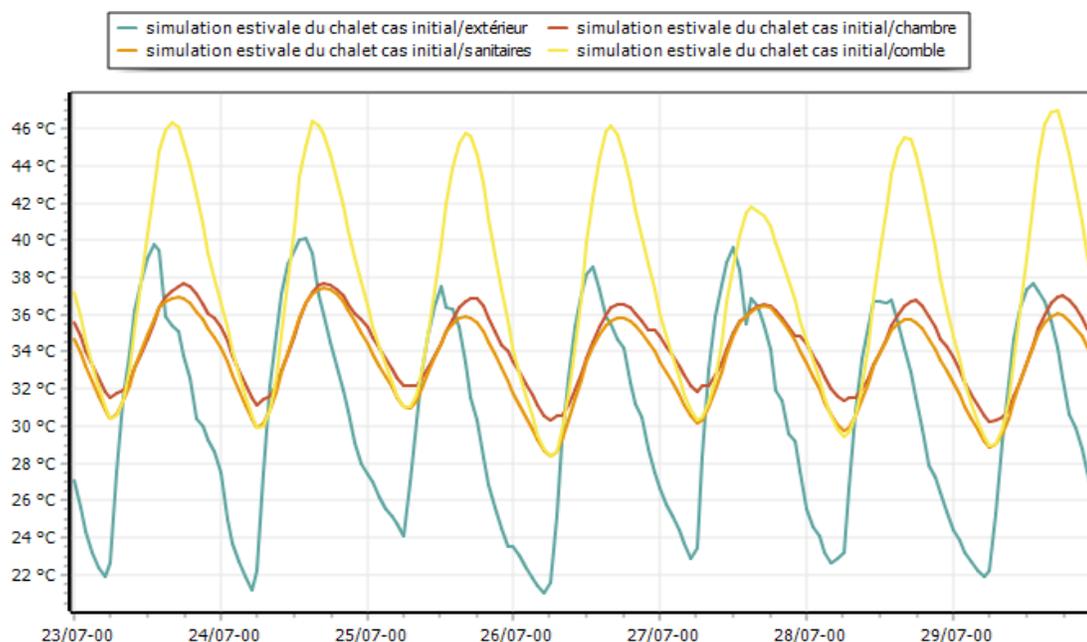
4.2 Les simulations du chalet :**4.2.1 Les simulations sans consigne de thermostat :****4.2.1.1 Les simulations estivales :****4.2.1.1.1 Variante 1 : cas initial :**

Figure 4.14 : Variante1: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet

Interprétation:

D'après le graphique présenté dans la figure 4.14, il est observable que pendant la semaine la plus chaude, les températures extérieures varient entre 21°C et 40,1°C. En revanche, les températures intérieures de la chambre et du sanitaire restent plus stables, oscillant entre 30,2°C

et 37,7°C, et entre 28,5°C et 37,5°C respectivement. Ce qui fait un écart de 2,4°C et 2,6°C comparant à l'extérieur.

Une observation importante concerne le comble, où des fluctuations significatives sont constatées, avec des valeurs variant entre 28,5°C et 47°C. Ce qui fait que les températures y sont supérieures à celles enregistrées à l'extérieur de 6,9°C. Cette situation peut être expliquée par le volume réduit du comble, qui s'élève à 13,13m³, ainsi que par les apports solaires reçus sur la surface de la toiture, étant donné qu'elle n'est pas isolée

4.2.1.1.2 Variante 02 : renforcement de l'isolation de la toiture.

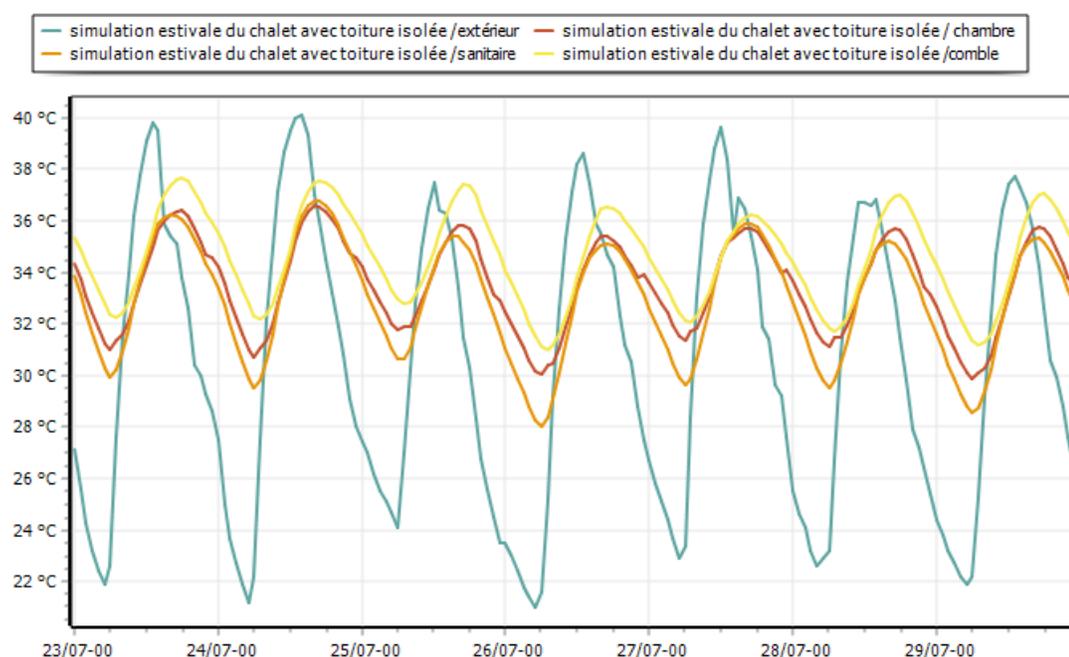


Figure 4.15 Variante 02: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet.

4.2.1.1.3 Variante 03 : intégration du branchage dans la toiture du chalet.

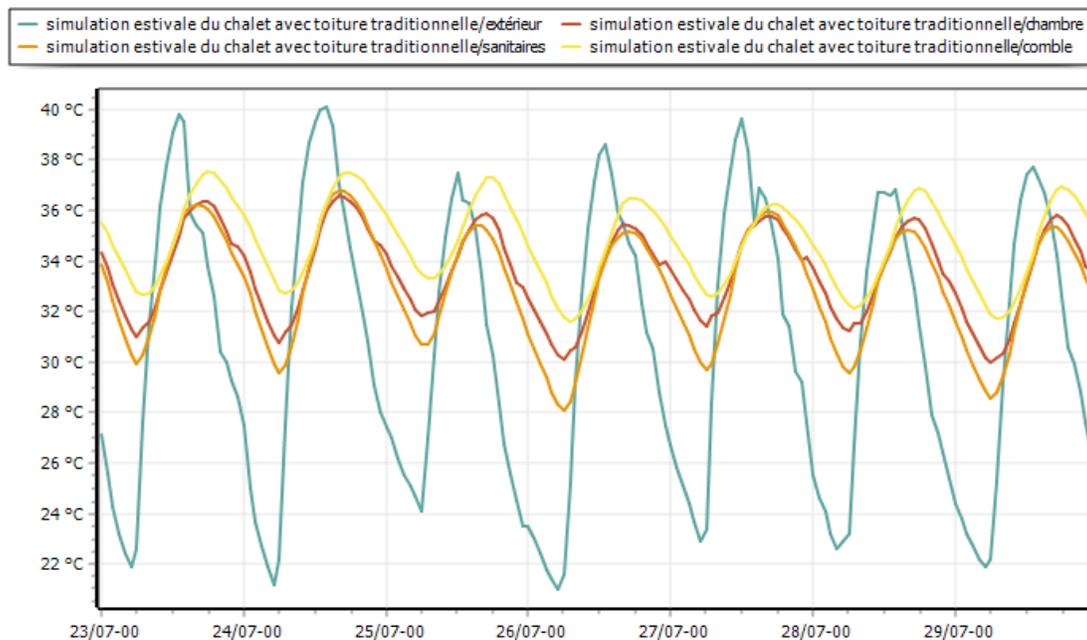


Figure 4.16 : Variante03: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet.

Interprétation :

Selon les résultats de la variante 02 (voir figure 4.15), nous pouvons observer que suite au renforcement de l'isolation de la toiture avec du liège, les températures intérieures des trois zones du chalet ont diminué. Comparées à la température extérieure, les baisses sont de $3,5^{\circ}\text{C}$, $3,5^{\circ}\text{C}$ et $2,6^{\circ}\text{C}$, et comparées aux températures enregistrées aux cas initial, les réductions sont de $1,1^{\circ}\text{C}$, $0,8^{\circ}\text{C}$ et $9,5^{\circ}\text{C}$; dans la chambre, le sanitaire et le comble respectivement. Nous notons que les températures oscillent entre $30,1^{\circ}\text{C}$ et $36,6^{\circ}\text{C}$ dans la chambre, entre $28,2^{\circ}\text{C}$ et $36,7^{\circ}\text{C}$ dans le sanitaire et 31°C et $37,5^{\circ}\text{C}$ dans le comble.

Nous remarquons également que les évolutions de température de la variante 03 (intégration du branchage dans la toiture du chalet), sont presque similaires à celles de la variante 02, avec des températures allant de 30°C à $36,6^{\circ}\text{C}$ dans la chambre, et de $28,1^{\circ}\text{C}$ à $36,8^{\circ}\text{C}$ dans le sanitaire . Quant aux températures du comble, elles fluctuent entre $31,6^{\circ}\text{C}$ et $37,6^{\circ}\text{C}$.

4.2.1.1.4 Variante 04 : intégration de lucarne et création d'une ventilation par effet cheminée :

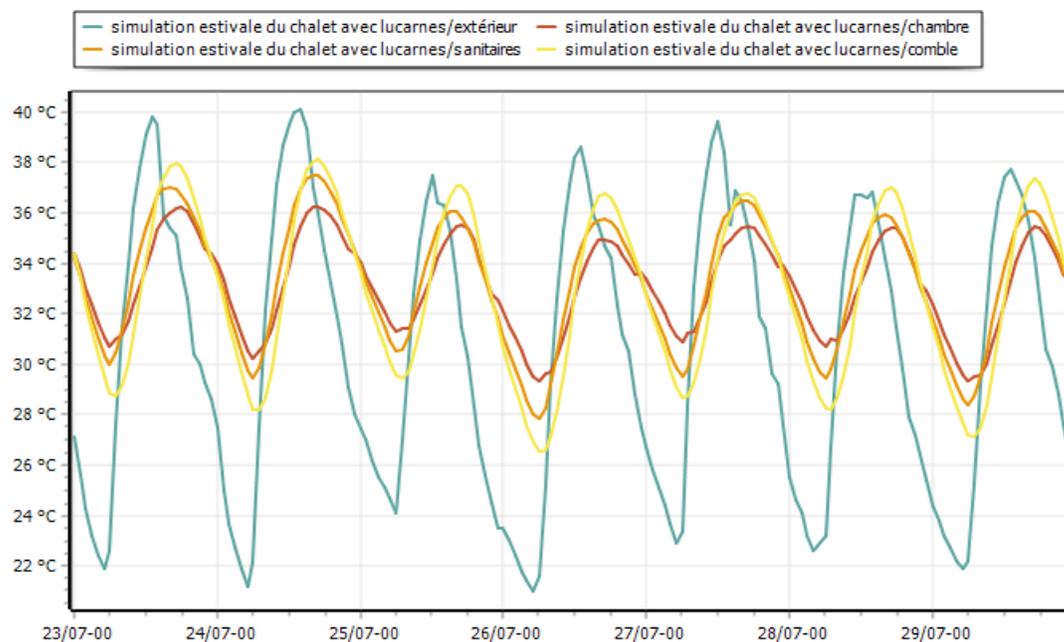


Figure 4.17 : Variante 04: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet.

Interprétation :

Selon le graphique présenté dans la figure ci-dessus, l'intégration des lucarnes et la création d'un effet cheminée, a entraîné une diminution des températures intérieures dans les trois zones du chalet. Les températures enregistrées dans la chambre varient entre 29,3°C et 36,1°C, ce qui représente un écart de 4°C par rapport à l'extérieur et de 1,6°C par rapport au cas initial.

Dans le sanitaire, l'écart enregistré est de 2,9°C par rapport à l'extérieur et de 0,3°C par rapport à l'état initial, avec des températures fluctuant entre un minimum de 27,9°C et un maximum de 37,2°C. Quant aux températures du comble, elles se situent entre 26,6°C et 38,1°C, ce qui représente un écart de 2°C par rapport à l'extérieur et de 8,9°C par rapport au cas initial.

4.2.1.1.5 Variante 05 : augmentation de la hauteur du comble :

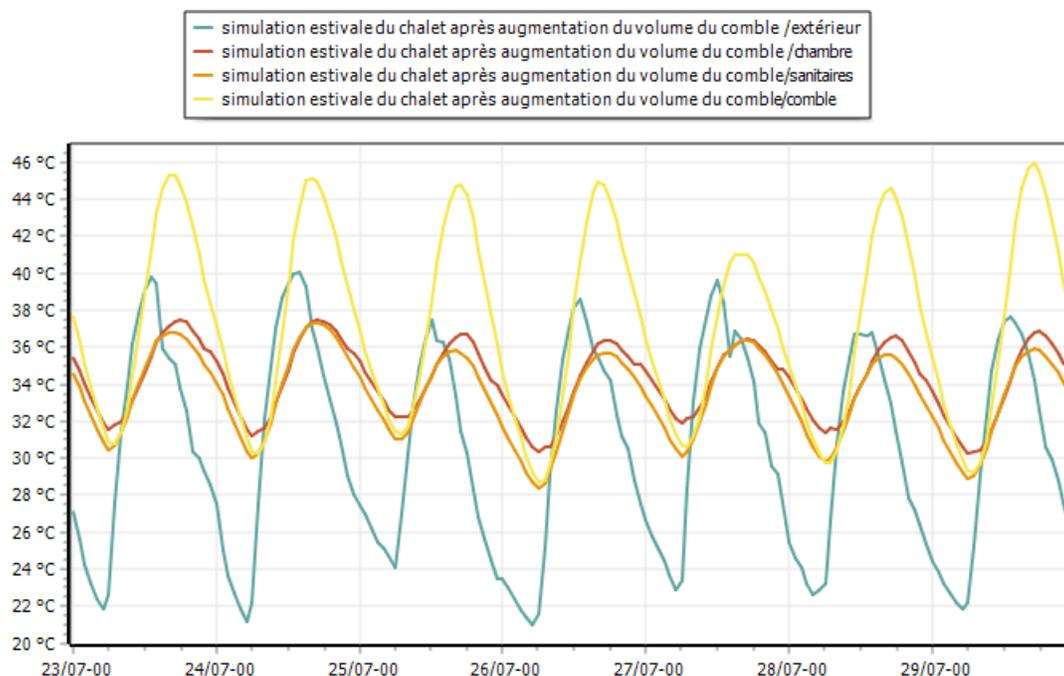


Figure 4.18 : Variante 05: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet.

Interprétation :

Le graphique précédant, nous montre qu'après que nous avons augmenté la hauteur du comble et donc son volume, nous avons enregistré des températures qui varient entre 30,2°C et 37,4°C dans la chambre, ce qui représente un écart de 2,7°C par rapport à l'extérieur et de 0,3°C par rapport au cas initial. Dans le sanitaire, l'écart enregistré est de 2,8°C par rapport à l'extérieur et de 0,2°C par rapport à l'état initial, avec des températures fluctuant entre un minimum de 28,4°C et un maximum de 37,3°C. Quant aux températures du comble, elles se situent entre 28,6°C et 46°C, ce qui représente une augmentation de 5,9°C par rapport à l'extérieur et une diminution de 1°C par rapport à l'état initial.

4.2.1.1.6 Variante 6 : renforcement de l'isolation de la toiture et intégration de deux lucarnes :

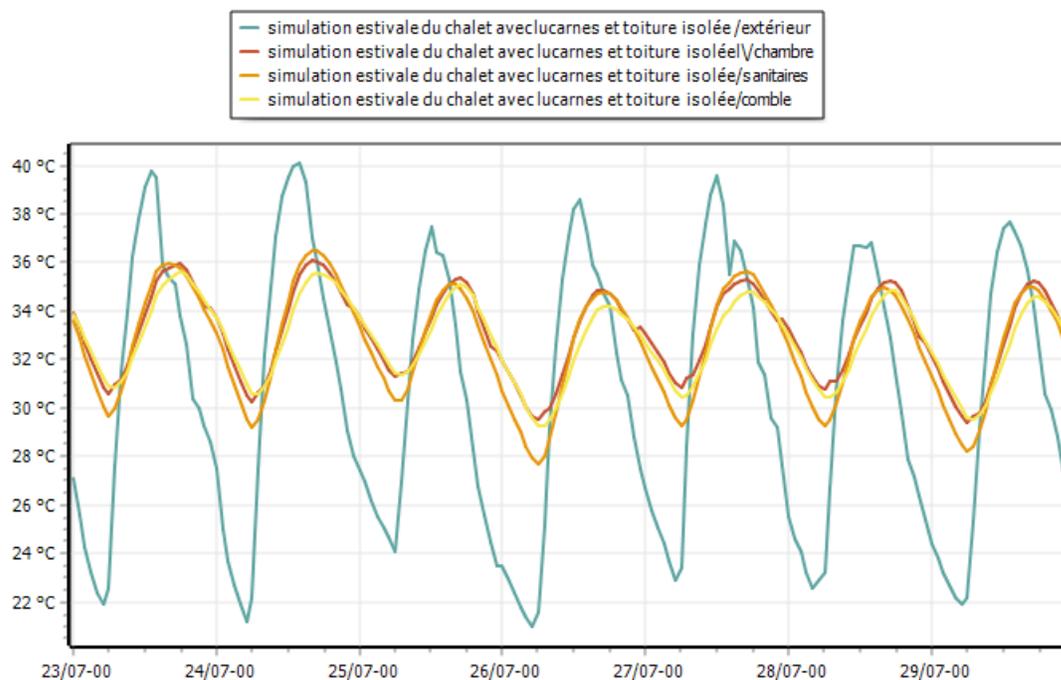


Figure 4.19 : Variante 06: Evolution des températures durant la semaine la plus chaude dans le chalet

Interprétation :

Selon les informations du graphique ci-dessus, nous pouvons observer que suite au renforcement de l'isolation de la toiture et l'intégration des lucarnes, les températures intérieures des trois zones du chalet ont diminué. Comparées à la température extérieure, les baisses sont de **4°C**, **3,6°C** et **4,6°C**, et comparées aux températures enregistrées aux cas initial, les réductions sont de **1,6°C**, **1°C** et **11,5°C** ; dans la chambre, le sanitaire et le comble respectivement.

Les températures oscillent entre 29,4°C et 36,1°C dans la chambre, entre 27,8°C et 36,5°C dans le sanitaire et 29,3°C et 35,5°C dans le comble.

Tableau 4.6 : les températures minimales et maximales, les écarts avec l'extérieur et avec le cas initial des différentes variantes du chalet en période estivale

| | La chambre | | | | le comble | | | |
|-------------------|------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | T min (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieur (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) | T min (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieur (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) |
| Variante 1 | 30,2 | 37,7 | 2,4 | 0 | 28,5 | 47 | +6,9 | 0 |
| Variante 2 | 30,1 | 36,6 | 3,5 | 1,1 | 31 | 37,5 | 2,6 | 9,5 |
| Variante 3 | 30 | 36,6 | 3,5 | 1,1 | 31,6 | 37,6 | 2,6 | 9,4 |
| Variante 4 | 29,3 | 36,1 | 4 | 1,6 | 26,6 | 38,1 | 2 | 8,9 |
| Variante 5 | 30,2 | 37,4 | 2,7 | 0,3 | 28,6 | 46 | +5,9 | 1 |
| Variante 6 | 29,4 | 36,1 | 4 | 1,6 | 29,3 | 35,5 | 4,6 | 11,5 |

4.2.1.2 Les simulations hivernales:

4.2.1.2.1 Variante 01 : Cas initial et variante 04 : intégration des lucarnes :

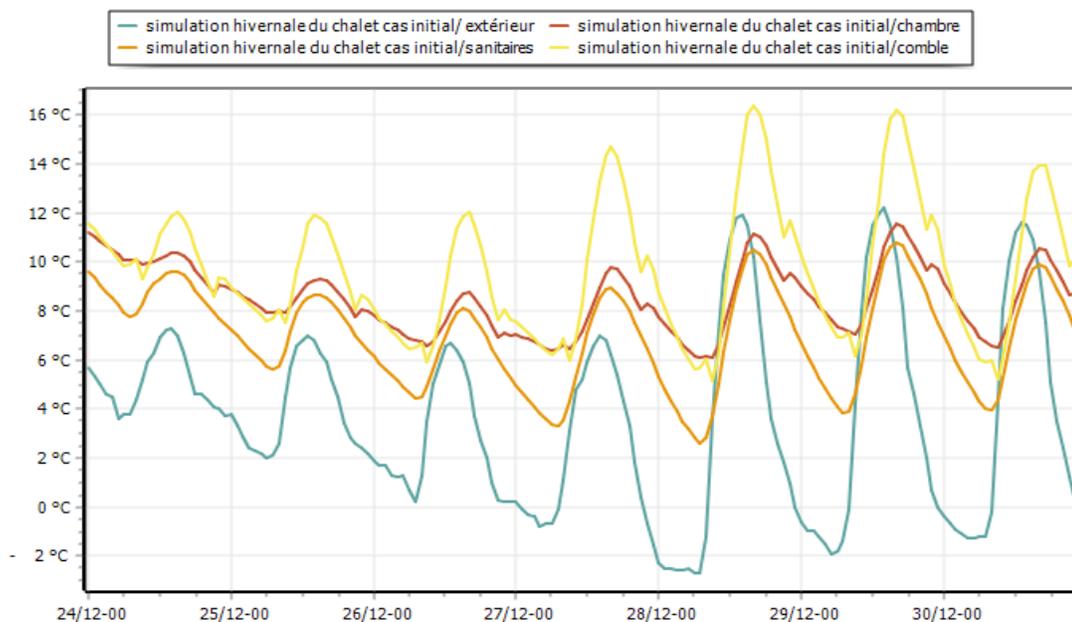


Figure 4.20 : Variante 01 et variante 04 : Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet.

Interprétation :

Les résultats obtenus démontrent que la température à l'intérieur du comble du chalet suit les fluctuations de la température extérieure, qui varient de $-2,7\text{ °C}$ à $12,1\text{ °C}$. Cependant, la température intérieure est plus élevée que celle à l'extérieur de $7,9\text{ °C}$, avec des variations allant de $5,2\text{ °C}$ à $16,2\text{ °C}$. En ce qui concerne les températures internes de la chambre et du sanitaire, elles oscillent entre $6,1\text{ °C}$ et $11,5\text{ °C}$, et entre $2,8\text{ °C}$ et $10,7\text{ °C}$ respectivement, ce qui représente un écart de $8,8\text{ °C}$ et $5,5\text{ °C}$ par rapport à l'extérieur.

4.2.1.2.2 Variante 02 : renforcement de l'isolation de la toiture, et Variante 6 : renforcement de l'isolation de la toiture et intégration de deux lucarnes :

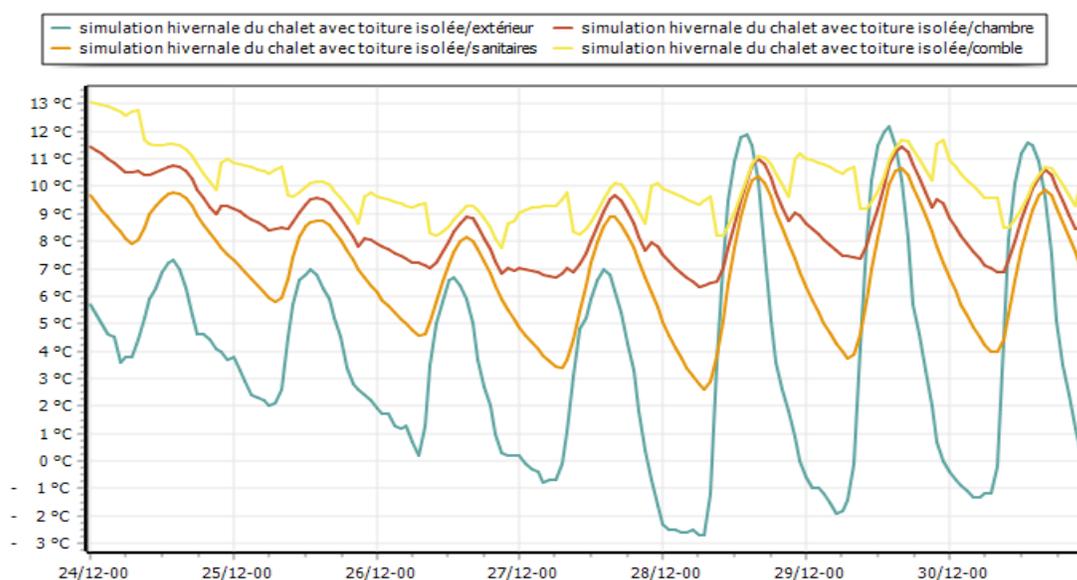


Figure 4.21 : Variante 02 et variante 06: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet.

4.2.1.2.3 Variante 03 : intégration du branchage dans la toiture du chalet.

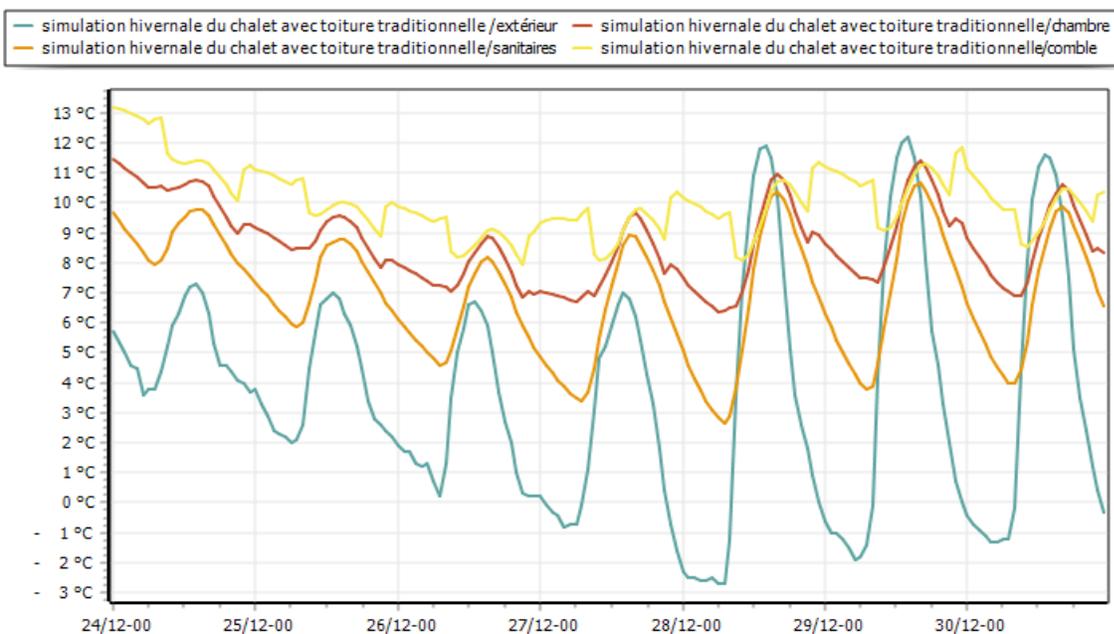


Figure 4.22 : Variante03: Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet

Interprétation:

D'après les données du graphique des figures 4.21 et 4.22, nous pouvons constater que les températures intérieures des trois zones du chalet sont plus stables par rapport au cas initial.

Selon les résultats de la variante 02 (voir figure 4.21), les températures du comble varient entre 7,8 °C et 13,1 °C. Ces températures sont supérieures de **10,5 °C** à la température extérieure, et de **2,6 °C** par rapport au cas initial. Et en ce qui concerne les températures intérieures de la chambre, elles oscillent entre 6,6 °C et 11,5 °C, représentant un écart de **9,3 °C** par rapport à l'extérieur et de **0,5 °C** par rapport au cas initial. Quant au sanitaire, les températures n'ont pas varié par rapport au cas initial et restent comprises entre 2,8 °C et 10,7 °C.

Les résultats de la variante 03 (voir figure 4.22), nous montre que les températures du sanitaire et de la chambre sont similaires à celles présentées par la variante 02 et les températures du comble varient entre 7,8°C et 13,2°C.

4.2.1.2.4 Variante 05 : augmentation de la hauteur du comble.

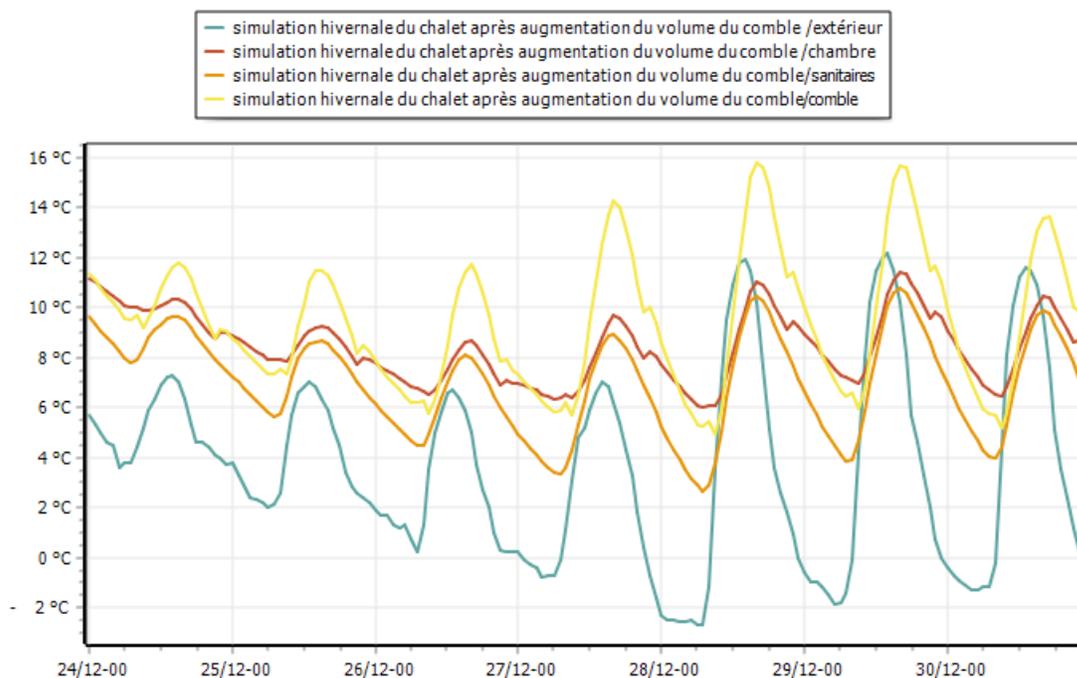


Figure 4.23 : Variante 05 : Evolution des températures durant la semaine la plus froide dans le chalet.

Interprétation :

Selon les résultats du graphe ci-dessus, nous constatons que les températures à l'intérieur du comble ont augmenté de **7,6°C** par rapport à l'extérieur, tandis qu'elles ont diminué de **0,3 °C** par rapport au cas initial. Ces températures varient entre 4,9 °C et 15,8 °C.

En ce qui concerne la chambre, nous avons observé des variations de température allant de 6 °C à 11,4 °C, ce qui représente une augmentation de **8,7 °C** par rapport à l'extérieur et une diminution de **0,1 °C** par rapport au cas initial. Pour le sanitaire, les températures enregistrées fluctuent entre 2,9 °C et 10,8 °C. Ainsi, elles ont augmenté de **5,6 °C** par rapport à l'extérieur et de **0,1 °C** par rapport au cas initial.

Synthèse :

Tableau4.7 : les températures minimales et maximales, les écarts avec l'extérieur et avec le

| | La chambre | | | | le comble | | | |
|--------------------|---------------|------------------|--|---|---------------|------------------|--|-----------------------------------|
| | T min (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieu r (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) | T min (°C) | T max (°C) | Ecart avec l'extérieu r (°C) | Ecart avec le cas initial (°C) |
| Variante 1 | 6,1 | 11,5 | 8,8 | 0 | 5,2 | 16,2 | 7,9 | 0 |
| Variante 2 et 6 | 6,6 | 11,5 | 9,3 | 0,5 | 7,8 | 13,1 | 10,5 | 2,6 |
| Variante 3 | 6,6 | 11,5 | 9,3 | 0,5 | 7,8 | 13,2 | 10,6 | 2,7 |
| Variante 5 | 6 | 11,4 | 8,7 | 0,1 | 4,9 | 15,8 | 7,6 | 0,3 |

cas initial des différentes variantes du chalet en période hivernale

4.2.2 Les simulations avec consigne de thermostat :

4.2.2.1 Les simulations estivales :

Les différentes variantes :

- **Variante 01:** cas initial.
- **Variante 02 :** renforcement de l'isolation de la toiture par intégration du liège.
- **Variante 03 :** intégration du branchage dans la toiture du chalet.
- **Variante 04 :** intégration de lucarne et création d'une ventilation par effet cheminée.
- **Variante 05 :** augmentation de la hauteur du comble.
- **Variante 06 :** renforcement de l'isolation de la toiture et intégration de deux lucarnes

Tableau 4.8 : Simulations estivales avec consigne des différentes variantes du chalet.

| | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 | Variante 06 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Les besoins en clim kwh | 1318 | 688 | 684 | 792 | 1447 | 424 |
| Les besoins en clim kwh/m² | 82 | 46 | 46 | 49 | 63 | 26 |
| Taux de reduction des besoins en clim % | 0 | 47,8 | 48,1 | 39,9 | +9,8 | 67,8 |

Représentation graphique :

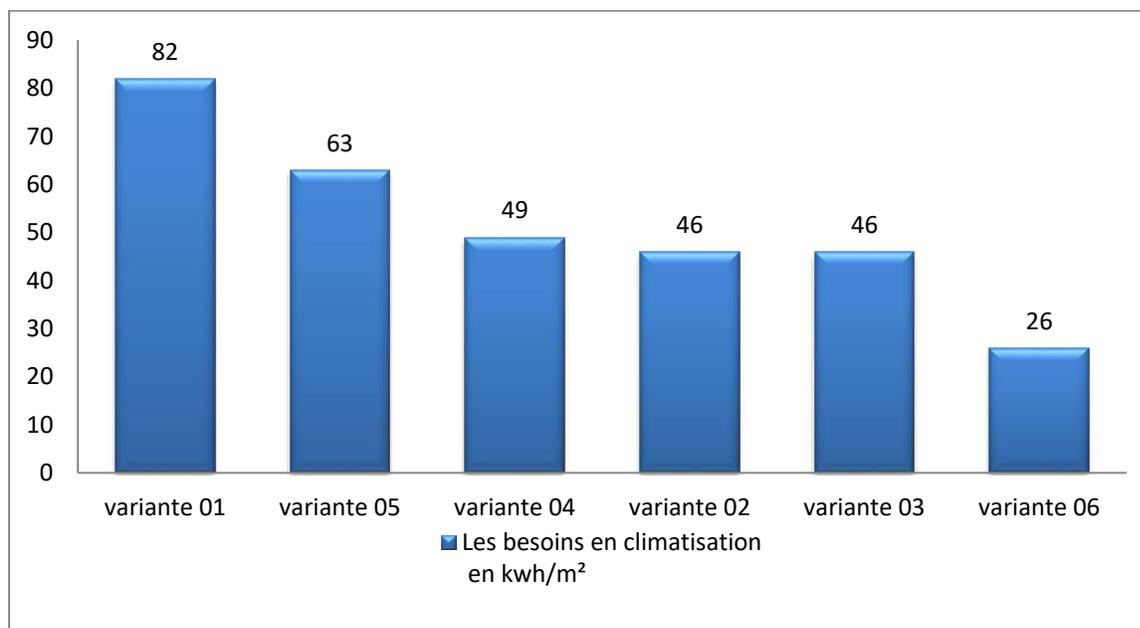


Figure 4.24 : Les besoins en climatisation des différentes variantes du chalet.

Interprétation :

Les résultats des simulations estivales avec consigne de thermostat, présentés dans la figure 4.24 et le tableau 4.8, indiquent que les besoins en climatisation du chalet sont estimés à 82 kWh/m². Cependant, après le renforcement de l'isolation thermique de la toiture (variante 02 et variante 03), ces besoins ont diminué jusqu'à 46 kWh/m², ce qui représente une réduction de 47,8% et 48,1% respectivement pour la variante 02 et la variante 03. Dans le cas de la variante 04, les besoins ont diminué de 49%.

En ce qui concerne la variante 05, bien que les besoins en kWh/m² aient diminué de 23,2%, les besoins totaux en kWh ont augmenté de 9,8% en raison de l'augmentation du volume du comble.

La variante 06, qui consiste en le renforcement de l'isolation et l'intégration de deux lucarnes, a présenté les meilleurs résultats avec des besoins estimés à 26 kWh/m² et un taux de réduction de 67,8%.

4.2.2.2 Les simulations hivernales:

Tableau 4.9 : Simulations hivernales avec consigne des différentes variantes du chalet.

| | Variante 01 et 04 | Variante 02 et 06 | Variante 03 | Variante 05 |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| Les besoins en ch KWh | 6735 | 5783 | 5713 | 7813 |
| Les besoins en ch KWh/m² | 419 | 386 | 382 | 338 |
| Taux de reduction ou d'augmentation des besoins en ch % | 0 | 14,1 | 15,2 | +16 |

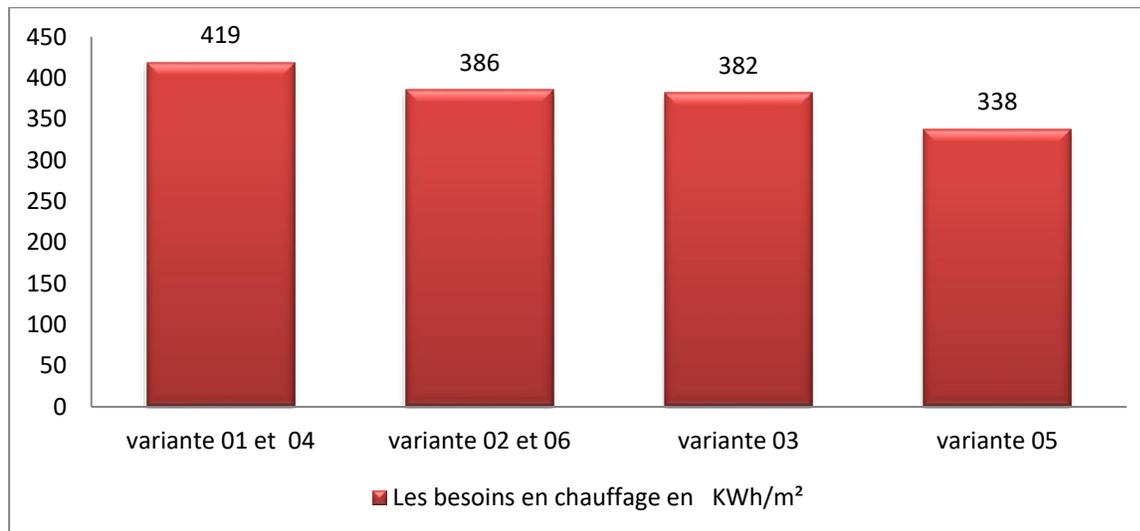
Représentation graphique :

Figure 4.25 : Les besoins en chauffage des différentes variantes du chalet.

Interprétation :

Les résultats des simulations hivernales avec consigne de thermostat, présentés dans la figure 4.25 et le tableau 4.9, indiquent que les besoins en chauffage du chalet sont estimés à 419 kWh/m². Cependant, après le renforcement de l'isolation thermique de la toiture avec le liège (variante 02 et variante 06) ces besoins ont diminué de 14,1%, et après l'intégration du branchage (variante 03), ils ont diminué de 15,2%.

En ce qui concerne la variante 05, bien que les besoins en kWh/m² aient diminué de 19,3%, les besoins totaux ont augmenté jusqu'à 7813 kWh en raison de l'augmentation de la hauteur du comble et donc son volume.

4.1.1.1 Les besoins annuels :

Tableau 4.10 : Les besoins annuels du chalet

| | Variante 01 | Variante 02 | Variante 03 | Variante 04 | Variante 05 | Variante 06 |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Les besoins annuels en KWh | 8053 | 6471 | 6397 | 7527 | 9260 | 6207 |
| Les besoins annuels en KWh/m² | 501 | 432 | 428 | 468 | 401 | 412 |
| Taux de réduction ou d'augmentation total (%) | 0 | 19,6 | 20,6 | 0,06 | +15 | 22,9 |

Synthèse:

Les résultats des simulations avec consigne de thermostat présentées ci-dessus (voir figure 4.9), mettent en évidence une solution optimale pour réduire les besoins en chauffage et en climatisation du chalet. Cette solution consiste à renforcer l'isolation thermique de sa toiture et à intégrer des lucarnes pour créer une ventilation par effet cheminée durant la période estivale (variante 06) qui permet une réduction des besoins annuels (en KWh) de 22,9%. Ces mesures permettent d'optimiser l'efficacité énergétique du bâtiment, réduisant ainsi la consommation d'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation.

4.2.2.3 Classe énergétique :

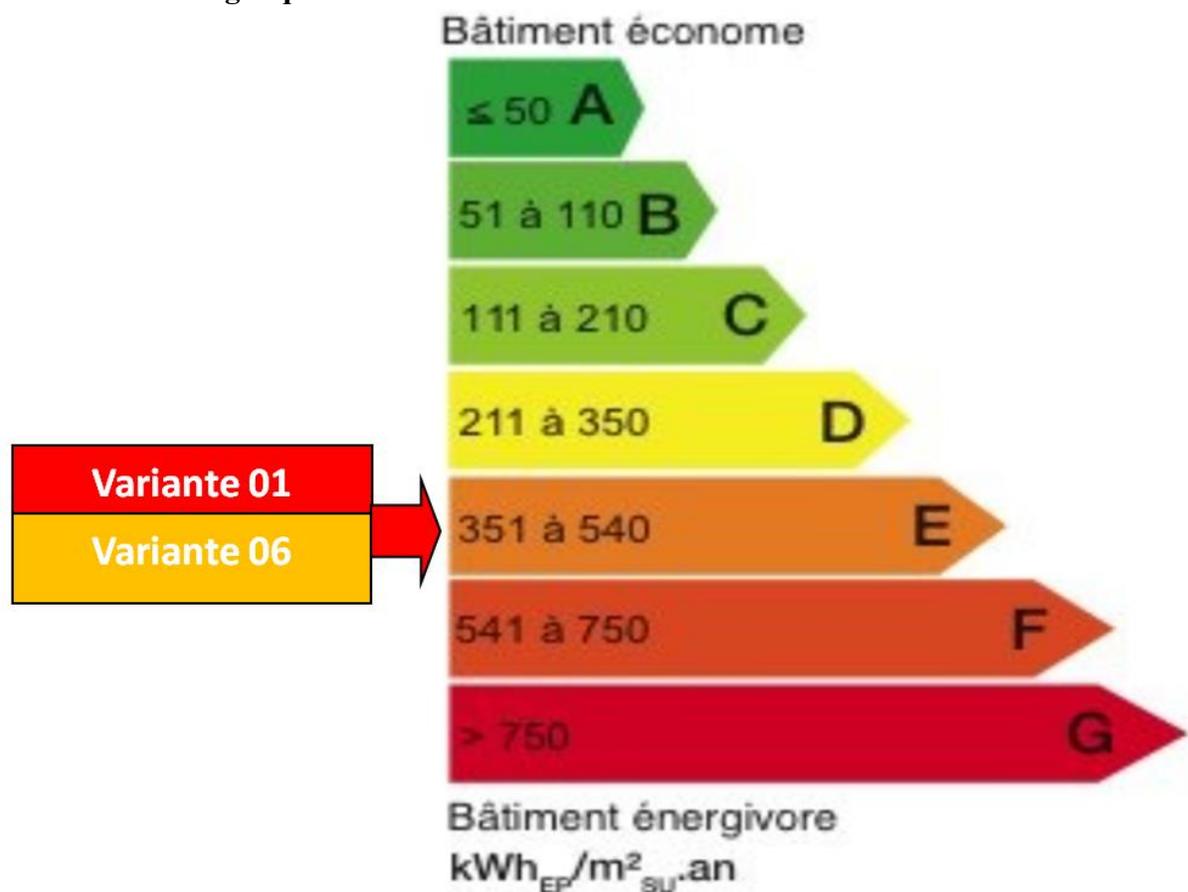


Figure 4.26 : la classe énergétique des variantes 01 et 06 du chalet.

4.2.3 Étude comparative entre les résultats expérimentaux et théoriques :

4.2.3.1 Simulations sans consigne de thermostat pour la période du 19 au 21 mars 2022 :
Scénarios de fonctionnement intégrés :

- Scénario de ventilation + infiltration.

Le graphe de simulation pour la chambre du chalet :

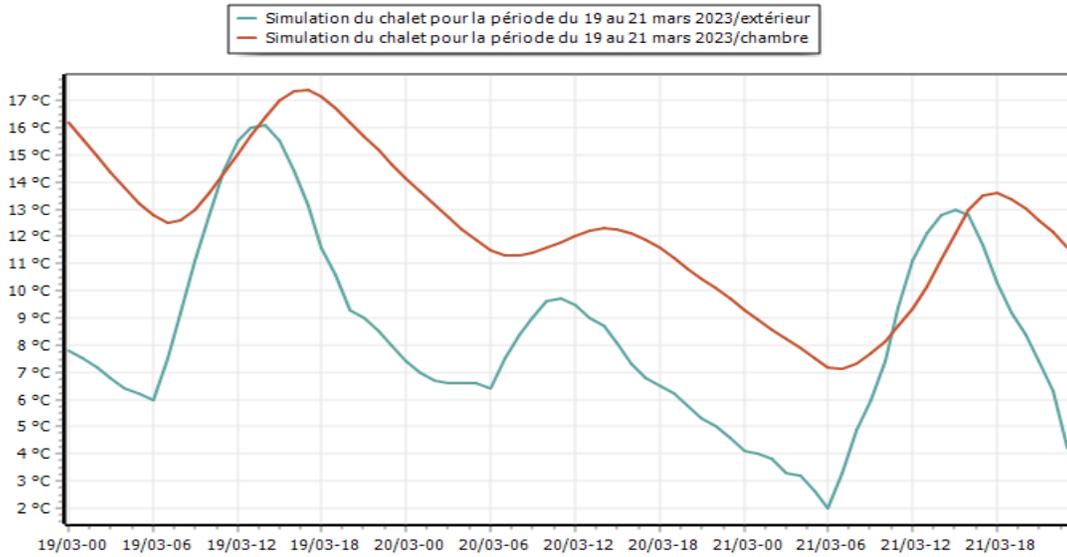


Figure 4.27 : Simulation sans consigne de thermostat de la chambre du chalet pour la période du 19 au 21 mars 2023

Comparaison graphique :

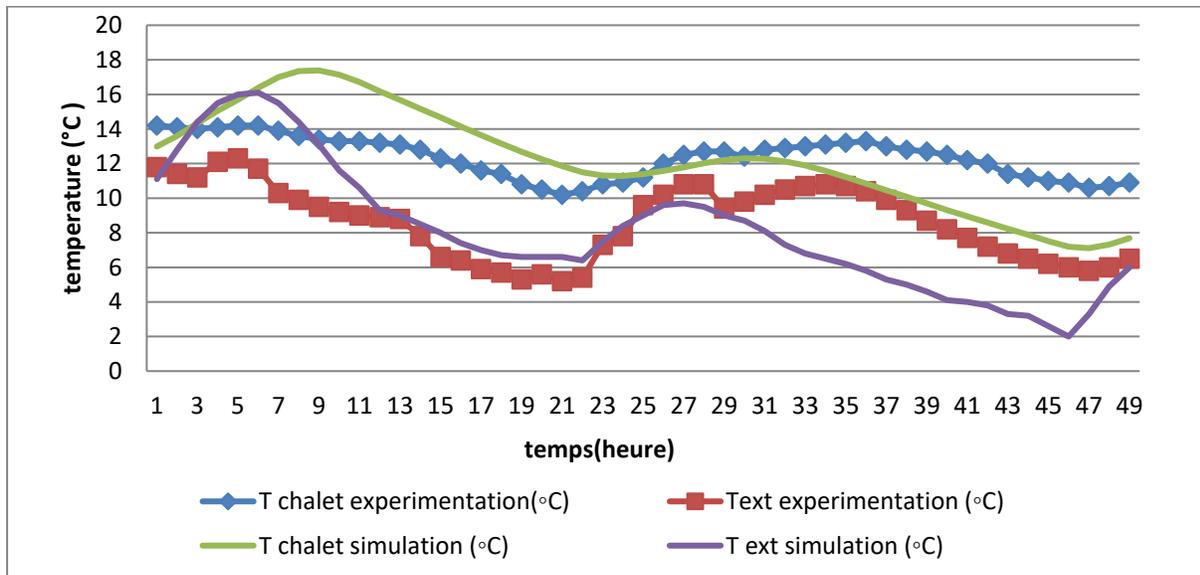


Figure 4.28 : Comparaison entre le graphe expérimentale et théorique pour le cas du chalet.

Interprétation :

D'après le graphique présenté dans la figure 4.28, nous observons que les températures à l'intérieur de la chambre du chalet sont plus stables que les températures extérieures, tant dans le

cadre de l'expérimentation que de la simulation. Cependant, nous notons une différence dans l'évolution des températures entre les données expérimentales et théoriques, allant jusqu'à 4,6°C pour les températures extérieures, et jusqu'à 5,2°C pour les températures intérieures.

Conclusion :

A travers les résultats obtenus, nous pouvons confirmer que les constructions en bois et en acier, notamment celles en acier sont des constructions énergivores avec des besoins annuels estimés à plus de 450 KWh/m². Afin de réduire ces besoins, nous avons proposé des solutions passives qui se sont révélées efficaces. Parmi celles-ci, le renforcement de l'isolation thermique a permis de réduire les fluctuations de température dans les deux constructions et de diminuer les besoins annuels de **19,6 %** pour le chalet et de **55,9 %** pour le restaurant. En combinant cette isolation à l'intégration de la végétation pendant la période estivale, les besoins totaux du restaurant ont diminué de **56,30 %**. De plus, l'association de cette isolation avec l'intégration de lucarnes a permis de réduire les besoins de 8053 KWh à 6207 KWh pour le cas du chalet.

Malgré ces réductions significatives et l'amélioration du classement énergétique des deux constructions, le confort thermique n'est pas encore atteint dans les deux constructions.

Conclusion générale

Conclusion générale.

De nos jours, que ce soit dans le secteur du logement, le secteur tertiaire ou autre, les besoins énergétiques sont proportionnels à l'évolution de la population. Parmi ces besoins, le secteur du bâtiment occupe une part prépondérante. Ainsi, il est primordial de prendre conscience de l'importance d'améliorer les ambiances intérieures tout en réduisant les impacts énergétiques et environnementaux liés à une consommation d'énergie élevée.

Dans ce contexte, notre recherche a été menée pour évaluer les performances énergiques et le comportement thermique de deux constructions, une construction en bois et une autre en acier, et chercher à améliorer leur confort intérieur tout en les positionnant plus favorablement sur l'étiquette énergétique.

Nous avons mesuré la température et l'humidité à l'intérieur des deux constructions en utilisant une carte arduino ; ensuite nous avons vérifié leurs conformités aux exigences réglementaires et enfin nous avons utilisé le logiciel Pléiades 5.23.4.4 pour évaluer le confort thermique de ces constructions et déterminer les besoins en chauffage et en climatisation. Cette évaluation a été effectuée en utilisant des scénarios de fonctionnement prédéfinis, tout en prenant en compte les caractéristiques climatiques de la région étudiée.

Les résultats obtenus de l'étude expérimentale montre que le comportement du restaurant était dépendant des conditions extérieures ; avec un écart maximal de 2.4°C et le chalet avait un comportement plus stable.

Les résultats de la simulation révèlent des fluctuations significatives dans les deux cas d'étude, entraînant des besoins énergétiques importants. Pendant la période estivale, nous avons enregistré des températures élevées dans la salle, atteignant 40,5°C, soit une température intérieure supérieure de 0,4°C à celle de l'extérieur. Pour la chambre et le comble du chalet, les températures maximales enregistrées étaient respectivement de 37,7°C et 47°C. Ce comportement instable a entraîné des besoins en climatisation estimés à environ 82 KWh/m²pour le chalet et 124KWh/m²pour le restaurant.

Pendant la période hivernale, la variation de température dans la salle du restaurant était similaire à celle de l'extérieur, avec des températures allant de 2,1°C à 13,9°C. Dans le comble,

Conclusion générale

les fluctuations étaient importantes, allant de 8,8°C à 15,5°C, tandis que les températures de la chambre étaient plus stables, allant de 6,1°C à 11,5°C. Par conséquent, les besoins en chauffage ont été estimés à environ 444 KWh/m² pour le restaurant et 419 KWh/m² pour le chalet.

Donc nous pouvons dire que ces enveloppes en acier et en bois n'assurent pas le confort thermique dans la région de Kabylie caractérisée par un hiver froid et un été chaud.

Afin d'améliorer les conditions intérieures de ces deux constructions, nous avons intégré des isolants thermiques dans la toiture du chalet, ainsi que les murs extérieurs et la toiture du restaurant, ce qui a entraîné une baisse significative des besoins énergétiques. Dans le chalet cette baisse est estimée à 47,8% pour les besoins en climatisation, et à 14,1% pour les besoins en chauffage. Et dans le restaurant, les besoins en climatisation après le renforcement de l'isolation ont diminué de 74,7% et ceux du chauffage de 49,1%. Une bonne isolation thermique des murs et de la toiture, est donc plus que nécessaire pour maintenir un certain équilibre thermique intérieur.

Cependant, il est préférable de combiner cette isolation thermique avec d'autres solutions passives telles que la ventilation et la végétation. Pour le chalet, en renforçant l'isolation et en intégrant des lucarnes pour créer une ventilation par effet cheminée, nous avons pu réduire la température intérieure du comble pendant la période estivale jusqu'à 35,5°C, ce qui représente une diminution de 11,5°C par rapport au cas initial et de 4,6°C par rapport à l'extérieur. Cela a permis de réduire les besoins du chalet en climatisation de 67,8%.

En ce qui concerne le restaurant, la combinaison de l'isolation thermique avec l'intégration de la végétation pendant la période estivale a entraîné une diminution de la température de la salle jusqu'à 35,6°C, soit une diminution de 4,9°C par rapport au cas initial. Cela a également entraîné une réduction significative des besoins en climatisation, d'environ 76,7%.

Les résultats mentionnés ci-dessus nous permettent de répondre à la problématique soulevée dans l'introduction générale. Cette problématique était :

Est-ce que les enveloppes en bois et en acier peuvent garantir un environnement intérieur confortable Comme celui créé par les maisons traditionnelles en pierre ?

Et cela par étayer les trois hypothèses qui dissent :

Conclusion générale

- Une enveloppe en bois ou en acier, en raison de sa faible inertie thermique, réagira de manière plus sensible aux conditions extérieures, ce qui entraînera des fluctuations de température importantes à l'intérieur du bâtiment.
- Afin de garantir un confort thermique optimal, il est nécessaire de combiner entre une forte inertie thermique et une faible conductivité.
- Le renforcement de l'isolation thermique, la ventilation, l'utilisation des protections solaires peuvent atténuer les variations de température et améliorer l'efficacité énergétique dans les constructions en bois et en acier.

Pour conclure nous pouvons dire qu'il est possible de créer des constructions en bois et en acier qui offrent un confort thermique optimal tout en réduisant la consommation d'énergie et l'impact environnemental et cela par le respect des principes de conception bioclimatique, et l'intégration des matériaux qui peuvent améliorer leur inertie thermique tels que les matériaux à changement de phase.

Références bibliographiques

- [1] Arguel,A. « la construction hybride en bois, mixites de materiaux dans les bâtiments de moyenne et grande hauteur en bois» Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes, 2018.
- [2] BOUDHIAF.N, MAHMOUDI.K.L'aménagement d'un éco-village au sein d'éco-quartier dans la ville de « TiziOuzou ». Mémoire de Master.UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU.2018.
- [3] MESSAOUDI.T. 'architecture vernaculaire une solution durable : Cas de la maison traditionnelle kabyle (nord algérien) .Les 4ème RIDAAD, École Nationale des Travaux Publics de l'État [ENTPE] et École nationale supérieure de l'architecture de Lyon (ENSAL), 2017.
- [4]fiche de pays ; Algérie,MED'OBSERVER
- [5] Qian Wu a ,Jiahui Wang b , Xi Meng b,* Influence of wall thermal performance on the contribution efficiency of the Phase-Change Material (PCM) layer. Case Studies in Thermal Engineering (2021)
- [6] Viet Anh Vu. Matériau composite à base de bois et liant inorganique contribuant au confort thermique des bâtiments. Thèse de doctorat.2021.
- [7] zard, J-L. « Archi bio » Edition Parenthèses, France. 1979
- [8] Khadhraoui,M-A. « Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique (cas des bâtiments tertiaires dans un climat chaud et aride) », Thèse de Doctorat, 2019.
- [9] Liepard,A. De Herd,A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques», première éd,Paris :Observ'ER,2006
- [10] POMEL. A. Races indigènes de l'Algérie et du rôle que leur réservent leurs aptitudes, Oran, typographie et lithographie veuve dagorne, 1871,
- [11] Maunier R. *La construction collective de la maison en Kabylie* (Etude sur la coopération économique chez les Berbères du Djurdjura), Paris, Institut d'ethnologie, 1926
- [12] HAMAZ A,TAHARBOUCHET Y. Impact des transformations constructives sur le confort thermique (cas d'une maison kabyle traditionnelle). Mémoire de master, université de Saad Dahleb Blida .2022.
- [13] Eduardo Roque. Rui Oliveira. Lightweight and prefabricated construction as a path to energy efficient buildings: thermal design and execution challenges .Environment and Sustainable Development.2020.
- [14] la bibliothèque du logiciel pléiades.

- [15] Antoine Béreyziat Étude du comportement thermomécanique de poutres mixtes acier-bois en situation d'incendie. Thèse de doctorat.2022. p13.
- [16] BUSSEY. T. Etude des transferts hygrothermiques dans les matériaux à base de bois et leurs contributions à l'ambiance intérieure des bâtiments. thèse de doctotat,2018.p 6
- [17] Zaratiana H.M. Impact thermique des revêtements en bois sur l'ambiance intérieure des bâtiments : application dans l'habitat traditionnel en France et à Madagascar. Architecture, aménagement de l'espace. INSA de Lyon, 2011.p26.
- [18] Bussey T. Etude des transferts hygrothermiques dans les matériaux à base de bois et leurs contributions à l'ambiance intérieure des bâtiments. Université Grenoble Alpes, 2018. P 12.
- [19]Dominique CARLAC'H, Yves HEMERY. ETUDE PROSPECTIVE L'acier dans la construction au regard du Développement Durable. DEVELOPPEMENT & CONSEIL.2005.p12.
- [20] RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES. BARDAGE EN ACIER PROTEGE ET EN ACIER INOXYDABLE conception et mise en œuvre. 2014.p 23.
- [21] Francesco Barreca, Viviana Tirella, A self-built shelter in wood and agglomerated cork panels for temporary use in Mediterranean climate areas. Energy and Buildings.2017.
- [22]Chugoua Njamen et al. Etude expérimentale du comportement thermique d'un local avec enveloppe en bois 'Iroko' dans la ville de Douala au Cameroun. Revue des Energies Renouvelables.2018
- [23]Eduardo Roque et al.Opportunities of Light Steel Framing towards thermal comfort in southern European climates: Long-term monitoring and comparison with the heavyweight construction. Building and Environment.2021.
- [24] Moulai Imene. Etude des performances thermiques de la maison solaire de l'udes. Mémoire de Master. université de Saad Dahleb Blida.2017.
- [25]Benlarbi Dyhia et Belfaci Afraa. Etude du comportement thermique d'une habitation dans des différentes régions en Algérie « Bechar Blida et Setif ». Mémoire de master, université de Saad Dahleb Blida.2022
- [26] Ben HAMICHE.L,BENDAHMENEM.Gestion durable du service public de l'eau en Algérie :Approche comparative des wilayas de Tizi-Ouzou et de Boumerdes. Mémoire de Master.UNIVERSITE MOULOUUD MAMMERI DE TIZI OUZOU.2022.

- [27] [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:DZ15_\(2019\).svg&lang=fr&uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:DZ15_(2019).svg&lang=fr&uselang=fr)
- [28] Le site officiel de la wilaya de Tizi-Ouzou ; octobre 2022. (www.wilaya-tiziouzou.dz).
- [29] ADE de Tizi-Ouzou
- [30] Asla T., 2002 - Contribution à l'étude de l'efficacité des travaux de D.R.S. en Kabylie (W. de Tizi-Ouzou) - Etat actuel et aspect morphologique des réseaux de banquettes : Utilisation d'un questionnaire d'enquête. Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou,
- [31] YAHIAOUI Ahlam .Optimisation de la ventilation naturelle dans les immeubles tertiaires Cas de la Direction Du Logement De TiziOuzou Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou
- [32] Le site officiel du journal : la dépêche de Kabylie (<https://www.depechedekabylie.com>)
- [33] MENOUEUR Lynda, 2018. Synthèse de connaissances sur l'écologie du magot *Macacasyllvanus* (Linnaeus, 1758) et approche des relations entre les populations sauvages et les riverain du Parc National du Djurdjura, mémoire de Master.
- [34] Bensidhoum M., 2010. Stratégie d'occupation de l'espace et écologie trophique de la Genette *Genettagenetta* Linné. 1758 dans la forêt de Darna, Djurdjura oriental, Algérie. Mémoire de Magister en Biologie. UMMTO.
- [35] Allache K ; Fouchal Y., 2014. Etude du régime trophique de la Genette (*Genettagenetta*), L. 1758. Dans la forêt d'AIT ALLAOUA, Parc National du Djurdjura, Ingénieur d'Etat en Biologie.UMMTO.
- [36] CAIRN MOUNTAIN (la page officielle de cairn mountain.)
- [37] Document technique réglementaire.
- [38] <https://fr.rs-online.com/web/c/test-mesure:mesures-environnementales/testerus-d-humidité/>
- [39] sofiane rahmouni .évaluation et amélioration Energétique des bâtiments dans le cadre du programme National d'efficacité énergétique thèse de doctorat 2020.
- [40] Sabrina SAMI. Contribution à l'intégration de composants solaires dans la structure bâtie. Application aux sites algériens. Thèse de doctorat .2018.
- [41] <https://www.izuba.fr/>.
- [42] <https://boutique.cstb.fr/performances-énergétiques/279-meteonorm.html>.