

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

Université Saad DAHLEB, Blida 1

Département des énergies renouvelables



**MÉMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

En énergies renouvelables

**OPTION**

Habitat bioclimatique

**THÈME**

**AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UN  
ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE**

**CAS DE L'ÉCOLE PRIMAIRE DE TIRMITINE DE TIZI OUZOU**

**Présenté par :**

CHENOUNE Anis et HADJAL Sihem

**Devant le jury composé de :**

Mme. S. SAMI.....Présidente

Dr. DJ. LAFRI..... Examineur

Dr. S. OUKACI.....Promotrice

Pr. A. HAMID..... Co-promoteur

Blida, Juillet 2023

# ***Remerciements***

*Tous d'abord nous remercions le bon **Dieu** de nous avoir aidés à réaliser nos objectifs.*

*Nos remerciements les plus sincères vont à notre promoteur, **Mr : A. Hamid**, et à notre co-promotrice, **Mme S. Oukaci**, pour leur précieuse aide, leur patience, leur expertise et leurs conseils avisés.*

*Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers l'ensemble des enseignants du département des énergies renouvelables, qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis des connaissances précieuses.*

*Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

*Nous exprimons notre gratitude envers notre famille et tous nos amis.*

*Enfin, on tiens à remercier également les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.*

# *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*À mes très chers parents, que Dieu protège et prolonger leur vie, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi, Je suis infiniment reconnaissante pour votre soutien inconditionnel, Vos encouragements, votre amour et vos sacrifices.*

*Je vous serai éternellement reconnaissante pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour moi. Je vous aime de tout mon cœur.*

*À mes frères, qui sont la lumière de mes jours, la source de mes efforts.*

*À mes petites sœurs, qui sont ma source de bonheur et ma joie pour leur amour qu'elles me réservent.*

*À mon cher Tarek, pour son soutien moral, puisse Dieu le garder, éclairer leur route et les aider à réaliser leurs vœux, et à toute sa famille.*

*À mes chères amies, au nom de l'amitié qui nous a réunis et nos souvenirs Inoubliables.*

*À toute ma famille.*

*En fin je remercie mon binôme Anis, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

*H. Sihem*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciements pour mon père ma mère, qui m'ont donné un amour inconditionnel et un soutien moral, et pour les sacrifices qu'ils ont consentis pendant mes années d'études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Un grand merci à mes frères et sœurs, qui sont une source de courage pour moi.*

*Je voudrais également exprimer ma reconnaissance envers toute ma famille.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ma binôme, Sihem, pour sa patience et sa disponibilité.*

*Enfin, un sincère remerciement à mes chers amis.*

*Ch. Anis*

## Résumé

Cette étude se concentre sur l'analyse du comportement thermique, et l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'école primaire "Sanaoui Ali", située à Tirmatine, dans la wilaya de Tizi-Ouzou. L'objectif principal de cette étude est de réduire les pertes thermiques à travers les parois de l'établissement et de minimiser sa consommation énergétique globale. En plus de l'étude thermique nous avons fait un dimensionnement à l'aide du logiciel PVsyst, pour remplacer le moyen de production électrique traditionnelle par une installation photovoltaïque raccordée au réseau électrique publique.

Dans un premier temps, nous avons réalisé des calculs de déperditions thermiques afin de vérifier la conformité réglementaire de l'école vis-à-vis des normes en vigueur en Algérie. A l'aide du logiciel Pleiade nous avons réalisé une simulation thermique dynamique pour trois blocs pour le cas de base de l'école pour voir le comportement thermique réel, le confort thermique, et les besoins énergétiques en chauffage et climatisation de cette dernière, par la suite nous avons procédé à des ajustements dans l'enveloppe du bâtiment, et apportés des modifications aux parois, en ajoutant l'isolation aux murs extérieurs et aux planchers, et remplacé les fenêtres et portes de base par des fenêtres double vitrage et des portes isolantes performantes, afin de réduire les consommations et avoir un confort thermique agréable. De plus, nous avons procédé au dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'éclairage de l'école ainsi qu'à l'installation d'une pompe à chaleur pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Enfin, les résultats finaux nous ont permis de réduire les besoins de chauffage totaux des trois blocs de 45 %, elle a permis aussi de réduire les besoins de climatisation pour les logements de fonction de 25 %. Le dimensionnement des panneaux solaires a permis d'atteindre tous les besoins en éclairage et autres matériels électriques, et le chauffage avec une pompe à chaleur eau/eau, avec un nombre de panneaux solaires équivalent à 25 panneaux.

**Mots clés :** Efficacité énergétique, Besoins énergétiques, Simulation, Performance énergétique, Consommation d'énergie, Confort thermique, photovoltaïque, pompe à chaleur

## **Abstract**

This study focuses on analyzing the thermal behavior and improving the energy efficiency of the primary school "Sanaoui Ali" located in Tirmatine, in the wilaya of Tizi-Ouzou, Algeria. The main objective of this study is to reduce thermal losses through the building's walls and minimize its overall energy consumption. In addition to the thermal study, we conducted a sizing using PVsyst software to replace the traditional means of electrical production with a grid-connected photovoltaic installation.

Firstly, we conducted calculations of thermal losses to verify the school's compliance with the current regulations in Algeria. Using the Pleiades software, we performed a dynamic thermal simulation for three blocks representing the base case of the school to observe its actual thermal behavior and determine the heating and cooling energy needs. Subsequently, we made adjustments to the building envelope and modified the walls by adding insulation to the exterior walls and floors. We also replaced the original windows and doors with double-glazed windows and high-performance insulated doors. Additionally, we dimensioned a photovoltaic system for the school's lighting and installed a heat pump for heating and hot water production.

Finally, the final results allowed us to reduce the total heating requirements of the three blocks by 45%, and also decrease the cooling needs for the staff accommodations by 25%. The sizing of the solar panels successfully met all the lighting and other electrical equipment needs, as well as the heating requirements with a water-to-water heat pump using an equivalent of 25 solar panels.

**Keywords:** Energy efficiency, Energy needs, Simulation, Energy performance, Energy consumption, Thermal comfort, Photovoltaic, Heat pump.

## ملخص

تركز هذه الدراسة على تحليل السلوك الحراري في المدرسة الابتدائية "سناوي علي" الموجودة في تيرميتين، في ولاية تيزي وزو، الجزائر. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقليل الخسائر الحرارية عبر جدران المبنى وتقليل استهلاك الطاقة للمدرسة. بالإضافة إلى الدراسة الحرارية، قمنا بتبديل وسيلة إنتاج الكهرباء التقليدية بتركيب نظام الطاقة الشمسية المتصل بالشبكة الكهربائية العامة

في البداية، قمنا بإجراء حسابات لفاقدات الحرارة للتحقق من مطابقة المدرسة للمعايير القانونية الحالية في الجزائر. باستخدام برنامج (PLEIADÉ)، قمنا بإجراء محاكاة حرارية ديناميكية لثلاثة أجنحة من المدرسة، لملاحظة سلوكها الحراري الفعلي وتحديد احتياجاتها من التدفئة والتبريد. فيما بعد، قمنا بإجراء تعديلات على غلاف المبنى وتعديل الجدران عن طريق إضافة عزل حراري للجدران الخارجية والأرضيات. قمنا أيضًا بتبديل النوافذ والأبواب الأصلية بنوافذ ذات زجاج مزدوج وأبواب معزولة عالية الأداء. بالإضافة إلى الدراسة الحرارية، قمنا بتصميم نظام الطاقة الشمسية عن طريق برنامج (PVSyst) لإضاءة المدرسة وتركيب مضخة حرارية للتدفئة وإنتاج المياه الساخن.

وأخيرًا، أتاحت لنا النتائج النهائية تقليل احتياجات التدفئة الكلية للأجنحة الثلاثة بنسبة 45%، وتقليل احتياجات التبريد للإقامات الخاصة بالموظفين بنسبة 25%. نجح تصميم الألواح الشمسية في تلبية جميع احتياجات الإضاءة والمعدات الكهربائية الأخرى، بالإضافة إلى متطلبات التدفئة باستخدام مضخة حرارية ( ) مع عدد يعادل 25 لوحة شمسية

**الكلمات الرئيسية:** الكفاءة الطاقية، احتياجات الطاقة، المحاكاة، أداء الطاقة، استهلاك الطاقة، الراحة الحرارية، الطاقة الشمسية، مضخة الحرارة

## Sommaire

Introduction générale .....	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET ÉTAT DE L'ART.....	3
I.2 La consommation énergétique mondiale : .....	5
I.3 La consommation énergétique en Algérie : .....	5
I.4 Efficacité énergétique : .....	7
I.4.1 Définition et concept clé : .....	7
I.4.2 L'importance de l'efficacité énergétique pour la durabilité, et l'économie : .....	8
I.4.3 Principe de l'efficacité énergétique dans les bâtiments : .....	9
I.5 les initiatives Algériennes visant à promouvoir l'efficacité énergétique et l'utilisation rationnelle de l'énergie : .....	9
I.6 Le confort thermique : .....	10
I.6.1 Les paramètres influant le confort thermique : .....	11
I.6.1.2 Humidité relative de l'air : .....	12
I.6.1.3 Distribution de la chaleur : .....	12
I.6.1.4 Circulation de l'air : .....	12
I.6.1.5 L'activité humaine : .....	12
I.6.1.6 la vêtue : .....	13
I.7 L'architecture bioclimatique : .....	14
I.7.1 Les bases de l'architecture bioclimatique : .....	14
I.7.1.1 Site d'implantation : .....	15
I.7.1.2 Orientation : .....	16
I.7.1.3 La forme et la compacité : .....	17
I.7.1.4 Aménagement paysager : .....	19
I.7.1.5 La disposition intérieur : .....	20
I.7.1.6 Dispositifs de contrôle des apports solaires : .....	21
I.7.1.7 L'isolation : .....	22
I.7.1.8 L'inertie thermique : .....	24
I.7.1.10 Ventilation naturelle : .....	27
I.7.1.10.1 La ventilation naturelle traversante : .....	27
I.7.1.10.2 La ventilation naturelle de simple exposition : .....	28
I.7.1.10.3 La ventilation naturelle par tirage thermique : .....	28
I.8 Système photovoltaïque dans le bâtiment : .....	28

I.8.1 Types d'installations de système photovoltaïque :	30
I.8.1.1 Installation autonome :	30
I.8.1.2 Installation raccordée au réseau :	31
I.8.1.3 Installation hybride :	32
I.8.2 Méthodes d'installations de système photovoltaïque dans le bâtiment :	33
I.8.2.1 Intégrée au bâtiment :	33
I.8.2.2 Intégration simplifiée au bâtiment :	33
I.8.2.3 Installation non-intégré au bâtiment (installation au sol) :	34
I.9 ÉTAT DE L'ART :	35
I.9.1 Mémoires consultées :	35
I.9.2 Articles consultées :	36
I.10 conclusion :	38
CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude	39
II.1 Introduction :	40
II.2 Présentation de la zone d'étude :	40
II.2.1 Situation et morphologie urbaine :	40
II.2.2 conditions climatiques de cas d'étude :	41
II.2.3 classification de la ville de Tizi ousou selon la classification thermique	45
II.3 Présentation du cas d'étude :	45
II.3.1 Portrait de l'école:	45
II.3.2 Les plans de l'école :	46
II.3.3 L'organisation de l'école :	47
II.4 Description des blocs étudiés :	48
II.4.1 Organisation spatiale :	48
II.4.2. Composition des éléments constructifs et leur thermophysique :	49
II.4.2 Les dimensions des ouvertures :	51
II.5 Calcul du bilan thermique statique :	52
II.5.1 Calculs des déperditions Totale selon DTR :	54
II.5.2 Bilan thermique après isolation des murs extérieur avec laine de bois :	57
II.6 Analyse expérimentale :	60
II.6.1 Les Graphes de températures :	61
II.7 conclusion :	63
CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES	65
III.1 Introduction :	66
III.2 Présentation du logiciel :	66

III.2.1 Le logiciel pleiades (version 5.23.5.0) :	66
III.2.2 Le logiciel Meteonorm (version 8.0.3) :	67
III.3 Processus de la simulation avec Pleiades :	68
III.4 Création de la station météo avec meteonorm :	69
III.5 Saisi des compositions des parois sous pleiades (bibliothèque) :	70
III.6 Saisi des menuiseries (bibliothèque) :	72
III.7 Saisi du bâtiment :	73
III.7.1 Définition des données de construction :	73
III.7.2 Représentation géométrique :	74
III.7.2 Définition des zones thermiques :	76
III.7.2 Définition des scénarios de fonctionnement :	77
III.8 Lancement de la simulation :	86
III.9 Conclusion :	86
CHAPITRE IV : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET PROPOSITION DES AMÉLIORATIONS	87
IV.1 Introduction :	88
IV.2 Simulation de l'école primaire :	88
IV.2.1 Résultats de la simulation sans consigne de température :	88
IV.2.2 Résultats de la simulation avec consigne de température :	96
IV.3 Simulation de l'école primaire après amélioration	99
IV.3.1. Isolation :	99
IV.3.2 Fenêtres et portes performantes	101
IV.3.3 Protections solaire :	102
IV.3.4 Occultation :	102
IV.4 Résultats de la simulation de l'école primaire après amélioration	103
IV.4.1 Résultats de la simulation sans consigne de température :	103
IV.4.2 Résultats de la simulation avec consigne de température :	110
IV.5 Conclusion :	112
CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié	114
V.1 Introduction :	115
V.2 Définition Pompe à chaleur :	115
V.2.1 Types Pompe à chaleur géothermique:	116
V.2.2 Calcul les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire :	116
V.2.3 Le choix de la pompe à chaleur :	117
V.2.3 Branchements électriques :	117

V.3 Définition L'énergie photovoltaïques : .....	118
V.3.1 Types d'installation : .....	118
V.3.2 Présentation de notre cas d'étude : .....	119
VI.3.3 Résultats de simulation à l'aide du logiciel PVsyst : .....	120
VI.3.3.1 Présentation de logiciel PVsyst : .....	120
VI.3.3.2 Coordonnées géographiques : .....	121
VI.3.3.3 Données météorologiques mensuelles : .....	122
VI.3.3.4 Trajectoire du soleil : .....	124
VI.3.3.5 Les étapes pour la conception du projet : .....	125
VI.3.4 Résultats et discussions de la simulation : .....	128
VI.3.5 Amélioration : .....	130
VI.3.5.1 Résultats et discussions de la nouvelle simulation : .....	133
VI.4 Le cout totale de l'installations : .....	138
Main-d'œuvre .....	139
VI.5 Conclusion : .....	140
Les références .....	144

## Liste des tableaux

Tableau II. 1 : classification de la ville de Tizi Ouzou selon D.T.R .....	45
Tableau II. 2 : Organisation des blocs de l'école .....	47
Tableau II. 3 : L'organisation spaciae .....	48
Tableau II. 4 : Composition des élément constructif bloc 1, 2.....	49
Tableau II. 5 : Composition des élément constructif bloc 3.....	50
Tableau II. 6 : Les dimensions des ouvertures .....	51
Tableau II. 7 : Calculs des K de chaque élément constructif bloc 2 .....	52
Tableau II. 8 : Calculs des K de chaque élément constructif bloc 3 .....	53
Tableau II. 9 : Calculs l Déperditions de référence salle bloc 2.....	54
Tableau II. 10 : Calculs l Déperditions de référence salle bloc 3.....	55
Tableau II. 11 : Calculs des K de chaque élément constructif salle bloc 2 .....	57
Tableau II. 12 : Calculs des K de chaque élément constructif salle bloc3 .....	58
Tableau II. 13 : calcul les écarts des Température .....	62
Tableau V. 1 : caractéristiques Pompes à chaleur eau/eau Weishaupt [31] .....	117
Tableau V. 2 : consommation quotidienne .....	119
Tableau V. 3 : les prix totaux de l'installation.....	139

## Liste des figures

Figure I. 1 : Consommation énergétique mondiale selon la source .....	5
Figure I. 2 : consommation énergétique en Algérie selon la source .....	6
Figure I. 3: consommation énergétique en Algérie par secteurs.....	6
Figure I. 4 : consommation énergétique en Algérie du secteur tertiaire par source.....	7
Figure I. 5 : Plage acceptable de température et d'humidité opératoire pour les zones de confort thermique .....	11
Figure I. 6 : Activité humaine .....	13
Figure I. 7 : Relation entre l'isolation des vêtements (moyenne $\pm$ SD) et la température de l'air intérieur .....	14
Figure I. 8 : Méthodologie d'implantation d'un bâtiment.....	16
Figure I. 9 : Orientation d'un bâtiment .....	17
Figure I. 10 : Effet de la forme, de la taille et de la proximité d'autres volumes sur la compacité de formes simples .....	19
Figure I. 11: Aménagement paysager .....	20
Figure I. 12: Flanc.....	21
Figure I. 13 : L'auvent.....	21
Figure I. 14 : Loggia .....	22
Figure I. 15 : Classification des matériaux d'isolation des bâtiments.....	23
Figure I. 16 : Réponse thermique sur une onde de chaleur sinusoïdale se propageant à travers une paroi.....	25
Figure I. 17 : Fenêtre a simple vitrage .....	26
Figure I. 18 : Fenêtre à double vitrage .....	26
Figure I. 19 : Fenêtre à triple vitrage .....	26
Figure I. 20 : Des panneaux solaires pour une école primaire à TAZMALT (BÉJAÏA) .....	30
Figure I. 21 : Installation photovoltaïque autonome .....	31
Figure I. 22 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau .....	32
Figure I. 23 : Installation photovoltaïque hybride .....	32
Figure I. 24 : Panneaux photovoltaïques intégrés au bâtiment .....	33
Figure I. 25 : Intégration simplifiée des panneaux solaires au bâtiment .....	34
Figure I. 26 : Installation panneaux solaires au sol.....	35
Figure II. 1 : Carte de l'Algérie situant la ville de Tizi Ouzou.....	40
Figure II. 2 : Carte de la wilaya de Tizi Ouzou.....	40
Figure II. 3 : Commune limitrophes de Tirmatine .....	41
Figure II. 4 : carte de Tizi Ouzou situant de la commune de Tirmatine .....	41
Figure II. 5 : Températures journalière de Tirmatine.....	42
Figure II. 6 : La Température moyenne mensuelle de Tirmatine .....	42
Figure II. 7 : L'ensoleillement annuelle a Tirmatine .....	43
Figure II. 8 : Précipitations annuelle à Tirmatine .....	44
Figure II. 9 : Rayonnement global journalier.....	44
Figure II. 10 : Image de l'école.....	62
Figure II. 11: Image de l'école .....	45
Figure II. 12 : Plan de situation.....	46
Figure II. 13 : Plan du masse .....	46
Figure II. 14 : Organisation des blocs .....	48

Figure II. 15 : Appareil de mesure les températures (Thermo-hygromètre) .....	60
Figure II. 16 : Graphique de l'évolution des températures .....	61
Figure II. 17 : Graphique de l'évolution des températures .....	61
Figure II. 18 : Graphique de l'évolution des températures .....	62
Figure III. 1: Interface introductive du logiciel pleiades .....	67
Figure III. 2 : Interface introductive du logiciel meteonorm .....	67
Figure III. 3 : Schéma de la méthodologie.....	68
Figure III. 4 : Coordonnées géographiques de Tizi Ouzou.....	69
Figure III. 5 : Format de sortie.....	69
Figure III. 6 : Enregistrement du fichier .....	70
Figure III. 7 : Mur extérieur, bloc 1, 2, et 3 .....	70
Figure III. 8 : Mur de soutènement .....	71
Figure III. 9 : Mur intérieur bloc 1, 2, et 3 .....	71
Figure III. 10 : Plancher bas et intermédiaire, bloc 1, 2, et 3.....	71
Figure III. 11 : Plancher haut et toiture inclinée, bloc 1, 2, et 3 .....	72
Figure III. 12 : Fenêtre bois simple vitrage.....	72
Figure III. 13 : Porte intérieure en bois.....	72
Figure III. 14 : Porte extérieure en bois .....	73
Figure III. 15 : Porte extérieure métallique.....	73
Figure III. 16 : Données de construction .....	74
Figure III. 17 : Plan de 4 salles et quatre logements de fonction.....	74
Figure III. 18 : Plan des 2 salles, le bureau, et la cantine.....	75
Figure III. 19 : Vue en 3d de l'ensemble des 3 bloc .....	75
Figure III. 20 : Zones thermiques bloque 1 et bloc 3.....	76
Figure III. 21 : Zones thermiques bloque 2 et bloc 3.....	76
Figure III. 22 : Occupation Salles d'étude bloc 1 et 2.....	77
Figure III. 23 : Occupation salles d'étude et cantine bloc 3 .....	78
Figure III. 24 : Occupation du bureau.....	78
Figure III. 25 : Occupation des chambres et séjours cuisines de chaque logement bloc 1 et 2 .....	79
Figure III. 26 : Puissances dissipées des salles d'étude.....	80
Figure III. 27 : Puissance dissipée de la cantine et du bureau .....	80
Figure III. 28 : Puissance dissipée de chaque chambre et séjour-cuisine de chaque logement.....	81
Figure III. 29 : consigne de chauffage pour l'école.....	82
Figure III. 30 : Consigne de climatisation pour l'école.....	82
Figure III. 31 : Consigne de chauffage pour les logements de fonction .....	83
Figure III. 32 : consigne de climatisation pour les logements de fonction .....	83
Figure III. 33 : Occupation annuelle de l'école primaire .....	84
Figure III. 34 : Scénario de ventilation de l'école .....	84
Figure III. 35 : Scénario de ventilation pour les logements .....	85
Figure IV. 1 : résultats de la simulation des températures (sans consigne de température).....	89
Figure IV. 2 : Taux d'inconfort et apports solaires (sans consigne) .....	89
Figure IV. 3 : Graphe de température pour différentes zones de l'enseignement.....	90
Figure IV. 4 : Graphe de température pour différentes zones de l'enseignement.....	92
Figure IV. 5 : Graphe de température pour différentes zones des logements de fonction .....	93
Figure IV. 6 : Graphe de température pour différentes zones des logements de fonction .....	95

Figure IV. 7 : Besoins de chauffage des différentes zones de l'école (enseignement).....	97
Figure IV. 8 : Besoins de chauffage des différentes zones des logements de fonction.....	97
Figure IV. 9 : Besoins de climatisation des différentes zones de l'école (enseignement).....	98
Figure IV. 10 : Besoins de climatisation des différentes zones des logements de fonction.....	98
Figure IV. 11 : Composition murs extérieurs bloc 1 et 2 après amélioration.....	100
Figure IV. 12 : Composition murs extérieurs bloc 3 après amélioration .....	100
Figure IV. 13 : Composition plancher bas - Bloc 1 et 2 après amélioration .....	100
Figure IV. 14 : <i>fenêtres</i> double vitrage en bois A2+A2 4.12.4 .....	101
Figure IV. 15 : Porte bois isolante performante .....	101
Figure IV. 16 : Débord fenêtre .....	102
Figure IV. 17 : scénario d'occultation .....	102
Figure IV. 18 : résultats de la simulation des températures (sans consigne de température).	103
Figure IV. 19 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	104
Figure IV. 20 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	104
Figure IV. 21 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	105
Figure IV. 22 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	105
Figure IV. 23 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	106
Figure IV. 24 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	107
Figure IV. 25 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	107
Figure IV. 26 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	108
Figure IV. 27 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration .....	108
Figure IV. 28 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de différentes zones des logements de fonction pour la semaine la plus chaude .....	109
Figure IV. 29 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de différentes zones des logements de fonction pour la semaine la plus froide .....	110
Figure IV. 30 : Nouveau scénario de chauffage pour l'école (l'enseignement) .....	111
Figure IV. 31 : Nouveau scénario de chauffage pour les logements de fonction.....	111
Figure IV. 32 : Résultats de la simulation des températures et des besoins.....	111
Figure V. 1 la pompe à chaleur et l'énergie renouvelable.....	115
Figure V. 2 : Pompe à chaleur géothermique .....	116
Figure V. 3 : Système raccordé au réseau .....	119
Figure V. 4 : Préface du logiciel Pvsyst 7.3 .....	121
Figure V. 5 : La fenêtre du logiciel Pvsyst 7.3.....	121
Figure V. 6 : Coordonnées géographiques de Tirmatine wilaya de Tizi Ouzou. ....	122
Figure V. 7 : Carte interactive (Tirmatine/Tizi Ouzou) .....	122
Figure V. 8 : Données météorologiques de (Tirmatine/Tizi Ouzou). ....	123
Figure V. 9 : Trajectoire du soleil.....	124
Figure V. 10 : Inclinaison Plan de 35° .....	125
Figure V. 11 : Consommation journalière .....	126
Figure V. 12 : Distribution des heures d'utilisation dans la journée.....	127
Figure V. 13 : Caractéristiques de modules PV et du régulateur du système .....	128
Figure V. 14 : le rapport de la simulation.....	129
Figure V. 15 : PHILIPS Essential LED bulbs .....	130
Figure V. 16 : Lampe MASTER TL-D Eco 16W/830 1SL/25 .....	131
Figure V. 17 : Projecteur PHILIPS Essential Smartbright Flood Gen 2 .....	131
Figure V. 18 : stratégie de l'éclairage naturel .....	132

Figure V. 19 : La nouvelle Consommation journalière .....	133
Figure V. 20 : Caractéristiques de modules PV et du régulateur du système .....	133
Figure V. 21 : rapport de la nouvelle simulation.....	135
Figure V. 22 : le rapport des besoins de l'utilisateur.....	136
Figure V. 23 : Diagramme des pertes sur l'année entière .....	137

## Nomenclatures

Symboles	Désignations	Unités
e	Épaisseur des matériau	m
S	Surface intérieure de la paroi	m <sup>2</sup>
$\lambda$	La conductivité thermique du matériau	W/m.°C
1/hi+1/he	Les résistances thermiques d'échanges superficielle intérieur et extérieure	m <sup>2</sup> .°C/W
K	Coefficient de transmission surfacique	W/m <sup>2</sup> .°C
Rt	Résistance superficiel total	m <sup>2</sup> .°C/W
R	Résistance superficiel de chaque Paroi	m <sup>2</sup> .°C /W
Ds	Déperditions surfaciques	W/°C
DL	Déperditions Linéiques	W/°C
DT	Déperditions Totale	W/°C
Dr	Déperditions de référence	W/°C
Qchff	Puissance de chauffage	W
Qces	Puissance chauf eau sanitaire	W
QT	Puissance totale	W
$\rho$	La masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
v	Volume	m <sup>3</sup>
cp	Chaleur spécifique	J/kg k
T	Temperature	°C
E	Energie	kWh
p	Puissance	W
h	Heure	S
Ec	énergie consommée	kW/jour
Ep	énergie produite	Wh/jour

Pc	puissance crête	kWc
Ir	irradiation	kW/m <sup>2</sup> /J

### Abréviations

Symboles	Désignations
HQE	Haute Qualité Environnementale
PNC	Plan National Climat
CCNUCC	convention des Nations Unies sur les changements climatiques
CEREFÉ	commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique
PNME	Programme National de Maîtrise de l'énergie
Mtep	Millions de tonne équivalent pétrole
pcs	Pouvoir calorifique supérieur
clo	Isolation des vêtements
Cf	Coefficient de forme
WWRs	rapports fenêtre-mur
CR	Compacité relative
HR	Humidité Relative
SHGC	coefficient de gain de chaleur solaire
DTR	Document Technique Réglementaire
R.D.C	Rez-de-chaussé
PAC	Pompe A Chaleur
COP	Coefficient de Performance Énergétique
PV	Photovoltaïque
LED	Diode électroluminescente
MPPT	Maximum Power Point Tracker

# **INTRODUCTION GENERALE**

### **Introduction générale :**

L'amélioration de l'efficacité énergétique est devenue une priorité majeure dans le contexte actuel de lutte contre le changement climatique et de gestion responsable des ressources énergétiques. Les écoles primaires, en tant qu'institutions éducatives fondamentales, ne font pas exception à cette nécessité impérieuse de réduire l'empreinte écologique et de promouvoir des pratiques durables. Ce mémoire a pour objectif d'étudier les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique d'une école primaire située dans la wilaya de TIZI OUZOU, en adoptant une approche axée sur l'architecture bioclimatique, et l'énergie solaire comme alternative aux sources conventionnelles.

L'énergie consommée par les établissements scolaires représente une part significative de la consommation énergétique globale. Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que l'éclairage et autres équipements électriques contribuent tous à cette consommation. Par conséquent, l'optimisation de l'efficacité énergétique dans le contexte scolaire offre une opportunité tangible de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir la durabilité environnementale. En plus des avantages environnementaux indéniables, l'amélioration de l'efficacité énergétique des écoles primaires peut également engendrer des avantages économiques et sociaux, en réduisant les coûts énergétiques à long terme, les ressources économisées peuvent être réallouées vers d'autres domaines éducatifs, de plus, les écoles primaires éco énergétiques servent de modèle éducatif en inculquant des valeurs de responsabilité environnementale aux élèves, aux enseignants et à la communauté.

Le présent mémoire se concentrera sur l'application des principes de l'architecture bioclimatique passive, et l'utilisation de l'énergie solaire à savoir les panneaux photovoltaïques comme source d'alimentation pour les appareils électriques présents dans l'enceinte de l'école. L'architecture passive s'appuie sur la conception intelligente du bâtiment pour exploiter les ressources naturelles, maximiser le confort thermique et minimiser la dépendance aux systèmes énergétiques actifs. Cela inclut des éléments tels que l'isolation thermique, l'orientation du bâtiment, la gestion de la lumière naturelle et l'utilisation de matériaux à haute efficacité énergétique. Nous entreprendrons une analyse approfondie en évaluant les puissances de chauffage et de climatisation, les performances énergétiques et les éventuelles sources de gaspillage énergétique. À l'aide du logiciel pléiades, et à travers un modèle de conception nous procéderons à des simulations thermiques dynamique, nous proposerons des solutions

## INTRODUCTION GENERALE

---

spécifiques pour améliorer l'efficacité énergétique de l'école, en réduisant la consommation d'énergie sans compromettre le confort des occupants.

Nous procéderons également à un dimensionnement photovoltaïque à l'aide du logiciel PVsyst. Cela nous permettra de déterminer la puissance électrique nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de l'école en utilisant l'énergie solaire. L'installation sera raccordée au réseau électrique public, ce qui garantira une alimentation continue en cas de besoin supplémentaire ou de surplus de production.

L'objectif principal de cette recherche est de fournir des recommandations pratiques et applicables pour une amélioration significative de l'efficacité énergétique de l'école primaire, en alignement avec les objectifs de durabilité et de préservation des ressources. Nous nous attacherons à identifier les mesures prioritaires telles que l'isolation renforcée, l'utilisation efficace de l'éclairage naturel, ainsi que l'intégration de solutions technologiques durables telles que les panneaux solaires photovoltaïques. On étudiera l'impact de ces mesures sur le confort thermique des occupants de l'école primaire, en tenant compte des variations saisonnières et des conditions climatiques spécifiques à la région de Tizi Ouzou.

**CHAPITRE I**  
**GÉNÉRALITÉS ET ÉTAT DE L'ART**

### **I.1 Introduction :**

L'énergie est la ressource de base qui constitue le socle de toutes les activités humaines, elle joue un rôle important dans le développement social et économique des pays. À une époque de préoccupations environnementales accrues et de défis énergétiques mondiaux, l'efficacité énergétique devient un élément essentiel de la transition vers un avenir plus durable et prospère. Cette introduction marque le début d'une exploration des généralités et de l'état de l'art du mémoire, soulignant l'importance cruciale de l'efficacité énergétique pour relever les défis actuels et futurs liés à la consommation énergétique.

Dans cette introduction, nous examinerons les défis auxquels nous sommes confrontés dans l'approvisionnement énergétique, en soulignant la nécessité d'une gestion responsable de cette précieuse ressource. Nous traiterons de la situation énergétique en Algérie, à travers une analyse de sa consommation énergétique nationale, les défis spécifiques et des initiatives en cours visant à améliorer l'efficacité énergétique et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

Nous aborderons les concepts clé de l'efficacité énergétique, en mettant l'accent sur les principes et les approches qui sous-tendent l'efficacité énergétique dans le contexte des bâtiments, à savoir l'architecture bioclimatique. En fin nous évoqueront aussi l'un des côtés actifs lié à l'efficacité énergétique, plus précisément les panneaux photovoltaïques en explorant quelques-unes des technologies photovoltaïques les plus couramment utilisées, les différents types d'installations solaires, ainsi que les méthodes d'intégration des systèmes photovoltaïques dans les bâtiments. Nous fournirons des informations sur ces sujets, en mettant en évidence les aspects techniques et les considérations pratiques liées à l'installation de panneaux solaires

Pour conclure, l'introduction vise à fournir une base solide pour le reste de notre recherche, nous établissons les bases nécessaires à l'exploration en profondeur de divers aspects de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le contexte spécifique, à savoir les écoles primaires.

### I.2 La consommation énergétique mondiale :

Selon la BP Statistical Review of World Energy 2022 la consommation mondiale d'énergie primaire en 2021 est de 595,15 exajoules [1], dépassant ainsi les niveaux pré pandémiques de 1,3%, les combustibles fossiles ont représenté 82% de la consommation d'énergie primaire en cette même année, contre 83% en 2019 et 85% il y a cinq ans. Bien que la part des combustibles fossiles dans le mix énergétique mondial ait légèrement diminué ces dernières années, néanmoins ils continuent de représenter la majeure partie de la consommation mondiale, selon la même source en 2021, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> provenant de sources d'énergie ont bondi à près de 33,9 milliards de tonnes, marquant une augmentation significative de 5,9 % par rapport à l'année précédente.

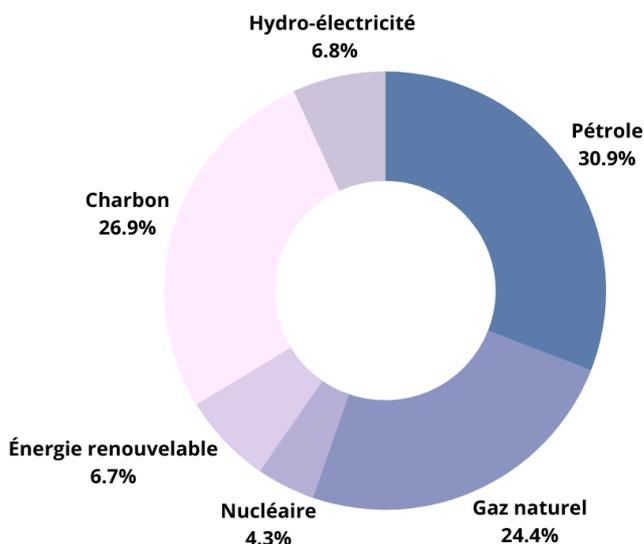


Figure I. 1 : Consommation énergétique mondiale selon la source

### I.3 La consommation énergétique en Algérie :

La consommation énergétique en Algérie pour l'année 2021 s'élève à 67,2 Mtep [2], pour une production de 164,6 Mtep, la consommation d'énergie par produit montre que les produits gazeux ont la part la plus importante qui est de 21,1 Mtep, suivit de l'électricité avec 15,3 Mtep, les produits liquides 13,7 Mtep, les produits solides 0,05 Mtep, et enfin les autres consommations d'énergie, comme les usages non énergétiques et l'industrie énergétique (y compris les pertes) qui s'élève à 17 Mtep.

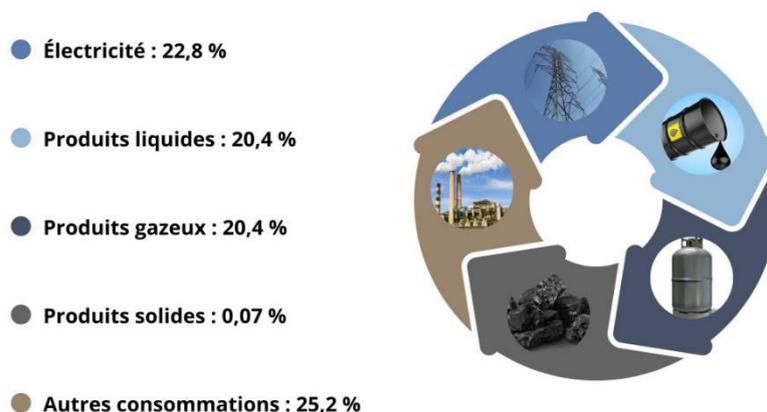


Figure I. 2 : consommation énergétique en Algérie selon la source

En termes de consommation finale par secteur et qui vaut à 50,2 Mtep, c'est les secteurs des transports et des bâtiments qui consomment la majeure partie de l'énergie.

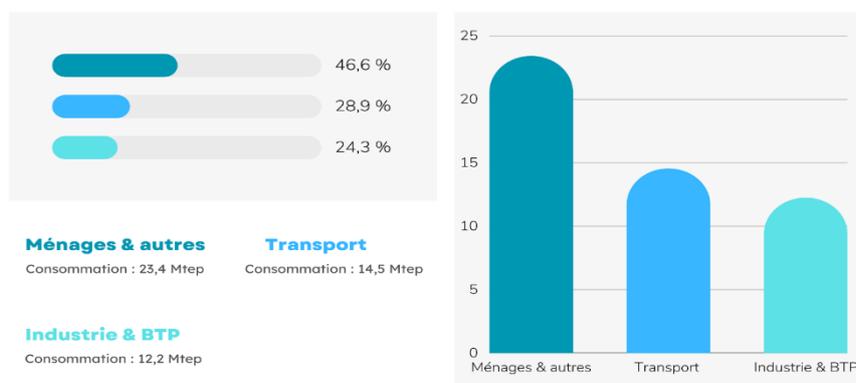


Figure I. 3: consommation énergétique en Algérie par secteurs

En 2017 La consommation énergétique du secteur tertiaire a atteint 4 Mtep/pcs soit 2.5 Mtep/pci dans le pays [3], cette consommation énergétique élevée du secteur tertiaire souligne

l'importance de mettre en œuvre des mesures d'efficacité énergétique et de promotion des énergies renouvelables dans ce secteur. Des efforts supplémentaires sont nécessaires pour encourager l'adoption de technologies éco énergétiques, l'amélioration de l'isolation des bâtiments, l'utilisation de systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces, ainsi que la sensibilisation à la conservation de l'énergie parmi les acteurs du secteur tertiaire. La répartition de la consommation énergétique de ce secteur met en évidence une prédominance du gaz naturel, qui représente la plus grande part avec 43%, l'électricité occupe également une part significative avec 41% et cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques. On observe également une utilisation plus limitée du gasoil (12%), du GPL (2%), suivi du charbon avec (1%) [3].

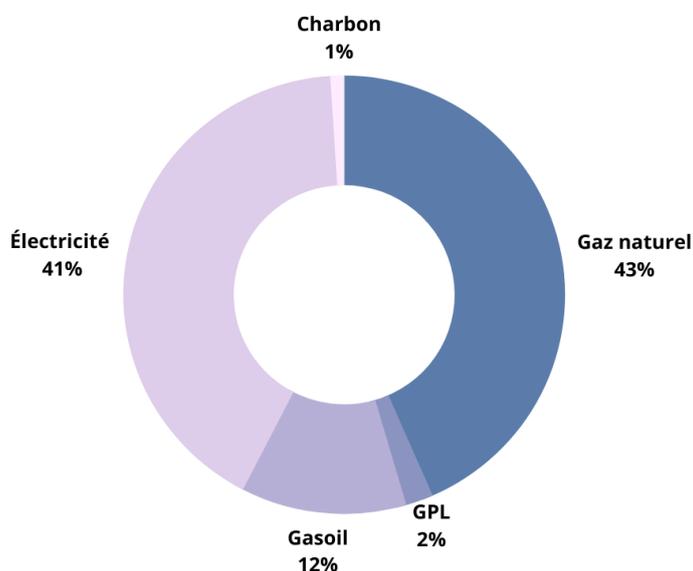


Figure I. 4 : consommation énergétique en Algérie du secteur tertiaire par source

### I.4 Efficacité énergétique :

#### I.4.1 Définition et concept clé :

L'efficacité énergétique, d'une manière générale, fait référence à l'utilisation optimale de l'énergie afin de minimiser les pertes et maximiser les résultats souhaités, cela implique l'adoption d'un ensemble de technologies et de techniques qui permettent d'obtenir les mêmes résultats tout en réduisant la quantité d'énergie utilisée. L'efficacité énergétique vise à améliorer l'utilisation des ressources énergétiques existantes plutôt qu'à augmenter la production

d'énergie, elle contribue à réduire les coûts énergétiques, à atténuer les impacts environnementaux associés à celle-ci. Les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie sont tous de grands consommateurs d'énergie, et l'accent est de plus en plus mis sur l'amélioration de l'efficacité énergétique dans ces secteurs.

En somme, un système est considéré comme ayant une excellente efficacité énergétique lorsqu'il parvient à fournir une sortie utile tout en minimisant sa consommation d'énergie. L'évaluation de l'efficacité énergétique dépend des critères spécifiques associés au système en question, l'évaluation de celle-ci peut dépendre de certains éléments, tels que le rendement énergétique, les pertes énergétiques, l'utilisation de technologies avancées, la conformité aux normes et labels, et la comparaison avec d'autres modèles de références.

### **I.4.2 L'importance de l'efficacité énergétique pour la durabilité, et l'économie :**

L'efficacité énergétique est d'une importance primordiale pour assurer la durabilité et promouvoir l'économie dans tous les domaines d'applications. La recherche constante d'une efficacité énergétique optimale présente des avantages majeurs sur le plan économique, car elle permet une réduction des coûts d'utilisation à long terme, grâce notamment à une consommation énergétique réduite. Lorsque moins d'énergie est nécessaire pour satisfaire les mêmes besoins, cela se traduit effectivement par des bénéfices financiers tangibles.

Parallèlement, l'efficacité énergétique présente des avantages environnementaux considérables. Une amélioration du rendement énergétique entraîne forcément une diminution proportionnelle des émissions de gaz à effet de serre, et la réduction de la demande des ressources dites non renouvelables, tel que les combustibles fossiles. Cette approche favorise ainsi la préservation de l'environnement et contribue à l'amortissement des effets du changement climatique.

Par conséquent, la mise en œuvre de stratégies d'efficacité énergétique s'inscrit donc directement dans le cadre des objectifs du développement Durable. Elle implique l'utilisation d'outils tels que le bilan carbone, qui permet l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre d'une activité ou d'un projet, les règles d'écoconception qui favorisent une conception respectueuse de l'environnement tout au long de son cycle de vie, ainsi que les principes de la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) [4], qui guident les acteurs du secteur vers une démarche plus durable.

Investir dans l'efficacité énergétique offre donc une double opportunité, d'une part, cela peut conduire à des économies financières considérables à long terme grâce à une utilisation plus efficace des ressources énergétiques. D'autre part, cette démarche contribue à la protection de l'environnement en réduisant les émissions de gaz polluants et en limitant l'exploitation des ressources épuisables. En adoptant une approche proactive de l'efficacité énergétique, les entreprises et les particuliers peuvent apporter une contribution significative à la construction d'un avenir plus durable, à la fois sur le plan économique et environnemental.

### **I.4.3 Principe de l'efficacité énergétique dans les bâtiments :**

Dans le secteur du bâtiment l'efficacité énergétique se concentre sur l'optimisation de la consommation d'énergie dans divers types de structures, les résidences, les bâtiments commerciaux, les bâtiments industriels, les écoles, les administrations publiques, et autres, cela comprend la mise en œuvre de mesures judicieuses telles qu'une bonne isolation, l'utilisation de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation économes en énergie, un éclairage efficace, une gestion intelligente de l'énergie, ainsi qu'une enveloppe bénéfique du point de vue de l'efficacité énergétique, de ce fait, il en résulte une amélioration du confort des occupants et la réduction des émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation énergétique elle-même.

### **I.5 les initiatives Algériennes visant à promouvoir l'efficacité énergétique et l'utilisation rationnelle de l'énergie :**

En juin 1992, l'Algérie a signé la convention des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et l'a ratifié en juin 1993 [5]. Depuis la ratification de la CCNUCC en juin 1993, les pays signataires de la convention se réunissent régulièrement lors de la conférence des parties (COP), la première ayant eu lieu en 1995 à Berlin, réunissant les pays adhérents à la CCNUCC pour discuter de la mise en œuvre de l'accord sur le climat et de prendre des mesures pour lutter contre le changement climatique, élaborer et mettre en œuvre des politiques nationales visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre [6].

En 2020, l'Algérie a mis en place le plan national climat (PNC) pour la période 2020-2030, dans le but de lutter contre le changement climatique. Ce plan représente la vitrine internationale du pays en matière de protection du climat. L'Algérie s'engage à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 22% en cas de financement international et de transfert de technologie, et de 7% de manière volontaire. Le gouvernement a inclus dans sa politique

environnementale l'élaboration de stratégies et mesures concrètes, en particulier pour les questions environnementales globales telles que les changements climatiques, la protection de la biodiversité et de la couche d'ozone. Dans la même optique, le gouvernement a créé le commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (CEREFÉ), ce comité a pour mission d'assurer la coordination entre les différents secteurs impliqués dans le développement des énergies renouvelables en Algérie [7].

Pour promouvoir l'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments, de nombreuses politiques et réglementations ont été mises en place à l'échelle nationale, et cela inclut l'établissement de normes de performance énergétique, l'octroi de certifications de bâtiments durables, l'offre d'incitations financières pour encourager les rénovations énergétiques et l'éducation du public sur les avantages de l'efficacité énergétique.

La loi algérienne sur la maîtrise de l'énergie, en tant que loi cadre, se distingue surtout par l'énoncé du principe d'introduction de réglementations spécifiques qui établiront des exigences et des normes nationales d'efficacité énergétique appliquées aux bâtiments neufs et aux appareils. Les dispositions relatives aux normes d'efficacité énergétique visent à garantir un développement structurel de la maîtrise de l'énergie, grâce notamment à la promotion de techniques et technologies efficaces. Cette loi relative à la maîtrise de l'énergie repose principalement sur le programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) [8].

### **I.6 Le confort thermique :**

Le confort thermique est un aspect important de la qualité de l'environnement intérieur d'un bâtiment, qui a un impact sur la santé et le bien-être des occupants. Il se réfère à la sensation de confort thermique ressentie par les personnes dans un espace particulier par rapport aux conditions thermiques environnantes. Le confort thermique peut être défini comme un état où les occupants ne se sentent ni trop chauds ni trop froids, mais plutôt dans une plage de température qui leur est agréable [9].

Le confort thermique est influencé par plusieurs facteurs, notamment, la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air, le rayonnement thermique et les activités métaboliques des occupants. Il existe différentes normes et modèles visant à identifier les conditions optimales de confort thermique pour différents types de bâtiments et situations, la norme ASHRAE 55, propose des critères pour évaluer le confort thermique dans les environnements de travail, la norme ISO 7730 [10], fournit des directives pour évaluer le confort thermique

dans divers types de bâtiments, et la norme EN 15251 qui est spécifique aux bâtiments non industriels où les critères d'ambiance intérieure sont principalement basés sur la présence et les activités humaines, sans être significativement affectés par des processus de production ou des procédés spécifiques.

L'adaptabilité est également un aspect important du confort thermique. Selon une étude [10], les occupants ont la capacité de s'adapter à des conditions thermiques variées et de trouver leur propre zone de confort dans une certaine mesure. Cela signifie que les préférences thermiques peuvent varier d'une personne à l'autre en fonction de facteurs individuels tels que l'âge, le sexe, l'activité physique, les vêtements et l'acclimatation.

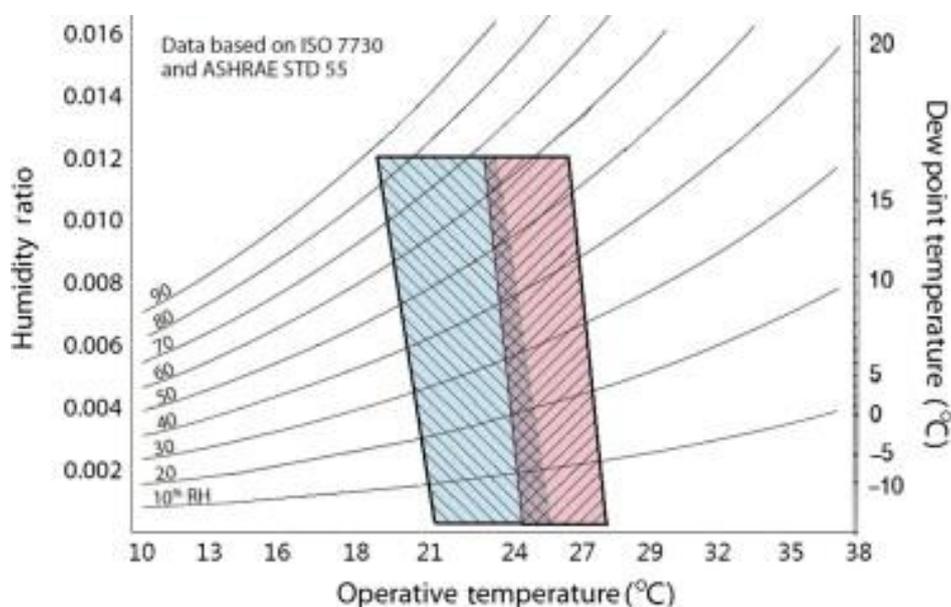


Figure I. 5 : Plage acceptable de température et d'humidité opératoire pour les zones de confort thermique

### I.6.1 Les paramètres influant le confort thermique :

#### I.6.1.1 Température de l'air ambiant :

La température de l'air ambiant joue un rôle central dans la perception du confort thermique. Maintenir la bonne température est essentiel pour assurer le bien-être des occupants. Une température trop élevée peut entraîner une sensation d'étouffement et de fatigue, tandis qu'une température trop basse peut causer des frissons et un inconfort général. Par conséquent, il est important de maintenir des niveaux de température appropriés en fonction des besoins uniques de chaque espace et de ses occupants.

### **I.6.1.2 Humidité relative de l'air :**

L'humidité relative est un autre facteur important affectant le confort thermique. Celle-ci fait référence à la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, exprimée en pourcentage (%HR). Selon Fanger, l'humidité de l'air est un facteur important pour le confort thermique. Cependant, dans les bâtiments réels, les variations d'humidité ne sont pas aussi significatives que les changements de température, et les personnes ne sont pas très sensibles aux variations d'humidité dans une plage donnée (40 %-70 %) [11].

Une humidité relative élevée peut provoquer une gêne collante, et une humidité relative faible peut provoquer une sécheresse désagréable et une irritation de la peau et des voies respiratoires. Le maintien d'un équilibre hygrométrique optimal est donc essentiel pour un environnement intérieur confortable.

### **I.6.1.3 Distribution de la chaleur :**

La répartition de la chaleur dans un espace est un facteur clé du confort thermique. Une répartition inégale de la chaleur peut entraîner des fluctuations de température notables d'un endroit à l'autre, créant des zones de chaleur inconfortables. Par conséquent, une répartition uniforme de la chaleur est essentielle pour éviter les déséquilibres et assurer un confort thermique optimal dans tout l'espace.

### **I.6.1.4 Circulation de l'air :**

Une bonne circulation de l'air est cruciale pour garantir un confort thermique adéquat. Une ventilation adéquate favorise l'échange d'air frais, élimine les polluants et contribue à maintenir une température uniforme dans l'espace. Une circulation d'air insuffisante peut entraîner une accumulation de chaleur, des zones stagnantes et une qualité de l'air médiocre, ce qui peut compromettre le confort thermique des occupants. Il est donc important de concevoir et de gérer efficacement les systèmes de ventilation pour maintenir des conditions de confort thermique optimales.

### **I.6.1.5 L'activité humaine :**

Les activités exercées par des tierces personnes dans un bâtiment peuvent avoir un impact sur leur confort thermique. Les activités physiques intenses peuvent générer de la chaleur corporelle, ce qui peut nécessiter des mesures de refroidissement supplémentaires pour maintenir un confort optimal. D'autre part, les activités plus sédentaires peuvent entraîner une

sensation de froid, nécessitant une fourniture de chaleur adéquate. Ainsi, le niveau d'activité humaine doit être pris en compte lors de l'évaluation du confort thermique.

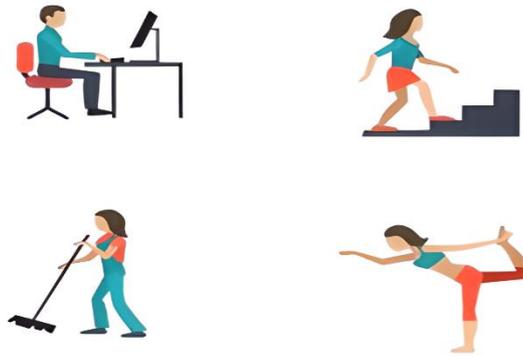


Figure I. 6 : Activité humaine

### **I.6.1.6 la vêtture :**

Les vêtements jouent un rôle essentiel dans le maintien du confort thermique des individus. Ceux-ci agissent comme une barrière qui crée un microclimat entre le corps et l'environnement, en régulant les échanges de chaleur. En hiver et dans des environnements froids, les vêtements agissent comme un isolant thermique, offrant une protection contre le froid. L'isolation moyenne des vêtements est exprimée en Clo. La composition des tissus, la coupe des vêtements et l'activité physique de la personne ont également un impact sur les échanges thermiques avec l'environnement. Ainsi, le choix judicieux des vêtements adaptés aux conditions est crucial pour maintenir un confort thermique optimal tout au long de l'année.

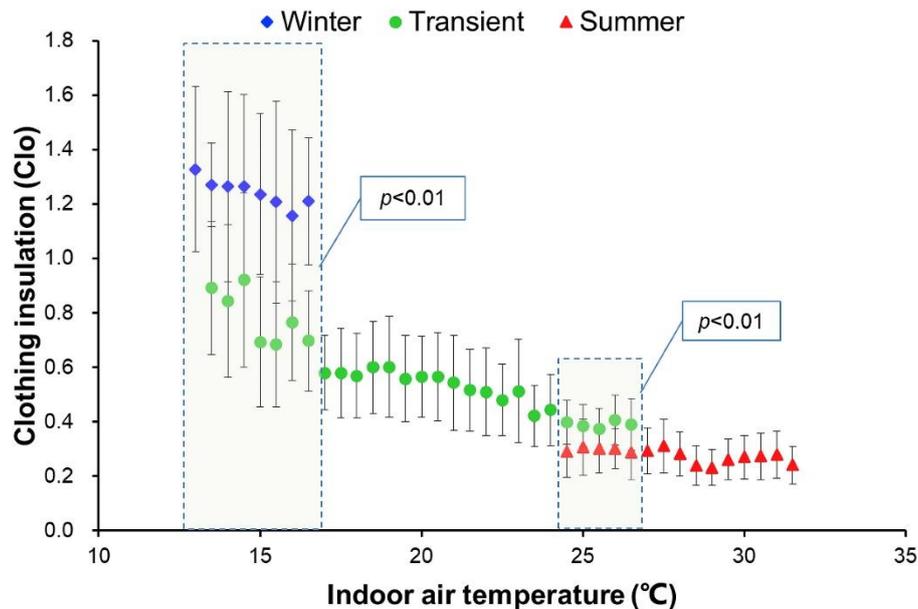


Figure I. 7 : Relation entre l'isolation des vêtements (moyenne  $\pm$  SD) et la température de l'air intérieur

## I.7 L'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique fait référence à une méthode de construction alternative qui tient compte des conditions climatiques locales et intègre des technologies solaires passives pour améliorer l'efficacité énergétique, les technologies solaires passives font référence à des méthodes de chauffage ou de refroidissement qui exploitent de manière passive l'énergie du soleil, sans nécessiter l'utilisation de mécanismes ou d'appareils. Les structures bioclimatiques sont conçues pour limiter les pertes de chaleur et maximiser les apports solaires pendant les mois d'hiver. Et en saison estivale, les structures bioclimatiques sont conçues avec des mesures de protection solaire afin de minimiser l'apport de chaleur, elles intègrent également différentes techniques de refroidissement, souvent en tirant parti de sources d'énergie renouvelables. De plus, ces structures sont construites en utilisant des matériaux de construction disponibles localement, ce qui favorise une approche durable et écologique [12].

### I.7.1 Les bases de l'architecture bioclimatique :

Les bases de l'architecture bioclimatique s'appuient sur une variété de méthodes et de techniques de conception de bâtiments qui exploitent le meilleur parti des conditions climatiques locales, afin d'assurer une efficacité énergétique maximale et un confort thermique optimal. Ces stratégies reposent sur une compréhension approfondie du climat, du site

d'implantation et des caractéristiques du bâtiment, afin de réduire la dépendance aux systèmes mécaniques de chauffage, de refroidissement et d'éclairage.

Ces stratégies de conception bioclimatique sont basées sur Les travaux de chercheurs pionniers tels que Victor Olgyay, qui a été le premier chercheur de premier plan a étudié la relation entre l'architecture et l'énergie pour développer une carte bioclimatique pour la conception de bâtiments sensibles au climat [13]. Ces stratégies sont aujourd'hui soutenues par des avancées technologiques telles que les logiciels de modélisation du climat et de simulation énergétique, qui permettent une conception plus précise et une évaluation préalable des performances énergétiques et thermiques des bâtiments.

### **I.7.1.1 Site d'implantation :**

Il est essentiel avant de commencer les travaux de construction, de faire une analyse du site en question, cette étape préliminaire revêt une importance capitale dans la conception bioclimatique, car elle permet de prendre en compte les caractéristiques environnementales spécifiques du lieu afin d'optimiser les performances énergétiques et le confort des occupants.

Lors de l'analyse du site, plusieurs facteurs sont à étudiés de manière détaillée, tout d'abord, la situation géographique (latitude et longitude), peut avoir un impact significatif sur l'angle d'incidence du soleil et la quantité d'énergie solaire disponible, par exemple, dans les régions proches de l'équateur, où le soleil est plus direct [14], il nécessaire de prévoir des dispositifs d'ombrage plus importants pour éviter une surchauffe excessive, en identifiant les zones les plus ensoleillées et celles qui bénéficient d'un ombrage naturel, cela permet de positionner judicieusement les différentes parties du bâtiment, notamment les ouvertures, afin de tirer parti de l'éclairage naturel et de l'énergie solaire. La topographie du terrain est également un aspect important à prendre en compte, la présence de collines, de vallées, d'arbres ou même d'autres bâtiments situés à proximité peut influencer l'ensoleillement, les vents dominants et les possibilités d'ombrage naturel, l'analyse du site comprend également l'étude des ressources naturelles disponibles, cela permet d'identifier les matériaux présents dans la région, qu'on va utiliser dans la partie construction. L'éventuel présence de végétation environnante est également prise en considération, tels que les arbres et les plantes qui peuvent servir de brise-vent naturel, d'écrans solaires ou de sources de rafraîchissement par évapotranspiration, ils contribuent à créer un microclimat plus agréable et à réduire les besoins en climatisation.



Figure I. 8 : Méthodologie d'implantation d'un bâtiment

### I.7.1.2 Orientation :

L'orientation est l'un des aspects les plus fondamentaux et généralement le plus facile à prendre en compte dans la conception bioclimatique. Cette dernière fait référence à la manière dont le bâtiment est positionné par rapport aux points cardinaux, en particulier par rapport au soleil. L'orientation d'un bâtiment dans l'architecture bioclimatique vise à tirer parti des conditions climatiques locales pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort thermique des occupants. Dans les climats moins favorables, une orientation appropriée est un moyen très efficace de réduire la consommation d'énergie, et si elle est planifiée aux premiers stades de la conception, elle peut être simple à réaliser. De plus, une orientation appropriée peut créer des possibilités d'économies supplémentaires grâce à des techniques solaires passives plus sophistiquées [15].

Généralement, les façades orientées vers le sud dans l'hémisphère nord et celles orientées vers le nord dans l'hémisphère sud sont frappées par une plus grande altitude du soleil pendant l'été et une plus faible altitude du soleil pendant l'hiver. Les façades orientées nord-sud reçoivent deux fois plus de lumière solaire pendant l'hiver, tandis que celles orientées est-ouest reçoivent au moins quatre fois la valeur d'insolation pendant l'été [16].

Un outil de simulation solaire appelé "Heliodon" était traditionnellement utilisé pour déterminer l'orientation appropriée. De nos jours, des logiciels de projection du parcours du soleil sont utilisés pour examiner les variations saisonnières et l'altitude du soleil. L'orientation appropriée, qui tient compte de l'énergie totale gagnée par rayonnement solaire sur différentes formes, peut être calculée à l'aide d'une équation suivante [16] :

$$E = A \times \int_{w1}^{w2} (0,834 \times M) \times \left( \frac{\cos i}{\cos Qz} \right) dw$$

Où,  $A$  est la surface,  $M$  est la radiation globale quotidienne moyenne mensuelle sur une surface horizontale,  $i$  est l'angle d'incidence,  $w_1$  et  $w_2$  sont les angles horaires au lever et au coucher du soleil, et  $QZ$  est l'angle zénithal qui est la ligne entre l'observateur et le soleil.

Il est évident que l'absorption solaire utile requise par le fonctionnement solaire passif est une fonction dynamique complexe de l'orientation, de la géométrie du bâtiment, du rapport de vitrage, du trajet du flux de chaleur, des mécanismes de transfert de chaleur entre zones et de la capacité d'un matériau ou d'un système à stocker et à libérer de la chaleur [17].

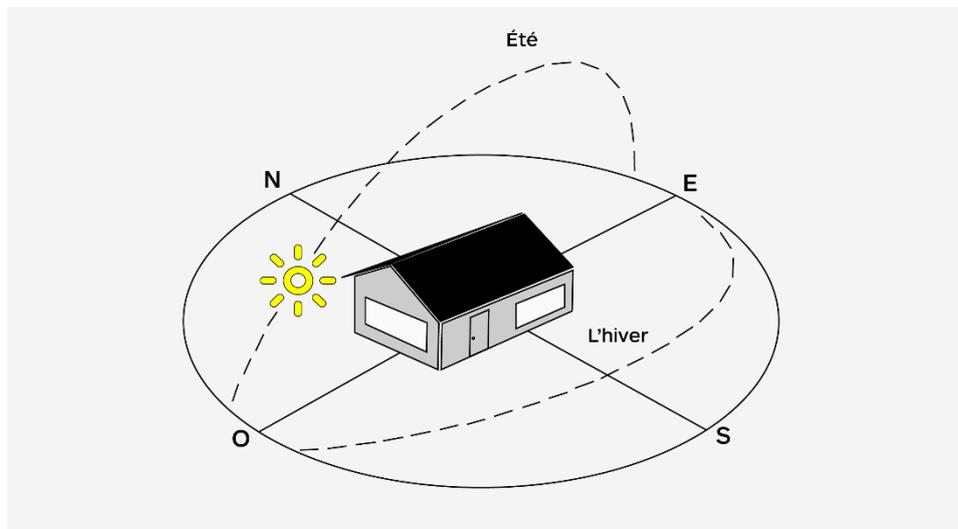


Figure I. 9 : Orientation d'un bâtiment

### I.7.1.3 La forme et la compacité :

La forme et la compacité d'un bâtiment jouent un rôle crucial dans l'efficacité énergétique de celui-ci, comme indiqué dans cette source [18]. L'optimisation de la forme et de la compacité peut contribuer à réduire les pertes d'énergie et à améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Dans cette perspective, il est crucial de comprendre comment la forme, mesurée par le coefficient de forme ( $C_f$ ), et la compacité influencent la performance énergétique d'un bâtiment.

Une étude a été menée pour examiner la relation entre la forme des bâtiments, mesurée par le coefficient de forme ( $C_f$ ) [19], et leur consommation d'énergie. Le coefficient de forme ( $C_f$ ) est défini comme le rapport entre la surface de l'enveloppe du bâtiment et le volume habitable. Il indique le degré d'exposition du bâtiment aux conditions climatiques ambiantes, en mesurant

la proportion de la surface de déperditions thermiques par rapport au volume intérieur du bâtiment, ( $C_f = S/V_h$ ).

Les résultats de l'étude ont révélé des variations significatives en fonction du type de climat. Dans les climats froids, caractérisés par des degrés-jours importants et un ensoleillement moyen, le coefficient de forme ( $C_f$ ) s'est avéré être une bonne représentation de la consommation d'énergie, avec une relation proportionnelle entre le coefficient de forme et la performance énergétique. Ainsi, dans la conception de bâtiments économes en énergie, il est préférable de rechercher une compacité accrue, correspondant à un coefficient de forme plus élevé. En revanche, dans les climats doux, avec des degrés-jours faibles et un ensoleillement important, le coefficient de forme ( $C_f$ ) n'est plus représentatif et la compacité ne peut plus être préconisée comme un critère déterminant.

Il convient de noter que le coefficient de forme ( $C_f$ ) présente certaines limitations. Il ne prend pas en compte la répartition et la surface des vitrages, et néglige également l'orientation du bâtiment. Ainsi, il est important de considérer d'autres paramètres plus élaborés qui intègrent les variations climatiques, l'orientation, la répartition de la surface des vitrages et la géométrie du bâtiment.

L'analyse mentionnée dans la source [20], met en évidence l'influence conjointe de la forme et de la compacité relative sur l'efficacité énergétique. Il a été constaté que pour les bâtiments ayant de faibles rapports fenêtre-mur (WWRs, la consommation d'énergie totale est inversement proportionnelle à la compacité relative, indépendamment de la forme du bâtiment. En outre, une meilleure compacité relative entraîne une réduction de la consommation d'énergie, quel que soit le design spécifique du bâtiment.

De plus, la corrélation entre la consommation d'énergie totale et les trois paramètres RC, WWRs et coefficient de gain de chaleur solaire (SHGC) a été établie grâce à une analyse de régression. Cette corrélation permet aux architectes d'utiliser cette équation spécifique [20] :

$$E_t = E_{ref} * \{A + B*(WWR*SHGC*1/RC)**2 + C*(WWR*SHGC*1/RC) + D*1/RC\}$$

Avec,  $E_{ref}$  représente la consommation d'énergie totale du bâtiment pour un bâtiment carré (bâtiment de référence) ayant la même surface au sol et le même volume que le bâtiment réel.

Et, A, B, C et D sont des coefficients de régression avec  $A = -0,4525$  ;  $B = -0,223$  ;  $C = 1,755$  ; et  $D = 0,848$ .

Afin d'estimer l'impact de la forme sur l'efficacité énergétique des bâtiments de bureaux à une phase préliminaire de conception.

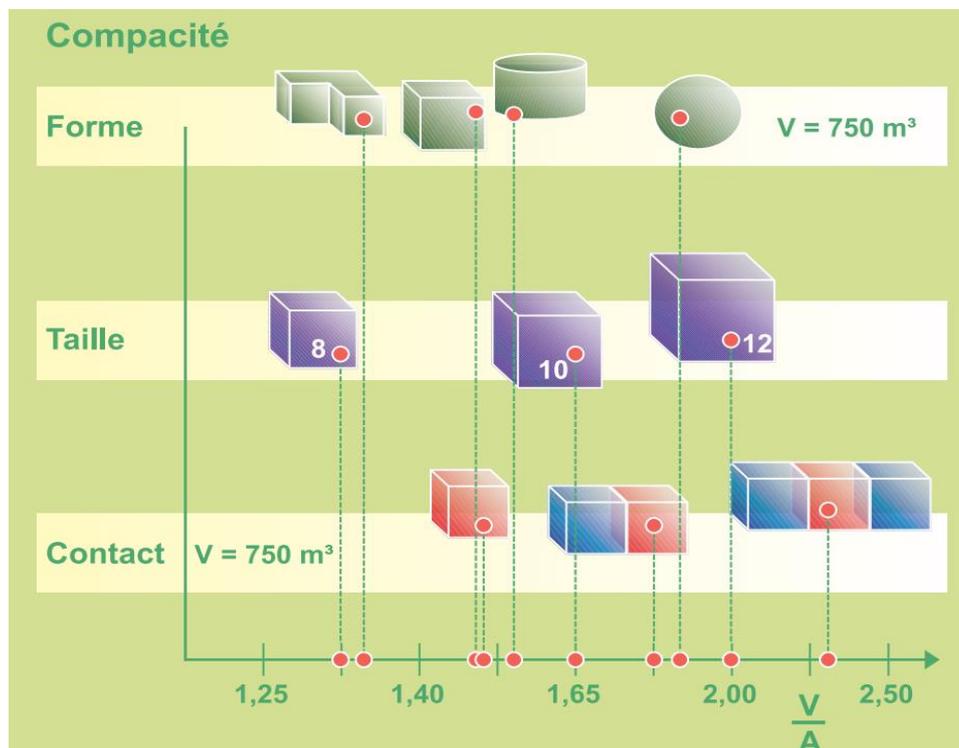


Figure I. 10 : Effet de la forme, de la taille et de la proximité d'autres volumes sur la compacité de formes simples

## I.7.1.4 Aménagement paysager :

L'intégration judicieuse de la végétation environnante peut offrir de nombreux avantages en termes de confort thermique, de réduction des gains de chaleur et de promotion de l'efficacité énergétique. La végétation peut servir de pare-soleil naturel en fournissant de l'ombre aux façades exposées au soleil, les arbres, les arbustes et les plantes grimpantes peuvent être positionnés de manière stratégique pour bloquer les rayons solaires directs pendant les heures les plus chaudes de la journée, réduisant ainsi les besoins de refroidissement du bâtiment, ce qui favorisera la ventilation naturelle et le rafraîchissement passif. En plus de l'ombre, la végétation contribue également à la création de microclimats plus frais autour du bâtiment grâce à l'évapotranspiration et à la réduction de la réflexion de la chaleur par le sol. La végétation peut favoriser la ventilation naturelle et la circulation de l'air autour du bâtiment, il est généralement recommandé d'avoir une bande d'au moins 3m de végétation autour du bâtiment [21].

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET ÉTAT DE L'ART

Dans le cas de l'Algérie, la végétation des abords revêt une importance cruciale en raison du climat spécifique du pays, en effet, l'Algérie dispose d'un climat chaud et sec, avec des étés longs et torrides, ce qui pose des défis particuliers en termes de régulation thermique. Les températures élevées peuvent rendre l'intérieur des maisons inconfortable, pendant les étés torrides. Dans ce contexte climatique, la présence d'une végétation adaptée autour des bâtiments est essentielle.

Outre les aspects liés au confort, la végétation des abords est également importante pour la préservation de la biodiversité locale et contribue à maintenir l'équilibre écologique.



Figure I. 11: Aménagement paysager

### **I.7.1.5 La disposition intérieur :**

L'autre aspect de l'approche passive est la disposition intérieure, celle-ci consiste à organiser les espaces de manière à maximiser les avantages de l'ensoleillement et de l'éclairage naturel. Cela implique de placer les pièces les plus utilisées, comme les espaces de vie et de travail, de manière à bénéficier d'une luminosité naturelle optimale et d'une vue agréable. Une autre considération importante à prendre en compte est la création de zones thermiques distinctes à

l'intérieur du bâtiment. Cela signifie regrouper les espaces de repos du côté le plus frais du bâtiment, ça peut être le côté ombragé ou exposé à des vents rafraîchissants, ces zones bénéficient naturellement d'une température plus fraîche, ce qui crée un environnement confortable pour le repos et la relaxation, sans nécessiter une climatisation excessive. Tandis que les espaces de travail peuvent être situés du côté ensoleillé, en profitant de la chaleur naturelle du soleil, ces zones peuvent bénéficier d'une source de chaleur gratuite pendant les périodes les plus fraîches de l'année, cela réduit la nécessité d'un chauffage artificiel et contribue à économiser de l'énergie. Cette approche permet de maximiser le confort thermique dans chaque zone tout en réduisant les besoins en chauffage ou en climatisation.

Il convient de noter que cette approche nécessite une analyse approfondie des conditions climatiques locales et une compréhension des besoins spécifiques de chaque zone.

### **I.7.1.6 Dispositifs de contrôle des apports solaires :**

Les dispositifs de contrôle solaire regroupent tous éléments qui ont pour fonction d'empêcher totalement ou partiellement la pénétration du rayonnement solaire à travers les ouvertures ou les parois d'un bâtiment. Bien que, les apports solaires constituent une source de lumière naturelle gratuite et de chaleur bénéfique pendant les mois d'hiver, néanmoins cela peut poser des contraintes particulières pendant les périodes les plus chaudes de l'année. En effet, les étés en Algérie sont réputés pour être relativement très chaud, ce qui peut entraîner une surchauffe excessive à l'intérieur des bâtiments et rendre les conditions de vie inconfortables.

La gestion efficace des apports solaires devient donc essentielle pour maintenir des températures intérieures agréables. En raison du climat chaud de l'Algérie, il est crucial de mettre en place des stratégies de protections solaires appropriées. En minimisant l'entrée des rayons solaires directs et en réduisant la transmission de chaleur à travers les fenêtres et les parois, on peut prévenir la surchauffe des espaces intérieurs tout en réduisant la dépendance à la climatisation, de plus ces dispositifs peuvent être intégrés directement à l'enveloppe du bâtiment offrant ainsi de nombreuses possibilités d'esthétiques architecturales variées.



Figure I. 13 : L'auvent



Figure I. 12: Flanc

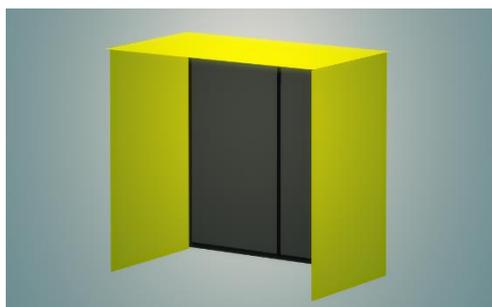


Figure I. 14 : Loggia

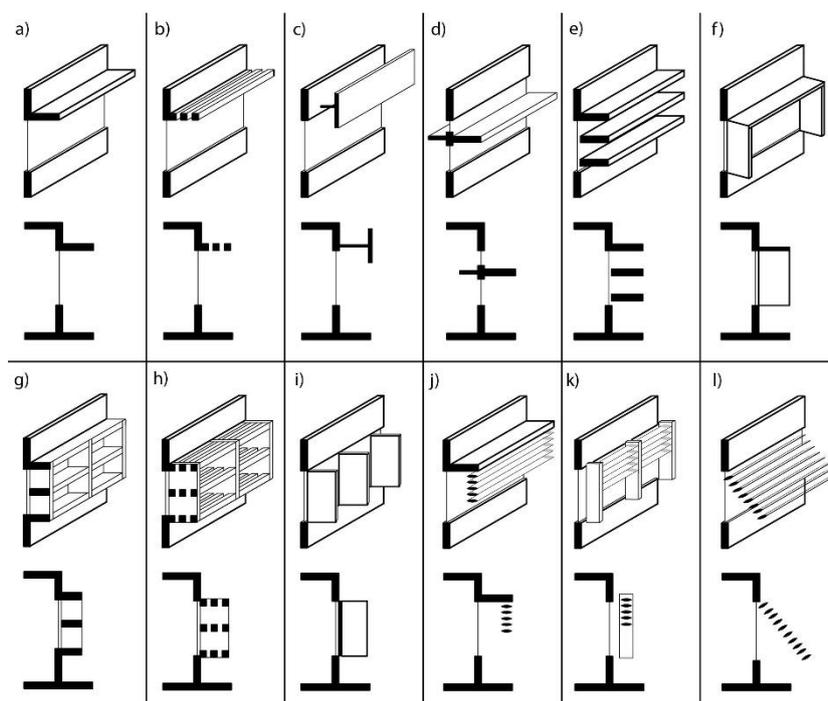


Figure I.1 : Coupes schématiques en vues 2D et 3D des dispositifs d'ombrages externes

### I.7.1.7 L'isolation :

L'isolation fait partie intégrante de la conception bioclimatique et joue un rôle important dans celle-ci, assurant l'efficacité énergétique et le confort thermique des bâtiments. Le but principal de l'isolation est de réduire les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur indésirables en été. Une isolation de qualité permet de limiter les transferts de chaleur à travers les parois du bâtiment, notamment les murs, les planchers et les toitures. Elle permet de créer une barrière thermique efficace, réduisant ainsi les déperditions énergétiques et le recours excessive aux systèmes de chauffage et de climatisation.

Différents matériaux d'isolation peuvent être utilisés, ceux-ci peuvent être principalement classés en trois types en fonction de leur origine, de leur substance chimique et de leur disponibilité. La figure ci-dessous montre leurs classifications [22] :

Matériaux d'isolation de bâtiments			
Conventionnels		À la pointe de la technologie	Durables
Matériau inorganique	Matériau Organiques		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Isolants fibreux</b></li> <li>laines minérale :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- laine de roche</li> <li>- laine de verre</li> <li>- laine de laitier</li> </ul> </li> <li>• <b>Matériaux cellulaires</b></li> <li>- Silicate de calcium</li> <li>- Mousse de verre</li> <li>- Perlite</li> <li>- vermiculite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Polystyrène</b></li> <li>- polystyrène expansé</li> <li>- polystyrène extrudé</li> <li>• <b>Mousse d'urée formaldéhyde</b></li> <li>• <b>Polyuréthane et polyisocyanurate</b></li> <li>• <b>Cellulose</b></li> <li>• <b>Liège</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mousse à cellules fermées</li> <li>• Aérogel</li> <li>• <b>Matériaux d'isolation transparents</b></li> <li>• <b>panneau isolant sous vide</b></li> <li>• <b>Matériaux isolants multicouche réfléchissants</b></li> <li>• <b>Matériaux d'isolation nano</b></li> <li>• <b>Matériaux d'isolation dynamique</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Matériaux isolants naturels à base de résidus agricoles et de résidus forestiers</b></li> <li>• <b>Matériaux isolants naturels à base de laine de mouton</b></li> <li>• <b>Matériaux d'isolation recyclés</b></li> </ul>

Figure I. 15 : Classification des matériaux d'isolation des bâtiments

Toutefois, le choix de l'isolant dépend de plusieurs facteurs, tels que les exigences spécifiques en termes d'isolation du bâtiment, l'emplacement géographique, on désigne par emplacement géographique les conditions climatiques spécifiques à la région ainsi que les matériaux présents dans cette même zone géographique, le choix dépend aussi de l'orientation, de la conception architecturale, et du dimensionnement des systèmes de chauffage et de climatisation.

Le choix de l'isolation peut affecter la consommation énergétique, les coûts de chauffage et de climatisation, la durabilité du bâtiment et le confort thermique des occupants, c'est pour cela qu'il est essentiel de choisir une isolation adéquate, qui répond aux exigences de performance et qui est compatible avec les autres éléments de la construction.

L'isolation doit être réalisée de manière continue et uniforme, car la discontinuité de l'isolant engendre des ponts thermiques, ces derniers peuvent entraîner des pertes d'énergie considérables. Une attention particulière doit être portée aux jonctions entre les différentes parties du bâtiment, aux fenêtres et aux portes, afin d'assurer une isolation efficace.

### **I.7.1.8 L'inertie thermique :**

L'inertie thermique fait référence à la capacité d'un matériau ou d'un système à absorber, stocker et restituer de la chaleur au fil du temps, celle-ci joue un rôle important dans la régulation des variations de température à l'intérieur d'un bâtiment. Il est dit dans cette article [23], qu'avec une stratégie de contrôle appropriée, l'inertie thermique dans un bâtiment peut en effet être efficace pour réduire les charges de pointe de chauffage ou de refroidissement.

L'inertie thermique agit comme une sorte de tampon thermique qui ralentit les changements de température à l'intérieur d'un bâtiment. Les matériaux massifs tels que le béton, ou la pierre ont une capacité calorifique élevée et une bonne inertie thermique. Ces matériaux absorbent la chaleur par temps chaud et la restituent lentement lorsque la température ambiante baisse. Ainsi, ils aident à maintenir une température intérieure plus stable et confortable. Di Perna et al concluent que l'utilisation d'un mur massif dans un bâtiment scolaire à Loreto, en Italie, peut réduire le nombre d'heures de surchauffe de 6 % par rapport à une plus structure plus légère [23].

Cependant, d'autres études ont révélé des observations intéressantes. Malgré une masse thermique élevée, un bâtiment scolaire nouvellement construit courait un plus grand risque de surchauffe, Orosa et Olivaire [23], ont mené une campagne de mesures dans deux écoles espagnoles, et ont conclu à une bonne correspondance avec les simulations thermiques dynamiques. Cette constatation souligne l'importance de considérer d'autres facteurs impactant le comportement thermique, tels que les gains de chaleur internes et solaires, en plus de la masse thermique du bâtiment.

En intégrant ces différents éléments, il devient évident qu'une approche holistique est essentielle lors de la conception d'un bâtiment, en vue d'optimiser son efficacité énergétique et d'améliorer le confort des occupants. Ainsi, bien que l'utilisation de matériaux présentant une forte inertie thermique puisse contribuer à atténuer les fluctuations de température, il est crucial de prendre en compte d'autres paramètres tels que les gains de chaleur internes et solaires. En équilibrant judicieusement ces éléments, il est possible de créer des bâtiments à la fois économes en énergie et offrant un environnement intérieur confortable.

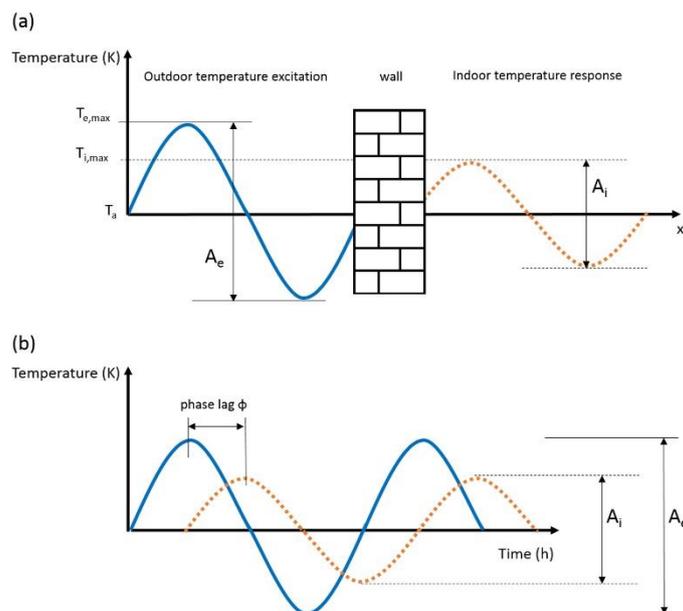


Figure I. 16 : Réponse thermique sur une onde de chaleur sinusoïdale se propageant à travers une paroi

### I.7.1.9 Vitrage et propriété thermique :

En raison de ses propriétés thermiques, et en tant que composant clé des fenêtres et des baies vitrées, le choix du type de vitrage peut avoir un impact significatif sur la performance énergétique d'un bâtiment. En effet, le vitrage influence directement le transfert de chaleur et de lumière à travers les surfaces vitrées. Parmi les options de vitrage, la plus courante est le simple vitrage, il est constitué d'une seule couche de verre sans aucune isolation supplémentaire. Bien qu'il soit facile à fabriquer et à installer, le vitrage simple offre une isolation thermique limitée, et permet aux transferts de chaleur de se produire plus facilement, ce qui peut entraîner des pertes de chaleur importantes en hiver et des gains de chaleur excessifs en été. L'autre option c'est le double vitrage, celui-ci est composé de deux vitres séparées par une fine couche d'air ou de gaz, formant ainsi une structure à deux couches, cette configuration permet de réduire les transferts de chaleur à travers le vitrage, offrant une meilleure isolation thermique par rapport au vitrage simple. Le triple vitrage est une option qui existe également dans le marché, et comme son nom l'indique, le triple vitrage est constitué de trois couches de verre séparées par deux couches d'air ou de gaz. Cette configuration contient une couche supplémentaire d'isolation thermique par rapport au double vitrage.



Figure I. 17 : Fenêtre a simple vitrage



Figure I. 18 : Fenêtre à double vitrage



Figure I. 19 : Fenêtre à triple vitrage

L'une des propriétés thermiques importantes du vitrage est son coefficient de transmission thermique  $U_g$ , Le  $U_g$  mesure la quantité de chaleur qui est transférée à travers le vitrage. Plus

le Ug est faible, meilleure est l'isolation thermique du vitrage, car cela signifie que moins de chaleur s'échappe du bâtiment en hiver et moins de chaleur pénètre à l'intérieur en été. Un autre facteur clé est le coefficient d'apport par rayonnement solaire, Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). Le SHGC représente la quantité d'énergie solaire qui pénètre à travers un vitrage. Un SHGC élevé permet au vitrage de laisser passer plus de chaleur solaire, ce qui peut être bénéfique en hiver pour le chauffage passif. Cependant, en été, un SHGC élevé peut entraîner une surchauffe du bâtiment et augmenter la demande de refroidissement. Il est donc important de choisir un vitrage avec un SHGC adapté aux besoins climatiques locaux et aux caractéristiques du bâtiment. Dans le contexte climatique Algérien un SHGC relativement faible est recommandé, vu les étés très chauds dans le pays.

### **I.7.1.10 Ventilation naturelle :**

La ventilation naturelle est une stratégie utilisée dans la conception des bâtiments pour assurer un renouvellement d'air adéquat en utilisant les forces naturelles telles que les vents et les courants d'air. Elle joue un rôle crucial dans le maintien d'un environnement intérieur sain et confortable. La ventilation naturelle permet de réduire la dépendance aux systèmes mécaniques de ventilation, ce qui peut entraîner des économies d'énergie significatives. Elle favorise également la circulation de l'air, évacue l'humidité excessive, les odeurs et les polluants intérieurs, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air intérieur. Pour tirer pleinement parti de la ventilation naturelle, il est important de prendre en compte les caractéristiques du site, telles que la direction et la force des vents dominants, ainsi que l'orientation et la disposition des ouvertures dans le bâtiment. Des éléments tels que les fenêtres, les lanterneaux, les puits de lumière et les atriums peuvent être utilisés pour faciliter le mouvement de l'air et optimiser la ventilation naturelle.

#### **I.7.1.10.1 La ventilation naturelle traversante :**

Cette stratégie vise à créer des ouvertures sur les façades opposées du bâtiment afin de permettre un flux d'air continu à travers l'espace intérieur. Les fenêtres, les portes et d'autres ouvertures spécialement conçues sont utilisées pour faciliter la circulation de l'air, favorisant ainsi l'évacuation des polluants et l'apport d'air frais. Cette méthode est particulièrement efficace lorsque les vents dominants sont alignés avec les ouvertures, permettant ainsi une ventilation croisée optimale.

### **I.7.1.10.2 La ventilation naturelle de simple exposition :**

Dans cette approche, les ouvertures sont principalement placées sur une seule façade du bâtiment, permettant à l'air frais de pénétrer dans l'espace intérieur. Les courants d'air extérieurs sont exploités pour assurer la ventilation, tandis que les ouvertures sur les autres façades sont réduites pour éviter les perturbations indésirables du flux d'air. Cette méthode est souvent utilisée dans les bâtiments étroits ou dans des situations où une exposition unidirectionnelle est plus favorable.

### **I.7.1.10.3 La ventilation naturelle par tirage thermique :**

Cette stratégie tire parti des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment pour générer un mouvement naturel de l'air. Des ouvertures situées en hauteur, telles que des lanterneaux ou des puits de lumière, permettent à l'air chaud de s'échapper naturellement, créant ainsi une aspiration qui favorise l'entrée d'air frais par des ouvertures situées en bas. Ce phénomène, connu sous le nom de tirage thermique, est principalement utilisé pour la ventilation dans les espaces à double hauteur ou dans les bâtiments à plusieurs étages.

## **I.8 Système photovoltaïque dans le bâtiment :**

L'efficacité énergétique des bâtiments peut être grandement améliorée grâce à l'utilisation de panneaux solaires, ces derniers utilisent l'effet photoélectrique pour convertir la lumière du soleil en électricité. Chaque panneau solaire est composé de plusieurs cellules photovoltaïques qui sont généralement faites de semi-conducteurs, tels que le silicium, ces cellules sont connectées en série pour former des modules solaires. Etant extrêmement fragiles à cause de leur faible épaisseur, les cellules sont encapsulées entre un verre très résistant (~5 mm) en face avant et un revêtement en polymère appelé aussi "Tedlar" en face arrière, le vitrage est prévu pour résister, sauf cas particuliers, à des conditions climatiques rudes comme le vent, la grêle, la neige, et la face arrière sert à maintenir l'étanchéité des cellules pour éviter leur oxydation, le tout est ensuite incorporer dans un cadre en aluminium pour augmenter la résistance, faciliter la manipulation et l'installation. Lorsque les photons de lumière solaire entent en contact avec les cellules, ils excitent les électrons présents dans le matériau, générant ainsi un courant électrique continu.

Une fois que les panneaux solaires génèrent de l'électricité, ils peuvent alimenter directement les appareils électriques du bâtiment, ou stocker l'énergie produite dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

Dans le cas spécifique des établissements scolaires, au cours de la deuxième quinzaine d'août 2018, l'ER2, une filiale du CDER, a réalisé l'électrification de l'établissement scolaire Chahid Gourri, situé dans la nouvelle ville de Annaba [24]. Cette initiative visait à améliorer l'éclairage de la cour extérieure ainsi que des 12 classes et couloirs de l'école.

Après une étude de dimensionnement, deux systèmes ont été préconisés. Le premier système consiste en un champ photovoltaïque de 3 kWc connecté au réseau électrique, permettant l'utilisation d'électricité solaire pour alimenter les 137 points lumineux de l'établissement. Les lampes LED basse consommation fournies et installées par l'ER2 ont été utilisées pour l'éclairage des classes, de la cour et des couloirs.

Le deuxième système est composé d'un champ photovoltaïque de 1,2 kWc avec un stockage batterie autonome de 450AH pendant 3 jours. Ce système alimente 4 projecteurs LED de 50 W fixés sur les murs entourant la cour extérieure.

Suite à cette installation, une simulation du fonctionnement de l'installation photovoltaïque a été réalisée sur une période d'un an. Les résultats de la simulation ont révélé une réduction significative de la consommation d'énergie électrique de l'établissement. L'ancienne consommation annuelle, qui utilisait des lampes à néon de 36 W et des projecteurs de 150 W, était de 7600 kWh/an, tandis que la nouvelle consommation annuelle, utilisant des lampes à LED de 9 W et des projecteurs de 50 W, est de 1900 kWh/an. Le rapport de réduction de la consommation d'énergie électrique est de 3,72, ce qui correspond à une réduction de 73,14%. La production annuelle photovoltaïque de l'installation est de 8090 kWh/an, ce qui représente un taux d'autosuffisance du système PV de 68,8%.

L'utilisation de panneaux solaires permet non seulement de réduire la consommation énergétique provenant du réseau électrique traditionnel, mais aussi de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles. En exploitant l'énergie solaire, l'école peut générer sa propre électricité de manière durable et contribuer à la préservation de l'environnement en réduisant son empreinte carbone.



Figure I. 20 : Des panneaux solaires pour une école primaire à TAZMALT (BÉJAÏA)

### **I.8.1 Types d'installations de système photovoltaïque :**

#### **I.8.1.1 Installation autonome :**

Une installation autonome, également appelée système hors réseau, est conçue pour fonctionner de manière indépendante, celle-ci est particulièrement populaire dans les bâtiments éloignés de l'alimentation électrique publique, car le raccordement au réseau est trop coûteux est difficile. Par conséquent, ces installations doivent être correctement dimensionnées pour répondre à tous les besoins en électricité du bâtiment. Ce type d'installations nécessitent des batteries de stockage d'énergie pour fournir de l'électricité pendant les périodes où l'éclairage solaire est indisponible, comme la nuit ou les jours nuageux.

En plus des batteries de stockage d'énergie, les systèmes hors réseau peuvent également inclure des régulateurs de charge, des onduleurs et des systèmes de surveillance pour optimiser la gestion de l'énergie solaire. Un système d'installation autonome doit être soigneusement planifié et conçu, en tenant compte des besoins énergétiques du projet, des conditions solaires locales et des exigences spécifiques de l'utilisateur. L'un des principaux avantages de ces systèmes est leur capacité à fournir une source d'électricité fiable et durable, réduisant ainsi la dépendance aux réseaux électriques traditionnels et les coûts associés. De plus, l'utilisation de l'énergie solaire contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui en fait une solution écologique pour alimenter en électricité des sites éloignés.

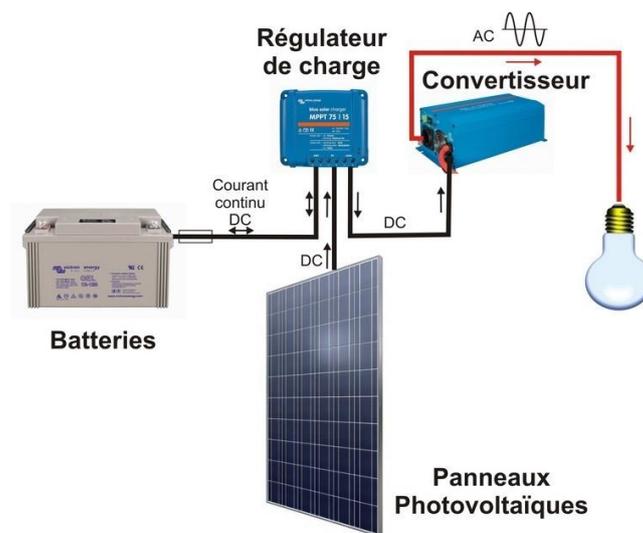


Figure I. 21 : Installation photovoltaïque autonome

### I.8.1.2 Installation raccordée au réseau :

Ce type de systèmes, également connue sous le nom de système connecté au réseau, est connectée au réseau électrique public. Dans ce type d'installation, l'électricité produite par les panneaux solaires est utilisée directement dans le bâtiment, et tout excédent est injecté dans le réseau électrique. Lorsque l'électricité produite par les panneaux solaires est insuffisante, l'énergie est automatiquement prélevée du réseau. Les installations raccordées au réseau ne nécessitent généralement pas de batteries de stockage, car le réseau sert de source de secours.

Dans le cas des établissements scolaires, la mise en place d'un système photovoltaïque raccordé au réseau offre plusieurs avantages. Premièrement, les écoles peuvent utiliser directement l'électricité produite par les panneaux solaires, ce qui réduit leur dépendance vis-à-vis du réseau électrique public et permet des économies sur les factures d'électricité, et pendant les heures de production énergétique excédentaire, les écoles peuvent injecter l'électricité supplémentaire dans le réseau public et potentiellement bénéficier de la vente d'électricité. Cette rentabilité pourra ensuite être réinjectée dans le développement des écoles en question. Enfin, l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable comme le solaire permet aux écoles de réduire leur empreinte carbone et promouvoir une conscience environnementale chez les élèves.

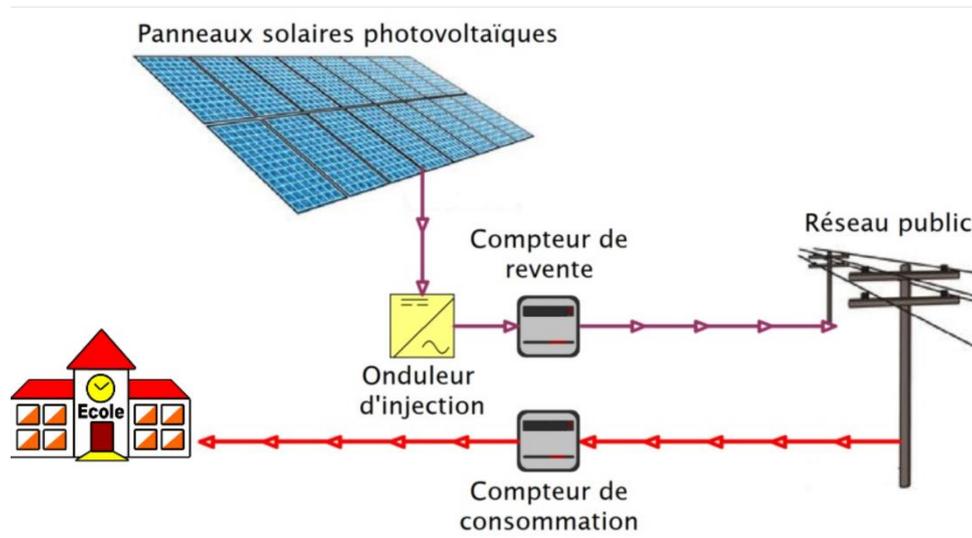


Figure I. 22 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau

### I.8.1.3 Installation hybride :

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène, système électrique et même parfois le réseau public d'électricité comme il est montré sur la figure :

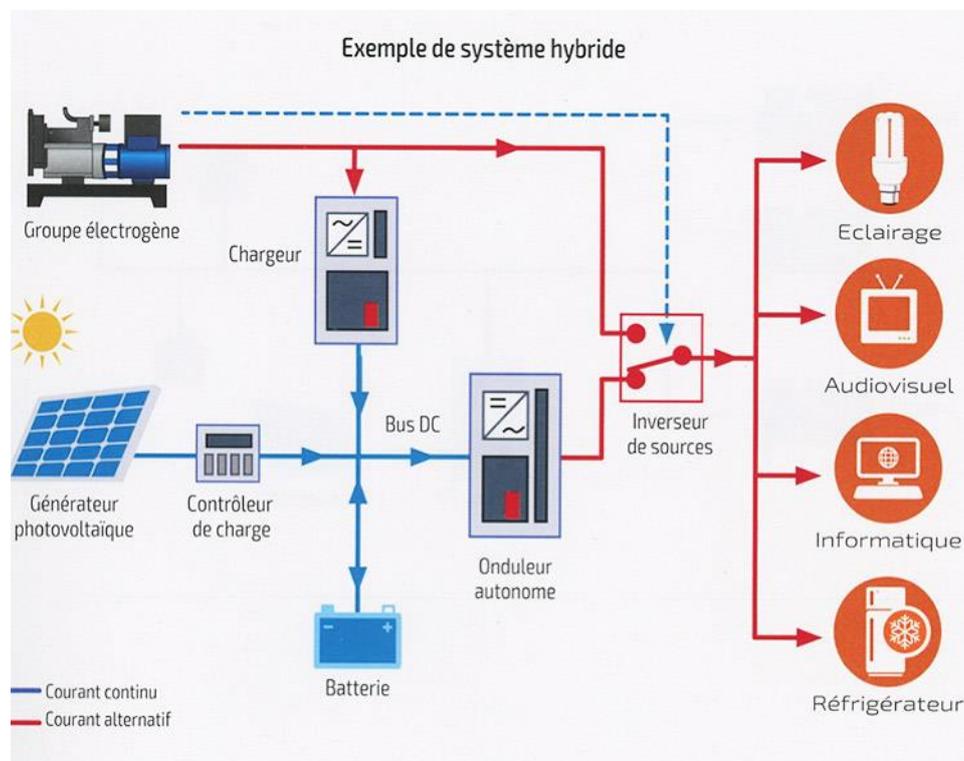


Figure I. 23 : Installation photovoltaïque hybride

### I.8.2 Méthodes d'installations de système photovoltaïque dans le bâtiment :

#### I.8.2.1 Intégrée au bâtiment :

L'intégration au bâti est une méthode d'installation des panneaux photovoltaïques qui implique leur incorporation directe dans la structure du bâtiment, remplaçant ainsi les éléments de couverture existants tels que les tuiles ou les ardoises. Cette approche permet d'assurer à la fois la production d'énergie solaire et l'étanchéité de la toiture, en limitant la saillie des panneaux à moins de 2 cm. Principalement utilisée sur des bâtiments résidentiels de petite taille, cette méthode offre une solution esthétiquement intégrée et adaptée aux constructions closes et couvertes. En contrepartie, vu que les panneaux font partie intégrante de la toiture, la pose doit impérativement se faire par des professionnels pour éviter les problèmes liés à l'étanchéité.



Figure I. 24 : Panneaux photovoltaïques intégrés au bâtiment

#### I.8.2.2 Intégration simplifiée au bâtiment :

Contrairement à l'installation intégrée au bâtiment, l'intégration simplifiée quant à elle est une installation en surimposition, autrement dit la pose des panneaux solaires se fera par-dessus le toit, et non pas en remplaçant celui-ci, comme c'est le cas avec l'intégré au bâtiment. Cette méthode d'installation offre une solution pratique et esthétique pour l'insertion des modules

photovoltaïques à la structure du bâtiment. Cette technique consiste à fixer les cadres des panneaux solaires sur des rails en aluminium, ceux-ci s'assurent de supporter le poids de ces cadres, ces rails quant à eux sont fixés sur la toiture existante, s'intègrent ainsi harmonieusement. Les panneaux sont posés sur les cadres qui sont à quelques centimètres au-dessus de la toiture, permettant une meilleure ventilation pour réduire les pertes de performance dues à la chaleur. Pour permettre la fixation des rails sur le toit il faut tout de même déplacer quelques tuiles pour fixer des crochets sur les chevrons de la charpente, par conséquent il est essentiel de souligner que lors de l'ISB, une attention particulière doit être portée à l'étanchéité de la toiture pour assurer une protection optimale contre les infiltrations d'eau à l'intérieur des bâtiments.



Figure I. 25 : Intégration simplifiée des panneaux solaires au bâtiment

### **I.8.2.3 Installation non-intégré au bâtiment (installation au sol) :**

L'installation non-intégrée au bâtiment, communément appelée installation au sol, représente une solution polyvalente et performante pour le déploiement de panneaux solaires. Ce type d'installation est privilégié lorsque les toits ne sont pas adaptés ou lorsque l'espace disponible est insuffisant. Dans ce type d'installation, les panneaux solaires sont montés sur des structures spécifiques telles que des supports ou des trackers solaires, qui sont directement ancrés dans le

sol, offrant une stabilité et une orientation optimales. Cette approche permet une flexibilité de conception, permettant une adaptation précise aux contraintes de l'emplacement et une disposition optimale des panneaux afin de maximiser la capture du rayonnement solaire tout au long de la journée. De plus, l'accès facile aux installations permet de faire des opérations de maintenance et de nettoyage régulièrement, garantissant ainsi le bon fonctionnement et une performance optimale des panneaux solaires sur le long terme. Avec ses avantages indéniables en termes de fiabilité, de performance et d'efficacité, l'installation au sol représente une solution incontournable pour exploiter pleinement le potentiel de l'énergie solaire, quand les situations où les installations sur les toits ne sont pas envisageables ou insuffisantes.



Figure I. 26 : Installation panneaux solaires au sol

### I.9 ÉTAT DE L'ART :

#### I.9.1 Mémoires consultées :

- **AISSAT KAMILA, "Contribution à l'amélioration du confort thermique, dans l'habitat collectif en Algérie. Cas : immeuble d'habitation sis à Tizi-Ouzou", Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2021)**

Le travail vise à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en Algérie en utilisant des dispositifs d'architecture passive. Un bilan thermique a été réalisé sur un immeuble existant pour concevoir des solutions adaptées à ce bâtiment et ainsi réduire la consommation d'énergie fossile tout en garantissant le confort des occupants. Les résultats ont permis de réduire les

dépensations calorifiques en période hivernale de 70% et évité les apports solaires excessifs de 70%.

- **Chaima SELLAMA, Houa MESSIBAH, Idhir BOULKARAA, "LA RENOVATION ENERGETIQUE DANS L'HABITAT COLLECTIF EN ALGERIE : VERS UNE STRATEGIE D'EFFICACITE", Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel, (2019)**

Le présent travail regroupe les résultats préliminaires de la rénovation énergétique d'un bâtiment de type habitat collectif en Algérie, spécifiquement à Jijel. La mise en œuvre de différentes mesures tel que l'isolation extérieure de l'enveloppe du bâtiment, l'isolation de la toiture a permis de réduire la consommation d'énergie pour la climatisation jusqu'à 22% .

- **Raoui Hanane, Saidi Ahmed, Amélioration de la performance énergétique d'une maison moderne dans la wilaya de Oued Souf, UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 01 (2020)**

On proposer des solutions passives, comme l'isolation, et la ventilation nocturne, et les comparer par le bâtiment de référence en utilisant une simulation dynamique sous pliéade+comfie 2.3, les résultats ont montré que le traitement de l'enveloppe extérieure peut réduire la consommation énergétique par conséquent améliorer sa performance énergétique, et que le système de rafraîchissement adiabatique(PDEC), permet d'atteindre un confort hygrothermique acceptable dans les les maisons du climat aride.

- **YOUNES EL JAOUHARI, "AUDIT ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT INSTITUTIONNEL : STRATÉGIES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE", UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI, (2020)**

Ce travail a pour objectif de trouver des solutions pour réduire la consommation énergétique et améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. La gestion d'éclairage, l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment, l'optimisation du chauffage, climatisation et ventilation, utilisation d'équipements à faible coût d'énergie.

### **I.9.2 Articles consultées :**

- **Semache et al, Performances de l'efficacité énergétique et l'énergie PV dans le bâtiment résidentiel: Cas de trois zones en Algérie, The 3nd International Seminar on New and Renewable Energies, (2014)**

Le présent article a pour objectif d'étudier l'influence de l'efficacité énergétique et l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans le bilan énergétique des bâtiments résidentiels. Représentent une solution clés pour faire face à la forte croissance de la demande d'énergie dans le bâtiment résidentiel. L'intégration des énergies renouvelables et plus exactement le solaire PV connecté au réseau a donné un bilan électrique annuel positif avec un solde de 62 kWh/an à Laghouat, 148 kWh/an à Béchar, et 93 kWh/an à El Oued.

- **Nait Nadia, Bourbia Fatiha, AMELORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS PAR LA REHABILITATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE EN CLIMAT SEMI ARIDE, ICEMAEP2019, October 22-24, 2019, Constantine, Algeria (2019)**

On fait une étude sur l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en expliquant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique, les résultats montre qu'il faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception de nos maisons, développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique.

- **Farida. Benslimane, Fatah. Bounaama, Belkacem. Draoui, L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : Une composante essentielle, U T M B, B.P. 417, Route de Kenadza, Béchar, Algérie, (2019)**

On fait une étude sur l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en expliquant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique, les résultats montre qu'il faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception de nos maisons, développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique.

- **BOURSAS Abderrahmane, MAHRI Zine Labidine, L'impact du choix des matériaux de construction sur l'efficacité énergétiques d'un bâtiment résidentiel, 7th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications May 6-8, Marrakesh-Morocco, (2014)**

Cette étude est basée sur Le choix du type des matériaux de construction et l'effet de l'isolation des différentes parois sur le besoin énergétique d'un bâtiment résidentiel est pertinent, les résultats ont montré que le gain énergétique total obtenu est plus de 1/3 à l'aide d'un isolant

conventionnel alors que ce résultat peut très bien être amélioré par l'emploi des matériaux naturels respectueux de l'environnement maisons du climat aride.

- **Malek Jedidi, Anis Abroug, Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment en Tunisie, 1<sup>er</sup> Colloque International des Energies Nouvelles et Renouvelables - Innovation et Progrès Scientifique CIENRIPS, (2018)**

Les auteurs ont fait une étude sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment afin de connaître l'impact que peuvent avoir certains choix effectués lors de la conception d'un bâtiment sur son bilan énergétique à savoir : l'orientation des façades, les types des fenêtres et leurs surfaces vitrées, le choix des matériaux. Les résultats suivants peuvent être déduites:

- Le changement de l'orientation Nord-Sud du bâtiment en Est-Ouest a augmenté la demande en chauffage.
- Le remplacement de des fenêtres à simple vitrage par des fenêtres double vitrage peu émissif ont apporté un gain énergétique de 5,46%.

### **I.10 conclusion :**

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans le domaine des bâtiments tertiaires est d'une importance capitale. En optimisant les performances énergétiques des bâtiments utilisés à des fins commerciales et administratives, il est possible de réduire considérablement la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Cela implique l'adoption de solutions telles que des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation efficaces, l'utilisation d'un éclairage à faible consommation d'énergie et la mise en place de pratiques de gestion énergétique intelligente.

En se concentrant sur l'efficacité énergétique, les bâtiments tertiaires peuvent réaliser d'importantes économies sur les coûts énergétiques, réduire leur empreinte environnementale et créer des environnements de travail durables et agréables pour les occupants. L'optimisation de l'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments tertiaires est donc un élément clé pour répondre aux défis énergétiques actuels, promouvoir la durabilité et contribuer à la transition vers une économie fondée sur les ressources énergétiques renouvelables.

**CHAPITRE II**  
**PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE**

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### II.1 Introduction :

Dans ce deuxième chapitre, nous commencerons par présenter la zone d'étude de Tirmatine. Nous examinerons les caractéristiques climatiques de cette région et étudierons l'influence du climat sur la conception architecturale.

Ensuite, nous décrirons en détail le bâtiment étudié, qui est une école primaire. Nous aborderons les caractéristiques des matériaux utilisés pour les murs externes et internes, les planchers, la toiture, ainsi que le type de vitrage utilisé dans ce bâtiment.

### II.2 Présentation de la zone d'étude :

#### II.2.1 Situation et morphologie urbaine :

- La wilaya de Tizi Ouzou.

La wilaya de Tizi Ouzou est une wilaya algérienne située dans la région de la Grande Kabylie en plein cœur du massif du Djurdjura. Elle est divisée administrativement en 67 communes et 21 daïras. Elle s'étend sur une superficie de 10 236 hectares avec une population résidente telle qu'évaluée lors du recensement de 2008 est de 135 088 habitants.

Les wilayas limitrophes sont : située à 88 km à l'est de la capitale Alger, à 93 km à l'ouest de Bejaïa, à 52 km à l'est de Boumerdès et à 39,5 km au nord-est de Bouira, et à 125 km à l'ouest de Bejaïa et à 30 km au sud des côtes méditerranéennes [25].



Figure II. 1 : Carte de l'Algérie situant la ville de Tizi Ouzou

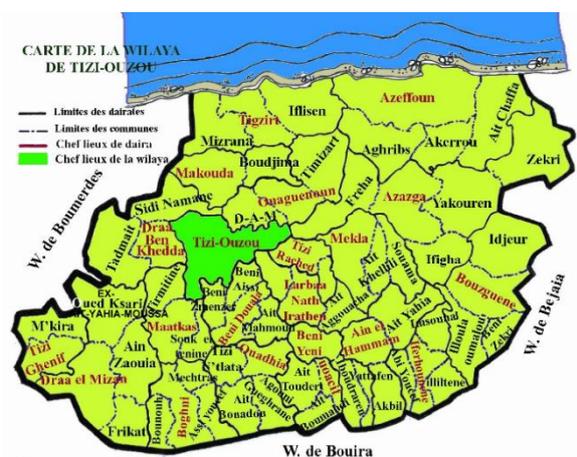


Figure II. 2 : Carte de la wilaya de Tizi Ouzou

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

- la commune de Tirmatine :

Tirmatine est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou appartenant à région de la grande Kabylie, située à 7 km au sud-ouest de la commune de Tizi Ouzou, en Algérie.

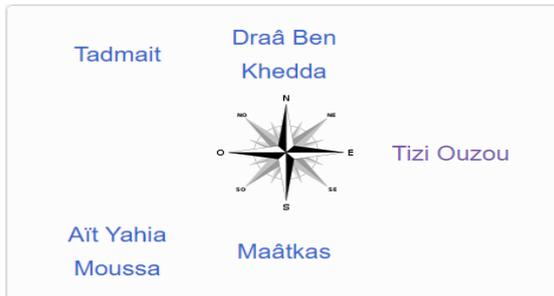


Figure II. 3 : Commune limitrophes de Tirmatine



Figure II. 4 : carte de Tizi Ouzou situant de la commune de Tirmatine

### Les coordonnées géographiques de Tirmatine :

Tirmatine est située à une latitude de 36.6618, 36° 39' 42'' Nord et une longitude de 3.98478, 3° 59' 5'' Est. La superficie de Tirmatine s'étend sur environ 32,91 kilomètres carrés, et elle se trouve à une altitude de 478 mètres.

Le climat de Tirmatine est de type méditerranéen, avec des étés chauds et ensoleillés [25].

### II.2.2 conditions climatiques de cas d'étude :

- Températures journalière maximales et minimales à Tirmatine :

La saison très chaude dure 3 mois, du mois de juin au mois de septembre, avec une température quotidienne maximale supérieure à 40 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Tirmatine est juillet, avec une température maximale de 45 °C et minimale de 18 °C.

La saison fraîche dure 4 mois, du mois de novembre au mois de mars, avec une température quotidienne maximale inférieure à 25 °C. Le mois le plus froid de l'année à Tirmatine est le mois de janvier, avec une température minimale de -3 °C et maximale de 15 °C.

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

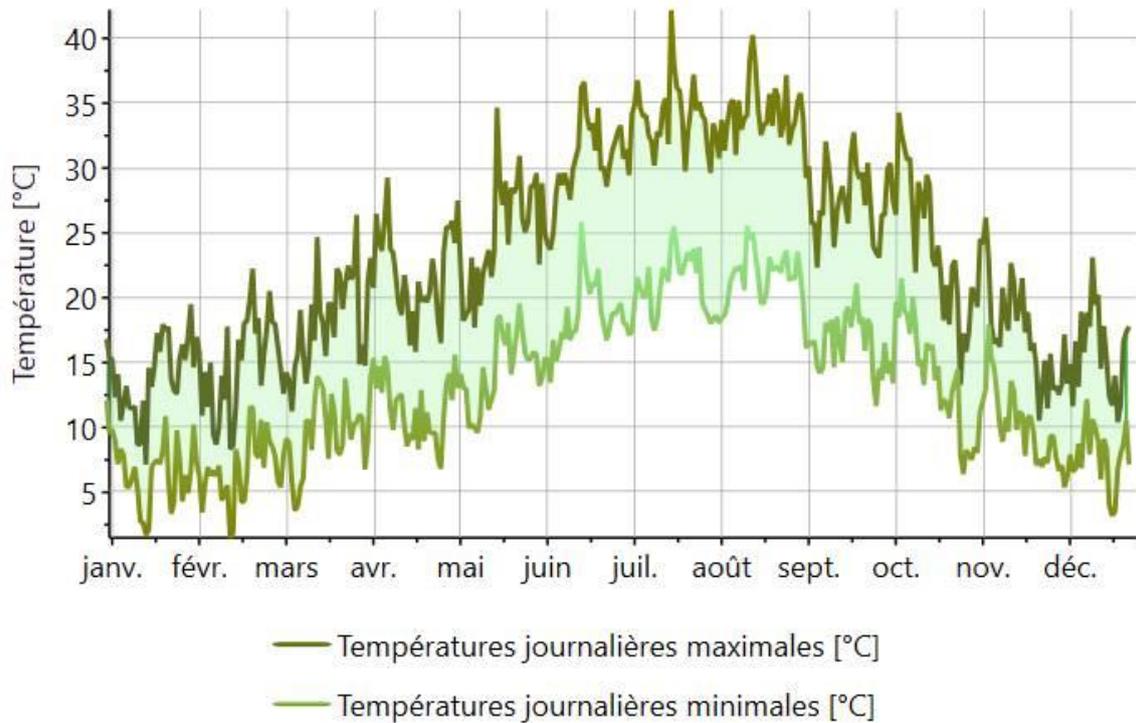


Figure II. 5 : Températures journalière de Tirmatine

- Températures moyenne mensuelle :

Les températures journalières maximales peuvent atteindre plus de 40°C en été et pour les températures minimales jusqu'à -3 C en hiver, donc Tirmatine possède un été chaud et un hiver très froid.



Figure II. 6 : La Température moyenne mensuelle de Tirmatine

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

- L'ensoleillement :

On remarque que la durée d'ensoleillement à Tirmatine la plus élevée est au mois de juillet avec une durée de presque 12 heures et la petite durée est en mois de janvier et décembre avec une valeur de presque 5 heures.

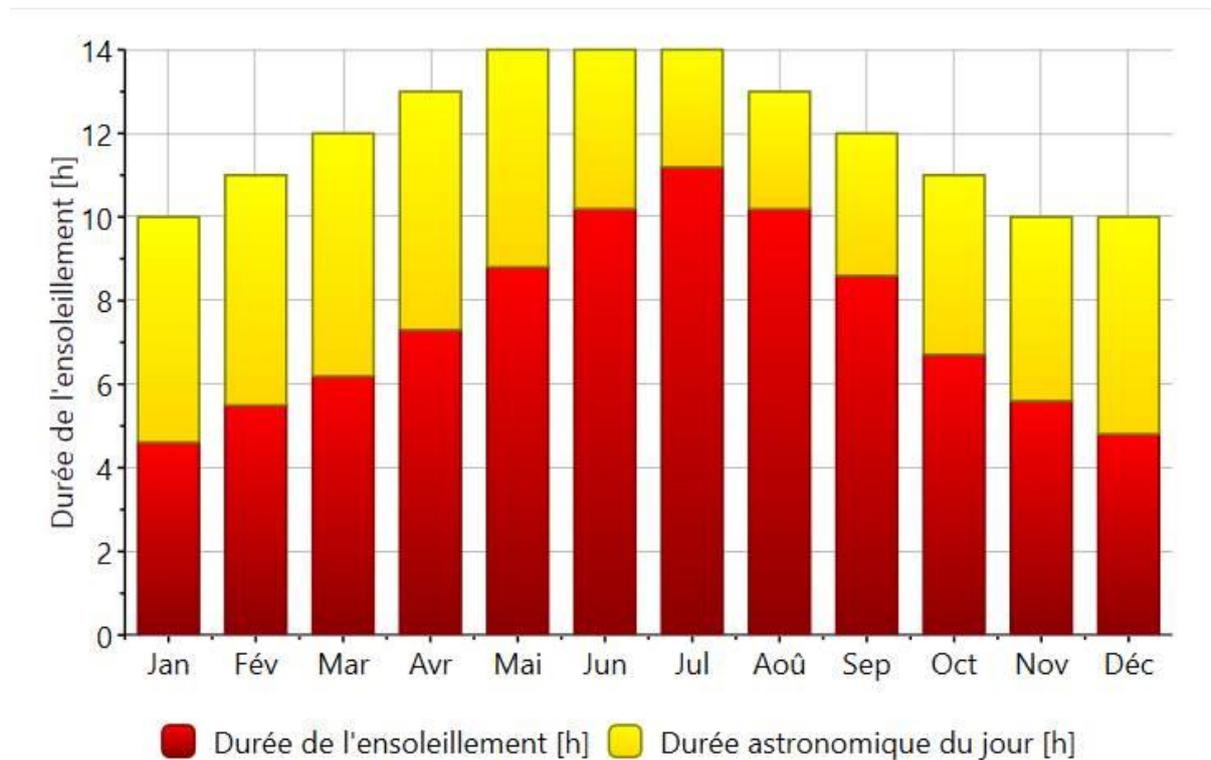


Figure II. 7 : L'ensoleillement annuelle a Tirmatine

- Précipitations :

La saison la plus sèche dure 4 mois, du mois de mai au mois de septembre. Le mois ayant le moins de jours de précipitation à Tirmatine est juillet.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. Le mois avec le plus grand nombre de jours de pluie seulement à Tirmatine est décembre, avec une maximale de 9 jours.

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

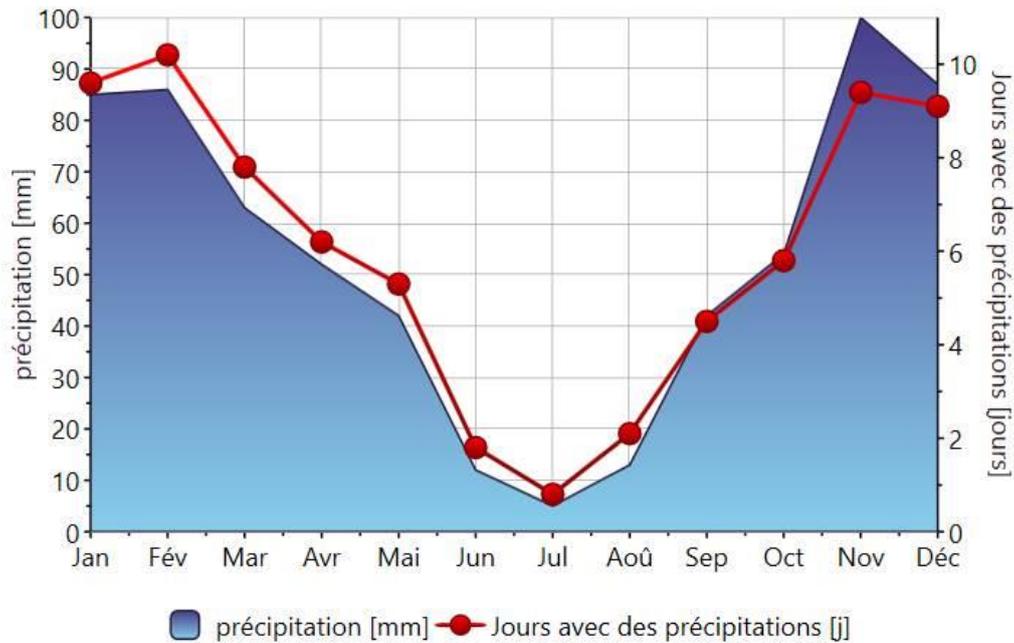


Figure II. 8 : Précipitations annuelle à Tirmatine

- Rayonnement global journalier :

La période la plus lumineuse de l'année dure trois mois et demi, du mois de mai au mois d'août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6,7 kWh. Le mois de l'année le plus lumineux à Tirmatine est juillet, avec une maximale de 8,7 kWh. La période la plus sombre de l'année dure 3 mois, du mois de novembre au mois de février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3,4 kWh. Le mois de l'année le plus sombre à Tirmatine est novembre, avec une minimale de 0,4 kWh.

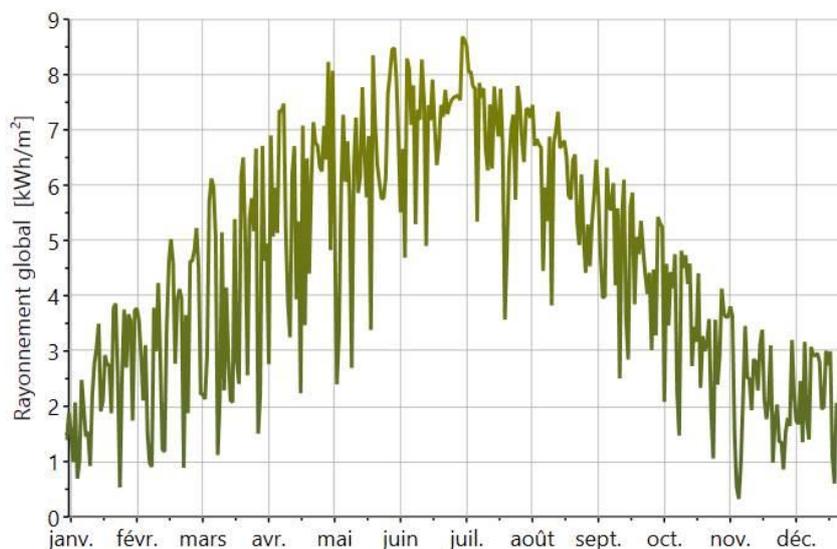


Figure II. 9 : Rayonnement global journalier

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### II.2.3 classification de la ville de Tizi ousou selon la classification thermique

D.T.R :

Tableau II. 1 : classification de la ville de Tizi Ouzou selon D.T.R

<b>15</b>	Groupes de Communes 1 : Aghrib - Ait Chaffa – Akerrou – Azzefoun Iflissen – Mizzrana – Tizirt – Zekri	<b>A</b>
<b>TIZI OUZOU</b>	Groupes de communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1	<b>B</b>

### II.3 Présentation du cas d'étude :

#### II.3.1 Portrait de l'école:



Figure II. 10 : Image de l'école



Figure II. 11: Image de l'école

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### II.3.2 Les plans de l'école :

- Plan de situation :

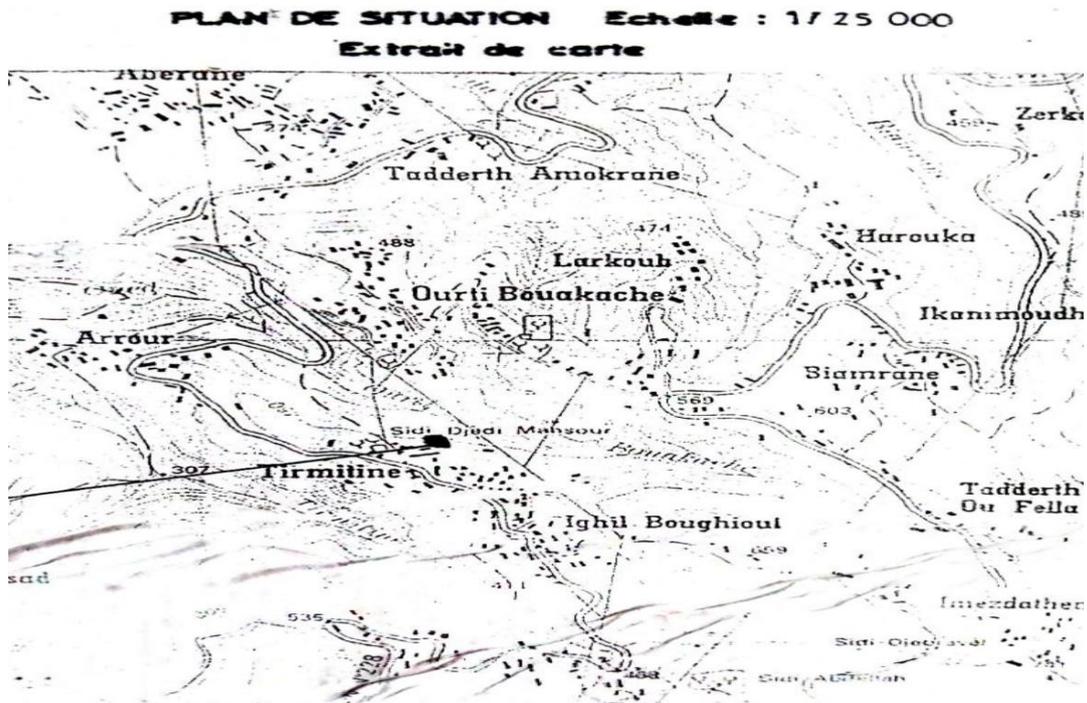


Figure II. 12 : Plan de situation

- Plan de masse :

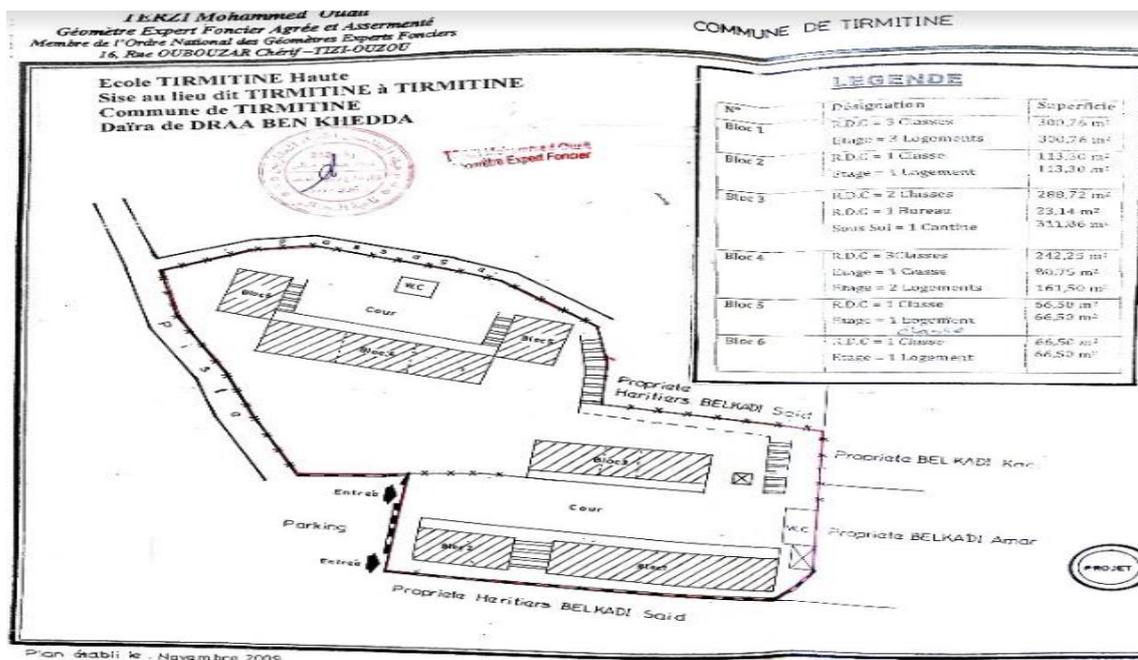


Figure II. 13 : Plan du masse

### II.3.3 L'organisation de l'école :

L'école à une superficie de 3070.00 m<sup>2</sup>, avec une superficie hors œuvre de 789.31 m<sup>2</sup>, il comporte 6 blocs, 13 classes, 7 logements, 2 sanitaires, 1 bureau, 1 cantine.

Tableau II. 2 : Organisation des blocs de l'école

N° de Bloc	Désignation	Superficie
<b>Bloc 1</b>	R.D.C = 3 Classes	300,76 m <sup>2</sup>
	Etage = 3 Logements	300,76 m <sup>2</sup>
<b>Bloc 2</b>	R.D.C = 1 Classe	113,30 m <sup>2</sup>
	Etage = 1 Logement	113,30 m <sup>2</sup>
<b>Bloc 3</b>	R.D.C = 2 Classes	288,72 m <sup>2</sup>
	R.D.C = 1 Bureau	23,14 m <sup>2</sup>
	Sous-Sol = 1 Cantine	311,86 m <sup>2</sup>
<b>Bloc 4</b>	R.D.C = 3 Classes	242,25 m <sup>2</sup>
	Etage = 1 classe	80,75 m <sup>2</sup>
	Etage = 2 Logements	161,50 m <sup>2</sup>
<b>Bloc 5</b>	R.D.C = 1 Classe	66,50 m <sup>2</sup>
	Etage = 1 Classe	66,50 m <sup>2</sup>
<b>Bloc 6</b>	R.D.C = 1 Classe	66,50 m <sup>2</sup>
	Etage = 1 Logement	66,50 m <sup>2</sup>

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

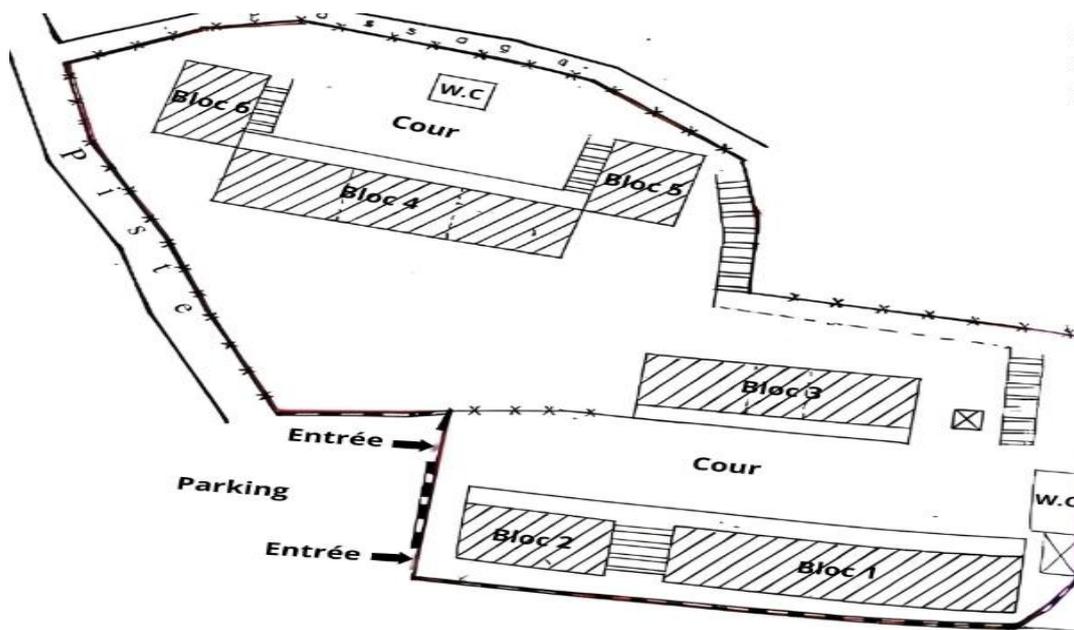


Figure II. 14 : Organisation des blocs

### II.4 Description des blocs étudiés :

On a choisi trois blocs qui sont le bloc 1, 2, et 3 qui comprennent en tout, une cantine, 6 salles de classes, un bureau, et 4 logements de fonctions, de différents emplacements et orientations et de différents matériaux de construction.

#### II.4.1 Organisation spatiale :

Tableau II. 3 : L'organisation spatiale

Escapes	Surface	Orientation Des façades	Illustrations
Bloc 1	300,76 m <sup>2</sup>	 Nord	

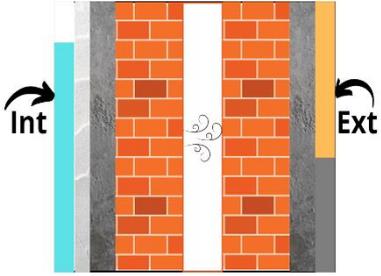
## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

<b>Bloc 2</b>	113,30 m <sup>2</sup>	 <p>Nord</p>	
<b>Bloc 3</b>	311,86 m <sup>2</sup>	 <p>Sud</p>	

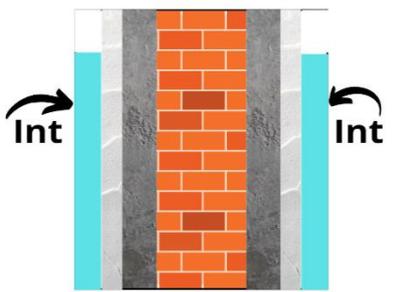
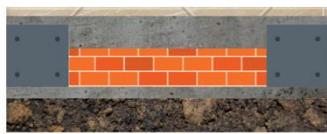
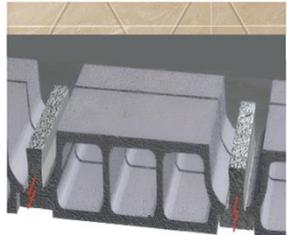
### II.4.2. Composition des éléments constructifs et leur thermophysique :

➤ **Composition bloc 2 et bloc 1 :**

Tableau II. 4 : Composition des élément constructif bloc 1, 2

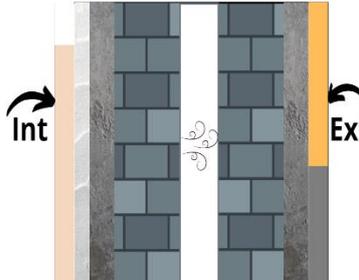
Composition des parois	Construction
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mur extérieure</b></li> <li>- Mortier de ciment e = 1 cm</li> <li>-Brique creuse de 10 cm</li> <li>-Lame d'air &gt; 1,3 cm</li> <li>-Brique creuse de 10 cm</li> <li>-Mortier de ciment e = 1 cm</li> <li>-plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</li> </ul>	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

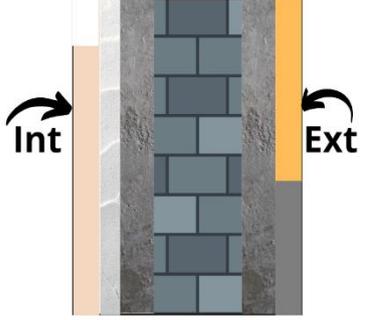
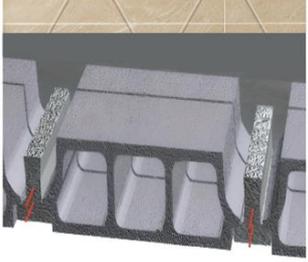
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mur intérieur</b></li> </ul> <p>-plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p> <p>-Mortier de ciment e = 1 cm</p> <p>-Brique creuse de 10 cm</p> <p>- Mortier de ciment e = 1 cm</p> <p>- plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plancher Bas</b></li> </ul> <p>-Béton plein dit 'de structure' e = 15 cm</p> <p>- Mortier de ciment e = 3 cm</p> <p>-Carrelage e = 2 cm</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plancher intermédiaire</b></li> </ul> <p>-Carrelage e = 2 cm</p> <p>-Mortier de ciment e = 2 cm</p> <p>-Béton plein dit 'de structure' e = 4 cm</p> <p>-Hourdis en béton 16 cm</p> <p>-Mortier de ciment e = 1 cm</p> <p>-plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p>	

### ➤ Composition bloc 3 :

Tableau II. 5 : Composition des élément constructif bloc 3

Composition des Parois	Construction
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mur extérieure</b></li> </ul> <p>-Mortier de ciment e = 1 cm</p> <p>-Parpaing de 10 cm</p> <p>-Lame d'air &gt; 1,3 cm</p> <p>-Parpaing de 10 cm</p> <p>-Mortier de ciment e = 1 cm</p> <p>- plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p>	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mur intérieur</b></li> </ul> <p>-plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm                      -Mortier de ciment e = 1 cm                      -Parpaing de 10 cm                      - Mortier de ciment e = 1 cm                      -plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plancher intermédiaire</b></li> </ul> <p>-Carrelage e = 2 cm                      -Mortier de ciment e = 2 cm                      -Béton plein dit 'de structure' e = 4 cm                      -Hourdis en béton 16 cm                      -Mortier de ciment e = 1 cm                      -plâtre courant d'enduit intérieur e = 0.2 cm</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Toiture</b></li> </ul> <p>-Résineux légers e = 5,08 cm                      -Panneau de roseaux e = 3,5 cm                      - plâtre gypse e = 2 cm                      -Tuiles e =1 cm                      -Roseaux légers e = 12,7 cm</p>	

### II.4.2 Les dimensions des ouvertures :

Tableau II. 6 : Les dimensions des ouvertures

Types d'ouvertures	Dimension	K (W/°Cm²)	Illustrations
Une porte en bois Avec simple vitrage	Une longueur = 2,04 m Une largeur = 0,83 m	Bois = 2 simple vitrage = 2	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

Une fenêtre en bois avec simple vitrage	Une longueur = 1,15 m Une largeur = 1 m	Bois = 2  simple vitrage = 2	
-----------------------------------------	--------------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

### II.5 Calcul du bilan thermique statique :

Le (DTR C3-2) se base sur une exigence réglementaire visant à contrôler les pertes de chaleur des logements en établissant une limite à ne pas dépasser, appelée déperditions de référence. Cette exigence a pour but de définir les méthodes permettant de vérifier la conformité des bâtiments aux normes de réglementation thermique.

Afin d'appliquer la réglementation sur notre cas d'étude, avec les étapes citées précédemment on a calculé le bilan thermique de l'école.

#### ➤ Bloc 2 :

Tableau II. 7 : Calculs des K de chaque élément constructif bloc 2

Parois	Composants	Épaisseur Cm	Conductivité Thermique $\lambda$ (W/m.°C)	Resistances Thermique $R = e / \lambda$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Coefficient de transmission surfacique $1/K = \Sigma R + 1/h_i + 1/h_e$ K (W/m <sup>2</sup> .°C)
<b>Mur extérieure</b>	- Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	$1/h_i + 1/h_e =$ 0,17 $R_t = 0,78$ $K = 1/R_t = 1,28$
	-Brique creuse de 10 cm	e = 10 cm	0,476	0,21	
	-Lame d'air > 1,3 cm	e > 1,3 cm	0,094	0,16	
	-Brique creuse de 10 cm	e = 10 cm	0,476	0,21	
	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2	0,35	0,01	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

<b>Plancher Bas</b>	-Béton plein dit 'de structure'	e = 15 cm	1,05	0,14	1/hi+1/he = 0,22 Rt = 0,39 K= 1/Rt = 2,56
	- Mortier de ciment	e = 3 cm	1,4	0,02	
	-Carrelage	e = 2 cm	1,7	0,01	

### ➤ Bloc 3 :

Tableau II. 8 : Calculs des K de chaque élément constructif bloc 3

<b>Parois</b>	<b>Composants</b>	<b>Épaisseur Cm</b>	<b>Conductivité Thermique <math>\lambda</math> (W/m.°C)</b>	<b>Resistances Thermique <math>R = e / \lambda</math> R(/m<sup>2</sup>.°C/W)</b>	<b>Coefficient de transmission surfaceute <math>1/K = \Sigma R +</math> 1/hi+1/he K (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
<b>Mur extérieure</b>	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	1/hi+1/he = 0,17 Rt = 0,54 K = 1/Rt = 1,85
	-Parpaing de 10 cm	e = 10 cm	1,111	0,09	
	-Lame d'air > 1,3 cm	e > 1,3 cm	0,094	0,16	
	-Parpaing de 10 cm	e = 10 cm	1,111	0,09	
	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	- plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2 cm	0,35	0,01	
<b>Mur intérieur</b>	-plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2 cm	0,35	0,01	1/hi+1/he = 0,17 Rt = 0,3 K = 1/Rt = 3,33
	- Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	- Parpaing de 10 cm	e = 10 cm	1,111	0,09	
	- Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2 cm	0,35	0,01	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

<b>Toiture</b>	-Résineux légers	e = 5,08 cm	0,12	0,42	1/hi+1/he = 0,14 Rt = 2,31 K = 1/Rt = 0,43
	-Panneau de roseaux	e = 3,5 cm	0,056	0,63	
	- plâtre gypse	e = 2 cm	0,42	0,05	
	-Tuiles	e = 1 cm	0,8	0,01	
	-Roseaux légers	e= 12,7 cm	0,12	1,06	

### II.5.1 Calculs des déperditions Totale selon le DTR :

Nous avons sélectionné deux salles situées respectivement dans les bloc 2 et 3 qui se distinguent par leur emplacement, leur orientation et leurs matériaux de construction distincts.

- **Calcul des déperditions de référence :**

Les déperditions de référence  $Dréf$  sont calculées par la formule suivante :

$$Dréf = a \times S1 + b \times S2 + c \times S3 + d \times S4 + e \times S5 \text{ [W/ } ^\circ\text{C}^\circ]$$

**a = 1, 10; b = 2, 40; c = 1, 20; d = 3, 50; e = 4, 50 donc**

➤ **Salle bloc 2 :**

Tableau II. 9 : Calculs des Déperditions de référence pour la salle du bloc 2

Composition Et ouverture	Surface (m <sup>2</sup> )	Coefficient Ts	Déperditions (W/m <sup>2</sup> .°C)	Déperditions de référence (W/°C)
<b>Plancher bas</b>	S2=113,30	b = 2,40	271,92	465,4 (W/°C)
<b>Mur extérieur</b>	S3=117,5	c = 1,20	141	
<b>Porte</b>	S5=1,69	d = 3,50	5,91	
<b>fenêtres</b>	S6=10,35	e = 4,50	46,57	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### ➤ Salle bloc 3 :

Tableau II. 10 : Calculs des Déperditions de référence pour la salle du bloc 3

Composition Et ouverture	Surface (m <sup>2</sup> )	Coefficient Ts	Déperditions (W/m <sup>2</sup> .°C)	Déperditions De référence (W/°C)
Toiture	S1=144,36	a = 1,10	158,79	342,1 (W/°C)
Mur extérieur	S3=96,88	c = 1,20	116,25	
Mur intérieur	S4 = 16,46	c = 1,20	19,75	
Porte	S5=1,69	d = 3,50	5,91	
fenêtre	S6=9,2	e = 4,50	41,4	

- **Calcul des déperditions surfaciques :**

$$D_s = \Sigma (A \times K) \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$D_s = (117,5 \times 1,28) + (113,30 \times 2,56) + (1,69 \times 2) + (10,35 \times 2)$$

$$D_s = 464,52 \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$D_s = (96,88 \times 1,85) + (16,46 \times 3,33) + (144,36 \times 0,43) + (1,69 \times 2) + (9,2 \times 2)$$

$$D_s = 317,89 \text{ (W/°C)}$$

- **Calcul des déperditions Linéiques :**

$$D_L = 20\% D_s \text{ [W/°C]}$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$D_L = 464,52 \times 20\% = 92,90 \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$D_L = 317,89 \times 20\% = 63,57 \text{ (W/°C)}$$

- **Calcul des déperditions Totale :**

$$D_T = D_s + D_L$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$D_T = 464,52 + 92,90 = 557,42 \text{ (W/°C)}$$

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### ➤ Salle bloc 3 :

$$D_T = 317,89 + 63,57 = 381,46 \text{ (W/°C)}$$

#### • Vérification des déperditions de référence :

Les déperditions par transmission  $D_T$  du logement doivent vérifier :

$$D_T < 1,05 \times D_{\text{réf}} \text{ [W/°C]}$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$557,42 < 1,05 \times 465,4 = 557,42 < 488,67 \quad \text{non vérifié.}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$381,46 < 1,05 \times 342,1 = 381,46 < 359,205 \quad \text{non vérifié.}$$

Les deux salles ne respectent pas les recommandations du DTR en termes d'exigences, et cela est dû aux matériaux de construction utilisés pour l'enveloppe du bâtiment, notamment en raison de coefficients  $K$  élevés entraînant des déperditions thermiques importantes. Cette situation s'explique par la faible résistance de ces matériaux.

Pour remédier à cela, nous proposons d'isoler les murs extérieurs en utilisant des panneaux en laine de bois, un isolant entièrement naturel qui présente de nombreux avantages en termes d'isolation thermique. Ce matériau offre une solution idéale pour améliorer les performances thermiques du bâtiment.

Les avantages et les inconvénients de la laine de bois :

#### ✓ Les avantages :

**Régulation de l'humidité :** La laine de bois a une capacité à réguler l'humidité ambiante, absorbant et libérant l'humidité selon les besoins. Cela peut contribuer à maintenir un climat intérieur sain et confortable.

**Écologique :** La laine de bois est fabriquée à partir de fibres de bois naturelles, ce qui en fait un matériau écologique et renouvelable. Elle est également recyclable et biodégradable.

**Bonne isolation acoustique :** La laine de bois a des propriétés d'absorption acoustique, ce qui peut aider à réduire les nuisances sonores provenant de l'extérieur ou de l'intérieur de la maison.

[26]

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

**Facilité d'installation :** La laine de bois est relativement légère et facile à manipuler, ce qui facilite son installation dans les murs. Elle peut être coupée et ajustée aux dimensions nécessaires sans trop de difficultés.

✓ **Les inconvénients :**

**Coût :** La laine de bois peut être plus coûteuse que d'autres matériaux d'isolation, tels que la laine de verre ou la laine de roche. Cela peut rendre son utilisation plus onéreuse lors de l'isolation des murs.

**Sensibilité aux ravageurs :** La laine de bois peut être sujette aux attaques de ravageurs tels que les termites ou les champignons si elle n'est pas traitée avec des produits appropriés. Un traitement préventif peut être nécessaire pour éviter les problèmes de ce type [26].

### II.5.2 Bilan thermique après isolation des murs extérieur avec laine de bois :

➤ **Salle bloc 2 :**

Tableau II. 11 : Calculs des K de chaque élément constructif salle bloc 2

Parois	Composants	Épaisseur (cm)	Conductivité Thermique $\lambda$ (w/m.°c)	Resistances Thermique $R = e / \lambda$ $R(/m^2.°c/w)$	Coefficient de transmission surfacique $1/K = \Sigma R + 1/h_i + 1/h_e$ $K$ (w/m <sup>2</sup> .°c)
<b>Mur extérieure</b>	-Enduit extérieure	e = 2 cm	1,15	0,02	$1/h_i + 1/h_e = 0,17$ $R_t = 5,56$ $K = 1/R = 0,17$
	-Laine de bois	e = 20 cm	0,042	4,76	
	- Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-Brique creuse de 10 cm	e = 10 cm	0,476	0,21	
	-Lame d'air > 1,3 cm	e > 1,3 cm	0,094	0,16	
	-Brique creuse de 10 cm	e = 10 cm	0,476	0,21	
	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2 cm	0,35	0,01	

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### ➤ Salle bloc 3 :

Tableau II. 12 : Calculs des K de chaque élément constructif de la salle du bloc 3

Parois	Composants	Épaisseur (cm)	Conductivité Thermique $\lambda$ (w/m.°c)	Resistances Thermique $R = e / \lambda$ $R/(m^2.°c/w)$	Coefficient de transmission surfacique $1/K = \Sigma R + 1/h_i + 1/h_e$ $K$ (w/m <sup>2</sup> .°c)
<b>Mur extérieure</b>	-Enduit extérieure	e = 2 cm	1,15	0,02	$1/h_i + 1/h_e = 0,17$ $R_t = 5,32$ $K = 1/R = 0,18$
	-Laine de bois	e = 20 cm	0,042	4,76	
	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-Parpaing de 10 cm	e = 10 cm	1,111	0,09	
	-Lame d'air > 1,3 cm	e > 1,3 cm	0,094	0,16	
	-Parpaing de 10 cm	e = 10 cm	1,111	0,09	
	-Mortier de ciment	e = 1 cm	1,4	0,01	
	-plâtre courant d'enduit intérieur	e = 0,2 cm	0,35	0,01	

### ✚ Calcul des déperditions surfaciques après l'isolation :

$$D_s = \Sigma (A \times K) \text{ (W/°C)}$$

#### ➤ Salle bloc2 :

$$D_s = (117,5 \times 0,17) + (113,30 \times 2,56) + (1,69 \times 2) + (10,35 \times 2)$$

$$D_s = 334,103 \text{ (W/°C)}$$

#### ➤ Salle bloc 3 :

$$D_s = (96,88 \times 0,18) + (16,46 \times 3,33) + (144,36 \times 0,43) + (1,69 \times 2) + (9,2 \times 2)$$

$$D_s = 156,105 \text{ (W/°C)}$$

### ✚ Calcul des déperditions Linéiques :

$$DL = 20\% D_s \text{ [W/°C]}$$

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### ➤ Salle bloc 2 :

$$DL = 334,103 \times 20\% = 66,82 \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$DL = 156,105 \times 20\% = 31,22 \text{ (W/°C)}$$

### 🚦 Calcul des déperditions Totale :

$$DT = D_s + DL$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$DT = 334,103 + 66,82 = 400,92 \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$DT = 156,105 + 31,22 = 187,32 \text{ (W/°C)}$$

### 🚦 Vérification des déperditions de référence :

Les déperditions par transmission DT du logement doivent vérifier :

$$DT < 1,05 \times D_{\text{réf}} \text{ [W/°C]}$$

### ➤ Salle bloc 2 :

$$400,92 < 1,05 \times 465,4 = 400,92 < 488,67 \text{ vérifie avec une différence de } 87,75 \text{ (W/°C)}$$

### ➤ Salle bloc 3 :

$$187,32 < 1,05 \times 342,1 = 187,32 < 359,2 \text{ vérifie avec une différence de } 171,88 \text{ (W/°C)}$$

Ce bâtiment satisfait les exigences recommandées par le DTR après l'isolation mentionnée. Une observation importante est que dans la salle du bloc 3, on constate une grande différence par rapport à la salle bloc 2. Cette différence s'explique par le fait que la toiture de la salle du bloc 3 est composée de panneaux de roseau et de plâtre.

Avant même l'isolation, il restait peu pour satisfaire les exigences recommandées par le DTR.

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

### II.6 Analyse expérimentale :

Les températures ont été mesurées dans deux salles, bloc 2 et bloc 3, ainsi qu'à l'extérieur, sur trois jours différents : jeudi 11 mai, dimanche 14 mai et lundi 26 juin. Les mesures ont été effectuées toutes les heures pendant une période de 16 heures, de 8h à minuit.

Ces mesures ont permis de recueillir des données précises sur les variations de température dans les deux salles et à l'extérieur, offrant ainsi une perspective complète de l'évolution thermique sur une période de 16 heures, sur les trois jours spécifiques mentionnés.

Les températures ont été mesurées à l'aide d'un appareil (Thermo-hygromètre) de mesure spécifique :

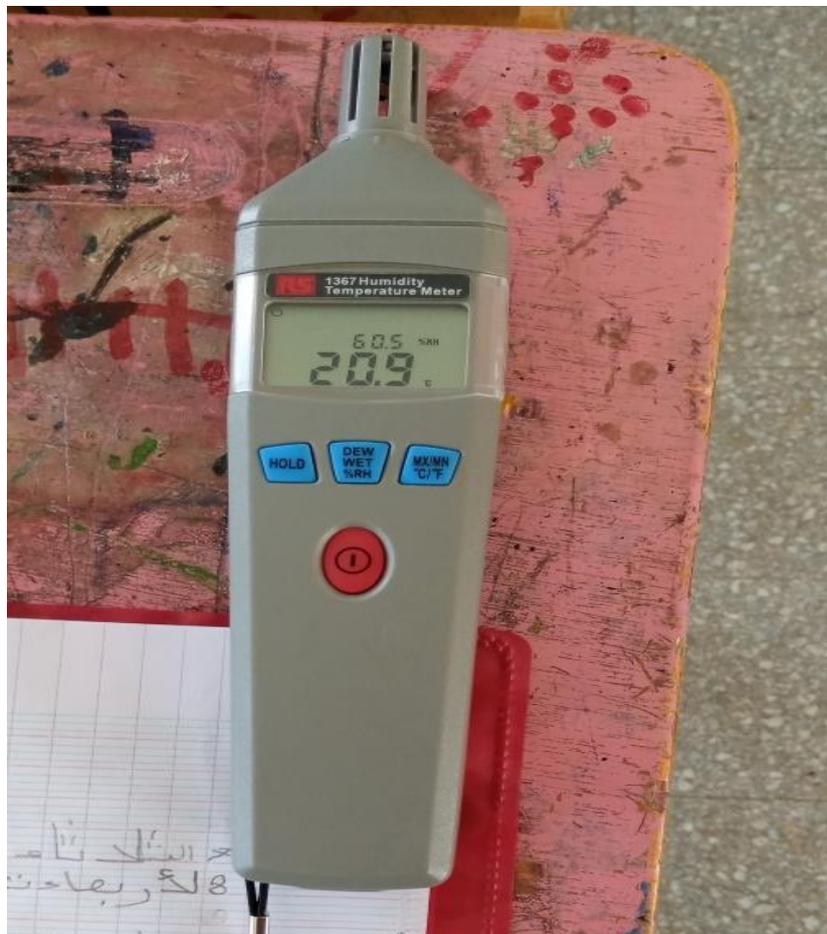


Figure II. 15 : Appareil de mesure les températures et d'humidité (Thermo-hygromètre)

II.6.1 Les Graphes de températures :

- La journée : 11/05/2023

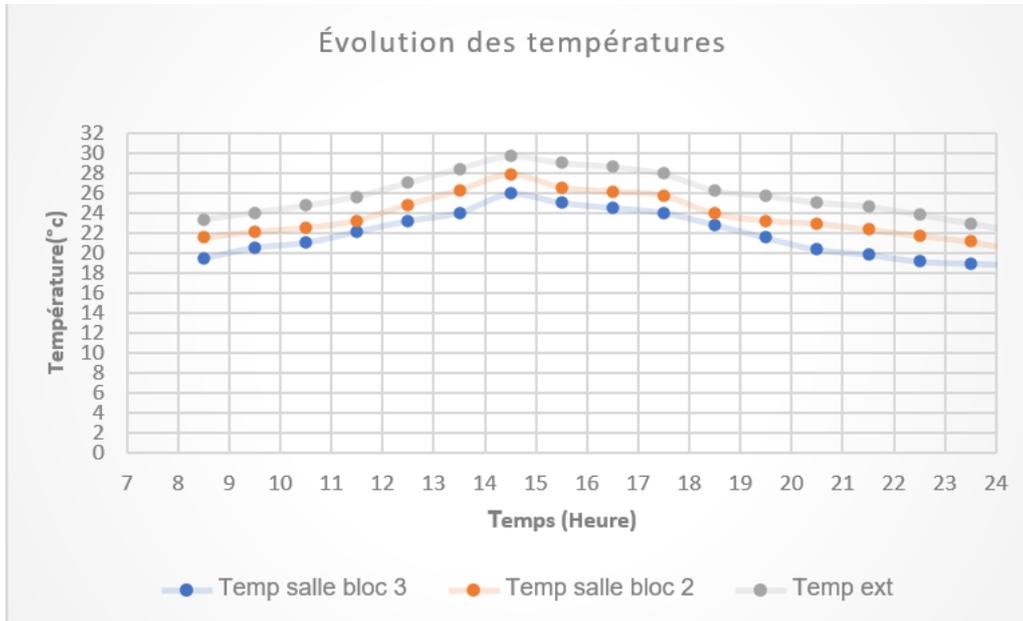


Figure II. 16 : Graphique de l'évolution des températures

- La journée : 14/05/2023

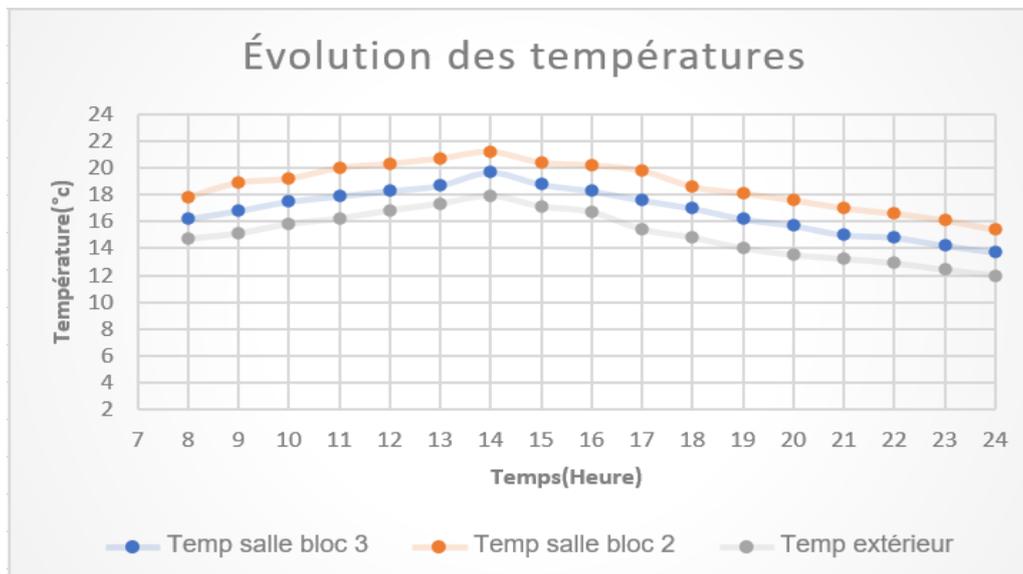


Figure II. 17 : Graphique de l'évolution des températures

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

- La journée : 26/06/2023 :

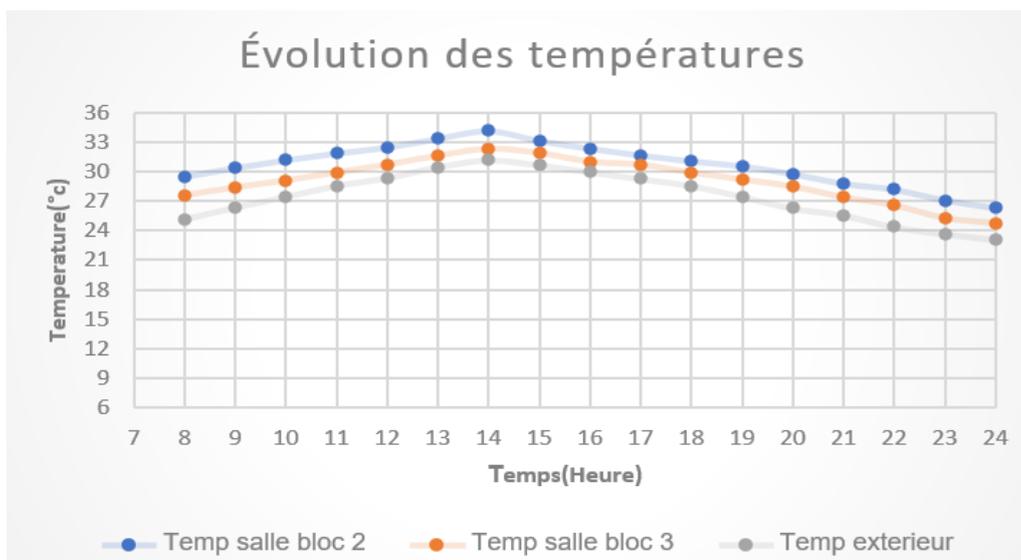


Figure II. 18 : Graphique de l'évolution des températures

Les graphiques présentent les variations des températures au fil du temps (heure) pour trois endroits distincts : salle bloc 3, salle bloc 2 et l'extérieur. Les températures sont mesurées en degrés Celsius sur une période de 16 heures.

Au cours des premières heures de la journée, les températures à l'intérieur des salles augmentent progressivement durant la matinée. En début d'après-midi, elles atteignent leur pic maximal, Ensuite, les températures diminuent légèrement en fin d'après-midi et pendant la soirée.

Tableau II. 13 : calcul les écarts des Température

11/05/ 2023 Figure II.17						
	Heure	Salle bloc 2	Salle bloc3	extérieur	$\Delta t = (T_{\text{ex}} - T_{\text{sb2}})$	$\Delta t = (T_{\text{ex}} - T_{\text{sb3}})$
Température Maximale (°C)	14h30min	27,8	25,9	29,7	$\Delta t = 1,9$	$\Delta t = 3,8$
Température Minimale (°C)	24h30min	20,2	18,7	22	$\Delta t = 1,8$	$\Delta t = 3,3$
14/05/2023 Figure II.18						
Température Maximale (°C)	14h	21,4	19,7	17,5	$\Delta t = - 3,9$	$\Delta t = - 2,2$

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

Température Minimale (°C)	24h	15,4	13,7	12	$\Delta t = - 3,4$	$\Delta t = - 1,7$
26/06/2023 Figure II.19						
Température Maximale (°C)	14h	34,2	32,3	31,2	$\Delta t = - 3$	$\Delta t = - 1,1$
Température Minimale (°C)	24h	26,2	24,6	23	$\Delta t = - 3,1$	$\Delta t = - 1,5$

Suite à l'analyse du tableau, plusieurs observations peuvent être faites :

- Dans la figure (II.16), la température extérieure est supérieure à celle des salles,

Tandis que dans les figures (II.17) et (II.18), la température extérieure est inférieure aux températures des deux salles.

- On constate des différences dans les écarts de température entre la salle du bloc 3

et la salle du bloc 2 par rapport à l'extérieur. Dans la figure (II.16), l'écart de température de la salle du bloc 3 par rapport à l'extérieur est plus élevé que celui de la salle du bloc 2. Cependant, dans les figures (II.17) et (II.18), cet écart est plus faible pour la salle du bloc 3 par rapport à la salle du bloc 2. Ces variations peuvent être attribuées à l'efficacité de l'isolation thermique du toit de la salle du bloc 3, qui est réalisée à l'aide de panneaux de roseaux et de plâtre.

- Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte les facteurs

d'isolation thermique dans la construction des bâtiments.

La qualité de l'isolation thermique revêt un rôle essentiel dans la gestion des écarts de température entre l'intérieur des bâtiments et l'environnement extérieur. En effet, une isolation thermique adéquate permet de garantir des conditions thermiques stables et confortables à l'intérieur des bâtiments.

### II.7 conclusion :

Suite à l'évaluation des déperditions thermiques, il a été constaté que notre bâtiment ne satisfait pas les exigences réglementaires recommandées par le DTR. Afin de remédier à cette situation, nous avons procédé à une isolation supplémentaire au niveau des murs extérieurs en utilisant de la laine de bois. Cette mesure vise à améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment en

## CHAPITRE II : Présentation du cas d'étude

---

réduisant les pertes de chaleur. L'ajout de l'isolation avec de la laine de bois permet de renforcer l'isolation thermique des murs extérieurs, contribuant ainsi à minimiser les flux de chaleur indésirables et à maintenir une température confortable à l'intérieur du bâtiment

**CHAPITRE III**  
**MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL**  
**PLEIADES**

### III.1 Introduction :

Le présent chapitre marque une étape cruciale dans la progression de notre mémoire, Cette étape revêt une importance particulière dans notre recherche, car elle nous permettra d'explorer les possibilités offertes par le logiciel pleiades qui est un outil puissant en termes de simulation thermique dynamique. Ainsi, dans chaque projet de construction neuve ou de rénovation d'un bâtiment, la simulation permet de tester et dimensionner les différentes alternatives possibles afin de définir les solutions les plus adaptées à un projet. La simulation est donc un outil d'aide à la conception incontournable en amont de la vérification réglementaire [27].

Dans ce chapitre, nous présenterons une vue d'ensemble du logiciel Pleiades, en mettant l'accent sur ses fonctionnalités clés et ses capacités de modélisation. Nous examinerons les différentes étapes du processus de modélisation, en mettant en évidence les paramètres clés pris en compte, tels que la géométrie de l'école primaire en question, les matériaux de construction, la menuiserie, les scénarios, etc.

### III.2 Présentation du logiciel :

#### III.2.1 Le logiciel pleiades (version 5.23.5.0) :

Pleiades est un logiciel de modélisation avancé largement reconnu et utilisé dans le domaine de la simulation thermique dynamique des bâtiments. Développé par Izuba Energie, le logiciel Pleiades dispose d'une interface conviviale et intuitive, facilitant la création et la manipulation de modèles de bâtiments, ce dernier offre des fonctionnalités et des outils visant à permettre à ses utilisateurs d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Il fournit des moyens de modélisation, de simulation et d'analyse pour évaluer les performances énergétiques des bâtiments, identifier les domaines d'amélioration potentiels et permet de mettre en œuvre des stratégies de conception plus efficaces.



Figure III. 1: Interface introductive du logiciel pleiades

## III.2.2 Le logiciel Meteonorm (version 8.0.3) :

Meteonorm est un logiciel qui permet d'accéder et de modéliser des données météorologiques. Son objectif principal est de fournir des informations météorologiques précises et détaillées pour différents emplacements à travers le monde. Les utilisateurs peuvent obtenir des données climatiques essentielles telles que la température, l'ensoleillement, l'humidité, la vitesse du vent, les précipitations, ect. Ces informations sont cruciales dans de nombreux domaines, tels que la conception de bâtiments. Meteonorm offre une base de données complète et des fonctionnalités avancées pour analyser, traiter et visualiser les données météorologiques.

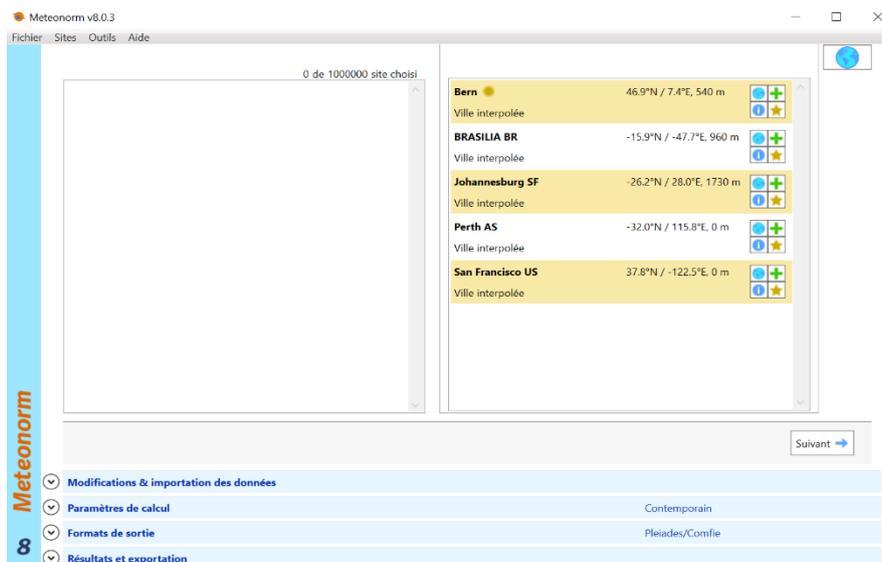


Figure III. 2 : Interface introductive du logiciel meteonorm

### III.3 Processus de la simulation avec Pleiades :

La réalisation de la STD se déroule suivant les étapes ci-dessous :

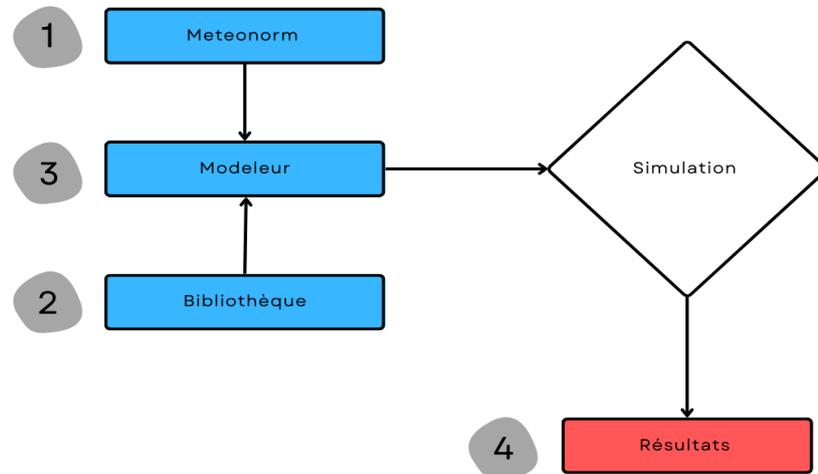


Figure III. 3 : Schéma de la méthodologie

- **Meteonorm** : meteonorm est un logiciel dédié à la création de stations météo, cette station météo va permettre à pléiades d'identifier les conditions climatiques extérieur propre à l'emplacement du projet, dans notre cas c'est dans la wilaya de Tizi Ouzou.
- **Bibliothèque** : la bibliothèque permet de créer les compositions de parois, les menuiseries, elle comprend différents types de scénarios préinstallés (chauffage, climatisation, occupation, puissance dissipée, ventilation, occultation) qu'on va régler suivant le projet, les ponts thermiques, elle offre aussi la possibilité de créé des nouveaux matériaux et éléments, offrant une grande flexibilité dans la modélisation des différents éléments du bâtiment
- **Modeleur** : permet de créer un modèle géométrique détaillé du bâtiment en spécifiant les parois déjà créées en bibliothèque (murs extérieurs, murs intérieurs, planchers bas, intermédiaires, hauts, toiture), la station météo, l'orientation du bâtiment et les ponts thermiques. Il offre la possibilité de séparer le bâtiment en zones thermiques distinctes en fonction des besoins, ce qui permet d'assigner chaque scénario à une zone thermique. Les utilisateurs peuvent ajuster les paramètres et visualiser le projet en temps réel.
- **Résultats** : Ensuite, viens la partie résultats où les utilisateurs peuvent analyser en détail les données issues des simulations thermiques dynamiques réalisées avec le logiciel.

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

Ces résultats comprennent les consommations, le taux d'inconfort, les graphes de température, ainsi qu'un rapport détaillé de l'ensemble du projet.

### III.4 Création de la station météo avec meteonorm :

- Entrer les coordonnées géographiques du site de Tizi Ouzou

Information sur le site

**Information générale**

Nom: Tizi Ouzou

Catégorie: Défini par l'utilisateur

Coordonnées: 36.662276 °N Lat, 3.9819 °E Lon, WGS84

Altitude: 456 m a.s.l.

Fuseau horaire: 1 TUC

Référence de temps: -30 min

Situation: Situation ouverte

Figure III. 4 : Coordonnées géographiques de Tizi Ouzou

- Format de sortie du fichier : dans notre cas c'est le format (.try), on sélectionne pleiades/comfie

Meteonorm v8.0.3

Fichier Sites Outils Aide

Sélection des sites: Tizi Ouzou

Modifications & importation des données

Paramètres de calcul: Contemporain

**Formats de sortie: Pleiades/Comfie**

**Formats de sortie**

- Meteonorm**
  - Standard
  - Meteo
  - Standard minute
  - Humidity
  - Science
  - Spectral / UV
  - Standard opt.
- Simulation bâtiment**
  - TRNSYS
  - CH Meteo
  - HELIOS-PC
  - DOE
  - Suncode
  - Match
  - sia 380/1
  - IESOS41
  - EnergyPlus (epw)
  - DYNBIL
  - WUFI Passive/WaVE
  - PHPP 8
  - Pleiades/Comfie
  - sia 2028
  - WUFI / WAC
  - PHLuft
  - IDA ICE
  - IBK-CCM
  - VIP-Energy
- PV**
  - Polysun
  - PVSOL
  - PVsyst
  - PVS
  - Meteo matrix (TISO)
  - PVScout
  - Solinvest
  - SAM
- Energie solaire thermique**
  - Polysun
  - TSOL
  - Solar-Ripp
- Diverse**
  - TMY2
  - TRY (DWD)
  - TRY (DWD) V1.2
  - TMY3
- Utilisateur**
  - Défini par l'utilisateur
  - Modifier données
  - Nouveau

Figure III. 5 : Format de sortie

- Enregistré le fichier (.try) en cliquant sur heure et sauvegarder à l'emplacement souhaité.

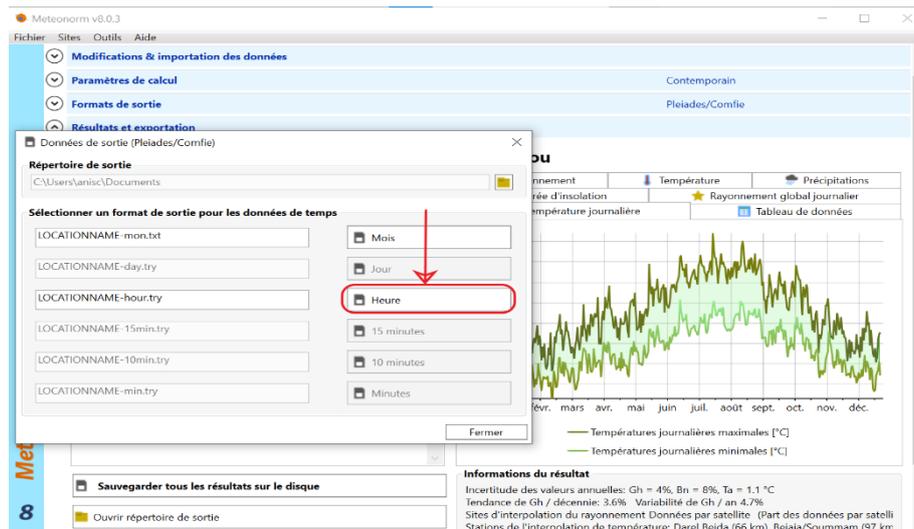


Figure III. 6 : Enregistrement du fichier

## III.5 Saisi des compositions des parois sous pleiades (bibliothèque) :

Dans la partie bibliothèque nous allons créer la composition de chaque paroi

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R				
Mortier de ciment	↓	1,000	22	1,4	0,01	Extérieur ↓ Intérieur			
Brique creuse de 10 cm	↕	10,00	69	0,476	0,21				
Lame d'air > 1.3 cm	↕	1,50	0	0,094	0,16				
Brique creuse de 10 cm	↕	10,00	69	0,476	0,21				
Mortier de ciment	↓	1,000	22	1,4	0,01				
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0,200	2	0,35	0,01				
<b>Mur extérieur, bloc 1 et 2</b>						Total	23.7	184	0.61

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R				
Mortier de ciment	↓	1,000	22	1,4	0,01	Extérieur ↓ Intérieur			
Parpaing de 10	↕	10,00	130	1,111	0,09				
Lame d'air > 1.3 cm	↕	1,50	0	0,094	0,16				
Parpaing de 10	↕	10,00	130	1,111	0,09				
Mortier de ciment	↓	1,000	22	1,4	0,01				
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0,200	2	0,35	0,01				
<b>Mur extérieur, bloc 3</b>						Total	23.7	306	0.37

Figure III. 7 : Mur extérieur, bloc 1, 2, et 3

# CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Béton plein dit "de structure"	↓	30.000	510	1.05	0.29	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
Total		31.2	534		0.31	

Figure III. 8 : Mur de soutènement

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Brique creuse de 10 cm	↓	10.00	69	0.476	0.21	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Mur intérieur, bloc 1 et 2</b>		Total	12.4	117		0.25

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Parpaing de 10	↓	10.00	130	1.111	0.09	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Mur intérieur, bloc 3</b>		Total	12.4	178		0.13

Figure III. 9 : Mur intérieur bloc 1, 2, et 3

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Béton plein dit "de structure"	↓	15.000	255	1.05	0.14	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	3.000	66	1.4	0.02	
Carrelage	↓	2.000	46	1.7	0.01	
<b>Plancher bas, bloc 1, 2, et 3</b>		Total	20	367		0.17

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Carrelage	↓	2.000	46	1.7	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	2.000	44	1.4	0.01	
Béton plein dit "de structure"	↓	4.000	68	1.05	0.04	
Hourdis de 16 en béton	↓	16.00	208	1.231	0.13	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Plancher intermédiaire, bloc 1, 2, et 3</b>		Total	25.2	390		0.21

Figure III. 10 : Plancher bas et intermédiaire, bloc 1, 2, et 3

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	
Résineux légers (sapin et épicéa)	↓	5.080	19	0.12	0.42	Extérieur ↓ Intérieur
Panneau de roseaux	↓	3.500	8	0.056	0.63	
Plâtre gypse	↓	2.000	24	0.42	0.05	
<b>Plancher haut, bloc 1, 2, et 3</b>			Total	10.58	51	1.1

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	
Tuiles	↓	1.000	19	0.8	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Résineux légers (sapin et épicéa)	↓	12.700	48	0.12	1.06	
<b>Toiture inclinée, bloc 1, 2, et 3</b>			Total	13.7	67	1.07

Figure III. 11 : Plancher haut et toiture inclinée, bloc 1, 2, et 3

### III.6 Saisi des menuiseries (bibliothèque) :

Porte     Fenêtre    nb vitrage(s)

Global     Géométrie

Valeurs connues     Valeurs calculées

Hauteur  m    Largeur  m

**Sans protection**  
 Uw vertical  W/(m<sup>2</sup>.K)    Uw horizontal  W/(m<sup>2</sup>.K)    Tl global

Facteur solaire (Sw)      Vitrage spécial

Figure III. 12 : Fenêtre bois simple vitrage

Porte     Fenêtre

Global     Géométrie

Valeurs connues     Valeurs calculées

Hauteur  m    Largeur  m

**Sans protection**  
 Uw vertical  W/(m<sup>2</sup>.K)    Uw horizontal  W/(m<sup>2</sup>.K)

Facteur solaire (Sw)

Figure III. 13 : Porte intérieure en bois

● Porte ○ Fenêtre

Global Géométrie

● Valeurs connues ○ Valeurs calculées

Hauteur 2.04 m Largeur 0.83 m

**Sans protection**

Uw vertical 5 W/(m².K) Uw horizontal 5 W/(m².K)

Facteur solaire (Sw) 0.19

Figure III. 14 : Porte extérieure en bois

● Porte ○ Fenêtre

Global Géométrie

● Valeurs connues ○ Valeurs calculées

Hauteur 2.04 m Largeur 0.83 m

**Sans protection**

Uw vertical 5.8 W/(m².K) Uw horizontal 5.8 W/(m².K)

Facteur solaire (Sw) 0.22

Figure III. 15 : Porte extérieure métallique

### III.7 Saisi du bâtiment :

#### III.7.1 Définition des données de construction :

- Saisi des parois par défaut
- Saisi des états de surface par défaut
- Saisi des ouvrants, de leurs hauteur et largeur par défaut
- Saisi des ponts thermiques par défaut

Les données de construction saisis par défaut doivent ensuite être réajusté dans le plan, à savoir que le projet contient deux compositions pour les murs extérieurs, un mur de soutènement, et deux autres compositions pour le mur intérieur, deux porte extérieure, une en bois et l'autre en métal, mais dans la l'onglet définition des données de construction on a droit qu'à une seule composition pour chaque élément.

# CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

Les ponts thermiques par défaut doivent aussi être revus attentivement dans le plan pour vérifier le bon emplacement de chaque pont thermique.

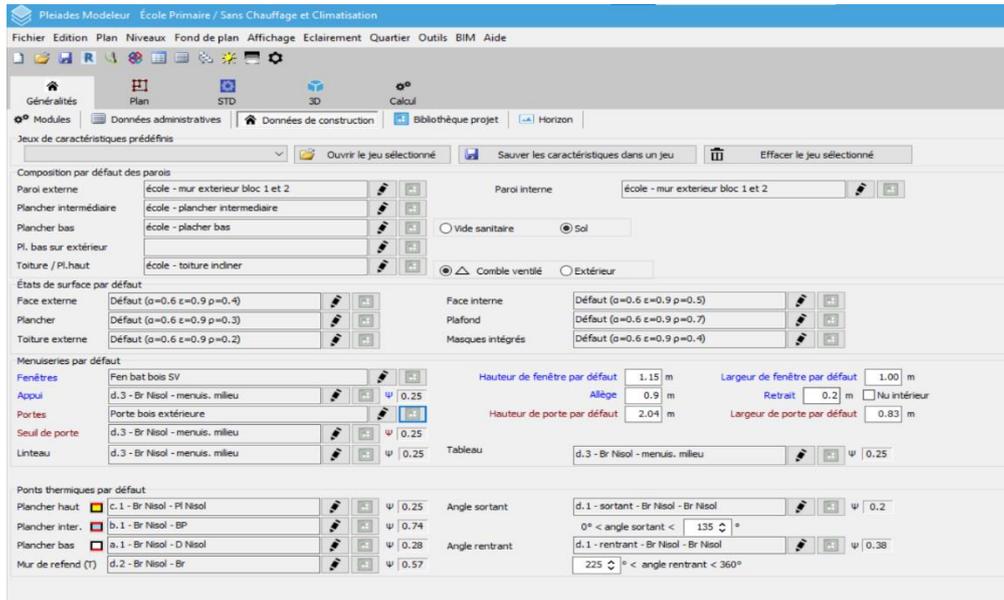


Figure III. 16 : Données de construction

## III.7.2 Représentation géométrique :

- Représentation géométrique de quatre salles d'étude et quatre logements de fonction (bloc 1 et 2) :

### Quatre salles d'études - blocs 2 et 1



### Quatre logements de fonction - blocs 2 et 1

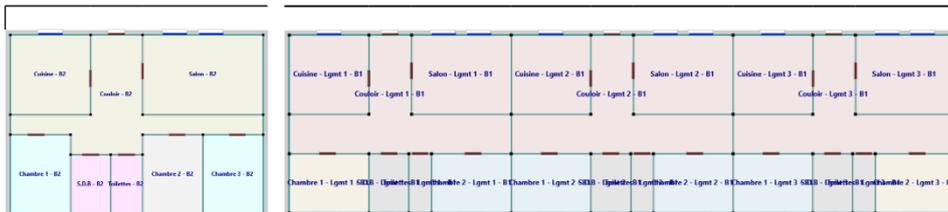


Figure III. 17 : Plan de 4 salles et quatre logements de fonction

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

- Représentation géométrique de la cantine, du bureau et de deux salles d'étude (bloc 3)

:

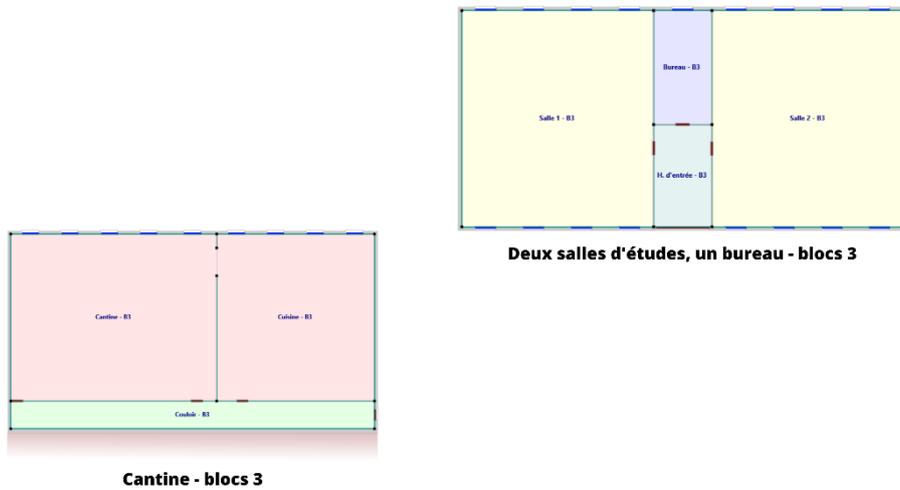


Figure III. 18 : Plan des 2 salles, le bureau, et la cantine

- Vue en 3d :

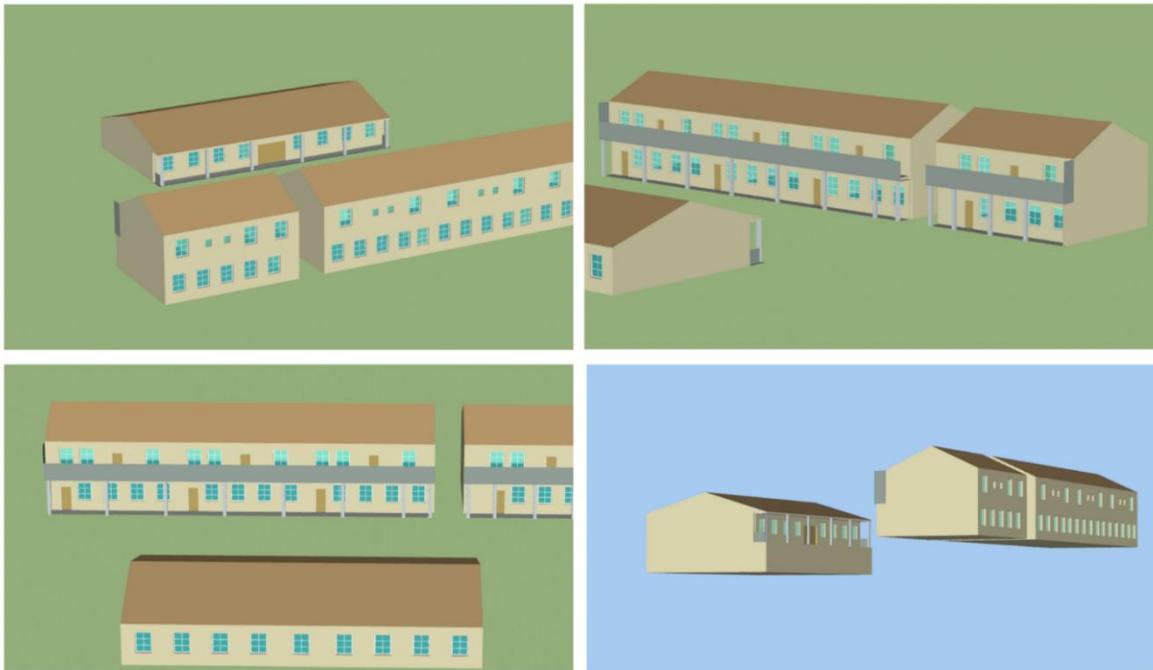


Figure III. 19 : Vue en 3d de l'ensemble des 3 bloc

III.7.2 Définition des zones thermiques :

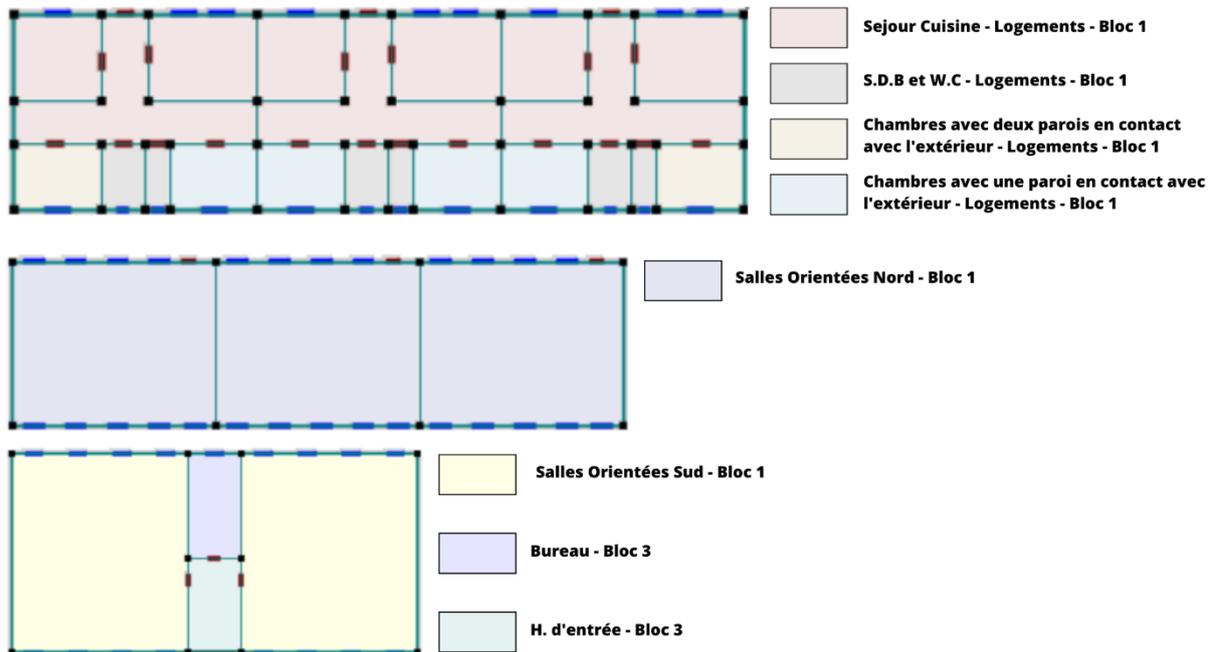


Figure III. 20 : Zones thermiques bloc 1 et bloc 3



Figure III. 21 : Zones thermiques bloque 2 et bloc 3

### III.7.2 Définition des scénarios de fonctionnement :

❖ Scénarios d'occupation :

- Scénarios d'occupations pour les salles d'étude du bloc 1 et 2 :
  - 21 occupants pour chaque classe du bloc 1, ce qui fait pour la zone (salles orientées nord - bloc 1), qui comporte 3 salles d'étude, un nombre d'occupants de 63 occupants, avec une présence de 8h à 16h et une non présence de midi à 13h. pour la journée du mardi la présence est de 8h à 12h, et les weekends pas de présence.
  - 21 occupants pour la zone (salle orientée nord - bloc 2), qui comporte une salle d'étude, avec une présence de 8h à 16h, et une non présence de midi à 13h. pour la journée du mardi la présence est de 8h à 12h, et les weekends pas de présence.

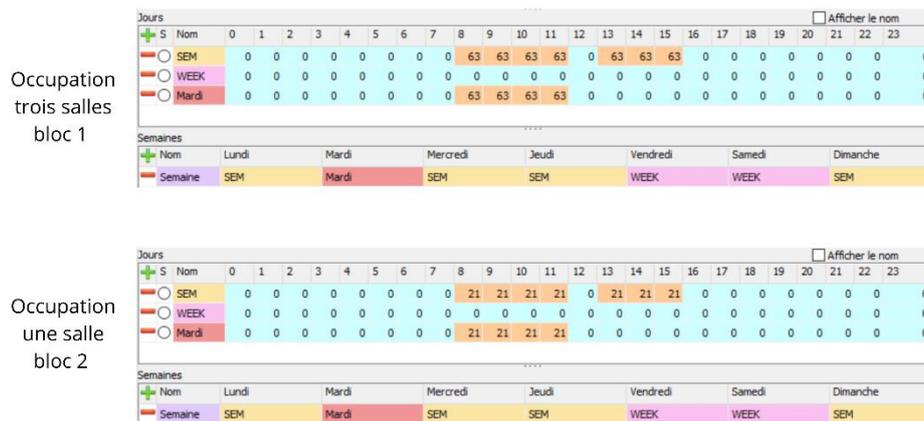


Figure III. 22 : Occupation Salles d'étude bloc 1 et 2

- Scénarios d'occupation pour les salles d'étude du bloc 3 et de la cantine :
  - 31 occupants pour chaque salle du bloc 3, ce qui fait pour la zone (salles orientées sud - bloc 3), qui comporte 2 salles d'étude un nombre de 62 occupants, avec une présence de 8h à 16h sauf de midi à 13h. pour la journée du mardi la présence est de 8h à 12h, et les weekends pas de présence.

### CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

- 75 occupants pour chaque service pour la cantine (cantine - bloc 3) de 12h à 13h, une présence de 5 personnes, comportant le cuisinier et le personnel travaillant dans la cantine de 9h à 12, et non présence pour les weekends.

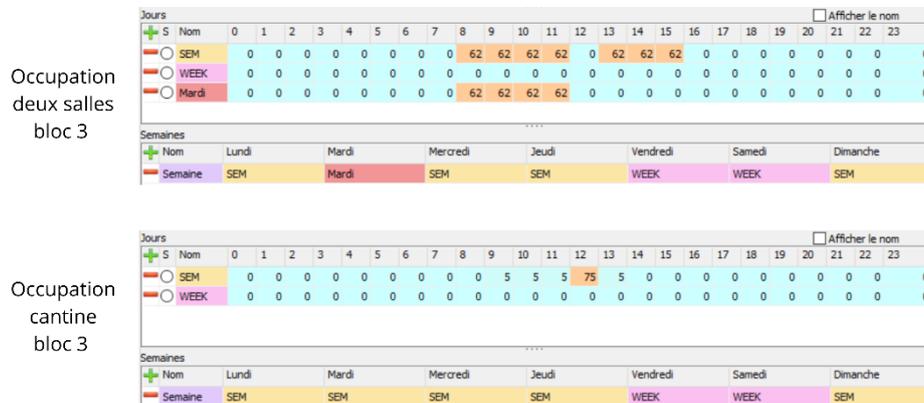


Figure III. 23 : Occupation salles d'étude et cantine bloc 3

- Scénarios d'occupation du bureau :
- 2 occupants pour la zone (bureau - bloc 3), qui comporte un seul bureau, avec une présence de 8h à 17 et une non présence de midi à 13h. Le jour du mardi on admet une présence de 8h à 14h et une pause déjeuner a midi, et une non présence pour les weekends.



Figure III. 24 : Occupation du bureau

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

- Scénarios d'occupation pour les chambres et les séjours-cuisines de chaque logement
- Pour les logements on admet une présence de 2 occupants de 21h à 7h pour chaque chambre.
- 2 occupants présent de 7h à 8h, de midi à 13h, et de 17h a 22h pour chaque séjour-cuisine de chaque logement.

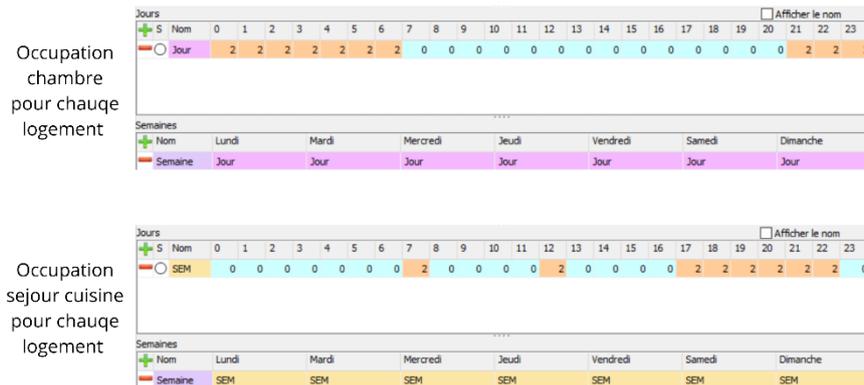


Figure III. 25 : Occupation des chambres et séjours cuisines de chaque logement bloc 1 et 2

### ❖ Scenarios de puissances dissipées :

- Puissance dissipées pour les salles d'étude du bloc 1, 2, et 3 :
- Le bloc 1 contient 3 salles d'études, le bloc 2 contient une salle, et le bloc 3 contient 2 salles d'étude. Pour les puissances dissipées des salles d'étude c'est uniquement de l'éclairage avec 25 w pour chaque lampe néon.

# CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

Salle orientée nord  
bloc 2

Jours		Afficher le nom																								
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
+	SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	125	125	75	75	75	0	75	75	75	0	0	0	0	0	0	0	0
-	WEEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-	MARDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Semaines		Afficher le nom						
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Salles orientée sud  
bloc 3

Jours		Afficher le nom																							
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
+	SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	250	250	150	150	150	0	150	150	150	0	0	0	0	0	0	0
-	WEEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	MARDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines		Afficher le nom						
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Salles orientée nord  
bloc 1

Jours		Afficher le nom																							
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
+	SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	375	375	225	225	225	0	225	225	225	0	0	0	0	0	0	0
-	WEEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	MARDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines		Afficher le nom						
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Figure III. 26 : Puissances dissipées des salles d'étude

- Puissances dissipées du bureau et de la cantine :
  - Pour les puissances dissipées du bureau, l'éclairage avec 25 w pour chaque lampe néon, 80 W pour le pc, 40 w pour l'écran, auxiliaires 30 w.
  - Pour la cantine, le four dissipe 400 w, et 25 w pour chaque lampe néon.

Bureau  
bloc 3

Jours		Afficher le nom																							
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
+	SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	25	175	175	175	175	0	175	175	175	175	0	0	0	0	0	0
-	WEEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	MARDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines		Afficher le nom						
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Cantine  
bloc 3

Jours		Afficher le nom																							
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
+	SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	150	50	50	450	450	200	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	WEEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines		Afficher le nom						
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	SEM	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Figure III. 27 : Puissance dissipée de la cantine et du bureau

### CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

- Puissances dissipées des chambres et des séjours-cuisines de chaque logement :
  - Pour chaque chambre de chaque logement, on admet 2 w pour le réveil, et 52 w pour l'éclairage
  - Pour chaque séjour-cuisine de chaque logement, on admet une puissance dissipée permanente de 90 w pour le réfrigérateur, 100 w de 7h à 8h, 300 w de 12h à 13h, 400 w de 19h à 20h et 200 w de 20h à 21h pour la cuisson, et 50 w pour l'éclairage.

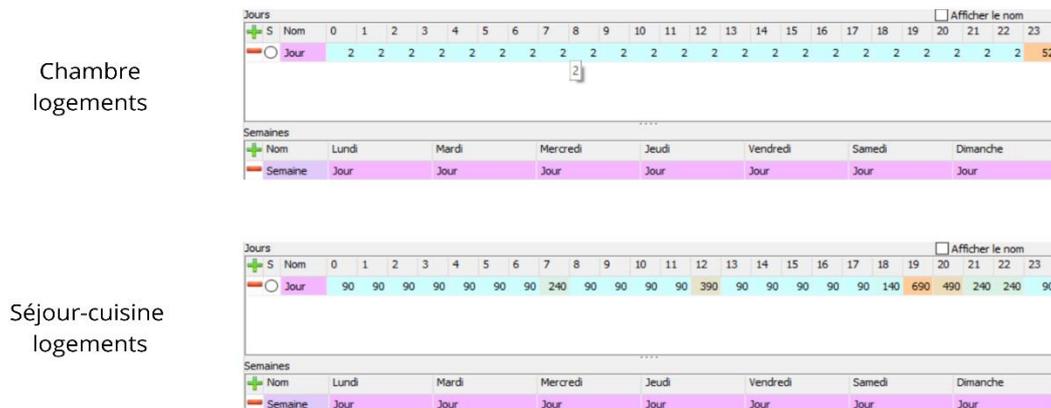


Figure III. 28 : Puissance dissipée de chaque chambre et séjour-cuisine de chaque logement

❖ Scenarios de consigne de température :

Les scénarios de température ont pour rôle d'activer le système de chauffage ou de climatisation lorsque la température ambiante sort de l'intervalle prédéfini. Elles permettent d'évaluer les besoins en chauffage et en climatisation.

- Consigne de chauffage pour l'école (enseignement) :
  - Chauffage à 20 °C de 8h à 17h et programmation d'un ralenti à 16 °C pour les weekends, et de 14h à 6h le mardi, et de 17h à 6h les autres jours de la semaine, et un relance palier de 5h du matin degré par degré 5h=>17 °C, 6h=>18 °C, 7h=>19 °C

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

S	Nom	Valeur	Unité
<input checked="" type="radio"/>	Valeur	20	°C
<input type="radio"/>	Valeur 1	16	°C
<input type="radio"/>	Valeur 2	18	°C
<input type="radio"/>	Valeur 3	19	°C

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<input type="radio"/>	SEM	16	16	16	16	16	16	17	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	16	16	16	16	16	16
<input type="radio"/>	WEEK	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
<input checked="" type="radio"/>	MARDI	16	16	16	16	16	16	17	18	19	20	20	20	20	20	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

S	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input checked="" type="radio"/>	Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM

Figure III. 29 : consigne de chauffage pour l'école

- Consigne de climatisation pour l'école (enseignement) :
  - Climatisation à 27 °C de 8h à 14h le mardi, et de 8h à 17h les autres jours de la semaine, et une non climatisation pour les weekends.

S	Nom	Valeur	Unité
<input checked="" type="radio"/>	Réduit	27	°C

S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<input type="radio"/>	SEM									27	27	27	27	27	27	27	27	27							
<input type="radio"/>	WEEK									27	27	27	27	27	27										
<input checked="" type="radio"/>	MARDI									27	27	27	27	27	27										

S	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input checked="" type="radio"/>	Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM

Figure III. 30 : Consigne de climatisation pour l'école

- Consigne de chauffage pour les logements de fonction :
  - Chauffage à 20 °C de 7h à 23h et programmation d'un ralenti nocturne à 18 °C, et un relance palier de 6h à 19 °C

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

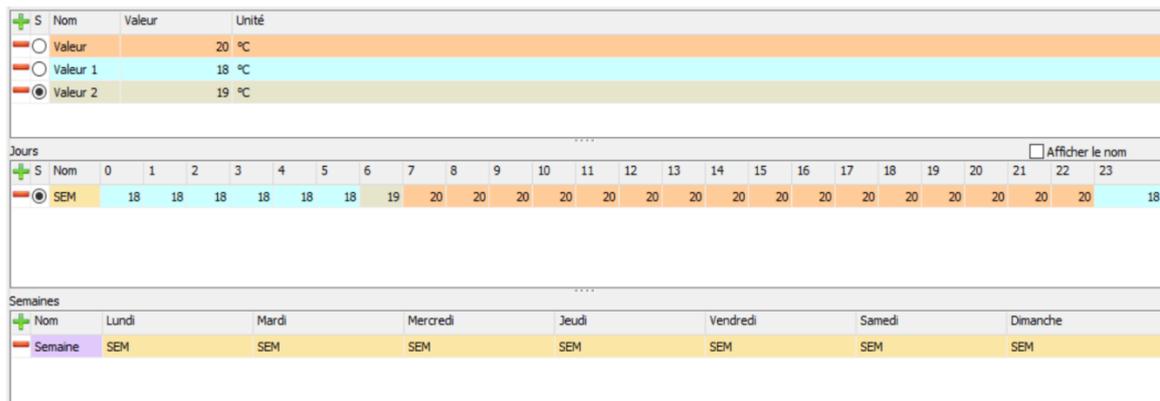


Figure III. 31 : Consigne de chauffage pour les logements de fonction

- Consigne de climatisation pour les logements de fonction :
  - Climatisation à 27 °C pour tous les jours de la semaine

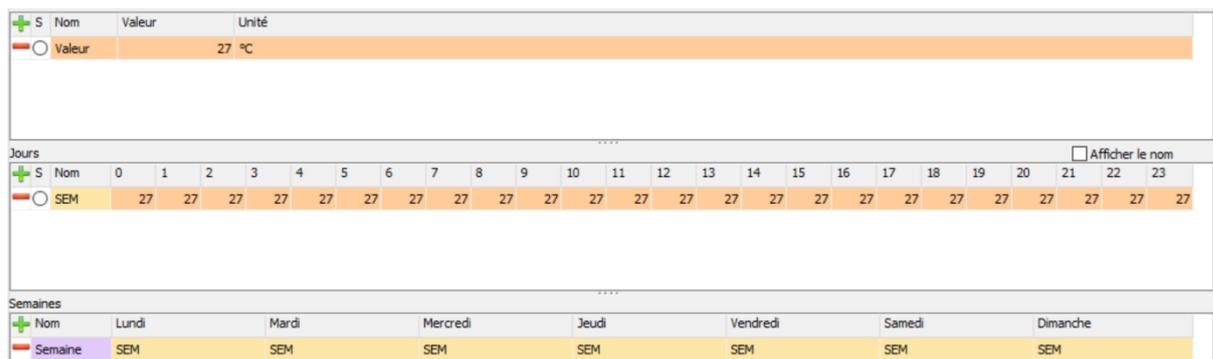


Figure III. 32 : consigne de climatisation pour les logements de fonction

Pas de scénarios pour les vacances concernant l'enseignement à savoir, les salles d'étude, le bureau et la cantine.

Les vacances d'automne commenceront à partir du jeudi 27 octobre (après-midi) jusqu'au dimanche 6 novembre 2022 (matin), les vacances d'hiver débuteront le jeudi 22 décembre 2022 (après-midi) et prendront le dimanche 8 janvier 2023 (matin), tandis que les vacances de printemps débuteront le jeudi 23 mars 2023 (après-midi) et s'achèveront le dimanche 9 avril 2023 (matin), les vacances d'été commenceront, pour les enseignants, le mardi 4 juillet 2023 (après-midi), à travers tout le territoire national. [28].

## CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

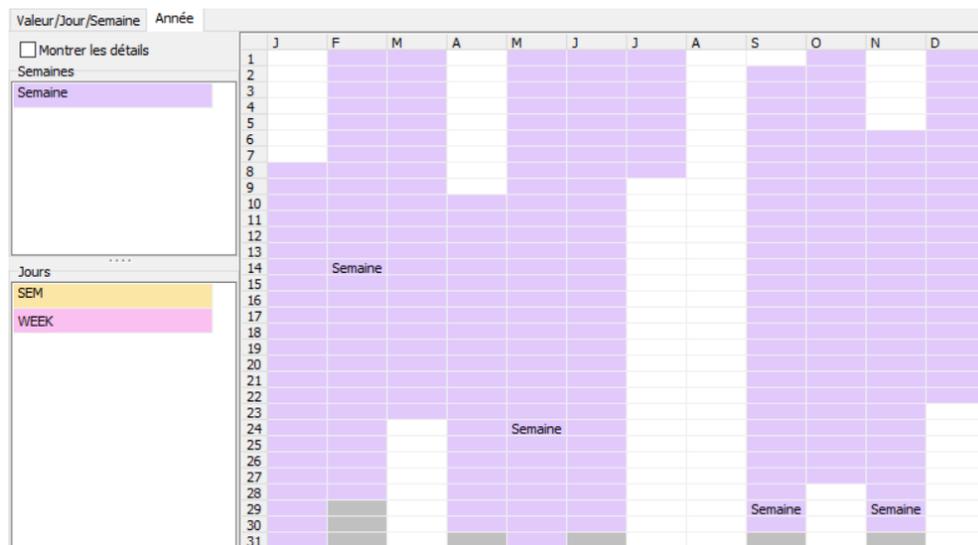


Figure III. 33 : Occupation annuelle de l'école primaire

### ❖ Scenarios de ventilation :

- Scénario de ventilation pour l'école (enseignement)
  - On admet un taux de renouvellement de 1,5 volume/heure pour l'enseignement [29]
  - En été on a 100 % de renouvellement de 19h à 7h et 20 % (infiltration) de 7h à 18h.
  - En hiver on a 100 % de renouvellement de 8h à 10h et 20 % pendant le reste de la journée.
  - Les weekends c'est seulement 20 % d'infiltration.

+		S	Nom	Valeur	Unité
<input type="radio"/>			Valeur	100	%
<input checked="" type="radio"/>			Valeur 1	20	%

+		S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<input type="radio"/>			Jour Été	100	100	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	100	100
<input type="radio"/>			Week	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<input checked="" type="radio"/>			Jour Hiver	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

+		S	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="radio"/>			Été	Jour Été	Jour Été	Jour Été	Jour Été	Week	Week	Jour Été
<input checked="" type="radio"/>			Hiver	Jour Hiver	Jour Hiver	Jour Hiver	Jour Hiver	Week	Week	Jour Hiver

Figure III. 34 : Scénario de ventilation de l'école

### CHAPITRE III : MODÉLISATION AVEC LE LOGICIEL PLEIADES

Dans le cas de la ventilation en été pour l'école (partie enseignement), on remarque qu'à cette période-là de l'année, les élèves sont en vacances mais malgré cela, nous avons introduit un scénario de ventilation pour l'été. Celui-ci est essentiel même dans le cas il ya pas d'occupation, car le renouvellement d'air va permettre d'évacuer l'air stagnant de l'intérieur, car l'accumulation de celui-ci pendant une longue durée peut entraîner une détérioration prématurée des matériaux de construction et des meubles, ce qui peut entraîner des coûts de réparation supplémentaires à long terme. D'un autre côté, Les salles fermées et peu ventilées peuvent favoriser la croissance de moisissures, ce qui peut être préjudiciable à la santé des occupants lorsqu'ils reviennent à l'école. Le renouvellement de l'air pendant les vacances d'été aide à prévenir la croissance excessive de moisissures.

- Scénario de ventilation pour les logements de fonction :
  - On admet un taux de renouvellement de 0,6 volume/heure pour un logement (DTR)
  - En été on a 100 % de ventilation de 19h à 7h, et 20 % le reste de la journée.
  - En hiver on a un renouvellement de 100 % pendant les heures de ménage (de 9h à 11h), et 20 % le reste de la journée.

+	S	Nom	Valeur	Unité
		Valeur	100	%
		Valeur 1	20	%

Jours																										<input type="checkbox"/> Afficher le nom	
+	S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Jour Été	100	100	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	100	100
		Jour Hiver	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Semaines								
+	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Judi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	Été	Jour Été						
	Hiver	Jour Hiver						

Figure III. 35 : Scénario de ventilation pour les logements

### **III.8 Lancement de la simulation :**

La simulation est un outil essentiel pour analyser et étudier le comportement thermique des bâtiments dans des conditions variables. Une fois que les étapes préliminaires ont été vérifiées, il est temps de lancer la simulation. Le premier cas de simulation, va se faire sans consignes de température, qui va nous permettre de connaître l'état réel du bâtiment, et le confort des occupants. Une autre simulation va se faire avec consignes de température, celle-ci va nous permettre de connaître les besoins de chauffage et de climatisation.

### **III.9 Conclusion :**

La modélisation englobe trois aspects essentiels : le site, le bâtiment lui-même (incluant son enveloppe, les matériaux utilisés, etc.) et l'utilisation du bâtiment (y compris les équipements actifs, les occupants, la ventilation, etc.). Les données climatiques horaires, nécessaires pour représenter le site, ont été obtenues à l'aide du logiciel Meteonorm 8.

La géométrie du bâtiment a été soigneusement décrite via l'anglet modeleur. Chaque paroi et ouverture a été saisie en respectant scrupuleusement les dimensions, positions et orientations fournies par le plan du bâtiment, tant pour chaque bloc que pour chaque niveau. Afin de simplifier le modèle, des pièces ont été regroupées en zones thermiques, se distinguant par leurs orientations et leurs interactions.

Tous les scénarios pertinents, tels que les consignes de températures, d'occupation, les puissances dissipées des équipements et les paramètres de ventilation, ont été définis et intégrés dans l'environnement Pleiades.

**CHAPITRE IV**  
**INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET**  
**PROPOSITION DES AMÉLIORATIONS**

## **IV.1 Introduction :**

Ce chapitre se concentre sur la simulation de l'efficacité énergétique passive et son impact sur les besoins énergétiques de l'école. L'objectif principal est d'évaluer les mesures d'efficacité énergétique pouvant être mises en œuvre pour optimiser la performance énergétique.

À travers différentes simulations, nous chercherons à déterminer comment ces mesures influencent les besoins énergétiques du bâtiment de base. La première étape de cette analyse consiste à effectuer une simulation de l'école dans sa configuration initiale, sans aucune modification apportée à ses caractéristiques énergétiques. Cela nous permettra d'obtenir une référence des besoins énergétiques actuels et de comprendre son comportement thermique global.

Ensuite, nous introduirons différentes variantes dans les simulations, en modifiant des éléments tels que l'isolation, les vitrages, les protections solaires, et d'autres caractéristiques pertinentes. Nous aborderons deux types de simulations pour évaluer l'efficacité énergétique passive du bâtiment. Tout d'abord, nous effectuerons une simulation sans consigne de thermostat, où nous examinerons les températures intérieures du bâtiment sans chauffage ni climatisation, cela nous permettra de mesurer l'impact des mesures passives sur le confort thermique à l'intérieur du bâtiment, en évaluant la capacité du bâtiment à maintenir des températures adéquates sans recourir à des systèmes de chauffage ou de climatisation actifs. Ensuite, nous procéderons à une simulation avec consigne de thermostat, où nous prendrons en compte les besoins de chauffage en hiver et de climatisation en été, cette étape nous permettra d'évaluer les besoins énergétiques nécessaires pour maintenir un niveau de confort intérieur optimal, en considérant les scénarios de consigne de thermostat adaptés aux conditions saisonnières.

## **IV.2 Simulation de l'école primaire :**

### **IV.2.1 Résultats de la simulation sans consigne de température :**

Les scénarios de fonctionnement intégré sont :

- Scénarios d'occupation
- Scénarios de puissances dissipées
- Scénarios de ventilation



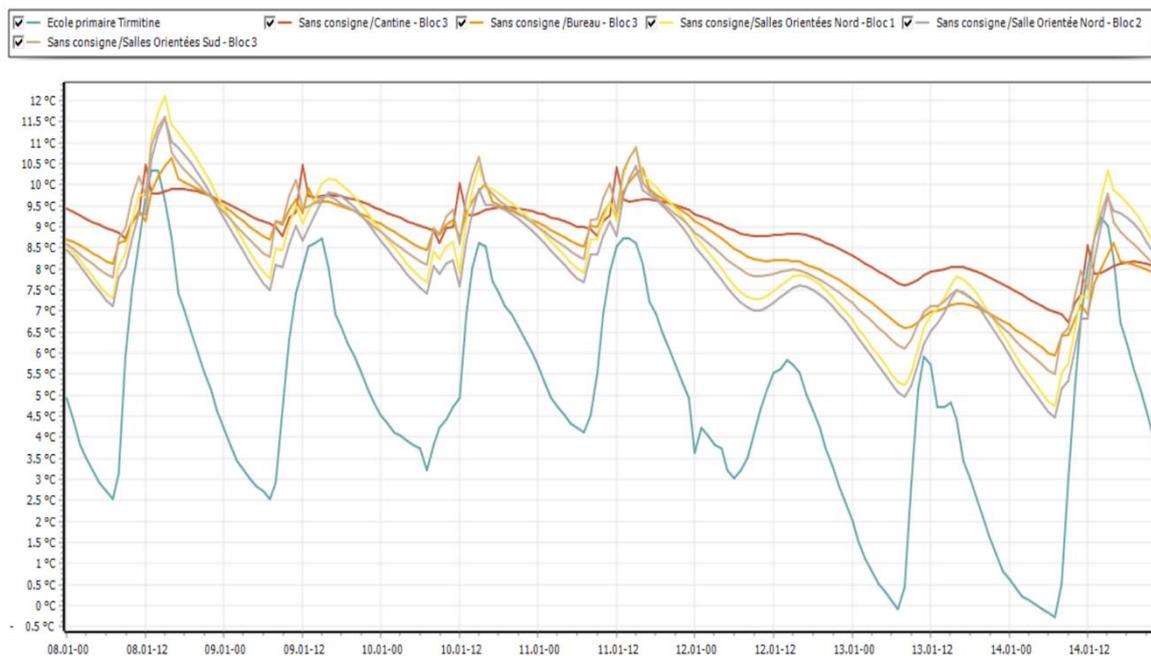


Figure IV. 3 : Graphe de température pour différentes zones de l'enseignement pour la semaine la plus froide (hiver)

Selon les résultats présentés sur la figure, nous avons remarqué que :

- La température extérieure, pendant la semaine la plus froide peut descendre au-dessous de 0 °C, et ça valeur maximale ne dépasse pas 11 °C.
- Les températures intérieures atteignent une valeur maximale d'environ 12 °C, et une valeur minimale de l'ordre de 4,5 °C dans certaines zones, et c'est températures sont étroitement liées à la température extérieure. Lorsque la température extérieure baisse (notamment la nuit), les températures des zones diminuent également. De même, lorsque la température extérieure augmente, les températures des zones augmentent également. Cette relation directe démontre l'influence de la température extérieure sur les températures internes, révélant ainsi leur corrélation thermique.
- On remarque aussi que les températures intérieures sont évidemment plus élevées que les températures extérieures, et c'est dû au fait que les façades vitrées provoquent le phénomène d'effets de serre, les particules qui pénètrent à travers ces façades vitrées se retrouve coincé à l'intérieur ce qui augmente la température. C'est dû aussi à cause des apports internes (métabolisme humain, puissances dissipées des différents appareils).

- Pendant les périodes nocturnes, l'observation révèle que malgré des températures extérieures pouvant descendre en dessous de 0 °C, la température à l'intérieur reste largement supérieure à celle de l'extérieur, la température minimale des zones est dans ce cas-là est de l'ordre de 4,5 °C, celle-ci est attribuée pour la salle orientées nord du bloc 2. Cette caractéristique est associée à l'effet de l'inertie thermique de l'enveloppe, qui est déterminé par la capacité thermique du matériau à emmagasiner de la chaleur.
- Pendant le weekend, on observe une variation de température qui oscille entre 4,5 et 9 °C, phénomène qui peut être attribué à l'absence des occupants et à la dissipation de puissance réduite des appareils non utilisés. Cependant, il convient de noter que malgré ces variations, les températures intérieures demeurent supérieures à celles de l'environnement extérieur en raison de l'effet de l'inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment, qui conserve une quantité de chaleur préalablement stockée.
- Les jours de semaine se caractérisent par des pics de température dus à l'absence des occupants et à la réduction de la dissipation de la puissance des appareils pendant la pause déjeuner (12h - 13h).
- Les températures des trois salles orientées nord bloc 1, et la salle orientée nord bloc 2 ont une diminution et une augmentation plus importante par rapport au deux salles orientées sud et le bureau bloc 3, c'est dû au fait que les salles du bloc 1, et 2 ont une plus grande surface vitrée, donc plus de déperditions la nuit et plus d'apports externes le jour, c'est du aussi au fait que le plancher haut des salles et bureau du bloc 3 dispose d'une isolation intérieure a base de panneaux de roseaux, ce qui n'est pas le cas pour les salles du bloc 1, et 2.
- Les variations de température pour la cantine sont moindres par rapport au reste de l'école, ça s'explique par le fait que la cantine se situe dans le sous-sol, et ce dernier est naturellement isolés sous terre, réduisant les variations de température avec l'extérieur. En plus des planchers en béton, la cantine dispose aussi d'un mur de soutènement fait intégralement avec du béton, qui a une forte inertie thermique, régulant les changements de température. Moins exposés aux éléments extérieurs, les sous-sols subissent moins de fluctuations de température.

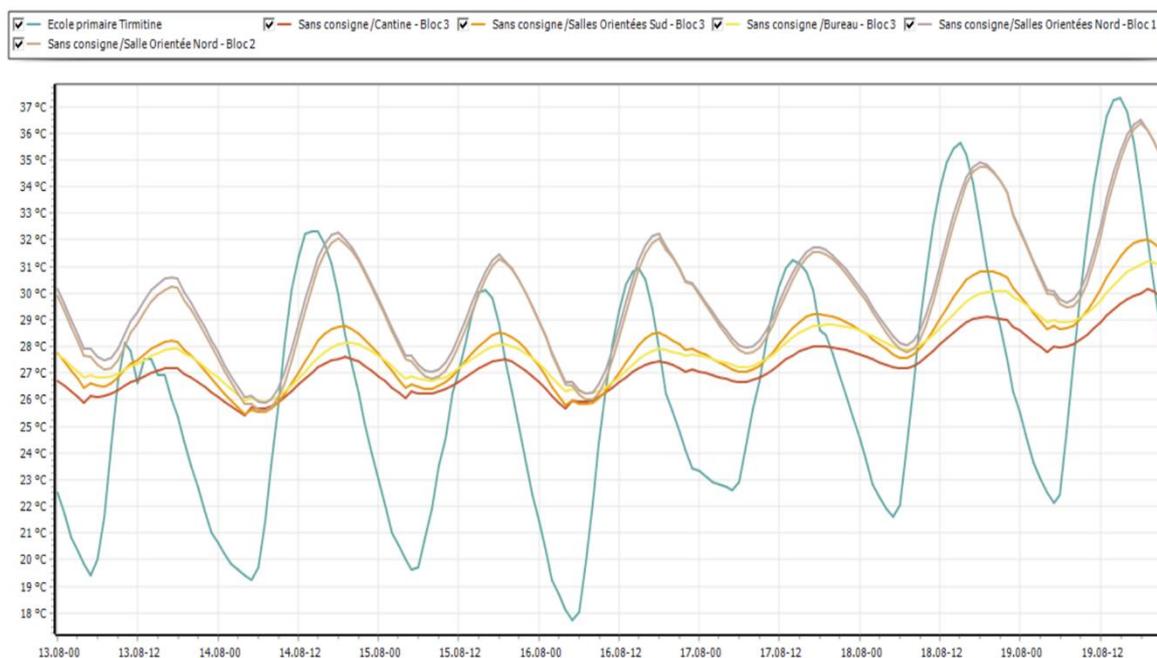


Figure IV. 4 : Graphe de température pour différentes zones de l'enseignement pour la semaine la plus chaude (été)

Selon cette figure, on remarque que :

- La température extérieure maximale pendant la semaine la plus chaude, atteint une valeur de 37,3 °C, et la température minimale ne descend pas au-dessous de 17,8 °C.
- On observe que les températures intérieures des trois salles du bloc 1, et la salle du bloc 2 sont pour la plupart du temps, supérieures à la température extérieure, dans la journée du 16 août, pendant la journée, les températures intérieures de ces salles ont atteint 32,2 °C pour une température extérieure maximale de 31°C, la même chose pour la journée du 15, les températures intérieures de ces salles atteignent 31,2 °C, pour une température maximale de 30 °C, et c'est plus au moins la même chose pour les autres jours, sauf pour les deux derniers jours de la semaine, cette supériorité peut s'expliquer par le manque d'isolation et la présence d'un nombre de surface vitrée sans protection solaire plus important qui contribuent à l'accumulation de la chaleur notamment à cause de l'effet de serre, cela peut entraîner une augmentation de la température intérieure qui dépasse celle de l'extérieur.
- Pour le bureau et les deux salles du bloc 3, on observe que les températures intérieures de ces derniers sont inférieures par rapport à la température extérieure, vu que pendant

cette période de l'année c'est les vacances donc la présence d'apports internes est quasi nulle. D'autre part, le plancher haut du bloc 3 possède une isolation intérieure à base de panneaux de roseaux ce qui augmente sa résistance.

- Pour le cas de la cantine, qui se situe dans le sous-sol on peut voir que la variation de température intérieure est un peu plus stable par rapport aux autres zones, car cette dernière bénéficie premièrement de la fraîcheur du sol, et de par son sol est ces ouvrages en béton plein (planchers et mur de soutènement en béton), ces derniers aident à la régulation de la température. Sa température maximale est de 30 °C pendant la journée du 19 août, et sa température minimale est 25 °C pendant la nuit du 14 août.
- Logements de fonction :
  - Cette partie comprend quatre logements, un dans le premier étage du bloc 2, et trois dans le premier étage du bloc 1.

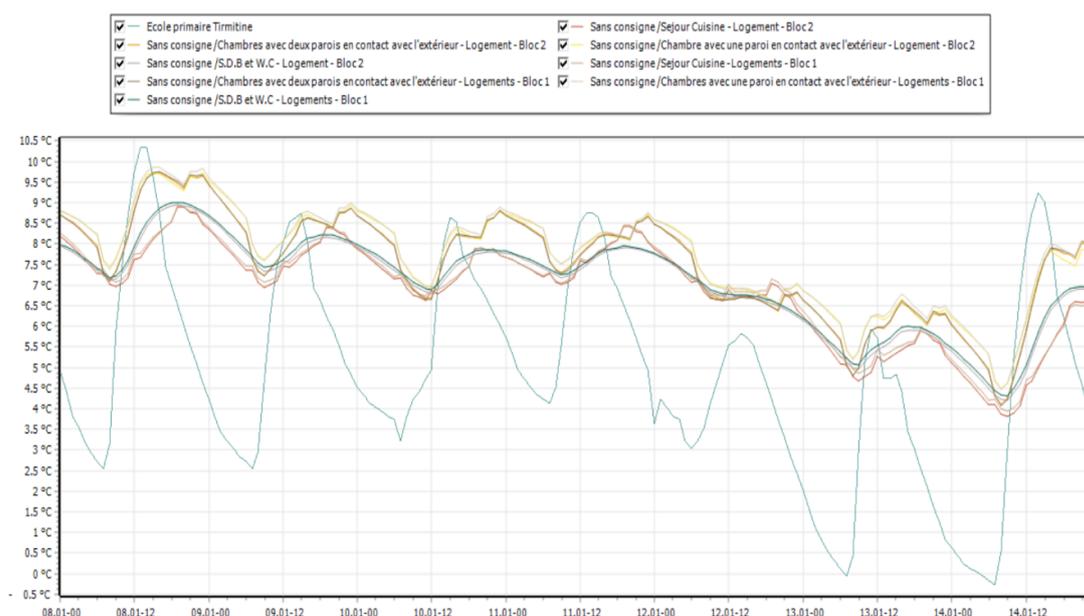


Figure IV. 5 : Graphe de température pour différentes zones des logements de fonction pour la semaine la plus froide (Hiver)

Selon cette figure on remarque que :

- Les températures des séjours cuisines sont pour la plupart du temps inférieure à la température extérieure pendant la journée, leurs températures maximale est de 9°C pour la journée du 8 janvier, et une températures minimales de 3,7 °C pendant la nuit du 14

janvier et sont également inférieures aux températures des autres pièces, cela peut s'expliquer par leurs orientations nord, donc un rayonnement solaire limité et par l'effet de refroidissement nocturne, les séjours cuisines sont orientés nord, ce qui signifie que ces pièces reçoivent moins de lumière solaire directe, et que pendant la nuit, les températures ont tendance à baisser, surtout pendant les périodes froides de l'année. Donc Si les pièces sont orientées nord est moins isolées, ce qui est le cas, celle-ci peuvent être plus sensible à cet effet de refroidissement nocturne, ce qui peut expliquer une température intérieure inférieure à celle de l'extérieur pendant la journée.

- Les températures des chambres du logement du bloc 2, et des trois logements du bloc 1, pendant la journée, sont quant à elles pour la plupart du temps légèrement supérieure à la température extérieure, la raison est que ces pièces sont tout d'abord orientées sud donc plus d'apports solaire pendant la journée, ajouter à cela les apports interne donc une augmentation de la température intérieure. Les températures maximales pour ces zones sont de 9,8 °C, pendant la journée du 8 janvier, et leurs températures minimales descend jusqu'à 4,2 °C pendant la nuit du 14 janvier.
- Malgré leurs orientations au sud, les températures des salles de bain et toilettes pendant la journée, sont pour une grande partie du temps inférieures à la température extérieure, cela peut s'expliquer par une absence d'isolation, le refroidissement nocturne, et le manque d'apports internes.
- On remarque aussi des pics de température sauf pour les S.D.B et WC, dû au apports internes

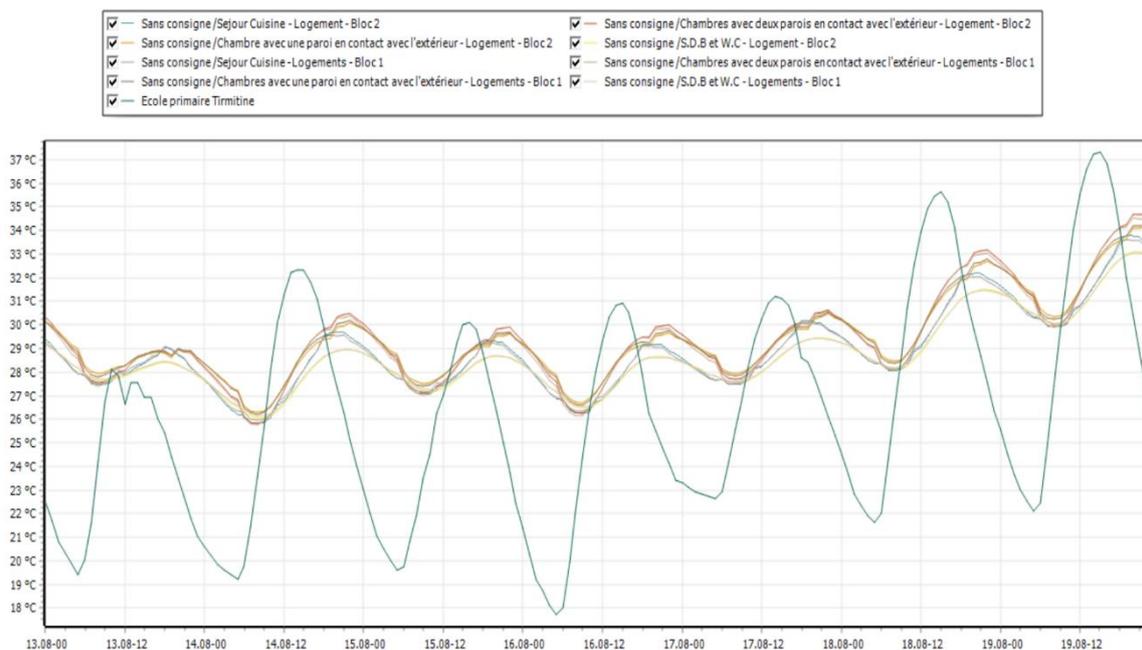


Figure IV. 6 : Graphe de température pour différentes zones des logements de fonction pour la semaine la plus chaude (été)

Selon cette figure on remarque que :

- On peut voir que les températures sont dans la majeure partie du temps inférieure à la température extérieure. En été, pendant la nuit le scénario de ventilation est à 100 %, donc les logements bénéficient d'un rafraîchissement nocturne, cette fraîcheur peut être conservée pendant un certain temps de la journée, et les murs aussi vont à leur tour emmagasiné de la fraîcheur, ce qui peut expliquer la baisse de température intérieure par rapport à l'extérieur pendant la journée.
- La température maximale pour la zone séjour cuisine du bloque 2, et séjour cuisine du bloc 1 est de 33,7 °C pour la journée du 19 août, et une température minimale de 25,8 °C pour la nuit du 14 août.
- La température maximale pour les chambres, est de 34,7 °C pour la journée du 19 août, et une température minimale de 26 °C pour la nuit du 14 août.
- Les températures des séjours cuisines sont inférieures à celles des chambres du fait de leurs orientations au nord, ils sont moins exposés au rayons du soleil, par rapport au chambres qui sont orientées sud.
- Pour les S.D.B et W.C leurs températures semble être inférieures par rapport aux autres pièces malgré leur orientation sud, c'est par ce que celle-ci ne dispose quasiment pas

d'apports internes, et leurs surfaces vitrées sont réduites. La température maximale pour les zones S.D.B et WC bloc 1, et S.D.B et WC bloc 2 est de 30 °C pour la journée du 19 août, et une température minimale de 26 °C pour la nuit du 14 août.

- On remarque des pics de température pour toute les pièces des logements sauf pour les S.D.B et W.C, à cause de la présence des apports internes pour toute les pièces sauf pour les S.D.B et W.C.

#### **IV.2.2 Résultats de la simulation avec consigne de température :**

Les scénarios de fonctionnement intégré sont :

- Scénarios d'occupation
- Scénarios de puissances dissipées
- Scénarios de ventilation (20 % seulement, c'est-à-dire les infiltrations)
- Scénarios de chauffage, et de climatisation

- Les besoins en chauffage :

La simulation de cas de base de l'école a donné un besoins énergétique annuel équivalent à : 123356 kWh, soit 87 kWh / m<sup>2</sup> pour le chauffage, avec un confort relativement agréable.

- Les besoins de chauffage pour l'enseignement qui comporte un bureau, une cantine, et six salles d'étude est de 57 kWh / m<sup>2</sup>
- Les besoins de chauffage pour les logements de fonction qui comporte quatre logements de fonction est de 165 kWh / m<sup>2</sup>



- Les besoins en climatisation :

La simulation de cas de base de l'école a donné un besoins énergétique annuel équivalent à : 9595 kWh, soit 7 kWh / m<sup>2</sup> pour le rafraichissement, avec un confort relativement agréable.

- Les besoins de climatisation pour l'école (enseignement) est de 2,7 kWh / m<sup>2</sup>
- Les besoins de climatisation pour les logements de fonction est de 17 kWh / m<sup>2</sup>

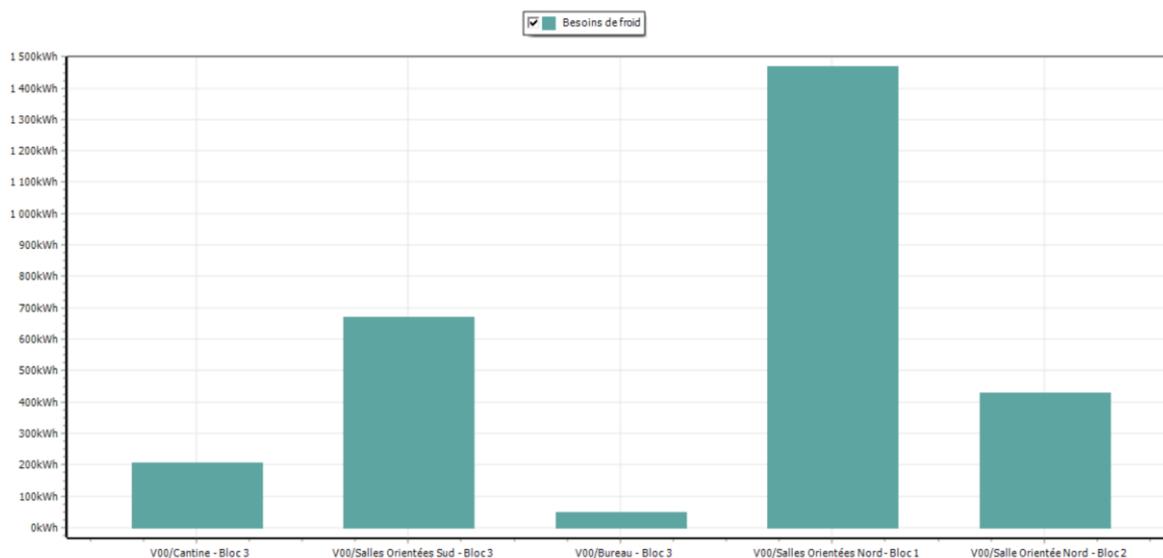


Figure IV. 9 : Besoins de climatisation des différentes zones de l'école (enseignement)

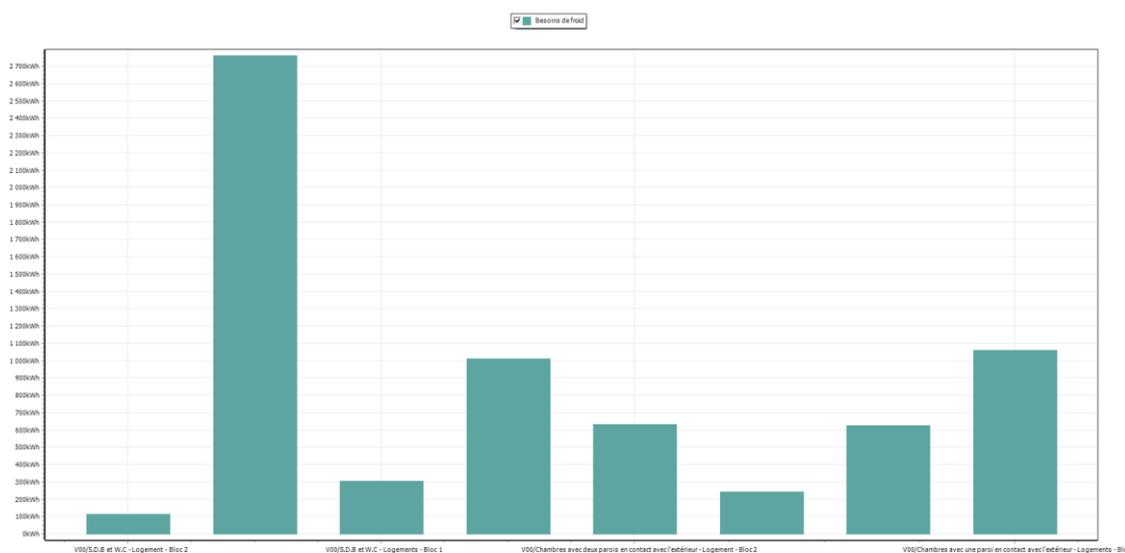


Figure IV. 10 : Besoins de climatisation des différentes zones des logements de fonction

### **IV.3 Simulation de l'école primaire après amélioration :**

Pour garantir le bien-être thermique et réduire la consommation énergétique dans l'école primaire, divers paramètres peuvent être ajustés. Voici les éléments à considérer :

- Réduire le scénario de chauffage à 19 °C
- Isolation performante
- Vitrage performant
- Protection solaire pour les façades les plus exposées au soleil
- Utilisation des énergies renouvelables

#### **IV.3.1. Isolation :**

- Murs extérieurs et planchers :

Nous avons entrepris une isolation extérieure à base de panneaux de laine de bois a haute densité, cette isolation concerne les murs extérieurs des trois blocs.

Pour le plancher bas c'est seulement pour le bloc 1, et 2 avec une isolation intérieure à base de panneaux de liège d'une épaisseur de 12 cm

Dans cette démarche, nous avons procédé une variation paramétrique de l'épaisseur de l'isolation allant de 0 cm (sans isolation) à 25 cm d'épaisseur d'isolant pour les murs extérieurs, et les résultats ont montrés que l'isolation avec une épaisseur de 20 cm est plus cohérente, malgré que l'isolation avec 25 cm reste plus performante, mais cette performance reste néanmoins d'une très petite variation par rapport à une épaisseur de 20 cm, et pour des raisons économiques on a choisi 20 cm d'épaisseur pour les panneaux de laine de bois. Pour les planchers bas du bloque 1 et 2, on a entrepris des panneaux de liège d'une épaisseur de 12 cm.

Pour le plancher bas du bloc 3, à savoir la cantine située au sous-sol, après isolation avec des panneaux de liège on a trouvé une augmentation des besoins, donc on a décidé de ne pas isolé le plancher bas de la cantine, pour profiter pleinement de la fraîcheur et de la régulation thermique du sous-sol.

## CHAPITRE IV : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET PROPOSITION DES AMÉLIORATIONS

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Enduit extérieur	↓	1.000	17	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Laine de bois	↓	20.000	28	0.042	4.76	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Brique creuse de 10 cm	↓	10.00	69	0.476	0.21	
Lame d'air > 1.3 cm	↓	1.50	0	0.094	0.16	
Brique creuse de 10 cm	↓	10.00	69	0.476	0.21	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Total</b>		<b>44.7</b>	<b>229</b>		<b>5.38</b>	

Figure IV. 11 : Composition murs extérieurs bloc 1 et 2 après amélioration

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Enduit extérieur	↓	1.000	17	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Laine de bois	↓	20.000	28	0.042	4.76	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Parpaing de 10	↓	10.00	130	1.111	0.09	
Lame d'air > 1.3 cm	↓	1.50	0	0.094	0.16	
Parpaing de 10	↓	10.00	130	1.111	0.09	
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Total</b>		<b>44.7</b>	<b>351</b>		<b>5.14</b>	

Figure IV. 12 : Composition murs extérieurs bloc 3 après amélioration

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Béton plein dit "de structure"	↓	15.000	255	1.05	0.14	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	3.000	66	1.4	0.02	
Panneau de liège	↓	12.000	14	0.04	3.00	
Mortier de ciment	↓	3.000	66	1.4	0.02	
Carrelage	↓	2.000	46	1.7	0.01	
<b>Total</b>		<b>35</b>	<b>447</b>		<b>3.19</b>	

Figure IV. 13 : Composition plancher bas - Bloc 1 et 2 après amélioration

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R	
Béton plein dit "de structure"	↓	30.000	510	1.05	0.21	Extérieur ↓ Intérieur
Mortier de ciment	↓	1.000	22	1.4	0.01	
Lame d'air > 1.3 cm	↓	1.50	0	0.094	0.16	
Laine de bois	↓	20.000	28	0.042	4.76	
Plâtre courant d'enduit intérieur	↓	0.200	2	0.35	0.01	
<b>Total</b>		<b>52.7</b>	<b>562</b>		<b>5.23</b>	

Figure IV.2 : Composition murs de soutènement bloc 3 après amélioration

### IV.3.2 Fenêtres et portes performantes :

On a remplacé les fenêtres de base de l'école par des fenêtres double vitrage qui ont des caractéristiques de vitrage plus performantes.

On a aussi remplacé les portes extérieures de base par des portes isolantes performantes.

Porte     Fenêtre    nb vitrage(s)

Global     Géométrie

Valeurs connues     Valeurs calculées

Hauteur  m    Largeur  m

**Sans protection**

Uw vertical  W/(m<sup>2</sup>.K)    Uw horizontal  W/(m<sup>2</sup>.K)    Tl global

Facteur solaire (Sw)      Vitrage spécial

Figure IV. 14 : *fenêtres* double vitrage en bois A2+A2 4.12.4

Porte     Fenêtre

Global     Géométrie

Valeurs connues     Valeurs calculées

Hauteur  m    Largeur  m

**Sans protection**

Uw vertical  W/(m<sup>2</sup>.K)    Uw horizontal  W/(m<sup>2</sup>.K)

Facteur solaire (Sw)

Figure IV. 15 : Porte bois isolante performante

### IV.3.3 Protections solaire :

Pour les fenêtres orientées sud du bloc 1 et 2, en à entrepris des débords de fenêtre d'une profondeur de 40 cm.

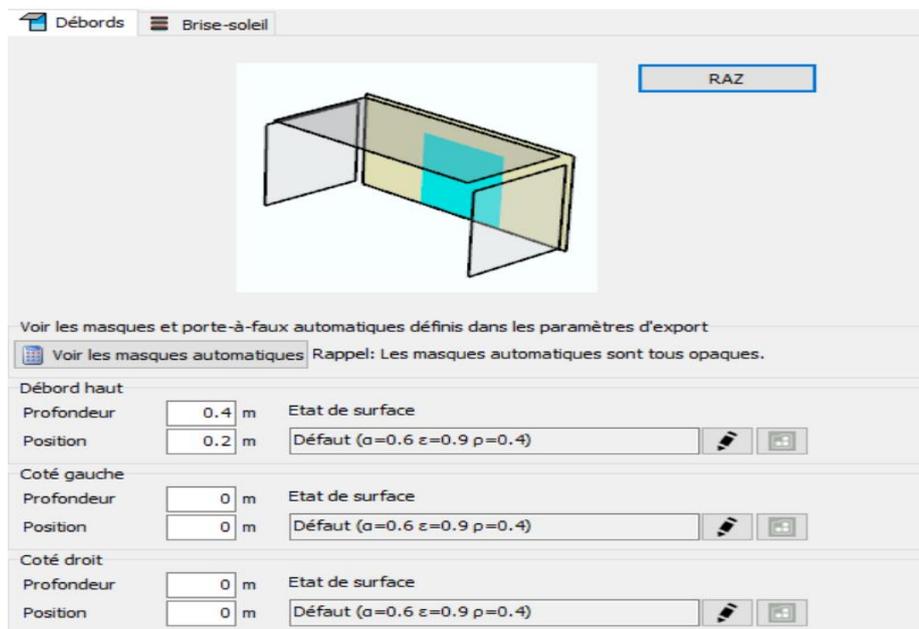


Figure IV. 16 : Débord fenêtre

### IV.3.4 Occultation :

Pour l'occultation on a choisis de faire des volets battants en bois d'une épaisseur ( $e > 22$  mm) pour un scénario standard durant toute l'année.

Ces volets pendant leur fermeture la nuit, vont ajouter une résistance équivalente à  $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{k/w}$

Valeur/Jour/Semaine		Année																									
		Désélection																									
Valeurs																											
+	S	Nom	Valeur	Unité																							
		Fermé	100	%																							
Jours																											
+	S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Jour	100	100	100	100	100	100	100	100														100	100	100	100

Figure IV. 17 : scénario d'occultation

## IV.4 Résultats de la simulation de l'école primaire après amélioration

### IV.4.1 Résultats de la simulation sans consigne de température :

Zones	Besoins Ch	Besoins Ch	Besoins Cli	Besoins Cli	Puiss. Chau	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenn	T° Max
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	W	W	°C	°C	°C
Total	0	0	0	0	0	0	4.5	19.4	35.3
Cantine - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	9.0	19.2	28.6
Couloir - Cantine - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	8.5	19.2	29.5
Salles Orientées Sud - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	8.4	19.6	30.6
Bureau - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	8.6	19.6	29.9
H. d'entrée - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	8.2	19.3	29.6
Salles Orientées Nord - Bloc 1	0	0	0	0	0	0	5.4	20.2	35.3
Salle Orientée Nord - Bloc 2	0	0	0	0	0	0	5.4	19.8	35.3
Sejour Cuisine - Logement - Bloc 2	0	0	0	0	0	0	4.6	18.3	33.0
Chambres avec deux parois en contact avec l'extérieur - Logement - Bloc 2	0	0	0	0	0	0	5.7	19.0	33.1
Chambre avec une paroi en contact avec l'extérieur - Logement - Bloc 2	0	0	0	0	0	0	5.6	19.0	33.3
S.D.B et W.C - Logement - Bloc 2	0	0	0	0	0	0	5.2	18.2	32.1
Sejour Cuisine - Logements - Bloc 1	0	0	0	0	0	0	4.5	18.3	33.2
S.D.B et W.C - Logements - Bloc 1	0	0	0	0	0	0	5.2	18.2	32.1
Chambres avec deux parois en contact avec l'extérieur - Logements - Bloc 1	0	0	0	0	0	0	5.5	18.9	33.1
Chambres avec une paroi en contact avec l'extérieur - Logements - Bloc 1	0	0	0	0	0	0	5.6	19.0	33.3

Figure IV. 18 : résultats de la simulation des températures (sans consigne de température)

D'après cette figure, on remarque que les températures minimales ont augmentées par rapport à la simulation de base (avant l'amélioration), les températures maximales quant à elles ont diminué.

Cela prouve que les stratégies d'amélioration qu'on a réalisées ont fait en sorte de réduire les pertes de chaleur en hiver et empêcher les gains de chaleur excessive en été. Ainsi, après l'isolation, les températures intérieures sont élevées par rapport au cas de base pendant la semaine la plus froide, car l'isolation et les autres stratégies empêchent la chaleur de s'échapper aussi rapidement qu'auparavant.

Pendant la semaine la plus chaude, en ajoutant des isolants thermiques, en améliorant les caractéristiques du vitrage, et autre stratégie, on s'aperçoit que la quantité de chaleur qui entre dans l'école est réduite par rapport à la simulation de base, ce qui permet de maintenir des températures plus fraîches. Les isolants agissent comme une barrière pour limiter la transmission de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur, ce qui réduit les gains de chaleur indésirables.

Cette variation peut se constater sur le tableau des températures mais aussi sur les graphes, si on prend par exemple les graphes de températures de différentes zones de l'enseignement et des logements de fonction, et on les compare avant et après on peut le constater, ce qui est montré par les figures si dessous :

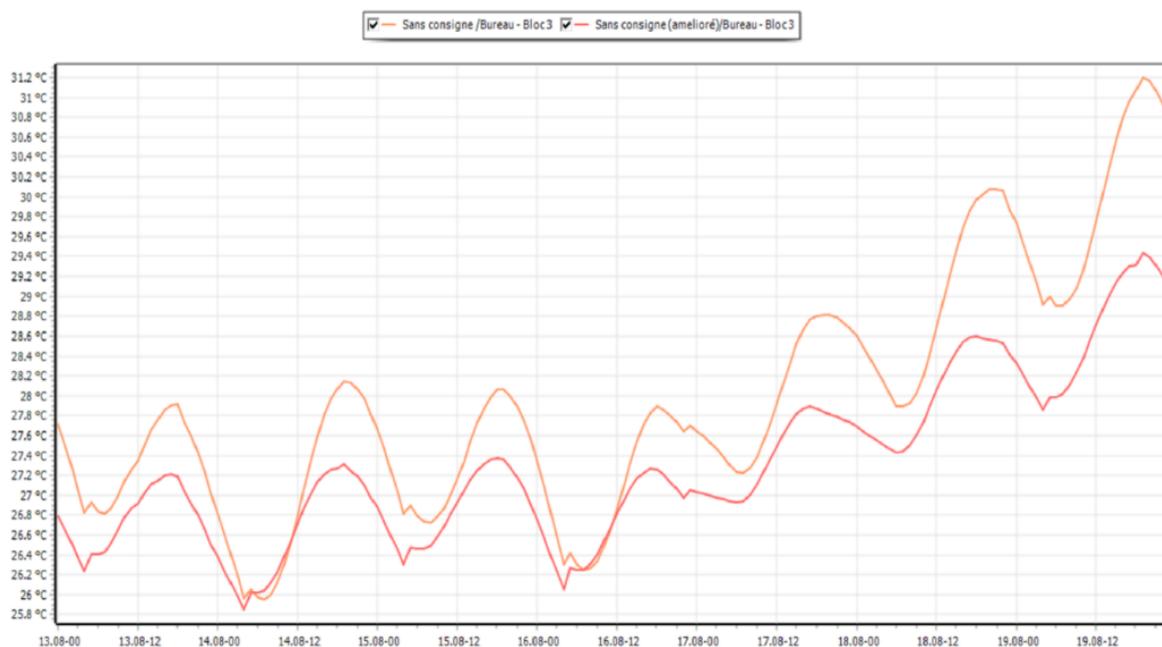


Figure IV. 19 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de la zone bureau du bloc 3 pour la semaine la plus chaude

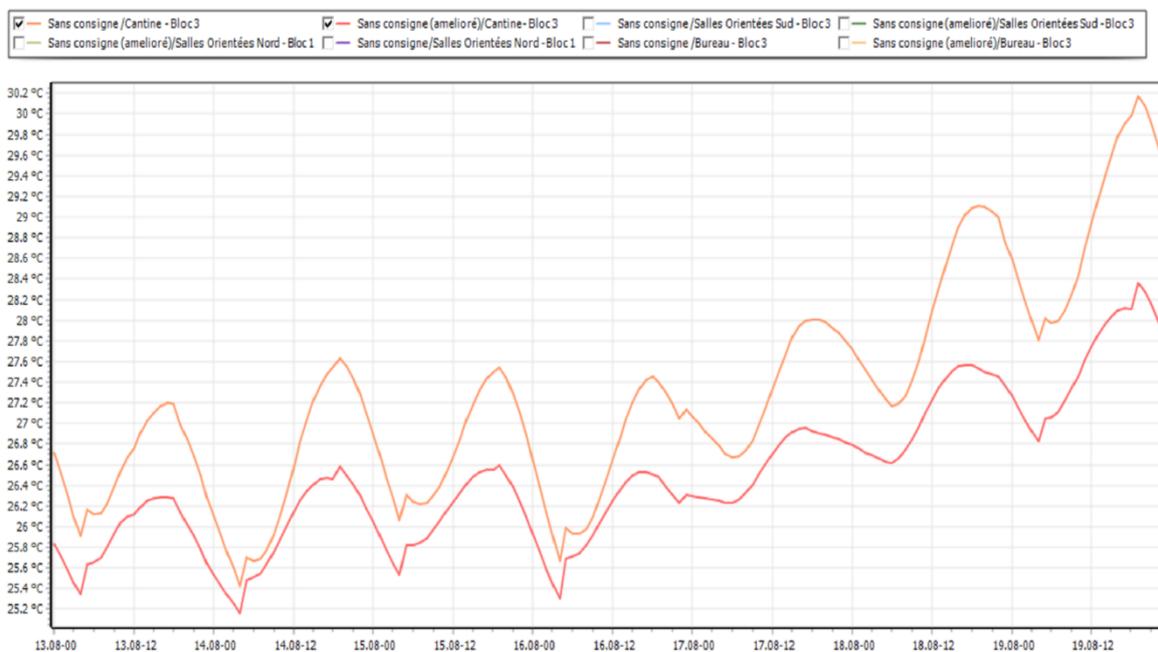


Figure IV. 20 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de la zone cantine du bloc 3 pour la semaine la plus chaude



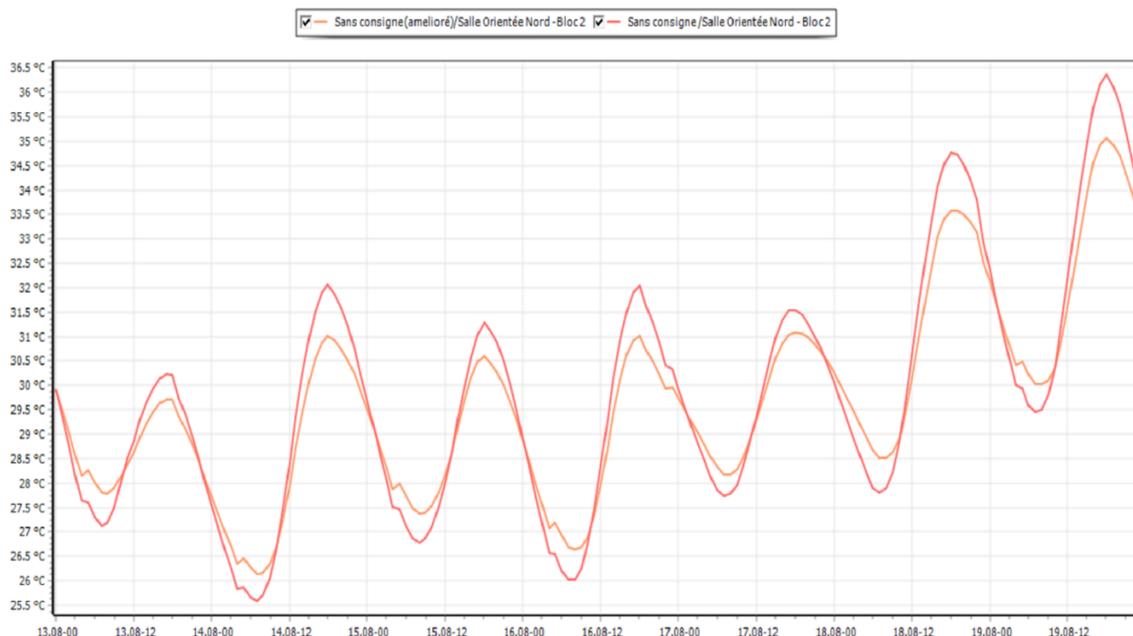


Figure IV.3 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de la zone salles orientées nord du bloc 2 pour la semaine la plus chaude.

On peut voir que les courbes de température de différentes zones de l'école (enseignement) après l'amélioration, et avant l'amélioration. Pendant la semaine la plus chaude, les températures intérieures de différentes zones après l'amélioration descendent de quelques degrés (de 1 à 2,5 °C) par rapport à celles d'avant l'amélioration.

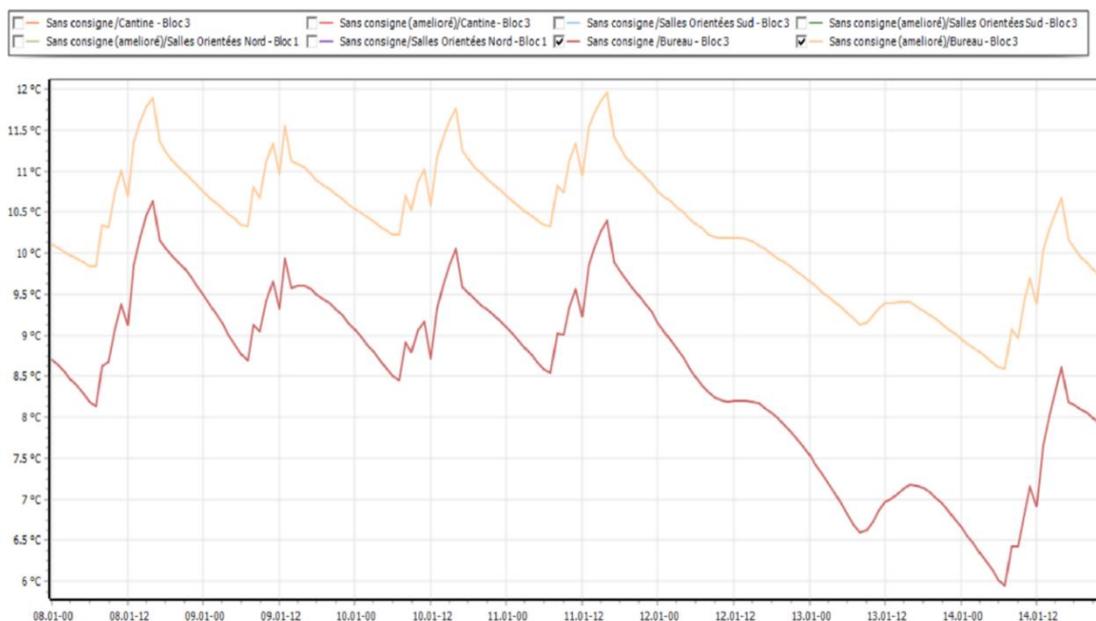


Figure IV. 23 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de la zone bureau du bloc 3 pour la semaine la plus froide





On remarque que les courbes de température de différentes zones de l'école (enseignement) après l'amélioration, et avant l'amélioration. Pendant la semaine la plus froide, les températures intérieures de différentes zones après l'amélioration ont augmenté de 1 à 2,5 degrés par rapport à celles d'avant l'amélioration.

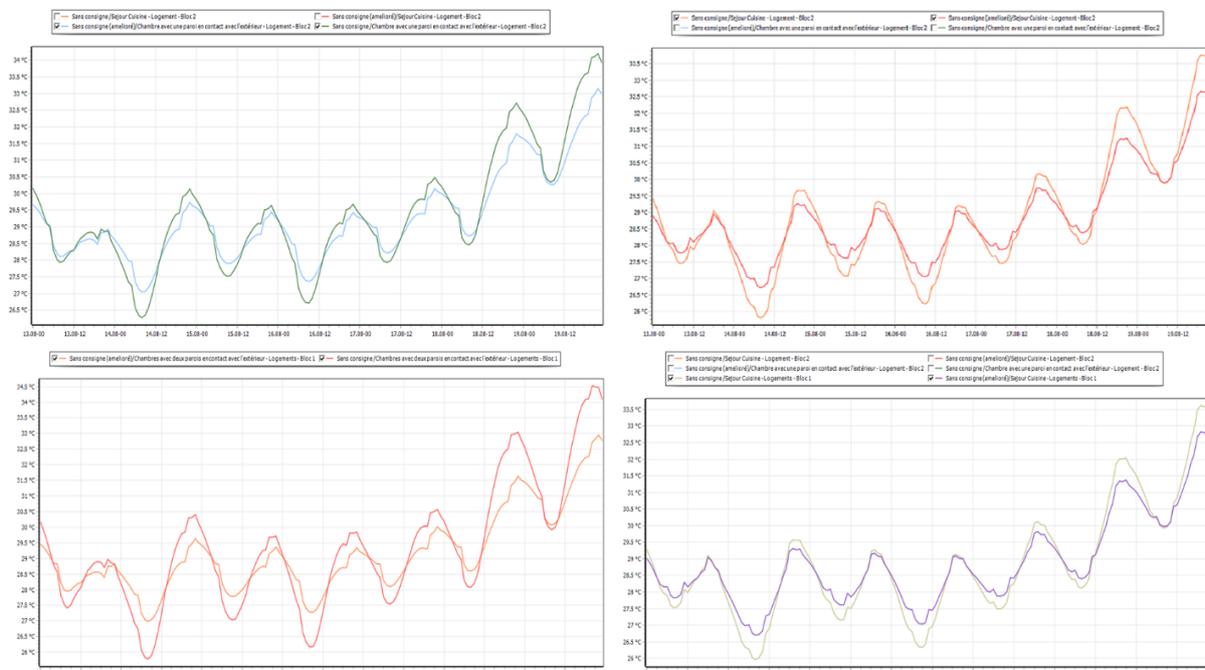


Figure IV. 28 : Graphe de comparaison entre avant et après l'amélioration de différentes zones des logements de fonction pour la semaine la plus chaude

C'est la même chose que pour la partie enseignement, à savoir que Pendant la semaine la plus chaude, les températures intérieures de différentes zones après l'amélioration descendent de (1 à 2 °C) par rapport à celles d'avant l'amélioration.



## CHAPITRE IV : INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET PROPOSITION DES AMÉLIORATIONS

.....

Jours																										<input type="checkbox"/> Afficher le nom
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
+	SEM	16	16	16	16	16	16	17	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	16	16	16	16	16	16	16	
○	WEEK	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
○	MARDI	16	16	16	16	16	16	17	18	19	19	19	19	19	19	16	16	16	16	16	16	16	16	16		

Semaines								
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	MARDI	SEM	SEM	WEEK	WEEK	SEM	

Figure IV. 30 : Nouveau scénario de chauffage pour l'école (l'enseignement)

- Consigne de chauffage pour les logements de fonction :
- Chauffage à 19 °C de 7h à 23h et programmation d'un ralenti nocturne à 18 °C.

Jours																										<input type="checkbox"/> Afficher le nom
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
○	SEM	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19		

Semaines								
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
Semaine	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	

Figure IV. 31 : Nouveau scénario de chauffage pour les logements de fonction

Zones	Besoins Ch	Besoins Ch	Besoins Cli	Besoins Cli	Puiss. Chau	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenn	T° Max
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²	W	W	°C	°C	°C
Total	67 765	48	8 365	6	140 800	70 612	8.2	21.4	35.8
Cantine - Bloc 3	4 396	14	203	1	23 412	10 216	11.7	21.4	29.4
Couloir - Cantine - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	11.4	20.8	30.2
Salles Orientées Sud - Bloc 3	3 138	11	848	3	25 051	10 428	11.1	21.6	30.6
Bureau - Bloc 3	340	15	61	3	2 820	916	11.2	21.6	30.4
H. d'entrée - Bloc 3	0	0	0	0	0	0	11.1	21.2	30.3
Salles Orientées Nord - Bloc 1	14 481	49	1 688	6	41 696	23 167	8.2	21.8	35.7
Salle Orientée Nord - Bloc 2	5 838	52	356	3	15 757	6 807	8.3	21.5	35.8
Sejour Cuisine - Logement - Bloc 2	6 839	108	773	12	5 023	3 196	15.1	21.3	27.0
Chambres avec deux parois en contact avec l'extérieur - Logement - Bloc 2	2 125	92	415	18	2 095	1 171	15.4	21.5	27.0
Chambre avec une paroi en contact avec l'extérieur - Logement - Bloc 2	910	80	205	18	971	554	15.4	21.5	27.0
S.D.B et W.C - Logement - Bloc 2	1 125	115	68	7	923	352	15.2	21.2	27.0
Sejour Cuisine - Logements - Bloc 1	19 764	104	2 329	12	14 550	9 452	15.0	21.3	27.0
S.D.B et W.C - Logements - Bloc 1	2 917	114	182	7	2 470	937	15.2	21.2	27.0
Chambres avec deux parois en contact avec l'extérieur - Logements - Bloc 1	2 134	92	412	18	2 092	1 171	15.3	21.5	27.0
Chambres avec une paroi en contact avec l'extérieur - Logements - Bloc 1	3 757	82	826	18	3 940	2 244	15.4	21.5	27.0

Figure IV. 32 : Résultats de la simulation des températures et des besoins  
(avec consigne de température)

La simulation du cas d'après amélioration de l'école a donné un besoins énergétique annuel équivalent à : 67765 kWh, soit 48 kWh / m<sup>2</sup> pour le chauffage, et un besoins énergétique annuel équivalent à : 8365 kWh, soit 6 kWh / m<sup>2</sup> pour le rafraichissement, avec un confort relativement agréable.

Si on fait les calculs de comparaison entre la consommation de base, et la nouvelle consommation on trouve :

Pour le chauffage, on avait pour le cas de base un besoin énergétique annuelle équivalent à : 123356 kWh, soit 87 kWh / m<sup>2</sup>, donc :

- Gain d'énergie pour le chauffage :

Pour l'école l'amélioration à permis de faire un gain d'énergie pour le chauffage équivalent à 53 %

Pour les besoins des logements, l'amélioration a permis de faire un gain d'énergie pour le chauffage équivalent à 39 %

Ce qui nous donne un gain d'énergie total pour le chauffage de 45 %.

- Gain d'énergie pour le rafraichissement :

Pour les besoins des logements, l'amélioration a permis de faire un gain d'énergie pour le rafraichissement équivalent à 25 %

### **IV.5 Conclusion :**

En conclusion, l'étude du bâtiment a révélé plusieurs lacunes en termes de confort intérieur, avec une température maximale en hiver inférieure à la norme de confort (20°C) atteignant une température minimale de 3,4 °C, et une surchauffe en été pouvant atteindre 36,6°C, entraînant une sensation d'inconfort chez les occupants. Pour remédier à ces problèmes, le recours à des équipements de climatisation et de chauffage est nécessaire, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

Afin d'améliorer le confort et de réduire la consommation d'énergie, nous avons intégré plusieurs paramètres dans le bâtiment de base. Les résultats de simulation suggèrent qu'une combinaison de ces paramètres permet d'atteindre nos objectifs.

Des mesures d'efficacité énergétique passive ont été appliquées au bâtiment de base, notamment l'isolation des murs extérieurs, l'isolation du plancher bas et de la toiture, l'utilisation des fenêtres double vitrage, des portes isolantes performantes, et la mise en place de protections solaires. Ces mesures ont permis de réaliser des économies d'énergie significatives, avec une réduction totale pour le chauffage équivalent à 45 %, et une réduction d'énergie de rafraîchissement de 25 % pour les logements de fonction.

**CHAPITRE V**  
**AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE**  
**DU CAS ÉTUDIÉ**

## V.1 Introduction :

Ce chapitre est structuré en trois parties distinctes. La première partie aborde l'installation d'une pompe à chaleur destinée à assurer le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. La deuxième partie porte sur l'installation électrique, mettant en place un système photovoltaïque connecté au réseau. Enfin, la troisième partie concerne les aspects liés à la maintenance et à l'efficacité énergétique.

Dans l'ensemble, ces trois parties soulignent l'importance croissante de l'utilisation des énergies renouvelables et des sources naturelles dans les écoles primaires, en réponse à l'augmentation de la consommation énergétique. Ces initiatives permettent de favoriser un environnement scolaire durable

### Partie 1

## V.2 Définition Pompe à chaleur :

Une pompe à chaleur (PAC) est un système de chauffage respectueux de l'environnement qui offre la possibilité de chauffer à la fois un logement et l'eau sanitaire. Ce système fonctionne en exploitant les ressources naturelles disponibles, telles que l'air, le sol ou l'eau, pour extraire la chaleur présente dans ces sources. Cette technologie efficace permet de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et à la transition vers des solutions de chauffage plus durables.

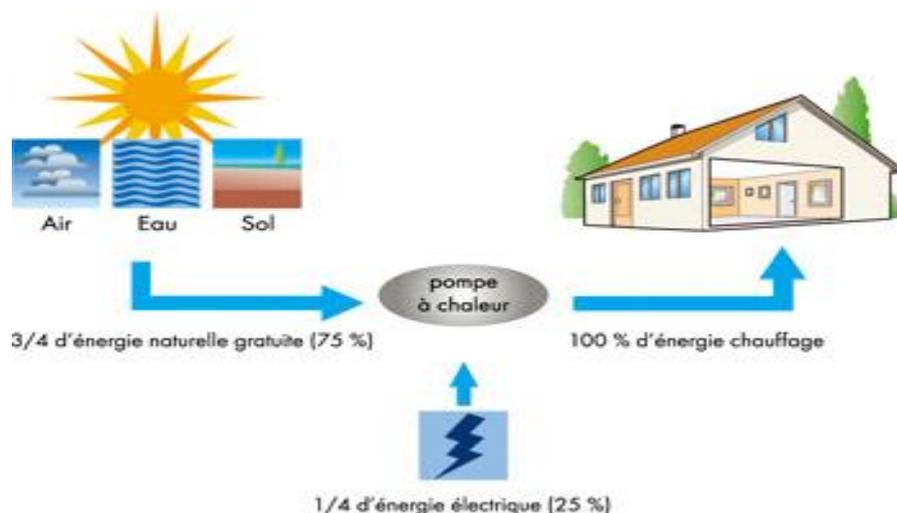


Figure V. 1 la pompe à chaleur et l'énergie renouvelable

## V.2.1 Types Pompe à chaleur géothermique:

La (PAC) est aussi appelée pompe à chaleur "eau- eau" : le principe consiste à récupérer les calories de la terre avec un circuit d'eau enterré pour alimenter un second circuit d'eau chaude dans des radiateurs ou planchers chauffants à l'intérieur du logement.

Existe plusieurs types mais On choisit ce type bien évidemment, c'est une solution qui présente de nombreux avantages :

- Ce système de chauffage présente un coefficient de performance notable avec COP allant jusqu'à 5,6 à 10°C. Pour 1 kWh d'électricité consommée, la PAC génère 5,6 kWh. [30]

-La pompe à chaleur eau-eau offre à la fois une stabilité élevée et un rendement élevé.

- Économique, mais aussi écologique.

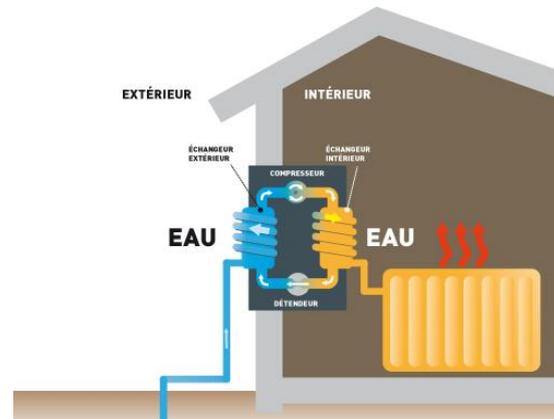


Figure V. 2 : Pompe a chaleur géothermique

## V.2.2 Calcul les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire :

La consommation quotidienne d'eau chaude est liée à l'équipement de l'école, au Comportement des occupants et à leur nombre.

### 1 - les besoins en chauffage :

Selon la simulation de Pléiade, qu'on a fait dans chapitre IV est (voir Figure IV.37) :

$$Q_{chff} = 110862 \text{ W}$$

### 2 - les besoins de chauffage eau chaude sanitaire :

$$V = 650 \text{ L/jour}, T_{eau} = 16^\circ\text{C}, T_{ecs} = 45^\circ\text{C}, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3, C_p = 4180 \text{ J/kg}^1$$

$$Q_{esc} = \rho \times v \times c_p \times (T_{ecs} - T_{eau})$$

$$Q_{ecs} = [(650 \times 1000) / (1000 \times 24 \times 3600)] \times 4180 \times (45 - 16)$$

$$Q_{ecs} = 911,95 \text{ W}$$

**3 - Les besoin totale :**

$$Q_t = Q_{chff} + Q_{esc}$$

$$Q_t = 110862 + 911,95$$

$$Q_t = 111773,95 \text{ W}$$

**V.2.3 Le choix de la pompe à chaleur :**

Après avoir examiné nos résultats, nous avons opté pour la Pompes à chaleur eau/eau Weishaupt (WWP W) type WWP W 180 ID.

Tableau V. 1 : caractéristiques Pompes à chaleur eau/eau Weishaupt [31]

Modèle	WWP W 180 ID
Type pompe à chaleur	Eau/eau
Puissance thermique nominale	180,10 kW
COP	5,80 kW
Hauteur unité intérieure	1891 mm
Largeur unité intérieure	1348 mm
Longueur unité intérieure	829 mm

**V.2.3 Branchements électriques :**

L'alimentation du compresseur de la pompe à chaleur sera assurée par l'utilisation de panneaux solaires.

La Tension de commande de la pompe à chaleur qu'on a choisi est 230v (50 Hz)/ C 13A [32]

**Énergie consommer par jour est :**

$$E = p \times h$$

$$E = 2,990 \times 8 = 23,92 \text{ kWh}$$

## Partie 2

### V.3 Définition L'énergie photovoltaïques :

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique c'est l'effet photovoltaïque grâce à des cellules généralement à base de Silicium cristallin. Cette filière est la plus avancée sur le plan technologique et industriel, car le silicium est l'un des éléments le plus abondant sur Terre sous forme de silice non toxique. Le terme "photovoltaïque" vient du grec "photo" qui signifie lumière et de "voltaïque" qui tire son origine du nom du physicien italien Alessandro Volta [1754-1827], qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité. Ainsi, le photovoltaïque signifie littéralement "lumière-électricité". [33]

#### V.3.1 Types d'installation :

Il existe trois manières courantes de mettre en œuvre une installation photovoltaïque (PV) : installation autonome, installation raccordée au réseau publique, et hybride.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi un système PV raccordé au réseau avec injection du surplus d'énergie.

##### Systeme raccordé au réseau :

Un système raccordé au réseau est un système connecté directement au réseau électrique à l'aide des convertisseurs.

Dans le contexte de l'établissement scolaire étudié, le système photovoltaïque est relié au réseau électrique pour optimiser la production d'énergie solaire. Le système photovoltaïque, doté d'un onduleur, convertit le courant continu des panneaux solaires en courant alternatif compatible avec le réseau. Des compteurs sont installés pour mesurer précisément l'énergie fournie au réseau par le système solaire et l'énergie fournie du réseau à l'école primaire. Lorsque le système produit un excès d'énergie, celle-ci est comptabilisée comme étant injectée dans le réseau, contribuant ainsi à l'alimentation des autres utilisateurs. En cas de production solaire insuffisante, le système récupère de l'énergie du réseau, et cette quantité est également enregistrée par le compteur. Ce processus bidirectionnel, appuyé par des compteurs de mesure, permet une gestion experte de l'énergie, favorisant l'utilisation de l'énergie solaire et réduisant la dépendance aux sources traditionnelles d'électricité, tout en assurant une traçabilité précise des flux énergétiques entre l'installation solaire et l'école primaire.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

Ce type de système offre beaucoup de facilités pour le producteur/le consommateur puisque c'est le réseau qui se charge du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation de l'électricité comme il est montré sur la figure :

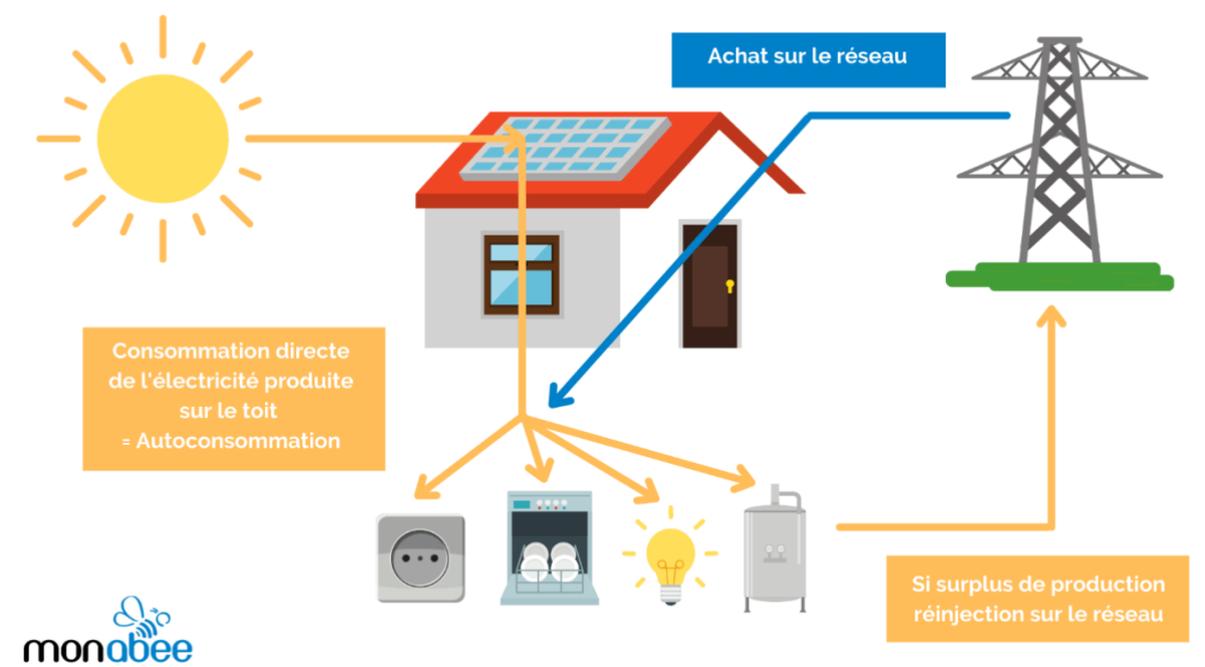


Figure V. 3 : Système raccordé au réseau

### V.3.2 Présentation de notre cas d'étude :

Les données de la consommation énergétique quotidienne des équipements de l'école primaire sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau V. 2 : consommation quotidienne

Les équipements	Nombre	La puissance (W)	Le temps d'utilisation (h/jour)	Consommation Journalières (Wh/jour)
Eclairages extérieures	05	420	9	18900
Lampes extérieures	20	75	9	13500
Lampes néon	59	36	8	3024
Photocopieuse	01	1008	3	3024
Imprimante	01	506	3	1518
PC	01	360	8	2880
Le totale				56814

### **V.3.2.1 Dimensionnement de panneau PV :**

#### **1 - Calcul de l'énergie consommée :**

$E_c = \sum \text{Nbr.P.T}$  ( les résultats dans le tableau précédent )

#### **2 - Calcul de l'énergie à produire : en prenant $k=0.75$ :**

$E_p = E_c / K = 56814 / 0.75 = 75752 \text{ Wh/jour}$

#### **3 - Calcul de la puissance crête :**

En prenant l'irradiation  $I_r = 6.7 \text{ kW/m}^2/\text{J}$  :

$P_c = E_p / I_r = 75752 / 6.7 \approx 12 \text{ kWc}$

#### **4 - Nombre de panneaux :**

Sachant que la puissance du panneau est  $340 \text{ W}$  :

$N_p = P_c / P_{\text{panneau}} = 12000 / 340 = 35,29$

Donc on a besoin de 36 panneaux.

### **VI.3.3 Résultats de simulation à l'aide du logiciel PVsyst :**

#### **VI.3.3.1 Présentation de logiciel PVsyst :**

PVsyst est un logiciel de simulation et d'analyse dédié à l'énergie solaire photovoltaïque. Il offre des fonctionnalités avancées pour évaluer et optimiser les performances des installations solaires. Le logiciel permet de modéliser avec précision les caractéristiques du site, de simuler les performances du système. Grâce à une interface conviviale, les utilisateurs peuvent saisir facilement les données et visualiser les résultats sous forme de graphiques et de rapports détaillés. PVsyst facilite le prédimensionnement, l'estimation de la production d'énergie, la conception de projets, et offre une étude complète avec un rapport imprimable. Il dispose également d'outils didactiques pour optimiser l'orientation, analyser les données réelles mesurées et utiliser une base de données de composants. En somme, PVsyst est un outil puissant et polyvalent, utilisé par les professionnels pour prendre des décisions éclairées dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque et réaliser des études détaillées. [34]

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

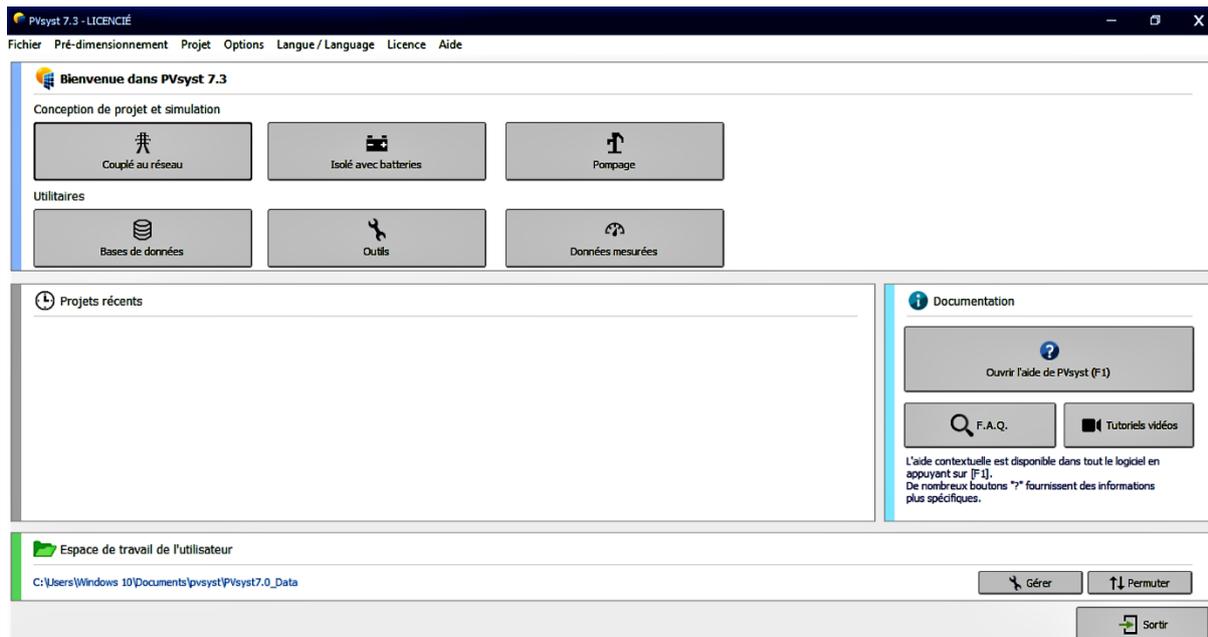


Figure V. 4 : Préface du logiciel Pvsyst 7.3

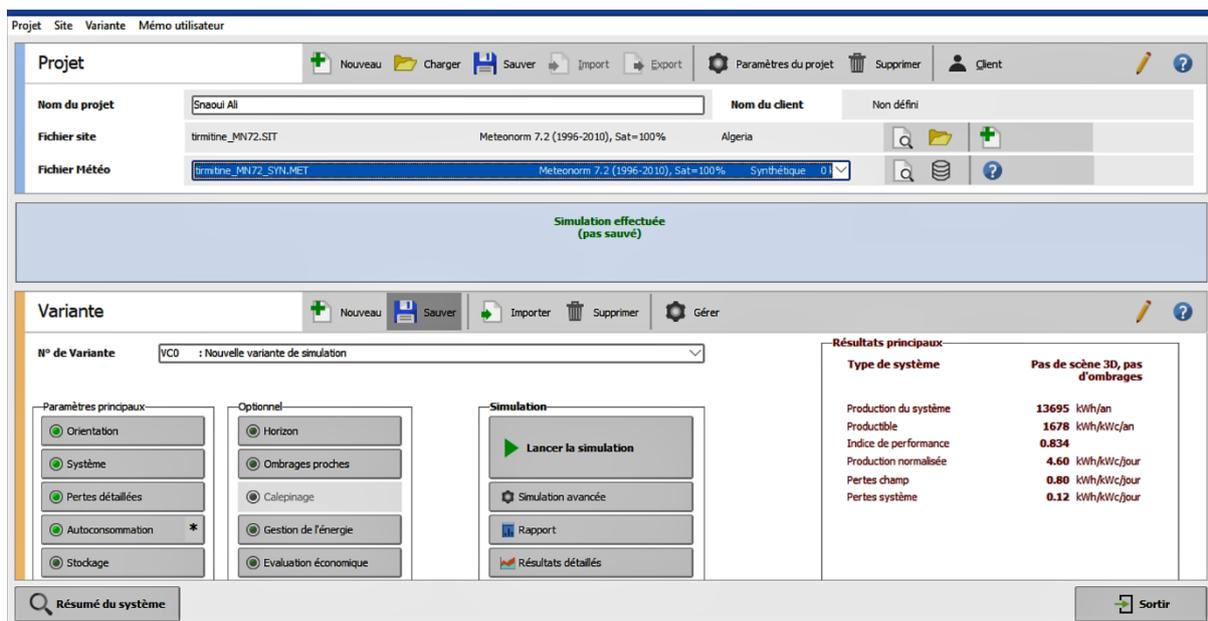


Figure V. 5 : La fenêtre du logiciel Pvsyst 7.3

### VI.3.3.2 Coordonnées géographiques :

Un site géographique est défini par :

- Son nom, pays et région du monde.
- Ses coordonnées géographiques : latitude, longitude, altitude et fuseau horaire.
- Données météorologiques mensuelles.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

Coordonnées Géographiques | Météo mensuelle | Carte interactive

**Lieu**

Nom du site

Pays  Région

**Coordonnées Géographiques**

Décimale    Deg. Min. Sec.

Latitude  [°]    (+ = Nord, - = Hémisph. Sud)

Longitude  [°]    (+ = Est, - = Ouest de Greenwich)

Altitude  M au-dessus du niv. de la mer

Fus. horaire  Correspondant à une différence moyenne  
Temps Légal - Temps Solaire = 0h 44m

Figure V. 6 : Coordonnées géographiques de Tirmitine wilaya de Tizi Ouzou.

- **Carte interactive :**

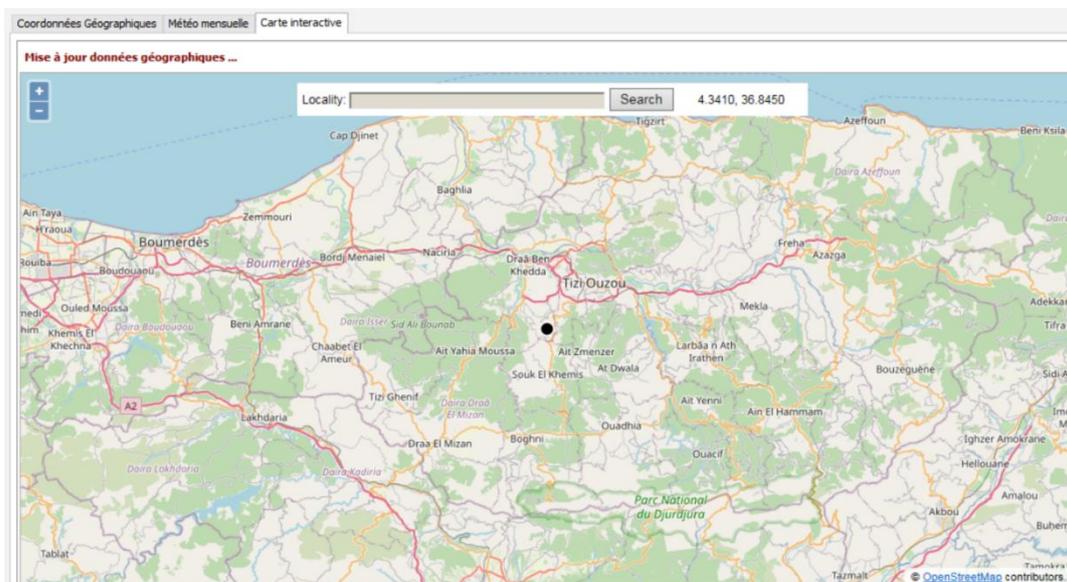


Figure V. 7 : Carte interactive (Tirmitine/Tizi Ouzou)

### VI.3.3.3 Données météorologiques mensuelles :

La figure (VI.8) résume les caractéristiques climatiques (l'irradiation et la température) du site de Tirmitine wilaya de Tizi Ouzou.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

Coordonnées Géographiques   Météo mensuelle   Carte interactive						
Site	<b>Tirmitine (Algérie)</b>					
Source des données	Meteonorm 7.2 (1996-2010), Sat=100%					
	<b>Irradiation globale horizontale</b>	<b>Irradiation diffuse horizontale</b>	<b>Température</b>	<b>Vitesse du vent</b>	<b>Turbidité Linke</b>	<b>Humidité relative</b>
	kWh/m <sup>2</sup> /jour	kWh/m <sup>2</sup> /jour	°C	m/s	[-]	%
Janvier	2.47	1.07	9.3	2.30	2.724	77.8
Février	3.10	1.29	10.4	2.39	3.011	73.1
Mars	4.39	1.85	13.6	2.60	3.949	68.1
Avril	5.20	2.24	15.6	2.80	3.403	67.3
Mai	6.33	2.57	19.7	2.60	3.949	64.5
Juin	7.63	2.31	24.1	2.70	4.078	57.5
Juillet	7.95	1.91	27.4	2.70	5.757	55.8
Août	6.96	2.01	27.2	2.60	4.878	56.7
Septembre	5.26	1.77	23.1	2.51	3.998	65.7
Octobre	3.96	1.36	20.0	2.19	3.523	67.6
Novembre	2.83	1.11	13.9	2.39	2.941	73.2
Décembre	2.21	0.95	10.9	2.49	2.724	76.1
<b>Année</b>	<b>4.87</b>	<b>1.70</b>	<b>17.9</b>	<b>2.5</b>	<b>3.745</b>	<b>67.0</b>

**Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 4.7%**

Figure V. 8 : Données météorologiques de (Tirmitine/Tizi Ouzou).

### VI.3.3.4 Trajectoire du soleil :



Project: Ecole primaire

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.3.1

VC1, Simulation date:  
17/06/23 22:40  
with v7.3.1

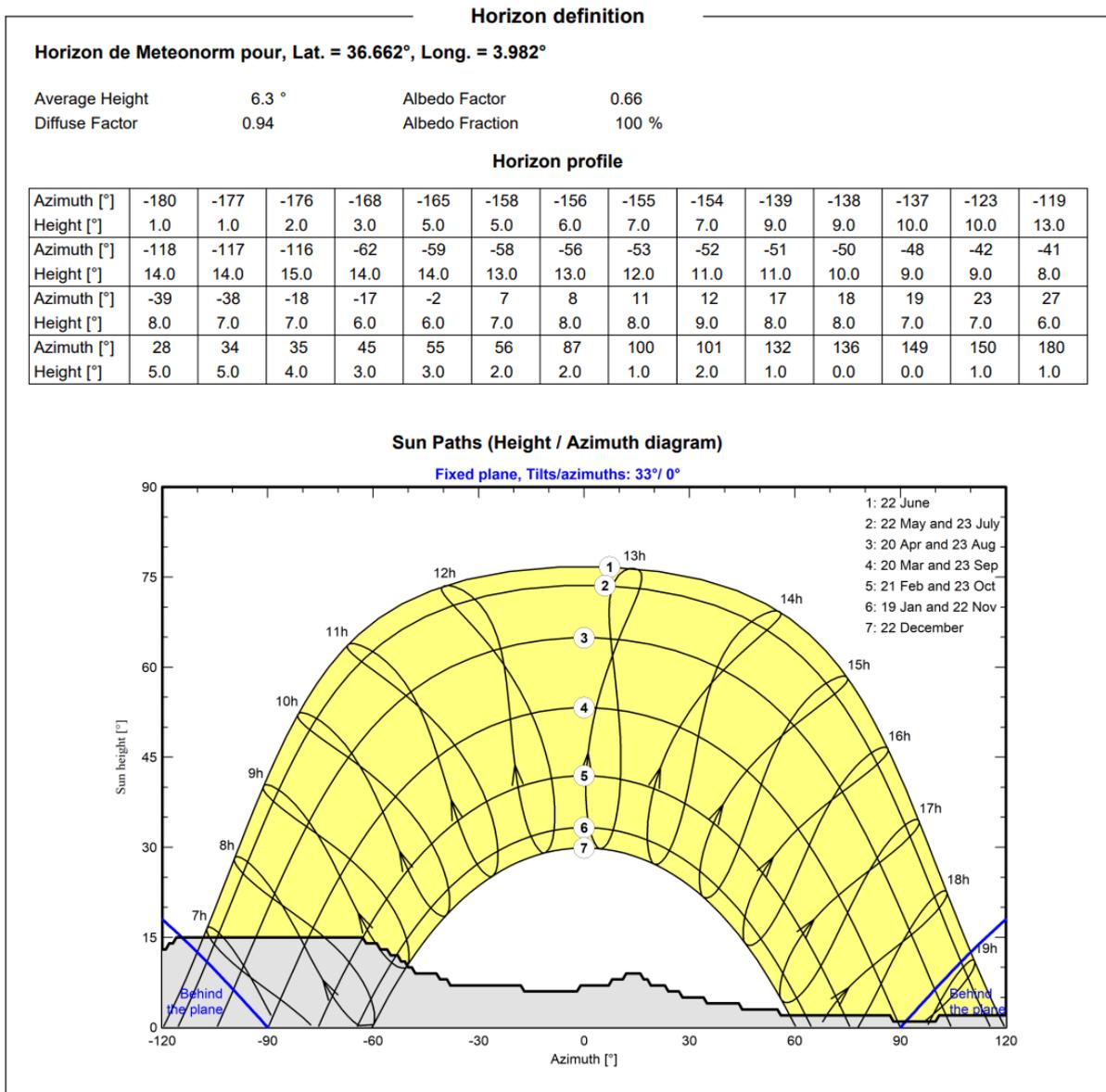


Figure V. 9 : Trajectoire du soleil

### VI.3.3.5 Les étapes pour la conception du projet :

#### A/ Première étape :

- **Orientation et inclinaison des modules PV :**

Choisir une orientation et une inclinaison favorables à la production optimale de l'énergie.

Nous avons choisi un plan incliné fixe d'une inclinaison  $35^\circ$  (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure (VI.10). C'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

Le facteur de transposition est en effet le rapport entre l'irradiation incidente sur un plan incliné (GlobInc) et l'irradiation horizontale (GlobHor). Il indique le gain ou la perte d'énergie solaire lorsqu'un capteur solaire est incliné par rapport à une position horizontale.

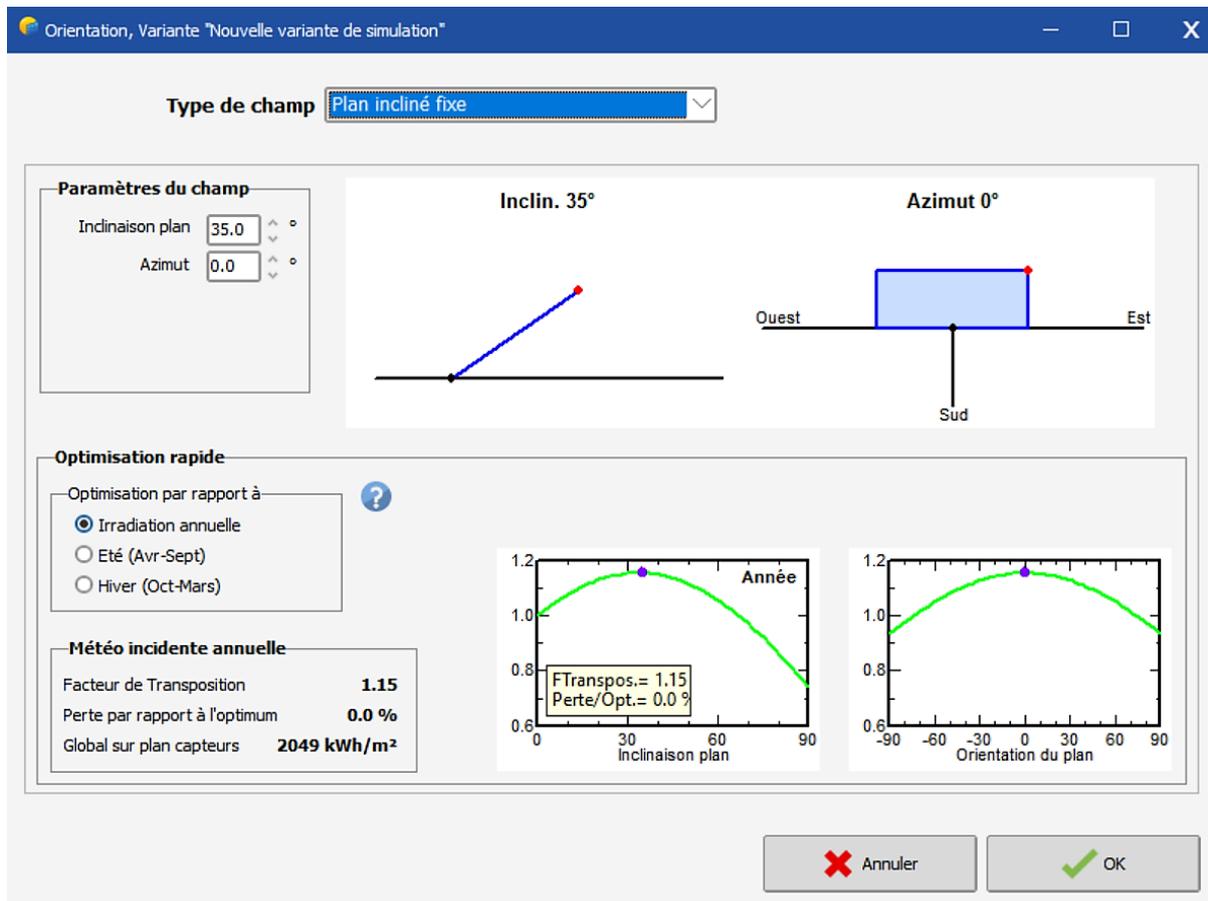


Figure V. 10 : Inclinaison Plan de  $35^\circ$

**B/ Deuxième étape :**

- **Définition des besoins de l'utilisateur :**

Après avoir introduit l'angle d'inclinaison on introduit les besoins d'utilisateur (consommation journalière), donnés par la figure suivante :

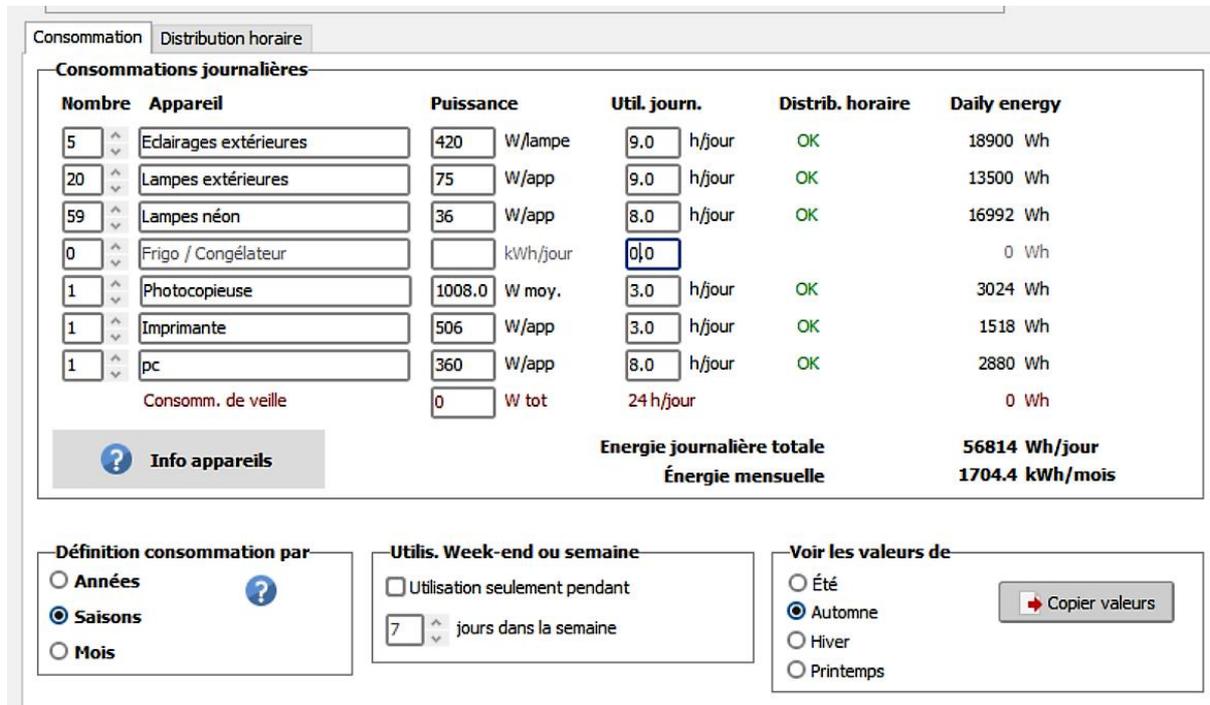


Figure V. 11 : Consommation journalière

La figure (VI.11) représente les données de l'école primaire en fonction de l'éclairage et les équipements électriques dont l'énergie consommée est 56814 Wh/Jour.

- **Distribution des heures d'utilisation :**

Après avoir introduit les différents appareils électriques utilisés ainsi que leurs nombres, leurs puissances et le temps d'utilisation pendant une journée, on clique sur 'Hourly distribution' pour répartir les heures d'utilisation dans la journée pour chaque appareil électrique :

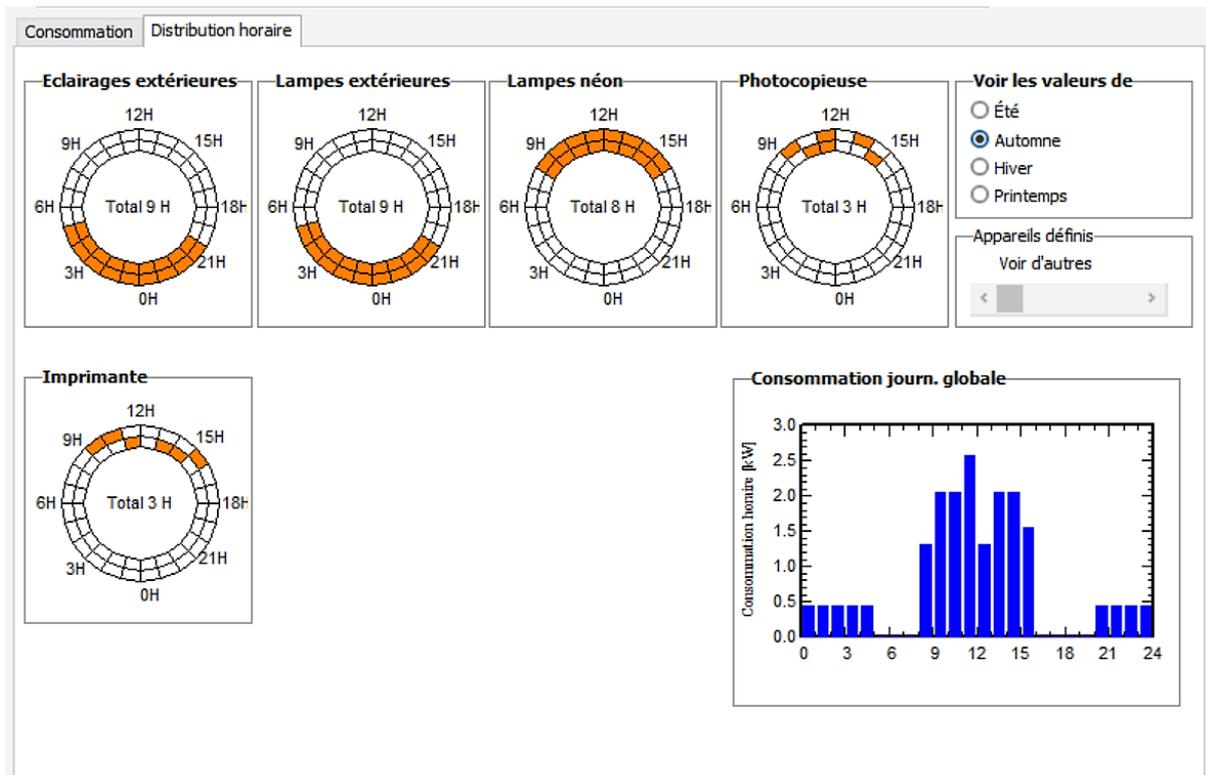


Figure V. 12 : Distribution des heures d'utilisation dans la journée

**C/ Troisième étape :**

- **La définition du système raccordé au réseau :**

La conception du système est basée sur une procédure rapide et simple :

- Choisir les modules PV dans la base de données interne du logiciel.
- Choisir un onduleur correspondant dans la base de données interne du logiciel.

**Sous-champ**

**Nom et orientation du sous-champ**  
 Nom: Champ PV  
 Orient.: Plan incliné fixe  
 Inclinaison: 35°  
 Azimut: 0°

**Aide au dimensionnement**  
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée: 12.0 kWc  
 Redimens. ... ou surface disponible(modules): 68 m<sup>2</sup>

**Sélection du module PV**  
 Disponibles: Tous les modules PV  
 Modules nécessaires approx.: 35  
 Vikram Solar: 340 Wp 32V Si-mono Somera VSM.72.340.03.04 U Depuis 2015 Manufacturer 2018  
 Utiliser optimiseur  
 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 32.9 V  
 Vco (-10°C) 52.1 V

**Sélection de l'onduleur**  
 Disponibles: Tension de sortie 230 V Mono 50Hz  
 Goodwe: 5.0 kW 80 - 550 V TL 50/60 Hz GW5000-NS Depuis 2011  
 50 Hz  
 60 Hz  
 Nbre d'onduleurs: 2  
 Tension de fonctionnement: 80-550 V Puissance globale ond.: 10.0 kWac  
 Tension entrée maximale: 580 V

**Dimensionnement du champ**

**Nombre de modules et chaînes**  
 Mod. en série: 9 (entre 3 et 11)  
 Nb. chaînes: 4 (entre 3 et 4)  
 Perte surpuissance: 0.1 %  
 Rapport Pnom: 1.22  
 Dimensionnement

**Cond. de fonctionnement**  
 Vmpp (60°C): 296 V  
 Vmpp (20°C): 353 V  
 Vco (-10°C): 469 V

**Irradiance plan: 1000 W/m<sup>2</sup>**  
 Impp (STC): 35.6 A  
 Isc (STC): 37.5 A  
 Isc (aux STC): 37.5 A

**Puiss. max. en fonctionnement: 11.1 kW**  
 (à 1000 W/m<sup>2</sup> et 50°C)  
 Max. données  
 STC

**Puiss. nom. champ (STC): 12.2 kWc**

**Nbre modules: 36 Surface: 70 m<sup>2</sup>**

Figure V. 13 : Caractéristiques de modules PV et du régulateur du système

On a besoin de 36 panneaux de 340 Watt dans une surface de 70 m<sup>2</sup> et un onduleur avec 2 MPPT de 5 kW.

### VI.3.4 Résultats et discussions de la simulation :

Nous allons lancer la simulation afin de générer un rapport détaillé comprenant l'ensemble des spécifications du cahier des charges ainsi que les caractéristiques des éléments. Les résultats clés de la simulation, obtenus à l'aide du logiciel, seront présentés à travers des graphiques, des tableaux et un rapport final.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

- **Le rapport de la simulation :**



**PVsyst V7.3.1**  
VC0, Simulé le :  
08/07/23 00:00  
avec v7.3.1

Projet: **Snaoui Ali**

Variante: Nouvelle variante de simulation

Paramètres généraux		
<b>Système couplé au réseau</b>	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	<b>Configuration des sheds</b>	<b>Modèles utilisés</b>
Orientation Plan fixe Inclinaison/Azimut      35 / 0 °	Pas de scène 3D	Transposition                  Perez Diffus                  Perez, Meteonorm Circumsolaire                  séparément
<b>Horizon</b>	<b>Ombrages proches</b>	<b>Besoins de l'utilisateur</b>
Pas d'horizon	Sans ombrages	Consomm. domestique Modulation saisonnière Moyenne                                  51 kWh/Jour

Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>		<b>Onduleur</b>	
Fabricant	Vikram Solar	Fabricant	Goodwe
Modèle	Somera VSM.72.340.03.04_U (Base de données PVsyst originale)	Modèle	GW5000-NS (Base de données PVsyst originale)
Puissance unitaire	340 Wc	Puissance unitaire	5.00 kWac
Nombre de modules PV	36 unités	Nombre d'onduleurs	2 unités
Nominale (STC)	12.24 kWc	Puissance totale	10.0 kWac
Modules	4 Chaînes x 9 En série	Tension de fonctionnement	80-550 V
<b>Aux cond. de fonct. (50°C)</b>		Rapport Pnom (DC:AC)	1.22
Pmpp	11.06 kWc		
U mpp	310 V		
I mpp	36 A		
<b>Puissance PV totale</b>		<b>Puissance totale onduleur</b>	
Nominale (STC)	12 kWc	Puissance totale	10 kWac
Total	36 modules	Nombre d'onduleurs	2 unités
Surface modules	69.7 m <sup>2</sup>	Rapport Pnom	1.22

Pertes champ								
<b>Fact. de pertes thermiques</b>	<b>Pertes câblage DC</b>	<b>LID - "light induced degradation"</b>						
Température modules selon l'irradiance	Rés. globale champ      146 mΩ	Frac. pertes	1.3 %					
Uc (const)      20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. pertes      1.5 % aux STC							
Uv (vent)      0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s								
<b>Perte de qualité module</b>	<b>Pertes de mismatch modules</b>	<b>Perte de "mismatch" strings</b>						
Frac. pertes      -0.8 %	Frac. pertes      1.0 % au MPP	Frac. pertes	0.1 %					
<b>Facteur de perte IAM</b>								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, verre normal, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Figure V. 14 : le rapport de la simulation

### VI.3.5 Amélioration :

On remarque que la consommation initiale et le nombre des panneaux sont élevés, est c'est à cause des scénarios des appareils électriques qui consomment beaucoup d'énergie. Pour réduire cette consommation est faire descendre le nombre de panneaux solaires on a remplacé les appareils électriques existant par des appareils économes en énergie, aussi on a ajoutée l'alimentation du compresseur de la pompe à chaleur.

#### Proposition :

- **Remplacer les dispositifs d'éclairage présent par d'autres moins consommations d'énergies :**

On a remplacé les lampes extérieures, par des lampes de la marque PHILIPS (Essential LED bulbs), avec une puissance de 9 W, un flux lumineux de 900 lumens et une durée de vie nominale de 12 000 heures, contre des ampoules standards à incandescence de 75W initialement.



Figure V. 15 : PHILIPS Essential LED bulbs

On a aussi remplacé les lampes néon intérieur des stalles de classe par les lampes MASTER TL-D Eco de la même marque avec une consommation électrique de 15,8 W, et une efficacité lumineuse (nominale) de 75 lm/W, contre des lampes néon de 36 W.



Figure V. 16 : Lampe MASTER TL-D Eco 16W/830 1SL/25

Et pour finir les projecteurs extérieurs de 420 W qui servent à éclairer les cours de l'école sont remplacés par des projecteurs LED à haut rendement, ne consommant que 50 watts de puissance tout en produisant 4400 lumens.



Figure V. 17 : Projecteur PHILIPS Essential Smartbright Flood Gen 2

- **L'utilisation de systèmes d'éclairage naturel :**

L'éclairage artificiel doit être considéré comme complément à l'éclairage naturel et les ampoules de technologie plus récente à l'image des LED se présentent comme une très bonne alternative pour réduire la consommation énergétique et améliorer le confort visuel des occupants. [35]

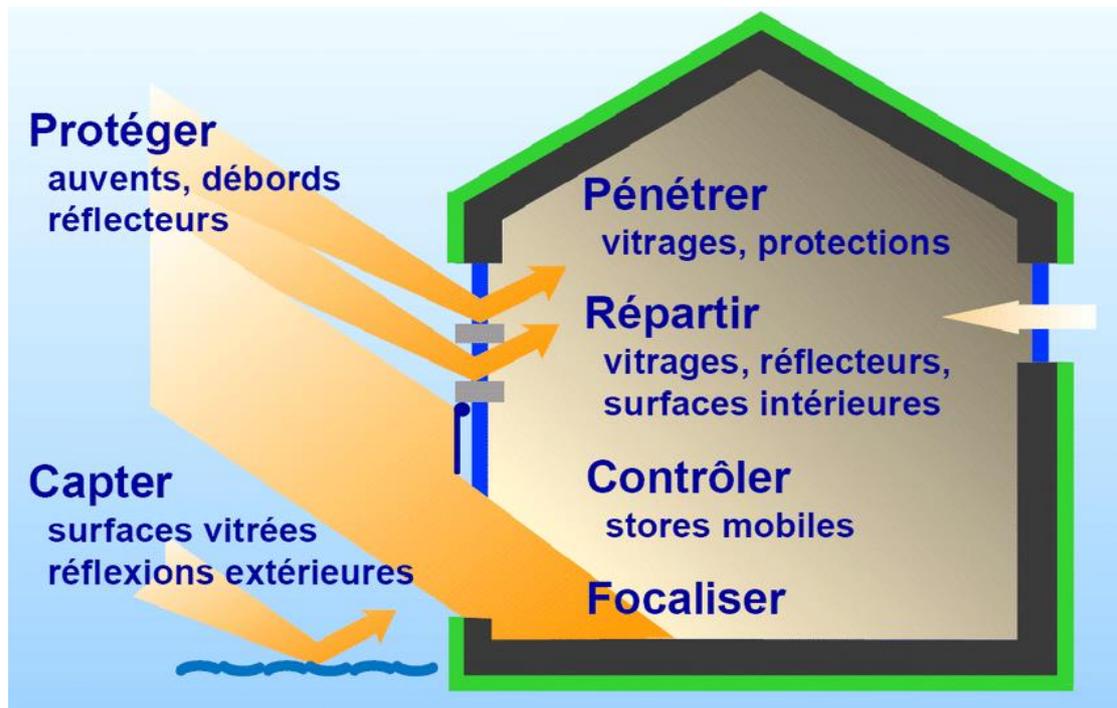


Figure V. 18 : stratégie de l'éclairage naturel

### VI.3.5.1 Résultats et discussions de la nouvelle simulation :

- La nouvelle Consommation journalière :

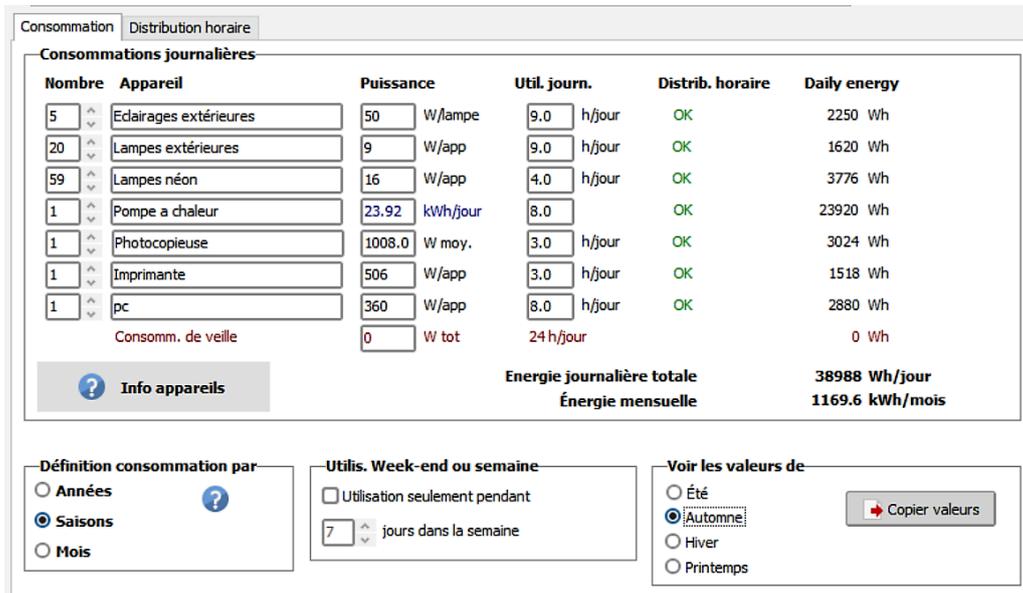


Figure V. 19 : La nouvelle Consommation journalière

D’après les analyses on voit que la consommation Journalières est diminuée de 56814 Wh/jour a 38988 Wh/jour.

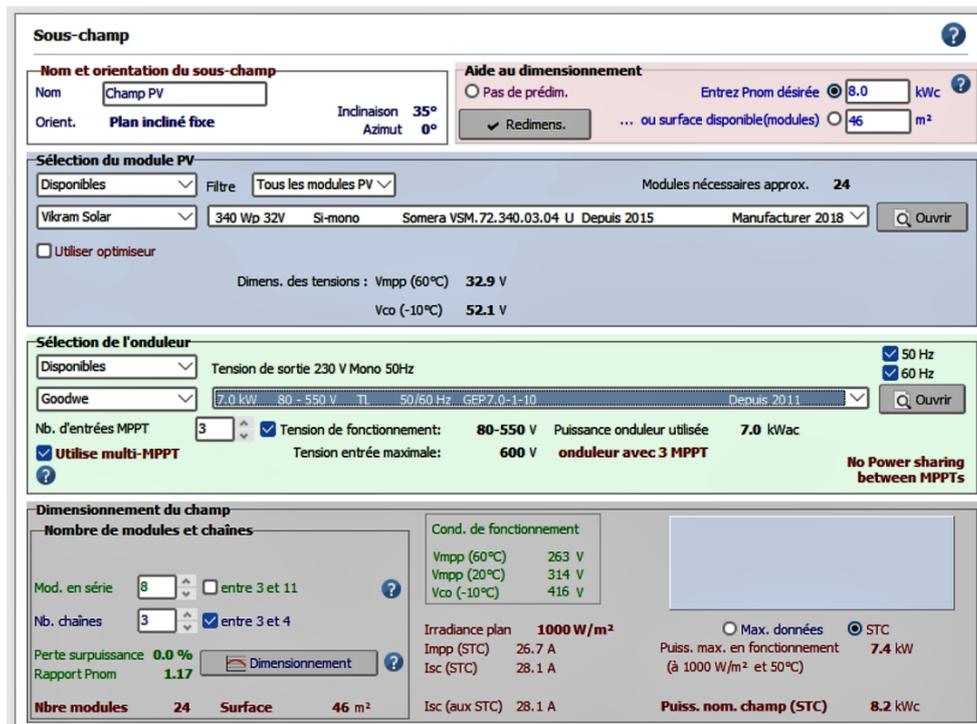


Figure V. 20 : Caractéristiques de modules PV et du régulateur du système

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

Après avoir amélioré l'efficacité énergétique de l'installation électrique en remplaçant les lampes extérieures, les néons intérieurs des salles et l'éclairage extérieur par des lampes économiques et en favorisant l'éclairage naturel, ainsi qu'en ajoutant une pompe à chaleur plus efficace, la consommation d'énergie a diminué de 12 kWc à 8 kWc. De plus, le nombre de panneaux solaires nécessaires a été réduit à 24 panneaux, occupant une surface de 46 m<sup>2</sup>, par rapport à la surface précédente de 70 m<sup>2</sup>.

Ces mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique ont permis de réaliser une économie d'énergie significative, réduisant la consommation de l'installation et le nombre de panneaux solaires nécessaires. La réduction de la consommation d'énergie de 12 kWc à 8 kWc indique une amélioration de 4 kWc, ce qui représente une diminution de 33,33%. De plus, en réduisant la surface des panneaux solaires de 70 m<sup>2</sup> à 46 m<sup>2</sup>, une économie d'espace a été réalisée.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

- Le rapport de la nouvelle simulation :



**PVsyst V7.3.1**  
 VCO, Simulé le :  
 07/07/23 23:34  
 avec v7.3.1

Projet: Snaoui Ali

Variante: Nouvelle variante de simulation

Paramètres généraux		
<b>Système couplé au réseau</b>	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	<b>Configuration des sheds</b>	<b>Modèles utilisés</b>
<b>Orientation</b>	Pas de scène 3D	Transposition Perez
Plan fixe		Diffus Perez, Meteonorm
Inclinaison/Azimut 35 / 0 °		Circumsolaire séparément
<b>Horizon</b>	<b>Ombrages proches</b>	<b>Besoins de l'utilisateur</b>
Pas d'horizon	Sans ombrages	Consomm. domestique
		Modulation saisonnière
		Moyenne 30.1 kWh/Jour

Caractéristiques du champ de capteurs			
<b>Module PV</b>		<b>Onduleur</b>	
Fabricant	Vikram Solar	Fabricant	Goodwe
Modèle	Somera VSM.72.340.03.04_U	Modèle	GEP7.0-1-10
(Base de données PVsyst originale)		(Base de données PVsyst originale)	
Puissance unitaire	340 Wc	Puissance unitaire	7.00 kWac
Nombre de modules PV	24 unités	Nombre d'onduleurs	3 * MPPT 33% 1 unité
Nominale (STC)	8.16 kWc	Puissance totale	7.0 kWac
Modules	3 Chaînes x 8 En série	Tension de fonctionnement	80-550 V
<b>Aux cond. de fonct. (50°C)</b>		Puissance max. (=>50°C)	7.70 kWac
Pmpp	7.37 kWc	Rapport Pnom (DC:AC)	1.17
U mpp	276 V	No Power sharing between MPPTs	
I mpp	27 A		
<b>Puissance PV totale</b>		<b>Puissance totale onduleur</b>	
Nominale (STC)	8 kWc	Puissance totale	7 kWac
Total	24 modules	Nombre d'onduleurs	1 unité
Surface modules	46.5 m <sup>2</sup>	Rapport Pnom	1.17

Pertes champ								
<b>Fact. de pertes thermiques</b>	<b>Pertes câblage DC</b>	<b>LID - "light induced degradation"</b>						
Température modules selon l'irradiance	Rés. globale champ 173 mΩ	Frac. pertes	1.3 %					
Uc (const) 20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. pertes 1.5 % aux STC							
Uv (vent) 0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s								
<b>Perte de qualité module</b>	<b>Pertes de mismatch modules</b>	<b>Perte de "mismatch" strings</b>						
Frac. pertes -0.8 %	Frac. pertes 1.0 % au MPP	Frac. pertes	0.1 %					
<b>Facteur de perte IAM</b>								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, verre normal, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Figure V. 21 : rapport de la nouvelle simulation

• le rapport des besoins de l'utilisateur :



**PVsyst V7.3.1**  
 VCO, Simulé le :  
 07/07/23 23:34  
 avec v7.3.1

Projet: Snaoui Ali

Variante: Nouvelle variante de simulation

**Besoins de l'utilisateur**

Consomm. domestique, Modulation saisonnière, moyenne = 30.1 kWh/jr

**Été (Juin-Août)**

	Nb.	Puissance W	Utilisation Heure/jour	Énergie Wh/jour
Eclairages extérieures	5	50/lampe	9.0	2250
Lampes extérieures	20	9/app	9.0	1620
Energie journalière totale				3870

**Automne (Sep-Nov)**

	Nb.	Puissance W	Utilisation Heure/jour	Énergie Wh/jour
Eclairages extérieures	5	50/lampe	9.0	2250
Lampes extérieures	20	9/app	9.0	1620
Lampes néon	59	16/app	4.0	3776
Pompe a chaleur	1		8	23920
Photocopieuse	1		3	3024
Imprimante	1	506 tot	3.0	1518
pc	1	360 tot	8.0	2880
Energie journalière totale				38988

**Hiver (Déc-Fév)**

	Nb.	Puissance W	Utilisation Heure/jour	Énergie Wh/jour
Eclairages extérieures	5	50/lampe	9.0	2250
Lampes extérieures	20	9/app	9.0	1620
Lampes néon	59	16/app	4.0	3776
Pompe a chaleur	1		8	23920
Photocopieuse	1		3	3024
Imprimante	1	506 tot	3.0	1518
pc	1	360 tot	8.0	2880
Energie journalière totale				38988

**Printemps (Mars-Mai)**

	Nb.	Puissance W	Utilisation Heure/jour	Énergie Wh/jour
Eclairages extérieures	5	50/lampe	9.0	2250
Lampes extérieures	20	9/app	9.0	1620
Lampes néon	59	16/app	4.0	3729
Pome a chaleur	1		8	23920
Photocopieuse	1		3	3024
Imprimante	1	506 tot	3.0	1518
pc	1	360 tot	8.0	2880
Energie journalière totale				38941

**Distribution horaire**

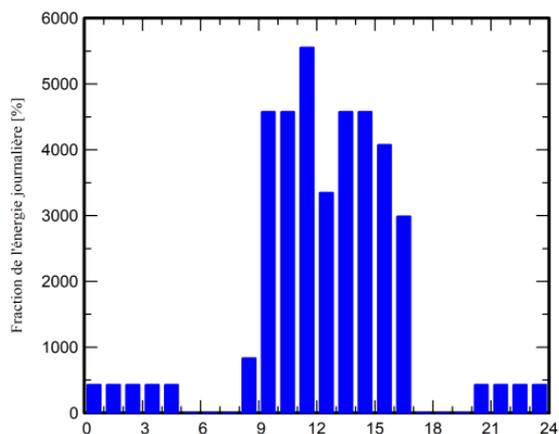


Figure V. 22 : le rapport des besoins de l'utilisateur

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

La consommation reste la même pendant toutes les saisons (20564 Wh/jour) sauf pour les vacances d'été (5590 Wh/jour).

- **Diagramme des pertes sur l'année entière :**



**PVsyst V7.3.1**  
VC0, Simulé le :  
07/07/23 23:34  
avec v7.3.1

Projet: Snaoui Ali

Variante: Nouvelle variante de simulation

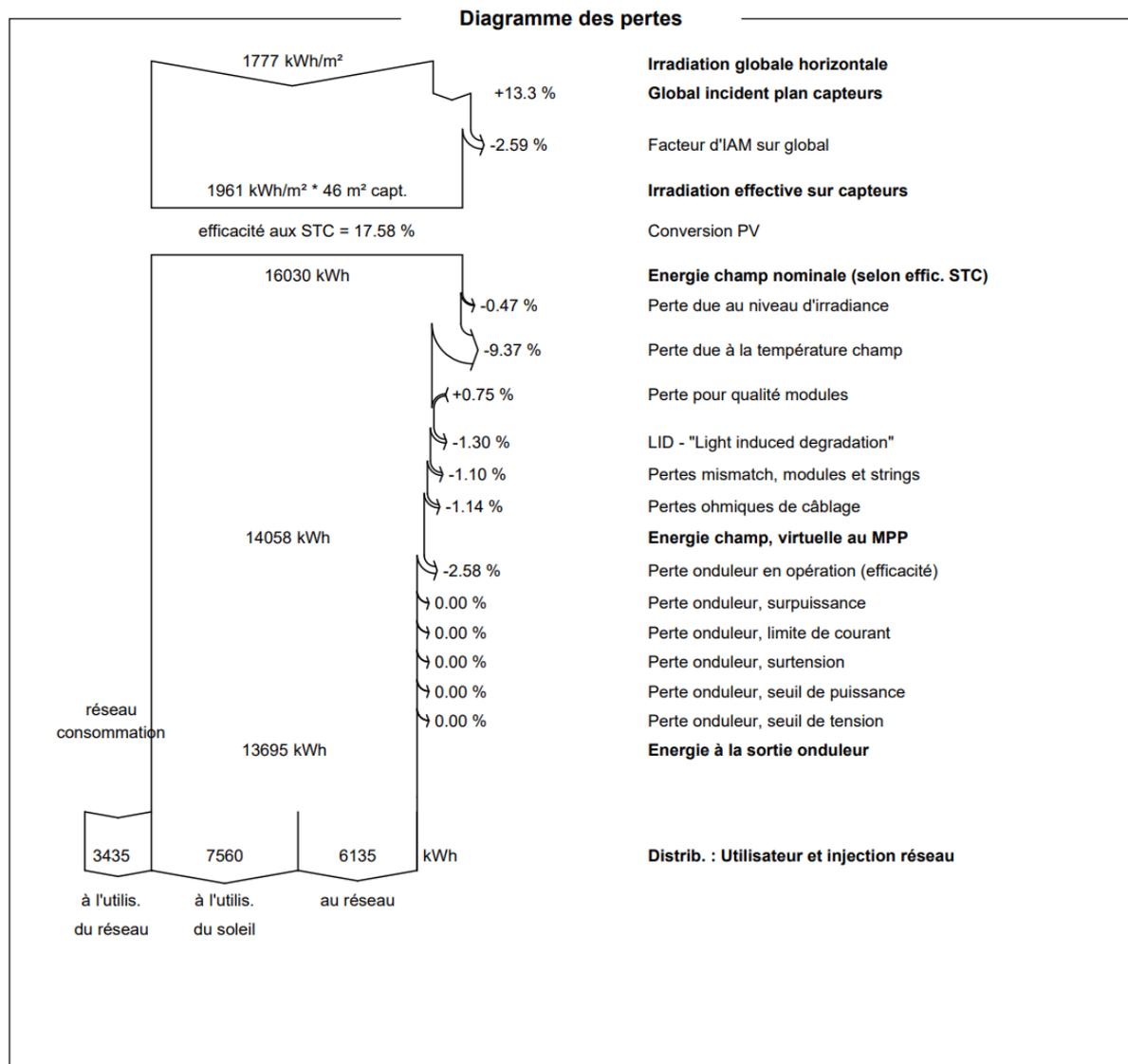


Figure V. 23 : Diagramme des pertes sur l'année entière

Le diagramme résume les pertes de la production du système PV à savoir : les pertes ohmiques de câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité

des modules, etc. En effet, l'énergie produite par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 16030 kWh est réduite à 13695 kWh à la sortie.

L'installation photovoltaïque fournit des informations importantes sur la production et la consommation d'énergie. Selon les données fournies, la production totale de l'installation s'élève à 13695 kWh avec les pertes, comprenant à la fois l'énergie envoyée au réseau (6135 kWh) et celle utilisée localement à partir de l'énergie solaire (7560 kWh). et celle consommée à partir du réseau (3435kWh). Cela signifie que près de 40,45% de l'énergie produite par l'installation photovoltaïque est consommée directement sur place, tandis que le reste est renvoyé au réseau. Ces chiffres permettent d'évaluer l'efficacité de l'installation et de calculer le taux d'autoconsommation, qui mesure la proportion d'énergie consommée localement par rapport à la production totale.

### Partie 3

#### VI.4 Le cout totale de l'installations :

- **Les panneaux :**

On a 24 panneaux monocristal de 340 Watt, le prix d'un panneau est environ 28000 DA.

Donc :  $24 \times 28000 = 772000$  DA

- **L'onduleur :**

On a un seul de 7 kWh son prix est environ 150000 DA.

- **Structure Porteuse :**

Le prix de cette structure pour 4 panneaux est environ 25000 DA.

- **Les accessoires et Les câbles :**

Le prix de câble et les accessoires généralement est 5% de la somme des panneaux et l'onduleur et la structure porteuse.

Donc :  $772000 + 150000 + 25000 = 1072000$  DA

$1072000 \times 5\% = 53600$  DA

Les câbles et les accessoires leur prix est 53600 DA.

## CHAPITRE V : Amélioration de la performance du cas étudié

- **La main-d'œuvre :**

Par contre la main-d'œuvre est 15%

$$1072000 \times 15\% = 160800 \text{ DA}$$

- **Le totale de l'installations :**

Tableau V. 3 : les prix totaux de l'installation

Installation	Panneaux	Onduleur	Câble	Structure Porteuse	Accessoires	Main- d'œuvre	Totale
Prix DA	1072000	150000	53600	150000	53600	160800	1640000

Selon la facture d'électricité de la mairie, cette école paie environ 5 à 6 millions par trimestre, soit un total annuel de 20 à 24 millions. Notre étude, démontré que grâce à l'amélioration de l'installation énergétique, ces coûts pourront être récupérés dans un délai maximal de 8 ans. De plus, cette installation présente l'avantage de générer des bénéfices supplémentaires grâce à la vente de l'énergie excédentaire injectée dans le réseau. Il convient de noter qu'en période de vacances scolaires (environ 3 mois par an), toute l'énergie produite est injectée dans le réseau, même si nous devons acheter de l'électricité la nuit pour alimenter l'éclairage. Cependant, cela n'affecte en rien le fonctionnement de l'installation.

En optimisant l'efficacité énergétique et en intégrant des panneaux solaires, l'école a la possibilité de générer des revenus supplémentaires en vendant l'énergie excédentaire, ce qui contribue à une solution énergétique à la fois durable et économiquement favorable.

Cette approche permettra à l'école de réduire considérablement ses coûts énergétiques, de renforcer son indépendance énergétique et de participer activement à la transition vers une source d'énergie plus propre et renouvelable. En conséquence, les avantages économiques et environnementaux associés à cette installation énergétique améliorée sont significatifs pour l'école.

## **VI.5 Conclusion :**

L'utilisation conjointe de ces technologies permet de réaliser une combinaison gagnante :

Les pompes à chaleur (PAC) sont des systèmes de chauffage qui tirent parti des ressources naturelles pour extraire la chaleur présente dans l'air, le sol ou l'eau, afin de chauffer les espaces intérieurs et de fournir de l'eau chaude sanitaire. Parallèlement, les panneaux solaires photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en électricité, qui peut être utilisée pour alimenter à la fois les besoins électriques de l'école et le fonctionnement du compresseur de la pompe à chaleur.

L'adoption de ces solutions présente de nombreux avantages, notamment des économies financières à long terme, une réduction de l'empreinte carbone et une plus grande autonomie énergétique. En investissant dans les pompes à chaleur et les systèmes photovoltaïques, les écoles peuvent non seulement réaliser des économies substantielles sur leurs factures d'électricité, mais également contribuer activement à la transition vers une énergie propre et durable.

Il est temps d'embrasser ces technologies durables et de les intégrer dans nos infrastructures, que ce soit au niveau résidentiel, commercial ou institutionnel. En faisant le choix de chauffer nos maisons et de produire de l'eau chaude grâce à des sources d'énergie renouvelable, nous jouons un rôle clé dans la préservation de notre planète et la construction d'un avenir énergétique plus respectueux de l'environnement.

## **CONCLUSION GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE :**

Le secteur tertiaire, comprenant notamment les établissements scolaires, représente une part significative de la consommation énergétique globale. Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que l'éclairage et autres équipements électriques contribuent tous à cette consommation.

L'objectif visé à travers ce travail, est d'étudier la problématique de l'efficacité énergétique relative à notre cas d'étude (école primaire située dans la commune de Tirmatine, wilaya de Tizi-Ouzou), chercher une adéquation entre la conception du bâtiment, le climat et l'environnement dans lequel il est intégré.

Il est essentiel de maîtriser de manière naturelle les confort d'été et d'hiver en utilisant des solutions simples afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments. En adaptant la construction aux paramètres climatiques, il est possible de minimiser considérablement les besoins domestiques. Une conception thermique inadéquate entraîne un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie, ce qui a des répercussions tant sur le plan financier qu'environnemental.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux solutions passives et actives. Pour les solutions passives, nous nous sommes particulièrement intéressés aux performances de l'enveloppe de trois blocs de l'école primaire, cette dernière est considérée comme étant l'élément principal des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Nous avons ajouté une isolation à base de panneaux de laine de bois, et de Liège, et pour veiller à limiter au maximum les ponts thermiques, l'isolation par l'extérieur est donc privilégiée. En plus, de l'isolation, les fenêtres à double vitrage et les protections solaires pour les façades sud sont nécessaires, nous avons renforcé les ouvertures en remplaçant les fenêtres et les portes de base par des fenêtres à double vitrage et des portes isolantes performantes.

Pour les solutions actives nous avons mis en place des panneaux solaires pour l'éclairage et les équipements informatiques, ainsi qu'une pompe à chaleur pour le chauffage. Ces mesures permettent de réduire la consommation d'énergie de l'école.

Pour la réalisation de notre étude, Nous avons utilisé le logiciel Pléiade, qui est un outil de simulation thermique dynamique permettant de prédire le comportement thermique du bâtiment de base et de faire des améliorations, pour les solutions actives, nous avons utilisé le logiciel PVsyst pour dimensionné les panneaux solaires nécessaires pour alimenter l'éclairage et matériels informatique, ainsi qu'une pompe a chaleur permettant d'assuré le chauffage de l'école.

## Conclusion générale

---

L'étude passive a permis de réduire les besoins de chauffage totaux des trois blocs de 45 %, elle a permis aussi de réduire les besoins de climatisation pour les logements de fonction de 25 %. La consommation énergétique de l'école est largement influencée par les caractéristiques de son enveloppe, ce qui détermine le niveau de demande de chauffage et de refroidissement nécessaire.

Le dimensionnement des panneaux solaires a permis d'atteindre tous les besoins en éclairage et autres matériels électriques, et le chauffage avec une pompe à chaleur eau/eau, avec un nombre de panneaux solaires équivalent à 25 panneaux.

## Les références

- [1] Bp Statistical Review of World Energy, 2022, 71st edition.
- [2] Bilan énergétique national, ministère de l'énergie et des mines, 2022, Algérie.
- [3] Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE), Consommation Énergétique Finale de l'Algérie Chiffre clés : année 2017, 2019, Algérie.
- [4] André Potvin, MArch PhD ; Claude MH Demers, MArch PhD ; GRAP (groupe de recherche en ambiances physique), L'approche bioclimatique en architecture, École d'architecture, Université de Laval, 2003.
- [5] Programme des Nations Unies pour le développement, L'Algérie remplit ses engagements en matière de changement climatique, 2021.
- [6] United Nation Climate Change, Qu'est-ce que la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
- [7] Algérie presse service, COP-27: la lutte contre les changements climatiques au cœur des priorités de l'Algérie, 2022
- [8] Le Centre National des Technologies de Production plus Propre, loi-maitrise-energie.
- [9] Liu Yang, Haiyan Yan, Joseph C. Lam, << Thermal comfort and building energy consumption implications >>, Applied Energy, Volume 115, Pages 164-173, 2014.
- [10] Han-Hsi Liang , Tzu-Ping Lin , Ruey-Lung Hwang, << Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings >>, Applied Energy, Volume 94, Pages 355-363, 2012.
- [11] Deyu Kong , Hong Liu , Yuxin Wu , Baizhan Li , Shen Wei , Mengwei Yuan << Effects of indoor humidity on building occupants' thermal comfort and evidence in terms of climate adaptation >>, Building and Environment, Volume 155, Pages 298-307, 2019.
- [12] A.F. Tzikopoulos, M.C. Karatza, J.A. Paravantis, << Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings >>. Energy and Buildings, Volume 37, Pages 529-544, 2005.
- [13] Atefeh Tamaskani Esfehankalateh, Mohammad Farrokhzad, Faezeh Tamaskani Esfehankalateh & Farzaneh Soflaei, << Bioclimatic passive design strategies of traditional houses in cold climate regions >>, Environment, Development and Sustainability , 2021.
- [14] Delphine Chareyron, Olivier Dequincey, Les saisons sur Terre, répartition de l'énergie solaire et paramètres orbitaux, École Normale Supérieure de Lyon, 2022
- [15] Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation
- [16] Valladares-Rendón, L.G.; Schmid, Gerd; Lo, Shang-Lien, << Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems >>, Energy and buildings, Volume 140, Pages 458-479, 2017.

## Références bibliographiques

- [17] J. Morrissey, T. Moore, R.E. Horne, << Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation >>, Centre for Design, Institut royal de technologie de Melbourne, Australie, 2010.
- [18] Adnan AlAnzi, Donghyun Seo, Moncef Krarti, << Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait >>, Energy Conversion and Management, Volume 50, Pages 822-828, 2009.
- [19] P. Depecker, C. Menezo, J. Virgone, S. Lepers, << Design of buildings shape and energetic consumption >>, Building and Environment, Volume 36, Pages 627-635, 2001.
- [20] Adnan AlAnzi, Donghyun Seo, Moncef Krarti, << Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait >>, Energy Conversion and Management, Volume 50, Pages 822-828, 2009.
- [21] Eulalie BARDOUX, << La conception Bioclimatique des bâtiments du Rectorat de Mayotte, un équilibre entre confort et respect de l'environnement >>, Université de Lyon, 2021.
- [22] Dileep Kumar ,Morshed Alam ,Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan, Rizwan Ahmed Memon, << Comparative analysis of building insulation material properties and performance >>, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 131, 2020.
- [23] Stijn Verbeke, Amaryllis Audenaert, << Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use >>, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Pages 2300-2318 Part 3, 2018.
- [24] Électrification d'une école à Annaba par l'énergie solaire, ER2/CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables), 2018
- [25] <https://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Tizi-Ouzou--Dra%C3%A2-Ben-Khedda--Tirmitine>
- [26] <https://www.artiguesdiag.com/comparatif-des-isolants/>
- [27] Stéphanie BONTEMPS, VALIDATION EXPÉRIMENTALE DE MODÈLES : APPLICATION AUX BÂTIMENTS BASSE CONSOMMATION, Université de Bordeaux, 2015
- [28] Le ministère de l'Education nationale arrête les dates des vacances scolaires 2022/2023, ALGÉRIE PRESSE SERVICE, 2022
- [29] Sous la coordination de m. raoust (terao) avec les contributions de j.F autissier (alto), a. bornarel (tribu), s. brindel-beth (slh), i. Fouquet, V. grimaud (terao), m. le sommer, Ventilation naturelle et mécanique, France, 2012
- [30] <https://www.dedietrich-thermique/pompe-a-chaleur-tout-savoir-sur-les-differentes-technologies/la-pompe-a-chaleur-eau-eau-definition-fonctionnement-et-avantages>
- [31] <https://www.weishaupt.fr/produits/pompes-a-chaleur-solaire/pompes-a-chaleur-eau/eau-weishaupt-wwp-w#tab-516-3/>
- [32] [https://www.weishaupt.be/uploads/tx\\_weishaupt\\_documents/documents/83295104.pdf](https://www.weishaupt.be/uploads/tx_weishaupt_documents/documents/83295104.pdf)

## Références bibliographiques

---

[33] : A ould Mohamed yahya « Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque » 30 septembre 2008

[34] Article "Analysis of electrical shading effects in PV systems"

[35] L'éclairage naturel des bâtiments, «uclouvain», GUIDE > le confort visuel, [En ligne]. Available :<https://sites>. le 22 11 2020].