



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



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Par :

BENMAGHNA Abdelkader

Sur le thème

Dimensionnement thermique d'une habitation située à Maghnia

Soutenue publiquement le 27/05/2023 devant le jury composé de :

Mr BAGHDADLI Tewfik	MCA à l'Université de Tlemcen	Président
Mr KARAOUZENE Lotfi Ibrahim	MCA à l'Université de Tlemcen	Encadrant
Mme SARI-ALI Inchirah	MCB à l'Université de Tlemcen	Examinatrice

Dédicaces

Je dédie ce travail tout d'abord à ceux qui se sont toujours sacrifiés pour me voir réussir, mon cher père BENMAGHNIA Abdellatif et ma chère mère ABDELMALEK Saliha. Je ne peux pas les dédommager même pour une petite partie de l'amour et du sacrifice qu'ils m'ont donnés.

Que Dieu les bénisse avec une longue vie, bonne santé et bien-être.

A mon frère Amine et sa femme Hafsa, à mes chers frères Youcef, Merwane et Abdelkarim.

A tous les amis qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours universitaire.

A toute la promotion Master 2 Physique Energétique et Energies Renouvelables 2022/2023.

A l'ensemble de la famille BENMAGHNIA et ABDELMALEK, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible.

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu Dieu qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude de ce travail.

*Je remercie vivement Monsieur **KARAOUZENE Lotfi Ibrahim**, Maitre de conférences A, à qui j'exprime toute ma reconnaissance pour ses précieux conseils, son aide et sa grande patience.*

*Je remercie Monsieur **BAGHDADLI Tewfik**, Maitre de conférences A, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury à l'issue de cette soutenance.*

*Je remercie Madame **SARI-ALI Inchirah**, Maitre de conférences B, Pour l'intérêt porté à mon humble travail en acceptant de l'examiner et de le juger.*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur **AMARA Sofiane**, Professeur, pour son aide, en me permettant d'utiliser les programmes nécessaires à cette recherche dans son laboratoire, en plus de ses conseils pour moi chaque fois que j'avais besoin de lui.*

Tous mes remerciements et mon estime à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation jusque-là.

Enfin, je remercie ma famille et tous ceux qui m'ont aidé.

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire thermique et ses modes de conversion.

Figure I.1 : Spectre du rayonnement solaire.....	4
Figure I.2 : Les composantes du rayonnement solaire.....	5
Figure I.3 : Principe de la conduction thermique.....	6
Figure I.4 : Transfert de chaleur par rayonnement solaire sur un mur.....	7
Figure I.5 : Action de fluide en mouvement dans la convection.....	7
Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique plan.....	9
Figure I.7 : Description d'un capteur solaire non vitré.....	10
Figure I.8 : Capteur plan vitré.....	11
Figure I.9 : Panneau solaire thermique à tube sous vide.....	11
Figure I.10 : Orientation d'un capteur solaire.....	12
Figure I.11 : Installation d'un capteur solaire.....	13
Figure I.12 : Principe d'une installation solaire thermique.....	14
Figure I.13 : chauffe-eau solaire thermosiphon Monobloc.....	15
Figure I.14 : chauffe-eau solaire thermosiphon à éléments séparés.....	16
Figure I.15 : CES à circulation forcée.....	16
Figure I.16 : Système solaire combiné avec système de stockage.....	18
Figure I.17 : Principe du chauffage de bâtiment par plancher solaire direct (PSD).....	18

Chapitre II : Etude de cas : données géographiques et météorologiques

Figure II.1 : Carte géographique de la situation de la ville de Maghnia.....	24
Figure II.2 : températures moyennes mensuelles de la ville de Maghnia.	25
Figure II.3 : Variations des températures du site de Maghnia pendant une année.....	26
Figure II.4 : Variations des températures journalières du site de Maghnia pendant une année.....	26

Figure II.5 : Variation du rayonnement global et diffus.	27
Figure II.6 : Le rayonnement global journalier du site de Maghnia pendant une année.	28
Figure II.7 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température.....	29
Figure II.8 : Les durées de l'ensoleillement et astronomique du jour pendant une année.....	30
Figure II.9 : Précipitation et les jours avec des précipitations pendant une année.....	31
Figure II.10 : Plan de la maison étudiée.....	31
Chapitre III : Résultats et discussions.	
Figure III.1 : Modélisation sous Trnsys de la maison étudiée.....	42
Figure III.2 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année.....	48
Figure III.3 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année avec l'utilisation du chauffage et climatisation.....	48
Figure III.4 : Energie consommée d'après le chauffage et la climatisation pendant l'année.....	49
Figure III.5 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année avec l'utilisation des isolants.....	50
Figure III.6 : Energie consommée d'après le chauffage et la climatisation pendant l'année pour chaque isolant.....	51

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude de cas : données géographiques et météorologiques

Tableau II.1 : Température de l'air du site de Maghnia.....	25
Tableau II.2 : Les dimensions de la maison.....	32
Tableau II.3 : Composants des murs extérieurs.....	32
Tableau II.4 : Composants du plancher.....	32
Tableau II.5 : Composants de la toiture.....	32

Chapitre III : Résultats et discussions.

Tableau III.1 : La somme d'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation pour chaque isolant pendant une année.....	52
--	----

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire thermique et ses modes de conversion.	3
I.1 Introduction	4
I.2 Le rayonnement solaire	4
I.2.1 Les composantes du rayonnement solaire	5
I.3 Rappels sur les modes d'échanges thermiques	5
I.3.1 Transfert de chaleur par conduction	5
I.3.2 Transfert de chaleur par rayonnement	6
I.3.3 Transfert de chaleur par convection	7
I.4 L'énergie photo thermique	8
I.4.1 Capteur solaire thermique	8
I.4.1.1 Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique	8
I.4.1.2 Les types des capteurs solaires thermiques	9
I.4.1.3 L'orientation et l'inclinaison d'un capteur solaire	12
I.4.1.4 Bilan thermique d'un capteur plan	13
I.4.2 Les composantes d'une installation solaire thermique	13
I.4.3 Chauffe-eau solaire	15
I.4.3.1 Types de chauffe-eaux solaires	15
I.4.3.2 Comparaison entre les deux types de CES	16
I.4.4 Système solaire combiné (SSC)	17
I.4.4.1 Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon	17
I.4.4.2 Le plancher solaire direct (PSD)	18
I.5 Matériaux isolants	19
I.5.1 La lame d'air	19
I.5.2 La laine de roche	19
I.5.3 Le polystyrène expansé	19
I.6 Conclusion	19

Chapitre II : Etude de cas : données géographiques et météorologiques.....	22
II.1 Introduction	23
II.2 Le confort thermique	23
II.2.1 Paramètres affectant le confort thermique	23
II.2.1.1 Caractéristiques géographiques de la ville de Maghnia	24
II.2.1.2 Température de l'air	24
II.2.1.3 Vitesse de l'air	27
II.2.1.4 Radiations solaires	27
II.2.1.5 humidité relative	28
II.3 Autres paramètres affectants le rendement des capteurs.....	29
II.3.1 La durée d'insolation	29
II.3.2 La précipitation	30
II.4 Description de l'habitat étudié	31
II.5 Conclusion	33
Chapitre III : Résultats et discussions.....	35
III.1 Introduction	36
III.2 Description et simulation sous Trnsys	36
III.3 Les étapes de la simulation	37
III.3.1 Première phase	37
III.3.2 Deuxième phase	42
III.3.2.1 Introduction des composants de l'enveloppe.....	43
III.3.2.2 Utilisation des différents isolants	46
III.4 Résultats et interprétation	47
III.4.1 Première étape	47
III.4.2 Deuxième étape	49
III.5 Conclusion.....	52
Conclusion générale.....	54

Introduction générale

La question de l'énergie constitue un défi majeur, sinon le plus grand défi auquel sont confrontés tous les pays du monde aujourd'hui, et cela est dû aux effets qui se répercutent sur plusieurs autres domaines, notamment les domaines économique et politique. Actuellement, les pays qui disposent d'importantes quantités d'énergie ou de ressources sont considérés comme influents dans la plupart des décisions politiques dans le monde.

En raison de la croissance démographique et de l'industrialisation, la demande mondiale d'énergie primaire a augmenté rapidement. Plus d'un tiers de la demande mondiale d'énergie est utilisée dans le secteur résidentiel [1].

L'utilisation et la production excessive des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel, ...) a conduit à l'émergence des problèmes au niveau du système environnemental mondial, car elle est responsable des émissions de gaz à effet de serre, et elle stimule également les températures élevées que connaît actuellement notre planète, qui sont responsables de plusieurs catastrophes comme la sécheresse, les inondations et la désertification.

L'intérêt humain pour les sources d'énergie renouvelables, principalement l'énergie solaire, était connu en raison de l'augmentation soudaine des prix du pétrole survenue

en 1973. Sa nature gratuite, sa disponibilité sur une grande partie du globe et l'absence de risque connu d'épuisement comme pour les sources d'énergie fossile (charbon, gaz, pétrole) sont l'un des facteurs qui ont suscité beaucoup d'intérêts à l'époque.

La consommation mondiale d'énergie par les équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation dans les bâtiments est estimée à 70 % de la consommation totale d'énergie [2]. Par conséquent, la conversion de la source d'énergie responsable de l'approvisionnement de ce domaine du fossile au renouvelable est une étape majeure vers la réalisation de la sécurité économique et environnementale.

La réduction de la consommation d'énergie n'est pas le seul objectif. Le véritable défi est de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter le confort en même temps.

Notre travail porte essentiellement sur le dimensionnement thermique d'une maison située à Tlemcen, précisément à Maghnia. La structure de ce mémoire est constituée de trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous allons donner tout d'abord des informations générales sur le rayonnement solaire, puis un avis général sur le solaire photo-thermique ainsi que les différents modes de transfert de chaleur.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les caractéristiques géographiques et climatiques de la ville de Maghnia ainsi que la description de l'habitat étudié.

Le troisième chapitre sera consacré à la simulation d'une installation de chauffage à l'aide du logiciel TRNSYS 16 avec différentes constructions des parois.

Les résultats obtenus à partir de la simulation sont présentés sous forme de courbes et interprétés.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

Références :

[1] S. AMARA, « Optimisation des apports d'énergies hybrides dans l'habitat économe », Thèse de Doctorat, Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen -, 2009.

[2] R. M. ABDERRAHIMI, « Enjeux de suivis de la performance d'un bâtiment nouveau et ancien de la région de Tlemcen », Mémoire de Master, Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen, 2022.

Chapitre I

**Généralités sur l'énergie solaire
thermique et ses modes de conversion**

I.1 Introduction :

Ces dernières années, la protection de l'environnement et le développement durable n'ont cessé de se développer. Cependant, ces concepts ont émergé après une longue période de réflexion sur l'impact polluant de l'utilisation des sources d'énergie conventionnelles. C'est pourquoi le besoin mondial de nouvelles sources d'énergie est crucial pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et limiter la hausse des températures à 2°C d'ici 2100 (SYMBIOSE, 2017).

Pour cela, certains pays se sont engagés dans le renforcement de leurs politiques de transition énergétique avec pour objectif d'adopter ces énergies propres et inépuisables dans la majorité de leur mix énergétique.

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus abondante sur terre. Elle est la source de la grande majorité des énergies renouvelables. Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire de l'électricité directement grâce à des panneaux photovoltaïques, chauffer ou produire de l'eau chaude sanitaire avec des capteurs solaires thermiques, ou encore indirectement via des centrales thermiques.

Dans ce premier chapitre, nous allons donner tout d'abord des informations générales sur le rayonnement solaire, puis un avis général sur le solaire photo thermique ainsi que les différents modes de transfert de chaleur.

I.2 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est compris dans une longueur d'onde variant de 0.22 jusqu'à 10 μm . Ce rayonnement permet à la terre de recevoir une quantité d'énergie d'environ 180.10^6 GW sur sa face éclairée [1]. Dans la figure I.1, on représente le spectre du rayonnement solaire.

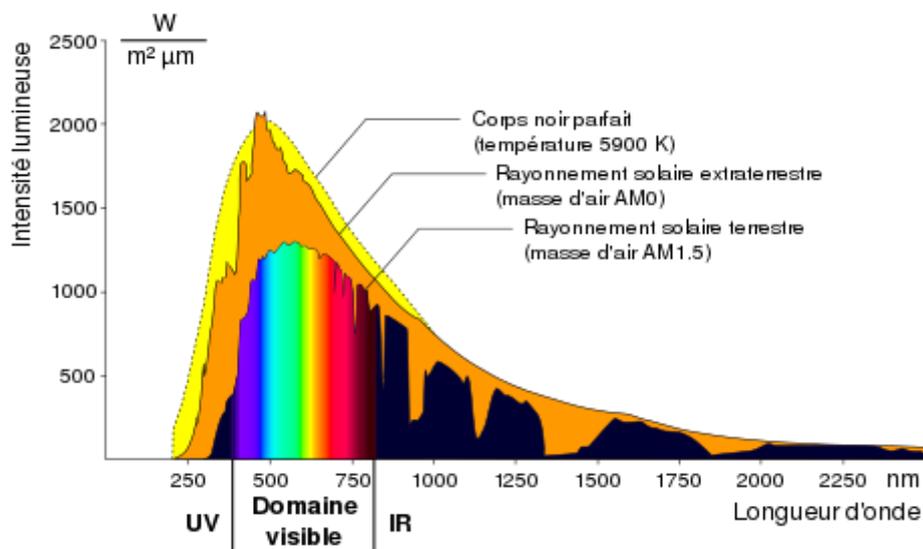


Figure I.1 : Spectre du rayonnement solaire.[2]

I.2.1 Les composantes du rayonnement solaire :

Une partie du rayonnement solaire est absorbée et diffusée à son passage vers la surface de la terre [3], pour cela on distingue quatre composantes :

- **Le rayonnement solaire direct** : sans diffusion, ce rayonnement est reçu directement du soleil.
- **Le rayonnement diffus** : la partie du rayonnement absorbée est diffusée par l'atmosphère.
- **Le rayonnement solaire réfléchi** : c'est la partie réfléchiée par la surface de la terre.
- **Le rayonnement global** : c'est la somme des différents rayonnements précédents.

Dans la figure I.2, on schématise les différents types du rayonnement solaire.

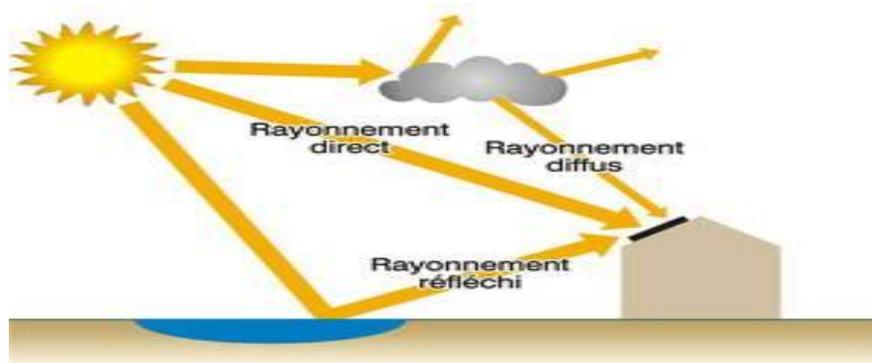


Figure I.2 : Les composantes du rayonnement solaire.[4]

I.3 Rappels sur les modes d'échanges thermiques :

Toute différence de température entre deux systèmes, quel que soit le milieu qui les sépare, même le vide, implique un échange d'énergie communément appelé "transfert de chaleur".

Un système solaire implique trois modes simultanément : transfert de chaleur, convection, rayonnement et conduction.

I.3.1 Transfert de chaleur par conduction :

C'est un transfert de chaleur dans un milieu solide sans déplacement significatif de matière sous l'influence de la différence de température. Cette méthode de transfert caractérise essentiellement le processus de transfert de chaleur entre solides ou solides continus, car un milieu fluide est caractérisé par une faible conductivité thermique. Nous comprenons que la conduction a une origine microscopique car elle est le seul mécanisme participant au transfert de chaleur dans des solides uniformes, opaques et denses [5]. On définit le flux thermique de base $d\phi$ par exemple, la chaleur transférée par unité de temps, écrite comme suit :

$$\phi = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

ϕ : Le flux de chaleur en watt (W).

λ : Conductivité thermique du milieu ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

$\frac{dT}{dx}$: Gradient de température en ($\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$).

dQ : La quantité de chaleur élémentaire (J).

dt : est le temps caractéristique élémentaire (s).

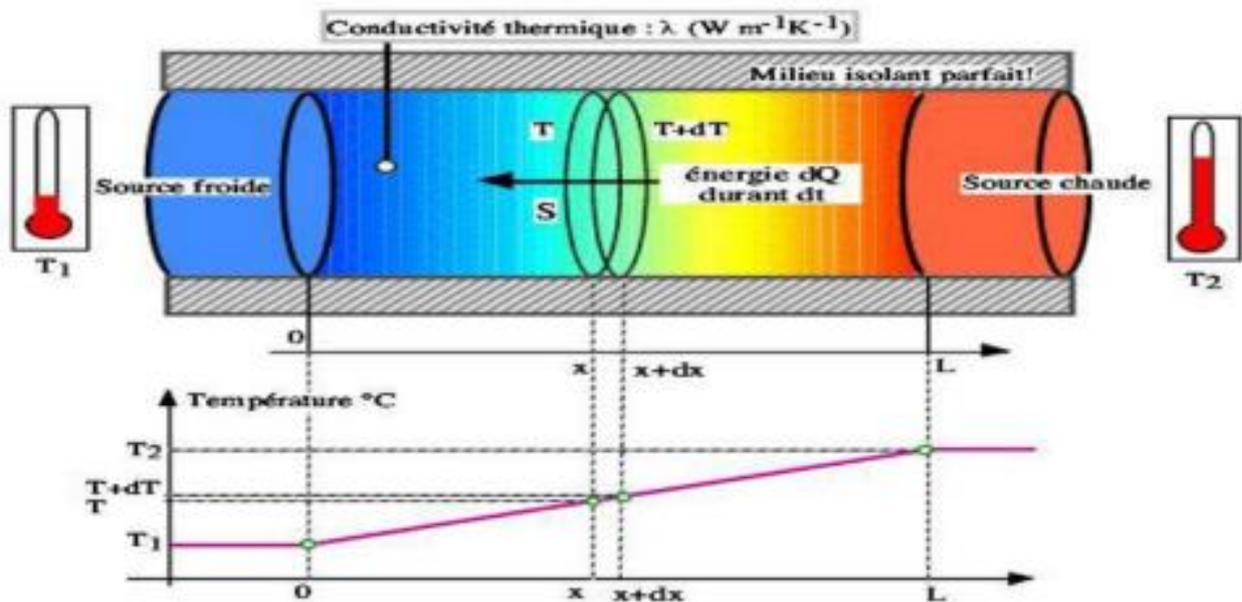


Figure I.3 : Principe de la conduction thermique.[6]

I.3.2 Transfert de chaleur par rayonnement :

Le rayonnement est défini comme étant l'énergie ondulatoire ou des particules matérielles qui se propagent à travers l'espace. Par exemple le rayonnement solaire est l'ensemble des rayonnements électromagnétiques émis par le Soleil et qui déterminent la température sur la Terre.[7]

Le flux de chaleur rayonné par un milieu de surface (S) et de température (T) s'exprime grâce à la loi de Joseph Stefan (1835-1893) et Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) :

$$\phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$$

Avec :

- σ : Constant de Stefan-Boltzmann, $\sigma=4,92 \cdot 10^{-8} \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2 \cdot \text{K}$
- ε : L'émissivité de la surface sans unité

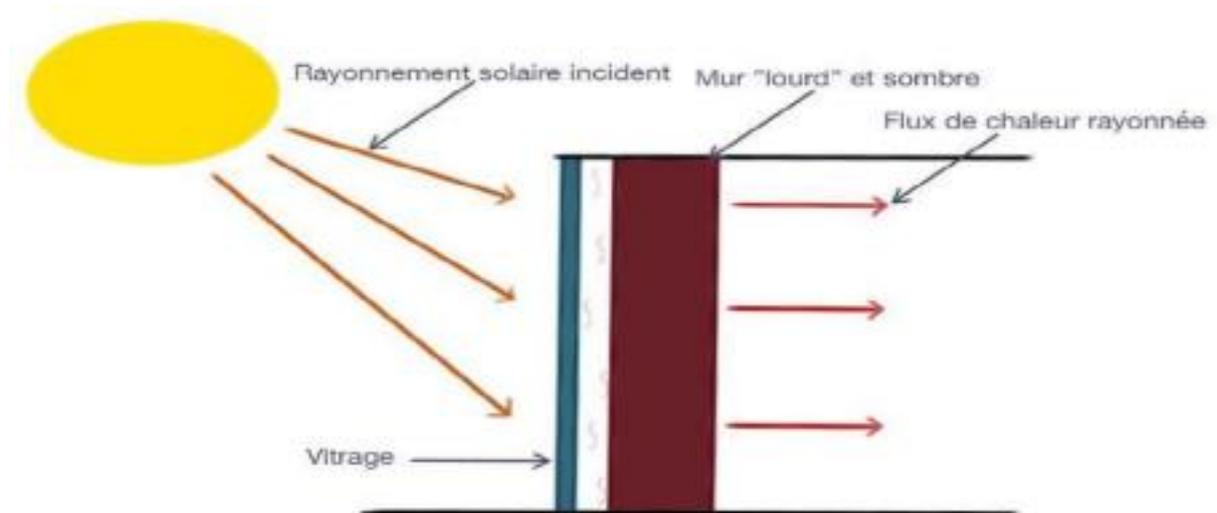


Figure I.4 : Transfert de chaleur par rayonnement solaire sur un mur.[8]

I.3.3 Transfert de chaleur par convection :

C'est un transfert qui résulte d'un mouvement des fluides (liquide ou gaz). Il caractérise l'échange de chaleur entre un solide et un fluide comme illustré sur la figure I.5. La puissance transférée par convection est donnée par la relation :

$$\phi = hS (T_s - T_a)$$

Avec :

- ϕ : Flux de chaleur transmis par convection (W).
- h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).
- T_s : Température de surface du solide ($^\circ\text{C}$).
- T_a : Température du fluide loin de la surface du solide ($^\circ\text{C}$).
- S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2).

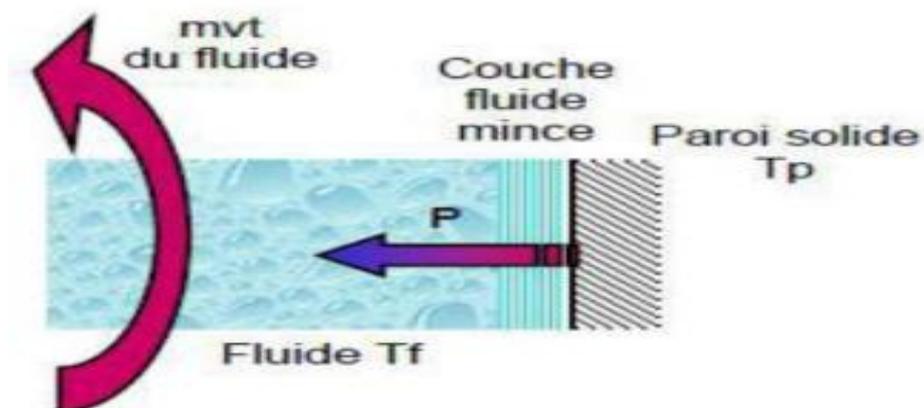


Figure I.5 : Action de fluide en mouvement dans la convection.[6]

I.4 L'énergie photo thermique :

La recherche où l'application de l'énergie solaire à un endroit donné dépend des données d'insolation plus complètes et détaillées pour cet endroit. Une fois les données de champ solaire obtenues par mesure ou estimation, elles doivent être présentées sous une forme accessible aux concepteurs de systèmes solaires afin qu'elles puissent être utilisées pour les préférences de système du type : centralisé ou non, autonome ou non, et stockage journalier ou saisonnier. Le flux solaire reçu au sol dépend de plusieurs facteurs : l'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface de la Terre, la latitude du site de captage, le degré de pollution et l'altitude, la période de l'année, le moment de la journée considéré et la nature des nuages. Lorsque l'énergie lumineuse (photons) rencontre la matière, elle en convertit une partie en chaleur. C'est ce qu'on appelle la conversion photo thermique.

I.4.1 Capteur solaire thermique :

Les capteurs solaires thermiques sont les éléments de base des installations solaires. Ils reçoivent le rayonnement solaire et le convertissent en chaleur, qui est ensuite transférée à un fluide caloporteur. Cette chaleur sera utilisée pour produire de l'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux, etc. Les capteurs solaires thermiques fonctionnent sur la base du phénomène de l'effet de serre.

I.4.1.1 Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique :

Le fonctionnement du capteur solaire thermique est basé sur trois grands principes physiques :

- L'effet du corps noir : un corps noir absorbe la chaleur du soleil
- L'effet de serre : une vitre permet d'emprisonner les rayonnements infrarouges, ce qui empêche la chaleur de s'échapper
- L'effet isolant : la chaleur est conservée dans le panneau thermique lorsqu'il est bien isolé.

Le capteur solaire thermique est schématisé sur la figure I.6. Il est constitué de :

- Un tube absorbeur, placés sur une feuille, généralement en aluminium, peinte en noir, qui emprisonne la chaleur et la restitue au liquide caloporteur, qui parcourt les tubes en cuivres
- Une plaque de verre, qui referme le capteur, et qui contient les rayons infrarouges
- Un coffre isolant qui va empêcher les déperditions de chaleur.

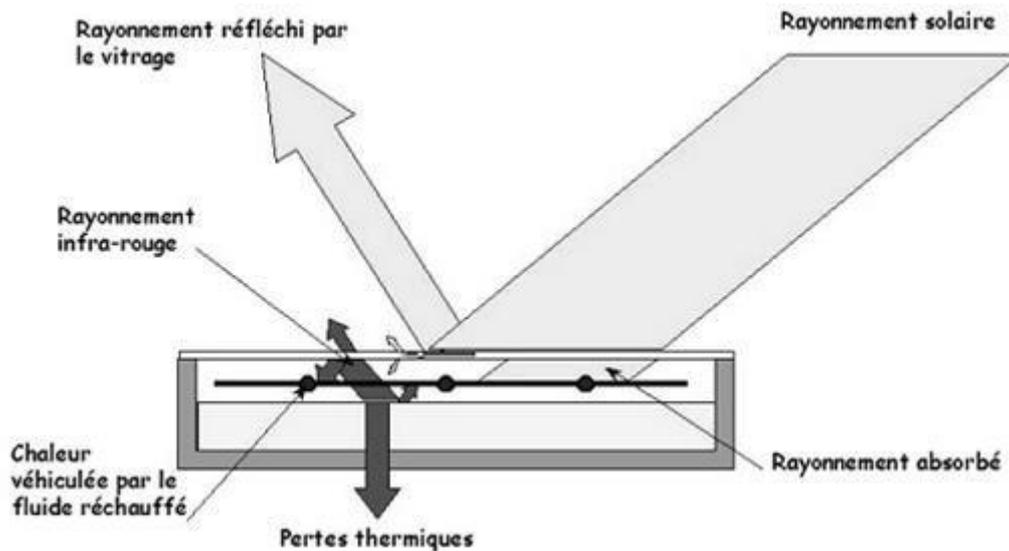


Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique plan[9].

I.4.1.2 Les types des capteurs solaires thermiques :

Il existe différentes technologies de capteurs solaires thermiques, de la plus rudimentaire à la plus avancée, chacune adaptée à des usages spécifiques. Parmi les grandes familles de capteurs, on trouve : les capteurs plans non vitrés, les capteurs plans vitrés, les capteurs sous vide. Ces types diffèrent considérablement en qualité, en rendement, en conception et en coût.

a. capteurs plans non vitrés :

Ce sont des capteurs simples de grande surface de collecte produisant des températures relativement basses et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement.

La figure I.7 nous donne une description d'un capteur plan non vitré qui ne comporte pas de couverture. Il est souvent constitué :

- D'absorbeurs métalliques ou en plastique.
- De faisceaux de tubes cylindriques ou ovalisés parcourus par de l'eau (fluide caloporteur) qui se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes. Les pertes thermiques étant dans ce cas élevées. Il est peu sensible à l'angle d'incidence du rayonnement. Les températures courantes de fonctionnement ne dépassent jamais 30°C, ce qui limite leur emploi.

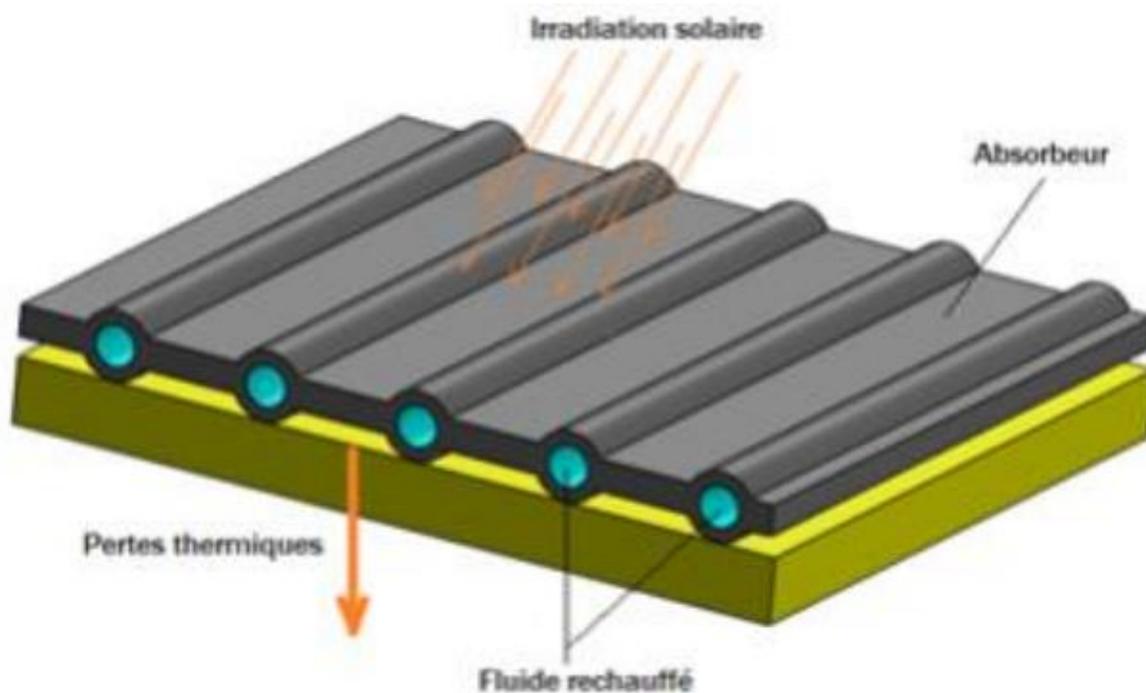


Figure I.7 : Description d'un capteur solaire non vitré.[10]

b. capteurs plans vitrés :

Le capteur vitré est le plus utilisé, car il correspond au domaine d'application le plus courant : le chauffage de l'eau sanitaire. La température d'utilisation est en général inférieure à 70 °C. Plus rarement, un capteur vitré, muni d'une couverture transparente de type « double vitrage », permet d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100 °C.

Le capteur vitré (figure I.8) est constitué de différents composants :

- Le coffre.
- L'isolation thermique.
- L'absorbeur.
- La couverture transparente.

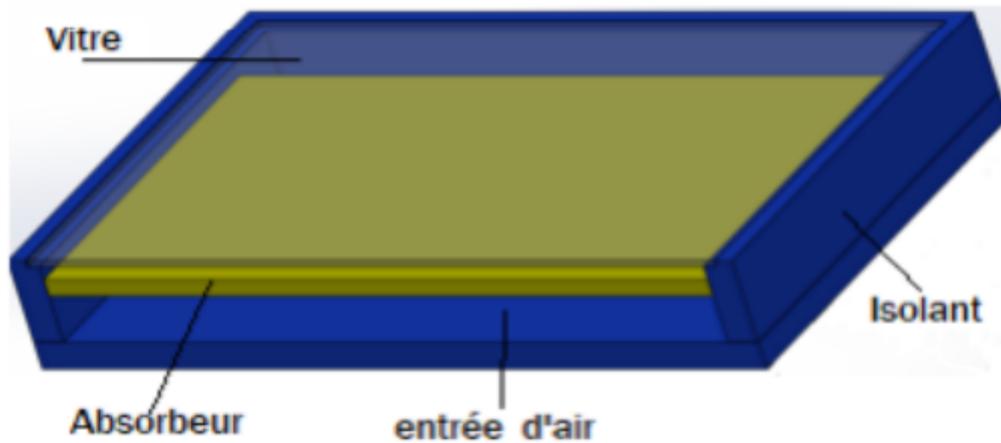


Figure I.8 : Capteur plan vitré.[10]

c. Capteur sous vide :

Le capteur à tubes sous vide permet de satisfaire aux applications nécessitant des températures plus importantes. Il utilise le vide comme isolation thermique et possède donc un très bon rendement à hautes températures. On le trouve dans de nombreuses applications industrielles, mais aussi dans le domaine de l'habitat individuel et collectif pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Il est décrit par la figure I.9 et il est composé :

- D'une série de tubes de verre sous vide, de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres).
- D'un absorbeur à l'intérieur des tubes de verre.
- Des tubes en cuivre à l'intérieur d'un tube de verre.



Figure I.9 : Panneau solaire thermique à tube sous vide.[11]

I.4.1.3 L'orientation et l'inclinaison d'un capteur solaire :

a. L'orientation :

Afin que la répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée soit optimale, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueillie soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord) comme illustré sur la figure I.10.

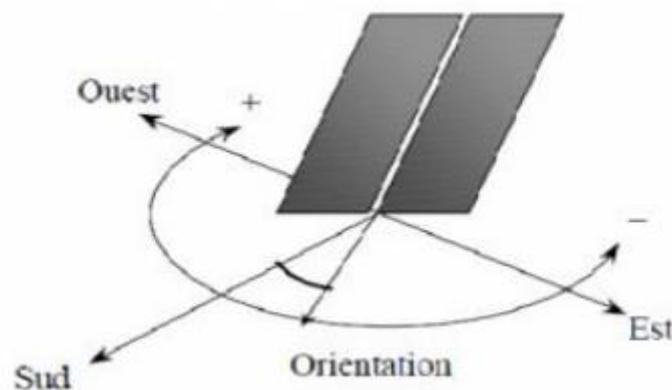


Figure I.10 : Orientation d'un capteur solaire.[10]

b. L'inclinaison :

Les capteurs solaires peuvent être installés au sol, sur le côté d'un bâtiment ou sur le toit. Idéalement, ils doivent être orientés, pour l'hémisphère nord de la terre, vers le sud, loin des zones ombragées, et doivent avoir un angle d'inclinaison permettant à la surface du capteur d'être perpendiculaire aux rayons du soleil et de recevoir une exposition maximale au soleil. Le calcul de l'angle d'inclinaison est effectué en soustrayant la déclinaison du soleil de la latitude géographique de l'emplacement du capteur. En règle générale, il s'agit de plus ou moins 10 à 15 degrés de la latitude de l'emplacement. En hiver (position hivernale), lorsque la trajectoire du soleil est plus basse dans le ciel, des angles d'inclinaison plus élevés (la latitude plus 10 à 15 degrés) doivent être utilisés. En revanche, une inclinaison plus faible (moins 10 à 15 degrés de la latitude) est recommandée pendant les mois d'été lorsque le soleil est plus haut dans le ciel (position d'été) [12].

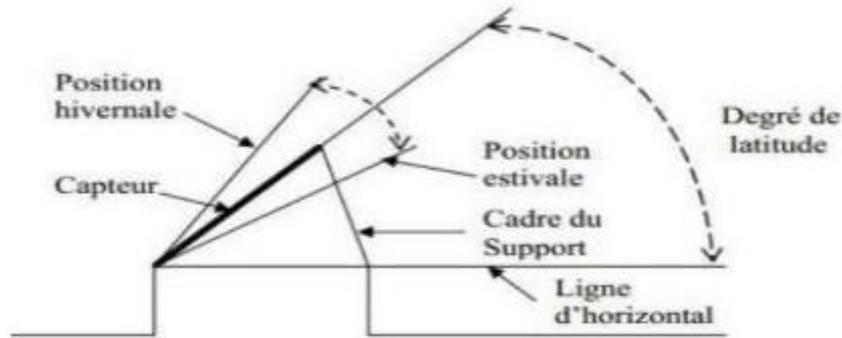


Figure I.11 : Installation d'un capteur solaire.[10]

I.4.1.4 Bilan thermique d'un capteur plan :

L'énergie utilisable :

$$Q_u = Q_a - (Q_c + Q_r + Q_d)$$

Q_u : L'énergie utilisable [W/m²].

Q_a : L'énergie absorbée par l'absorbeur [W/m²].

Q_c : L'énergie perdue par convection [W/m²].

Q_r : L'énergie perdue par rayonnement [W/m²].

Q_d : L'énergie perdue par conduction [W/m²].

La température de sortie d'eau :

$$T_s = T_e + \left(\frac{Q_u}{\dot{m} \times C_p} \right)$$

Tel que :

T : Température d'entrée de l'eau

\dot{m} : Debit d'eau [Kg/s].

C_p : Chaleur spécifique d'eau [J/Kg. °C].

Rendement instantané :

$$\eta = Q_u / G_{(i,\gamma)}$$

$G_{(i,\gamma)}$: Eclairage global incident [W/m²].

I.4.2 Les composantes d'une installation solaire thermique :

Tout système de conversion thermique de l'énergie solaire est constitué des éléments suivants :

- Un capteur solaire.
- Un circuit caloporteur permettant de transférer l'énergie absorbée par le capteur à l'appareil d'accumulation ou directement au point d'exploitation.
- Un stockage thermique.
- Un réseau de distribution.

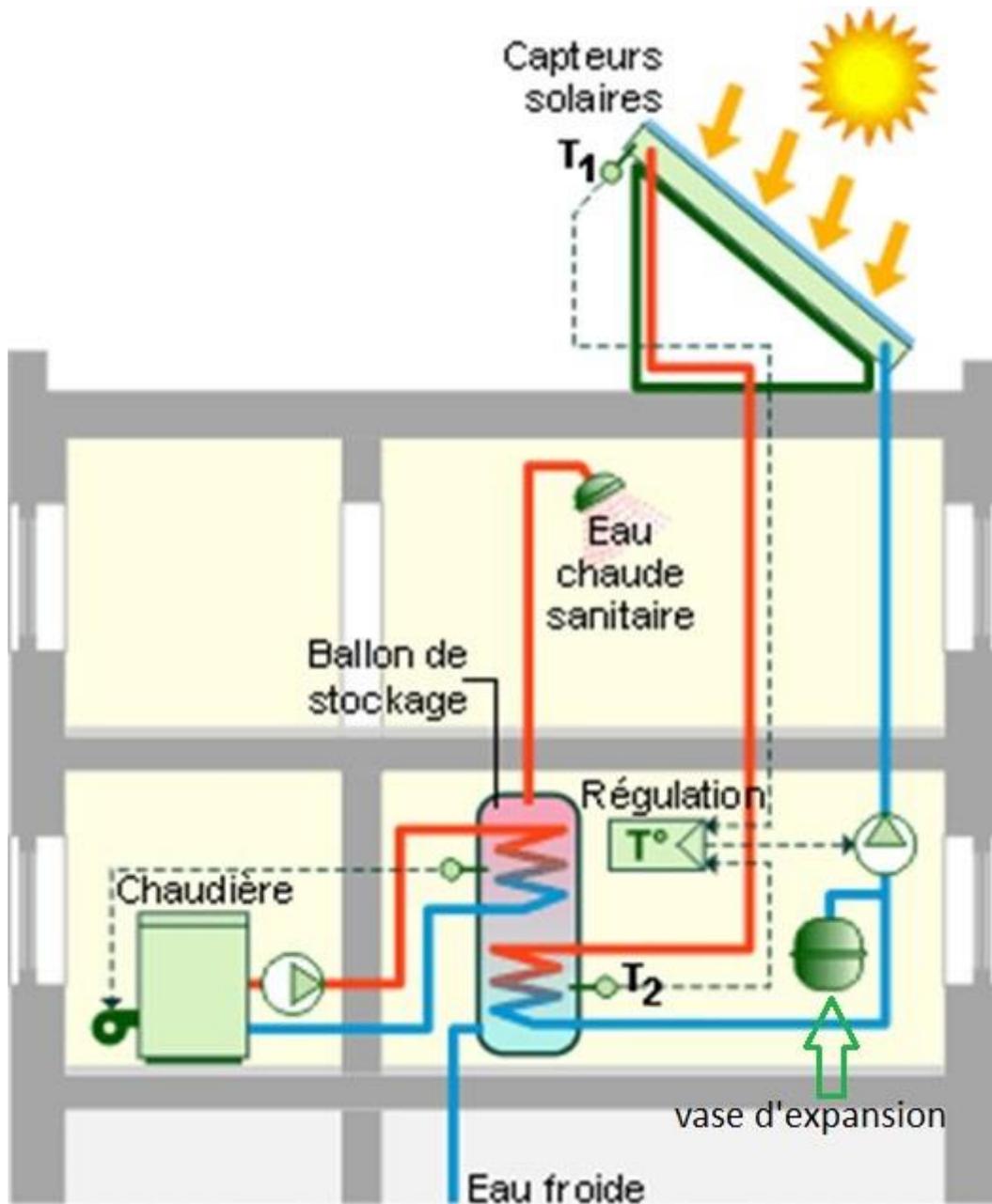


Figure I.12 : Principe d'une installation solaire thermique[12]

I.4.3 Chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau solaire permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude et cela pour divers usages : sanitaire, lave-linge, piscine...

Il se compose principalement de capteurs solaires thermiques et d'un ballon de stockage d'eau chaude, auquel sont rajoutés d'autres composants à savoir : les conduites de circuit, une pompe, un clapet anti-retour, un vase d'expansion, une soupape de sécurité, les robinets de vidange, les purgeurs et un régulateur.

I.4.3.1 Types de chauffe-eaux solaires :

L'énergie captée par le capteur solaire et transformée en chaleur est transmise au fluide caloporteur et transférée dans un réservoir de stockage. Par conséquent, en fonction de la nature de la circulation des fluides, deux systèmes de chauffe-eau solaire peuvent être distingués :

a) Chauffe-eau solaire à thermosiphon :

L'eau contenue dans le capteur surchauffe sous l'effet d'un rayonnement solaire, donc sa densité diminue, il s'élève dans le circuit et il est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon de stockage selon le principe de gravitation. Le ballon de stockage doit être obligatoirement placé plus haut que les capteurs selon une hauteur prédéfinie pour que la circulation du fluide dans le circuit soit assurée.

Les avantages d'un chauffe-eau solaire à thermosiphon sont :

- Il ne nécessite pas de raccordement à un réseau électrique car il ne comporte pas de pompes ni de régulation.
- Par conséquent, les risques de panne et de dysfonctionnement sont très réduits.

On distingue les chauffe-eau solaires thermosiphon monobloc (figure I.13) et les chauffe-eau solaires thermosiphon à éléments séparés (figure I.14) selon la disposition du ballon de stockage par rapport aux capteurs.[13]

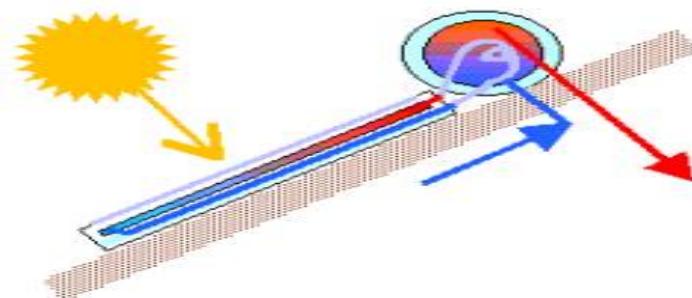


Figure I.13 : chauffe-eau solaire thermosiphon monobloc [13].

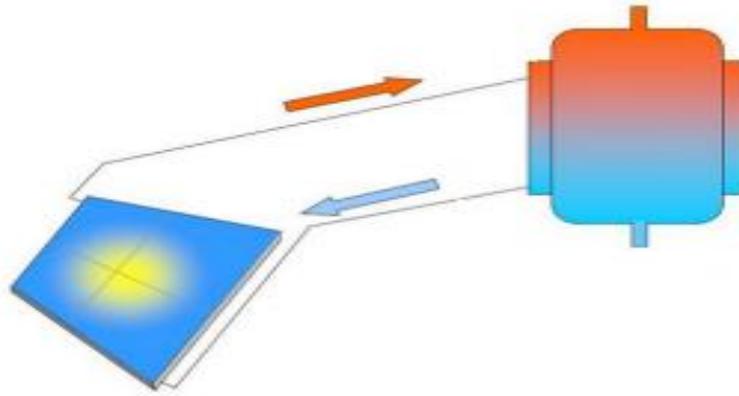


Figure I.14 : chauffe-eau solaire thermosiphon à éléments séparés [13].

b) Chauffe-eau solaire à circulation forcée :

Cette catégorie inclut les chauffe-eaux solaires qui utilisent un circulateur pour transférer l'eau chaude du capteur solaire au ballon de stockage. Contrairement aux chauffe-eau thermosiphons, l'agencement relatif du ballon et du capteur est complètement aléatoire. C'est l'un des bénéfices d'un chauffe-eau solaire à circulation forcée.

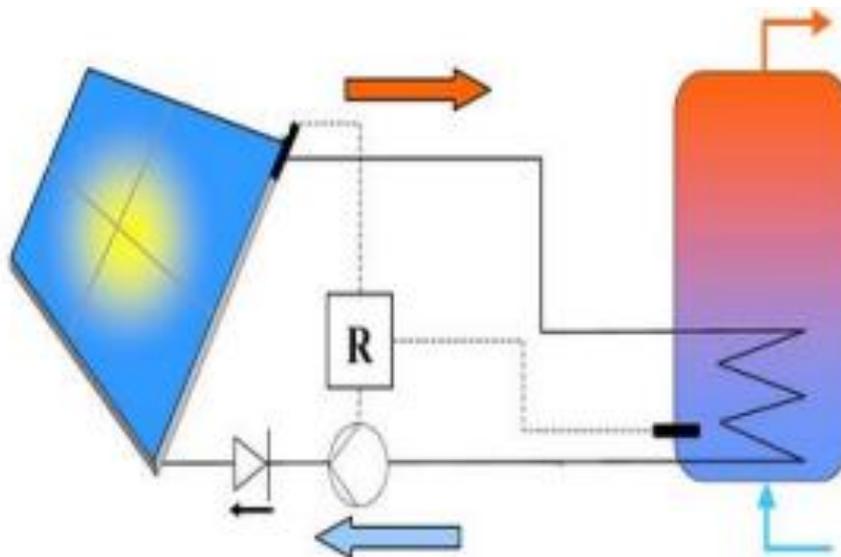


Figure I.15 : CES à circulation forcée.[13]

I.4.3.2 Comparaison entre les deux types de CES :

- **Prix du chauffe-eau solaire** : avantage pour le thermosiphon car il fonctionne tout seul sans pompe ni régulateur, il est le moins cher des deux systèmes.
- **Installation du chauffe-eau solaire** : avantage pour le thermosiphon car il est plus simple qu'un chauffe-eau solaire à circulation forcée.

- **Durée de vie d'un chauffe-eau solaire** : avantage pour le thermosiphon car le régulateur et la pompe sont des éléments fragiles, donc sont les premières causes de panne.
- **Flexibilité d'installation** : avantage pour la circulation forcée car le ballon de stockage pouvant se positionner (presque) partout, particulièrement en dessous du capteur à thermosiphon.
- **Utilisation** : avantage pour un CES à circulation forcée car il est employé généralement pour les utilisations collective ou industrielle, et il peut être doté de plusieurs capteurs.
- **Performance** : avantage pour la circulation forcée car le régulateur permet de récupérer le maximum d'apport solaire dans les zones à faible ensoleillement ou la perte de chaleur dans le ballon est plus rapide.

I.4.4 Système solaire combiné (SSC) :

Comme son nom l'indique, le système solaire combiné, associe chauffage de l'eau chaude sanitaire et chauffage de l'habitat.

Le caloporteur transmet sa chaleur au réseau d'eau de chauffage également stockée dans un ballon et toujours par le biais d'un échangeur thermique, en plus de réchauffer l'eau sanitaire, c'est ensuite l'eau de chauffage qui circule dans les radiateurs pour réchauffer l'air ambiant.[14]

On distingue deux types de système solaire combiné (SSC) :

I.4.4.1 Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon :

Afin de restituer la chaleur tout au long de la journée, ce système est basé sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir. Il est constitué de quatre principaux éléments :

- Des capteurs solaires thermiques identiques que ceux utilisés avec un chauffe-eau solaire.
- Un réservoir tampon d'eau de chauffage de grande capacité intégrant la production d'eau chaude sanitaire.
- Une chaudière raccordée au réservoir pour compléter le chauffage, si besoin.
- Un ensemble de régulation.

Le fluide réchauffé dans le collecteur traverse un échangeur situé dans la partie basse du réservoir. L'eau froide est réchauffée au contact de l'échangeur, et une sonde de température déclenche un secours en cas d'ensoleillement insuffisant.

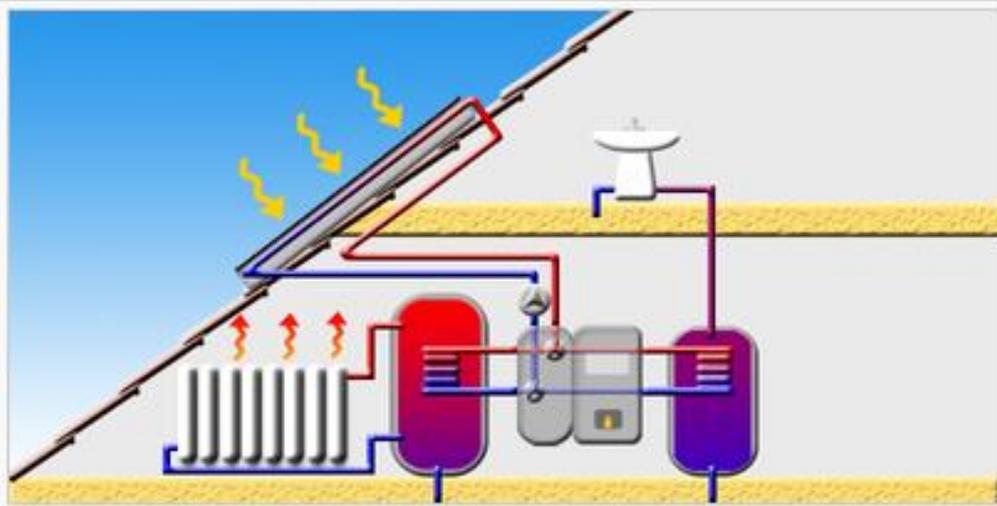


Figure I.16 : Système solaire combiné avec système de stockage.[15]

I.4.4.2 Le plancher solaire direct (PSD) :

Un plancher solaire direct fonctionne sur le même principe qu'un SSC avec stockage d'énergie, mais il n'utilise pas de ballon tampon car c'est un plancher chauffant qui fait office de ballon. L'inertie thermique des dalles permet de récupérer la chaleur accumulée le jour pendant la nuit. Des ballons d'eau autonomes assurent la production et le stockage de l'eau chaude sanitaire. Les chaudières peuvent compléter les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

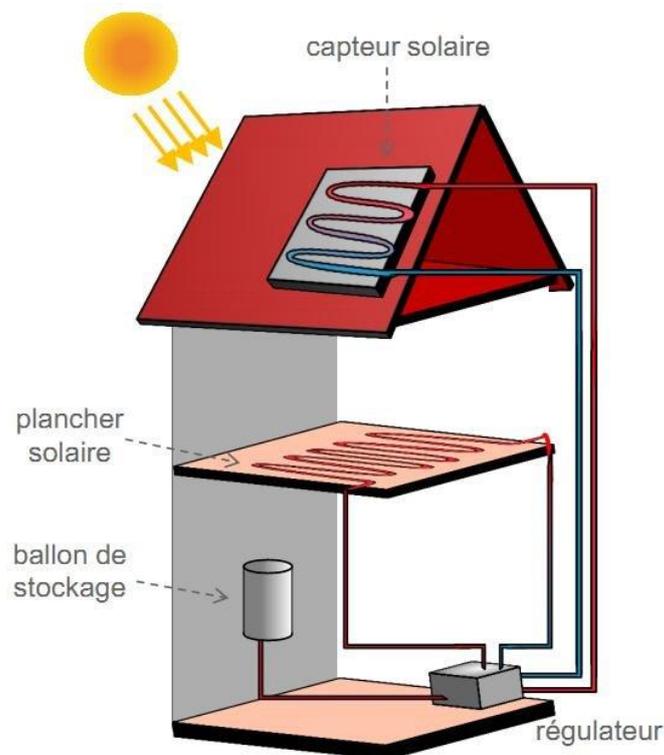


Figure I.17 : Principe du chauffage de bâtiment par plancher solaire direct (PSD).[16]

I.5 Matériaux isolants :

Il existe plusieurs types de matériaux isolants, notre étude est basée sur la comparaison entre trois isolants.

I.5.1 La lame d'air :

C'est un isolant naturel peu coûteux spécialement utilisé pour les murs.

I.5.2 La laine de roche :

Elle constitue un isolant naturel thermique et acoustique pour les murs, sols et toitures. Elle est issue des fibres de roches volcaniques.

I.5.3 Le polystyrène expansé :

Contrairement aux deux autres isolants, le polystyrène expansé est un isolant synthétique obtenu à partir de l'industrie pétrochimique.

On le retrouve, à la fin de son cycle de fabrication, en panneaux isolants pour les murs, les sols et les toitures.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons traité l'énergie solaire thermique, en partant de sa source de rayonnement solaire, en passant par les mécanismes qui permettent le transfert de cette énergie aux usages quotidiens, jusqu'à son utilisation finale.

Le niveau d'ensoleillement à un endroit et son orientation par rapport aux rayons du soleil affectent le rayonnement reçu par le capteur solaire.

Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu où on se trouve.

Références bibliographiques :

- [1] A.Labouret et M.Villoz, « Installations photovoltaïques : conception et dimensionnement d'installations raccordées au réseau », Dunod, 2012.
- [2] « Rayonnement solaire », *Wikipédia*. 21 février 2022. Consulté le: 25 janvier 2023. [En ligne]. Disponible sur:
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Rayonnement_solaire&oldid=191157537
- [3] OULED HAMMADI, « DEGRADATION DES MODULES PV DANS UN MILIEU DE TYPE SAHARIEN », Mémoire de Master, Université Ahmed Draïa- Adrar, 2013.
- [4] « Ensoleillement - Energie Plus Le Site ». <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/> (consulté le 25 janvier 2023).
- [5] A. Bouras et D. Taloub, « Numerical investigation of natural convection phenomena in uniformly heated trapezoidal Cylinder inside an elliptical Enclosure », *Journal of Computational Applied Mechanics*, 2019.
- [6] F. KHIDER, « Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base », Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf, M'silla- Algérie, 2015.
- [7] S. KLALECHE et A. MADJOUR, « Simulation Numérique De La Convection Forcée Entre Deux Disques En Présence D'un Nano fluide », Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou, 2015.
- [8] M. BENMERABET, « Modélisation et simulation des phénomènes de transfert thermique par convection assistés par le mouvement fluide », Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba- Algérie, 2017.
- [9] André and Thomas, « Capteurs solaires thermiques », 2018.
- [10] M. A. LABDELLI Sidi et M. E. A. TAIBI, « Comparaison de plusieurs systèmes solaires thermiques intégrés dans une maison solaire », Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen –, 2022.
- [11] « VRK 14 - Panneau solaire thermique à tubes sous vide by CTC EnerTech Group | ArchiExpo ». <https://www.archiexpo.fr/prod/ctc-ener-tech-group/product-69772-1595900.html> (consulté le 25 janvier 2023).
- [12] « Capteur solaire à eau chaude », *Energie Plus Le Site*, 22 septembre 2010. <https://energieplus-lesite.be/techniques/eau-chaude-sanitaire11/differents-preparateurs/capteur-solaire-a-eau-chaude-d1/> (consulté le 25 janvier 2023).
- [13] Aghilas BRAHIMI, « Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau », Mémoire de Master, Université de LORRAINE, 2016.

[14] M.Tissot, « L'énergie solaire thermique et photovoltaïque ».

[15] « Système combiné eau chaude + chauffage solaire — Solarpedia ». http://www.fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Syst%C3%A8me_combin%C3%A9_eau_chaude_%2B_chauffage_solaire (consulté le 2 février 2023).

[16] « Figure II.13 : Principe du chauffage de bâtiment par plancher solaire... », *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Principe-du-chauffage-de-batiment-par-plancher-solaire-direct-PSD-ou_fig28_285322379 (consulté le 2 février 2023).

Chapitre II

**Etude de cas : données géographiques et
météorologiques**

II.1 Introduction :

Le bâtiment est considéré comme un grand consommateur d'énergie et le deuxième émetteur de gaz à effet de serre. Ainsi, l'industrie peut offrir des possibilités importantes en termes de réduction de la demande énergétique, puisque le chauffage et la climatisation représentent à eux seuls 69 % de la consommation finale d'énergie[1].

La première étape pour la conception d'une installation photo thermique d'une habitation à haute efficacité énergétique commence par comprendre la fonctionnalité de l'habitation, puis à fixer les conditions du confort thermique selon l'utilisation, parmi les paramètres influençant le confort thermique on a : la température, la vitesse de l'air, l'humidité relative et la température radiante moyenne, ce qui nécessite des études sur les caractéristiques géographiques et climatiques de la région où l'habitation est située.

Pour étudier les caractéristiques climatiques du site de Maghnia, nous avons utilisé le logiciel « meteonorme », qui constitue un recueil très complet de données météorologiques. Il contient également des algorithmes permettant de créer (à partir des valeurs mesurées) des fichiers météo depuis n'importe quel endroit sur le globe. Ce logiciel s'adresse aux ingénieurs, architectes, enseignants, concepteurs et toute personne qui s'intéresse à l'énergie solaire et à la climatologie [2].

Pour ce fait, nous allons présenter les caractéristiques géographiques et climatiques de la ville de Maghnia ainsi que la description de l'habitat étudié.

II.2 Le confort thermique :

L'étude des limites de confort thermique permet d'estimer les besoins de chauffage et de climatisation des bâtiments. Cette limitation conduira à offrir des conditions satisfaisantes aux usagers des locaux, à maîtriser les consommations d'énergie et donc à limiter l'impact environnemental, à proposer et mettre en œuvre des standards et normes. La température de l'air ne définit pas à elle seule le confort thermique.

Afin d'évaluer cette dernière, plusieurs paramètres doivent être considérés, notamment ceux liés à l'environnement, à la variabilité et à l'occupant.

II.2.1 Paramètres affectant le confort thermique :

Macpherson en 1962 a identifié six variables qui définissent le confort thermique, dont quatre sont physiques (température, vitesse de l'air, humidité relative et température radiante moyenne) et deux sont personnelles (vêtements et niveau d'activité). La plage de température dans laquelle au moins 80 % des occupants de l'espace sont à l'aise est déterminée par la norme.[3]

II.2.1.1 Caractéristiques géographiques de la ville de Maghnia :

Maghnia est une ville située au nord-ouest de la wilaya de Tlemcen, 580 km à l'ouest de la capitale d'Alger, à 34°51'42'' nord de l'attitude, 1°,43'50'' Ouest de longitude et à 495 mètres d'altitude sur une superficie de 29 400 hectares, Elle a un climat méditerranéen avec un été chaud.

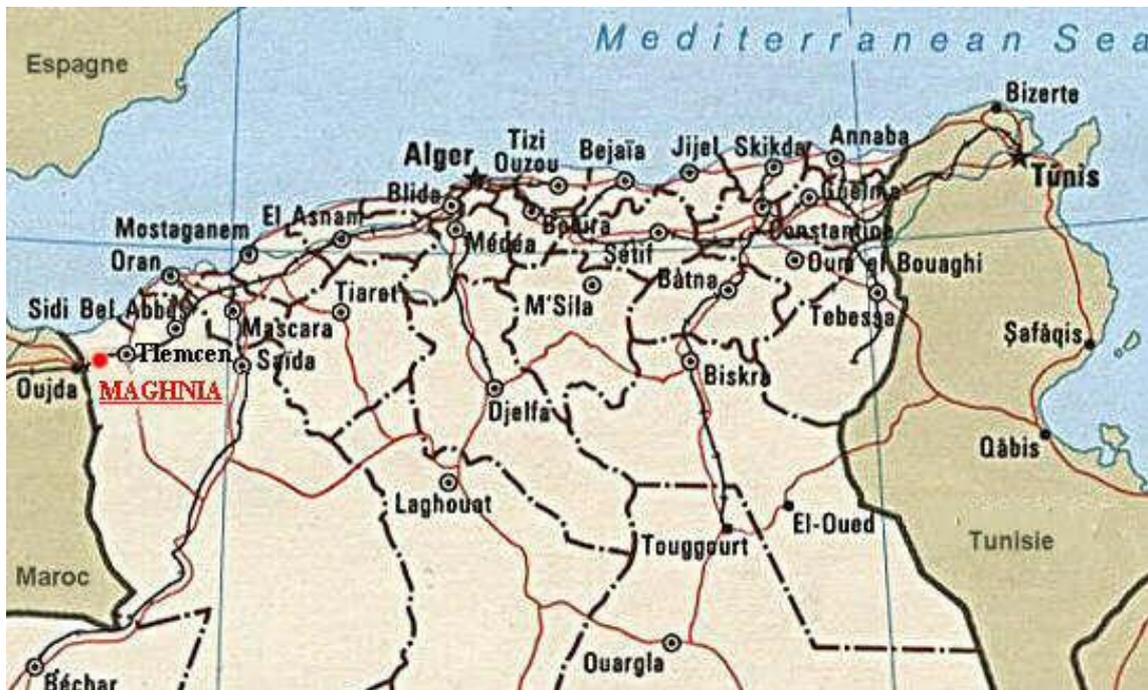


Figure II.1 : Carte géographique de la situation de la ville de Maghnia [4]

II.2.1.2 Température de l'air :

La figure II.2 montre les températures moyennes mensuelles de la ville de Maghnia. Ces valeurs ont été effectuées sur une période d'une année en utilisant le logiciel Meteonorm. Le climat à Maghnia nettement méditerranéen, se caractérise par des hivers relativement pluvieux et froid et des étés chauds.

Au mois d'Août, la température moyenne est de 27.8°C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10.2°C à cette période.

Le record de chaleur est de 46°C enregistré le mardi 31 juillet 2001 et le record de froid de -9°C enregistré le jeudi 16 décembre 2010.

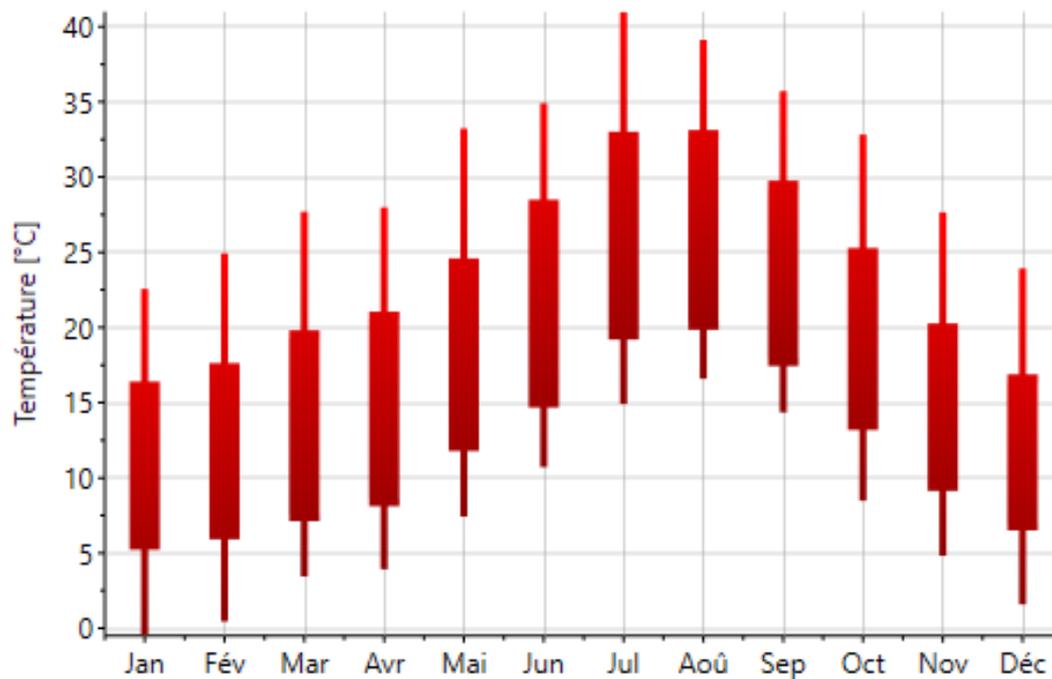


Figure II.2 : températures moyennes mensuelles de la ville de Maghnia.

Il est difficile de dire exactement quelles sont les conditions de confort du logement. Ainsi, le confort thermique dépend des changements ainsi que de la température atteinte ; la largeur de la "zone de confort" dépendra de l'équilibre entre ces deux types d'actions.[5]

La relation utilisée pour calculer la température de confort à partir de la température moyenne extérieure est donnée par Humphrey : $T_c = 13,5 + 0,54 \cdot T_0$. [6]

Mois	T. Min [°C]	T. Moy [°C]	T. Max [°C]	T. Conf [°C]
Janvier	4,1	10,2	15,9	19
Février	5,6	11,5	16,8	19,7
Mars	6,7	13,9	19,4	21
Avril	9,2	16,5	22	22,4
Mai	11,7	19,7	25,5	24,1
Juin	15,6	24,4	30,7	26,7
Juillet	18,4	27,5	34,3	28,4
Aout	19	27,8	34,2	28,5
Septembre	16,2	24,2	30,4	26,6
Octobre	12,2	19,7	25,9	24,1
Novembre	8,4	14,5	20,1	21,3
Décembre	5,9	11,6	17,1	19,8

Tableau II.1 : Température de l'air du site de Maghnia

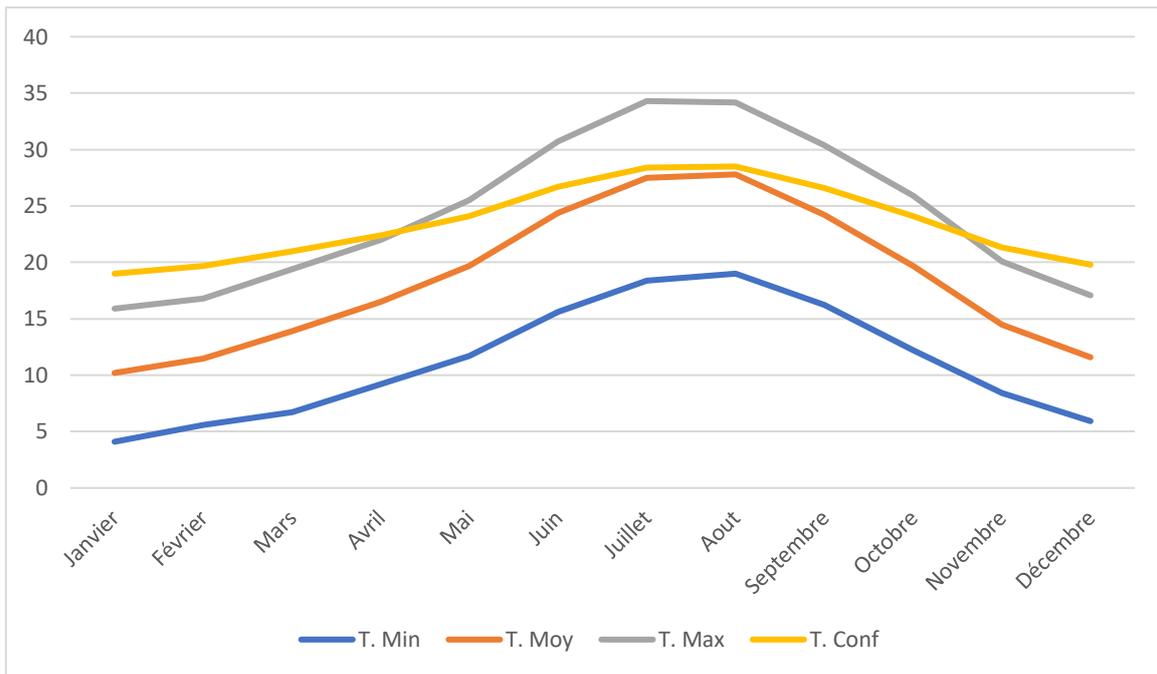


Figure II.3 : Variations des températures du site de Maghnia pendant une année.

La figure II.4 montre les températures journalières de la ville de Maghnia pendant une année en utilisant le logiciel Meteonorm. Nous y remarquons que la valeur la plus élevée est 41°C au mois de juillet, tandis que la valeur la plus basse est au mois de janvier et est -1°C.

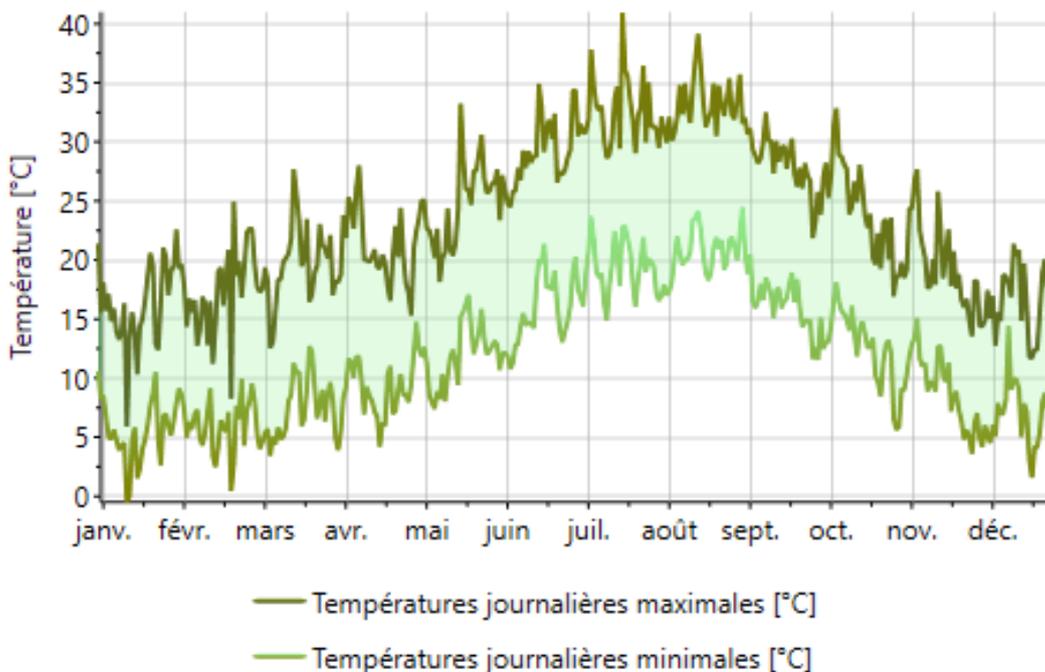


Figure II.4 : Variations des températures journalières du site de Maghnia pendant une année.

II.2.1.3 Vitesse de l'air :

La vitesse de l'air à l'intérieur des bâtiments est relativement faible, allant de 0,2 à 0,5 m/s, à moins qu'il y ait une ventilation naturelle ou forcée. Puisque la vitesse de l'air fluctue, la mesure doit être prise entre 3 et 5 minutes, pour obtenir une valeur moyenne raisonnable. L'instrument le plus généralement utilisé est l'anémomètre thermique.[7]

II.2.1.4 Radiations solaires :

La lumière du soleil utilisée comme source d'énergie est un facteur climatique dont nous avons intérêt à l'utiliser passivement pour les ouvertures vitrées, mais nous devons aussi nous protéger de la surchauffe en été. Pour cette raison, toute utilisation du rayonnement solaire doit tenir compte des conditions climatiques.

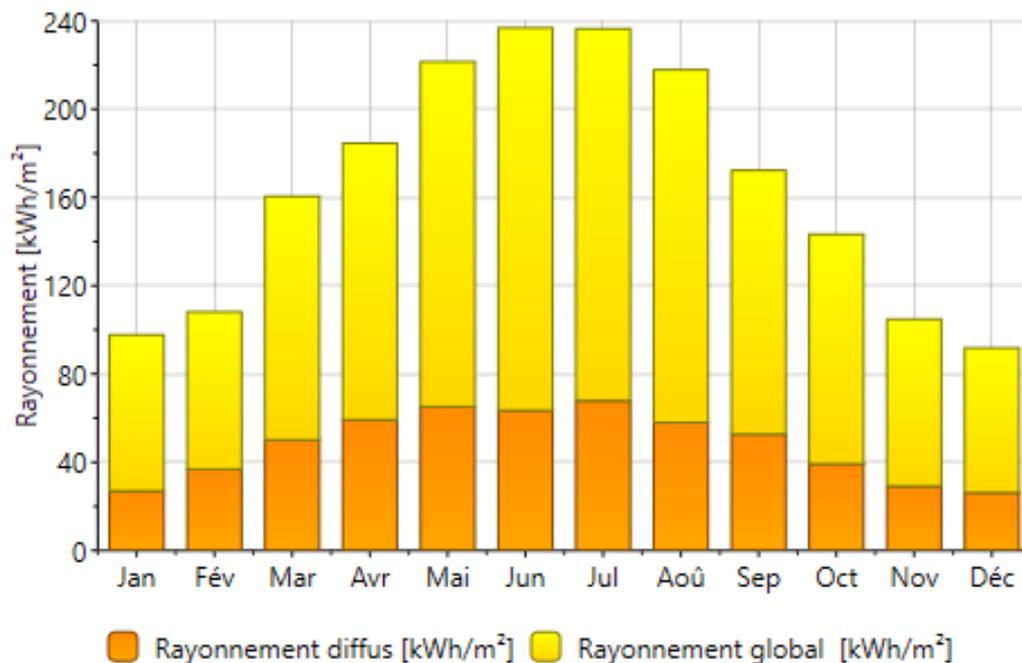


Figure II.5 : Variation du rayonnement global et diffus.

Comme l'indique la figure II.5, dont les résultats ont été tirés du logiciel Meteonorm, la plus forte croissance pour tous les rayonnements se situe entre février et mars, et le maximum est atteint en juillet. La valeur annuelle du rayonnement solaire diffus représente 35 à 44 % du rayonnement global.

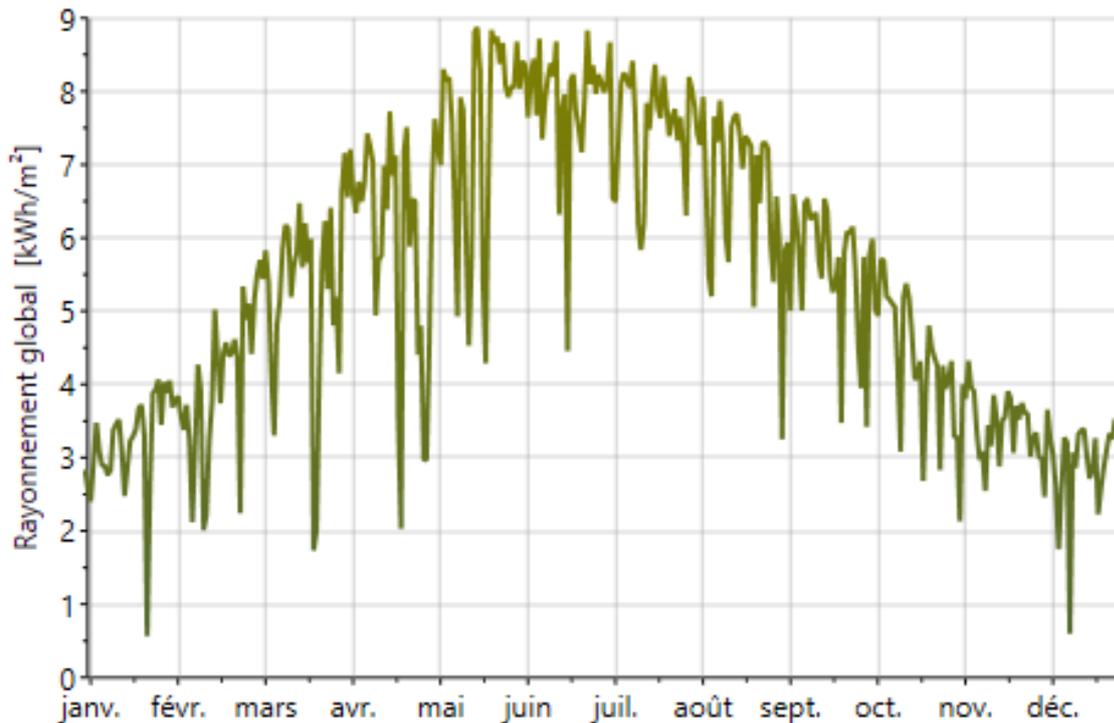


Figure II.6 : Le rayonnement global journalier du site de Maghnia pendant une année

La figure ci-dessus montre la variation du rayonnement globale journalier pendant une année en utilisant le logiciel Meteonorm, la valeur la plus élevée est 8.9 kWh/m^2 et on la trouve au mois de mai tandis que la valeur la plus basse est 0.5 kWh/m^2 et elle se trouve au mois de janvier.

II.2.1.5 humidité relative :

L'humidité atmosphérique joue un rôle essentiel dans le confort des bâtiments. Les occupants peuvent éprouver de l'inconfort dans des conditions de forte chaleur et d'humidité excessive. La ville de Maghnia se caractérise par une humidité relative modérée, qui ne provoque généralement pas d'inconfort.

En étudiant la variation annuelle de l'humidité relative, nous pouvons noter que le maximum est observé au cours des mois de janvier et décembre, avec une légère décroissance de janvier à mars, ainsi qu'un minimum durant le mois de juillet 41%. Comme le montre la Figure II.7, la valeur annuelle moyenne de l'humidité relative pour le site de Tlemcen est de 56%.

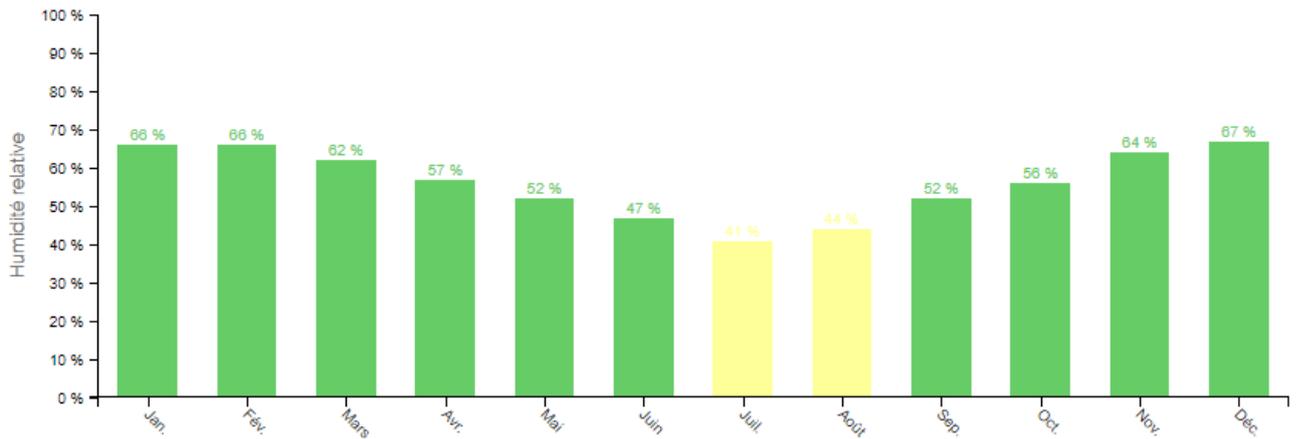


Figure II.7 : Taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température.[8]

II.3 Autres paramètres affectants le rendement des capteurs :

Étant donné que le travail des panneaux dépend principalement de la quantité du rayonnement solaire qu'il reçoit du soleil, des facteurs tels que la durée d'ensoleillement et les précipitations affectent directement le rendement des panneaux.

II.3.1 La durée d'insolation :

La figure II.8 montre les durées de l'ensoleillement et astronomique du jour du site de Maghnia pendant une année. Au mois de juillet, on peut avoir jusqu'à 11 heures d'ensoleillement, ce qui signifie une bonne absorption du rayonnement par les panneaux dans cette période, tandis que la valeur la plus basse de la durée d'ensoleillement, n'est que 6 heures d'ensoleillement par jour au mois de janvier.

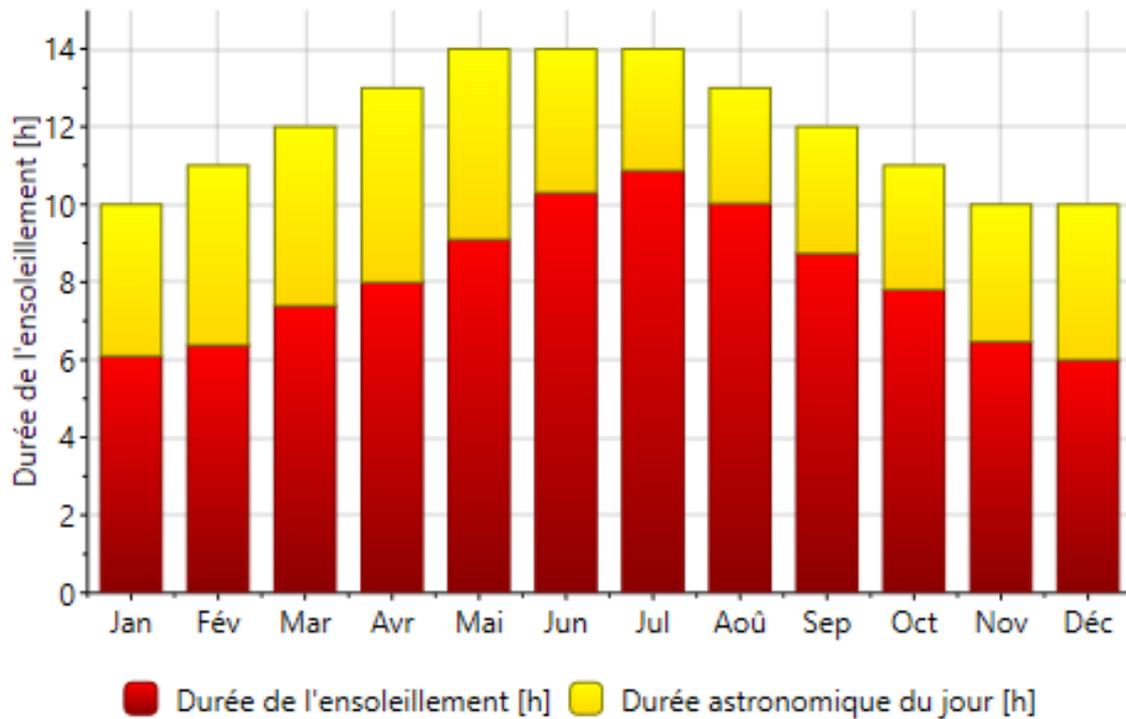


Figure II.8 : Les durées de l'ensoleillement et astronomique du jour pendant une année.

II.3.2 La précipitation :

La figure II.9 montre la quantité de précipitations et les jours avec des précipitations du site de Maghnia pendant une année. Aux mois de juin, juillet et août, on remarque le plus bas nombre des jours avec des précipitations (2 jours), tandis que le nombre des jours avec précipitations le plus élevé, se trouve aux mois de janvier et décembre avec 7 jours.

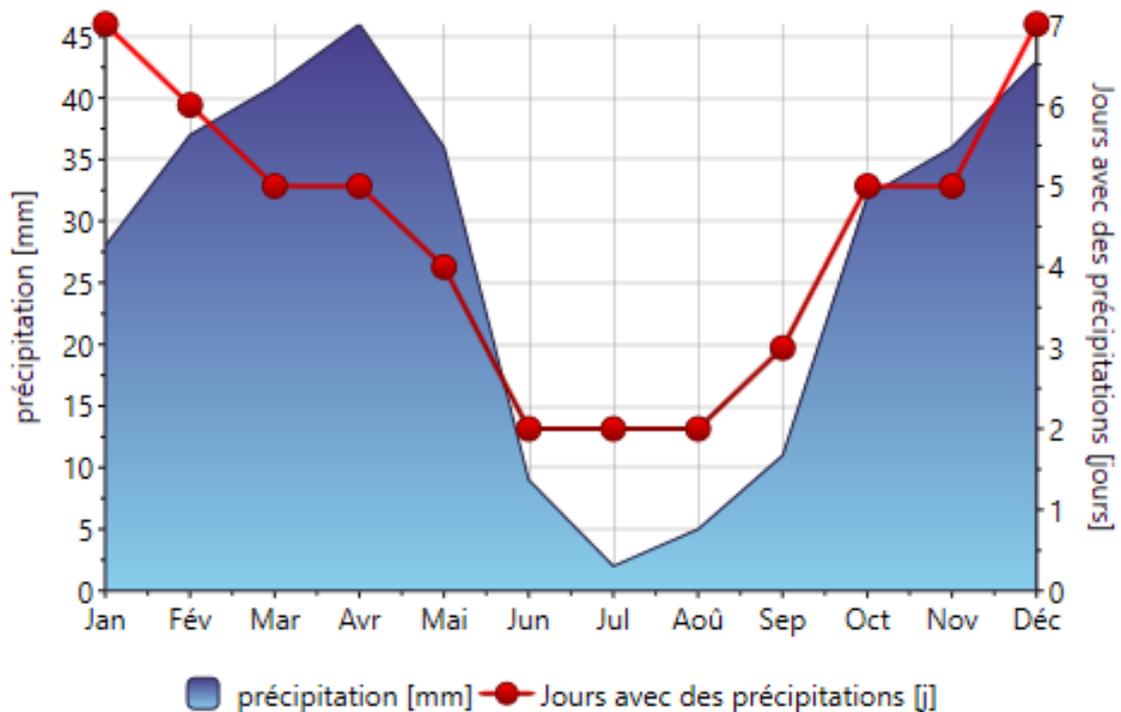


Figure II.9 : Précipitation et les jours avec des précipitations pendant une année.

II.4 Description de l'habitat étudié :

La maison qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 158,275 m², elle contient trois chambres positionnées vers le côté nord, dont la première contient une fenêtre et la deuxième une fenêtre et une porte balcon et la troisième une fenêtre. La cuisine au milieu et la salle de séjour, le salon orienté du côté sud avec deux fenêtres et enfin une salle de bain au milieu, comme le montre le plan de la figure II.6.

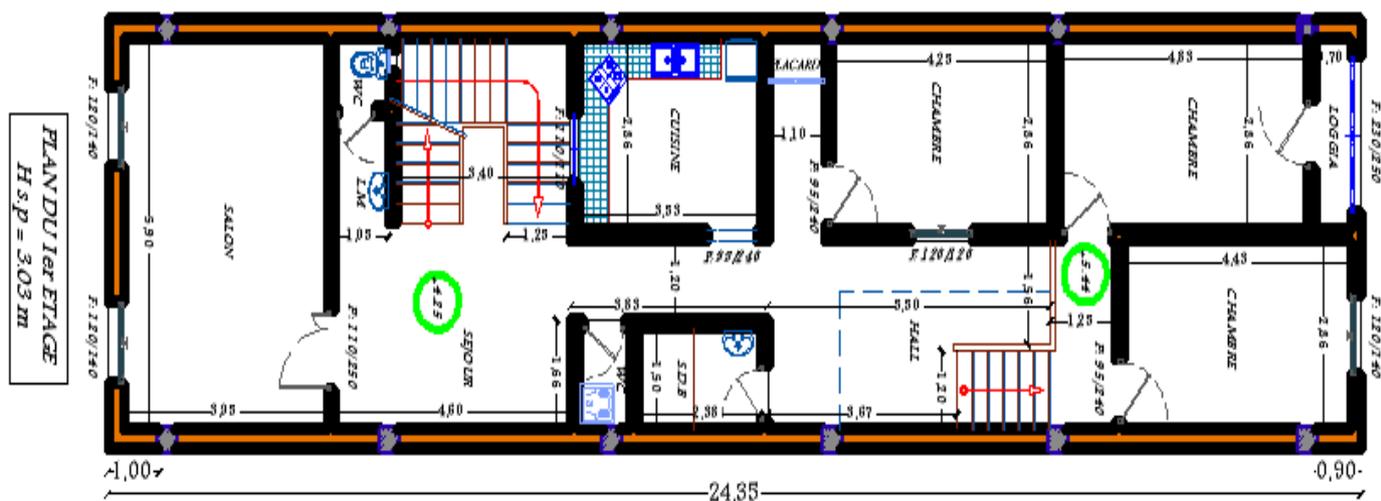


Figure II.10 : Plan de la maison étudiée.

Données architecturales de la maison :

Longueur	24,35 m
Largeur	6,50 m
Hauteur	3,20 m
Surface	158,275 m ²
Volume	506,48 m ³

Tableau II.2 : Les dimensions de la maison.

Les murs extérieurs en brique double parois d'épaisseur 0,30 m avec une couche d'enduit en plâtre d'épaisseur 0,01 m et une couche d'enduit extérieur d'épaisseur 0,02 m, et les murs intérieurs en brique d'épaisseur 0,15 m avec 2 couches d'enduit en plâtre d'épaisseur 0,01 m pour chacune.

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m. k)
Enduit en plâtre	0,01	0,35
Brique creuse	0,30	0,50
Enduit extérieur	0,02	1,15

Tableau II.3 : Composants des murs extérieurs.

Le plancher bas est constitué de hourdis d'épaisseur 0.16 m avec une couche de béton d'épaisseur 0.08 m et une couche de dalle de sol d'épaisseur 0,02 m.

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m. k)
Hourdis	0,16	1,33
Béton	0,08	0,16
Dalle de sol	0,02	0,29

Tableau II.4 : Composants du plancher.

La toiture est constituée de hourdis d'épaisseur 0,16 m et une couche de béton d'épaisseur 0,04 m et une couche d'enduit en plâtre d'épaisseur 0,01 m.

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m. k)
Enduit en plâtre	0,01	0,35
Hourdis	0,16	1,33
Béton	0,04	0,16

Tableau II.5 : Composants de la toiture.

Le type de vitrage utilisé est un vitrage simple avec une menuiserie en bois, deux fenêtres vers le sud et une vers le nord et une autre au milieu donnant sur le couloir, chacune a une hauteur de 1,40 m et une largeur de 1,20 m. Aussi une porte balcon vers le nord de Hauteur 2,50 m et 2,30 m de largeur.

II.5 Conclusion :

Le climat de la ville de Maghnia est relativement chaud, surtout dans la période allant de mai jusqu'à septembre, et donc assurer le confort thermique dans les habitats coûte cher en termes de climatisation, alors que l'utilisation du chauffage se fait sur des périodes qui ne dépassent pas les quatre mois durant l'année.

Les caractéristiques géographiques et climatiques de la ville de Maghnia ont des conditions appropriées pour le travail du capteur solaire comme la durée d'insolation.

La bonne description de l'habitat étudié permet de faire un bon dimensionnement thermique pour le chauffage et la climatisation, En plus de la superficie et des dimensions, cette description contient le type et la disposition des couches qui composent les murs, le plafond et le sol.

Références bibliographiques :

- [1] R. M. ABDERRAHIMI, « Enjeux de suivis de la performance d'un bâtiment nouveau et ancien de la région de Tlemcen », Mémoire de Master, Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen, 2022.
- [2] « Meteonorm - Logiciel - Batiactu », *produits.batiactu.com*.
[//produits.batiactu.com/produits/cstb-Editions-logiciel-meteonorm-187592.php](http://produits.batiactu.com/produits/cstb-Editions-logiciel-meteonorm-187592.php) (consulté le 27 avril 2023).
- [3] N. Djongyang, R. Tchinda, D. Njomo, « Thermal comfort: A review paper , Renewable and Sustainable Energy Reviews », vol. 14, p. 2626-2640., 2010.
- [4] « maghniaweb_situation_geographique ».
<http://maghniaweb.free.fr/Sit.geog.html> (consulté le 19 février 2023).
- [5] S. AMARA, « Optimisation des apports d'énergies hybrides dans l'habitat économe », Thèse de Doctorat, Université Aboubekr Belkaid - Tlemcen, 2009.
- [6] Humphreys.M.A, « outdoor températures and confort indoor in building research and practice », 1978.
- [7] Santamouris .M et Asimakoupoulos .D, « Passive cooling of buildings », 2001.
- [8] « Météo et climat : Maghnia (Algérie) - Quand partir à Maghnia ? », *Le planificateur de voyages*. <https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/wilaya-de-tlemcen/maghnia/2490584.html> (consulté le 19 février 2023).

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Introduction :

Une évaluation fine des besoins énergétiques permet d'avoir un système bien adapté, sachant que tout besoin supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de capacité de stockage et donc des surcoûts...

Pour évaluer la performance de la maison étudiée, nous avons utilisé le logiciel « TRNSYS », un outil de détermination de paramètres améliorant la performance énergétique des bâtiments pour répondre aux besoins des utilisateurs. L'évaluation par simulation est plus souple car elle permet d'évaluer les performances thermiques de la structure tout en agissant à volonté sur les éléments structuraux.

Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu des étapes suivies par le programme TRNSYS avec tous les paramètres utilisés pour obtenir les résultats obtenus, et enfin une discussion de ces résultats.

Cette simulation a été réalisée en deux étapes, la première comprenait les paramètres initiaux des composants des murs de la maison tels qu'ils sont dans la réalité, tandis que la seconde a été réalisée en utilisant à chaque fois des isolants différents.

III.2 Description et simulation sous TRNSYS :

TRNSYS est un environnement logiciel graphique extrêmement flexible utilisé pour simuler le comportement des systèmes transitoires. Alors que la grande majorité des simulations se concentrent sur l'évaluation des performances des systèmes d'énergie thermique et électrique, TRNSYS peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques.

Après 35 ans de disponibilité commerciale, TRNSYS continue d'être un progiciel flexible sur des composants qui répond aux besoins en constante évolution des chercheurs et des praticiens de la communauté de la simulation énergétique[1].

Le logiciel TRNSYS développé par le CSTB (Centre des Sciences et Techniques du Bâtiment) est une référence mondiale dans le domaine de la simulation thermique des bâtiments et des systèmes. Il peut intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment (données météorologiques, localisation du bâtiment, matériaux de construction utilisés, etc.) et une étude détaillée des systèmes (chauffage, climatisation, énergies renouvelables, etc.) du comportement thermique du bâtiment. Simuler et concevoir des projets d'innovation efficaces avec TRNSYS[2].

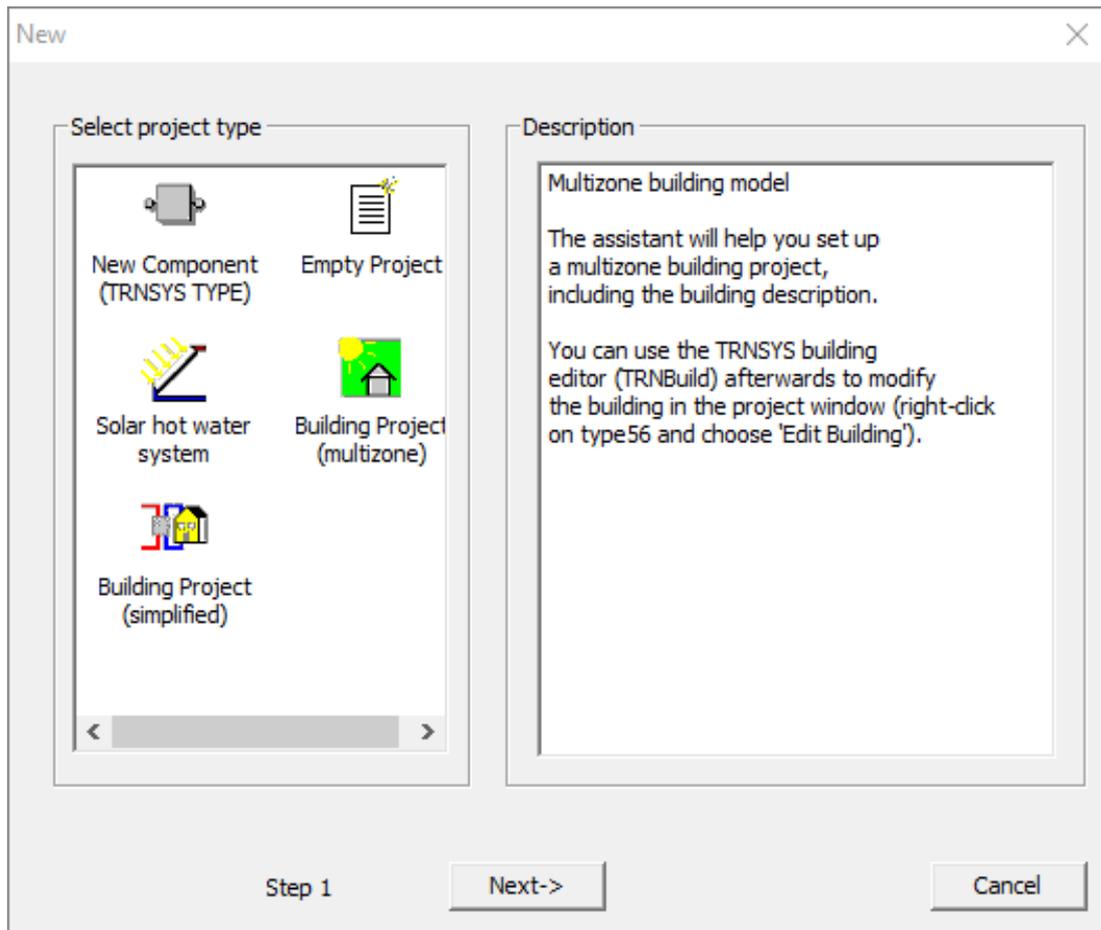
La simulation des bâtiments multizones passe par plusieurs étapes. La première étape consiste à diviser toute la maison en différentes zones, reliées les unes aux autres. Les prochaines étapes comprennent une description de l'enveloppe du bâtiment, des fenêtres, des systèmes de chauffage et de climatisation, du renouvellement de l'air, des

gains internes, etc. L'ensemble des paramètres d'entrée et de sortie constitue les composants du système appelés types dans TRNSYS, Type 56 permet de saisir ces informations et de générer les fichiers d'entrées nécessaires pour une simulation avec TRNSYS.

III.3 Les étapes de la simulation :

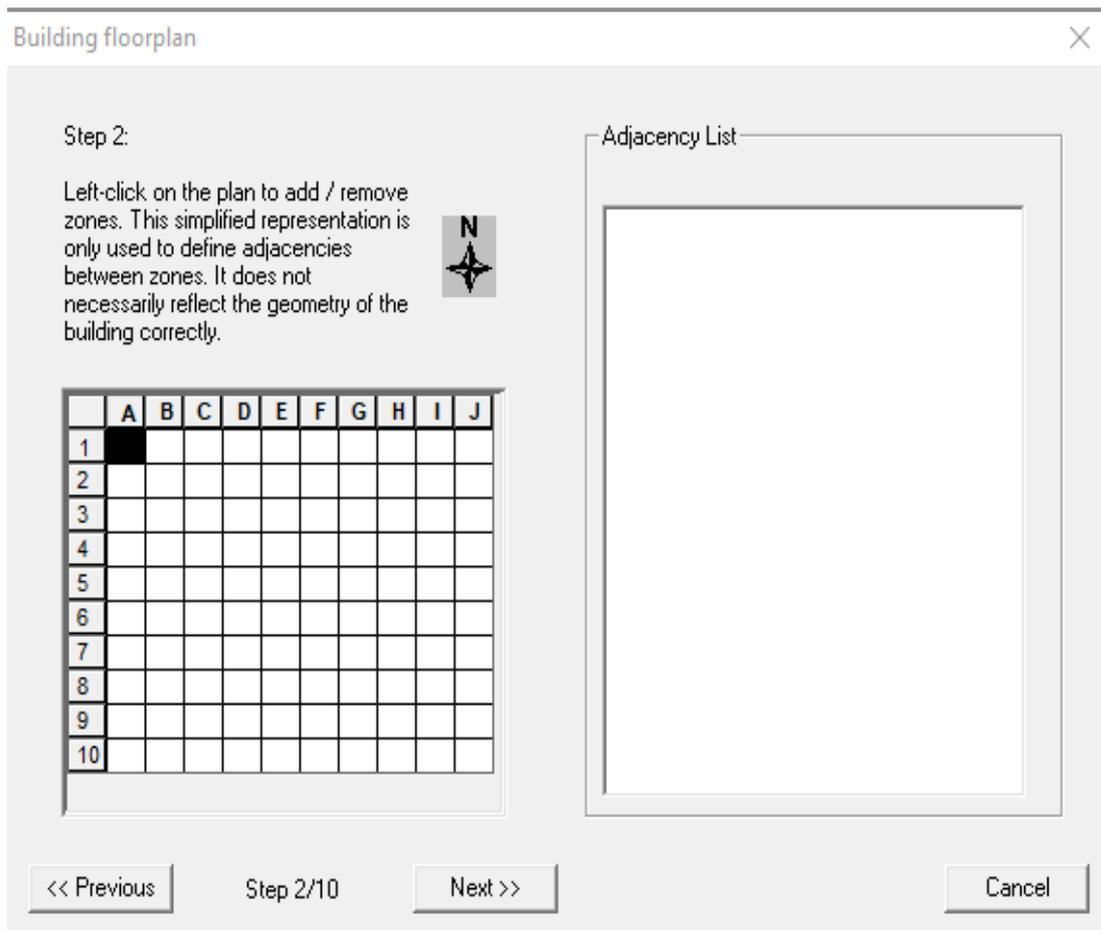
III.3.1 Première phase : Création d'un projet de simulation d'un bâtiment :

Étape 1 : On clique sur : file/ New/Building Project puis on clique sur « Next ».

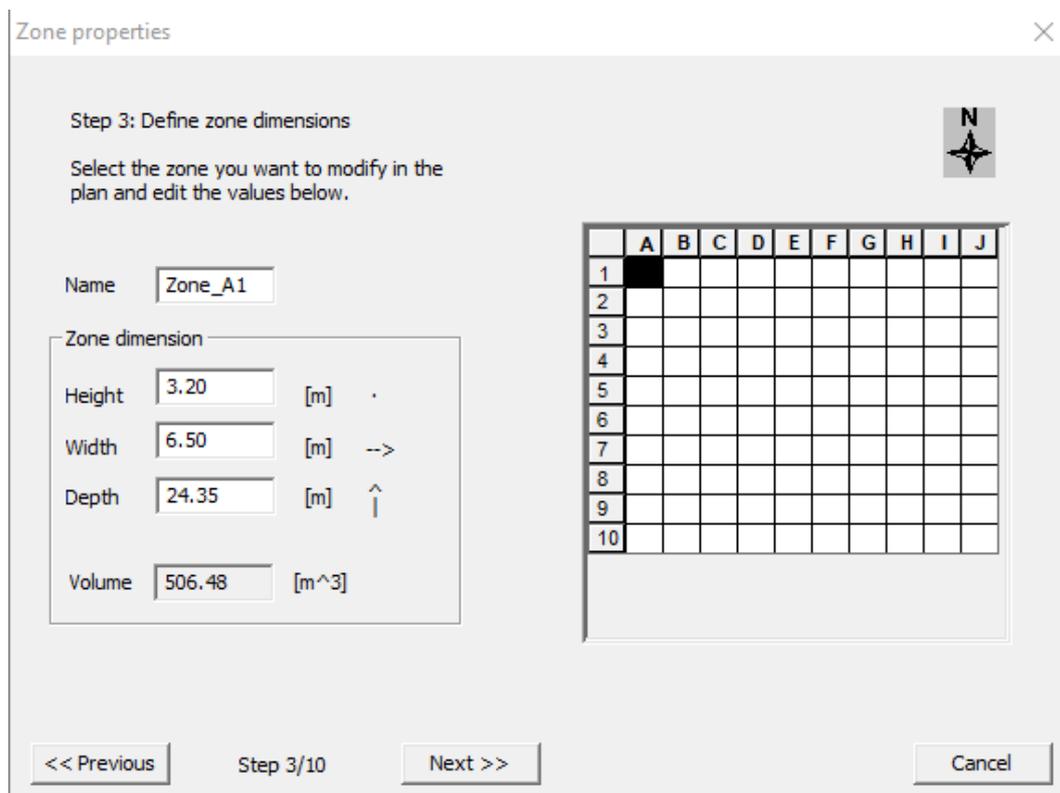


Étape 2 : Sélection de la zone à étudier.

On sélectionne la zone A1 et on clique ensuite sur « Next ».



Étape 3 : Dimensionnement de la maison : d'où on introduit la hauteur, largeur et longueur de la maison.



Étape 4 : dans cette étape on introduit l'angle d'orientation des ouvertures dans chaque face avec la configuration du bâtiment en précisant de combien de degré est par rapport au nord, puis on choisit la localisation du bâtiment et des données météorologiques.

Windows, orientation and location

Fraction of windows in external walls [%]

North: 35.72

West: 0.0 East: 0.0

South: 16.15

Building rotation

Rotation (North to East = positive): 12 [deg.]

Location: C:\Users\mcs\Documents\Oujda_MO-hour.tm2

<< Previous Step 4/10 Next >> Cancel

Étape 5 : On spécifie le taux de renouvellement d'air et l'infiltration puis on clique sur « Next ».

Infiltration and ventilation

Infiltration (valid for all zones)

Leakage: 0.2 [1/h]

Mechanical ventilation

Natural ventilation

Ventilation rate (building occupied): 0.5 [1/h]

Additional temp. dependent ventilation

<< Previous Step 5/10 Next >> Cancel

Étape 6 : Ici nous avons désactiver le chauffage et climatisation afin d'avoir des résultats de température interne sans consommation d'énergie.

Heating and cooling

Heating

Cooling

<< Previous Step 6/10 Next >> Cancel

Étape 7 : Éclairage et gains. On spécifie les différents apports intérieurs.

Gains and lighting

Internal gains

Specific gains [W/m²]

Occupant density [occupants/m²]

Lighting

Light ON if total horizontal rad < [W/m²]

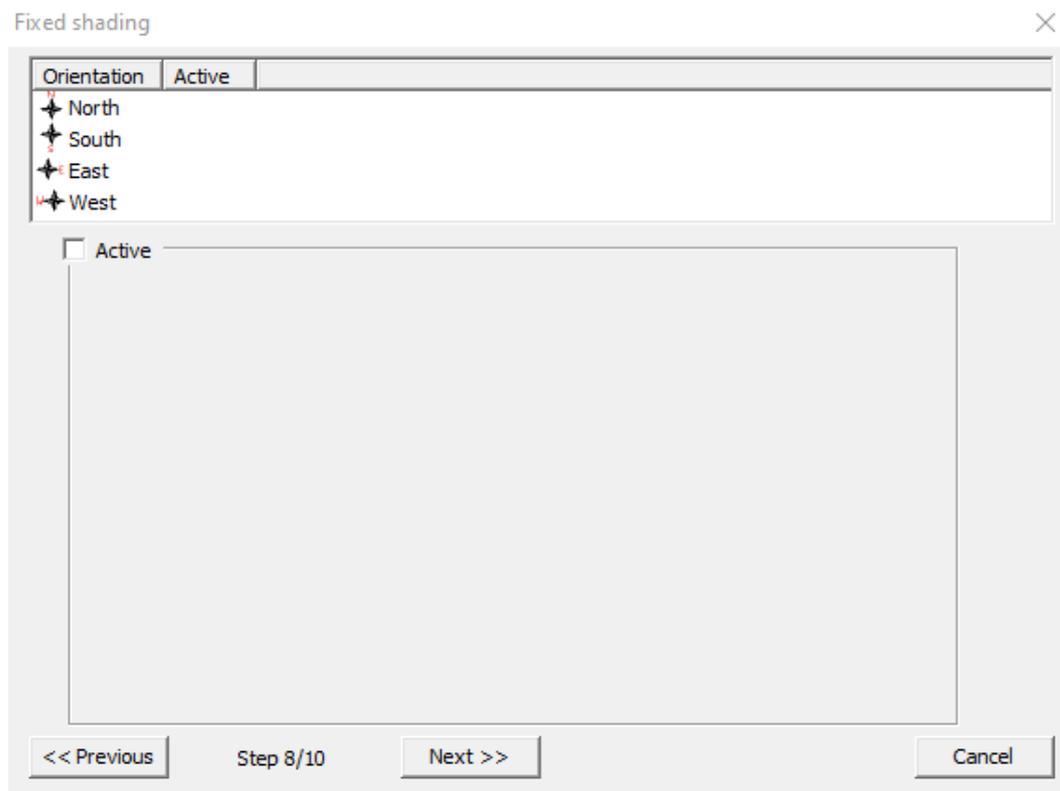
Light OFF if total horizontal rad > [W/m²]

Specific light [W/m²]

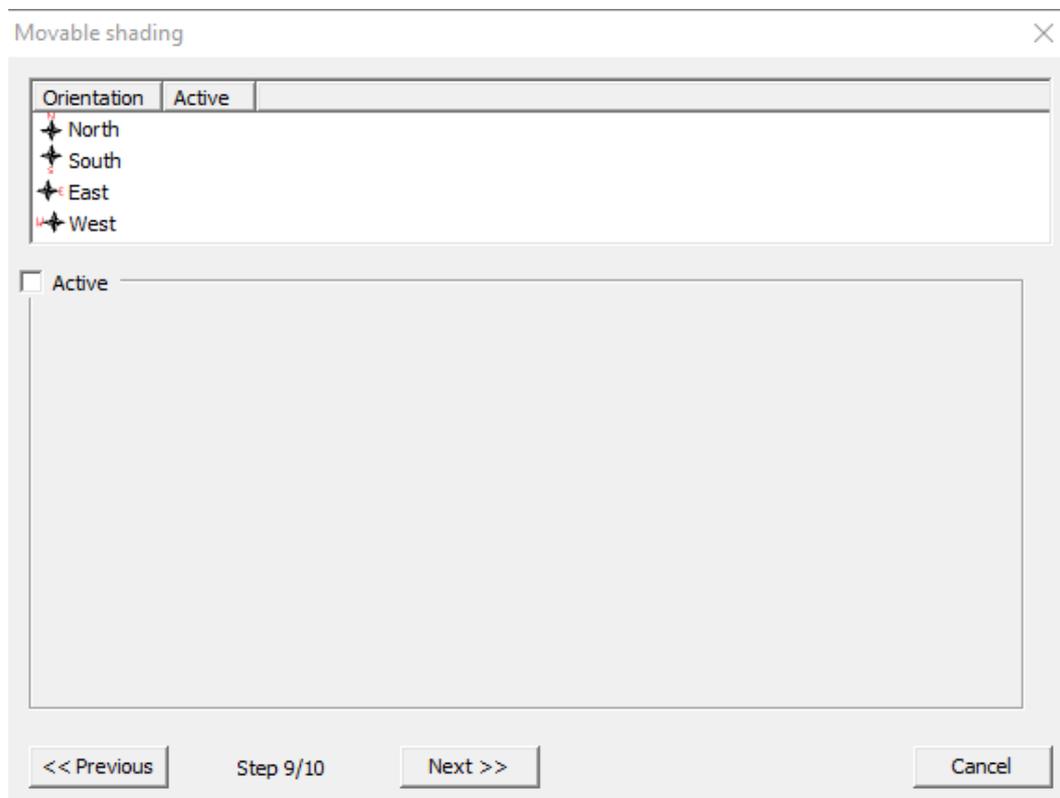
Values apply to all zones. They can be changed in TRNBuild later.

<< Previous Step 7/10 Next >> Cancel

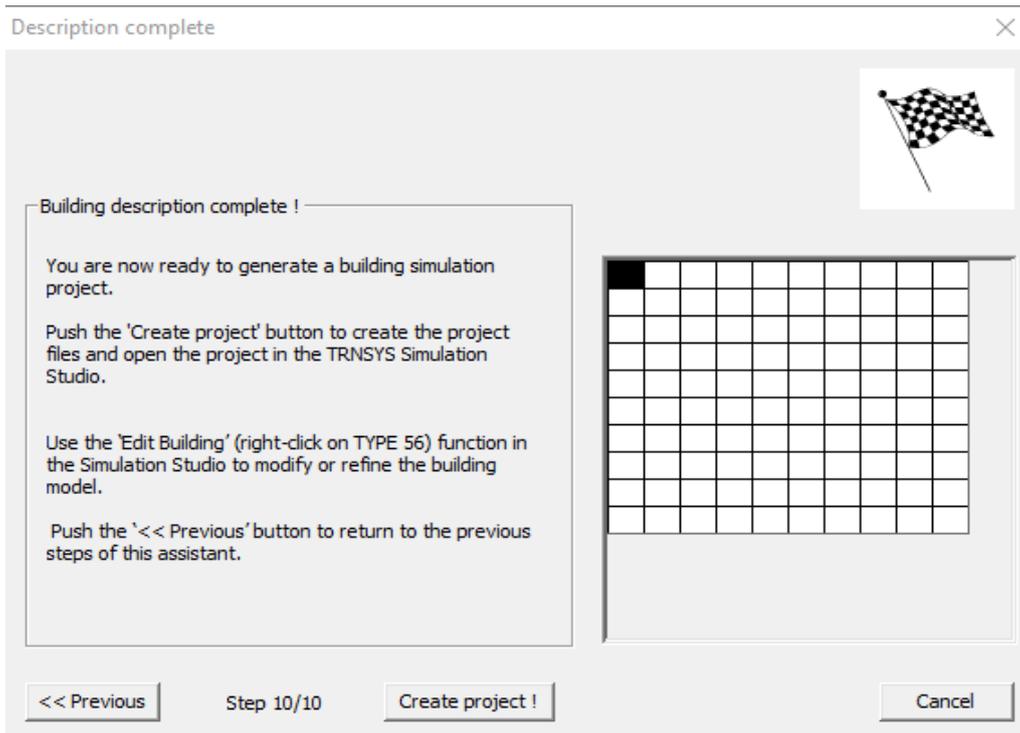
Étape 8 : masque d'ombrage fixe.



Étape 9 : masque d'ombrage mobile.



Étape 10 : Création du projet.



III.3.2 Deuxième phase : TRNBuild : le projet Trnsys a été créé.

Les composants qui sont reliés entre eux et qui permettent la modélisation dans l'interface de Simulation Studio qui comprend une « plateforme » où elles sont disposées.

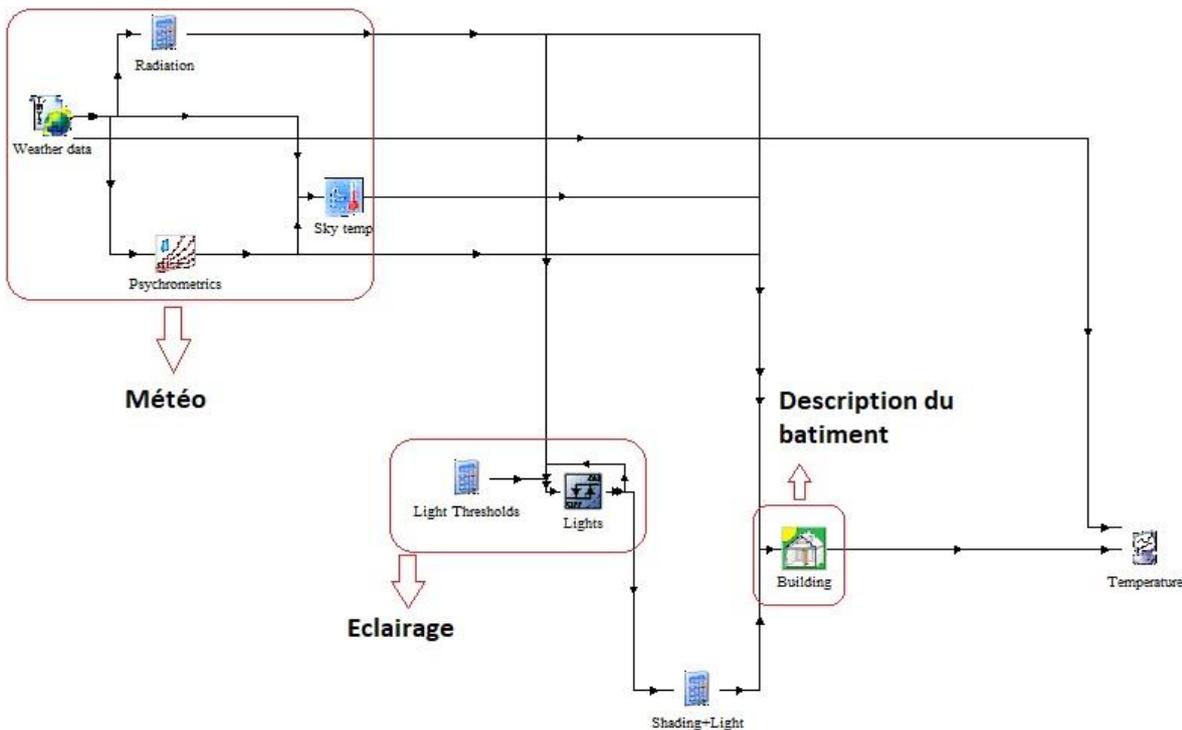


Figure III.1 : Modélisation sous Trnsys de la maison étudiée.

III.3.2.1 Introduction des composants de l'enveloppe : pour cela on click du droit sur Building et on choisit Edit Building, après on choisit la zone A1.

Plancher :

Wall Type Manager

wall type: **GROUND**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	HOURLD20_BÉ	0.160	massive
2	BÉTON_C400	0.040	massive

Layer

- <- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL
- BÉTON_C400
- HOURLD20_BÉ
- MORTIER
- ENDUIT_PLA
- LAME_AIR15
- ENDUIT_EXT

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: -

back: -

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

OK Cancel Save to user library **RDCN**

Wall Type Manager

wall type: **INTFLOOR**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	FLOOR	0.020	massive
2	MORTIER	0.020	massive

Layer

- <- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL
- BÉTON_C400
- HOURLD20_BÉ
- MORTIER

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: -

back: -

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

OK Cancel Save to user library **RDCN**

Murs intérieurs :

Wall Type Manager

 wall type: **INTWALL**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	BRICK	0.015	massive
2	ENDUIT_PLÂ	0.010	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: .

back: .

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m² K



Layer

- <- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL
- BÉTON_C400
- HOUD20_BE
- MORTIER
- ENDUIT_PLÂ

Murs extérieurs :

Wall Type Manager

 wall type: **OUTWALL**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_EXT	0.020	massive
2	BRICK	0.300	massive
3	ENDUIT_PLÂ	0.010	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: .

back: .

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m² K



Layer

- <- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL
- BÉTON_C400
- HOUD20_BE
- MORTIER
- ENDUIT_PLÂ
- LAME_AIR15
- ENDUIT_EXT

La toiture :

Wall Type Manager

 wall type: **ROOF**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	BÉTON_C400	0.040	massive
2	HOURD20_BÉ	0.160	massive
3	ENDUIT_PLÂ	0.020	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m²K

Solar Absorptance of Wall

front: -

back: -

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m²K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m²K



Layer

- <- new ...
- << Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSUM
- INSUL
- BÉTON_C400
- HOURD20_BÉ
- MORTIER
- ENDUIT_PLÂ
- LAME_AIR15
- ENDUIT_EXT

Composition des ouvrantes de la maison :

ZONE_A1

Regime Data

zone volume: m³

 Infiltration
 Heating
 Gains
 Humidity

capacitance: kJ/K
 Ventilation
 Cooling
 Comfort

Walls

Type	Area	Category
Additional Windows		
OUTWALL	20.80	EXTERNAL NORTH
OUTWALL	20.80	EXTERNAL SOUTH
OUTWALL	77.92	EXTERNAL EAST
OUTWALL	77.92	EXTERNAL WEST
GROUND	158.28	BOUNDARY

wall type: **OUTWALL** <- new ...

area: m² incl. windows

category: **EXTERNAL**

geosurf: 1

wall gain: kJ/h

orientation: **NORTH** NORTH

view fac. to sky:

Windows

Type	Area	Category	u-Value	g-Value
DOUBLE	7.43	EXTERNAL	1.4	0.589

window type: **DOUBLE** <- new ...

area: m²

category: **EXTERNAL**

geosurf: 2

gain: kJ/h

orientation: **NORTH** NORTH

view fac. to sky:

internal shad. factor:

 external shad. factor:

III.3.2.2 Utilisation des différents isolants :

Simulation sous TRNSYS en utilisant une lame d'air :

Wall Type Manager

wall type: **OUTWALL**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_EXT	0.020	massive
2	BRICK	0.150	massive
3	LAME_AIR15	0.120	massive
4	BRICK	0.150	massive
5	ENDUIT_PLÂ	0.010	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: .

back: .

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

OK Cancel Save to user library **RDCN**

Layer

- <<- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSSUM
- INSUL
- BETON_C400
- HOURD20_BÉ
- MORTIER
- ENDUIT_PLÂ
- LAME_AIR15
- ENDUIT_EXT

Simulation sous TRNSYS en utilisant la laine de roche :

Wall Type Manager

wall type: **OUTWALL**

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ENDUIT_EXT	0.020	massive
2	BRICK	0.150	massive
3	LAINE_DE_R	0.120	massive
4	ENDUIT_PLÂ	0.010	massive

back

total thickness: m

u - value: W/m² K

Solar Absorptance of Wall

front: .

back: .

Convective Heat Transfer Coefficient of Wall

Front

userdefined internal calculation

kJ/h m² K

Back

userdefined internal calculation

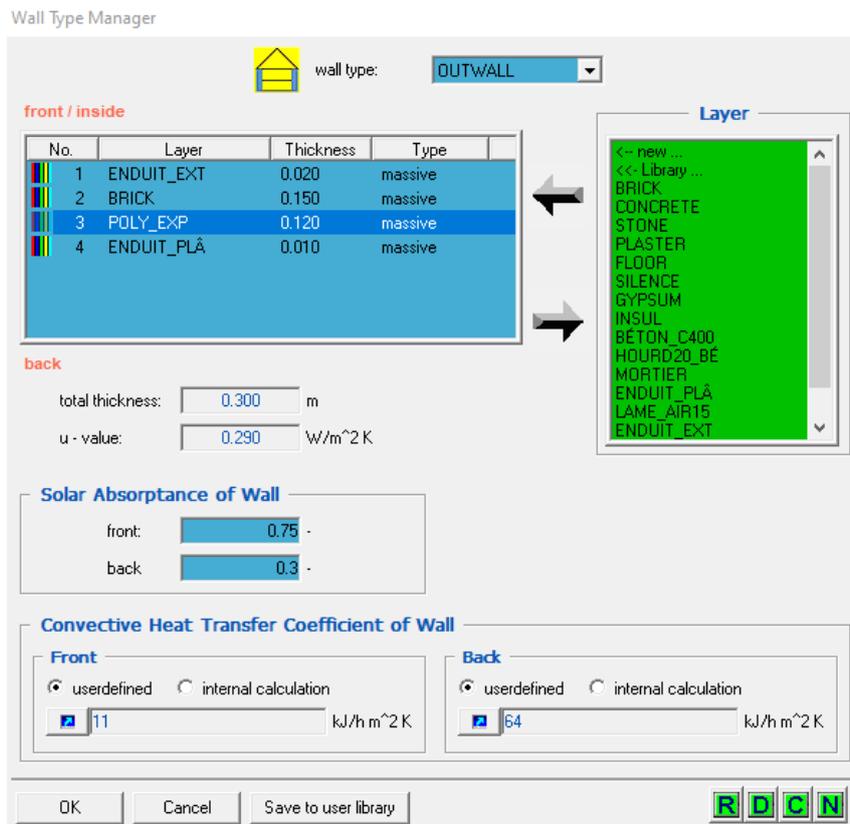
kJ/h m² K

OK Cancel Save to user library **RDCN**

Layer

- <<- new ...
- <<- Library ...
- BRICK
- CONCRETE
- STONE
- PLASTER
- FLOOR
- SILENCE
- GYPSSUM
- INSUL
- BETON_C400
- HOURD20_BÉ
- MORTIER
- ENDUIT_PLÂ
- LAME_AIR15
- ENDUIT_EXT

Simulation sous TRNSYS en utilisant le polystyrène expansé :



III.4 Résultats et interprétation :

La simulation sous TRNSYS permet d'obtenir des résultats numériques et graphiques, à l'instar des variations de la température d'un bâtiment, de l'humidité au courant de l'année.

Dans la première étape, nous avons étudié le changement des températures intérieure et extérieure de l'habitat au cours d'une année avec la construction telle quelle est en double parois.

En deuxième étape, nous avons utilisé des différents isolants telles que la laine de roche, la lame d'air ainsi que le polystyrène expansé.

III.4.1 Première étape :

La figure III.2 présente les changements de la température, intérieure de l'habitat en rouge, et extérieure (température ambiante) en bleue, pendant une année.

La température intérieure est mesurée sans chauffage ou climatisation. Cependant, il y a une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Cette différence est due à l'effet des murs de notre habitat, dont le rôle est de maintenir une atmosphère intérieure plus ou moins uniforme quel que soit le temps extérieur en hiver ou en été.

La température extérieure varie entre -1°C et 25°C en hiver et de 14°C à 41°C en été. La température intérieure varie entre 10°C et 23°C en hiver et de 17°C à 29°C en été.

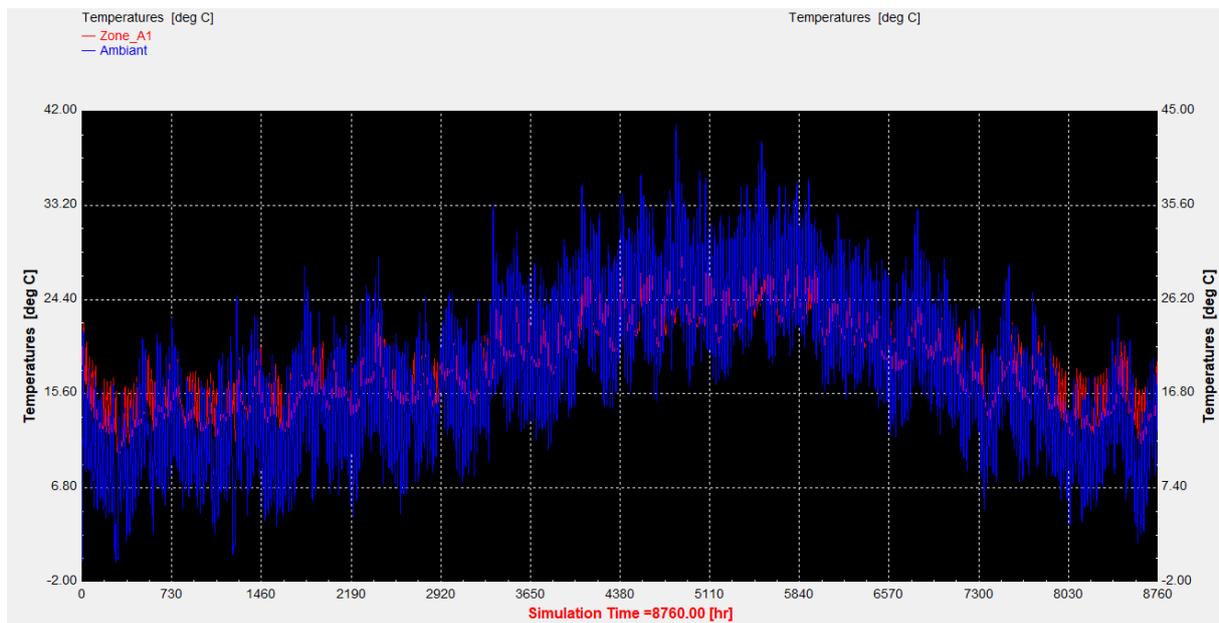


Figure III.2 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année.

Après l'utilisation du chauffage et climatisation à l'intérieur de l'habitat, on obtient les résultats dans la figure III.3.

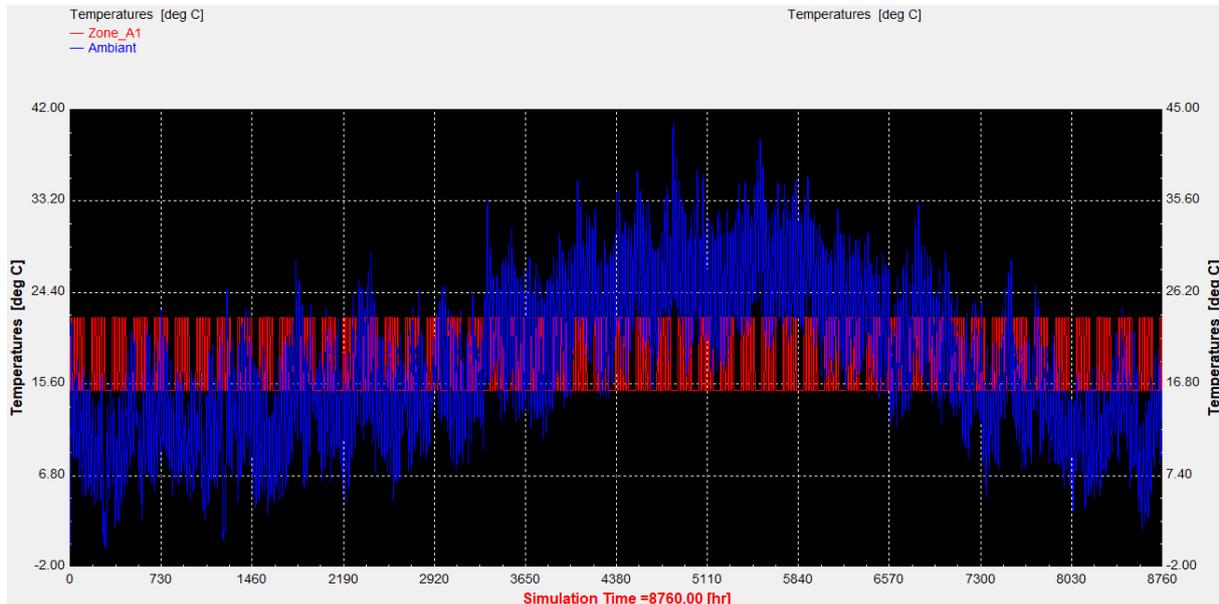


Figure III.3 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année avec l'utilisation du chauffage et climatisation.

On remarque que les températures intérieures varient entre 15°C et 22°C pendant toute l'année. Ceci est grâce au chauffage qui augmente la température surtout en hiver jusqu'à 15°C minimum et la climatisation qui diminue la température interne jusqu'à 22°C maximum surtout en été.

Le travail du chauffage et de la climatisation nécessite des énergies à fournir par l'installation photo-thermique, soit d'après le capteur direct soit d'après le système d'appointe.

La figure III.4 fait apparaître les quantités d'énergie nécessaire pour le travail du chauffage et de la climatisation pour chaque mois.

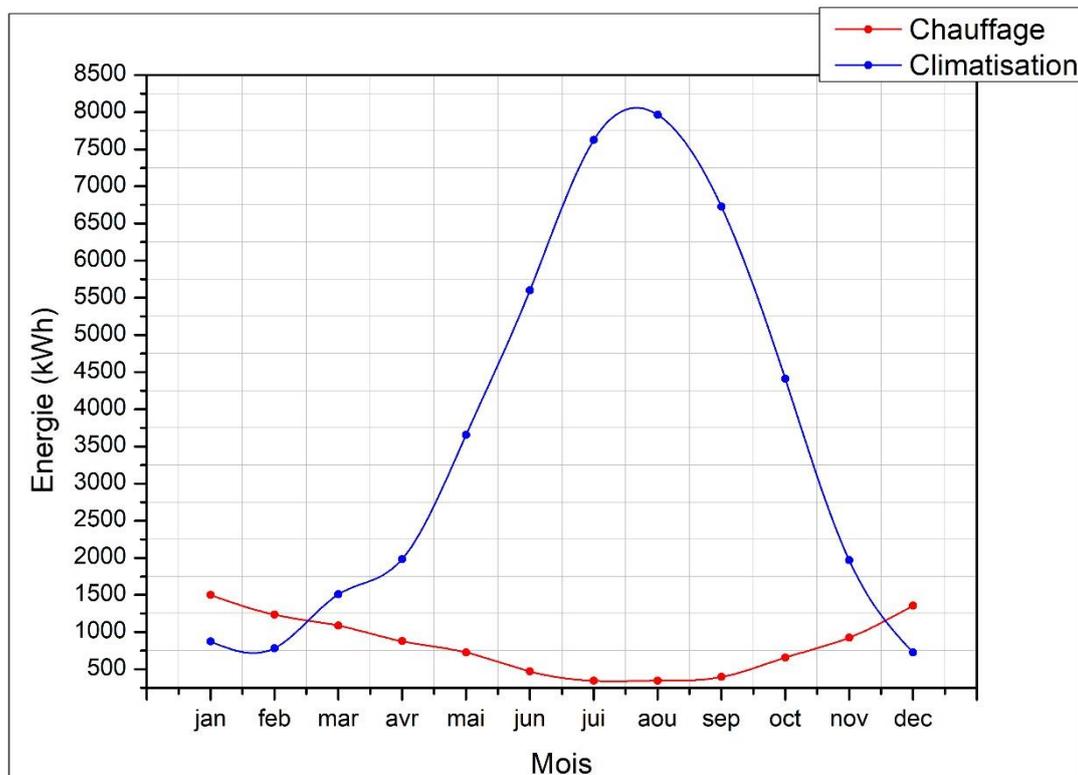


Figure III.4 : Energie consommée d'après le chauffage et la climatisation pendant l'année.

La plus grande quantité d'énergie consommée pour le chauffage c'est 1500 kWh marquée en janvier, et la plus grande quantité consommée pour la climatisation c'est 8000 kWh marquée en juillet.

III.4.2 Deuxième étape :

Pour cette étape, nous utilisons trois matières différentes comme isolants avec la même épaisseur.

Le premier isolant utilisé c'est l'air, entre la paroi et la paroi on laisse un vide d'air de 12 cm. Donc le mur se compose d'une couche d'enduit extérieur de 2 cm, après une couche de brick de 15 cm, ensuit une lame d'air de 12 cm, après la deuxième paroi du brick 15 cm, et enfin une couche d'enduit plâtre de 1 cm. L'épaisseur du mur devient donc 45 cm.

Le deuxième isolant utilisé c'est la laine de roche. On remplace le brick de la paroi intérieure par une couche de laine de roche de 12 cm d'épaisseur. L'épaisseur du mur devient 30 cm.

Le troisième isolant utilisé c'est le polystyrène expansé. On remplace la paroi intérieure en brick par une couche de 12 cm d'épaisseur de polystyrène expansé. L'épaisseur du mur devient 30 cm.

La figure III.5 présente la variation de la température extérieure et intérieure de l'habitat pour chaque isolant pendant une année.

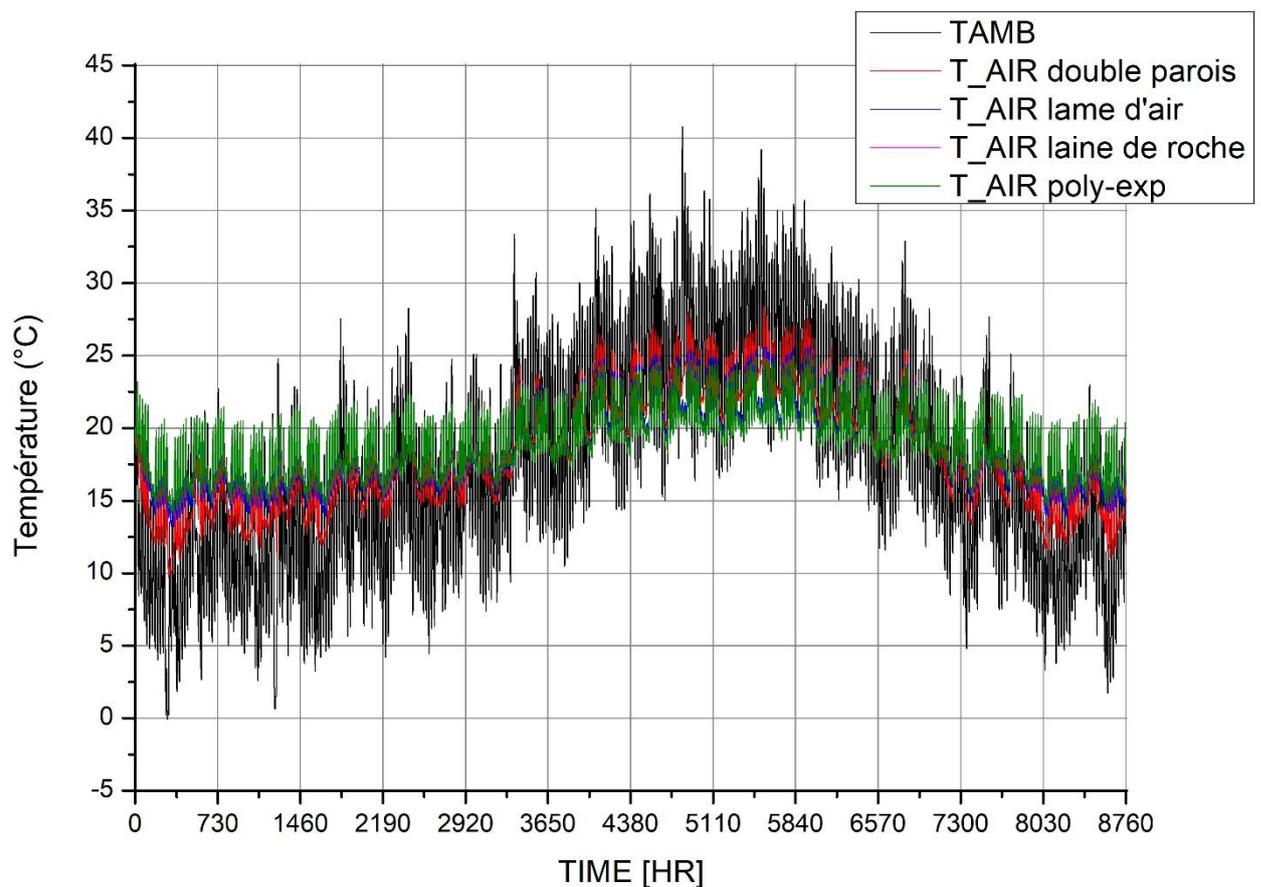


Figure III.5 : Evolution de la température intérieure et extérieure pendant l'année avec l'utilisation des isolants.

Pour lame d'air, la température maximale relevée en été est 27°C en aout et la température minimale en hiver est 13°C et elle est enregistrée en mars.

Pour la laine de roche, la température maximale observée en été est 26°C en aout et la température minimale en hiver est 14°C en janvier.

Pour le polystyrène expansé, la température maximale atteinte en été est 25°C en aout et la température minimale marquée en hiver est 13°C en janvier.

D'après la figure III.5, nous remarquons que le graphe le plus stable entre 15°C et 22°C c'est le graphe vert qui correspondant au l'isolant « Polystyrène expansé », donc cette matière est la plus pertinence pour l'isolation thermique des murs.

Pour confirmer ce résultat, la figure III.6 montrée les quantités d'énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation de l'habitat pendant l'année avec l'utilisation des isolants précédent.

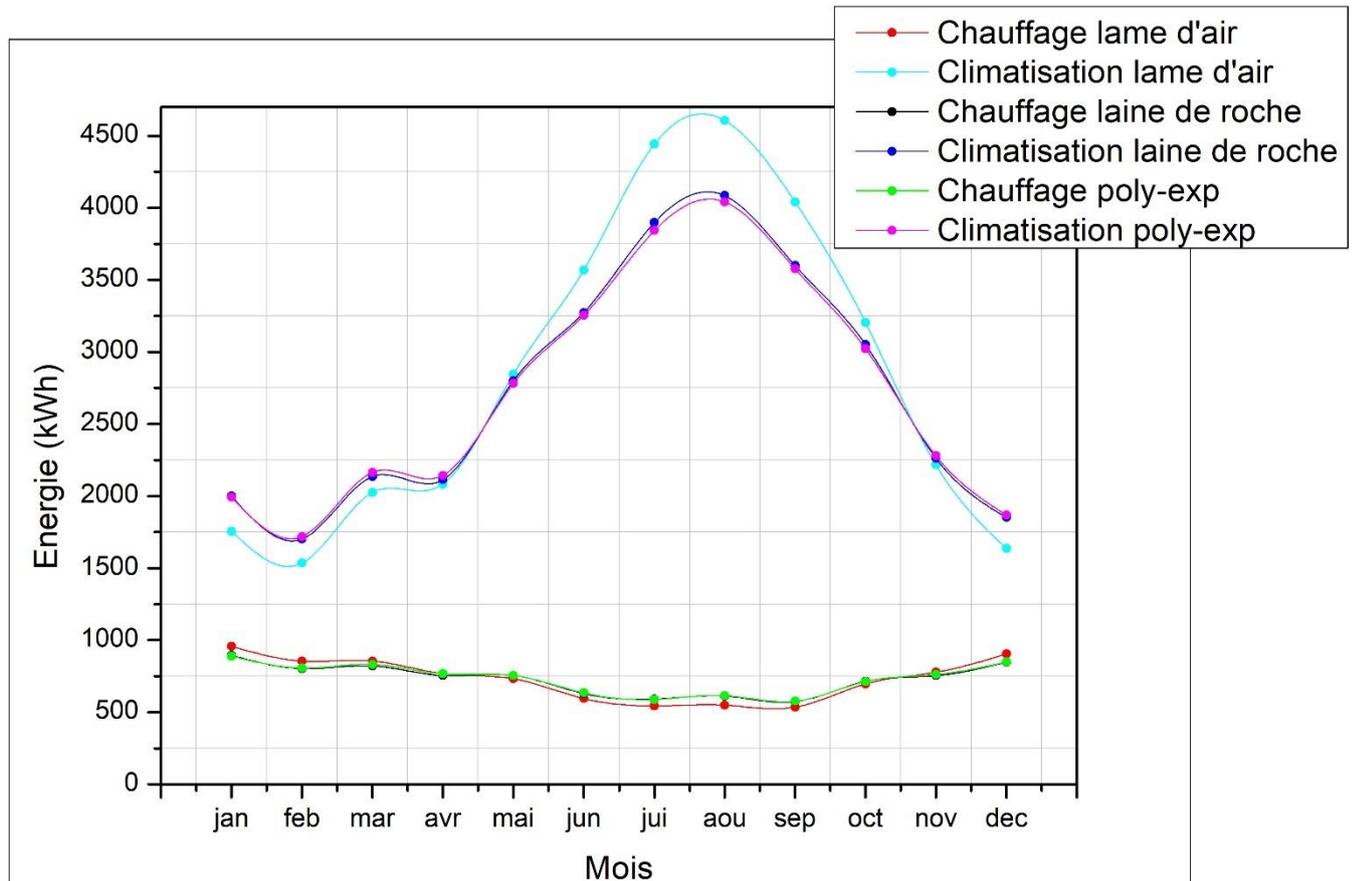


Figure III.6 : Energie consommée d'après le chauffage et la climatisation pendant l'année pour chaque isolant.

Nous remarquons que dans les mois froids (décembre, janvier, février, mars), la plus petite énergie utilisée lors du chauffage, pour les trois graphes, est celle qui correspond au polystyrène expansé (le graphe vert), ainsi dans les mois chauds (mai, juin, juillet, aout, septembre) la plus petite énergie consommée pour la climatisation d'après les trois graphes, est celle qui correspond au polystyrène expansé (le graphe violet).

L'isolant	Double parois	Lame d'air	Laine de roche	Polystyrène expansé
Chauffage (kWh)	9928	8772	8749	8790
Climatisation (kWh)	43830	33960	32770	32690

Tableau III.1 : La somme d'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation pour chaque isolant pendant une année.

D'après le tableau III.1, nous remarquons que la somme d'énergie utilisée pour les murs double parois est 53 758 kWh pendant l'année. D'autre part, l'énergie utilisée pour les murs avec polystyrène expansé est seulement 41 480 kWh. Pour la laine de roche et la lame d'air, elle est 41 519 kWh et 42 732 kWh respectivement.

Donc le meilleur isolant pour diminuer la consommation d'énergie c'est le polystyrène, il marque presque une conservation de 22,84 % d'énergie.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des résultats de simulation à travers le programme TRNSYS.

Les résultats préliminaires ont indiqué que pour atteindre le confort thermique, que nous avons estimé entre 15°C et 22°C, nous avons besoin de quantités importantes d'énergie, et pour réduire cette énergie consommée, nous avons utilisé trois isolants thermiques dans les murs extérieurs du bâtiment, les résultats obtenus ont indiqué une diminution de l'énergie consommée au cours de l'année pour le refroidissement ou le chauffage. Le matériau isolant le plus performant parmi les autres matériaux utilisés est le polystyrène expansé, qui a réalisé une diminution de 22,84 % par rapport aux résultats préliminaires, en plus de cela, il économise une surface estimée à 0,93 mètre carré dans le bâtiment.

Références bibliographiques :

[1] « Welcome | TRNSYS : Transient System Simulation Tool ». <https://www.trnsys.com/> (consulté le 20 février 2023).

[2] BENAKLI SAID OUALI et ADDAD MASSINISSA, « Simulation d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et chauffage pour une maison individuelle », Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2013.

Conclusion générale

Le rendement énergétique d'après les sources des énergies renouvelables est très faible par rapport au rendement des énergies fossiles, pour cela il est nécessaire de réduire la consommation de l'énergie à des niveaux que nous pouvons répondre aux besoins par ces ressources vertes.

Notre travail a porté essentiellement sur le dimensionnement thermique d'une maison située à Tlemcen, précisément à Maghnia.

Un avis général sur le solaire photo-thermique nous permettrait de couvrir une grande partie des besoins énergétiques de chauffage et climatisation de l'habitat d'après cette énergie propre.

En intégrant les données climatiques du site METEONORM de la ville de Maghnia pour la simulation qui a été faite à l'aide du logiciel TRNSYS 16.

L'analyse des différents résultats obtenus par les simulations, nous ont montré clairement qu'il est possible de réduire la consommation énergétique des bâtiments par l'utilisation des isolants thermique avec des faibles conductivités thermiques sur la construction des murs.

Même des couches isolantes fines (12 cm) peuvent avoir des effets bénéfiques significatifs. Tout cela pointe vers un intérêt à ne plus construire des bâtiments avec des

murs trop épais, mais avec des murs moins épais, mais avec une bonne isolation. L'objectif est d'obtenir une isolation confortable, durable et économique.

Comme perspectives, nous proposons d'effectuer d'abord des simulations pour examiner tous les aspects et le comportement de l'enveloppe du bâtiment, puis d'améliorer l'étude des améliorations de la performance des murs en ajoutant des paramètres supplémentaires et d'étendre notre analyse ou évaluation énergétique aux bâtiments gouvernementaux ou aux grandes ensembles résidences. Nous pourrions même utiliser les capteurs photo-thermiques pour les installations prochaines et essayer d'économiser un peu d'énergie.

Résumé

Compte tenu de la demande croissante pour la nécessité de passer des combustibles fossiles aux énergies renouvelables, en raison des effets négatifs des combustibles fossiles sur l'environnement, la consommation globale d'énergie par le chauffage, il est nécessaire de réduire la consommation de l'énergie à des niveaux que nous pouvons répondre aux besoins par ces ressources renouvelables.

La ventilation et la réfrigération des équipements de climatisation dans les bâtiments est estimée à environ 70% de la consommation totale d'énergie. L'objectif de ce mémoire est d'effectuer le dimensionnement thermique d'une habitation située à Tlemcen.

L'essentiel de nos travaux est consacré à la réduction de la quantité d'énergie consommée pour le chauffage ou la climatisation tout en assurant le confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

Mots clés : dimensionnement, énergie, thermique.

Abstract

Given the growing demand for the need to switch from fossil fuels to renewable energy, due to the negative effects of fossil fuels on the environment, the overall energy consumption by heating, it is necessary to reduce the consumption of energy at levels that we can meet the needs by these renewable resources.

Ventilation and refrigeration of air conditioning equipment in buildings is estimated at around 70% of the total energy consumption. The objective of this report is to carry out the thermal dimensioning of a dwelling located in Tlemcen.

Most of our work is devoted to reducing the amount of energy consumed for heating or air conditioning while ensuring thermal comfort inside the building.

Keywords: sizing, energy, thermal.

ملخص :

نظرًا للطلب المتزايد على الحاجة إلى التحول من الوقود الأحفوري إلى الطاقة المتجددة ، نظرًا للتأثيرات السلبية للوقود الأحفوري على البيئة ، واستهلاك الطاقة الإجمالي عن طريق التسخين ، فمن الضروري تقليل استهلاك الطاقة عند المستويات التي نستطيع تلبية احتياجات هذه الموارد المتجددة

تقدر تهوية وتبريد أجهزة تكييف الهواء في المباني بحوالي 70٪ من إجمالي استهلاك الطاقة. الهدف من هذه الأطروحة هو حساب الأبعاد الحرارية لمسكن يقع في تلمسان

نخصص معظم عملنا لتقليل كمية الطاقة المستهلكة للتدفئة أو تكييف الهواء مع ضمان الراحة الحرارية داخل المبنى.

الكلمات المفتاحية : التحجيم، الطاقة، الحرارية