



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Thème :

Etude expérimentale de l'effet de l'orientation, de l'inclinaison et des matériaux de construction des murs sur les échanges thermiques

Proposé et dirigé par :

Dr. Nabila Ihaddadène

Présenté par:

CHOUIDIRA MOHAMED.

HAMI ABD EL HAK.

Devant le jury :

Président :	Dr.CHINE .A	Université de M'SILA.	MCA
Examineur :	Dr :BERKACHE.A	Université de M'SILA.	MCB
Examineur :	Dr :BELKHIRI.K	Université de M'SILA.	MAA

Année universitaire : 2018 /2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Remerciements

Avant tout je tiens à remercier Allah, le tout puissant de m'avoir donné la foi et la confiance, ainsi que la volonté et le courage, pour mener ce travail à terme.

Je tiens également à adresser mes remerciements à notre encadreur Dr **NABILA IHADDADENE** qui nous a accordés son soutien, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

Je remercie également tous ceux qui, tout au long de ces années d'études, nous ont encadrés, aidés, conseillés et même supportés dans des périodes difficiles.

Mes remerciements les plus sincères vont à mes chers parents qui sans leur accompagnement, je ne serais jamais arrivé à réaliser un tel travail.

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, par leurs conseils et leurs critiques.

Un grand remerciement s'adresse au doctorant Hadji FARES pour tout ce qu'il a fait afin de mener à terme ce travail de fin d'études.

Enfin, je suis également reconnaissant à tous mes amis que je porte au fond de mon cœur.

CHOUIDIRA MOHAMED

Remerciement

Je remercie en premier lieu notre Dieu qui m'a donné

la force et la volonté pour terminer mes études

Et je remercie notre promoteur Ihaddadene Nabila qui nous a aides

beaucoup au cours de la réalisation de ce travail de fin d'études avec ses conseils judicieux

Je ne peux oublier tous les enseignants du département de génie mécanique.

Et en fin, je remercie la seule personne qui m'est très chère; Mon frère qui m'aide de loin

dans mes études..

Je tiens aussi à remercier l'équipe administrative de la faculté

de technologie (ST)

Un grand remerciement s'adresse au doctorant Hadji Fares pour tout ce qu'il a fait afin de

mener à terme ce travail de fin d'étude.

Merci A tous

HAMI ABD EL HAK

Dédicace

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau si
cette fin est couronnée de succès.

Je dédie ce modeste travail à la seule personne qui a
énormément souffert pour faire de moi ce que je suis et
qui m'a et me donne toujours l'espoir de vivre, celle qui
n'a jamais cessé de prier pour moi : Ma très chère Mère.

A mon très cher père,

A toute ma grande famille, **CHOUIDIRA** et **BOUALILI**.

A mes meilleurs amis chacun son nom,

Et tous ceux que j'aime.

A tous ceux qui m'ont encouragé pendant les moments
les plus difficiles.

CHOUIDIRA MOHAMED

Dedicace

*je dédie ce modeste travail à ma très chère mère qui a tout fait pour que
je réussisse mes études. A mon père qui m'a donné tout pour que je
termine mes études*

A:

Tous les membres de ma famille,

tous mes amis pour leur bienveillance,

surtout les amis de 2ème année master Energétique,

A tous les copins de la promotion génie mécanique 2019.

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciement [1]	[I]
Remerciement [2]	[II]
Dédicace [1].....	[III]
Dédicace [2].....	[IV]
Sommaire.....	[V]
Liste des figures	[VII]
Introduction générale	[1]

chapitre I : Energie solaire et bâtiment .

I.1. Introduction.....	3
I.2. Soleil.....	3
I.3. La terre	4
I.4. Mouvement de la terre autour du soleil	4
I.5. Coordonnées géographiques.....	5
I.5.1. Latitude	5
I.5.2. Longitude	5
I.5.3. L'altitude.....	6
I.6. Position du soleil.....	6
I.6.1. Coordonnées célestes horaires	6
I.6.2. Les coordonnées célestes horizontales	8
I.6.3. Paramètres de temps	9
I.7. Trajectoire apparente du soleil.....	10
I.8. Energie solaire passive.....	11
I.9. Quelques notions de base concernant le bâtiment	11
I.9.1. Bâtiment.....	11
I.9.2. Mur.....	11

/

I.9.3. Orientation	12
I.10. Orientation et inclinaison des capteurs solaires	14
I.10.1. Pourquoi orienter un panneau solaire ?	14
I.10.2. Comment orienter et incliner les capteurs solaires ?	15
I.11. Conclusion	17

chapitre II : Matériels et méthodes.

II.1. Introduction	18
II.2. Matériels	18
II.2.1. Boussole	18
II.2.2. Variateur d'angles	19
II.2.3. Héliomètre	19
II.2.4. Matériaux de construction	20
II.2.5. Système d'acquisition numérique	23
II.3. Procédures expérimentales	27
Conclusion	30

chapitre III : Résultats et discussion.

III.1. Introduction	31
III.2. Effet de l'orientation sur l'énergie reçue	31
III.3. Effet de l'inclinaison sur l'énergie solaire reçue	39
III.4. Effet des matériaux de construction sur les échanges thermiques	44
III.4.1. Evolution de la température des faces externes de murs de différents matériaux	44
III.4.2. Evolution de la température à l'intérieur de chambres de différents matériaux	46
III. 5. Conclusion	50
Conclusion générale	51
Référence bibliographiques	53
Résumé	55

Liste des figures

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Etoile du soleil.....	3
Figure I.2 : Mouvement de la terre autour du Soleil.....	5
Figure I.3: Coordonnées géographiques d'un lieu.....	6
Figure I.4 : Déclinaison solaire.....	7
Figure I.5: Angle horaire.....	7
Figure I.6: Coordonnées horizontales du soleil.....	8
Figure I.7 : Trajectoire du soleil pour différents mois.....	10
Figure I.8 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	14
Figure I.9 : Rayonnements solaires sur un panneau horizontal et un panneau incliné.....	15
Figure II.1 : Boussole manuelle.....	18
Figure II.2 : Variateurs d'angles.....	19
Figure II.3 :Capteur solaire ET 200 et l'héliomètre.....	20
Figure II.4 : Murs en faïence, verre et polystyrène.....	21
Figure II.5 : Chambres de différents matériaux (verre, polystyrène, et brique ancienne).....	21
Figure II.6 : Etapes suivies lors de la construction des murs en briques anciennes.....	23
Figure II.7 : Carte Arduino Uno et fonctionnement de ses différents composants.....	24
Figure II.8 : Télé versement du programme sur carte Arduino.....	24
Figure II.9 : Capteur de température LM35.....	25
Figure II.10 : Programme de fonctionnement des capteurs LM35.....	26
Figure II.11 : Câblages du montage électronique utilisé.....	26
Figure II.12 : Héliomètre et variateur d'angles.....	27
Figure II.13 : Dispositif expérimental servant à l'étude de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces.....	28
Figure II.14 : Dispositif expérimental servant à l'étude de l'effet des matériaux de construction sur l'échange thermique.....	29
Figure III.1 : Effet de l'orientation de la surface réceptrice sur l'intensité du rayonnement reçu pour différentes inclinaisons (0° à 90°).....	33
Figure III.2 : Effet de l'orientation sur le rayonnement solaire incident sur une surface.....	33
Figure III.3 : Trajectoire annuelle et journalière du soleil dans l'hémisphère nord.....	34
Figure III.4 : Intensité maximale du rayonnement reçu par les murs suivants les différentes orientations durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.....	35

Liste des figures

Figure III.5 : Effet de l'orientation sur le rayonnement global incident sur un mur durant différentes journées.	35
Figure III.6 : Effet de l'orientation sur le rayonnement solaire incident sur une surface horizontale (dalle ou plancher) durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.	37
Figure III.7 : Intensité maximale du rayonnement reçu par les surfaces horizontales suivant les différentes orientations durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.....	38
Figure III.8 : Effet de l'orientation sur le rayonnement global incident sur une surface horizontale durant différentes journées.	39
Figure III.9 : Effet de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces réceptrices sur le rayonnement moyen incident durant différentes journées.	42
Figure III.10 : Effet de la nature des matériaux sur l'évolution de la température des faces de murs orientées vers le sud.	44
Figure III.11 : Comportement thermique de la faïence, du polystyrène et du plastique.	46
Figure III.12 : Evolution de la température au milieu d'une tente, d'une chambre en brique et d'une chambre en brique adobe durant 24h.	47
Figure III.13 : Evolution de la température au milieu des chambres en verre, en brique Traditionnelle et en polystyrène durant 24h.....	48

introduction générale

Introduction générale

L'un des buts principaux de la construction des bâtiments est de mettre les occupants à l'abri des effets climatiques (chaud, froid) en créant un microclimat intérieur satisfaisant pour l'exercice de diverses activités.

La plupart des logements construits aujourd'hui en Algérie sont relativement non isolés, mal orientés, ce qui signifie que ces bâtiments ont de fortes déperditions et apports thermiques et de ce fait, consomment beaucoup plus d'énergie. De plus, ceux-ci sont chauffés grâce à des énergies fossiles, donc fortement pourvoyeurs de gaz à effet de serre responsable en partie des changements climatiques. Effectivement, le secteur du bâtiment à M'Sila représente 66% de la consommation totale d'énergie.

Le Bâtiment Passif, souvent appelé 'maison sans chauffage', repose sur un concept de construction très basse consommation, basé sur l'utilisation de l'apport de chaleur dite passive provenant du soleil, sur une très forte isolation (des murs, des fenêtres, etc.), sur l'absence de ponts thermiques, sur une grande étanchéité à l'air ainsi que sur le contrôle de la ventilation.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le thème de ce mémoire intitulé : *Etude expérimentale de l'effet de l'orientation, de l'inclinaison et des matériaux de construction des murs sur les échanges thermiques*. A travers ce mémoire, on essayera de connaître la meilleure orientation qui captera le maximum d'énergie en hiver et le minimum d'énergie en été.

La connaissance de la meilleure inclinaison et orientation des surfaces à M'Sila est d'une grande importance surtout pour ceux qui exploitent l'énergie solaire.

A travers ce mémoire, on va étudier aussi, l'effet de quelques matériaux de construction sur les échanges thermiques dans les conditions météorologiques de M'Sila.

Ce travail de mémoire de fin d'étude a été abordé à travers trois chapitres, après avoir exposé la problématique du sujet à travers une introduction générale,

Le premier chapitre intitulé énergie solaire et bâtiment, dans lequel des généralités sur l'énergie solaire et le bâtiment sont exposés,

Le deuxième chapitre est consacré à la description du dispositif et de la procédure expérimentale,

Le dernier chapitre présente les différents résultats obtenus et les discute,

En fin une conclusion générale qui résume les principaux résultats vient clore ce mémoire.

Chapitre 1:
Énergie solaire et bâtiment

I.1. Introduction

Le Soleil se trouve à la base de toutes les énergies. Il produit la chaleur et la lumière nécessaires à la vie sur Terre. Ainsi, l'énergie solaire peut être utilisée directement par l'homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, le soleil bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous. Cette énergie est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde.

I.2. Soleil

Le soleil (Figure I.1) est l'étoile la plus proche, elle apparaît sous la forme d'une sphère gazeuse de 1392000 km de diamètre, soit 100 fois celui de la terre, dont on évalue la masse à 10^{30} kg. Sa période de rotation moyenne s'étale sur vingt-cinq jours. La source d'énergie solaire provient d'une réaction nucléaire transformant l'hydrogène en hélium, prenant naissance au centre du soleil. Le Soleil est actuellement constitué de 75% d'hydrogène et de 25% d'hélium en masse, de 92,1% d'hydrogène et de 7,8% d'hélium en nombre d'atomes. Tous les autres éléments ne représentent pas plus de 0,1%. Ces chiffres varient lentement au fur et à mesure que le Soleil convertit l'hydrogène en hélium par réaction de fusion nucléaire.

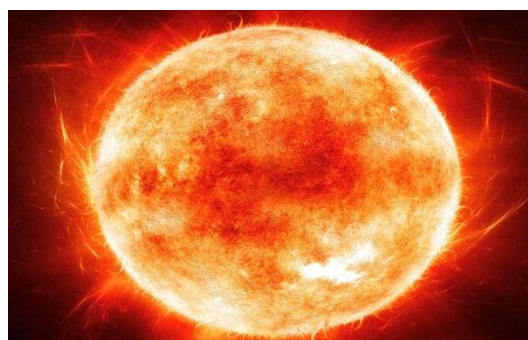
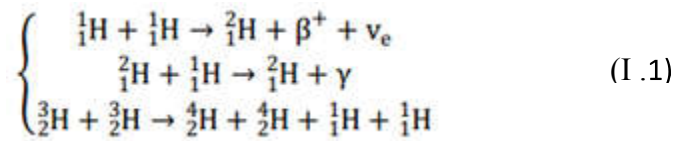


Figure I.1 : Etoile du soleil. [1]

Le processus dominant commence par la fusion de deux protons puis se poursuit par l'apport d'un troisième selon les réactions suivantes:



Le Soleil se trouve en pleine phase de combustion de l'hydrogène. Il est à la moitié de sa vie. On a calculé qu'il pouvait encore rayonner pendant cinq milliards d'années.

Les astrophysiciens identifient des couches à sa périphérie, l'intérieur n'est pas accessible à l'analyse, les couches extérieures masquent les phénomènes mis en jeu. [2]

I.3. La terre

La Terre est une planète du Système solaire, la troisième plus proche du Soleil et la cinquième plus grande, tant en taille qu'en masse, de ce système planétaire dont elle est également la plus massive des planètes telluriques [3].

La terre a la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati. Sa superficie est de $510.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, son volume est égal à $1.083 21 \times 10^{12} \text{ km}^3$, sa masse est de 6×10^{21} tonnes et sa masse volumique globale est de $5,515 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

I.4. Mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit du autour du soleil une orbite elliptique quasi-circulaire avec une période de 365.25 jours (Figure I.2). Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus près du soleil (147 millions de km de distance) et au solstice d'été qu'elle en est la plus éloignée (152 millions de km de distance), la distance moyenne étant de 149.5 millions de km. La terre occupe le petit axe de son orbite aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (21 septembre). Elle tourne sur elle-même avec une période de 24 heures. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace, il fait un angle δ avec la normale du plan de l'écliptique. [4]

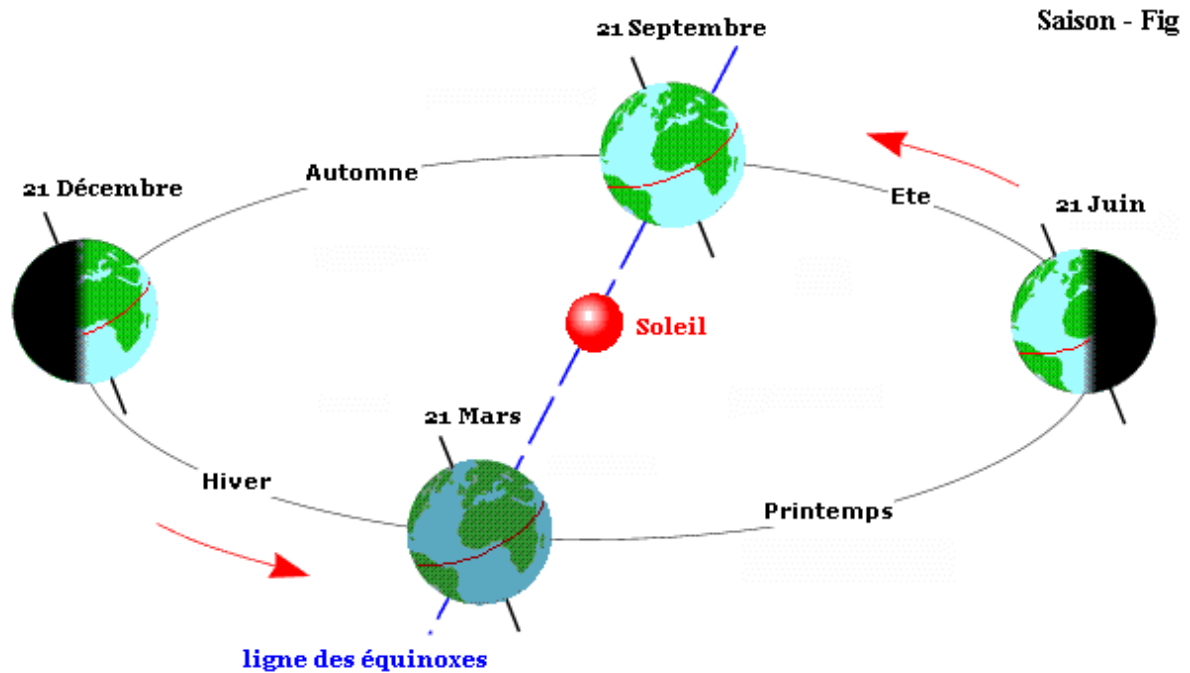


Figure I.2 : Mouvement de la terre autour du Soleil. [5]

I.5. Coordonnées géographiques

Par coordonnées géographiques (ou encore 'repères géographiques') d'un lieu sur la Terre, on entend un système de trois coordonnées qui sont le plus souvent : la latitude, la longitude et l'altitude. Ces coordonnées permettent le repérage d'un point sur la terre (Figure I.3). [6]

I.5.1. Latitude

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesuré à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de -90° à 0° dans l'hémisphère sud.

I.5.2. Longitude

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, exprimant le positionnement est-ouest d'un point sur Terre (voir la figure I.3). La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich ($\lambda=0^\circ$).

I.5.3. L'altitude

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.

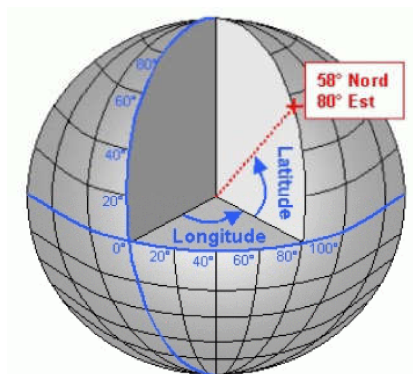


Figure I.3: Coordonnées géographiques d'un lieu. [7]

I.6. Position du soleil

I.6.1. Coordonnées célestes horaires

Le déplacement des astres du fait du mouvement diurne rend intéressant l'utilisation des coordonnées horaires, qui est un système de coordonnées locales "mixtes", dans lequel les plans de référence sont l'équateur céleste et le plan méridien du lieu de l'observation. La position d'un objet sur la voûte céleste est définie par l'angle horaire et la déclinaison. Notons que la sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (Terre – Soleil). On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. [8]

I.6.1.1. Déclinaison du soleil

L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction Terre-soleil est appelé la déclinaison solaire. Cet angle varie tout au long de l'année de façon symétrique de $-23^{\circ}26'$ à $+23^{\circ}26'$ (voir la Figure I.4). [8]

La valeur de la déclinaison peut être obtenue avec une bonne précision par la formule suivante :

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin 360 \cdot \frac{(284 + n)}{365} \quad (I.2)$$

Avec, n : numéro du jour.

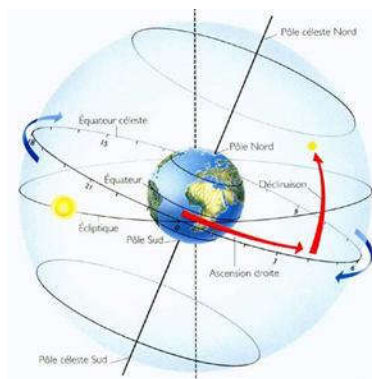


Figure I.4 : Déclinaison solaire. [9]

I.6.1.2. Angle horaire

L'angle horaire est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire du soleil avec le plan contenant le méridien céleste. Il est compté sur l'équateur, positivement à l'ouest, négativement à l'est (voir la Figure I.5).

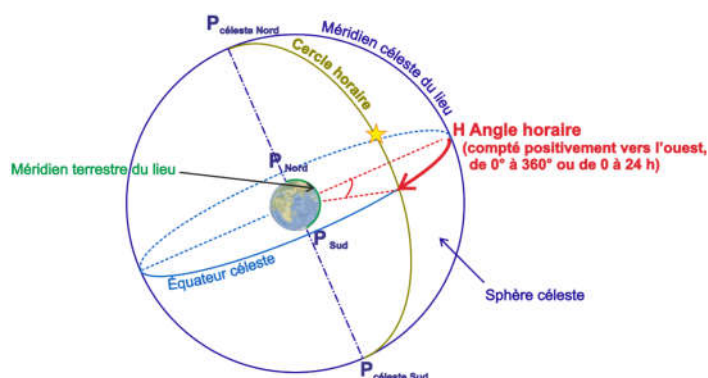


Figure I.5: Angle horaire. [10]

Les deux coordonnées citées ci-dessus sont aussi appelées coordonnées semi locales puisque l'angle horaire dépend du lieu d'observation, contrairement à la déclinaison. [8]

I.6.2. Les coordonnées célestes horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [11]:

I.6.2.1. Azimut

L'azimut correspondant à l'angle que fait le plan du méridien local avec le plan vertical passant par le soleil (Figure I.6). L'azimut est compté négativement vers l'est et positivement vers l'ouest.

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin h}{\cos h} \quad (\text{I.3})$$

I.6.2.2. Hauteur du soleil h

La hauteur du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal (c'est-à-dire tangent au sol) (Figure I.6), elle est donné par la relation suivante :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (\text{I.4})$$

Remarquons que ces coordonnées dépendent du lieu d'observation et que pour cela elles sont appelées aussi coordonnées locales. Des calculs solaires effectués en un lieu donné avec ces coordonnées ne pourront donc pas être transposable directement en un autre lieu. [8]

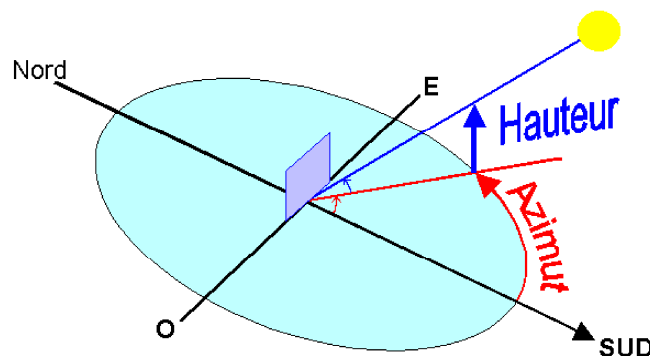


Figure I.6: Coordonnées horizontales du soleil. [12]

I.6.3. Paramètres de temps

I.6.3.1. Temps solaire vrai

La position du soleil dans le ciel nous renseigne sur le temps solaire vrai (TSV ou solar Time –ST-en anglais). C'est le temps donné par les cadrans solaires. Il existe une relation simple entre l'heure solaire TSV et l'angle horaire (ω ou H) :

$$\omega = (\text{TSV} - 12) * 15 \quad (\text{I.5})$$

Avec TSV en heures et ω en degrés. Cette formule provient du fait que le soleil semble tourner dans le plan de l'équateur composé de 360° en 24 heures, soit, 15° par heure. De plus, le choix arbitraire de prendre l'angle horaire nul quand le soleil est dans le plan du méridien local (il est alors midi solaire).

La trajectoire de la Terre autour du soleil est elliptique (première loi de Kepler). Durant ce mouvement, le rayon vecteur soleil-Terre balaie des aires égales dans des temps égaux (deuxième loi de Kepler). Tout ceci, ajouté au fait que l'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport au plan de l'écliptique, fait que la durée du jour solaire vrai varie selon les époques de l'année. On introduit alors la notion de temps solaire moyen (TSM). [13]

I.6.3.2. Temps solaire moyen

Le temps solaire moyen (TSM) varie de ± 16 mn par rapport au TSV. On a alors :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - \text{ET} \quad (\text{I.6})$$

Où le terme correctif ET est appelé équation du temps. Cette quantité peut être calculée par la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{ET}(\text{mn}) = & -0.002 + 0.4197 \cos(\gamma) - 7.3509 \sin(\gamma) - 3.2265 \cos(2\gamma) \\ & -9.3912 \sin(2\gamma) - 0.0903 \cos(3\gamma) - 0.3361 \sin(3\gamma) \end{aligned} \quad (\text{I.7})$$

Dans laquelle γ (en degrés) vaut : $\gamma = 360 \frac{n}{366}$

I.6.3.3. Temps solaire universel (TU)

Le temps universel TU est égal au temps solaire moyen du méridien origine (méridien de Greenwich). On a donc :

$$TU = TSM + \frac{L}{15} \quad (I.8)$$

Avec L la longitude, exprimée en degrés et les temps en heures.

L'heure que nous lisons aux horloges publique est le temps légal (T.L). Il est égal au temps universel affecté des corrections de fuseau C_1 (> 0 à l'est de Greenwich, < 0 à l'ouest) ainsi que d'une correction de saison C_2 s'il y a lieu. [14]

$$TL = TU + C_1 + C_2 \quad (I.9)$$

I.7. Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. La Figure I.7 retrace les trajectoires décrites par le soleil pour un lieu donné. On peut y lire la hauteur et l'azimut du soleil pour un instant quelconque de l'année. [15]

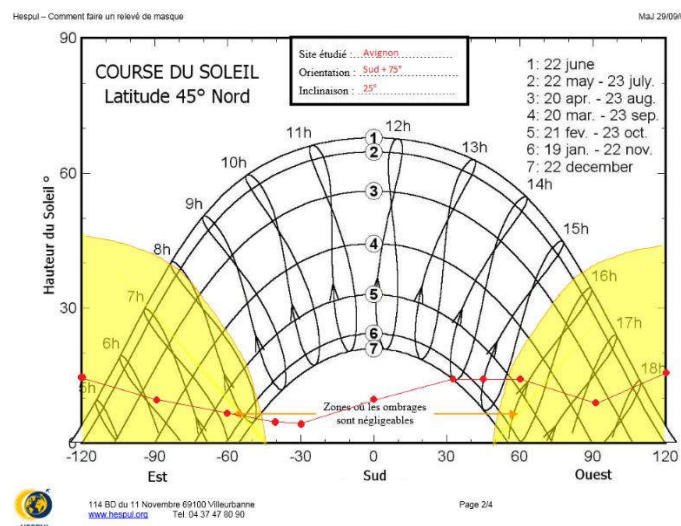


Figure I.7 : Trajectoire du soleil pour différents mois. [15]

I.8. Energie solaire passive

La plus ancienne et certainement la plus importante, quoique discrète, utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du Soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, surface vitrée orientée vers le Sud, isolation thermique, etc.). L'apport solaire passif représente alors une part conséquente du chauffage et de l'éclairage du bâtiment et les économies d'énergies peuvent être importantes.

L'énergie solaire passive permet de chauffer tout ou partie d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasi nul, en tirant parti des conditions d'un site et de son environnement, selon les principes de l'architecture bioclimatique.

I.9. Quelques notions de base concernant le bâtiment

I.9.1. Bâtiment

Un bâtiment est une construction destinée à servir d'abri ou d'habitat et à protéger des biens et des personnes des conditions météorologiques extérieures.

I.9.2. Mur

Ouvrage de maçonnerie qui s'élève sur une certaine longueur et qui sert à enclore, à séparer ou à supporter une poussée. Les différents matériaux couramment utilisés dans la construction des murs sont :

- La **Pierre** ; Il s'agit d'un matériau dispendieux, durable et esthétique démontrant une bonne densité. Cependant, le mur en pierre est si lourd qu'il faut préalablement s'assurer de la robustesse des fondations hors gel.
- Le **parpaing** ; Il s'agit d'un matériau léger et abordable fabriqué en béton ou en ciment. Il est plébiscité par sa solidité et ses propriétés isolantes.
- Les **briques** de mur ; Ce matériau est résistant et facile à mettre en place. Il est habituellement façonné en terre cuite, en béton léger ou cellulaire, il se présente sous de nombreuses formes et convient à divers types de construction. Fabriqués à partir de briques en verre, les murs présentent un aspect esthétique et préservent l'intimité tout en laissant traverser la lumière.

- Le **béton cellulaire** ; Ce matériau apprécié sur le continent européen, démontre des qualités isolantes remarquables.
- Le **bois** est un matériau accessible et esthétique assurant un confort thermique certain.

La brique et le parpaing sont les matériaux de construction les plus utilisés en Algérie.

I.9.3. Orientation

Le terme Orientation d'un bâtiment désigne habituellement la direction à laquelle la façade principale fait face [16] L'orientation d'une façade conditionne sa capacité à réagir aux conditions climatiques, non seulement au cours de la journée, en fonction de l'heure, mais aussi au cours de l'année, en fonction des saisons.

L'orientation est la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain par rapport aux éléments d'un site ou aux points cardinaux.

Le choix d'une orientation est soumis d'après GIVONI [16] à de nombreuses considérations telles que :

- La vue.
- La position par rapport aux voies.
- La topographie du site.
- La position des sources des nuisances et la nature du climat.

Cependant la position de la façade par rapport au soleil et au vent affecte l'ambiance intérieure.

L'orientation est une variable importante qui affecte la performance d'un bâtiment ayant des répercussions sur le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, le rapportant, ainsi à l'environnement naturel en termes d'accès à la lumière naturelle, la ventilation et la vue.

I.9.3.1. Effet de l'orientation sur les températures de surfaces extérieures

La température de la surface externe d'après GIVONI [16] a des grands effets sur :

- Les conditions thermiques intérieures,
- La dilatation et la contraction de l'élément de la construction.

La température de la surface extérieure dépend de :

- La température de l'air ambiant 'Indépendant de l'orientation.
- L'incidence du rayonnement solaire.

I.9.3.2. Effet de l'orientation sur le rayonnement incident

Parmi les parois verticales, ce sont les parois Est et Ouest qui reçoivent les ensoleillements les plus importants en été.

En hiver, le soleil bas pénètre profondément dans le bâtiment, tandis qu'en été, la hauteur du soleil est plus élevée et la pénétration du soleil est donc moins profonde. En été, les apports solaires sur une surface verticale sont également nettement inférieurs au sud qu'à l'est ou à l'ouest car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence. [17]

L'étude de l'orientation entraîne souvent une confusion. Dans certains cas (bureaux, ateliers d'artiste, salle de classe) l'orientation au nord est même préférée en raison de la régularité de la répartition lumineuse, de l'absence de surchauffe ou d'éblouissement dus à un ensoleillement direct.

I.9.3.3. Effet de l'orientation sur la conception d'une maison

Évidemment, la répartition des pièces dépendra aussi de l'orientation de la maison. Les apports de lumière et d'air sont des éléments essentiels pour le confort. Pour déterminer l'orientation idéale des pièces d'une maison, il est nécessaire de tenir compte de la course du soleil [18]:

- Les façades est sont ensoleillées le matin,
- Les façades ouest sont ensoleillées l'après-midi,
- Les façades sud sont ensoleillées seulement pendant les mois les plus froids de l'année (décembre - janvier),
- Les façades nord sont ensoleillées tout le long de l'année,
- Les chambres : l'orientation sud/est reste la plus souvent favorisée. Elle permet aux chambres de bénéficier du soleil le matin, tout en restant fraîches le soir pour le coucher,
- Les pièces secondaires (buanderie, WC, salle de bains...) : une orientation plein ouest n'est pas gênante puisqu'elles ne nécessitent que peu de luminosité,
- Les pièces à vivre : d'une manière générale, il est conseillé de placer les pièces à vivre (salon, salle à manger, varangue, cuisine) sur la façade qui bénéficie d'une exposition plein nord.

I.10. Orientation et inclinaison des capteurs solaires

La position des modules photovoltaïques (ou capteurs thermiques) par rapport au soleil influence directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. On appelle orientation le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud-ouest...) quant à l'inclinaison, elle indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés (Figure I.8).

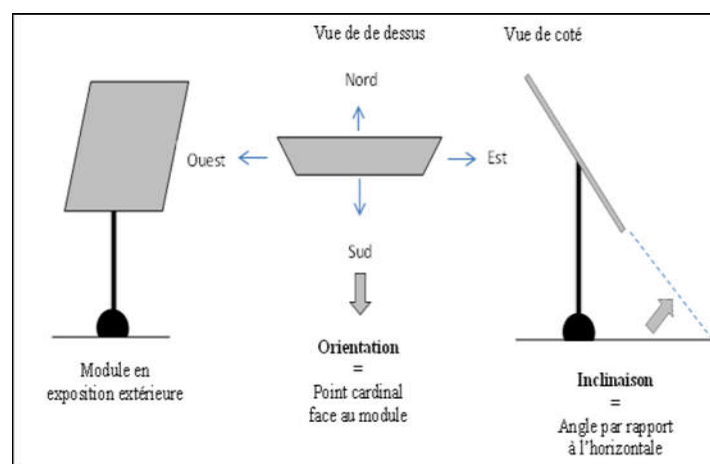


Figure I.8 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.

I.10.1. Pourquoi orienter un panneau solaire ?

Un panneau solaire transforme l'énergie du soleil en énergie électrique : Le panneau est constitué de couches de silicium chargées positivement et négativement. Quand les rayons du soleil entre en contact avec le panneau, il fournit de l'énergie qui permet de réaliser une réaction entre les couches : Cela crée une différence de potentiel électrique et donc crée un courant électrique qui peut charger des batteries. De plus, plus le panneau reçoit d'énergie solaire, plus il produit d'électricité.

Cela a amené les chercheurs à réfléchir comment optimiser la réception d'énergie. Après quelques recherches, ils ont découvert que le panneau reçoit mieux les rayons du soleil si ceux-ci arrivent perpendiculairement au plan formé par le panneau (comme sur l'image de gauche de la Figure I.9). Il y a plusieurs raisons à cette position [19] :

- La réflexion est quasi nulle quand le panneau est de face,
- Comme nous montre la figure à gauche, la surface sur laquelle les rayons tapent est réduite quand le panneau n'est pas perpendiculaire aux rayons.

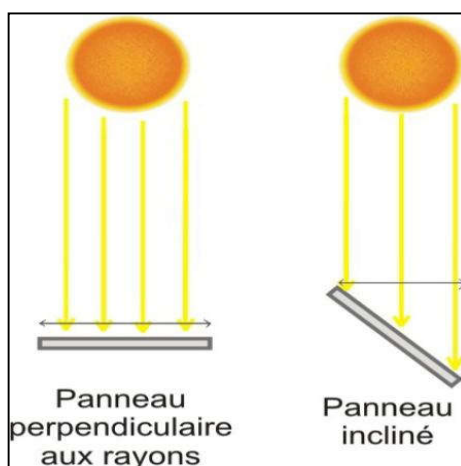


Figure I.9 : Rayonnements solaires sur un panneau horizontal et un panneau incliné. [19]

I.10.2. Comment orienter et incliner les capteurs solaires ?

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteur solaire obéit à une règle très simple à retenir : vers l'Equateur, ce qui donne :

- Orientation vers le Sud dans l'hémisphère nord,
- Orientation vers le Nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Prenons d'abord le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production.

Les capteurs doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible. Il en résulte qu'en Europe, pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud).

Cette orientation Sud n'est pas toujours possible sur une habitation à cause de son implantation par rapport aux points cardinaux. Si on exclut généralement les orientations

Nord, Nord-Est et Nord-Ouest qui sont vraiment trop défavorables il est par contre envisageable de placer des capteurs vers l'Est et l'Ouest. En effet, par rapport à un emplacement idéal à 30° Sud, on ne perdra pas plus de 15% en production annuelle, pour les orientations Est, Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est si l'inclinaison ne dépasse pas 30° par rapport à l'horizontale [20].

Il est nécessaire de connaître les coordonnées du soleil par rapport à l'endroit où on va placer les capteurs pour mieux les orienter vers lui et maximiser ainsi l'énergie interceptée par ces derniers. Dans ce qui suit on va présenter des notions concernant le mouvement et de la terre et du soleil.

I.11. Conclusion

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergies renouvelables les plus abondantes sur terre, le flux d'énergie solaire reçu annuellement sur la surface de la terre représente environ 15000 fois la consommation d'énergie.

Le Bâtiment Passif, souvent appelé 'maison sans chauffage', repose sur un concept de construction très basse consommation, basé sur l'utilisation de l'apport de chaleur dite passive provenant du soleil, sur une très forte isolation (des murs, des fenêtres, etc.), sur l'absence de ponts thermiques, sur une grande étanchéité à l'air ainsi que sur le contrôle de la ventilation.

L'orientation est une variable importante qui affecte la performance d'un bâtiment ayant des répercussions sur le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, le rapportant, ainsi à l'environnement naturel en termes d'accès à la lumière naturelle, la ventilation et la vue.

La position des modules photovoltaïques (ou capteurs thermiques) par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités.

Chapitre 2:
Matériels et méthodes

II.1.Introduction

Ce chapitre vise à décrire le matériel et la technique expérimentale utilisés afin d'atteindre les objectifs de ce mémoire. Les expériences faites au cours de ce travail de fin d'étude ont été réalisées au niveau du laboratoire d'hydraulique et énergétique du hall technologique affilié au département de génie mécanique de l'université de M'Sila.

II.2.Matériels

II.2.1. Boussole

Une boussole est un instrument qui permet de s'orienter à n'importe quel endroit à l'aide des quatre points cardinaux (le nord, le sud, l'ouest et l'est). Cet appareil fonctionne grâce à une aiguille aimantée, montée sur un pivot. L'aiguille est attirée en direction du pôle nord magnétique de la Terre (ce pôle est proche du pôle nord géographique). La boussole indique toujours l'orientation nord (voir la Figure II.1)

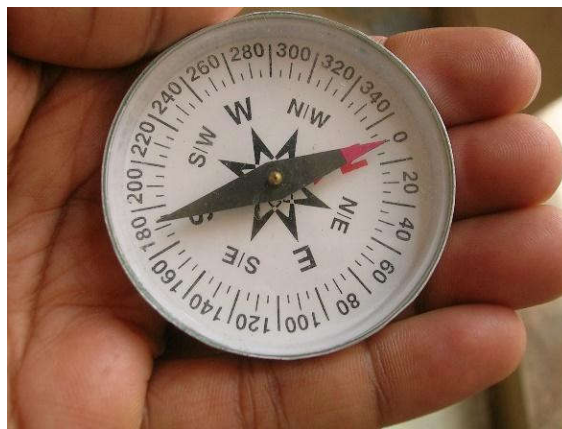


Figure II.1 : Boussole manuelle. [21]

La boussole utilisée dans notre cas est une boussole numérique, c.à.d. , une application téléchargeable sur téléphone portable. Cette dernière nous a permis de déterminer les quatre orientations de base par rapport à notre site d'expérience.

II.2.2. Variateur d'angles

Le variateur d'angles est un dispositif en bois que nous avons conçu sur la base d'un rapporteur pour étudier l'effet de l'inclinaison des surfaces sur l'énergie interceptée. Avec cet outil, on peut faire varier l'angle d'inclinaison de 0° à 180° par pas de 5° (voir la Figure II.2). Son centre est muni d'un axe pivotant sur lequel se place l'héliomètre. Ce pivot permet de varier l'angle d'inclinaison qui se fixe manuellement.

II.2.3. Héliomètre

L'héliomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en kilowatts par mètre carré.

L'héliomètre dont on s'est servi appartient au dispositif expérimental nommé Capteur thermique ET 200 fabriqué par la compagnie allemande Gunt (voir la Figure II.3).

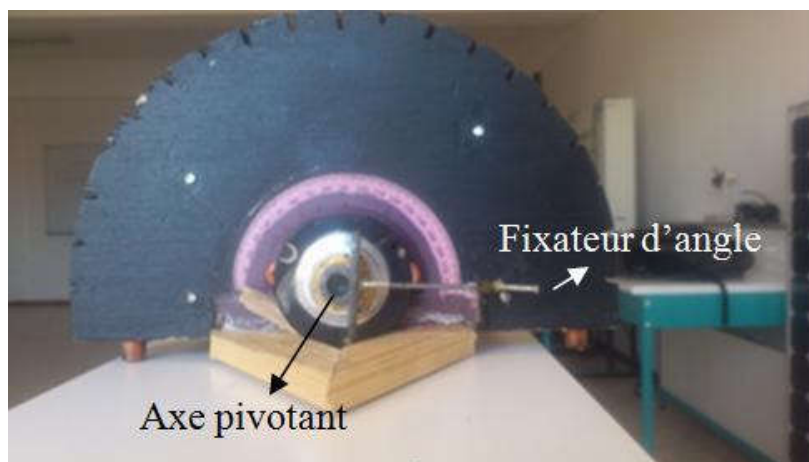


Figure II.2 : Variateurs d'angles.

Les mesures prises par l'héliomètre sont affichées sur l'écran d'affichage approprié se trouvant sur la boîte de contrôle et de commande du capteur ET 200 (revoir la Figure II.3).



Figure II.3 :Capteur solaire ET 200 et l'héliomètre.

Remarque :

- L'utilisation de l'héliomètre nous a permis d'étudier l'effet de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces réceptrices indépendamment de leurs matériaux de construction. En fait, c'est l'héliomètre qui intercepte l'énergie solaire dans différentes position (orientation et inclinaison).

II.2.4. Matériaux de construction

Afin d'étudier l'effet des matériaux de construction (utilisés dans construction des bâtiments) sur les échanges thermiques, nous avons choisi différents matériaux à savoir ; la brique ordinaire, le verre, le polystyrène, la faïence, l'acier et la brique ancienne (brique adobe) composée d'argile et de paille. Ce travail a été divisé en deux parties ; la première consistait à mesurer la température de la face orientée vers le sud des murs de différents matériaux dans les mêmes conditions (voir la Figure II.4).

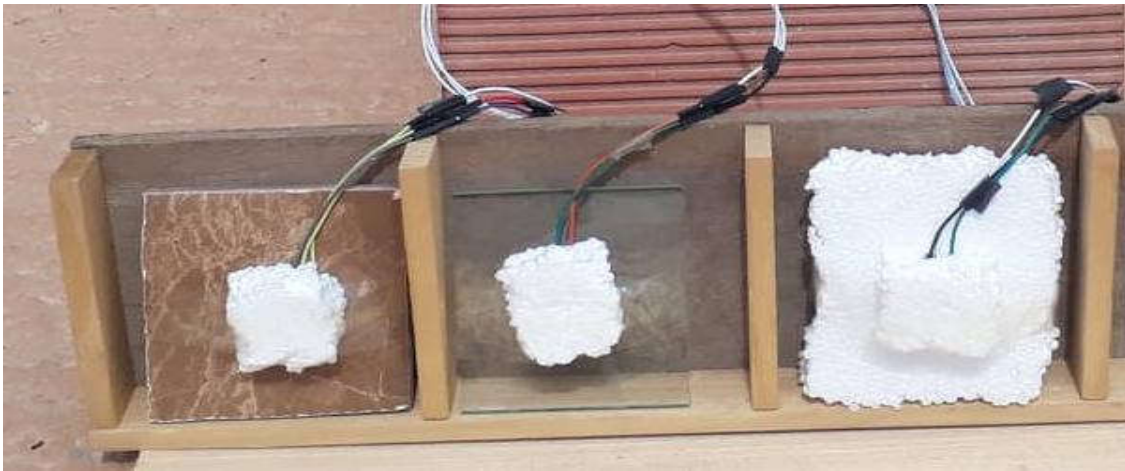


Figure II.4 : Murs en faïence, verre et polystyrène.

La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'évolution de la température à l'intérieur de petites chambres de mêmes dimensions mais de matériaux différents (voir la Figure II.5).

La Figure II.6 montre les différentes étapes suivies lors de la construction des murs composés de terre et de paille.



Figure II.5 : Chambres de différents matériaux (verre, polystyrène, et brique ancienne).



Figure II.6 : Etapes suivies lors de la construction des murs en briques anciennes.

La Figure II.6 montre les différentes étapes suivies lors de la construction des murs composés de terre et de paille.

En fait, on a mélangé une quantité de terre tamisée pour d'enlever les grosse particules (impuretés) avec de la paille sèche dans des proportions bien définies (selon la technique utilisée dans la région de M'Sila). De l'eau est ajoutée, ensuite, à ce mélange afin d'obtenir une pâte maniable qu'on a versé dans des moules de dimensions bien précises,

et qu'on a laissé sécher naturellement à l'air libre. Les murs ainsi obtenus sont utilisés dans la construction de la chambre en brique ancienne (voir la Figure II.5).

II.2.5. Système d'acquisition numérique

Ce système est utilisé pour enregistrer l'évolution de la température à l'intérieur des chambres conçues et sur les faces des murs de différents matériaux pendant 24h par intervalle d'une minute .Il est composé principalement de :

- Carte Arduino,
- Capteurs de température, en plus de câbles connecteurs.

II.2.5.1. Carte Arduino

Une carte Arduino est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur permet, à partir d'évènements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs; la carte Arduino est donc une interface programmable. [22]La caractéristique première d'une carte Arduino est le type de MCU ou microcontrôleur dont elle est équipée. Actuellement, et probablement pour encore longtemps, deux familles de microcontrôleurs sont employées : les AVR 8 bits de la société ATMEL et les ARM 32 bits de la série Cortex-M, conçus par la société Advanced RISC Machines et fabriqués par différents fondeurs, ATMEL pour les cartes officielles mais aussi Freesca le ou ST Micro pour des cartes compatibles gravitant autour de la galaxie Arduino.

Il existe plusieurs cartes Arduino dont les caractéristiques sont plus ou moins riches (Arduino Mini, Mini Pro, etc.). La carte Arduino Uno est la plus populaire et la plus simple à prendre en main c'est celle que nous avons choisi pour notre système d'acquisition numérique (Figure II.7). Il s'agit d'une carte équipée d'un microcontrôleur de la famille AVR 8 bits : l'ATMega328.[23]

Les autres cartes ont un fonctionnement similaire à la carte UNO.

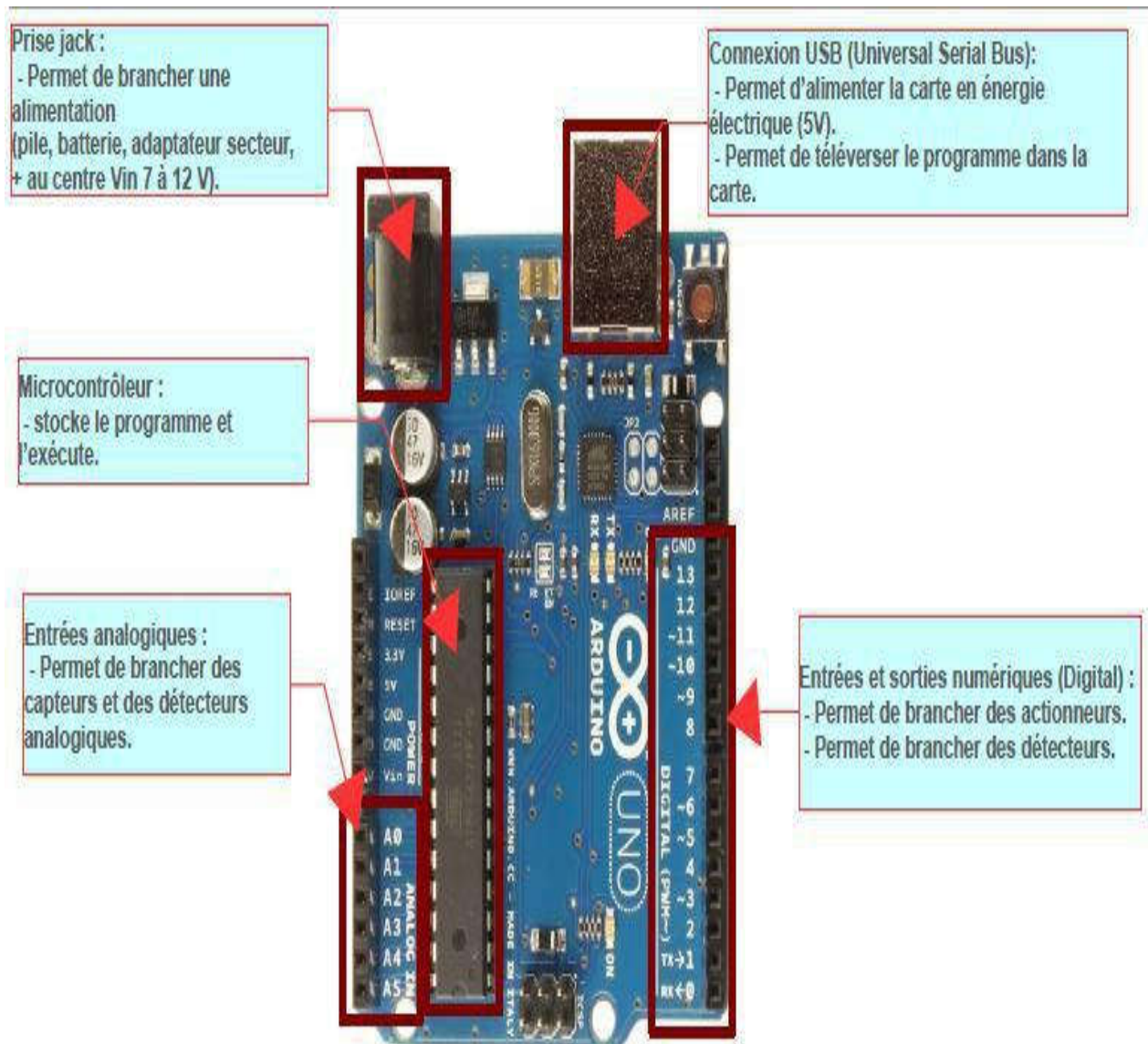


Figure II.7 : Carte Arduino Uno et fonctionnement de ses différents composants. [17]

Il est possible de programmer le comportement de la carte Arduino de deux façons différentes soit par programmation en langage C (méthode adoptée pour notre cas) ou par Bloc. Une fois le programme créé, il est transféré à la carte Arduino à l'aide d'un câble USB (voir la Figure II.8). Cette dernière nécessite, toutefois, une alimentation électrique Faible (pile 9V). Il est à noter que la carte Arduino est munie d'une bibliothèque de programmes nécessaires pour le fonctionnement de plusieurs capteurs de différentes tâches (détecteurs).

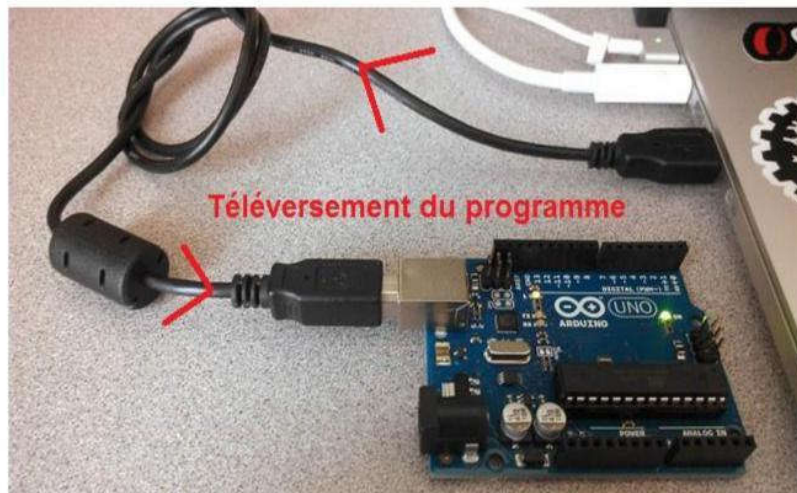


Figure II.8 : Télé versement du programme sur carte Arduino. [22]

II.2.5.2. Capteur de température LM35

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par Texas Instruments (voir Figure II.9). Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu couteux (500 DA Max), très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

Le capteur de température LM35 est capable de mesurer des températures allant de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$ dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température. [24]

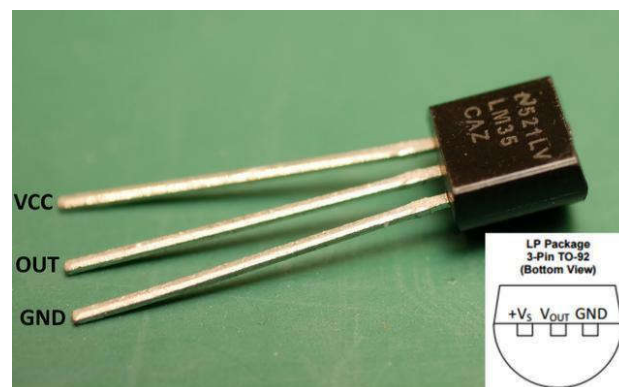


Figure II.9 : Capteur de température LM35. [25]

La patte VCC du composant doit être branchée sur la broche 5V. La patte GND du composant doit être branchée sur la broche GND du Arduino.

Enfin, la patte OUT (celle qui envoie les informations) doit être branchée sur l'une des broches analogiques, par exemple la broche A0 (voir la Figure II.7).

La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de +10mV.

Le capteur LM35 fonctionne avec n'importe quelle tension d'alimentation comprise entre 4 volts et 30 volts, ce qui permet de l'utiliser dans virtuellement n'importe quel montage numérique ou analogique.

Le LM35 n'a pas besoin de circuits supplémentaires pour le calibrer à l'extérieur. La faible impédance de sortie, sa sortie linéaire et son étalonnage précis permettent son intégration facile dans un circuit de contrôle. En raison de son faible courant d'alimentation, l'effet d'auto-échauffement est très réduit. On le trouve dans différents types d'encapsulation, le plus courant étant le TO-92, utilisé par les transistors à faible puissance.

II.2.5.3. Câbles connecteurs

La Figure II.11 montre les différents câbles utilisés pour connecter le montage électronique décrit ci-dessus.

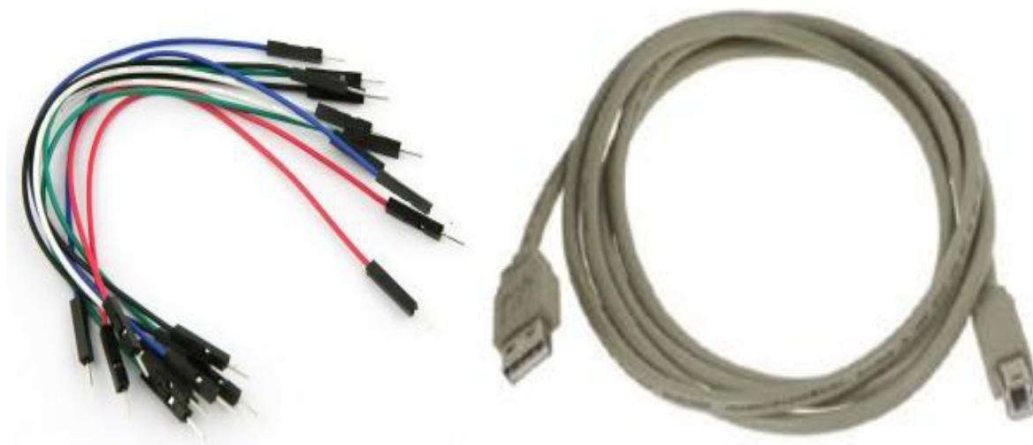
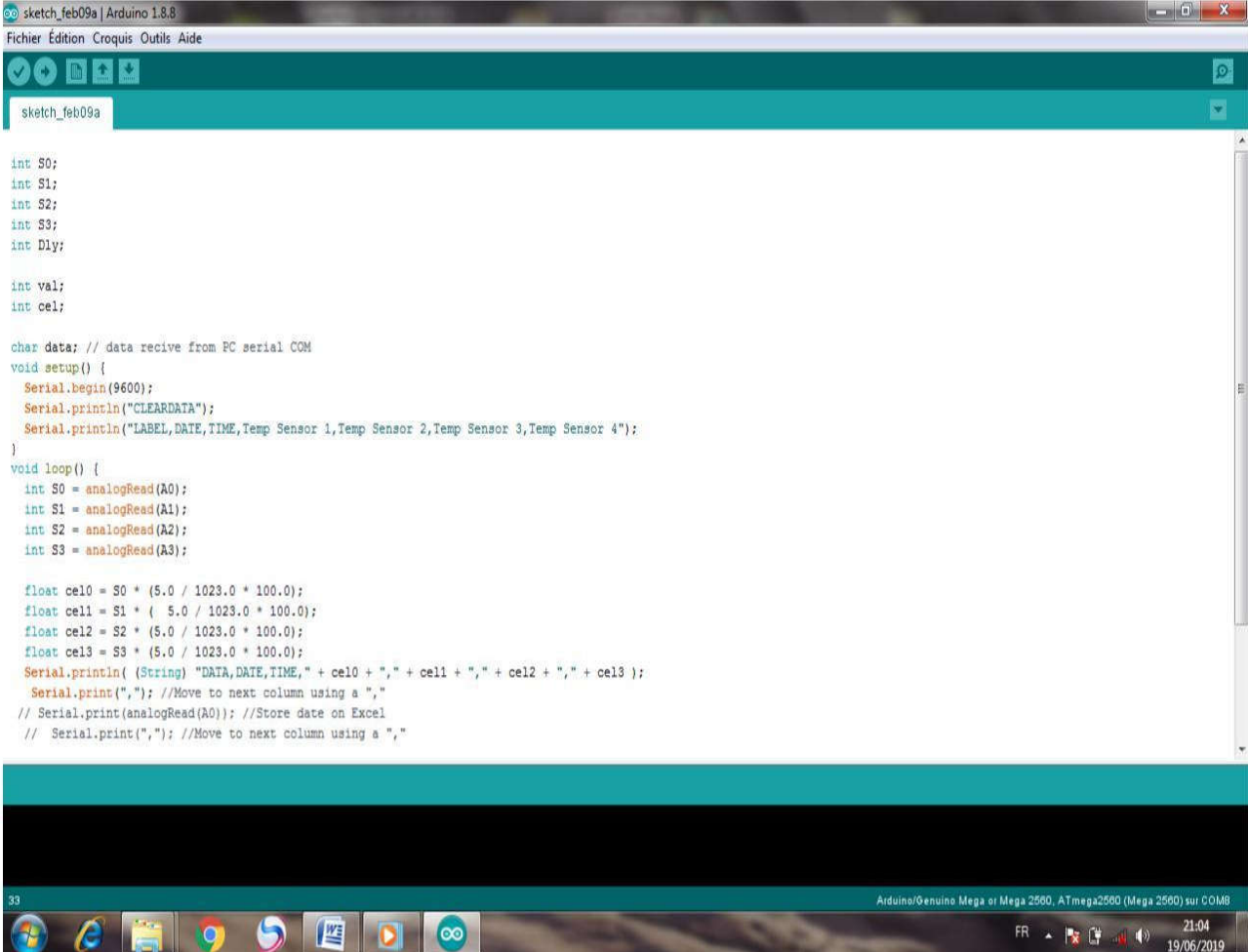


Figure II.11 : Câblages du montage électronique utilisé.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sketch_feb09a | Arduino 1.8.8". The menu bar includes "Fichier", "Édition", "Croquis", "Outils", and "Aide". The toolbar contains icons for saving, undo, redo, and other functions. The main text area contains the following C++ code:

```
int S0;
int S1;
int S2;
int S3;
int Dly;

int val;
int cel;

char data; // data recieve from PC serial COM
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,DATE,TIME,Temp Sensor 1,Temp Sensor 2,Temp Sensor 3,Temp Sensor 4");
}
void loop() {
  int S0 = analogRead(A0);
  int S1 = analogRead(A1);
  int S2 = analogRead(A2);
  int S3 = analogRead(A3);

  float cel0 = S0 * (5.0 / 1023.0 * 100.0);
  float cel1 = S1 * ( 5.0 / 1023.0 * 100.0);
  float cel2 = S2 * (5.0 / 1023.0 * 100.0);
  float cel3 = S3 * (5.0 / 1023.0 * 100.0);
  Serial.println( (String) "DATA,DATE,TIME," + cel0 + "," + cel1 + "," + cel2 + "," + cel3 );
  Serial.print(","); //Move to next column using a ","
  // Serial.print(analogRead(A0)); //Store date on Excel
  // Serial.print(","); //Move to next column using a ","
```

The status bar at the bottom indicates "33" lines of code and "Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) sur COM8". The Windows taskbar is visible at the bottom with the system clock showing 21:04 on 19/06/2019.

Figure II.10 : Programme de fonctionnement des capteurs LM35.

II.3. Procédures expérimentales

Afin d'étudier l'effet de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces sur le rayonnement incident, on a déterminé tout d'abord les quatre points cardinaux, grâce à la boussole électronique, que nous avons marqués sur le site d'expérience et sur un support pivotant sur lequel est fixé le variateur d'angles (voir la Figure II.12).

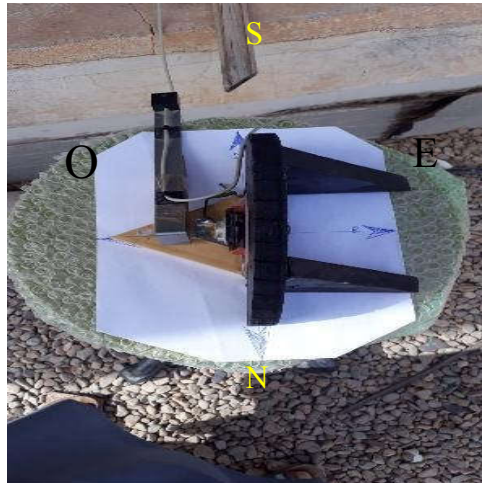


Figure II.12 : Héliomètre et variateur d'angles.

L'héliomètre du collecteur solaire est fixé au centre du variateur d'angles sur son pivot comme l'illustre la Figure II.12.

Pour chaque orientation, on fait varier l'angle d'inclinaison de 0° à 90° par pas de 5° et on mesure le rayonnement incident capté par l'héliomètre et affiché en kW/m^2 sur l'écran d'affichage approprié de la boîte de contrôle et de commande du capteur ET200 (voir la Figure II.13).

Les relevés sont pris chaque dix (10) minutes de 8h30 à 16h30 durant cinq jours de l'année en cours à savoir le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin.



Figure II.13 : Dispositif expérimental servant à l'étude de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces.

Concernant la partie relative au matériaux de construction, on disposait que de quatre capteurs de température, vu la capacité de la carte Arduino utilisée. Donc, on a procédé comme suit :

On a placé trois capteurs ,bien isolés par rapport au milieu environnant, au centre des murs concernés et on a laissé un à l'air libre pour relever la température ambiante qu'on va utiliser comme référence (voir la Figure II.4).

La même démarche a été appliquée pour les chambres de différents matériaux, trois capteurs se plaçaient aux centres des trois chambres (sans isolation),afin d'étudier l'évolution de la température à l'intérieur de ces ambiances fermée constituées de différents matériaux.

Il est à noter que chaque expérience nous permet d'étudier l'effet de trois matériaux différents dans les mêmes conditions. Le relevé de température ambiante pour chaque condition permet de faire la comparaison entre plusieurs matériaux de construction.

Le montage électronique utilisé est raccordé au PC pour enregistrer l'évolution de la température pendant vingt-quatre heure (24) par pas d'une minute comme le montre la Figure (II.14) .



Figure II.14 : Dispositif expérimental servant à l'étude de l'effet des matériaux de construction sur l'échange thermique.

Conclusion

A travers ce chapitre nous avons pu faire des réalisations qui nous paraissaient au départ impossible afin d'achever des objectifs tracés malgré le manque du matériel au niveau du laboratoire d'hydraulique et énergétique.

En effet, nous avons réalisé un dispositif expérimental qui permet l'étude de l'effet de l'angle d'inclinaison sur le rayonnement incident.

Nous avons appris aussi à manipuler le système d'acquisition numérique basé sur la carte Arduino Uno qui peut être utilisé dans plusieurs domaines différents. Ce dispositif de grande importance nous a permis d'étudier l'évolution de la température pendant vingt-quatre heures ce qui est impossible de faire au niveau du laboratoire d'hydraulique et énergétique.

Chapitre 3:
Résultats et discussion

III.1. Introduction

Le long de ce chapitre, on va discuter, en premier lieu, des résultats expérimentaux concernant l'effet de l'orientation et de l'inclinaison des murs sur l'énergie solaire reçue par ces derniers. Les expériences effectuées dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude ont été réalisées au niveau du laboratoire d'hydraulique et d'énergétique affilié au département de génie mécanique de l'université de M'Sila, pendant les mois de février, mars, avril, mai et juin.

Comme mentionné précédemment, on a fait varier l'inclinaison de l'héliomètre (moyen de mesure de l'intensité du rayonnement incident) de 0° à 90° par pas de 5° pour chaque orientation nord, sud, est et ouest pendant presque une journée (de 8h30 à 16h30) grâce à la combinaison d'un banc d'essai existant au laboratoire (Capteur solaire thermique ET200) et d'un dispositif que nous avons réalisé nous-mêmes (variateur d'angle). La prise des valeurs de l'intensité du rayonnement reçu se faisait chaque dix (10) minutes par simple lecture sur l'écran d'affichage approprié du capteur ET200.

On va exposer aussi les résultats obtenus traitant l'effet des matériaux de construction utilisés dans les bâtiments sur les échanges thermiques en terme de température. Cette deuxième partie expérimentale a été réalisé grâce au système d'acquisition numérique basé sur la carte Arduino Uno à Ain ELKhadra (commune de la Wilaya de M'Sila) située à 47.3 km de M'Sila .

III.2. Effet de l'orientation sur l'énergie reçue

L'orientation des surfaces réceptrices par rapport aux quatre points cardinaux; nord, sud, est, et ouest affecte la quantité d'énergie interceptées par ces dernières. La Figure III.1 montre deux exemples de puissances captées durant deux journées différentes à savoir le 27 février 2019 et le 17 mars 2019.

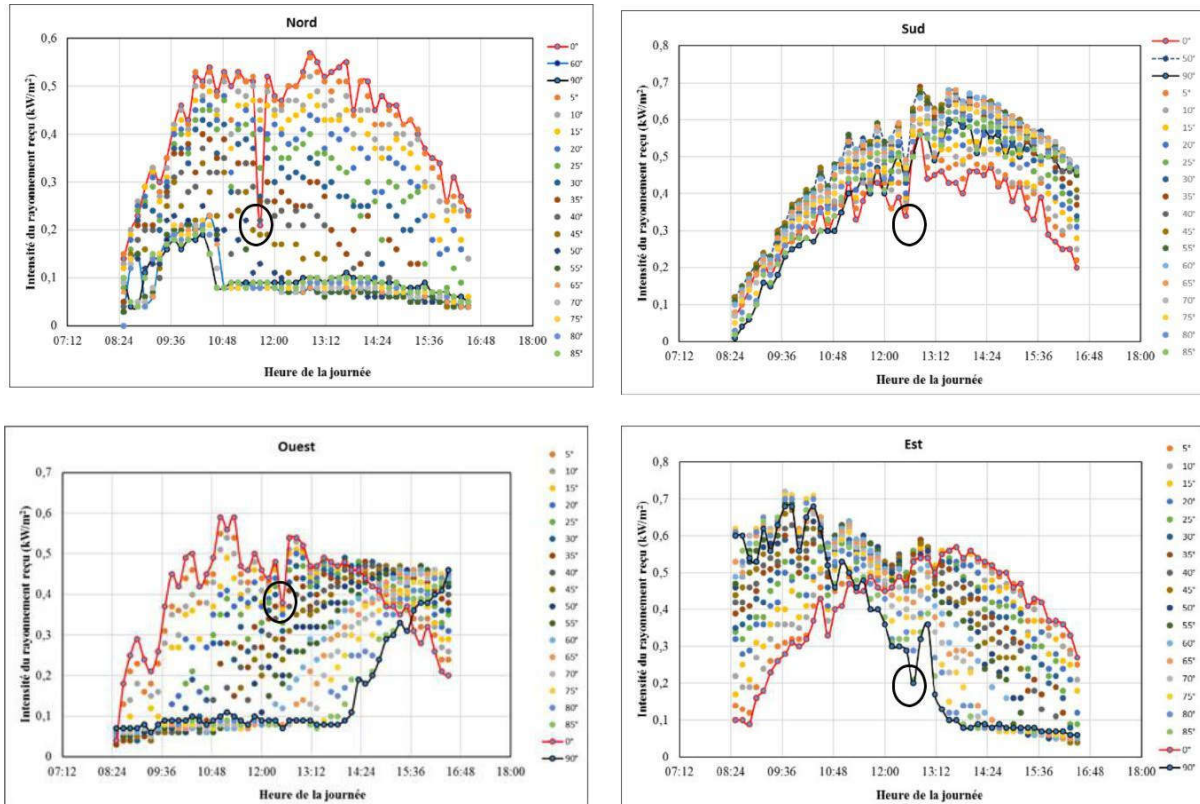
D'après la Figure III.1, on voit que la position de la surface réceptrice par rapport au quatre points cardinaux influence l'énergie interceptée ce qui s'explique par les différentes allures obtenues pour chaque orientation. En effet, l'allure de la courbe donnant l'intensité du rayonnement reçu sur une surface verticale (incliné de 90° par rapport à l'horizon) diffère selon qu'elle soit orientée vers l'est (appelé aussi orient ou lever du soleil), l'ouest (coucher du soleil), le sud (position du soleil dans le ciel à midi solaire) ou le nord (l'opposé du midi solaire). De plus, la surface horizontale est la plus rayonnée que toutes les autres surfaces

inclinées et ce pour une orientation nord et ouest. Par contre, la surface verticale est la moins rayonnée et ce pour une orientation est et ouest.

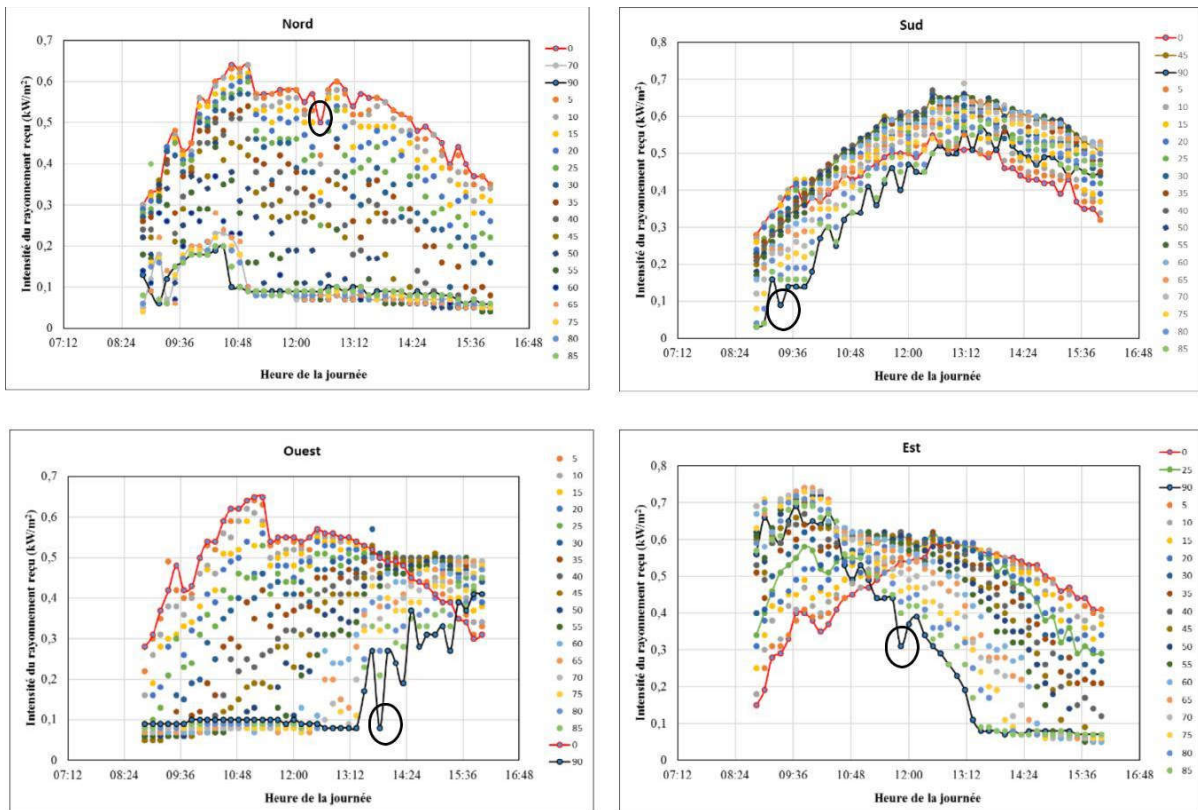
Les fluctuations enregistrées sur les courbes de la Figure III.1 (voir les cercles noirs) sont dues au passage nuageux qui empêche le rayonnement solaire de parvenir à la terre.

L'allure de la courbe donnant l'évolution de l'intensité reçue diffère selon l'inclinaison de la surface réceptrice, elle prend la forme d'une cloche pour une surface horizontale (incliné de 0° par rapport à l'horizon).

En Algérie, presque tous les murs des locaux sont verticaux c.-à-d. inclinés de 90° par rapport au plan horizontal. La Figure III.2 montre l'évolution de l'intensité du rayonnement reçu sur une surface (mur) verticale orientée vers l'est, l'ouest, le sud et le nord durant différentes journées à savoir le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin de l'année en cours. En effet, le mur orienté vers l'est reçoit plus de rayonnement solaire la matinée qui se dégrade au fur et à mesure que le soleil parcourt sa trajectoire de l'est à l'ouest pour atteindre une intensité qui ne dépasse pas les 0,15 kW/m² à partir de 13h30 (heure locale). Le maximum de rayonnement solaire reçue par ce mur et qui dépasse 0,55 kW/m² a lieu en moyenne vers 9h43 (heure locale) et le minimum est enregistré au coucher du soleil.



(a) Le 27 février 2019



(a) Le 17mars2019

Figure III.1 : Effet de l'orientation de la surface réceptrice sur l'intensité du rayonnement reçu pour différentes inclinaisons (0° à 90°)

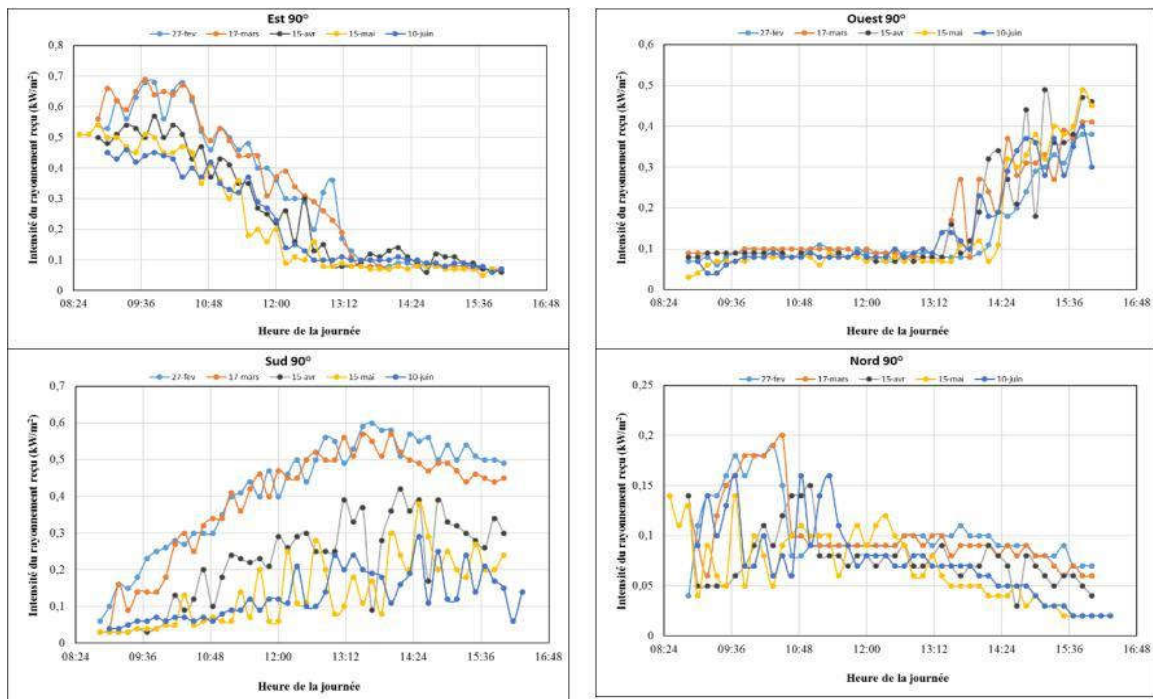


Figure III.2 : Effet de l'orientation sur le rayonnement solaire incident sur une surface verticale (mur) durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.

A l'inverse du mur orienté vers l'est, celui de l'ouest reçoit moins de rayonnement solaire la matinée de l'ordre de $0,09 \text{ kW/m}^2$, qui croît à partir 13h30 (heure locale) pour atteindre un maximum dépassant $0,40 \text{ kW/m}^2$ lorsque le soleil se trouve à l'ouest. Le maximum d'énergie solaire reçue par ce mur a lieu en moyenne vers 15h50 (heure locale) et le minimum est enregistré au lever du soleil.

Remarque :

- L'heure à partir de laquelle commence la croissance du rayonnement solaire incident sur un mur orienté vers l'ouest dépend de la déclinaison solaire (position du soleil par rapport à la terre).

Quant au mur (surface verticale) orienté vers le sud, il reçoit un rayonnement solaire qui croît pour atteindre un pic ayant lieu à midi solaire puis décroît au cours de la journée.

Remarque :

- Le midi solaire ou midi vrai est l'heure locale à laquelle le soleil passe au méridien de M'Sila. A ce moment, le soleil est dit en plein sud, il est au plus haut dans le ciel et l'ombre projetée sur le sol est la plus courte.
- A M'Sila, ce midi solaire n'est pas fixe, il varie au cours de l'année au tour de 1h40.

L'intensité du rayonnement solaire intercepté par un mur (surface verticale) orienté vers le sud dépend de la hauteur du soleil dans le ciel (bas ou haut). En effet, lorsque le soleil est bas dans le ciel, ce mur reçoit plus de rayonnement que lorsqu'il est haut ce qui explique le décalage enregistré entre la courbe du 15 avril et celles du 27 février et du 17 mars (voir la Figure III.3).

Enfin, le mur orienté vers le nord est le moins éclairé puisque le soleil se trouve dans la partie sud de la voûte céleste d'où l'intensité maximale du rayonnement intercepté ne dépasse pas les $0,2 \text{ kW/m}^2$ (voir la Figure III.3).

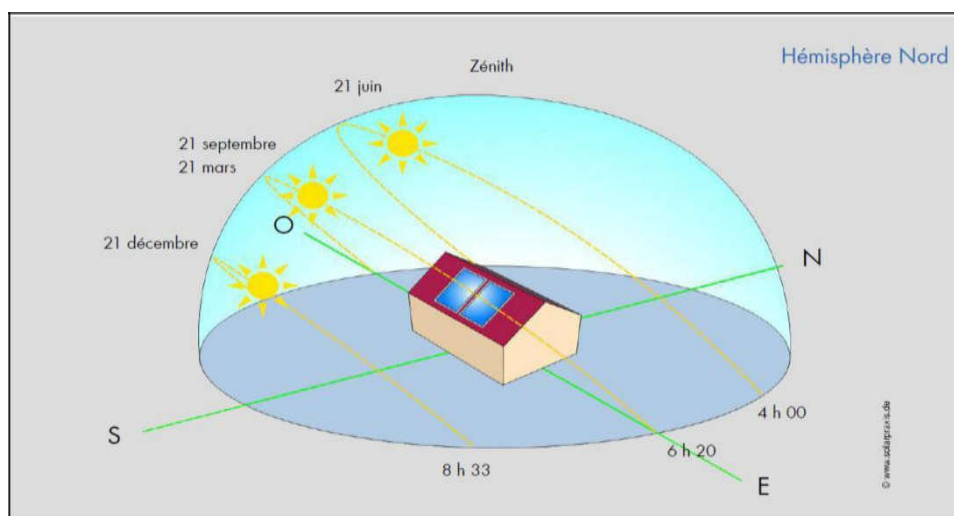


Figure III.3 : Trajectoire annuelle et journalière du soleil dans l'hémisphère nord. [26]

L'intensité maximale du rayonnement reçu par une surface verticale dans les différentes orientations durant les journées d'étude est donnée sur la Figure III.4.

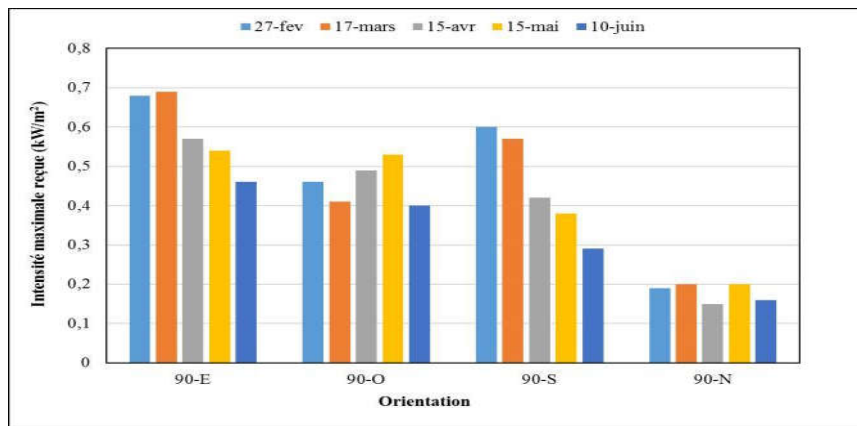


Figure III.4 : Intensité maximale du rayonnement reçu par les murs suivant les différentes orientations durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.

On voit que l'intensité maximale du rayonnement solaire est reçue par le mur orienté vers l'est contre une plus faible valeur enregistrée toujours pour une orientation nord. En plus, l'intensité maximale du rayonnement solaire reçu au sud est généralement supérieure à celle de l'ouest.

Concernant le rayonnement global incident, la Figure III.5 montre son évolution sur un mur de différentes orientations durant différentes journées de l'année en cours.

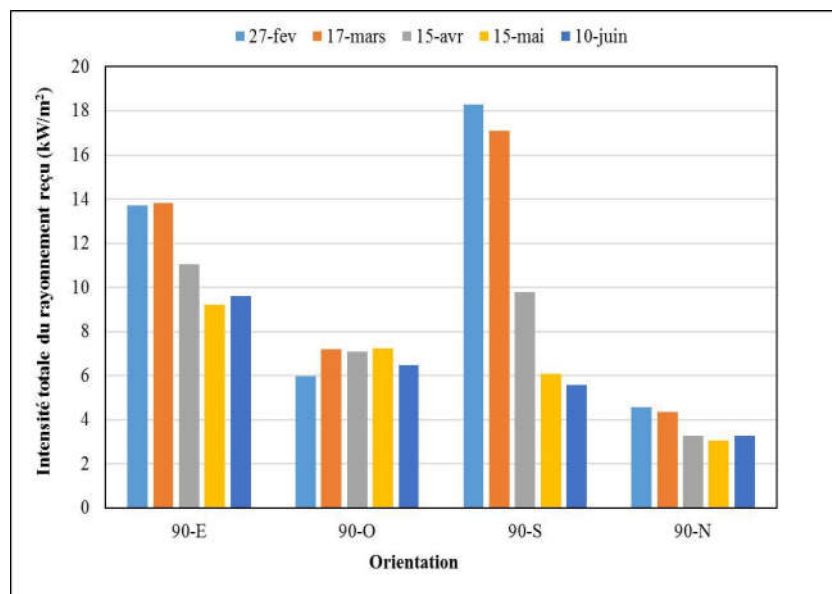


Figure III.5 : Effet de l'orientation sur le rayonnement global incident sur un mur durant différentes journées.

D'après la Figure III.5, le mur orienté vers le sud reçoit le maximum de radiation solaire c.-à-d. le plus éclairé de toutes les orientations lorsque le soleil est bas dans le ciel contrairement au mur orienté vers le nord qui est le moins éclairé et ce durant toute l'année. Le mur qui se positionne à l'est reçoit plus de radiations du soleil que celui à l'ouest. En plus, il est le plus éclairé lorsque le soleil est haut dans le ciel.

Toujours en Algérie, les dalles et les planchers contrairement aux murs sont des surfaces planes (horizontales) c.-à-d. inclinées de 0° par rapport au plan horizontal. La Figure III.6 montre l'évolution du rayonnement solaire incident sur une surface horizontale orientée vers l'est, l'ouest, le sud et le nord durant différentes journées à savoir le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin de l'année en cours.

Remarque :

- La surface horizontale n'a pas d'orientation, mais on entend par ça, les mesures prises dans les différentes orientations, c.à.d. celles captées par l'héliomètre lorsqu'il est positionné vers les quatre points cardinaux (est, ouest, sud et nord).

La première constatation révèle que toutes les courbes obtenues dans les différentes orientations ont la même allure qui croît, atteint un maximum (pic) puis décroît (la forme d'une cloche) à l'inverse de ce qui est obtenu pour le mur d'où l'effet de l'inclinaison sur le rayonnement incident qu'on va traiter ultérieurement.

On voit d'après la Figure III.6 que le rayonnement incident sur une surface horizontale dépend de la hauteur du soleil dans le ciel, en d'autres termes, il varie au cours de l'année et ce pour les différentes orientations étudiées. En effet, le soleil est bas au mois de février (voir la Figure III.3) d'où la faible intensité reçue comparé au mois de mai où ce dernier est haut dans le ciel et le rayonnement reçu, par conséquent, est important. C'est ce qui explique, en fait, le froid de l'hiver et la chaleur de l'été dans l'hémisphère nord.

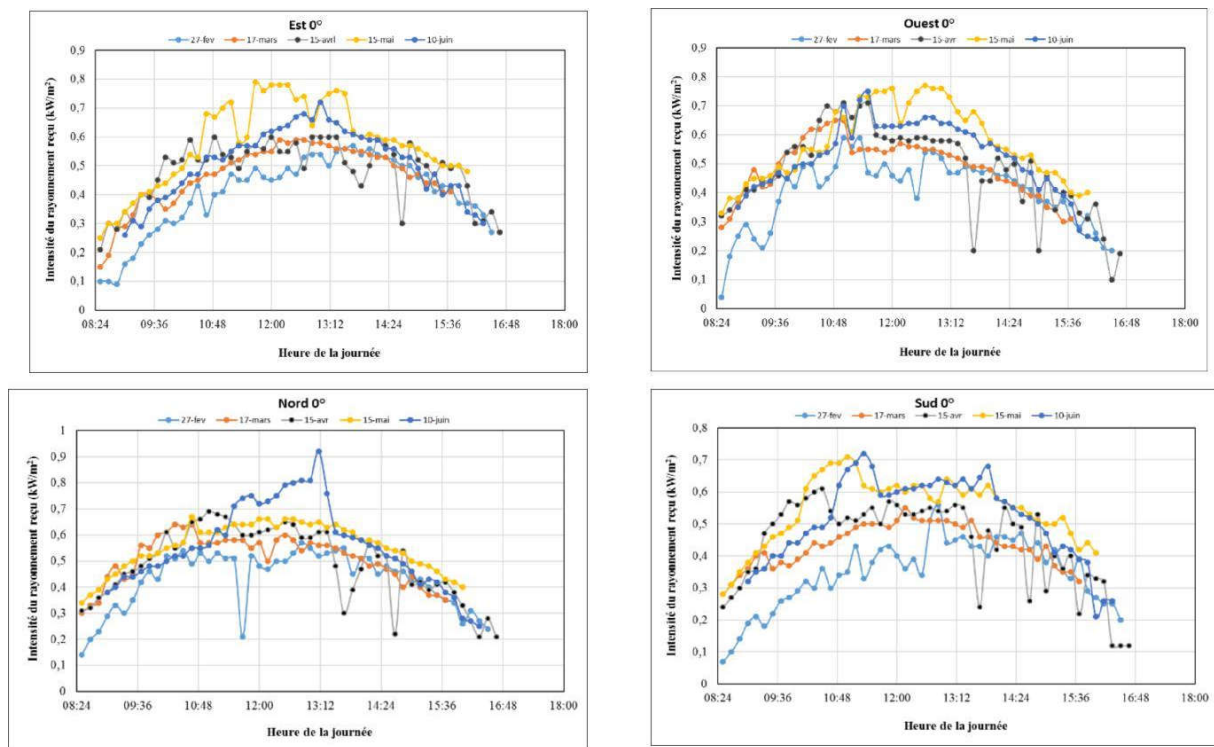


Figure III.6 : Effet de l'orientation sur le rayonnement solaire incident sur une surface horizontale (dalle ou plancher) durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.

En outre, le rayonnement incident sur une surface horizontale, quelle que soit son orientation, est minimale (0 kW/m^2) au lever et au coucher du soleil dont l'heure varie au cours de l'année, qu'on n'a pas pu relever, malheureusement, à cause des horaires d'ouverture et de fermeture du laboratoire dont on a fait les expériences.

L'intensité maximale du rayonnement incident sur une surface horizontale n'est pas constante, elle varie au cours de l'année (voir la Figure III.7) dû à la trajectoire du soleil dans le ciel (Figure III.3) et à sa nature (ciel dégagé ou couvert). Elle est fonction aussi de l'orientation de la surface. En effet, lorsque l'héliomètre est orienté vers l'est, la variation de l'intensité maximale, durant les journées dont on a fait les expériences, est de 39% (plus grande différence enregistrée). Par contre au nord, elle est minimale où, elle est estimée à 21%.

D'après la Figure III.7, la valeur du pic enregistré le 27 février dans les différentes orientations est presque invariable (variation ne dépassant pas les 6%). A l'inverse, des autres jours, où ce pic dépend de l'orientation de la surface réceptrice (variation dépassant les 15%).

En effet, pour le 17 mars et le 15 avril, le pic enregistré à l'ouest est le plus grand des pics relevés. Le pic du sud et celui de l'est sont les plus faibles le 17 mars et le 15 avril, respectivement. L'ordre des pics des différentes orientations change le 15 mai, il est maximal à l'est et minimal au nord.

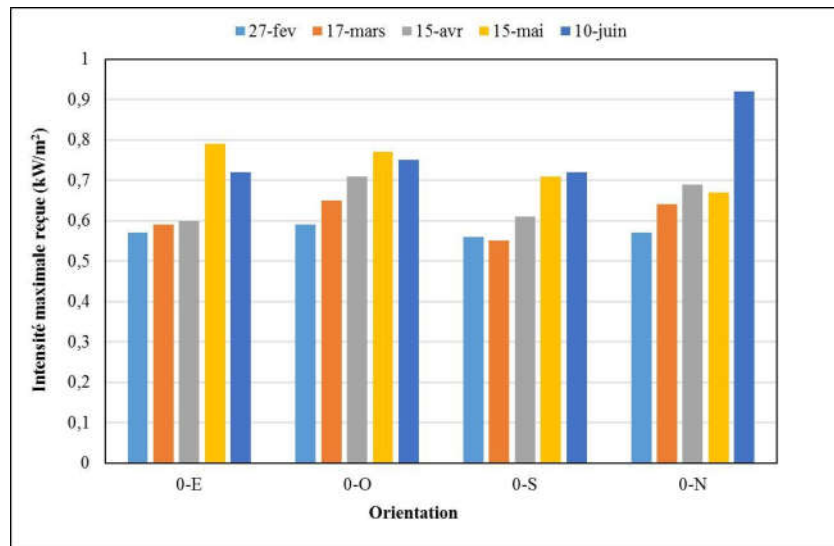


Figure III.7 : Intensité maximale du rayonnement reçu par les surfaces horizontales suivant les différentes orientations durant le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin 2019.

Enfin, l'intensité du rayonnement solaire maximale reçue par une surface horizontale et qui dépasse $0,55 \text{ kW/m}^2$ a lieu en moyenne vers 11h39 (heure locale).

Remarque :

- A M'Sila, le pic du rayonnement solaire n'intervient pas à un moment fixe, il varie en fonction de l'orientation de la surface réceptrice et du jour de l'année (position du soleil par rapport à la terre).
- Le midi solaire est l'heure du pic du rayonnement correspondant à l'orientation sud.

Concernant le rayonnement global incident sur une surface horizontale, la Figure III.8 montre son évolution pour les quatre orientations durant différentes journées de l'année en cours. D'après cette figure, le rayonnement global incident sur une surface horizontale est affecté par le jour de l'année c.à.d. par la position du soleil dans le ciel comme expliqué précédemment, et ce quelle que soit son orientation. Par ailleurs, le rayonnement incident croît de l'hiver en été (ressenti quotidien), pour notre cas de février à mai où la variation du

rayonnement incident dépend de l'orientation ; elle maximale au sud où elle est estimée à 52% et minimale au nord avec une variation de plus de 25%.

Lorsque le soleil est haut dans le ciel, le rayonnement reçu par une surface horizontale est indépendant de son orientation, ce résultat est vérifié pour les mois d'avril et mai où la variation du rayonnement incident pour les différentes orientations ne dépasse pas les 10%.

Lorsque le soleil est bas dans le ciel (cas des mois de février et mars), le rayonnement reçu par une surface horizontale éclaire ses parties est, nord et ouest de la même façon (voir la Figure III.8). La partie orientée vers le sud ,par contre, reçoit moins de rayonnement (c'est la partie la moins éclairée).

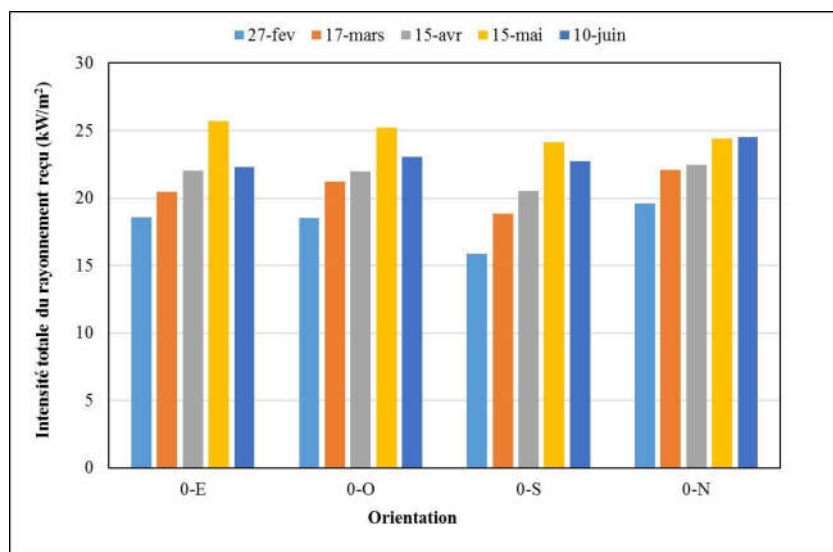


Figure III.8 : Effet de l'orientation sur le rayonnement global incident sur une surface horizontale durant différentes journées.

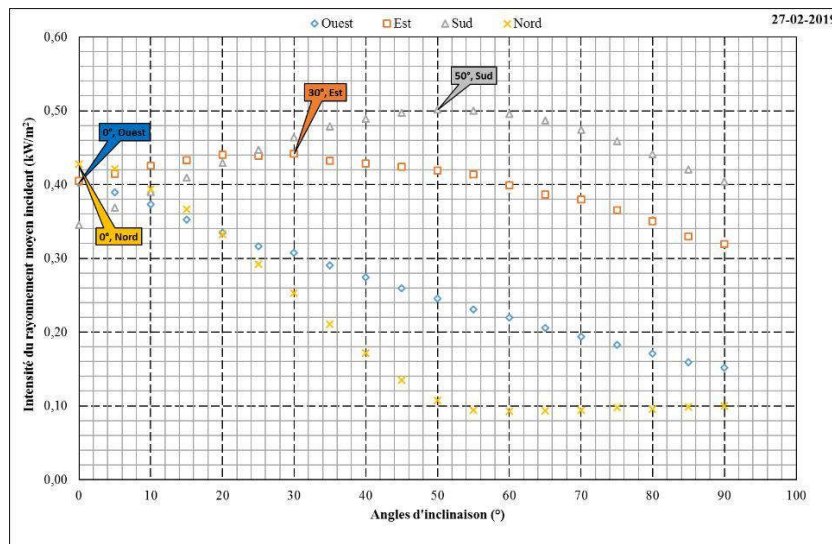
III.3. Effet de l'inclinaison sur l'énergie solaire reçue

Dans cette partie, on va traiter l'effet de l'inclinaison des surfaces réceptrices orientées vers les quatre points cardinaux sur le rayonnement moyen incident durant les journées du 27 février, 17 mars, 15 avril, 15 mai et 10 juin de l'année en cours. Il est à rappeler que l'angle d'inclinaison étudié varie de 0° à 90°.

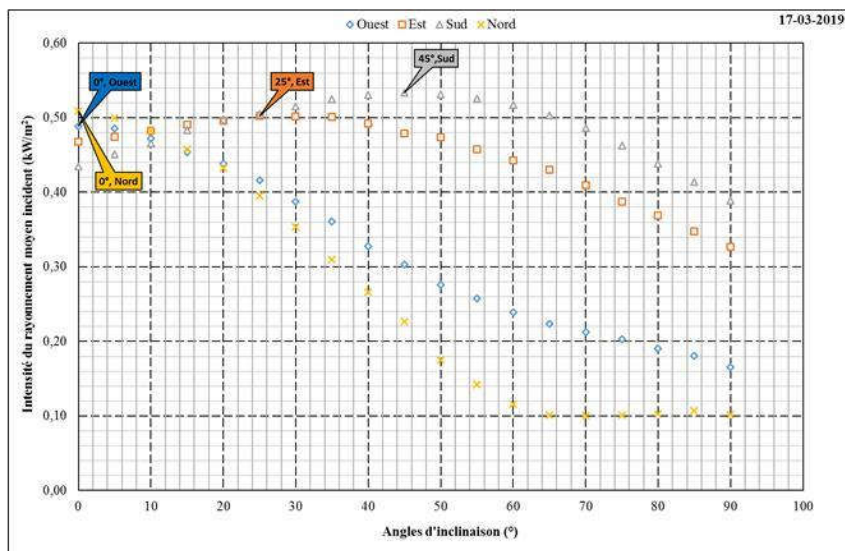
La Figure III.9 montre l'effet de l'inclinaison des surfaces réceptrices orientées vers les quatre points cardinaux sur le rayonnement moyen incident durant différentes journées. D'après cette figure, on voit que l'inclinaison et l'orientation de la surface réceptrice affectent toutes les deux l'énergie solaire incidente (rayonnement incident). En effet, les courbes

obtenues durant chaque jour des cinq journées ont des allures différentes ce qui montre que l'orientation de la surface réceptrice a un effet sur le rayonnement incident. En plus, les courbes obtenues pour chaque orientation révèlent, à leurs tours, l'effet de l'inclinaison.

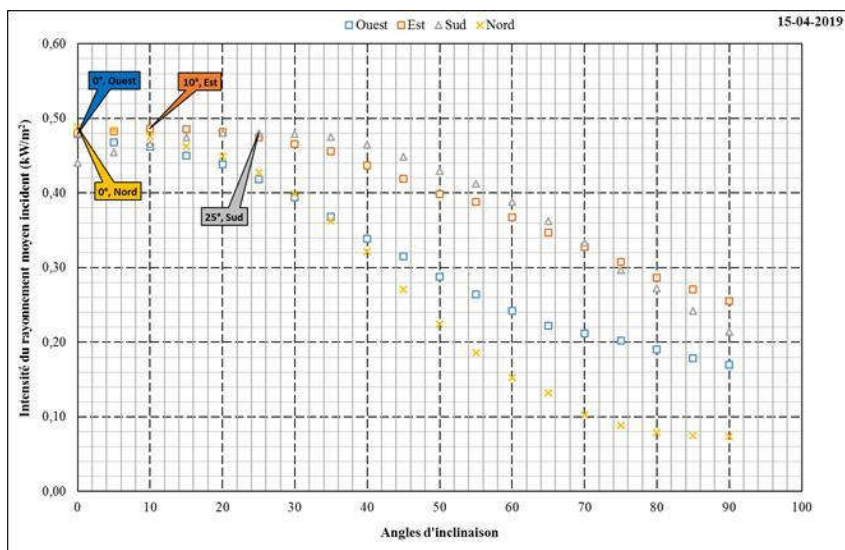
Lorsque la surface réceptrice est orientée vers l'est, le rayonnement incident croît en fonction de l'angle d'inclinaison, atteint un maximum puis décroît. Effectivement, la surface verticale c.à.d. inclinée de 90° par rapport à l'horizontal reçoit toujours le faible rayonnement quelle que soit la position du soleil dans le ciel, position qui affecte l'angle d'inclinaison optimal. En d'autres termes ; l'angle d'inclinaison qui reçoit le maximum de radiations varie en fonction de la trajectoire annuelle du soleil (voir les Figures III.3 et III.9 (étiquettes orange)). Par ailleurs, lorsque le soleil est haut dans le ciel, les surfaces qui se rapprochent de l'horizontal reçoivent plus de rayonnement que les autres inclinaisons.



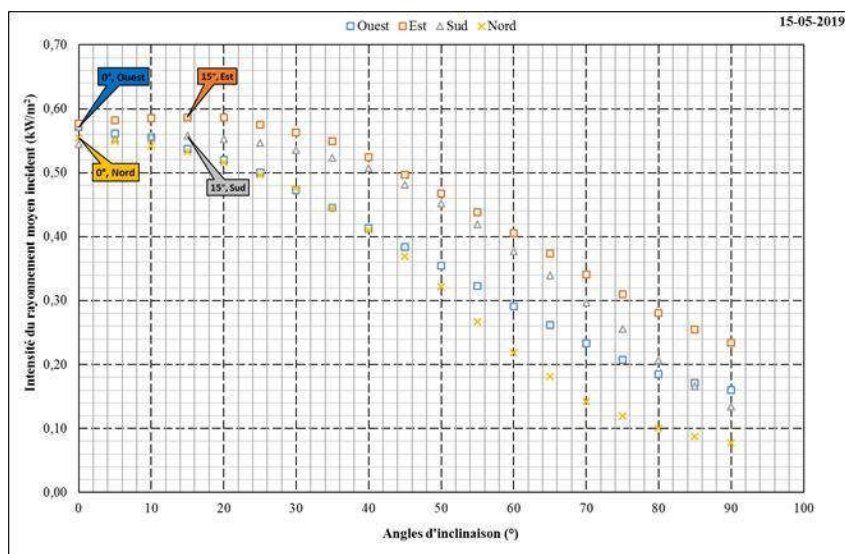
a) 27 février



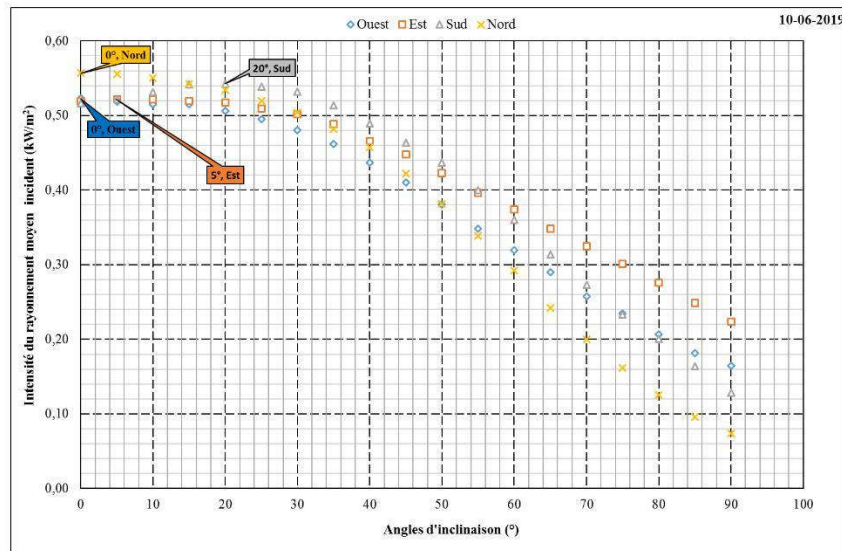
b) 17 mars



c) 15 avril



d) 15 mai



e) 10 juin

Figure III.9 : Effet de l'inclinaison et de l'orientation des surfaces réceptrices sur le rayonnement moyen incident durant différentes journées.

La courbe décrivant l'évolution du rayonnement solaire en fonction de l'angle d'inclinaison est plus aplatie lorsque le soleil est bas dans le ciel que lorsqu'il est haut.

En effet, l'écart entre le maximum d'énergie et le minimum reçues est de l'ordre de 39% le 27 février et dépasse les 90% le 15 mai.

Lorsque la surface réceptrice est orientée vers l'ouest, le rayonnement incident décroît en fonction de l'angle d'inclinaison (voir la Figure III.9). Ainsi, la surface horizontale reçoit toujours le maximum de radiations (étiquettes bleu) et la surface verticale par contre le minimum de radiations, et ce quelle que soit la position du soleil dans le ciel. En d'autres termes ; pour une orientation Ouest, l'angle d'inclinaison qui reçoit le maximum de radiations est fixe, il ne varie pas en fonction de la trajectoire annuelle du soleil.

Par ailleurs, la différence entre le rayonnement maximal et minimal est importante elle dépasse les 100% durant toutes les journées étudiées.

On remarque d'après la Figure III.9, que la surface verticale (mur), orienté vers l'ouest, reçoit presque le même rayonnement (variation ne dépassant pas les 10%) durant différentes journées de l'année à savoir, le 27 février, le 17 mars, le 15 avril, le 15 mai et le 10 juin de l'année en cours.

Lorsque la surface réceptrice est orientée vers le sud, le rayonnement incident croît en fonction de l'angle d'inclinaison, atteint un maximum puis décroît (même tendance que l'orientation ouest).

La surface verticale c.à.d. celle inclinée de 90° par rapport à l'horizontal est la moins rayonnée lorsque le soleil est haut dans le ciel ; c'est le cas du 17 mars, 15 avril, 15 mai et 10 juin (voir la Figure III.9). La surface horizontale, par contre, est la moins rayonnée lorsque le soleil est bas dans le ciel ; c'est le cas du 27 février. En outre, l'angle d'inclinaison qui reçoit le maximum de radiations varie en fonction de la trajectoire annuelle du soleil (voir les Figures III.3 et III.9 (étiquettes de couleur gris clair)). En effet, lorsque le soleil est haut dans le ciel, les surfaces qui se rapprochent de l'horizontal reçoivent plus de rayonnement que les autres inclinaisons. En d'autres termes, l'angle optimal se déplace vers la gauche lorsque le soleil remonte dans le ciel et vers la droite lorsque le soleil redescend.

Lorsque la surface réceptrice est orientée vers le nord, le rayonnement incident décroît, en général, en fonction de l'angle d'inclinaison (voir la Figure III.9). Ainsi, la surface horizontale reçoit toujours le maximum de radiations (étiquettes jaune) quelle que soit la position du soleil dans le ciel. En d'autres termes ; pour une orientation nord, l'angle d'inclinaison qui reçoit le maximum de radiations est invariable, il ne varie pas en fonction de la trajectoire annuelle du soleil. C'est le même résultat trouvé pour l'orientation ouest. Il est à noter que le rayonnement incident ne décroît pas linéairement en fonction de l'angle d'inclinaison. Par conséquent, la surface verticale (mur) n'est toujours pas la surface la moins éclairée (minimum de radiations reçu). En effet, lorsque le soleil est haut dans le ciel, les murs verticaux reçoivent le minimum de rayonnement solaire, c'est le cas enregistré le 15 avril, 15 mai et le 10 juin. Inversement, lorsque le soleil est bas le ciel, le rayonnement incident décroît passe par un minimum puis croît très légèrement pour ne pas dire qu'il se stabilise en fonction de l'angle d'inclinaison. D'ailleurs, la variation entre le rayonnement minimal et celui incident sur une surface verticale ne dépasse pas les 10%.

En outre, la différence entre les rayonnement maximal et minimal relevés est importante, elle dépasse les 300% durant toutes les journées étudiées.

On remarque d'après la Figure III.9, que le rayonnement incident sur une surface verticale (mur), orienté vers le nord, varie en fonction de la trajectoire annuelle du soleil. En effet, la variation enregistrée entre le 27 février et le 10 juin dépasse les 38%.

D'après la Figure III.9, on remarque que les courbes donnant l'évolution du rayonnement incident en fonction de l'angle d'inclinaison pour les différentes orientations varient en fonction de la trajectoire annuelle du soleil. En effet, ces courbes sont plus éloignées lorsque le soleil est bas dans le ciel (cas des mois de février et mars). Elles sont plus rapprochées, par contre, lorsque le soleil est haut dans le ciel (mois d'avril, mai et juin). En d'autres termes, l'effet de l'orientation est plus important en hiver qu'en été.

D'après la Figure III.9, on voit aussi que les surfaces orientées vers le nord et inclinées de plus de 60° par rapport à l'horizontal reçoivent toujours moins de rayonnement que les autres orientations.

On peut dire que lorsque le soleil est bas dans le ciel, l'orientation sud est la plus favorisée à partir d'une inclinaison supérieure à 30° . Cette dernière prend recul devant l'est voire même l'ouest lorsque le soleil monte dans le ciel.

III.4. Effet des matériaux de construction sur les échanges thermiques

III.4.1. Evolution de la température des faces externes de murs de différents matériaux

La Figure III.10 montre l'évolution de la température des faces orientées vers le sud de murs de différents matériaux à savoir, la faïence, l'acier, le plastique et le polystyrène. Rappelons que ces températures sont enregistrées pendant 24h, grâce au système d'acquisition que nous avons monté sur la base de la carte Arduino Uno.

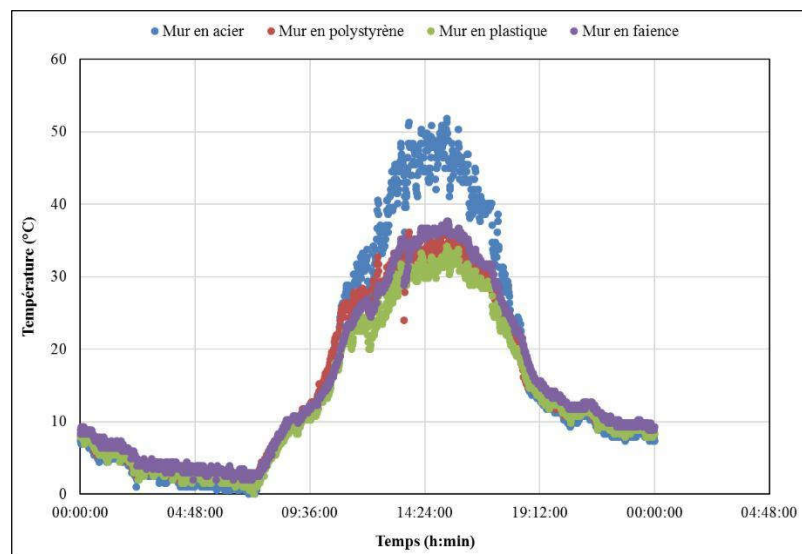


Figure III.10 : Effet de la nature des matériaux sur l'évolution de la température des faces de murs orientées vers le sud.

On constate d'après la Figure III.10 que le matériau de construction des murs affecte l'énergie reçue par ces derniers. En effet, la température maximale atteinte par un mur en acier est la plus élevée que les autres murs car l'acier est un métal qui a la caractéristique d'être bon conducteur de chaleur. D'ailleurs, cette température dépasse de plus de 14°C la

température maximale enregistrée par les autres matériaux .La plus basse température est enregistrée aussi pour l'acier pour les mêmes raisons évoquées ci-dessus.

Le Tableau III.1 présente une comparaison entre le comportement thermique de l'acier et de l'air soumis aux mêmes conditions. On remarque que l'acier se réchauffe rapidement que l'air à cause de sa faible capacité thermique par rapport à celle de l'air. En effet, l'écart enregistré (le jour) entre la température maximale de l'acier et celle de l'air est de 21,51°C contre 1,95°C pour les températures minimales (la nuit). On peut retenir que l'acier est plus chaud que l'air le jour, et moins froid la nuit 'mais avec un faible écart.

La Figure III.11 illustre le comportement thermique de la faïence, du polystyrène et du plastique. En effet, ces derniers ont presque le même comportement (T°) à basse température.

Tableau III.1 : Comparaison entre le comportement thermique de l'acier et l'air.

	T° Ambiante (air) (°C)	T° acier (°C)
Max	30,79	52,3
Min	6,84	4,89
Heure Max	15:25:39	13:59:40
Heure Min	03:27:20	05:53:16

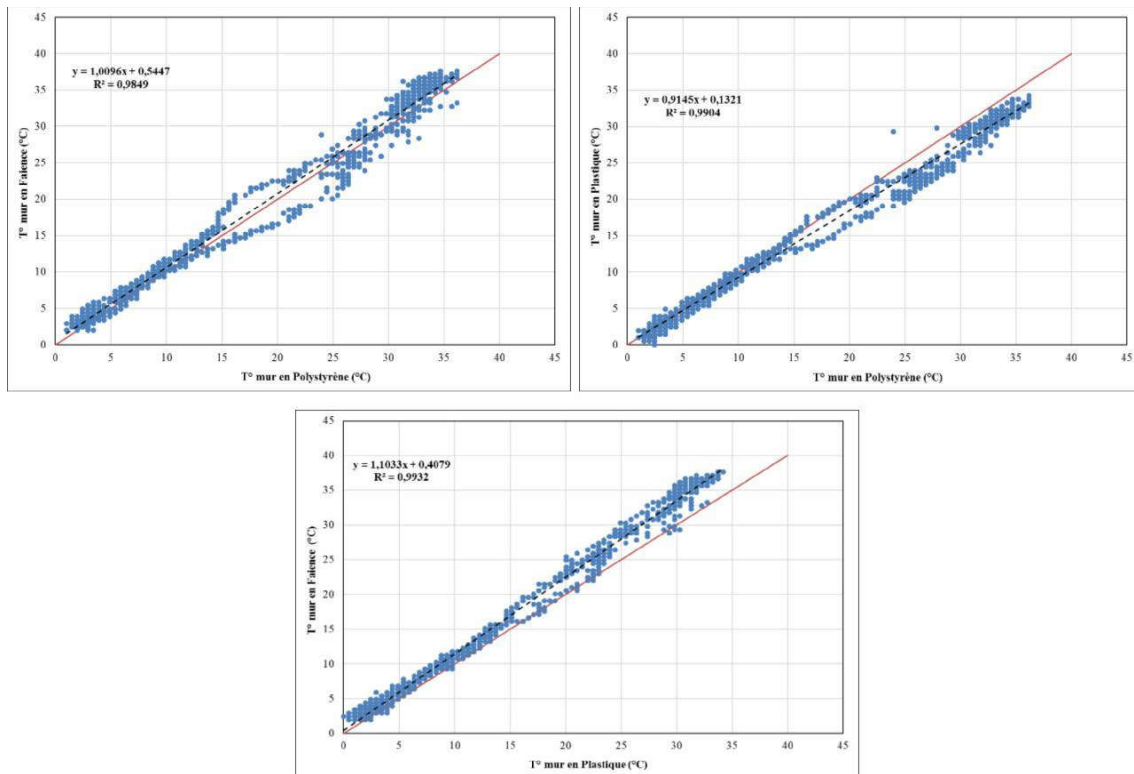


Figure III.11 : Comportement thermique de la faïence, du polystyrène et du plastique.

On constate également que la faïence et le polystyrène ont le même comportement thermique (presque même température). Effectivement, ils sont tous les deux considérés comme des isolants thermiques. En plus, la faïence et le plastique réagissent différemment à haute température, la même remarque est valable pour le polystyrène et le plastique.

III.4.2. Evolution de la température à l'intérieur de chambres de différents matériaux

La Figure III.12 montre l'évolution de la température au milieu de trois chambres conçues de matériaux différents à savoir, la laine (tente), la brique ordinaire et la brique traditionnelle (terre +paille), en comparaison avec la température ambiante. Rappelons que ces températures sont enregistrées pendant 24h, grâce à la carte Arduino Uno.

Pendant la journée, la température du milieu extérieur (T° Ambiante) maximale se voit réduite de $3,42^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la tente, de $8,31^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la chambre en brique traditionnelle et de $4,4^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la chambre en brique ordinaire. En outre, la température maximale à l'intérieur de la tente est atteinte après 4min de celle du milieu extérieur (déphasage), ce déphasage est plus important à l'intérieur de la chambre en brique

traditionnelle, où il est estimé à 2h 6min et à 1h 22min à l'intérieur de la chambre en brique ordinaire. D'où, le résultat suivant :

Durant la journée, la chambre en brique adobe (traditionnelle) est la plus froide et la tente la plus chaude.

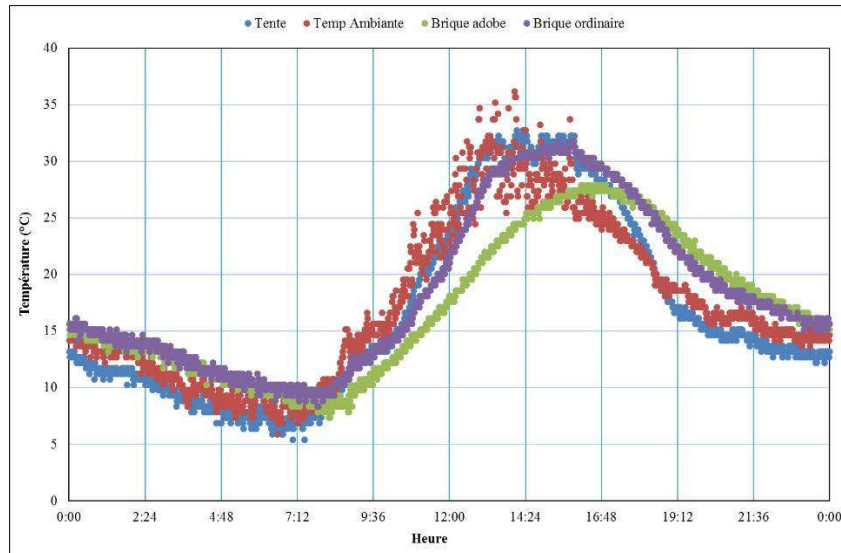


Figure III.12 : Evolution de la température au milieu d'une tente, d'une chambre en brique et d'une chambre en brique adobe durant 24h.

Pendant la nuit, la température du milieu extérieur (T° Ambiante) minimale se voit réduite de $3,42^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la tente, augmenter de $1,46^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la chambre en brique traditionnelle et de $2,44^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur de la chambre en brique ordinaire. En outre, la température minimale à l'intérieur de la tente est atteinte après 29 min de celle du milieu extérieur, ce déphasage est plus important à l'intérieur de la chambre en brique traditionnelle, où il est estimé à 1h 38min et à 1h 17min à l'intérieur de la chambre en brique ordinaire. D'où, le résultat suivant :

Durant la nuit, les chambres en brique traditionnelle et normale se trouvent légèrement chaudes par rapport au milieu extérieur. La tente par contre est y plus froide.

De ce qui précède, on vient de monter quantitativement, que la brique traditionnelle présente l'avantage d'être froide le jour et chaude la nuit. La brique adobe emmagasine la chaleur durant le jour et la restitue durant la nuit. Elle est mieux placée que la brique ordinaire.

La Figure III.13 montre, aussi, l'évolution de la température au milieu de trois chambres conçues de verre, polystyrène et de brique traditionnelle (terre + paille).

Durant la journée, la chambre en verre est la plus chaude et les chambres en polystyrène et en brique traditionnelle sont les plus froides. En effet ; l'écart entre les températures maximales enregistrées à l'intérieure des chambres en verre et en polystyrène ou en brique ordinaire est de 21°C. En plus, l'écart entre les températures maximales enregistrées à l'intérieure des chambres en polystyrène et en brique ordinaire est de 0.49°C. Ce qui confirme que la brique traditionnelle a des caractéristiques isolantes comparables à celles du polystyrène.

En outre, la température maximale à l'intérieur de la chambre en verre est atteinte après 31 min de celle du milieu extérieur. Ce déphasage est plus important à l'intérieur des chambres en brique traditionnelle et en polystyrène où il dépasse une 1h.

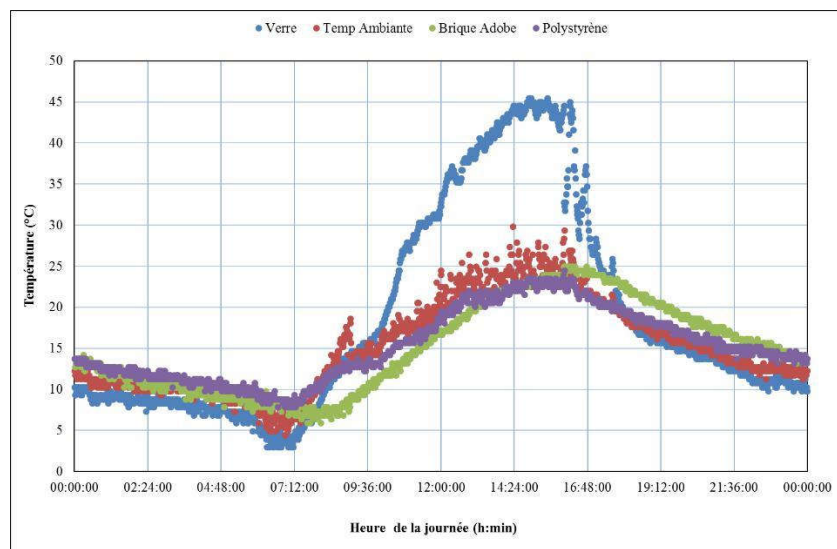


Figure III.13 : Evolution de la température au milieu des chambres en verre, en brique traditionnelle et en polystyrène durant 24h.

Pendant la nuit, la température du milieu extérieur (T° Ambiante) minimale se voit réduite de 1,47°C à l'intérieur de la chambre en verre, augmenter de 1,47°C à l'intérieur de la chambre en brique traditionnelle et de 3,42°C à l'intérieur de la chambre en polystyrène. En outre, la température minimale à l'intérieur de la chambre en verre est atteinte avant 34 min

de celle du milieu extérieur, ce déphasage est estimé à 43min à l'intérieur de la chambre en brique traditionnelle, et à 57min à l'intérieur de la chambre en polystyrène.

De ce qui précède, on peut dire qu'il est déconseillé d'utiliser des façades en verre dans les milieux chauds car elles favorisent l'échanges thermiques.

La brique traditionnelle par contre a un comportement thermique semblable à celui du polystyrène, d'où, il est conseiller de la réutiliser à la place de la brique ordinaire, vu ces propriétés thermiques.

III. 5. Conclusion

A travers ce chapitre, on vient d'exposer les résultats de l'effet de l'orientation et de l'inclinaison des surfaces sur l'énergie solaire incidente ainsi que le comportement thermique de différents matériaux utilisés dans la construction des bâtiments. Les principaux résultats retenus sont comme suit :

- Lorsque la surface réceptrice est orientée vers l'est, le rayonnement incident croît en fonction de l'angle d'inclinaison, atteint un maximum puis décroît,
- Lorsque la surface réceptrice est orientée vers l'ouest, le rayonnement incident décroît en fonction de l'angle d'inclinaison,
- Lorsque la surface réceptrice est orientée vers le sud, le rayonnement incident croît en fonction de l'angle d'inclinaison, atteint un maximum puis décroît (même tendance que l'orientation ouest),
- Lorsque la surface réceptrice est orientée vers le nord, le rayonnement incident décroît ,en général, en fonction de l'angle d'inclinaison,
- Les surfaces orientées vers le nord et inclinées de plus de 60° par rapport à l'horizontal reçoivent toujours moins de rayonnement que les autres orientations.
- Lorsque le soleil est bas dans le ciel, l'orientation sud est la plus favorisée à partir d'une inclinaison supérieure à 30°. Cette dernière prend recul devant l'est voire même l'ouest lorsque le soleil monte dans le ciel,
- Le matériau de construction des murs affecte l'énergie reçue par ces derniers,
- L'acier se réchauffe rapidement que l'air à cause de sa faible capacité thermique par rapport à celle de l'air,
- La faïence et le polystyrène ont le même comportement thermique,

- La faïence et le plastique réagissent différemment à haute température, la même remarque est valable pour le polystyrène et le plastique,
- La brique traditionnelle présente l'avantage d'être froide le jour et chaude la nuit.
- La brique traditionnelle emmagasine la chaleur durant le jour et la restitue durant la nuit.
- Il est déconseillé d'utiliser des façades en verre dans les milieux chauds car elles favorisent l'échanges thermiques,
- La brique traditionnelle a un comportement thermique semblable à celui du polystyrène, d'où, il est conseiller de la réutiliser à la place de la brique ordinaire, vu ces propriétés thermiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail dont l'objectif est d'étudier l'effet de l'orientation et de l'inclinaison des surfaces sur l'énergie solaire incidente, nous a poussé à réaliser un dispositif expérimental en combinant l'héliomètre existant au niveau du laboratoire d'hydraulique et énergétique et le variateur d'angles que nous avons réalisé.

Nous avons aussi monté un système d'acquisition numérique sur la base de la carte Arduino Uno permettant l'enregistrement de température pendant vingt-quatre heures (24h) par pas d'une (1) minute.

Après ces réalisations, nous avons pu aboutir aux objectifs tracés par ce mémoire qu'on résume comme suit :

L'effet de l'orientation et l'inclinaison des surfaces sur l'énergie solaire incidente est d'une grande importance pour ceux qui exploitent l'énergie solaire, dans le secteur du bâtiment..... Afin de concevoir une maison passive qui consomme moins d'énergie, il faut savoir que :

- Le mur orienté vers l'est reçoit plus de rayonnement solaire la matinée qui se dégrade au fur et à mesure que le soleil parcourt sa trajectoire de l'est à l'ouest.

- A l'inverse du mur orienté vers l'est, celui de l'ouest reçoit moins de rayonnement solaire la matinée, qui croît à partir 13h30 (heure locale) pour atteindre un maximum lorsque le soleil se trouve à l'ouest.

- Quant au mur (surface verticale) orienté vers le sud, il reçoit un rayonnement solaire qui croît pour atteindre un pic ayant lieu à midi solaire puis décroît au cours de la journée.

L'intensité du rayonnement solaire intercepté par un mur (surface verticale) orienté vers le sud dépend de la hauteur du soleil dans le ciel (bas ou haut). En effet, lorsque le soleil est bas dans le ciel, ce mur reçoit plus de rayonnement que lorsqu'il est haut.

- Le mur orienté vers le nord est le moins éclairé puisque le soleil se trouve dans la partie sud de la voûte céleste.

- Le mur orienté vers le sud reçoit le maximum de radiation solaire c.-à-d. le plus éclairé de toutes les orientations lorsque le soleil est bas dans le ciel contrairement au mur orienté vers le nord qui est le moins éclairé et ce durant toute l'année. Le mur qui se positionne à l'est reçoit plus de radiations du soleil que celui à l'ouest. En plus, il est le plus éclairé lorsque le soleil est haut dans le ciel.

- Le rayonnement incident sur une surface horizontale, quelle que soit son orientation, est minimale (0 kW/m^2) au lever et au coucher du soleil dont l'heure varie au cours de l'année,
- Lorsque le soleil est haut dans le ciel, le rayonnement reçu par une surface horizontale est indépendant de son orientation, ce résultat est vérifié pour les mois d'avril, mai et juin où la variation du rayonnement incident pour les différentes orientations ne dépasse pas les 10%.
- Lorsque le soleil est bas dans le ciel (cas des mois de février et mars), le rayonnement reçu par une surface horizontale éclaire ses parties est, nord et ouest de la même façon. La partie orientée vers le sud, par contre, reçoit moins de rayonnement (c'est la partie la moins éclairée).

que les surfaces orientées vers le nord et inclinées de plus de 60° par rapport à l'horizontal reçoivent toujours moins de rayonnement que les autres orientations.

Afin d'exploiter au mieux l'énergie solaire, il est nécessaire de savoir que :

- Lorsque le soleil est bas dans le ciel, l'orientation sud est la plus favorisée à partir d'une inclinaison supérieure à 30° . Cette dernière prend recul devant l'est voire même l'ouest lorsque le soleil monte dans le ciel.

Concernant la partie destinée à l'étude de l'effet des matériaux de construction sur les échanges thermiques, on peut retenir ce qui suit :

- Le matériau de construction des murs affecte l'énergie reçue par ces derniers,
- L'acier se réchauffe rapidement que l'air à cause de sa faible capacité thermique par rapport à celle de l'air,
- La faïence et le polystyrène ont le même comportement thermique,
- La faïence et le plastique réagissent différemment à haute température, la même remarque est valable pour le polystyrène et le plastique,
- La brique traditionnelle présente l'avantage d'être froide le jour et chaude la nuit.
- La brique traditionnelle emmagasine la chaleur durant le jour et la restitue durant la nuit.
- Il est déconseillé d'utiliser des façades en verre dans les milieux chauds car elles favorisent l'échanges thermiques,
- La brique traditionnelle a un comportement thermique semblable à celui du polystyrène, d'où, il est conseiller de la réutiliser à la place de la brique ordinaire, vu ces propriétés thermiques.

*Références
bibliographique*

- [1] : https://www.google.com/search?q=etoile+de+soleil&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj0vKWqq_DiAhWhVt8KHcp9CPkQ_AUIECgB&biw=1280&bih=672#imgre=50vQEV0ft8jcm.
- [2] : M. Orgeret. « Les piles solaires (le composant et ses application). Edition MASSON Paris.1985.
- [3] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre>.
- [4] : : Hamdani Maamar ‘ ‘ Etude et Effet l’orientation de Pièces d’un Habitat en Pierre Situé àGhardaïa ‘ ‘. Mémoire de Magister Energie Renouvelables. Université Abou-Bakar Belkid Tlemcen.2011.
- [5] : <http://le-ciel.eu/pourquoi-terre-tourne-autour-soleil-et-sur-elle-meme.html>.
- [6] : Abdelkarim Bouras ‘ ‘Etude et conception d’un convertisseur solaire pour la production d’eau chaud sanitaire’’. Mémoire de Magister Physique. Université Mentouri, Constantine. 2007.
- [7] : https://www.ente-aix.fr/documents/118demoGeo/demo/4_BasesIG/co/20_gr_SystemeCoordonnees.html.
- [8] : Jacque Bernard ‘ ‘Energie solaire ‘ ‘Calculs et Optimisation ‘ ‘. Nouvelle Edition. Edition Ellipses. Paris.2011.
- [9] : <http://www.astrosurf.com/toussaint/dossiers/coordonnees/coordonnees.htm>.
- [10] : <http://www.meridienne.org/index.php?page=angle-horaire>.
- [11] : Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [12] : <http://outilssolaires.com/glossaire/geometrie-solaire/azimut-solaire+a162.html>.
- [13] : D.Poulikakos, Advances in Heat Transfer, Academic Press, Inc, A Division of Harcourt Brace et Company, San Diego, California 1996.
- [14] : A. Bejan , A. D. Kraus, Heat Transfer Handbook , Department of Mechanical Engineering, Duke University, Durham, North Carolina, Publié par John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2003.
- [15] : <http://lpee-cesi.blogspot.com/2014/02/masque-solaire-polbeau-agostini.html>.
- [16] : GIVONI, B., (1978): L’homme, l’architecture et le climat: Editions des Moniteurs, Paris.
- [17] : BODART, Magali. DENEYER, Arnaud., (2002). Guide d’aide à l’interprétation et à l’amélioration des résultats des mesures sous les ciels et soleil artificiels du CSTC. [En ligne], URL:<http://www-energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/documents%20pdf/Guide-evaluationresultats.pdf>.
- [18] : (<http://users.skynet.be/becasprl/Solairethermique.html>).
- [19] : L’AFFAIRE.TOURNESOL.Olympiade.de.Physique.2008.
http://www.odpf.org/imagesarchives_docs15emememoiresgr-4memoire.
- [20] : A. Labouret. M. Viloz ‘ ‘Les Energie Solaire Photovoltaïque ‘ ‘. 4eme Edition, Edition de DUNOD. Paris.2009 .
- [21] : <https://fr.wikidia.org/wiki/Boussole>.
- [22] : C. Fréou et A. Grimault, découverte des cartes Arduino, www.Techmania.fr.
- [23] : <https://www.locoduino.org/spip.php?article8>.

[24] : <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-temperature-avec-un-capteur-lm35-et-une-carte-arduino-genuino/#quest-ce-quun-capteur-lm35>.

[25] : <http://science-facile.fr/2019/01/capteur-de-temperature-lm35.html>.

[26] : [<http://lpo.lycee-carnot-bruay.com:8080/site.cit/CIT/CIT%20independance%20energetique/lib/NouvelElement14.png>]

Résumé:

Ce travail dont l'objectif est d'étudier l'effet de l'orientation et de l'inclinaison des surfaces sur l'énergie solaire incidente, nous a poussés à réaliser un dispositif expérimental en combinant l'héliomètre existant au niveau du laboratoire d'hydraulique et énergétique et le variateur d'angles que nous avons réalisé. Nous avons aussi monté un système d'acquisition numérique sur la base de la carte Arduino Uno permettant l'enregistrement de température pendant vingt-quatre heures (24h) par pas d'une (1) minute. L'effet de l'orientation et l'inclinaison des surfaces sur l'énergie solaire incidente est d'une grande importance pour ceux qui exploitent l'énergie solaire, dans le secteur du bâtiment.....

La brique traditionnelle a un comportement thermique semblable à celui du polystyrène, d'où, il est conseillé de la réutiliser à la place de la brique ordinaire, vu ces propriétés thermiques.

Mots clés: angle d'inclinaison, Orientation. Arduino, Brique traditionnelle.

Abstract :

This work, whose objective is to study the effect of the orientation and the inclination of the surfaces on the incident solar energy, led us to realize an experimental device by combining the existing heliometer at the hydraulic and energetic laboratory and an angle variator that we realized. We have also mounted a digital acquisition system based on the Arduino Uno board allowing temperature recording for twenty-four hours (24 hours) in one (1) minute increment. The effect of orientation and inclination of surfaces on incident solar energy is of great importance to those who exploit solar energy, in the building sector Traditional brick has a thermal behaviour similar to that of polystyrene; hence, it is advisable to reuse it instead of ordinary brick, given these thermal properties.

Key words: angle of inclination, Orientation. Arduino, Traditional brick.

ملخص :

هذا العمل ، الذي يهدف إلى دراسة تأثير الاتجاه وميل الأسطح على الطاقة الشمسية العارضة ، قادنا إلى تحقيق جهاز تجريبي من خلال الجمع بين مقياس الهليومتر الموجود في مختبر (الهيدروليكي والطاقي) ومتغير الزاوية الذي قمنا بصنعه . لقد قمنا أيضًا بتركيب نظام اقتناء رقمي دقيقة. (1 ساعة) بمعدل قيمة واحدة كل (42) التي تتيح تسجيل درجة الحرارة لمدة أربع وعشرين ساعة Arduino Uno يعتمد على لوحة إن تأثير الاتجاه وميل الأسطح على الطاقة الشمسية العارضة له أهمية كبيرة بالنسبة أولئك الذين يستغلون الطاقة الشمسية في قطاع البناء ... الطوب التقليدي لديه سلوك حراري مماثل لسلوك البوليسترين ؛ وبالتالي ، فمن المستحسن إعادة استخدامه بدلاً من الطوب العادي ، بالنظر إلى هذه الخصائص الحرارية. الكلمات المفتاحية: زاوية الميل ، الاتجاه. اردوينو ، الطوب التقليدية.