

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE MACANIQUE



En vue de l'obtention du diplôme de master II
Académique en Génie Mécanique

Option : Energétique

Thème

Etude d'une maison écologique à
isolation extérieure
(Panneaux SANDWICH)

Réalisé par :
OUALIKENE Said
ROUAS Youcef

Dirigé par :
M^r. MAKHLOUF SAID

Promotion :2018/2019

Dédicaces

C'est avec beaucoup de joie que nous avons

L'honneur de dédier ce travail :

A nos très chers parents

A tous nos frères et sœurs

A toute la famille

A tous ceux qui nous ont soutenues

A tous ceux qui ont cru en nous

A tous ceux qui nous ont aidé

Oualikene said

Rouas youcef

LISTE DES FIGURES

Figure	Intitulée	Page
1-1	Le bilan thermique de l'homme dans son environnement	5
1-2	Paroi plane à une seule couche	13
1-3	Paroi plane à plusieurs couches	13
2-1	Panneau sandwich	20
2-2	Composition du mur en Panneau sandwich	25
2-3	Plancher bas du garage	27
2-4	Plancher haut de la maison	28
4-1	Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque	53
4-2	Module photovoltaïque	54
4-3	Caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque	55
4-4	Champ photovoltaïque	56
4-5	Cellule en silicium monocristallin	57
4-6	Cellule en silicium poly-cristallin	58
4-7	Cellule en silicium amorphe	59
4-8	Schéma simplifié d'un système photovoltaïque	61
4-9	Schéma de l'installation photovoltaïque autonome	74
4-10	Principe de fonctionnement d'un panneau solaire thermique	76
4-11	Panneau solaire thermique avec un ballon de stockage	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Intitulé	Page
1-1	Les valeurs moyennes de l'énergie dégagée par le corps de l'être humain lors son activité	4
2-1	Les matériaux utilisés pour l'isolation des murs	25
2-2	Les matériaux utilisés pour les parois vitrées	26
2-3	Les matériaux utilisés pour le plancher haut du garage	26
2-4	Les matériaux utilisés pour le plancher bas du garage	27
2-5	Les matériaux utilisés pour le plancher haut de la maison	28
2-6	Les matériaux utilisés pour le plancher bas de la maison	28
3-1	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas du garage	31
3-2	Les caractéristiques des matériaux composant les murs	32
3-3	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas de la maison	33
3-4	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la maison	34
3-5	Les valeurs des résistances superficielles	35
3-6	Les valeurs de débits Q_{vmax} de référence	38
3-7	Les valeurs de débits Q_{vmin}	39
3-8	Les valeurs de la perméabilité	39
3-9	Les valeurs de la hauteur des ouvrants selon les classes de rugosité	40
3-10	Bilan thermique hivernal du garage	43
3-11	Bilan thermique hivernal du premier étage	44
3-12	Bilan thermique estival du garage	48
3-13	Bilan thermique estival du premier étage	49
4-1	Types de batteries	62
4-2	La consommation journalière en énergie de la maison	68
4-3	Estimation du cout de l'installation	77

NOMENCLATURE

Lettres	Désignation	Unités
r	Flux de chaleur par rayonnement	W
c	Flux de chaleur par convection	W
l	Flux de chaleur par évaporation	W
T_c	Température chaude	°C
T_a	Température de l'air	°C
P_{v0}	Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air a la température T _c	Pa
P_v	Pression partielle saturante	Pa
V	Portion de la surface du corps mouillé par la sueur	-
t_p	Température des parois	°C
t_p	Température moyenne des parois	°C
	Flux de chaleur	W
S	Surface du contact	m²
H	Coefficient d'échange convectif	W /m²k
	Viscosité dynamique	Kg/m s
	Conductivité thermique	W/m k
C_p	Capacité thermique massique pression constante	J /kg k
Pr	Nombre de Prandtl	-
Re	Nombre de Reynolds	-
	Masse volumique du fluide	Kg/m³
V	Vitesse caractéristique du fluide	m/s
L	Dimension caractéristique	m
Gr	Nombre de Grashof	-
g	Accélération de pesanteur	m/s²

T	Différence de température	°C
L_c	La longueur caractéristique	m
P_e	Nombre de Péclet	-
N_u	Nombre de Nusselt	-
é_m	Flux émis	W
	L'émissivité de la surface	-
	Constante de Stefan Boltzmann	-
R	Resistance thermique surfacique	m²C/w
K_t	Coefficient de transmission	W/m² k
e_i	Epaisseur du matériau	m
h_i	Coefficient d'échange convectif intérieur	w/m²°C
h_e	Coefficient d'échange convectif extérieur	w/m²°C
K	Coefficient de transmission surfacique	w/m²k
e_{ds}	Epaisseur de la dalle de sol	m
e_{mp}	Epaisseur de mortier de pose	m
e_c	Epaisseur de la chape	m
e_{ps}	Epaisseur du panneau sandwich	m
e_d	Epaisseur de la dalle	m
e_{pd}	Epaisseur de l'après dalle	m
e_{c ép}	Epaisseur crépi	m
R_g	Resistance surfacique du plancher bas du garage	m²k/W
R_p	Resistance surface du plancher bas de la maison	m²k/W
R_{ph}	Resistance surfacique du plancher haut de la maison	m²k/W
R_m	Resistance surfacique des murs	m²k/W
K_m	coefficient de transmission surfacique des murs	W/m²k
K_g	Coefficient de transmission surfacique du plancher bas du garage	W/m²k

K_p	Coefficient de transmission surfacique de la maison	W/m²k
K_{ph}	Coefficient de transmission surfacique du plancher haut de la maison	W/m²k
p	Flux de chaleur des parois	w
K_p	Coefficient de transmission de la paroi	W/m²k
S_p	Surface de la paroi	m²
i	Flux de chaleur par infiltration	W
K_i	Coefficient de transmission surfacique de la vitre	W/m²k
S_i	Surface de la vitre	m²
a_i	Perméabilité du joint	W/m⁰C
l_i	Longueur du joint	m
R	Constante du locale	-
H	Constante d'immeuble	-
D_R	Déperdition par renouvellement d'air	W/°C
Q_v	Débit spécifique de ventilation	m³/h
Q_s	Débit supplémentaire par infiltration du vent	m³/h
V_h	Volume habitable	m³
Q_{v éf}	Débit extrait de référence	m³/h
Q_v	Débit maximal de référence	m³/h
Q_m	Débit minimal de référence	m³/h
P_{oj}	Perméabilité surfacique	m³/h m²
A_J	Surface de l'ouvrant	m²
e_v	Coefficient d'exposition affecté a la paroi i	-
T_L	Température du local non chauffé	°C
T_{L-C}	Température du local non climatisé	°C
T	Flux de chaleur par transmission	W

s	Flux de chaleur par infiltration	W
o	Flux de chaleur dus aux occupants	W
m	Flux de chaleur dus aux machines	W
e	Flux de chaleur dus aux éclairages	W
C_c	Coefficient de correction	-
PV	Photovoltaïque	-
V_c	Tension du circuit ouvert	V
I_c	Courant du circuit ouvert	A
P_m	Puissance maximal	W
N_s	Nombre de cellules en séries	-
GPV	Générateur photovoltaïque	-
E	Energie	Wh/j
E_P	Energie produite	j
C_J	Consommation journalière	Wh/j
R_O	Rendement de l'onduleur	-
P_C	Puissance crête	W_c
E_m	Rayonnement solaire global journalier minimal reçue sur le plan des modules	W/m²
P_c	Puissance crête correspondante à un module	W_C
S_m	Surface d'un module	m²
S_t	Surface totale occupée par le champ sur me toit	m²
N_j	Nombre de jour d'autonomie du système	-
P_f	Décharge de batterie	-
R_b	Rendement de la batterie	-
N_b	Nombre de batteries en série	-
U_b	Tension de l'élément batterie donné par le constructeur	V
N_b	Nombre de batteries en parallèle	-

Introduction générale

Des spécialistes de l'énergie nous annoncent pour les années à venir le risque d'une crise énergétique lorsque les capacités de production de pétrole et de gaz déclinantes deviendront insuffisantes pour faire face à la demande. Dans ce contexte, une nouvelle direction pour la recherche scientifique a été créée et elle s'est dirigée vers d'autres sources d'énergie plus abondantes et inépuisables, c'est ce qu'on appelle les énergies renouvelables.

C'est une énergie électrique produite au moyen de panneaux solaires, dispositifs qui permettent de récupérer une partie de l'énergie du rayonnement solaire pour la convertir en énergie électrique ; c'est une énergie renouvelable, non toxique et silencieuse. L'électricité ainsi produite peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution. Une installation solaire photovoltaïque peut être implantée sur les types de bâtiment : maison individuelle, bâtiment...etc.

Cette énergie peut être exploitée dans plusieurs domaines.

Pour choisir un produit isolant ou d'isolation on prendra en compte sa résistance thermique R , plus R est important plus le produit est isolant.

On a choisi le polystyrène expansé comme isolant (PSE), renferme une multitude de billes liées par compression lors du moulage et qui emprisonnent l'air sec immobile. Il est caractérisé par une grande légèreté, une résistance mécanique élevée, et une conductivité est très faible

Ce mémoire est architecturé en quatre chapitres.

Nous avons présenté dans le premier des généralités sur quelques lois et définitions fondamentales sur le confort thermique

L'isolation thermique permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître le confort. Mais ce n'est pas tout : l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières. Une isolation doit toujours être associée à une

Introduction générale

Ventilation bien réalisée qui peut naturelle ou assistée mécaniquement (ventilation mécanique contrôlée), font l'objet du second chapitre.

Le troisième chapitre nous avons dressé un bilan thermique estival et hivernal d'une maison écologique.

Ce travail consiste à bien dimensionner une installation photovoltaïque afin de

Répondre au besoin en énergie électrique de cette maison, est l'objet de quatrième chapitre.

En fin de mémoire, nous terminons par une conclusion générale.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre nous analysons les connaissances existantes en matière de confort thermique. Ceci nous conduit à effectuer un état de l'art qui permet de présenter les variables et leurs interactions dans les différentes approches actuelles, et de caractériser les ressources et les besoins de l'être humain en termes de confort thermique. Les différents mécanismes mis en jeu sont détaillés et précisés afin de cerner le rôle des différents paramètres et caractéristiques physiques, physiologiques et psychologiques dans la perception thermique par l'homme de son environnement. Cette analyse permettra la mise en œuvre des phases suivantes du travail de recherche.

I.2. Métabolisme

L'être humain comme tous les animaux à sang chaud conserve une température interne pratiquement constante, malgré les variations importantes de son environnement.

Sachant que l'homme passe en gros 90% de son temps dans des locaux fermés.

En précisant que la température des locaux de travail doit être adapté à l'organisme humain, préconise des fourchettes de température acceptables en fonction du type d'activité des personnes.

A savoir :

-) Pour un travail intellectuel : 18 à 24 C°
-) Pour un travail debout à moyenne sollicitation physique : 17 à 22 C°
-) Pour un travail dur à forte sollicitation physique : 15 à 18 C°
-) Pour un travail à très forte sollicitation physique : 12 à 18 C°

Le dégagement de chaleur du corps humain lors de son activité biologique et musculaire est appelée métabolisme.

Le tableau ci-après, donne les valeurs moyennes de cette énergie.

Tableau I-1 : Valeurs moyennes de l'énergie dégagée par le corps de l'être humain avec un poids de 70 kg lors de son activité [01]

<i>Activité</i>	<i>W</i>	<i>W/m²</i>	<i>Met</i>
Repos. Couché	120	46	0.8
Repos. Assis	174	58	1.0
Activité légère (assis) et repos debout	170	70	1.2
Activité légère (debout)	230	93	1.6
Activité soutenue	315	174	3.0
Danse, jeux	395	220	3.8
Activité moyenne	210	116	2.0

L'équilibre thermique du corps est déterminé par l'égalité entre les échanges avec le milieu extérieur et le métabolisme, il faut satisfaire l'égalité suivante :

$$M = r_{\text{ray}} + c_{\text{v}} + l \quad (1.1)$$

Le corps d'échange de l'énergie calorifique ce fait par trois modes de transfert de chaleur :

$$r = h_r(T_c - T_a)$$

$$(T_c^4 - T_a^4) = (T_c^2 - T_a^2)(T_c^2 + T_a^2) = (T_c - T_a)(T_c + T_a)(T_c^2 + T_a^2) \quad (1.2)$$

Avec

$$h_r = 7.15$$

$$= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{k}^4 \quad (1.3)$$

- Les échanges par convection avec l'air ambiant en (W)

$$=5.6(T_c-T_a) \tag{1.4}$$

- Les échanges par évaporation en (W)

$$=9.10^{-2} V (p_v-p_{v0}) \tag{1.5}$$

T_c : température de surface du corps .

T_a : température de l'air en ($^{\circ}C$) .

P_{v0} : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air en (Pa) à la température T_c .

P_v : pression partielle saturante en (Pa).

V : portion de la surface du corps mouillée par la sueur .

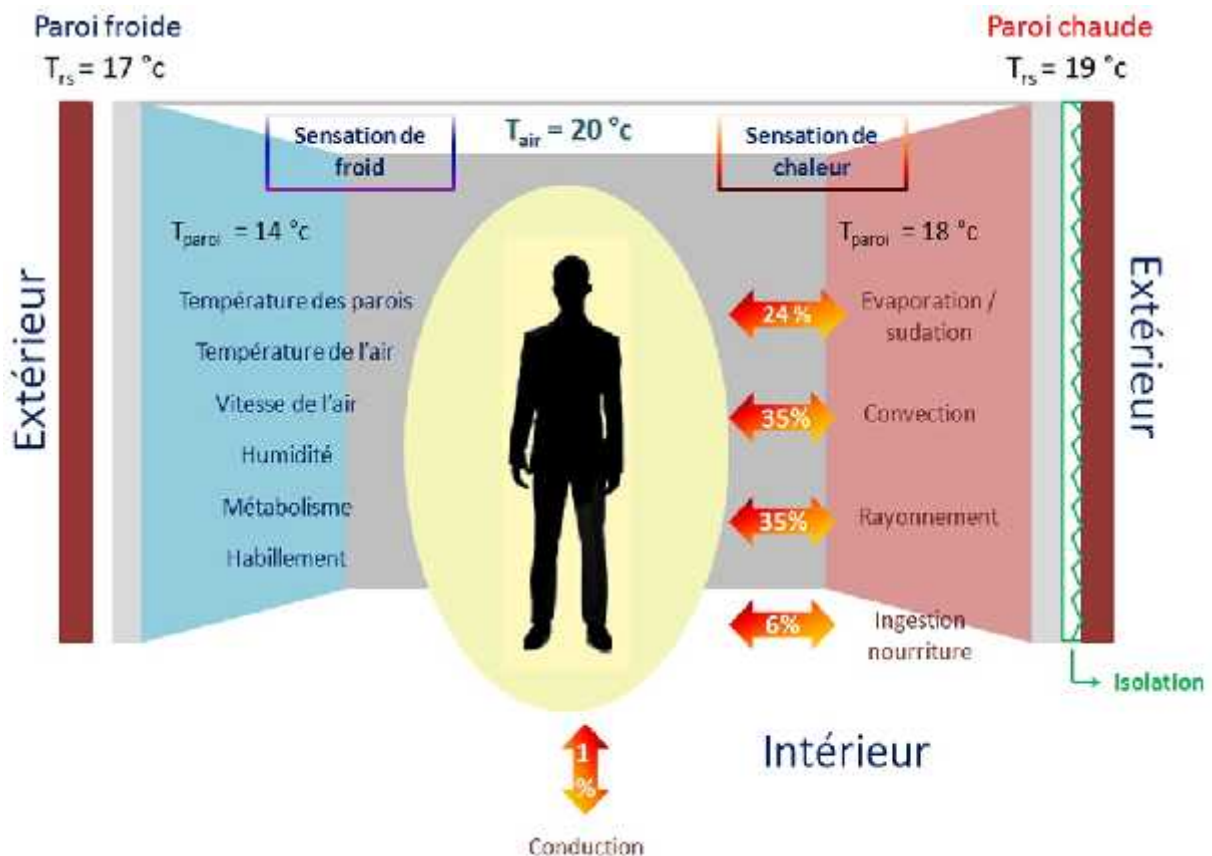


Figure I-1 : Bilan thermique de l'homme dans son environnement

[02]

I-3. La température du confort

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique. En d'autres termes, le confort thermique est assuré quand l'équilibre est fait entre l'homme (et sa température corporelle) et l'ambiance.

Ce confort dépend de six paramètres :

-) Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci de 36.7°C.
-) L'habillement
-) La température ambiante de l'air
-) La température moyenne des parois
-) L'humidité relative de l'air
-) La vitesse de l'air

Si une paroi est froide par rapport à la température ambiante, si l'humidité ou la vitesse de l'air sont trop importantes alors le confort thermique sera altéré.

Une bonne image du confort thermique est donnée par la température de confort (ou T°opérative), moyenne arithmétique entre la température de l'air et la température des parois.

$$T_{\text{confort}} = (T_{\text{air}} + T_{\text{paroi}}) / 2$$

I.4. Le conditionnement de l'air**I-4-1. Définition**

Les systèmes de conditionnement d'air font aujourd'hui partie intégrante de notre cadre de vie. Si le confort que ces systèmes apportent est indéniable, il s'accompagne d'un coût, notamment énergétique. Soutirer de la chaleur d'une pièce pour en transmettre vers l'air extérieur, alors que cette pièce est plus fraîche, ne peut en effet résulter d'une transformation spontanée.

Tout le conditionnement de l'air a pris naissance en 1902, sous l'impulsion de W.H CARRIER.

Les conditions d'air bien déterminées à s'avoir :

-) La température.
-) L'humidité relative (degré hygrométrique).
-) La pureté.
-) Le renouvellement, la vitesse, la direction et réparation.

I.5. Généralités sur le transfert thermique

I.5-1.Introduction

Un transfert de chaleur qu'il convient d'appeler transfert thermique ou transfert par chaleur est un transit d'énergie thermique d'un système à un autre à cause d'une différence de température.

On reconnaît trois types distincts de transmission de la chaleur :

-) La convection
-) La conduction
-) Le rayonnement

I.5-2. Modes de transfert de chaleur

I-5.2-1. La convection

Définition

Le transfert thermique par convection est dû au déplacement de molécules qui induit un déplacement macroscopique de l'énergie thermique il se produit dans les fluides liquides ou gaz et à l'interface entre un solide et un fluide. Ces molécules se déplaçant, elles transfèrent leur énergie thermique à une autre partie du système.

On peut distinguer deux types de convection :

➤ **La convection naturelle (convection libre)**

Est due à la différence de masse volumique entre les particules composant le fluide. Les particules des zones chaudes, de masse volumique plus faible, montent et laissent leur place à des particules plus froides ; elles cèdent une partie de l'énergie thermique et leur température diminue, ce qui les pousse à rejoindre une partie plus chaude.

➤ **La convection forcée**

Est due à la mise en mouvement du fluide par une action extérieure comme un l'effet d'un ventilateur. Le mouvement accélère le transfert thermique, en présence d'un gradient de température.

Le flux de chaleur transmis par convection, entre une paroi à température T_p et un fluide à température T° (Température mesurée loin de la paroi), peut s'écrire sous la forme (loi de Newton) :

$$= hs (T_p - T^\circ) \quad (1.6)$$

Avec :

h : coefficient d'échange convectif.

S : surface du contact.

T_p : Température de la paroi.

T° : Température loin de la paroi.

a). Rappels sur les principaux nombres sans dimension

Une grandeur sans dimension (ou grandeur adimensionnelle) est une grandeur physique dont l'analyse adimensionnelle aboutit à un produit où tous les exposants des grandeurs de base sont nuls.

Ces grandeurs sans dimension interviennent particulièrement en mécanique des fluides et pour la description de phénomène de transfert lorsqu'on utilise la similitude de modèle réduite ou théorie des maquettes et construit l'interprétation des résultats d'essais.

A savoir :

➤ **Nombre de Prandtl**

$$Pr = \frac{\mu \times c_p}{\lambda} \quad (1.7)$$

Avec :

μ : viscosité dynamique $kg.m^{-1}.s^{-1}$

λ : conductivité thermique $w.m^{-1}.k^{-1}$

c_p : capacité thermique massique à pression constante $J.kg^{-1}.k^{-1}$

Ce nombre caractérise le fluide dans un état donné :

-)] Pour les métaux liquides $Pr=10^{-3}$ à 10^{-2} .
-)] Pour l'eau $Pr=2,38$.
-)] Pour les fluides..... $Pr=10^2$ à 10^7 .
-)] Pour l'air $Pr=0,7$

➤ **Nombre de Reynolds**

Il indique la nature du régime d'écoulement (laminaire, transitoire, turbulent)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad (1.8)$$

Avec :

ρ : masse volumique du fluide kg /m^3

L : Dimension caractéristique m

V : vitesse caractéristique du fluide m/s

μ : viscosité dynamique $kg.m^{-1}.s^{-1}$

➤ **Nombre de Rayleigh**

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (1.9)$$

Est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides et caractérisant le transfert de chaleur au sein d'un fluide inférieur à une valeur critique de 2000, le transfert s'opère essentiellement par conduction, tandis qu'au-delà de cette valeur c'est la convection libre ou naturelle qui devient importante.

➤ **Nombre de Grashof**

Le nombre de Grashof (Gr) est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides pour caractériser la convection libre dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. Ce nombre porte le nom de Franz Grashof, ingénieur allemand.

On définit le nombre de Grashof de la manière suivante :

$$Gr = g \cdot T L_c^3 / \mu^2 \quad (1.10)$$

Avec :

g – accélération de la pesanteur (m/s²)

– coefficient de dilatation (K⁻¹)

T – différence de température (K)

L_c – longueur caractéristique (m)

– masse volumique du fluide (Kg/m³)

μ – viscosité dynamique (Kg/m s)

➤ **Nombre Péclet**

$$Pe = Re Pr \quad (1.11)$$

Il caractérise la convection forcée.

➤ **Nombre de Nusselt**

$$Nu = \frac{h \times L}{\lambda} \quad (1.12)$$

Avec :

h : coefficient local de convection thermique.

L_c : longueur caractéristique.

λ : la conductivité thermique du fluide.

Il caractérise le transfert de chaleur par convection.

b). Calcul du coefficient d'échange

Lorsque l'on examine (par exemple) le champ de températures dans un solide entouré par un fluide, on voit bien que l'on ne peut pas résoudre complètement le problème : il faudrait calculer l'écoulement lui-même et l'équation de transport de la chaleur dans cet écoulement, ce qui est souvent quasi impossible. On peut, pour simplifier le problème thermique, définir le coefficient d'échange h qui traduit de manière empirique les échanges de chaleur de l'intérieur avec l'extérieur.

Pour calculer le coefficient h , il faut d'abord calculer le nombre de Reynolds puis le nombre de Prandtl, En fonction de Re et Pr ou de Gr et Pr .

Avec :

$$h = \frac{\lambda N}{D} \quad (1.15)$$

I.5.2-2. Conduction

Définition

La conduction thermique est un mode de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu, ou entre deux milieux en contact, et se réalisant sans déplacement global de matière (à l'échelle macroscopique) par opposition à la convection qui est un autre mode de transfert thermique. Elle peut s'interpréter comme la transmission de proche en proche de l'agitation thermique : un atome (ou une molécule) cède une partie de son énergie cinétique à l'atome voisin.

a). conduction en régime permanent

En 1822, Fourier écrit l'expression de la densité de flux élémentaire de la chaleur pendant un temps dt sous forme suivante :

$$= \frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1.16)$$

Le signe moins signifie que le flux calorifique va du corps chaud au corps froid, le signe du gradient de température étant étant opposé à celui du flux.

b). la conduction à travers une paroi plane

- Paroi à seule couche

Ce mécanisme de transfert est régi par une loi phénoménologique établie par Joseph Fourier en 1822, la température varie suivant l'épaisseur de la paroi est

Réagie par une relation linéaire.

Loi de Fourier exprimé:

$$= S \times \frac{dT}{dx} \quad (1.17)$$

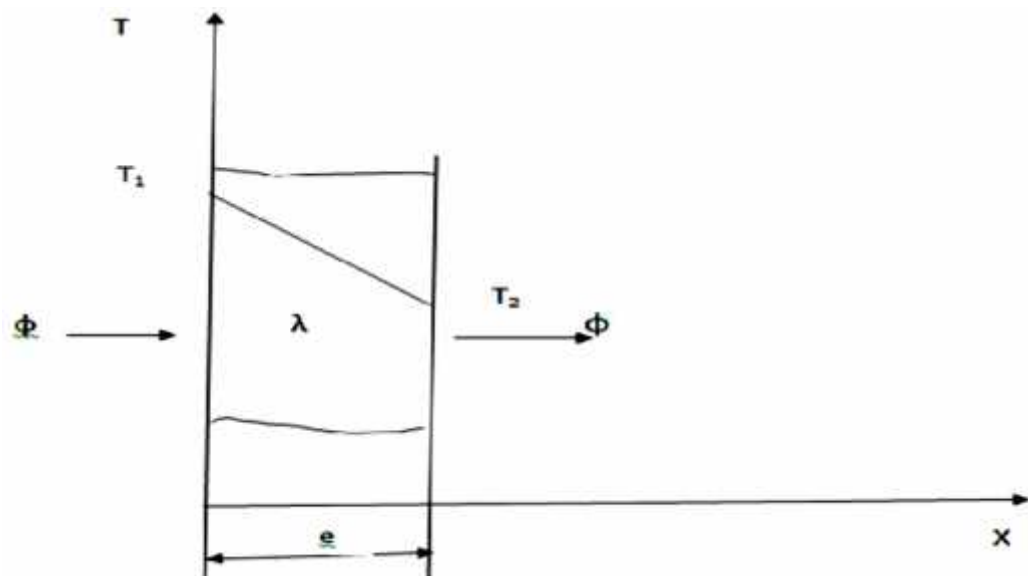


Figure 1-2 :Paroi plane à une seule couche

- Paroi à plusieurs couches (murs composé)

C'est le cas des murs réels constitués de plusieurs couches différentes adhérant intimement l'une à l'autre.

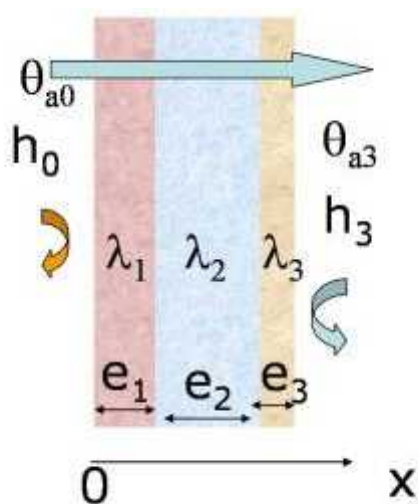


Figure 1-3 : Paroi plane à plusieurs couches

Le flux de chaleur est constant pour toutes les couches de la paroi. C'est pourquoi pour chacune des couches nous pouvons écrire l'équation suivant :

$$J \text{ Première couche : } = \frac{\lambda_1}{e_1} S (T_1 - T_2) \quad (1.18)$$

$$J \text{ Deuxième couche : } = \frac{\lambda_2}{e_2} S (T_2 - T_3) \quad (1.19)$$

$$J \text{ Troisième couche : } = \frac{\lambda_3}{e_3} S (T_3 - T_4) \quad (1.20)$$

Le flux exprimé par les relations (équations) (1.16), (1.17) et (1.18) étant les mêmes, on peut écrire :

$$= \frac{\lambda_1}{e_1} (T_1 - T_2) = \frac{\lambda_2}{e_2} (T_2 - T_3) = \frac{\lambda_3}{e_3} (T_3 - T_4) \quad (1.21)$$

On peut déduire :

$$= \frac{(T_1 - T_2) + (T_2 - T_3) + (T_3 - T_4)}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \quad (1.22)$$

Soit :

$$= \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \quad T_1 > T_4 \quad (1.23)$$

Si le mur est constitué par l'accolement des couches d'épaisseurs $e_1, e_2 \dots e_n$ et de conductivité thermique $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ le flux reste toujours constant et s'écrit :

$$= \frac{(T^1 - T_{a,1})}{\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i}} S \quad (1.24)$$

c).La conduction à travers une paroi cylindrique

Outre les parois planes, dans le domaine pratique de l'échange de chaleur, il est souvent utilisé des parois cylindriques (paroi de tubes) qui sont soit à une seule couche soit à plusieurs couches.

I.5.2-3. Le rayonnement

Définition

Dans une certaine gamme de longueurs d'ondes, l'émission d'une onde électromagnétique s'accompagne d'une baisse de l'énergie interne du système, alors que l'absorption provoque une augmentation de cette dernière.

On parle alors d'échanges de chaleur par rayonnement thermique, ou de transferts radiatifs l'émission d'ondes électromagnétique par un corps chauffe. En effet, lorsque deux surfaces sont en regard, et séparées par un milieu transparent (le vide ou de l'air), chacune émet un flux radiatif, dont une partie est absorbée par l'autre.

Le flux émis étant proportionnel à la puissance 4 de la température absolue, la surface à température la plus élevée émet plus d'énergie qu'elle n'en absorbe, alors que c'est l'inverse pour la surface froide.

a).la loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann)

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).

$$\dot{q}_{\text{ém}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (1.28)$$

Tel que :

ε : L'émissivité de la surface sans unité en T en [K].

σ : Constante de Stefan-Boltzmann.

S : Surface du corps.

b).propriétés du rayonnement calorifique

Comme tout rayonnement électromagnétique, le rayonnement dit calorifique est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde).Le

rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente.

-) Si un corps absorbant intégralement les radiations qu'il reçoit. Dans ces conditions, le flux réfléchi est nul et le flux partant est seulement constitué du flux émis le corps est appelé corps noir ou radiateur intégral.
-) La théorie qui n'absorberait qu'une fraction du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit, indépendamment du spectre de ce rayonnement incident. Cette fraction absorbée est nommée absorptivité, un corps gris.
-) Si la proportion de l'énergie absorbée est indépendante de l'angle d'incidence du rayonnement reçu, on dit que le corps est mat (dans le cas contraire, on dit qu'il est poli).
-) Si aucune énergie ne traverse le corps, on dit que ce dernier est

Opaque (le contraire de transparent).

I.5.3. Le coefficient d'échange global

Le coefficient global thermique ou coefficient de transmission thermique est un coefficient quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu, par unité de surface, de volume ou de longueur.

C'est un terme important dans l'équation d'un transfert thermique et permet d'indiquer la facilité avec laquelle l'énergie thermique passe un obstacle ou un milieu.

On définit alors pour une surface d'échange donnée, un coefficient d'échange de chaleur globale noté **K** par :

-) Surface plane :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h}} \quad (1.30)$$

) Surface cylindrique :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{d}{2\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad (1.31)$$

h_1 et h_2 : coefficients en général de convection, parfois englobant le rayonnement.

I.6. Conclusion

Actuellement, le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée.

Dans les bâtiments du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur. Cette demande est soutenue par des normes et des réglementations qui permettent d'assurer la conformité des Ambiances intérieures aux exigences du confort thermique. L'étude des généralités du transfert thermique nous permettra de connaître quels sont les différents types de transfert thermique que nous aurons à étudier que ce soit pour le chauffage et climatisation ou pour l'évaluation des pertes énergétiques.

II.1-Introduction

L'isolation thermique permet à la fois de réduire vos consommations d'énergie de chauffage et / ou de climatisation et d'accroître votre confort.

Ainsi l'isolation thermique possède une place importante dans la conception et la réalisation des habitations actuelles et futures. On peut donc se demander où s'arrêtera l'innovation.

Pour réussir un projet d'isolation thermique il ne suffit pas d'ajouter épaisseur d'isolant sur épaisseur d'isolant, car cela coûte cher et peut avoir une efficacité limitée au final

Donc recommandé de :

-) Prendre en compte la réglementation ;
-) Faire un bilan thermique ;
-) Prendre le temps de bien comprendre les principes de la conductivité et de la résistance Thermique, et de l'inertie thermique et l'effusivité des matériaux ;
-) Traquer les ponts thermiques, qui sont un élément essentiel de tout projet d'isolation.

Les parois non isolées, comme les murs et les fenêtres, sont froides par « contact » avec l'air extérieur et provoquent des sensations d'inconfort (de façon similaire, les parois non isolées sont chaudes pendant la saison

Estivale).

Une bonne isolation supprime cet « **effet paroi froide** » en hiver. Les espaces à proximité des parois deviennent ainsi « utilisables ». Enfin, l'isolation thermique permet souvent d'**améliorer l'isolation acoustique**.

À température égale, une maison ou un appartement isolé offrent un plus grand confort.

Selon l'ADEREE(Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique), la chaleur s'échappe d'une maison mal isolée à :

-) 30 % par les combles et la toiture : c'est la priorité en termes d'isolation ;
-) 25 % par les murs ;
-) 10-15 % par les vitres et fenêtres ;

) 7-10 % par les sols.

Le projet d'isolation thermique prendra donc en compte les différents éléments du bâtiment : murs, portes et fenêtres, toiture, sols et planchers intermédiaires. [03]

II.2-Panneau sandwich

Un **panneau sandwich** ou **bardage double peau monobloc** est une gamme de matériau de construction monobloc innovant, constitué d'une couche de matériau isolant entre deux plaques de matériau profilé. Il est destiné à la construction /rénovation de façades, bardages et de toitures. Léger, robuste, économique, facile de montage par emboîtement, il offre selon la gamme diverses qualités de résistance des matériaux, isolation thermique, étanchéité, résistance afeuisolation phonique et d'esthétique architecturale, etc.

Ils peuvent être soumis à de nombreux agréments, réglementations et normes de qualité en vigueur selon les produits, fabricants et pays de commercialisation. Ils sont généralement constitués de :

-) Couches extérieurs : deux panneaux profilés de 3 mm d'épaisseur environ, légers, robustes, avec divers hauts niveaux de résistance au climat, intempérie, eau, condensation, corrosion, feu, ultraviolet, en acier galvanisé, aluminium, tôle, contre-plaqué marine, fibre de verre, polyester, etc. ;
-) Revêtement / apparence / esthétique architecturale de finition de textures, couleurs extérieur divers : lisse, micro-nervuré, ligné, galvanisé, laqué, polyester, plastisol, PVDF, PVC, acier, aluminium, zinc, acier inoxydable, etc. ;
-) Couche d'isolant intérieur rigide d'environ 30 à 200 mm d'épaisseur, de haute performance mécanique et thermique en mousse de polyuréthane (PUR), polyisocyanurate (PIR), laine de roche, nid d'abeilles, etc.



H : Hauteur d'onde des nervures

L : Longueur maxi du panneau sandwich d'un seul tenant

Figure II-1 : Panneau sandwich 3D

- **Résistance aux chocs**

Panneau Sandwich de Couverture de 1M de largeur constitué d'une âme isolante en mousse polyuréthane et de parements en tôle galvanisé ou de tôle prélaquée. Résistance au feu pour des bâtiments industriels, commerciaux, touristiques et agricoles de pente minimale de 7%.

Pose à emboîtement avec fixations mécaniques et couvre-joints.

- **Isolant thermique**

L'isolation thermique signifie réduire l'énergie dépensée en hiver pour le réchauffement et en été pour le refroidissement ; prendre des mesures pour prévenir la transmission de chaleur dans le but de vivre dans des environnements confortables. Le panneau sandwich est un matériau de construction, très approprié pour l'isolation thermique.

Le panneau sandwich offre une isolation thermique élevée au moyen de matériaux isolants PUR, PIR, PSE et de laine minérale. L'isolation thermique avec des panneaux sandwich empêche les problèmes tels que le moule et l'humidité résultant de mouvements de chaleur et de condensation, et assure que votre bâtiment soit robuste et durable. L'épaisseur du matériau

isolant dans le panneau sandwich varie en fonction de la capacité de charge, des conditions régionales, du but d'utilisation de la construction et de la valeur d'isolation thermique.

• Résistances à la compression

Les matériaux sandwichs connaissent un essor important, tant dans les applications les utilisant, que dans les technologies les mettant en œuvre. Ils sont largement utilisés dans tous les secteurs industriels et notamment l'industrie travaux publics et génie civil, les murs antibruitetc.

II.3-Caractéristiques principales de l'isolation thermique

II.3-1- La conductivité thermique

La conductivité thermique ou conductibilité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée ou K voire k , cette grandeur apparaît notamment dans la loi de Fourier. Elle représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 kelvin ou 1 degré Celsius par mètre.

Plus la conductivité thermique est grande plus le matériau est conducteur, plus elle est petite plus le matériau est isolant.

II.3-2-La résistance thermique

La résistance thermique est le critère d'évaluation de la performance d'un isolant. Elle dépend de la conductivité ou conductibilité thermique du matériau isolant et de son épaisseur (e). Pour connaître la performance thermique d'un isolant, cherchez donc son R ou le coefficient de conductance K .

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{h} \quad (2.1)$$

Ou :

$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$: somme des coefficient d'échange superficiels externe en ($m^2 \cdot ^\circ C/w$).

$R = 1 / K$: somme des résistances thermiques ($m^2 \cdot ^\circ C / w$)

En régime permanent, les coefficients d'échange superficiels prenant des valeurs

Conventionnels selon la position de la paroi. Ce qui n'est pas le cas pour le régime transitoire ou ce coefficient tient compte des paramètres de facteurs de forme, du a l'interaction entre toutes les surfaces internes a l'habitat avec un échange de rayonnement par infrarouge. Ils dépendent aussi des émissivités d'absorption de la voute céleste et du sol par rapport a la surface externe les deux coefficients sont donnés en détails.

II.4-Déperdition thermiques

II.4-1-Déperdition surfacique par transmission

La déperdition thermique est la perte de chaleur que subit un bâtiment par ses parois et ses échanges de fluide avec l'extérieur. Elle est d'autant plus significative quand l'isolation thermique est faible.

Une paroi dépend tout autant de sa qualité thermique, définie

Globalement par son coefficient de transmission thermique, que de sa surface et des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur.

La formule est donnée comme suit :

$$= \sum_i K_i S_i \Delta T \quad (2.2)$$

Ou :

K_i : Coefficient de transmission surfacique ($W/m^2.k$).

S_i : Surface intérieure de la paroi en (m^2).

ΔT : ($T_i - T_e$) Différence de température entre l'intérieure et l'extérieure $^\circ C$

II.4-2-Déperditions linéiques

L'équation nous permettant de calculer les déperditions linéiques est comme suit :

$$= \sum_i K_i L_i \Delta T \quad (2.3)$$

Ou :

K: Coefficient d'échange de transmission linéique de la liaison (W /m².K).

L_i : Longueur intérieure de la liaison en (m).

II.4-3-Déperditions par renouvellement d'air :

Les déperditions liées au renouvellement d'air sont celles associées ... au renouvellement de l'air.

Elles sont le plus souvent évaluées en régime permanent (dans la réalité, elles évoluent à chaque instant)

On distingue deux cas de pertes :

Celles dues au débit des infiltrations et celles des ventilations spécifiques, s'expriment

Comme suit :

$$r = 0,34q_e \Delta T_i \quad (2.4)$$

Ou :

$$q_e = q_i + q_v$$

Avec :

q_e , q_i ,q_v : Respectivement débit entrant par infiltration, débit par ventilation (m³ /h)

II.5-Types d'isolations

On générales, il existe deux types d'isolation :

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid.

L'isolation interne qui concerne le toit et les murs intérieurs, et l'isolation externe qui concerne les murs extérieurs. L'isolation interne des murs consiste à doubler les parois

internes d'un isolant thermique. En d'autres termes, il faut intégrer l'isolant sur la face intérieure des murs.

)] Isolation par l'intérieur

L'isolation des murs par l'intérieur est la technique d'isolation la plus répandue. Elle est entrée dans les mœurs des professionnels du bâtiment car simple à mettre en place et avec une large gamme de produits isolants.

Rappelons aussi qu'une isolation intérieure, même performante, présente toujours une faible inertie thermique.

)] Isolation par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur (pour une nouvelle construction ou une rénovation) a l'avantage de ne pas avoir de conséquences sur votre habitat.

L'isolation par l'extérieur a pour but d'augmenter l'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une maison en réduisant considérablement les transferts de chaleur. Elle consiste à poser des matériaux isolants sur les parois verticales d'un local, aussi il protège le changement de température.

)] Isolation intégrée

L'isolation est un procédé visant à limiter les pertes thermiques d'un local afin de réduire sa consommation d'énergie. Cette technique intègre directement l'isolation dans les murs, pour gagner du temps.

II.5-1- Caractéristiques des matériaux utilisés pour la maison écologique :

La maison écologique doit avant tout être une maison passive. Cela signifie qu'elle doit tirer parti au mieux de son environnement et de son lieu d'implantation. Il s'agira par exemple de tirer profit de l'orientation de la maison afin de bénéficier de façon optimale de l'ensoleillement, en hiver notamment.

La maison écologique doit également utiliser des matériaux non polluants et ne dégageant donc pas d'énergie grise. Les matériaux de prédilection sont notamment le bois ainsi que les pierres en mono mur.

Pour l'isolation thermique de la maison, il est particulièrement écologique d'utiliser des matériaux tels que la fibre de bois, la laine de mouton, ou encore le chanvre, polyuréthaneetc.

II.5-2-Types de matériaux

- Les murs

Tableau II-1 : Les matériaux utilise pour l'isolation des murs. [01]

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Brique	0.1	0.75
Panneau sandwich	0.08	0.029
Lame d'air	0.05	0.024
BA13	0.013	0.27
Enduit	0.03	1.1



Figure II-2 : Composition du mur isole ou panneau sandwich

• Les parois vitrées

On utilise pour les parois vitrées des fenêtres en PVC traité avec double vantage.

Tableau II-2 : Matériaux utilisés pour les parois vitrées [01]

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Verre	0.01	1.5
Argon	0.01	0.017

• Le plancher haut du garage**Tableau II-3 : Matériaux utilisés pour le plancher haut du garage. [01]**

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Panneau sandwich	0.08	0.029
Crépi	0.03	1.1

• Le plancher bas du garage

Tableau II-4 : Matériaux utilisés pour le plancher bas du garage. [01]

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Panneau sandwich	0.05	0.029
Dalle	0.10	1.27
Pré-dalle	0.15	1.279



Figure II-3 : Plancher bas garage

• Le plancher haut de la maison

Tableau II-5 : Matériaux utilisés pour le plancher haut de la maison [01]

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Panneau sandwich	0.12	0.029
Aluminium	0.02	235
Lame d'air	0.05	0.24
BA13	0.1	0.27

• Le plancher bas de la maison

Tableau II-5 : Matériaux utilisés pour le plancher bas de la maison. [01]

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.k)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.07	1.92
Mousse polyuréthane	0.08	0.029
Crépi	0.03	1.1



Figure II-4 : Plancher haut de la maison

II.6-Inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement.

L'inertie thermique permet d'obtenir un déphasage thermique (décalage dans le temps) par rapport aux températures extérieures : Ainsi lorsqu'on chauffe une maison, les éléments à forte inertie (murs, dalles, ...) vont accumuler de la chaleur et vont ensuite la restituer pendant des heures, même si on coupe le système de chauffage.

L'inertie thermique d'une maison dépend de la masse des matériaux qui composent son intérieur (murs, cloisons, planchers...). Plus ces matériaux sont lourds, plus leur inertie thermique est importante.

II.6-1- Les principales caractéristiques d'inertie thermique sont

- **La diffusivité thermique**

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau par conduction. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (capacité thermique). La diffusivité thermique est fréquemment désignée par les lettres a .

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (2.5)$$

Ou :

a : diffusivité en (m² /s).

λ : conductivité thermique (W/m.k).

ρ : la masse volumétrique (kg/m³).

C : chaleur spécifique en (J/kg.k).

- **L'effusivité thermique**

L'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement.

La formule elle s'exprime en ($W K^{-1}.m^{-2} S^{1/2}$) est donnée :

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C} \quad (2.6)$$

En général, pour réduire l'amplitude d'un flux thermique, les parois d'enveloppe devront présenter une faible diffusivité thermique et une forte effusivité.

Dans le contexte de la démarche bioclimatique, une inertie très lourde, associée à une bonne gestion des apports solaires (captage en hiver et protection en été) devient un critère décisif de la construction, notamment pour le confort de l'été, qu'il s'agisse des températures maximales atteintes ou des variations de températures jour/nuit.

À la différence de la diffusivité thermique qui décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau, l'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe les calories. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe d'énergie sans se réchauffer notablement. Au contraire, plus elle est faible, plus vite le matériau se réchauffe.

II.7. Conclusion

L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort de la maison.

Il existe des produits d'isolation adaptés à chaque situation : pour les murs, les planchers ou les plafonds pour les fenêtres, pour l'intérieur ou l'extérieur ou l'intégrée. Des solutions techniques diversifiées permettent de traiter chaque cas avec efficacité.

Les travaux d'isolation thermique peuvent donner droit à des aides

Financières, accessibles aux propriétaires ou aux locataires, qui permettent d'alléger sensiblement les dépenses.

III.1-introduction

Il s'agit d'un type d'habitat qui se donne pour objectif de produire l'énergie renouvelables, sans pour autant que la consommation d'énergie diminue. On peut cependant définir plusieurs critères qui permettent de dénommer comme telle une maison écologique.

La maison a son architecture (garage et un étage avec une terrasse au-dessus).

La maison isolée a une superficie habitable de 164.66 m², avec un garage de 115.2 m², (12m×9.6m).

Nous allons commencer à décrire et dresser les tableaux des matériaux constituant les parois et les plancher, ainsi leurs propriétés et caractéristiques.

III.2-Description du plancher bas

Le plancher bas se constitue d'un pré dalle suivie d'une dalle isolée avec des panneaux sandwich ensuite suivie de la chape et du mortier de pose et pour finir la dalle de sol.

Tableau 3-1 : Caractéristiques des matériaux composant le plancher bas du garage

Couche	Epaisseur	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier de pose	0.04	1.4
Chape	0.07	1.92
Panneau sandwich	0.08	0.029
Dalle	0.10	1.27
Pré-dalle	0.15	1.279

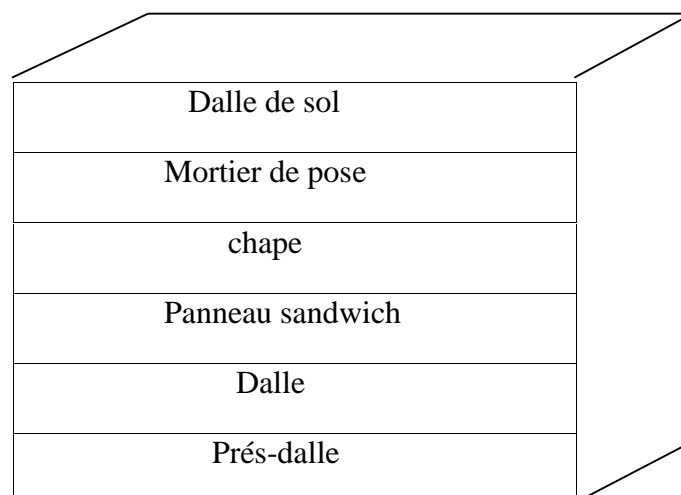


Figure 3-1 : Schéma du plancher bas du garage

III.2-1-Constitution et description des murs

Les murs sont constitués de Panneau sandwich recouverte avec mousse de polyuréthane entre deux plaques d'aluminium, avec rainures d'auto-emboîtement et de la brique avec une lame d'air et de plaque BA13 par l'intérieur.

Tableau 3-2 : Caractéristiques des matériaux composant les murs

Couche	Brique	Panneau sandwich	Lame d'air	BA13
Epaisseur (m)	0.1	0.08	0.05	0.013
Conductivité thermique (W/m.K)	0.75	0.029	0.24	0.27

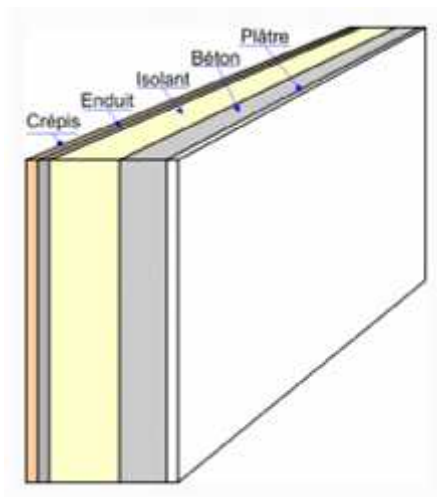


Figure 3-2 : Schéma des murs de la maison

III.2-2-Description et constitution de plancher bas de la maison

Le plancher bas (ou plancher inférieur) désigne une paroi horizontale dont seule la face supérieure donne sur un local chauffé. Même si la nature du sous-sol diffère (caves, vide sanitaire, terre-plein ou directement l'extérieur) ce plancher constitue une source d'inconfort pour l'occupant et de déperditions thermiques

Le plancher bas de la maison se constitue d'une couche de crépissage isolé avec du

Plaque en sandwich d'épaisseur 5 cm suivie par de la chape et le mortier pour finir avec la dalle de sol.

Tableau 3-3 : Caractéristiques des matériaux composant le plancher bas de la maison

Couche	Épaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier de pose	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Panneau sandwich	0.08	0.029
Crépis ciment	0.03	1.1

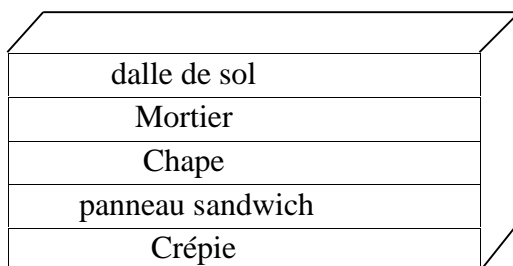


Figure 3-3 : Schéma du plancher bas de la maison

III.2-3-Description et constitution de plancher haut de la maison

Le plancher haut de la maison se constitue d'une couche de crépissage isolé avec du Panneau sandwich d'épaisseur 5cm suivie par de la chape et le mortier pour finir avec la dalle de sol anti dérapage.

Tableau 3-4 : Caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la maison

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Panneau sandwich	0.12	0.029
Aluminium	0.02	235
Lame d'air	0.05	0.24
B13	0.013	0.27

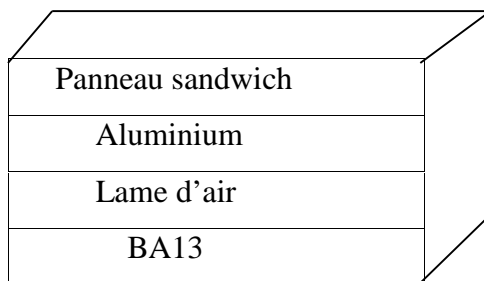


Figure 3-4 : Schéma du plancher haut de la maison

III.2-4-Les parois vitrées

Pour fenêtres et les portes fenêtres en PVC, avec un double vitrage et de l'argon injecte entre les deux verres d'un coefficient de transmission $K_t = 1.5W/m^2.k$.

III.2-5-La résistance thermique surfacique R

La résistance thermique R indique la tendance d'un élément de construction à résister au passage de la chaleur, Elle est obtenue par la somme des résistances de chaque matériau et les résistances superficielles intérieures et extérieures.

La relation est donnée par :

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e} \quad (m^2.C^\circ/W) \quad (3.1)$$

Avec:

h_i : Coefficient d'échange convectif intérieur ($m^2.C^\circ/W$)

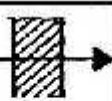
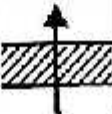
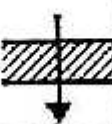
h_e : Coefficient d'échange convectif extérieur ($m^2.C^\circ/W$)

e_i : l'épaisseur du matériau. (m)

λ_i : La conductivité du matériau (W/m.k)

Les coefficients des résistances superficielles sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 3-5 : Valeurs des résistances superficielles. [01]

	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, chauffé ou non chauffé. - un comble, - un vide sanitaire.		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i}$
Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60° 	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60°, flux ascendant (toiture) 	0,08	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
flux descendant (plancher bas) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Le coefficient de transmissions surfacique K est obtenu par l'inverse des sommes des résistances.

$$K = \frac{1}{R} \quad (\text{w/m}^2 \cdot \text{K})$$

III.2-6-Calcul du coefficient de transmissions surfacique K

• Plancher bas du garage

$$R_g = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda d} + \frac{e}{\lambda c} + \frac{e}{\lambda c} + \frac{e}{\lambda d} + \frac{e}{\lambda p} + \frac{e}{\lambda p} + \frac{1}{h_e} \quad (3.2)$$

$$= 3.20 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$K_g = \frac{1}{R} = 0.31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

• Plancher bas de la maison

$$R_{pb} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e \cdot \epsilon_p}{\lambda \cdot \epsilon_p} + \frac{1}{h_e} \quad (3.3)$$

$$= 3.20 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$K_{pb} = \frac{1}{R} = 0.31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

• Plancher haut de la maison

$$R_{ph} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e \cdot \bar{a}}{\lambda \cdot \bar{a}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad (3.4)$$

$$= 4.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$K_{ph} = \frac{1}{R} = 0.22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

• Les murs

$$R_m = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e p}{\lambda p} + \frac{e \cdot \bar{a}}{\lambda \cdot \bar{a}} + \frac{e b}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad (3.5)$$

$$= 3.36 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$K_m = \frac{1}{R} = 0.30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

III.3-bilan hivernal

Pour le bilan hivernal nous avons la température extérieure moyenne de base qui est de 8 C° pour la région de l'oued donnée par les services de météorologie de l'oued et la température de confort est de 18 C°.

III.3-1-Le flux de chaleur par transmission des parois :

$$= K_p \times S_p \times \Delta T \quad (3.6)$$

Avec :

K_p : Coefficient de transmission de la paroi (w/m²k)

S_p : Surface de la paroi (m²)

T : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C)

III.3-2-Le flux de chaleur par infiltration

$$i = K_i \times S_i \times T + \sum(a_i l_i) (R.H) \quad (3.7)$$

K_i : Coefficient de transmission surfacique de la vitre (w/m²C°)

S_i : Surface de la vitre (m²)

T : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (C°)

a_i : Perméabilité du joint (W/m.C°)

l_i : Longueur du joint (m)

R : Constante du locale

H : Constante d'immeuble

III.3-3-Les déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions représentent la quantité d'énergie qu'il est nécessaire d'émettre en œuvre pour chauffer une pièce, un bâtiment. Les déperditions surfaciques au travers les parois ajoutées aux déperditions par renouvellement d'air (pour réchauffer l'air neuf) donnent les déperditions nécessaires pour le chauffage.

Pour un logement :

$$D_R = 0.34 (Q_v + Q_s) \tag{3.8}$$

Avec :

0.34 : coefficient de chaleur volumétrique de l'air (w h /c°)

Q_v : Débit spécifique de ventilation (m³/h)

Q_s : Débit supplémentaire par infiltration du vent (m³/h)

Débit spécifique de ventilation Q_v :

$$Q_v = \max [0.6 \times V_n Q_{réf}] \tag{3.9}$$

V_n : volume habitable (m³)

$Q_{v\text{éf}}$: Débit de référence (m³/h)

$$Q_{v\text{éf}} = \frac{5Q_v + Q_v}{6} \tag{3.10}$$

Q_v : Débit maximal de référence en (m³/h) tiré par le tableau suivant :

Tableau 3-6 : Valeurs de débit Q_v de référence. [01]

Nombre de pièces principales par logement	$Q_{v\text{max}}$ (en m ³ /h)			
	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30

Q_v : Débit minimal de références en (m^3/h) tiré par le tableau suivant :

Tableau 3-7 : Valeurs de débit Q_v . [01]

Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	> 5
Q_{vmin} (en m^3/h)	25	50	75	100	110	On ajoute $10 m^3/h$ par pièce supplémentaire

$$Q_s = \sum P_u e_v \tag{3.11}$$

$$P_u = \sum A_J P_J \quad (m^3/h)$$

P_J : perméabilité surfacique ($m^3/h.m^2$).

A_J : surface de l'ouverture (m^2).

e_v : coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi

Tableau 3-8 : Valeurs de la perméabilité P_0 . [01]

Type de parois	Valeurs de P_0 ($m^3/h.m^2$ sous $\Delta P = 1 Pa$)
Fenêtre ou porte fenêtre	4,0
Porte avec seuil et joint d'étanchéité	1,2
Porte	6,0
Double fenêtre	2,4

Tableau 3-9 : Valeurs de coefficient d'exposition au vent e_{vi} . [01]

Hauteur H ⁽¹⁾ (m)	Classes de rugosité ⁽²⁾				
	V	IV	III	II	I
H ≤ 4	0,40	1,47	2,71	4,06	6,36
4 < H 7	1,10	2,30	3,51	4,82	7,08
7 < H 11	1,76	3,00	4,19	5,46	7,67
11 < H 18	2,57	3,87	4,97	6,17	8,32
18 < H 30	3,50	4,80	5,80	6,93	9,02
30 < H 50	4,47	5,78	6,66	7,71	9,72

III.3-4-Calcul des températures du local non chauffé

Posant ϕ_1 le flux de chaleur qui travers le mur de surface S_1 et ϕ_2 le flux de chaleur qui travers le mur de surface S_2 .

$$\phi_1 = K_1 S_1 (T_1 - T_L) \tag{3.13}$$

Avec :

$$K_1 = K_2 \text{ et } S_1 \neq S_2$$

$$\phi_2 = K_2 S_2 (T_L - T_e) \tag{3.14}$$

On posant :

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$K_1 S_1 (T_1 - T_L) = K_2 S_2 (T_L - T_e)$$

$$S_1 T_1 + S_2 T_e = T_L (S_2 + S_1)$$

$$T_L = \frac{S_1 T_1 + S_2 T_e}{(S_2 + S_1)}$$

$$T_L = 12.65^\circ\text{C} \approx 13^\circ\text{C}$$

III.3-5-Calcul de la température de SDB et WC non chauffé :

$$\phi_{m1} = K_{1m} S_{1m} (T_1 - T_L) \text{ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface } S_1$$

$p = k_p s_p (T_1 - T_L)$ Le flux de chaleur qui traverse la porte de surface S_p

$f = k_f s_f (T_L - T_e)$ Le flux de chaleur qui traverse la fenêtre de surface S_f

$m_2 = k_{2m} s_{2m} (T_L - T_e)$ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_2

Ce qui donne :

$$K_{1m} S_{1m} (T_1 - T_L) + k_p s_p (T_1 - T_L) = k_{2m} s_{2m} (T_L - T_e) + k_f s_f (T_L - T_e)$$

$$T_L = \frac{T_1 (K_{1m} S_{1m} + k_p s_p) + T_e (k_f s_f + K_{2m} S_{2m})}{(K_{1m} S_{1m} + k_p s_p + k_f s_f + K_{2m} S_{2m})}$$

$$T_L = 15.85^\circ\text{C} \approx 16^\circ\text{C}$$

III.4-Calcul des déperditions par renouvellement d'air

$$D_R = 0.34(Q_v + Q_s)$$

$$Q_{v \max} = [0.6 \times V_h \cdot Q_{\text{réf}}]$$

$$Q_{v \text{ réf}} = \frac{5Q_v + Q_s}{6}$$

$Q_{v \min}$ Tirées d'après le tableau

Nombre de pièces est 9

$$\text{Donc : } Q_{v \min} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

$Q_{v \max}$ c'est les sommes des débits maximaux de références

$$Q_{v \max} 75 + 15 + 15 = 105 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{v \text{ réf}} = \frac{5 \times 105 + 150}{6} = 142,566 \text{ m}^3/\text{h}$$

III.4-6- Calcul le volume habitable V_h

$$\text{Chambre1} = 66,353 \text{ m}^3$$

$$\text{Chambre2} = 49,250 \text{ m}^3$$

$$\text{Chambre3} = 35,746 \text{ m}^3$$

$$\text{Séjour} = 161,222 \text{ m}^3$$

Cuisine=36,230 m³

Salle de bain=15,353 m³

W.C=9,894 m³

Cage d'escalier =118,287 m³

Donc :

$V_h = 452,625 \text{ m}^3$

$Q_{v \text{ max}} = 0,6 \times V_h = 0,6 \times 452,625 = 271,575 \text{ m}^3/\text{h}$

III.4-2-Calcul de débit supplémentaire par infiltration du vent Q_s

$$Q_s = P_{pi} e_{vi}$$

III.4-2-1-Calcul de perméabilité P_{pi}

$$P_{pi} = A_j P_j$$

Surface porte fenêtres : $S = 2,64 \text{ m}^2$

$P_{pi p} = 4 \times 2,64 \times 1,2 = 12,672 \text{ m}^3/\text{h}$

Surface fenêtres : $S = 1,68 \text{ m}^2$

$P_{pi f} = 3 \times 1,68 \times 2,4 = 12,096 \text{ m}^3/\text{h}$

$P_{pi f} = 0,24 \times 2 \times 4 = 1,92 \text{ m}^3/\text{h}$

$P_{pi} = 12,672 + 12,096 + 1,92 = 26,688 \text{ m}^3/\text{h}$

Donc :

$Q_s = P_{pi} \times e_{vi} = 26,688 \times 2,71 = 72,324 \text{ m}^3/\text{h}$

Et :

$D_R = 0,34(Q_v + Q_s)$

$D_R = 0,34(271,575 + 72,324) = 116,925 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Bilan hiver

Tableau 3-11 : Bilan hiver du garage

Parois	Orientati on	Langueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface de la vitre (m ²)	Surface Nette (m ²)	K	T (C°)	ƒal	RH	KS T	(W)
ME	O	9,6	2,96	28,416	0	28,416	0,3	5			42,624	42,624
ME ₁	N	12	2,96	35,52	2,4	33,12	0,3	5			49,68	49,68
ME ₂	N	3	2,96	8,88	0	8,88	0,3	10			26,64	26,64
ME	E	8,35	2,96	24,716	0	24,716	0,3	10			74,148	74,148
ME ₁	S	0,35	2,96	1,036	0	1,036	0,3	5			1,554	1,554
ME ₂	S	1	2,96	2,96	0	2,96	0,3	5			4,44	4,44
ME ₃	S	1	2,96	2,96	0	2,96	0,3	5			4,44	4,44
ME ₄	S	0,35	2,96	1,036	0	1,036	0,3	5			1,554	1,554
ME ₅	S	1,7	2,96	5,032	3,12	1,912	0,3	10			5,736	5,736
MI ₁	O	8,35	2,96	24,716	0	24,716	0,3	5			37,074	37,074
MI ₂	O	1,25	2,96	3,7	0	3,7	0,3	5			5,55	5,55
FE ₁	N	1	0,8	0,8		0,8	1,5	5	7,2	5,52	6	45,744
FE ₂	N	1	0,8	0,8		0,8	1,5	5	7,2	5,52	6	45,744
FE ₃	N	1	0,8	0,8		0,8	1,5	5	7,2	5,52	6	45,744
PE ₁	S	3	2,4	7,2		7,2	2,38	5	27,6	5,52	85,68	238,032
PE ₂	S	3	2,4	7,2		7,2	2,38	5	27,6	5,52	85,68	238,032
PE ₃	S	3	2,4	7,2		7,2	2,38	5	27,6		85,68	238,032
PE ₄	S	1,3	2,4	2,86		3,12	1,5	10	18,4		46,8	148,368
Plancher bas S ₁		9,6	12	115,2		115,2	0,28	3			96,768	96,768
Plancher bas S ₂		3	8,35	25,05		25,05	0,28	8			56,112	56,112
Plancher haut		9,6	12	115,2		115,2	0,22	5			126,72	126,72
											1 = 1529,759	

Tableau 3-12 : Bilan hiver du premier étage

Parois	Orientation	Langueurs (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface vitre (m ²)	Surface nette (m ²)	K	T	KS T	ƒal	RH	(W)
ME ₃	O	3.3	3.06	10.098	/	10.098	0.3	10	30.294			30.294
ME ₂	O	3.8	3.06	11.628	0.48	11.148	0.3	8	26.755			26.755
MI	O	3.8	3.06	11.628	4.136	7.492	0.3	2	4.4952			4.4952
MI ₂	SO	2.23	3.06	6.8238	0	6.8238	0.3	2	4.0942			4.4952
MI ₁	NO	2.23	3.06	6.8268	0	6.3238	0.3	2	4.0942			4.4952
ME ₁	O	3.5	3.06	10.71	/	10.71	0.3	10	32.13			32.13
ME ₁	N	8.3	3.06	25.398	3.36	22.038	0.3	10	66.114			66.114
ME ₂	N	7	3.06	21.42	2.64	18.78	0.3	10	56.34			56.34
ME	E	9.6	3.06	29.376	/	29.376	0.3	10	88.128			88.128
ME ₁	S	3	3.06	9.18	2.64	6.54	0.3	10	19.62			19.62
ME ₂	S	4.3	3.06	13.158	1.68	11.478	0.3	10	34.434			34.434
ME ₃	S	7.9	3.06	24.174	5.28	18.894	0.3	10	56.682			56.682
ME	SE	1.4	3.06	4.284		4.284	0.3	10	12.852			12.852
ME	SO	1.4	3.06	4.284		4.284	0.3	10	12.852			12.852
FE ₁	N	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	10	5.04	12.8	5.52	75.696
FE ₂	N	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	10	5.04	12.8	5.52	75.696
FE	O	0.6	0.4	0.24		0.24	1.5	8	2.88	4	5.52	24.96
FE	O	0.6	0.4	0.24		0.24	1.5	8	2.88	4	5.52	24.96
FE	S	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	10	25.2	12.8	5.52	95.856
PI ₁	O	0.74	2.2	1.628		1.628	1.5	2	4.884	11.8	5.52	70.02
PI ₂	O	0.74	2.2	1.628		1.628	1.5	2	4.884	11.8	5.52	70.02
PE ₁	N	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	10	39.6	18	5.52	138.96
PE ₁	S	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	10	39.6	18	5.52	138.96
PE ₂	S	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	10	39.6	18	5.52	138.96
PE ₃	S	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	10	39.6	18	5.52	138.96
Plancher haut	/	12.4	15.3	189.72	19.62	170.1	0.22	10	374.22	/	/	374.22
Plancher bas	/	9.6	12	115.2	/	115.2	0.31	5	178.56	/	/	178.56
												= 1995.5146

Celui-ci est établi selon des températures de base l'une correspondant au confort T_c qui est de $22\text{ }^\circ\text{C}$ et la température extérieure moyenne de base qui est de $50\text{ }^\circ\text{C}$.

Le flux de chaleur du bilan estival est exprimé dans l'équation suivante :

$$f = T + S + O + M + E \quad (3.15)$$

$$\text{Apports externes} = T + S$$

$$\text{Apports internes} = O + M + E$$

5-1- le flux de chaleur par transmission :

$$T = k_p \times S_p \times T \quad (3.16)$$

K_p : Le coefficient de transmission de la paroi ($\text{W}/\text{m}^2\text{k}$)

S_p : Surface de la paroi (m^2)

T : La différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur ($^\circ\text{C}$)

5-2-Le flux de chaleur par infiltration :

$$S = a \times c \times s \times i \quad (3.17)$$

a : constante de vitrage

c : coefficient de la vitre

s : surface du vitre

i : intensité maximale du rayonnement solaire (donne par l'atlas solaire d'Algérie)

III.5-3-Le flux de chaleur dus aux machines :

$$m = 0,86 \times p_m \times N \times C_c \quad (3.18)$$

p_m : Puissance de la machine

N : Nombre de machine

Cc : coefficient de correction

III.5-4-Le flux de chaleur dus aux éclairages :

$$E = \text{puissance de la lampe} \times \text{Nombre de lampe} \quad (3.19)$$

III.5-5-apports interne :

apports dus aux occupants :

$$o = A \times c \times ps \times n \quad (3.20)$$

ps : 170 kcal / h = $170 \times 3/4 = 197,38W$ Activité légère (assis) et repos debout

C=1 on maximise pour une durée d'occupation des lieux de 24h.

n : Nombre d'occupant n= 4.

$$o = 197,38 \times 4 \times 1 = 789,52 W$$

Apport dus à l'éclairage :

Chaque surface a une ampoule classique de 10 w

Nous avons 13 lampes donc :

$$E = 13 \times 10 = 130 W$$

Apport dus aux appareils électrique

$$M = 0.86 \times pm \times n \times cc$$

Téléviseurs : n = 2, pm= 70w, cc =0.96, = $0.86 \times 70 \times 2 \times 0.99 = 119.196 W$.

Ordinateurs : n = 2, pm = 100w, cc= 0.96, = $0.86 \times 100 \times 2 \times 0.96 = 165.12W$.

Réfrigérateur : n =1, pm= 75W, cc= 0.99, = $0.86 \times 75 \times 1 \times 0.99 = 63.855W$.

$$M = 348.171W.$$

Donc :

$$i = 1267.691W.$$

$$e = i + e = 1267.691 + 5794.62392 = 70623.31492W.$$

$$e = 70623.31492W.$$

III.5-6-Calcul des températures du local non chauffé :

Posant q_1 le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_1 et q_2 le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_2 .

$$q_1 = K_1 S_1 (T_1 - T_{Ln-c}) \quad T_e = 50^\circ C$$

$$q_2 = K_2 S_2 (T_{Ln-c} - T_e) \quad T_1 = 22^\circ C$$

$$K_1 = K_2$$

$$S_1 = S_2$$

$$K_1 S_1 (T_1 - T_{Ln-c}) = K_2 S_2 (T_{Ln-c} - T_e)$$

$$T_{Ln-c} = (S_1 T_1 + S_2 T_e) / (S_2 + S_1) = ((24.716 \times 22) + (28.416 \times 50)) / (24.716 + 28.416) = 36,97^\circ C \approx 37^\circ C.$$

Calcul de la température de SDB et WC non climatisé

Donc :

$$m = K_1 m S_1 m (T_1 - T_{Ln-c}) \text{ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface } S_1.$$

$$p = K_p S_p (T_1 - T_{Ln-c}) \text{ Le flux de chaleur qui traverse la porte de surface } S_p.$$

$$f = K_f S_f (T_{Ln-c} - T_e) \text{ Le flux de chaleur qui traverse la fenêtre de surface } S_f.$$

$$m_2 = K_2 m S_2 m (T_{Ln-c} - T_e) \text{ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface } S_2.$$

Donc :

$$K_1 m S_1 m (T_1 - T_{Ln-c}) + K_p S_p (T_1 - T_{Ln-c}) = K_2 m S_2 m (T_{Ln-c} - T_e) + K_f S_f (T_{Ln-c} - T_e)$$

Bilan été

Tableau 3-13 : Bilan été du garage

Parois extérieur du local	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface vitre (m ²)	Surface nette (m ²)	K (w/m ² k)	T (°C)	Ɛal	RH	KS T	
ME-Ouest	9.6	2.96	28.416	0	28.416	0.3	13			110.8224	110.8224
ME ₁ -Nord	13	2.96	35.52	2.4	33.12	0.3	13			129.168	129.168
ME ₂ -Nord	3	2.96	8.88	0	8.88	0.3	13			34.632	34.632
ME-Est	8.35	2.96	24.716	0	24.716	0.3	28			207.6144	207.6144
ME ₁ -Sud	0.35	2.96	1.036	0	1.036	0.3	13			4.0404	4.0404
ME ₂ -Sud	1	2.96	2.96	0	2.96	0.3	13			11.544	11.544
ME ₃ -Sud	1	2.96	2.96	0	2.96	0.3	13			11.544	11.544
ME ₄ -Sud	0.35	2.96	1.036	0	1.036	0.3	13			4.0404	4.0404
ME ₅ -Sud	1.7	2.96	5.032	3.12	1.912	0.3	28			16.0608	16.0608
MI ₁ -Est	8.35	2.96	24.716	0	24.716	0.3	15			111.222	111.222
MI ₂ -Est	1.25	2.96	3.7	0	3.7	0.3	13			14.43	14.43
FE ₁ -Nord	1	0.8	0.8		0.8	1.5	13	7.2	5.52	15.6	55.344
FE ₂ -Nord	1	0.8	0.8		0.8	1.5	13	7.2	5.52	15.6	55.344
FE ₃ -Nord	1	0.8	0.8		0.8	1.5	13	7.2	5.52	15.6	55.344
PE ₁ -Sud	3	2.4	7.2		7.2	2.38	13	27.6	5.52	222.768	375.12
PE ₂ -Sud	3	2.4	7.2		7.2	2.38	13	27.6	5.52	222.768	375.12
PE ₃ -Sud	3	2.4	7.2		7.2	2.38	13	27.6	5.52	222.768	375.12
PE ₄ -Sud	1.3	1.2	1.56		1.56	2.38	13	18.4	5.52	48.2664	149.8344
Plancher bas 1	9.6	1.2	115.2		115.2	0.28	3			96.768	96.768
Plancher bas 2	3	8.35	25.05		25.05	0.28	3			21.042	21.042
Plancher haut	9.6	12	115.2		115.2	0.22	15			380.16	380.16
											= 2594.3148

Tableau 3-14 : Bilan été de la maison

Paroi extérieur du local	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface vitre (m ²)	Surface nette (m ²)	K (w/m ² k)	T (°C)	Ɛal	RH	KS T	(w)
ME ₁ -Nord	8.3	3.06	25.398	3.36	22.038	0.3	28			185.1192	185.1192
ME ₂ -Nord	7	3.06	21.42	2.64	18.78	0.3	28			157.752	157.752
ME ₃ -Ouest	3.3	3.06	10.098		10.098	0.3	28			84.8232	84.8232
ME ₂ -Ouest	3.8	3.06	11.628	0.48	11.148	0.3	22			73.5768	73.5768
MI-O	3.8	3.06	11.628	4.136	7.492	0.3	6			13.4856	13.4856
MI ₂ -SO	2.23	3.06	6.8238		6.8238	0.3	6			12.2828	12.2828
MI ₁ -NO	2.23	3.06	6.8238		6.8238	0.3	6			12.2828	12.2828
ME-Ouest	3.5	3.06	10.71		10.71	0.3	28			89.964	89.964
ME-Est	9.6	3.06	29.376		29.376	0.3	28			246.7584	246.7584
ME ₁ -Sud	7.9	3.06	24.174	5.28	18.894	0.3	28			158.7096	158.7096
ME ₂ -Sud	4.3	3.06	13.158	1.68	11.478	0.3	28			96.4152	96.4152
ME ₃ -Sud	3	3.06	9.18	2.64	6.54	0.3	28			54.936	54.936
ME ₄ -Sud	1.4	3.06	4.284		4.284	0.3	28			35.9856	35.9856
ME ₅ -Sud	1.4	3.06	4.284		4.284	0.3	28			35.9856	35.9856
FE ₁ -Nord	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	28	12.8	5.52	70.56	141.216
FE ₂ -Nord	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	28	12.8	5.52	70.56	141.216
PE-Nord	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	28	18	5.52	110.88	210.24
PE ₁ -Sud	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	28	13.6	5.52	110.88	185.952
PE ₂ -Sud	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	28	13.6	5.52	110.88	185.952
FE ₁ -Sud	1.4	1.2	1.68		1.68	1.5	28	12.8	5.52	70.56	141.216
PE ₃ -Sud	1.2	2.2	2.64		2.64	1.5	28	13.6	5.52	110.88	185.952
PI ₁ -Ouest	0.74	2.2	1.628		1.628	1.5	6	11.76	5.52	14.652	79.5672
PI ₂ -Ouest	0.74	2.2	1.628		1.628	1.5	6	11.76	5.52	14.652	79.5672
FE ₁ -Ouest	0.6	0.4	0.24		0.24	1.5	22	4	5.52	7.92	30
FE ₂ -Ouest	0.6	0.4	0.24		0.24	1.5	22	4	5.52	7.92	30
Plancher bas	9.6	12	115.2		115.2	0.22	6			152.046	152.046
Plancher haut	12.4	15.3	189.72	19.62	170.1	0.3	28			1428.84	1428.84
											4249.8365

III.6. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre un bilan thermique hivernal et estival et on a estimé les différentes déperditions en hiver et en été, cela nous permettras de déterminer les besoins de notre habitation en terme de chaleur et rafraichissement pour atteindre le confort thermique en période estival, et au période hivernal.

IV.1-Introduction

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain

De nos jours, l'énergie est quelque chose d'indispensable à notre quotidien, elle est l'étincelle qui permet d'accomplir toute activité humaine. Elle est aussi un

Facteur de développement et le pilier de l'économie moderne.

Parmi ces énergies renouvelables, l'énergie solaire est considérée comme une

Solution prometteuse pour la production d'électricité.

• Avantage

- Développement possible important
- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante
- Pas de rejet de gaz à effet de serre
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage. L'installation des panneaux solaire thermique permet de réaliser des économies conséquentes.

• Inconvénients

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente.
- Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans).

IV.2. Cellule solaire photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu dépend de la lumière incidente. L'électricité produite dépend de l'éclairement, la cellule photovoltaïque produit un courant continu.

Les cellules photovoltaïques les plus communes sont constituées de semi-conducteurs, essentiellement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$)

a- Absorption des photons grâce à l'écart entre les bandes de valence et de conduction. Ce que représente d'ailleurs la caractéristique fondamentale des semi-conducteurs.

b- Conversion de l'énergie photonique en énergie électrique, ce qui permet de créer les paires électron/trou.

c- La jonction p-n ou l'hétérojonction, lorsqu'il s'agit de deux semi-conducteurs

Différents permet de collecter les particules générées dans le matériau.

Afin d'avoir ce phénomène, il faut préciser que le matériau ou les matériaux de la cellule photovoltaïque devront posséder deux niveaux d'énergie et être assez

conducteur pour faciliter le passage du courant, d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie du photovoltaïque.

IV.2-1. Constitution d'une cellule photovoltaïque

- Une fine couche semi-conductrice (matériau possède une bande d'inertie, qui

Joue le rôle de la barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans

une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés

électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une

conductivité électrique relativement bonne.

- Une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- Une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.

IV.2-2. Description du Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium). On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

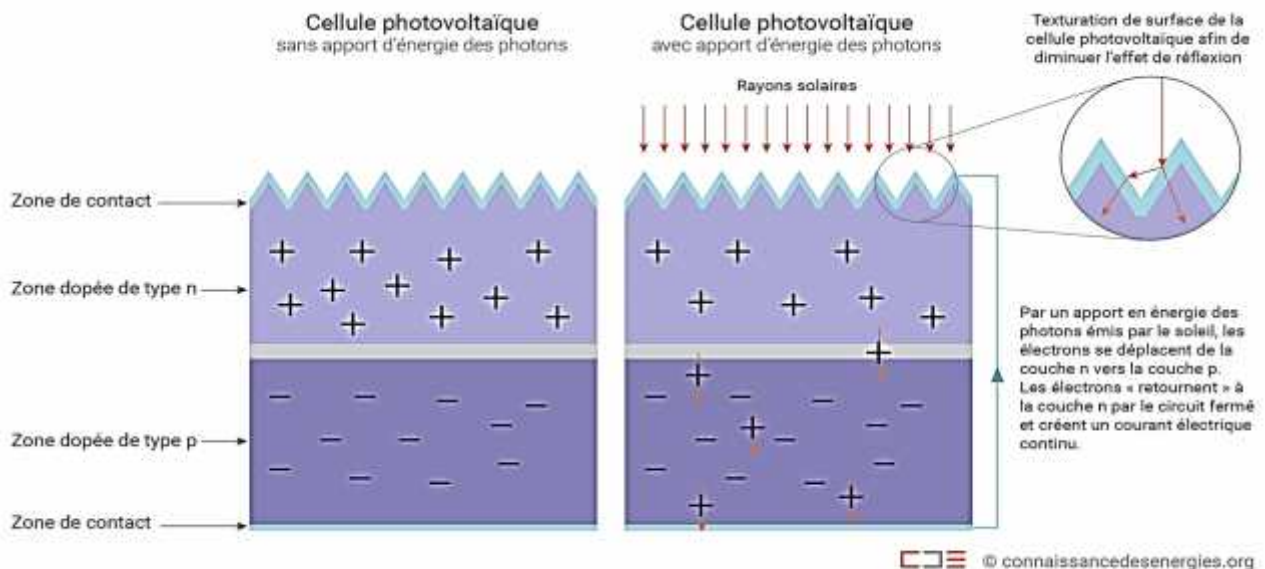


Figure IV-1 : Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque. [08]

IV.2-3. Module photovoltaïque

Les modules photovoltaïques ou les panneaux solaires sont des dispositifs utilisés pour capter l'énergie de la lumière du soleil. Les panneaux solaires photovoltaïques contiennent un ensemble de cellules solaires qui convertissent la lumière en électricité. On l'appelle solaire car le soleil est l'une des sources d'énergie les plus puissantes pour ce type d'utilisation. Les cellules solaires sont parfois appelées cellules photovoltaïques, et photovoltaïques signifie littéralement « électricité légère ». Les cellules solaires ont pour effet photovoltaïque d'absorber l'énergie du soleil et de faire circuler le courant électrique entre deux couches chargées dans la direction opposée.



Figure IV-2 : Module photovoltaïque

IV.2-4. Paramètres électriques du module photovoltaïque

Les différents paramètres caractérisant un module photovoltaïque sont la tension de circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{cc}), la puissance maximale P_{max} et le rendement.

Ils sont extraits des caractéristiques courant-tension $I(V)$, permettant de comparer différents modules éclairés dans des conditions identiques.

- Rendement

Le rendement énergétique d'un module PV est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par le module $P_m (I_m, V_{max})$ et la puissance solaire. Il est donné par :

$$\frac{P}{P_i} = \frac{I_m \cdot V}{P_i}$$

Avec P_i qui est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale du module PV. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

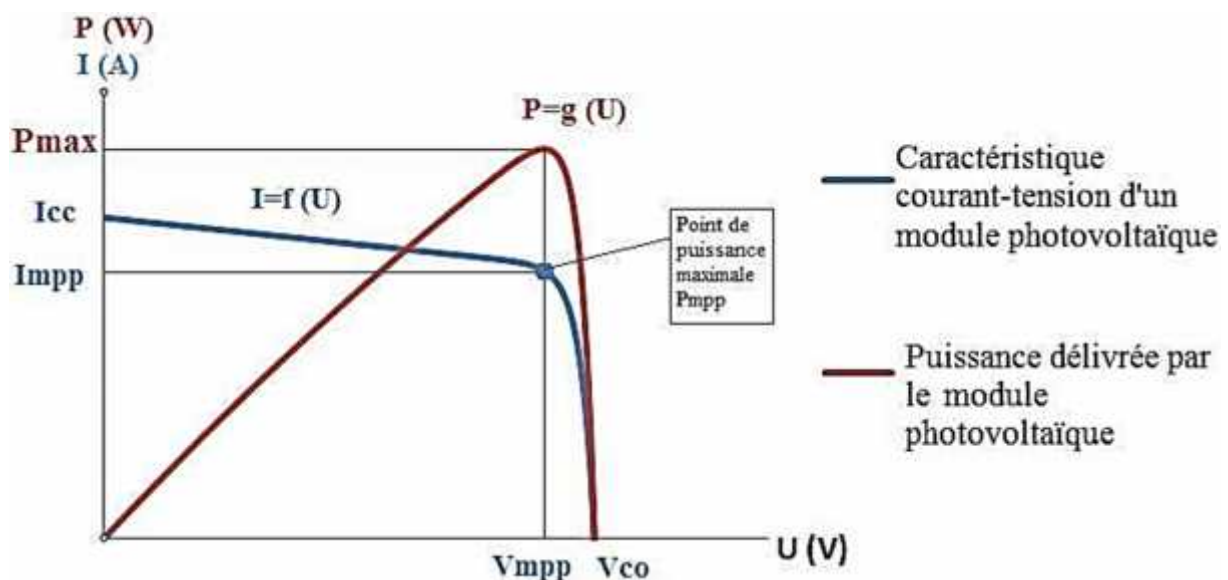


Figure 4-3 : Caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque. [08]

IV.2-5. Recyclage des modules

Le recyclage des modules à base de silicium cristallin consiste en un simple traitement thermique servant à séparer les différents éléments module du photovoltaïque et permet de récupérer les cellules photovoltaïques, le verre et les métaux aluminium, cuivre et argent est sont recyclable en fin de vie (après 25 à 30 ans).

IV.2-6. Le champ photovoltaïque

Une centrale solaire photovoltaïque (figure 4-5) est un dispositif technique de production d'électricité par des modules solaires photovoltaïques reliés entre eux (série et parallèle) et

utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



Figure IV-4 : Champ photovoltaïque. [10]

IV.2-7 .L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est l'effet photoélectrique caractérisé par la production d'un courant électrique entre deux pièces de matériaux différents en contact et exposées à la lumière ou, en général, au rayonnement électromagnétique.

L'effet photovoltaïque consiste à convertir la lumière solaire en énergie électrique au moyen de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont des dispositifs à semi-conducteurs fabriqués à partir de silicium pur avec l'ajout d'impuretés de certains éléments chimiques. Les cellules photovoltaïques sont capables de générer de l'électricité en courant continu, en utilisant le rayonnement solaire comme source.

IV.3. Matériau de base de la cellule photovoltaïque

- **Silicium monocristallin**

Le silicium monocristallin est le matériau de base des puces de silicium utilisées dans pratiquement tous les équipements électroniques actuels. Dans le domaine de l'énergie solaire, le silicium monocristallin est également utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques en raison de sa capacité à absorber les rayonnements.

Avantage

- bon rendement, de 16 % à 20 % (~150 Wc/m²)

Inconvénients

- cout élevé.
- rendement plus faible sous un faible éclairage ou un éclairage diffus.
- baisse du rendement quand la température augmente.



Figure IV-5 : cellule en silicium monocristallin. [10]

) Silicium poly-cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. La cellule

Photovoltaïque est d'aspect bleute, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

Avantage

- les cellules peuvent être de forme carrée (à coins arrondis pour le monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module ; bon rendement de conversion (12-16% dans le commerce, 20% en laboratoire); lingot moins cher à produire que le monocristallin.

- bon rendement de conversion, environ 100 Wc/m^2 , mais cependant un peu moins bon que pour le monocristallin.

Inconvénient

- rendement faible sous un faible éclairement ou soleil diffus.



Figure IV-6 : Cellule en silicium poly-cristallin. [10]

- **Silicium amorphe**

Les cellules photovoltaïques en silicium amorphe sont fabriquées par dépôts sous vide, à partir de plusieurs gaz, une des techniques les plus utilisées étant la

PECVD.

La cellule est gris très foncé.

C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires »

Avantage

- Rendement plus élevé.
- Moins encombrants.
- Durée de vie d'environ 30 ans
- fonctionne avec un éclairement faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel)

Inconvénients

- Rendement faible en plein soleil, de 7 % à 9 %
- Nécessite de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de Silicium cristallin.
- Performances qui diminuent avec le temps dans les premiers temps d'exposition à la lumière naturelle (3-6 mois), pour se stabiliser ensuite.
- Sensible aux températures élevées.



Figure IV-7 : cellule en silicium amorphe. [10]

IV.3-1. Regroupement des cellules

- **Regroupement des cellules en série**

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules.

$$V_c = N_s \times I_c \quad ; \quad I_c = I_{cc}$$

V_c : La somme de la tension en circuit ouvert de (N_s) cellules en série.

I_{cc} : Courant de court-circuit de N_s cellule en série.

- **Regroupement des cellules en parallèles**

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association parallèle de

(N_p) cellules :

$$I_c = N_p \times I_{cc} \quad ; \quad V_c = V_{cc}$$

I_{cc} : La somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.

V_{cc} : La tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

- **Regroupement des cellules (série et parallèle)**

On utilise généralement ce type d'associations pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires, peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.

IV.3.2. Schéma simplifié d'un system PV

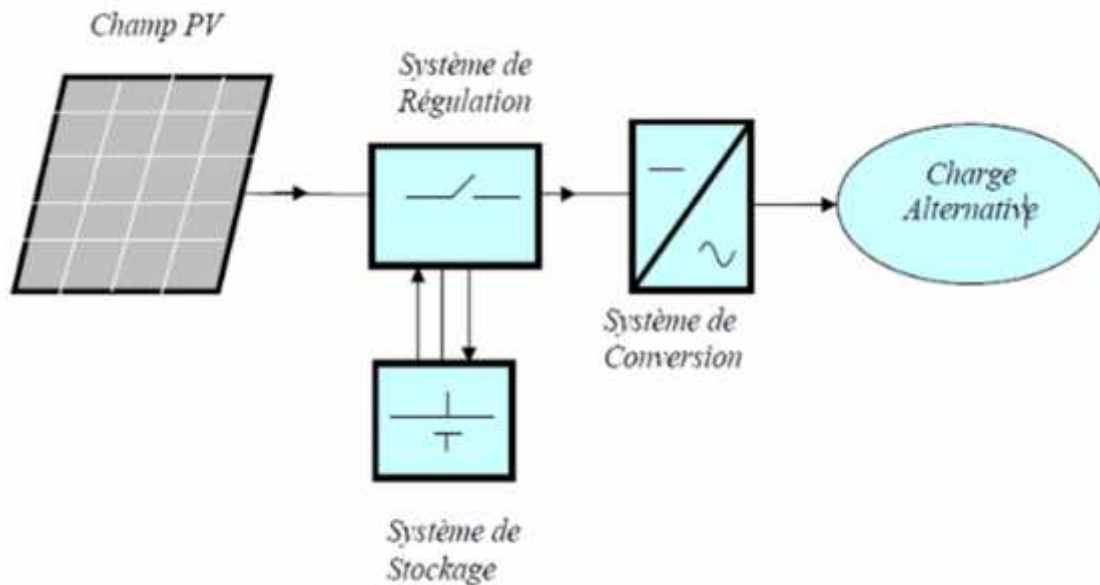


Figure IV-8 : Schéma simplifié d'un système PV. [07]

IV.4. Système de stockage

- Les batterie

Les batteries destinées au stockage de l'électricité provenant de panneaux solaires subissent un grand nombre de cycles de charge et de décharge. Leur état de charge évolue au fil de la journée, un phénomène accentué encore plus au cours des saisons. Les batteries sont des ensembles de cellules électrochimiques (qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique) connectées en série. Ces cellules électrochimiques ne sont pas des cellules photovoltaïques, dont le principe de fonctionnement est complètement différent. Les cellules de batteries se composent de deux électrodes (ou plaques) émergées dans une solution d'électrolyte. Lorsqu'un circuit se crée entre les électrodes, un courant circule, provoqué par les réactions chimiques réversibles entre les électrodes et l'électrolyte dans la cellule. Certaines cellules ne peuvent pas être rechargées. Ce sont des batteries sèches ou primaires.

D'autres se rechargent indéfiniment, ce sont les batteries secondaires ou batteries d'accumulateurs. Lors de la charge, l'énergie électrique fournie par le générateur électrique est stockée dans les cellules sous forme d'énergie chimique. Lors de la décharge l'énergie chimique emmagasinée est retirée de la batterie et convertie en énergie électrique. Les types de batteries

d'accumulateurs rechargeables et plus répandus au monde sont les batteries au plomb (plomb-acide), lithium-ion, nickel-hydrure métallique et au nickel cadmium.

IV.4.1. Les type de batteries

Tableau IV-1 : Types de batteries [07]

Type de batterie solaire	Avantage
<p>Batterie solaire à plomb ouvert : La batterie à plomb ouvert à plaque tubulaire est robuste elle nécessite un entretien régulier</p>	<ul style="list-style-type: none"> • longue durée de vie plus de 10 ans • très bonne résistance aux températures extrêmes • bacs transparents pour visualiser le niveau d'acide et l'état de la batterie
<p>Batterie solaire étanche au gel : La batterie étanche à électrolyte gélifié est (haut de gamme) de batteries au plomb, elle ne nécessite pas d'entretien.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sans entretien • Résistance aux chocs et vibrations • Durée de vie 5à15 ans • Résistance aux températures extrêmes (-20 à +55C°) • Performance excellente en cyclage
<p>Batterie solaire étanche AGM : La batterie AGM est un compromis entre la batterie plomb ouvert et la batterie gel elle est souvent utilisée pour le démarrage est souvent utilisée pour le démarrage des moteurs par exemple.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • sans entretien • très bonne résistance aux chocs et vibrations • très faible dégagement d'hydrogène (explosif)
<p>Batterie solaire lithium : La batterie au lithium est légère, sans entretien et résiste aux charges profondes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • sans entretien • plus légère que les batteries au plomb • résiste mieux aux décharges profondes

IV.4.2. Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle

En parallèlement reliant les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-" pour additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).

- en série pour additionner la tension des batteries (en Volts). La capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

Il est risqué de brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, car vous risquez d'endommager la batterie.

En installant un régulateur entre le panneau et la batterie, celle-ci est protégée entre autre contre la surcharge.

IV.5. Installation des éléments de la batterie

- **L'utilisation de la batterie peut présenter des dangers**

Risque d'explosion, dégagement de gaz toxiques (brouillard d'acide sulfurique).

En outre, leur durée de vie et le bon fonctionnement de toute l'installation dépend aussi bien des conditions d'installation que d'exploitation. Compte tenu de cela, l'installation de ces éléments doit être effectuée avec un grand soin.

Ils doivent être installés dans un local approprié à l'abri des intempéries, surtout quand le produit de la capacité par la tension de décharge est supérieur à

1000 V. Ce local doit satisfaire à certaines exigences, qui sont les suivantes :

- D'être bien ventilé pour garantir la circulation des gaz.
- D'être à une température proche de 25 °C, pour assurer le bon fonctionnement des éléments.

- **Les interrupteurs-disjoncteurs CC**

L'interrupteur différentiel, qui mesure la différence entre la quantité de courant qui passe dans le fil à l'aller et dans l'autre fil au retour, sert à interrompre le courant lorsqu'il détecte une fuite synonyme de danger.

- **Position et calibrage**

L'interrupteur-disjoncteur CC du champ solaire : il se place à l'entrée « solaire » du régulateur. Il doit être calibré à une valeur légèrement supérieure à l'intensité de court-circuit du panneau

ou du champ solaire. Il n'a pas de fonction de sécurité, puisqu'il ne réagira pas à la mise en court-circuit des panneaux, mais par contre est très utile pour couper l'alimentation solaire lors des contrôles ou de la maintenance.

L'interrupteur-disjoncteur CC du régulateur : il se place à la sortie « batterie » du régulateur, et protège celui-ci contre le courant de la batterie en cas de défaut. Il doit être calibré à la même valeur que l'intensité maximale à la sortie « consommateur », mais peut, s'il n'y a pas de consommateur connecté à cette sortie, être calibré à la même valeur que l'interrupteur-disjoncteur d'entrée du régulateur.

L'interrupteur-disjoncteur CC des consommateurs : se place à la sortie

« Consommateurs » du régulateur et permet d'isoler le circuit consommateur en cas de défaut, d'intervention ou de maintenance, sans couper en même temps la charge solaire de la batterie.

- **Le fusible CC**

Le fusible est un petit dispositif qui sert à protéger une installation contre les éventuelles surcharges électriques : en effet, chaque installation électrique est divisée en secteur et chaque secteur possède un fusible dont l'intensité correspond à celle que la ligne supporter.

IV.6. Comment définit-on la durée de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie solaire

Cependant, on peut estimer le nombre de cycle pour une décharge /décharge qu'elle est capable du supporter, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut

Estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente :

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles

IV.6.1. Système de régulation

- **Le régulateur de charge**

Le régulateur charge / décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle entre autre, de contrôler la charge de batterie et de limiter sa décharge.

Sa fonction est primordiale car elle a un impact sur la durée de vie de la batterie.

Les régulateurs de charge assurent principalement les tâches suivantes :

- Protection d'accumulateur contre les décharges profondes, limitation de la tension de charge terminale (protection contre les surcharges), prévention de la décharge des batteries pendant la nuit dans les résistances internes du générateur photovoltaïque.

- Adaptation du comportement de la charge au type d'accumulateur,

(Particulièrement important pour les accumulateurs gel).

- Protection contre les inversions de pôles.

- Protection contre les surcharges et le court-circuit.

- Affichage de la fonction de charge instantanée ainsi que du courant et de tension.

IV.6.2. Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

A l'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil.

La charge

La charge est l'équipement électrique alimenté par le système peut être de type

Continu comme des équipements de télécommunication, le pompage d'eau, ou de type alternatif dans les cas d'usage domestique (maison solaire), ce cas nécessite un onduleur.

IV.7. Disposition des panneaux

Principes de base pour l'orientation de panneaux photovoltaïques. Idéalement, pour produire un maximum de ses capacités, un panneau photovoltaïque doit avoir le plan du capteur perpendiculaire aux rayons solaires. En pratique, l'orientation optimale est le sud.

Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent de repérer un point sur la terre.

- **La longitude (L)**

C'est l'éloignement par rapport au méridien de Greenwich, mesurée en degrés. Elle est comptée positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich.

- **La latitude (\emptyset)**

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur,

Mesuré en degrés (mesurée 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 0° à 90 dans l'hémisphère sud.

- **L'altitude (Z)**

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

- **L'orientation des panneaux**

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. 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

- **Fixation des panneaux**

Pour assurer correctement la flexion des panneaux on suit les fonctions suivantes :

- Maintien de l'orientation.
- Résistance contre le vent et les autres intempéries.
- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agressions venant du sol.

IV.8. Dimensionnement du système photovoltaïque

- **Présentation du site [04]**

Le site d'implantation du système photovoltaïque se situe à oued souf précisément la wilaya d'el oued.

Localisation du site

Wilaya : el oued

Site : maison écologique (R+1)

Lieu : oued souf

Température ambiante maximale : 50 C°

Température ambiante minimale : 8 C°

- Bilan énergétique de la maison

Tableau 4-2 : Consommation journalière en énergie de la maison

Appareils	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance (w)	Durée d'utilisation (h)	Energie (Wh/j)
Lampes	13	10	130	4	520
TV	2	70	140	6	840
PC	2	100	200	4	800
Réfrigérateur	1	75	75	12	900
Climatiseur 12000 BTU	1				1200
Machine à laver	1	649	649	1	649
					4909

IV.8.1. Dimensionnement photovoltaïque

Dans cette maison, nous avons deux installations PV. La première pour la climatisation. La deuxième pour les autres appareils et équipements de la maison.

IV.8.2. Dimensionnement de la climatisation

Nous allons calculer la puissance d'entrée de l'onduleur :

$$P_o = \frac{C_j}{R_o} \quad (4.3)$$

P_o : Puissance d'entrée de l'onduleur.

C_j : Consommation journalière du climatiseur.

R_o : Rendement de l'onduleur.

Calcul la puissance d'entrée de régulateur :

$$P_r = \frac{C_j}{R_r} \quad (4.4)$$

Avec :

P_r : Puissance d'entrée de régulateur.

R_r : Rendement de régulateur.

Calcul de l'énergie produite :

$$E_p = \frac{C_j}{R \times R_r} \quad (4.5)$$

E_p : Energies produite.

Calcul de la puissance crête :

$$P_c = \frac{E}{K \times E_m} \quad (4.6)$$

E_{\min} : Le rayonnement solaire global journalier minimal reçu sur le plan des modules.

K : Facteur tenant compte des diverses considérations qui affectent le rendement de l'installation.

Calcul du nombre de modules :

$$N_m = \frac{P}{P_t} \quad (4.7)$$

Avec :

N_m : Nombres de modules.

P_{cm} :Puissance crête d'un module.

Calcul de la surface totale des modules :

$$S_t = N \times S_m \quad (4.8)$$

Avec :

S_t : Surface totale des modules en m².

S_m : Surface d'un seul module en m².

Avec un angle de déclinaison 36° .

IV.8.3. Dimensionnement de la batterie de stockage

La capacité utile de la batterie :

$$C = \frac{E_j \times N_j}{P_f \times R} \quad (4.9)$$

Avec :

N_j : Le nombre de jours d'autonomie du système.

P_f : Décharge de batterie.

R_b : Rendement de la batterie

Détermination du nombre d'éléments batteries en série :

On donne le nombre d'éléments batteries en série par la relation :

$$N_{bs} = \frac{U_i}{U} \quad (4.10)$$

Avec

U_b : Tension de l'élément batterie donnée par le constructeur en V.

Détermination du nombre d'éléments batteries en parallèle :

Le nombre de branches d'éléments en parallèle :

$$N_b = \frac{C_u}{C_e} \quad (4.11)$$

Avec :

C_e : Capacité d'un élément batterie donné par le constructeur exprimé en (Ah).

Détermination du nombre total d'éléments batteries

Le nombre total d'éléments batteries est donné par :

$$N_b = N_{bp} \times N_{bs} \quad (4.12)$$

- **Choix du régulateur**

La régulation de charge sera dimensionnée pour une installation sous une tension de charge U et un courant : $I_{\max} = P_c / U$ (A)

IV.9. Les critères pour choisir son régulateur solaire

Le régulateur solaire appelé aussi régulateur de charge ou contrôleur de charge il faut prendre en considération 3 éléments principaux :

- **La tension maximum en circuit ouvert de vos panneaux** : Les régulateurs

Acceptent des plages de tension plus ou moins larges.

- **La tension minimum pour charger les batteries.**

- **Le courant maximum du régulateur** : le courant du régulateur (exprimé en

Ampères) doit être supérieur à l'intensité du courant de court-circuit des panneaux solaires auxquels il est relié. Cette donnée est indiquée sur la notice de chaque panneau. Il est préférable de prendre en plus une marge de sécurité de

10 % à 20 %.

- **Choix de l'onduleur**

L'onduleur est un organe primordial de l'installation qu'il ne faut pas négliger. La détermination de ses caractéristiques se fera naturellement en fonction du champ de capteur pris en charge.

Dans notre cas :

- La tension d'entrée qui correspond à la tension du système mis en place U

(24V) et à la demande d'électricité (Wh/j).

- La tension de sortie doit correspondre à la tension d'alimentation des charges

Utilisées, notre installation à besoin de 220/230 VAC pour son fonctionnement

Normal.

- **Câblage du système**

Pour assurer le bon fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome, il reste les derniers éléments à prendre en considération lors de la phase de notre

Dimensionnement, il s'agit du câblage qui assure les liaisons entre les différents

Éléments de la centrale et leurs protections.

- **Propriétés des câbles**

Les câbles solaires Redox sont des câbles flexibles mono ou multibrins particulièrement adaptés au câblage des installations solaires montées en intérieur ou en extérieur. Tout câble électrique a une résistance qui est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{\rho}{S}$$

Avec

S : La section du câble en mm².

ρ : La résistivité du matériau conducteur en μ hm.m

Les protections électriques sont :

- Disjoncteurs
- Fusible
- Mise à la terre.

A. Dimensionnement de la climatisation

Premièrement, on ajoute une marge de sécurité de 20% de la consommation journalière.

On donne :

$K = 0.65 ; R_o = 93\% ; R_r = 95\% ; U_I = 24 \text{ V} ; U_m = 45,2 \text{ V} ;$

$S_m = 1.1m^2 N_j = 2 \text{ jours} ; p_f = 70\% ; R_b = 97\% ; U_b = 12 \text{ V} ;$

$P_{cm} = 150 \text{ W} ; E_{min} = 8.5$

La consommation journalière : $C_j = 920 + 20\%$, $C_j = 1104 \text{Wh/j}$.

a- Onduleur : $P_o = 1187.09 \text{Wh/j}$.

b- Régulateur : $P_r = 1162.105 \text{Wh/j}$.

c- Énergie produite : $E_p = 1249.575 \text{ Wh/j}$.

d- Puissance crête : $P_c = 226.16 \text{Wc}$.

e- Nombre de modules : $N_m = 2 \text{modules}$.

f- Nombre de modules en séries : $\frac{U}{U_b} = 1 \text{ module en serie}$.

g- Capacité des batteries : $C = 8297,14 \text{ Wh}$.

En A h : $C_u = \frac{C}{U_b} = 345.71 \text{ Ah}$.

h : Nombre de batterie en série : $N_{bs} = \frac{U}{U_b} = 2$

i : Nombre de batterie en parallèle : $N_{bp} = \frac{C}{C_e} = 2$

j : Nombre totale de batterie : $N_{bt} = 4 \text{ batteries}$.

B. Dimensionnement des équipements et appareils de la maison

On ajoute une marge de sécurité de 20% de la consommation journalier des

Equipements

On donne :

$K = 0.65 ; R_o = 93\% ; R_r = 95\% ; U_i = 24 \text{V} ; U_m = 45,2 \text{ V} ; S_m = 2.6m^2$

$N_j = 2 \text{ jours} ; p_f = 70\% ; R_b = 97\% ; U_b = 12 \text{ V} ; P_{cm} = 150 \text{ W} ; E_{min} = 8.5$.

a- la consommation journalier: $C_j = 3369 + 20\%$, $C_j = 4042.8 \text{Wh/j}$.

b- onduleur : $P_o = 4347.09 \text{ Wh/j}$.

c- régulateur : $P_r = 4255.57 \text{ Wh/j}$.

d- énergie produite : $E_p = 4574.98 \text{ Wh/j}$.

e- puissance crête : $P_c = 828.05 \text{ Wc}$.

f- Nombre de modules : $N_n = 6$ modules.

g- Nombre de modules en séries : $\frac{U_i}{U} = 1$ module en serie.

h- Capacité des batteries : $C = 9960 \text{ wh}$.

En A h : $C_u = 415 \text{ A h}$.

i- Nombre de batteries en série : $N_{bs} = \frac{U}{U} = 2$.

j- Nombre de batteries en parallèle : $N_{bp} = \frac{C}{C_e} = 2$.

k- Nombre total de batteries : $N_{bt} = 4$ batteries.

Schéma du système

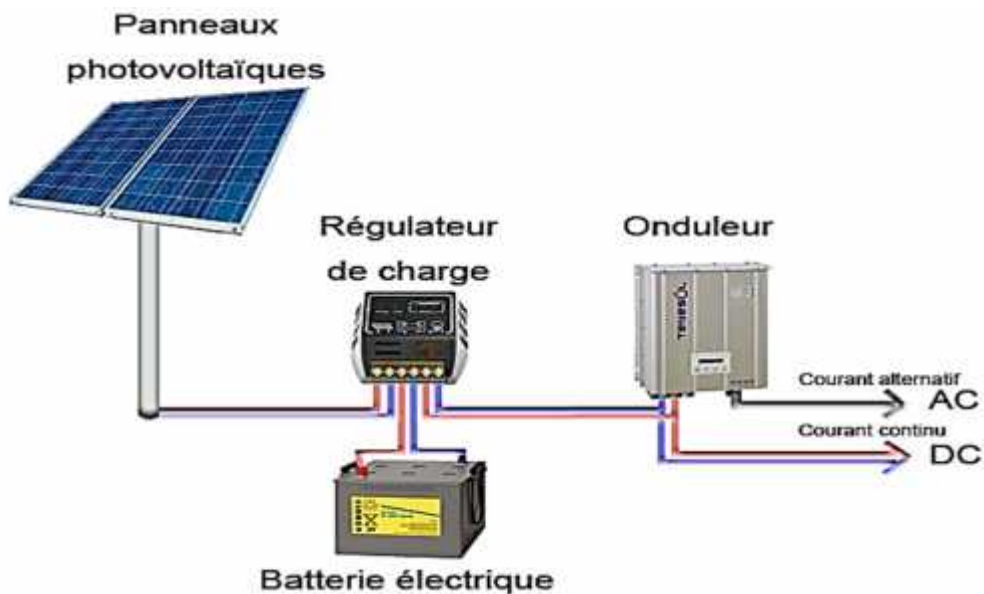


Figure IV-9 : Schéma de l'installation photovoltaïque autonome. [07]

IV.9. Capteur solaire thermique

L'énergie solaire thermique produit de la chaleur à partir des rayons du soleil. Elle peut être utilisée pour l'eau chaude sanitaire seule (chauffe-eau solaire) ou de manière combinée avec le chauffage (système solaire combiné). Le solaire thermique permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire par la

mise en œuvre de capteurs solaires qui transforment l'énergie solaire en chaleur

transmise à un fluide caloporteur (parfois de l'air, le plus souvent de l'eau glycolée).

Ce fluide restitue sa chaleur dans un ballon de stockage d'eau chaude par

L'intermédiaire d'un échangeur. L'eau chaude ainsi produite, stockée dans le ballon tampon, peut être utilisée de jour comme de nuit.

IV.9.1. Principe de fonctionnement

Les panneaux solaires thermiques permettent de produire de l'eau chaude. Il ne faut pas les confondre avec des panneaux solaires photovoltaïques qui servent eux à produire de l'électricité. Un panneau solaire thermique est une surface qui capte les rayons du soleil pour réchauffer un fluide caloporteur placé sous les panneaux. Ce fluide chaud rejoint ensuite le ballon de stockage dans lequel il réchauffe l'eau chaude sanitaire utilisée dans vos robinets, lavabos, douches, etc... Dans le cas d'un système solaire combiné, le ballon de stockage peut être relié à deux circuits d'eau chaude, l'un pour l'eau chaude sanitaire et le second pour le chauffage alimentant des radiateurs à eau ou un plancher chauffant.

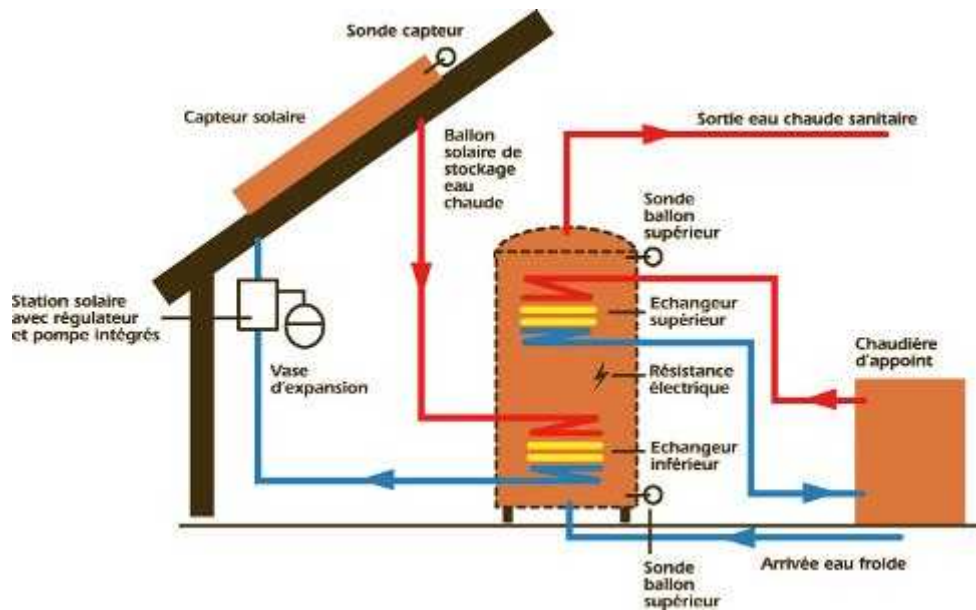


Figure IV-10 : principe de fonctionnement d'un panneau solaire thermique. [09]

- **Le ballon de stockage**

Un ballon de stockage crée une capacité tampon d'énergie la plupart du temps d'eau chaude soit de chauffage soit d'eau chaude sanitaire. Dans le cas du chauffage, on trouvera des ballons de stockage permettant de gérer la production des panneaux solaires par rapport à la demande, le ballon créant un réservoir ou une capacité tampon. Pour l'eau chaude sanitaire, le principe est le même que ce soit un cumulus électrique ou un ballon additionnel associé à une chaudière murale par exemple, le ballon crée une capacité d'eau chaude répondant aux besoins instantanés.



Figure IV-11 : Panneau solaire thermique avec un ballon de stockage. [09]

IV.9.2. Estimation du cout de l'installation

Le tableau suivant présente le nombre et le cout d'éléments constituant ce système, sachant qu'on a choisi tous les éléments de la marque (VICTRON ENERGY).

Tableau 4-3 : Estimation du cout de l'installation

Elément	Nombre	Prix unitaire (D.A)	Cout en (D.A)
Panneau	8	17000	136 000
Batterie	8	32000	256 000
Régulateur	2	72000	144 000
Onduleur	2	91000	182 000
Disjoncteur	2	3200	6 400
Fusible	4	500	2 000
Mise à terre	2	2200	4 400
Ballon de stockage	1	12000	12 000
			Totale = 742 800

IV.10. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la

Constitution d'un système photovoltaïque. Aussi les principes de fonctionnement de chaque élément.

Le dimensionnement des panneaux photovoltaïque et des panneaux thermique nous a permis de définir la puissance que l'on a besoin pour le bon fonctionnement de la maison ainsi que le coût d'électricité a économisé grâce à l'énergie solaire.

Conclusion générale

L'homme il doit garder la température de son corps constante malgré les variations de température au tour de lui pour avoir une meilleure performance biologique donc il faut qu'il ait un équilibre entre la production de chaleur et la perte de chaleur ; c'est pour cela les habitations doivent être adapté à l'organisme humain et bien fixé à des températures acceptables.

Pour maintenir la température de confort souhaitée dans un bâtiment, il faut apporter de la chaleur, grâce au chauffage et aussi aux apports solaires. Mais comme la chaleur ne cesse de sortir aux travers des parois, il faut apporter autant de chaleur que celle qui s'échappe. La solution est de prévoir une isolation thermique des parois du bâtiment qui permet de réduire très fortement les pertes de chaleur. Ainsi, avec moins de pertes, moins de chaleur est nécessaire pour chauffer les locaux.

Pour chacun, bien isoler les parois est une priorité pour économiser l'énergie et aussi pour augmenter le confort. Pour tous, une meilleure isolation des bâtiments permet d'atténuer notre dépendance énergétique et aussi notre empreinte écologique. Il est indispensable d'isoler toutes les parois du volume que l'on souhaite protéger des pertes de chaleur. Il est aussi très important d'isoler les raccords entre ces parois. Un grand soin de conception et de mise en œuvre doit donc être porté pour garantir la continuité de l'isolation thermique et surtout pour éviter la présence de ponts thermiques. Une isolation thermique efficace peut réduire les besoins en énergie de plus de 60%. Pour maintenir à bon niveau la température intérieure des locaux pendant les périodes froides. L'isolation thermique seule ne suffit pas pour obtenir un bâtiment ayant une haute performance énergétique. Il faut aussi que le bâtiment soit étanche à l'air et équipé d'une ventilation régulée avec, idéalement, une récupération de chaleur.

Mais avant de passer à l'isolation il faut bien d'abord estimer les déperditions de chaleur de sa propre maison pour déterminer les besoins de l'habitation en période estivale et en période hivernale, ainsi faire un bilan de consommation journalière qui détermine les besoins en électricité et dimensionner son installation photovoltaïque pour définir la puissance que l'on a besoin pour le bon fonctionnement de la maison et avoir une meilleure autonomie.

Références bibliographiques

[01] : **D.T.R.** C 3-2, C 3-4

[02] : **J.F. Sacadura** , Initiation aux transferts de thermique, 2e édition **Dunod 1993**.

[03] : **Jean- Pierre Moya**, Isolation thermique durable des bâtiments existants, édition **leMoniteur 2017**.

[04] : **M. CAPDEROU, 1988**. Atlas Solaire de l'Algérie. EDITION OPU, Voll . Tome1.

[05] : Règlement thermique des bâtiments d'habitation, règle de calcul de déperditions calorifique. Thèse doctorat en physique (Thème : aspects énergétiques, Economiques et Environnementaux d'une habitation écologique) présenter par : MOUHAMED EL AMINE BOULKI HACENE LE en 2013.

[06] : Thomas MARCHAL (Modélisation en régime dynamique d'une maison basse énergie Etude de cas « Maison Politehnica) UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BUCAREST Faculté d'énergétique.

[07] : **Jean-Paul Louineau**, Guide pratique du solaire photovoltaïque, dimensionnement, installation et maintenance, 2e édition **Obser'ER 2005**.

[08] : **Anne Labouret, Michel Viloz** (Energie solaire photovoltaïque) édition **LE MONITEUR**.(Éditeur(s) **DUNOD, Le moniteur** ; Auteur(s) : **Anne Labouret, Michelviloz** ; Collection : **Technique et ingénierie- Environnement et sécurité 2006**

[09] : Installations photovoltaïques autonomes, Guide pour le dimensionnement et la réalisation, Pacer, Office fédérale question s conjoncturelles, coopération suisse au développement, **1999**.

[11] : **Anne Labouret** et **A.L**, cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque, collection ETSF ,4e édition **Dunod 2005**.

Annexes

Annexe 1 : Dimensionnement de la climatisation.

Dimensionnement	Paramètre	Climatisation	Type de matériel
Générateur	Ep (wh/j)	1249.575	Panneau poly 150w /45,2V (SOLIMPEKS)
	Pc (Wc)	226.16	
	Npt	2	
	Nps	1	
	Npp	2	
	Stp(m ²)	2.2	
	Surface nécessaire de champ (m ²)	Toiture	
Stockage	C (wh)	8297.14	Batteries Gel 200Ah/12v (Victron Energy)
	Cu (Ah)	345.71	
	Nbs	2	
	Nbp	2	
	Ntp	4	
Régulateur	Un (V)	150	Régulateur MPPT 150V/100A (Victron Energy)
	In (A)	200	
	Pn (w)	3000	
	Rr(%)	95	

Annexes

Annexe 2 : Dimensionnement des équipements de la maison.

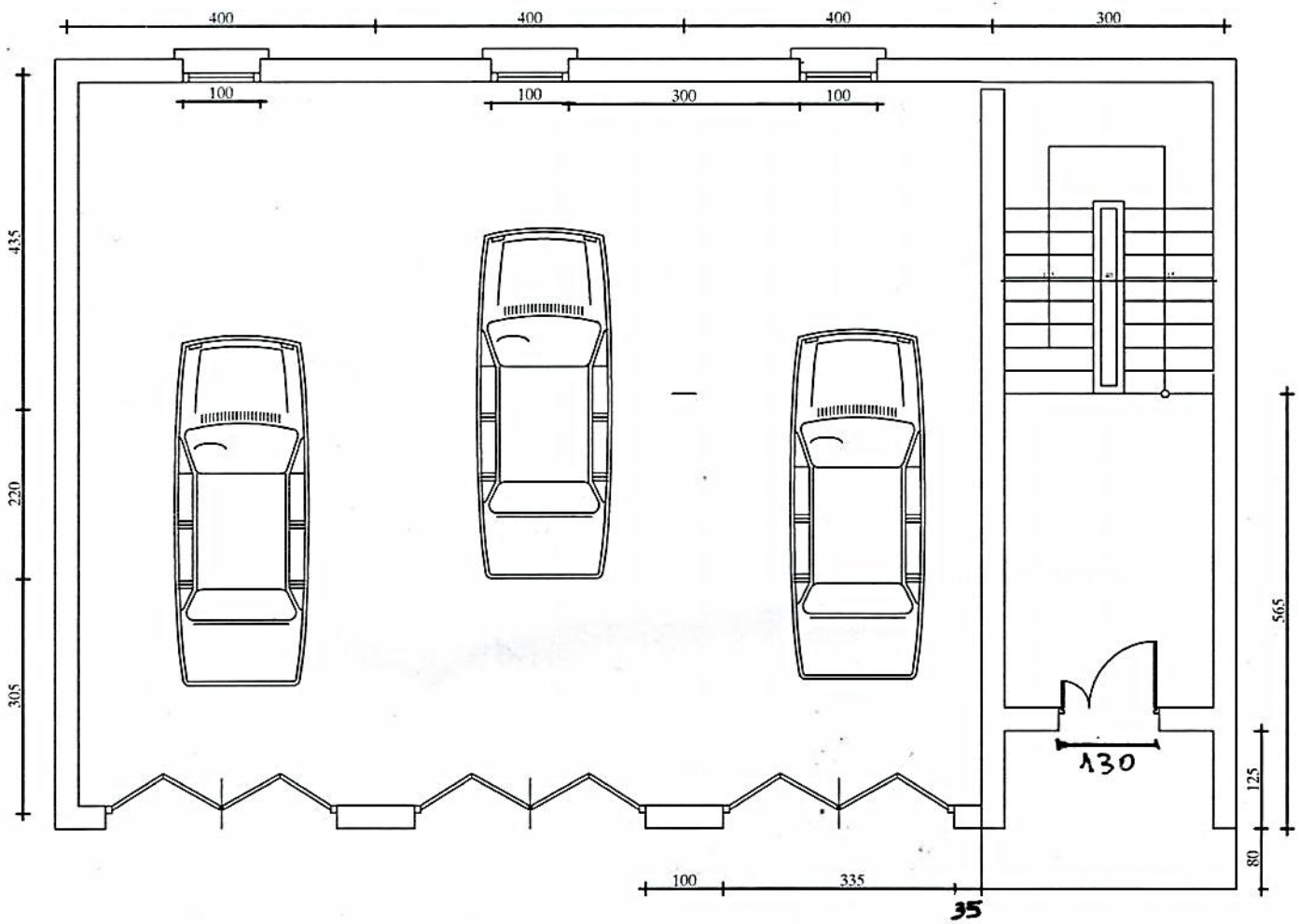
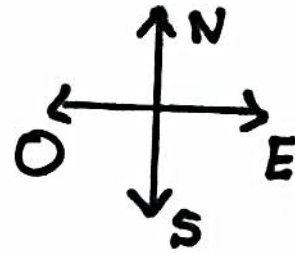
Dimensionnement	Paramètre	Equipement	Type de matériel	
Générateur	Ep (Wh/j)	4574.98	Panneau poly 150W/45,2V (SOLIMPEKS)	
	Pc (Wc)	828.05		
	Npt	6		
	Nps	1		
	Npp	6		
	Stp	15.6		
	Surface nécessaire de champ (m ²)	Toiture		
Stockage	C (Wh)		Batteries Gel 200Ah/12v (Victron Energy)	
	Cu (Ah)			
	Nbs			
	Nbp			
	Ntb			
Régulateur	Un (V)		Régulateur MPPT 150V/100A (Victron Energy)	
	In (A)			
	Pn (W)			
	Rr (%)			
		Batterie		
		Régulateur		
		Onduleur		100
	Disjoncteurs (A)	Côté Panneaux		30
		Côté charge		30
Section du câble de mise à la terre	Côté	6		
	Panneaux			
	Côté charge	6		

Annexes

Annexe 3 : Tableau des matériaux

Matériaux	Conductivité thermique (W/m.K)
Panneau sandwich	0.029
Aluminium	235
Béton	1.3
Crépis	1.1
Chape	1.92
Mortier	0.45
Dalle de sol	1
Brique	0.78
Pré-dalle	1.279
Dalle	1.279
Mortier de pose	1.4
Lame d'air	0.24
Argile cuite	1.15
Plâtre	0.35
Enduit ciment	1.2
Crépis ciment	1.1
Mousse polyurethane	0.032

Izdatelstvo Standartov, conductivité thermique des gaz et des liquides et solides, Edition Moscow 1978.



PLAN DU RDC ECH:1/50

Introduction générale

Chapitre I

Confort thermique

Chapitre II

Isolation thermique

Chapitre III
Etudes d'une maison
écologique

Chapitre IV

Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

Conclusion générale

Bibliographie

Annexes