

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

UNIVERSITE MOULOUD 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
(polystyrène expansé)

Réalisé par :

BELOUAR Lycia

BELKACEM Saida

Dirigé par : MAKHLOUF SAID

2017-2018

REMERCIEMENTS

On tient à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Mr. Saïd Makhlouf pour son aide, sa disponibilité et ses conseils pour l'aboutissement de ce travail, qu'il trouve ici notre profonde gratitude et toutes nos reconnaissances et respect.

Nous remercions les membres de jury qui feront l'honneur d'examiner ce travail.

Enfin nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

*C'est avec beaucoup de joie que nous avons
l'honneur de dédier ce travail :*

A nos très chers parents.

A tous nous 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.

Belouar Lycia.

Belkacem Saida.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 1 : Confort thermique

1-Confort thermique.....	3
1.1.Introduction	3
1-2. Métabolisme	3
1-3. La température du confort.	6
1-4. Le conditionnement de l'air.....	6
1-4-1. Définition.	6
1-4-2. But du conditionnement de l'air.....	7
Conclusion.	7
2-Généralités sur le transfert thermique.....	7
2-1. Introduction.	7
2-2. Modes de transfert de chaleur.....	8
2-2-1. La convection.	8
Définition	8
) La convection naturelle (convection libre).	8
) La convection forcée.....	8
a).Rappels sur les principaux nombres sans dimension.....	9
) Nombre de Prandtl.	9
) Nombre de Reynolds.....	10
) Nombre de Rayleigh.	10
) Nombre de Grashof.....	10
) Nombre de Péclet.....	11
) Nombre de Nusselt.....	11
b).Calcul du coefficient d'échange.	12
2-2-2. La conduction.....	12
Définition	12
a) La conduction en régime permanent.....	12

Sommaire

.....	
b).La conduction à travers une paroi plane.....	13
) Paroi à une seule couche.....	13
) Paroi à plusieurs couches (murs composé).....	13
c). La conduction à travers une paroi cylindrique.....	15
) Paroi cylindrique à une seule couche.....	15
) Paroi cylindrique à plusieurs couches.....	16
d). Paroi sphérique.....	16
2-2-3. Le rayonnement.....	17
Définition.....	17
a).Loi fondamentale du rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann).....	18
b).Propriétés du rayonnement solaire.....	18
2-3. Le coefficient d'échange global.....	19
Conclusion.....	19

Chapitre 2 :Isolation thermique

1-Introduction.....	20
2-Polystyrène.....	21
3-Utilisation du polystyrène.....	21
) Résistance aux chocs.....	22
) Isolation thermique.....	22
) Résistance à la compression.....	22
4-Caractéristiques principales de l'isolation thermique.....	22
4-1. La conductivité thermique.....	22
4-2. La résistance thermique.....	23
5-Déperditions thermique.....	24
5-1. Déperditions surfaciques par transmission.....	24
5-2. Déperdition linéiques.....	24
5-3. Déperditions par renouvellement d'air.....	25
6-Types d'isolation.....	25

Sommaire

) Isolation par l'intérieur.....	25
) Isolation par l'extérieur.....	26
) Isolation intégré.....	26
6-1. Caractéristiques des matériaux utilisé pour la maison écologique.....	26
6-2. Types de matériaux.....	26
) Les murs.....	26
) Les parois vitrées.....	27
) Le plancher haut du garage.....	27
) Le plancher bas du garage.....	28
) Le plancher haut de la maison.....	29
) Le plancher bas de la maison.....	29
7-Inertie thermique.....	30
7-1. Les principales caractéristiques de l'inertie thermique sont :.....	31
) La diffusivité thermique.....	31
) L'effusivité thermique.....	31
Conclusion.....	32

Chapitre3 : étude d'une maison écologique

1-Introduction.....	33
2- Description du plancher bas.....	33
2-1. Constitution et description des murs.....	34
2-2. Description et constitution de plancher bas de la maison.....	35
2-3. Description et constitution de plancher haut de la maison.....	36
2-4. Les parois vitrées.....	37
2-5. La résistance thermique surfacique.....	37
2-6. Calcul du coefficient de transmission surfacique K.....	38
) Plancher bas de la maison.....	39
) Plancher haut de la maison.....	39
) Les murs.....	39
3-Bilan hivernal.....	39
3-1. Le flux de chaleur par transmission des parois.....	39

Sommaire

3-2-Le flux de chaleur par infiltration	40
3-3. Les déperditions par renouvellement d'air	40
3-4. Calcul des températures du local non chauffé	42
3-5. Calcul de la température de SDB et WC non chauffé	43
4-Calcul des déperditions par renouvellement d'air	43
4-1. Calcul du volume habitable	43
4-2. Calcul de débit supplémentaire par infiltration du vent	44
4-2-1. Calcul de la perméabilité.....	44
5-Bilan estival	47
5-1. Le flux de chaleur par transmission.....	47
5-2. Le flux de chaleur par infiltration.....	47
5-3. Le flux de chaleur dus aux machines.....	48
5-4. Le flux de chaleur dus aux éclairages.....	48
5-5. Les apports internes.....	48
) Apports dus aux occupants	48
) Apports dus à l'éclairage	48
) Apports dus aux appareils électriques.....	48
5-6. Calcul des températures du local non chauffé	49
Conclusion	53

Chapitre 4 : Dimensionnement des panneaux solaire

-Introduction	54
) Avantages.....	54
) Inconvénients	54
4-1. Cellule solaire photovoltaïque	55
4-1-1. Constitution d'une cellule photovoltaïque	55
4-1-2. Description du principe de fonctionnement d'une cellule solaire.....	56
4-1-3. Module photovoltaïque	57
4-1-4. Paramètres électriques du module photovoltaïque.....	57
4-1-5. Recyclage des modules	58
4-1-6. Le champ photovoltaïque	58

4-1-7. L'effet photovoltaïque.....	59
4-2. Matériaux de base de la cellule photovoltaïque.....	59
) Silicium monocristallin.....	59
) Silicium poly-cristallin.....	60
) Silicium amorphe.....	61
4-2-1. Regroupement des cellules.....	62
) Regroupement des cellules en série.....	62
) Regroupement des cellules en parallèle.....	62
) Regroupement des cellules en série et en parallèle.....	62
4-3. Schéma simplifié d'un système photovoltaïque.....	63
4-3-1. Système de stockage.....	63
4-3-2. Les type de batteries.....	64
4-3-3. Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle.....	64
4-3-4. Installation des éléments de la batterie.....	65
) L'utilisation de la batterie peut présenter des dangers.....	65
) Les interrupteurs- disjoncteurs C.C.....	65
) Position et calibrage.....	66
) Le fusible C.C.....	66
4-3-5. Comment définit-on la durée de vie d'une batterie solaire.....	66
4-3-6. Système de régulation.....	67
) Régulateur de la charge.....	67
4-3-7. Système de conversion.....	67
4-3-8. Disposition des panneaux.....	68
) Les coordonnées géographiques.....	68
) L'orientation des panneaux.....	69
) Fixation des panneaux.....	69
4-4. Dimensionnement du système photovoltaïque.....	69
) Présentation du site.....	69
) Bilan énergétique de la maison.....	70
4-4-1. Dimensionnement de la climatisation.....	71
4-4-2. Dimensionnement de la batterie de stockage.....	73
) Choix du régulateur.....	74

Sommaire

4-4-3. Les critères pour choisir son régulateur solaire.....	74
) Choix de l'onduleur	74
) Câblage du système.....	74
) Propriétés des câbles	75
a-Dimensionnement de la climatisation.....	75
b-Dimensionnement des équipements et appareils de la maison.....	77
4-5. Capteur solaire thermique.....	79
4-5-1. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire	79
4-5-2. Estimation du cout de l'installation.....	81
Conclusion	82

Conclusion générale.....	83
--------------------------	----

Références bibliographiques.

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
1-4	Paroi cylindrique à une seule couche	15
1-5	Paroi cylindrique à plusieurs couches	16
1-6	Paroi sphérique	17
2-1	Polystyrène 3D	21
2-2	Composition du mur en polystyrène	27
2-3	Plancher bas du garage	28
2-4	Plancher haut de la maison	30
3-1	Schéma du plancher bas du garage	34
3-2	Schéma des murs de la maison	35
3-3	Schéma du plancher bas de la maison	36
3-4	Schéma du plancher haut de la maison	37
4-1	Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque	56
4-2	Module photovoltaïque	57
4-3	Caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque	58
4-4	Champ photovoltaïque	58
4-5	Cellule en silicium monocristallin	59
4-6	Cellule en silicium poly-cristallin	60
4-7	Cellule en silicium amorphe	61
4-8	Schéma simplifié d'un système photovoltaïque	63
4-9	Schéma de l'installation photovoltaïque autonome	79
4-10	Principe de fonctionnement d'un panneau solaire thermique	80
4-11	Panneau solaire thermique avec un ballon de stockage	81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Intitulée	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	26
2-2	Les matériaux utilisés pour les parois vitrées	27
2-3	Les matériaux utilisés pour le plancher haut du garage	27
2-4	Les matériaux utilisés pour le plancher bas du garage	28
2-5	Les matériaux utilisés pour le plancher haut de la maison	29
2-6	Les matériaux utilisés pour le plancher bas de la maison	29
3-1	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas du garage	33
3-2	Les caractéristiques des matériaux composant les murs	34
3-3	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas de la maison	35
3-4	Les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la maison	36
3-5	Les valeurs des résistances superficielles	38
3-6	Les valeurs de débits Q_{vmax} de référence	41
3-7	Les valeurs de débits Q_{vmin}	41
3-8	Les valeurs de la perméabilité	42
3-9	Les valeurs de la hauteur des ouvrants selon les classes de rugosité	42
3-10	Bilan thermique hivernal du garage	46
3-11	Bilan thermique hivernal du premier étage	47
3-12	Bilan thermique estival du garage	52
3-13	Bilan thermique estival du premier étage	53
4-1	Types de batteries	64
4-2	La consommation journalière en énergie de la maison	70
4-3	Estimation du cout de l'installation	79

NOMENCLATURE

Lettres	Désignation	unités
Φ_r	Flux de chaleur par rayonnement	W
Φ_c	Flux de chaleur par convection	W
Φ_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
\bar{t}_p	Température moyenne des parois	°C
Φ	Flux de chaleur	W
S	Surface du contact	m ²
h	Coefficient d'échange convectif	W /m ² k
μ	Viscosité dynamique	Kg/m s
λ	Conductivité thermique	W/m k
C_p	Capacité thermique massique pression constante	J /kg k
P_r	Nombre de Prandtl	-
R_e	Nombre de Reynolds	-
ρ	Masse volumique du fluide	Kg/m ³
V	Vitesse caractéristique du fluide	m/s
L	Dimension caractéristique	m
G_r	Nombre de Grashof	-
g	Accélération de pesanteur	m/s ²
ΔT	Différence de température	°C
L_c	La longueur caractéristique	m
P_e	Nombre de Péclet	-
N_u	Nombre de Nusselt	-
$\Phi_{ém}$	Flux émis	W
ε	L'émissivité de la surface	-
σ	Constante de Stefan Boltzmann	-
R	Resistance thermique surfacique	m ² °C/W
K_t	Coefficient de transmission	W/m ² k
e_i	Epaisseur du matériau	m
h_i	Coefficient d'échange convectif intérieur	W/m ² °C
h_e	Coefficient d'échange convectif extérieur	W/m ² °C
K	Coefficient de transmission surfacique	W/m ² k
$e_{d.s}$	Epaisseur de la dalle de sol	m
$e_{m.p}$	Epaisseur de mortier de pose	m
e_c	Epaisseur de la chape	m
e_p	Epaisseur du polystyrène	m
e_d	Epaisseur de la dalle	m
$e_{p.d}$	Epaisseur de l'après dalle	m

		u
e_c ép	Epaisseur crépi	m
R_g	Resistance surfacique du plancher bas du garage	m ² k/W
R_p	Resistance surface du plancher bas de la maison	m ² k/W
R_{ph}	Resistance surfacique du plancher haut de la maison	m ² k/W
R_m	Resistance surfacique des murs	m ² k/W
K_m	coefficient de transmission surfacique des murs	W/m ² k
K_g	Coefficient de transmission surfacique du plancher bas du garage	W/m ² k
K_p	Coefficient de transmission surfacique de la maison	W/m ² k
K_{ph}	Coefficient de transmission surfacique du plancher haut de la maison	W/m ² k
Φ_p	Flux de chaleur des parois	W
K_p	Coefficient de transmission de la paroi	W/m ² k
S_p	Surface de la paroi	m ²
Φ_i	Flux de chaleur par infiltration	W
K_i	Coefficient de transmission surfacique de la vitre	W/m ² k
S_i	Surface de la vitre	m ²
a_i	Perméabilité du joint	W/m °C
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	m ³ /h
Q_s	Débit supplémentaire par infiltration du vent	m ³ /h
V_h	Volume habitable	m ³
$Q_{v\text{éf}}$	Débit extrait de référence	m ³ /h
Q_v	Débit maximal de référence	m ³ /h
$Q_{v\text{min}}$	Débit minimal de référence	m ³ /h
P_{0j}	Perméabilité surfacique	m ³ /h m ²
A_j	Surface de l'ouvrant	m ²
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
Φ_T	Flux de chaleur par transmission	W
Φ_S	Flux de chaleur par infiltration	W
Φ_O	Flux de chaleur dus aux occupants	W
Φ_M	Flux de chaleur dus aux machines	W
Φ_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_0	Rendement de l'onduleur	-
P_c	Puissance crête	W_c
E_m	Rayonnement solaire global journalier minimal reçue sur le plan des modules	W/m ²
P_c	Puissance crête correspondante à un module	W_c
S_m	Surface d'un module	m ²
S_t	Surface totale occupée par le champ sur me toit	m ²
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 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.

1- Confort thermique

1-1. Introduction :

L'homme est « homéotherme », sa température centrale est stabilisée à 37 C° malgré les variations de température du milieu dans lequel il se trouve. Pour que les performances biologiques, mentales et physiques soient optimales, il faut qu'il y ait équilibre entre la thermogenèse (production de chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur).

La thermogenèse représente la somme des « chaleurs » produites par le métabolisme de base, l'exercice musculaire et les métabolismes ajoutés (par exemple la digestion).

La thermolyse correspond aux échanges de chaleur entre l'organisme de réguler sa température en évacuant la chaleur excédentaire lorsque les conditions le permettent. Parmi ceux-ci, notons : la conduction, le rayonnement et l'évaporation (ventilation pulmonaire, sudation).

1-2. Métabolisme :

L'homme moderne passe en gros 90 % de son temps dans des locaux fermés. Il est donc impératif de prendre toutes les dispositions pour que l'air qu'il respire soit, non seulement correctement renouvelé mais aussi en outre, il soit suffisamment humidifié, principalement en hiver durant la période de chauffage.

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.

Activité	W	W/m ²	Met
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

Tableau 1-1 : les valeurs moyennes de l'énergie dégagée par le corps de l'être humain lors de son activité [05]

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 :

$$M = \dot{Q}_{\text{ray}} + \dot{Q}_{\text{cv}} + \dot{Q}_1 \quad (1.1)$$

Le corps échange de l'énergie calorifique, essentiellement par trois modes de transfert de chaleur :

$$\dot{Q}_r = 7.15 (T_c - T_a)$$

$$\dot{Q}_c = \sigma (T_c^4 - T_a^4) = (T_c^2 - T_a^2)(T_c^2 + T_a^2) = (T_c - T_e)(T_c + T_a)(T_c^2 + T_a^2) \quad (1.2)$$

$$= \varepsilon_c (T_c + T_a)(T_c^2 + T_a^2)$$

Avec

$$h_r = 7,15$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

(1.3)

) Echanges par convection avec l'air ambiant (en W)

$$\phi_c = 5.6 (T_c - T_a) \quad (1.4)$$

) Echanges par évaporation (en W)

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

T_c : température de surface du corps.

T_a : température de l'air (en °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

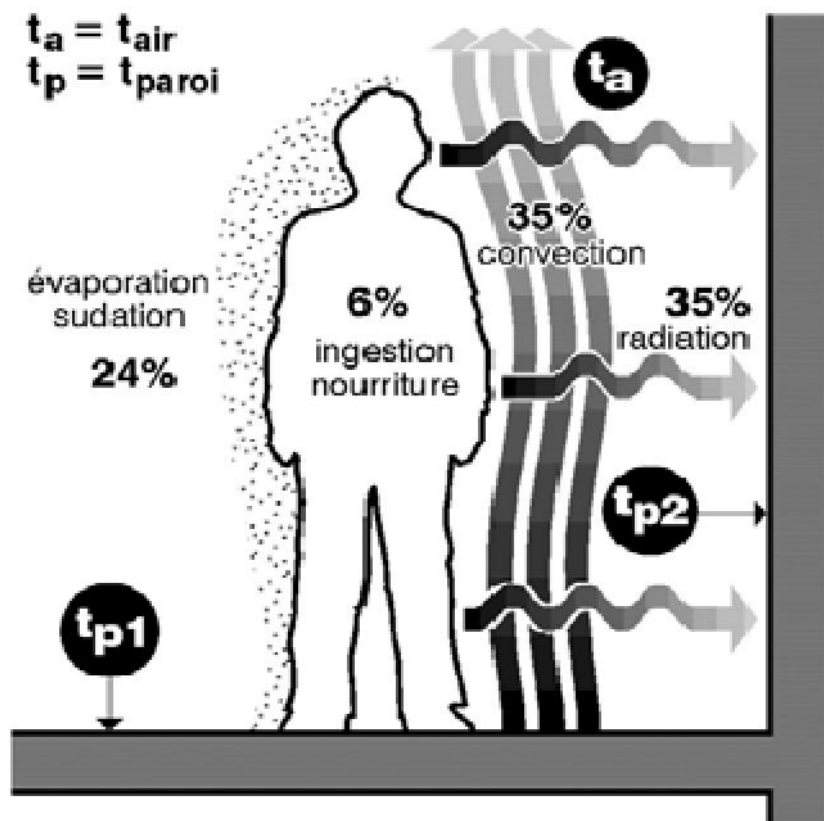


Figure 1-1 : Le bilan thermique de l'homme dans son environnement [02]

1-3. La température du confort

Puisque les échanges par convection et rayonnement interviennent pour 70 % dans le bilan thermique de l'occupant, la température moyenne de la surface intérieure des parois d'un local t_p et la température de l'air ambiant du local t_a sont les facteurs essentiels du confort thermique. C'est la raison pour laquelle la température de confort t_c est définie comme la moyenne entre t_a et t_p : $t_c = \frac{t_a + t_p}{2}$

Un autre facteur de confort est l'homogénéité des températures des parois du local.

A une température de confort t_c donnée, si t_p est faible, on devra augmenter t_a et donc consommer plus d'énergie. Pour atteindre les objectifs de confort, il y a donc intérêt à augmenter la t_p des parois extérieures en les isolants, et à maintenir la température de l'air ambiant la plus uniforme possible. Pour une paroi, augmenter l'isolation thermique accroît sa résistance thermique et diminue par conséquent les déperditions et donc la consommation d'énergie.

1-4. Le conditionnement de l'air :

1-4-1 .Définition :

La notion de conditionnement de l'air a pris naissance en 1902, sous l'impulsion de W.H CARRIER, et en 1929, l'association américaine des ingénieurs en chauffage et ventilation (A.S.H.R.E.A) définissaient le fonctionnement de l'air comme le traitement de l'air assurant la maîtrise simultanée de sa température, son humidité, sa pureté et sa répartition.

Ainsi le conditionnement de l'air, qui a pour but d'assurer un confort thermique, consiste à amener l'air introduit dans un local d'une habitation, à des conditions bien déterminées à savoir :

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

1-4-2. But du conditionnement de l'air

Conditionner l'air, c'est créer à l'intérieur des locaux un climat favorable pour les occupants qui correspond à leurs besoins et leur équilibre physiologique au repos comme à l'activité.

Ainsi, l'homme adulte, se livrant à une activité physique dégage une quantité de chaleur allant jusqu' à 200 kcal/h et 150 kcal/h s'il est au repos. La sensation désagréable éprouvée en atmosphère confinée résulte en partie de la température et de l'humidité trop élevée due à la fois au dégagement calorifique des corps humains et à la vapeur d'eau rejetée par respiration. Les deux facteurs qui sont la température et le degré hygrométrique ne suffisent pas à eux seuls à définir une sensation de bien-être, qui reste toutefois essentielle à la délimitation de zones de confort thermique, un autre facteur non moins important à savoir le degré de pureté qui joue un rôle non négligeable.

En effet, la présence d'occupants dans un local fermé en vicie rapidement l'atmosphère par suite de dégagement de CO₂ résultat de la respiration, de la fumée et des autres odeurs ainsi que des poussières soulevées par les occupants du local pendant l'activité.

2. Généralités sur le transfert thermique

2-1. Introduction

Le transfert de chaleur peut être défini comme étant la transmission de l'énergie d'une région à une autre une fois la différence de température entre elles établi. Il est régi par une combinaison de lois physiques et de relations empiriques déduites de l'expérimentation. Dans la littérature relative à cette discipline, on reconnaît

Généralement trois modes distincts de transmission de la chaleur :

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

2-2. Modes de transfert de chaleur

2-2-1. La convection

Définition

La convection consiste essentiellement en transmission de l'énergie par le mouvement ou le déplacement macroscopique d'une parcelle (grand nombre de molécules), généralement d'un fluide d'une région à autre. Ce mécanisme est accompagné toujours par le transfert d'énergie dû au mouvement moléculaire et qui représente le côté conductif de ce mode.

On distingue deux types de convection :

) La convection naturelle (convection libre) :

Où le mouvement des particules est dû aux différences de température qui sont imposées au fluide. La différence de température implique une différence de masses volumiques (déplacement des particules, dilatation), exemple (chauffage de l'air pour une montgolfière, chauffage de l'eau dans un récipient).

) La convection forcée :

Où le mouvement des particules résulte de la pression appliquée au fluide par l'intermédiaire des moyens mécaniques, (d'une pompe par exemple). Le transfert de la chaleur par convection, se produit entre deux phases dont l'une est généralement au repos et l'autre en mouvement, en présence d'un gradient de température. Le mouvement du fluide peut résulter de la différence de masses volumiques (ρ) due aux différences de températures.

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) :

$$Q = h S (T_p - T_\infty) \quad (1.6)$$

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

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentielles qui décrivent la mécanique des fluides, les échanges d'énergie, les transferts de masse. Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement, ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grandeurs recherchées.

1) Nombre de Prandtl

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

Avec :

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

k : conductivité thermique $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

c_p : Capacité thermique massique à pression constante $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

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 huiles $Pr = 10^2$ 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

V : vitesse caractéristique du fluide m/s

L : Dimension caractéristique m

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

) Nombre de Rayleigh

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

C'est un nombre adimensionnel qui caractérise le transfert de chaleur au sein d'un fluide si le nombre de Rayleigh est inférieur à 1700 le transfert est uniquement par conduction plus de 1700 le transfert est par convection.

) Nombre de Grashof

C'est un nombre adimensionnel qui caractérise la convection libre dans un fluide, il représente le rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses.

Le nombre de Grashof s'écrit :

$$Gr = \frac{g\beta\Delta T L^3 \rho^2}{\mu^2} \quad (1.10)$$

Avec :

g - accélération de la pesanteur

- coefficient de dilatation

T - différence de température

L_c - longueur caractéristique

- Masse volumique du fluide

μ - viscosité dynamique

) Nombre de Péclet

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

Il caractérise la convection forcée.

) Nombre de Nusselt

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

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

Pour arriver à 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 , selon que la convection soit forcée ou naturelle on détermine la corrélation qui donne le nombre de Nusselt et on écrit

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

2-2-2. La conduction

Définition

La conduction est définie comme étant le mode de transmission de la chaleur au sein d'un milieu opaque (solide, liquide ou gazeux), sans déplacement de la matière, en présence d'un gradient de température. Elle s'effectue selon deux mécanismes différents : Une transmission par vibration des molécules ou atomes et une transmission par les électrons libres. Dans ce cas, le transfert de chaleur résulte d'un transfert d'énergie cinétique d'une molécule à une autre molécule adjacente.

a). La conduction en régime permanent

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

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

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

b). La conduction à travers une paroi plane

1. Paroi à une seule couche

La variation de la température suivant l'épaisseur de la paroi est régie par une relation linéaire. Le flux de chaleur passant à travers la paroi est exprimé par la loi de Fourier :

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_s \quad (1.17)$$

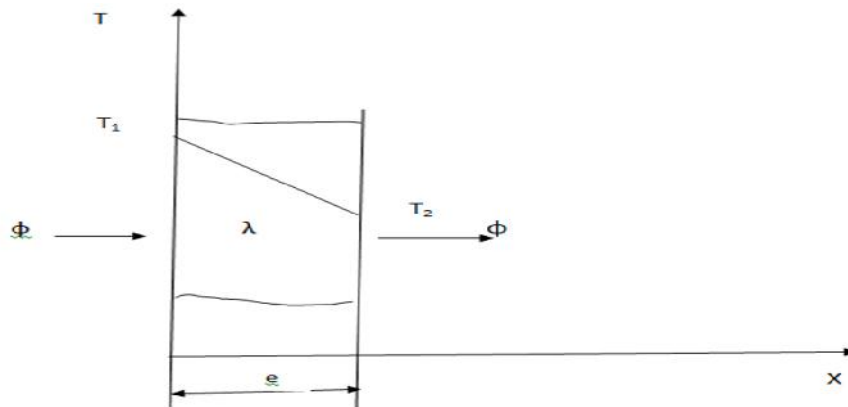


Figure1-2 : paroi plane à une seule couche

Ñ Paroi à plusieurs couches (murs composé)

Considérons une paroi constituée de trois couches de matériaux différents adhérant intimement l'une à l'autre.

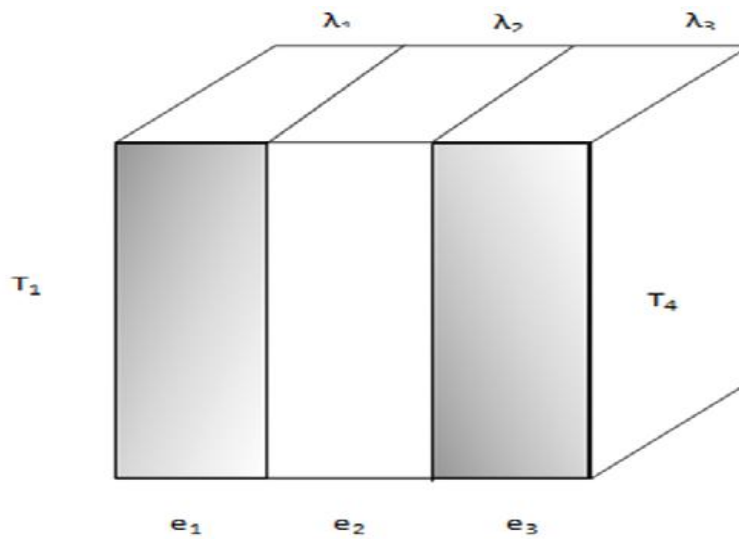


Figure 1-3 : paroi plane à plusieurs couches

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 suivante :

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

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

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

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

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

On peut alors écrire :

$$\left\{ \frac{(T_1 - T_2) \Gamma(T_2 - T_3) \Gamma(T_3 - T_4)}{\frac{e_1}{\lambda_1} \Gamma \frac{e_2}{\lambda_2} \Gamma \frac{e_3}{\lambda_3}} \right. \quad (1.22)$$

Soit :

$$\left\{ X \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{e_1}{\lambda_1} \Gamma \frac{e_2}{\lambda_2} \Gamma \frac{e_3}{\lambda_3}} \right. \quad T_1 > T_4 \quad (1.23)$$

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

$$\dot{W} = X \frac{(T_1 - T_n)}{\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i}} S \quad (1.24)$$

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

Ñ Paroi cylindrique à une seule couche :

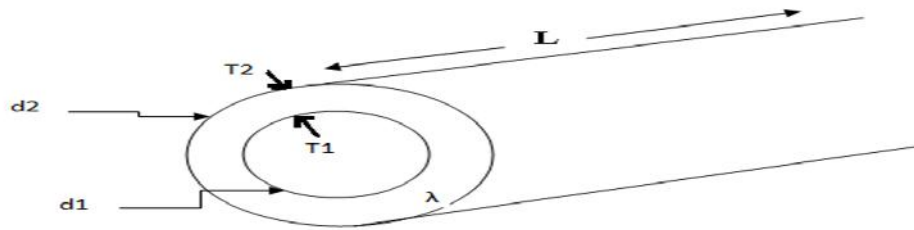


Figure 1-4 : paroi cylindrique à une seule couche

La valeur de flux passant à travers une paroi cylindrique à une seule couche est :

$$w = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2\lambda L} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad T_1 > T_2 \quad (1.25)$$

Ñ Paroi cylindrique à plusieurs couches :

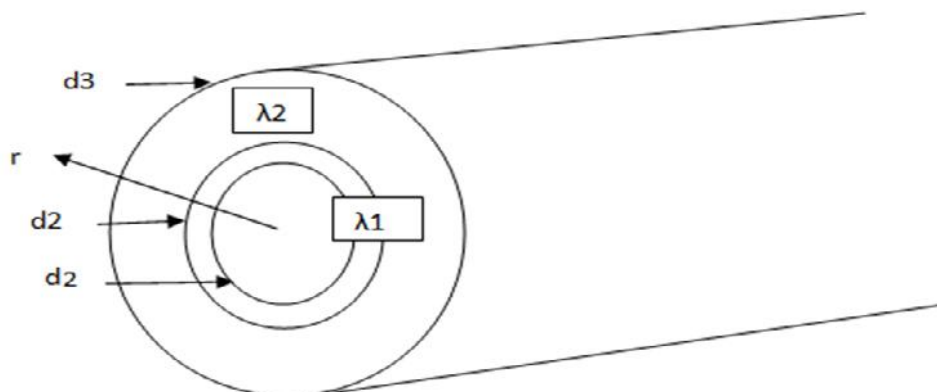


Figure 1-5 : paroi cylindrique à plusieurs couches

Dans le cas d'une paroi composée, l'expression du débit de chaleur s'écrit

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (1.26)$$

d). Paroi sphérique

En régime permanent, la formule donnant le flux de chaleur pour une paroi sphérique de rayon interne r_i et de rayon externe r_e est donné par :

$$\dot{Q} = \frac{4\pi r_i r_e \lambda (T_i - T_e)}{r_e - r_i} \quad T_i > T_e \quad (1.27)$$

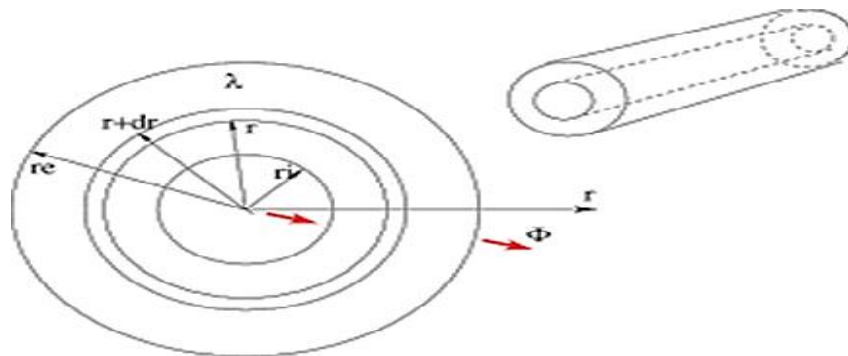


Figure 1-6 : paroi sphérique

La distribution de la température à l'intérieur de la paroi sphérique a une allure hyperbolique. La température, à une distance r du centre, est donnée par :

$$T = T_1 + \frac{\dot{Q}}{4\pi r_i r_e \lambda} \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r} \right) \quad (1.28)$$

2-2-3. Le rayonnement

Définition

Le rayonnement est le transfert d'énergie électromagnétique d'un milieu à haute température vers un autre milieu à basse température sans aucun support matériel (il peut s'effectuer dans le vide). En général, tout corps opaque ou partiellement opaque porté à une température supérieure à zéro Kelvin rayonne de l'énergie dans toutes les directions. Cette énergie est transportée sous forme d'une onde électromagnétique dont la propagation n'exige pas du support matériel. Ce type de transport de chaleur est analogue à la propagation de la lumière et il ne nécessite aucun support matériel, contrairement aux écoulements. Les gaz, les liquides et les solides sont capables d'émettre et d'absorber les rayonnements thermiques.

a).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).

$$\Phi_{ém} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (1.28)$$

Tel que :

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

σ : Constante de Stefan-Boltzmann

S : surface du corps

b).Propriétés du rayonnement calorifique

Lorsqu'un flux d'énergie rayonnée rencontre un corps transparent, une partie de l'énergie est absorbée, une partie est réfléchie, une partie continue son trajet après avoir traversé le corps.

-) Si toute l'énergie incidente est absorbée, le corps est appelé corps noir ou radiateur intégral.
-) Si une partie de l'énergie est absorbée, mais que cette partie est constante quelle que soit la longueur d'onde de l'énergie incidente, on dit que l'on a affaire à un corps gris (dans le cas contraire, à un corps coloré).
-) 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).

2-3. Le coefficient d'échange global

Les trois modes de transfert (conduction, convection et rayonnement) ont lieu le plus souvent simultanément. On définit alors pour une surface d'échange donnée, un coefficient d'échange de chaleur global noté K par :

) Surface plane :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\Gamma_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (1.30)$$

) Surface cylindrique :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2f_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (1.31)$$

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

Conclusion

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.

1-Introduction :

L'isolation thermique est la clé du confort thermique.

Un projet d'isolation thermique, pour réussir, devra être conçu avec une vraie cohérence d'ensemble : 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.

Il est 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.

Il est également intéressant de considérer la possibilité de l'isolation thermique par l'extérieur, qui offre de grands avantages en termes de simplicité technique et de performance par rapport aux ponts thermiques.

Selon l'ADMEME, 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]

2-Polystyrène :

Le PSE ou polystyrène expansé est obtenu par mélange d'un gaz et de PS cristal. Des transformateurs introduisent les perles de PS cristal dans des pré-expanseurs. Sous l'action de la température et de la pression de vapeur d'eau, le gaz d'expansion les fait gonfler jusqu'à 50 fois leur volume initial. Les perles, expansées et stabilisées, sont ensuite introduites dans des moules en forme de blocs pour une découpe ultérieure en panneaux ou directement à la forme de la pièce finie. Là, à nouveau sous l'effet de la température et de la pression de vapeur d'eau, les perles expansées s'agglomèrent en une pièce moulée.

Le mélange sous forme de plaques ou feuilles peut être directement extrudé pour faire des isolants de plus haute densité.

L'expansée, la plus connue, à cellules fermées, de sigles PSE (EPS pour Expanded polystyrène) ou PS-E selon la même norme (densité très faible, rigide, blanc, bon amortisseur de choc, économique) (appelé « frigolite » en Belgique, « Sagex » en Suisse et « Styromousse » au Canada).

L'application la plus connue du grand public est le polystyrène expansé ou PSE (parfois appelé "frigolite"), mousse blanche compacte qui sert à emballer les appareils sensibles aux chocs (électroménager ...)



Figure 2-1 : Polystyrène 3D

) Résistance aux chocs :

- ✓ Articles de décoration ou matériel de bureau en PS cristal injecté : double-décimètres, équerres et rapporteurs d'écolier.
- ✓ Logistique - Calages en PSE : transport de produits fragiles (électroménager ; lave-linge, ordinateur, sèche-linge, réfrigérateur, four etc.)
- ✓ Maquettisme (maquette) : pièces moulées de PSE à peindre, 'carte plastique' en PS choc. Le côté cassant de ce type de polystyrène est souvent très atténué pour permettre un maximum de manipulation.

) Isolant thermique :

- ✓ Bâtiment/constructions - Panneaux et blocs en PSE : cloisons isolantes - plancher (isolation sous dalle, isolation sous chape) - toitures - coffrages (ils permettent d'ériger des murs en béton armé isolés en une seule opération).
- ✓ Froid - Parois en PSE : camions frigorifiques, glaciers chambres frigorifiques.

) Résistance à la compression :

- ✓ Emballage en PSE : barquettes alimentaires de produits frais, caisses marées et cales.
- ✓ Travaux publics et génie civil - Blocs en PSE : Remblayage de routes et autoroutes - Talus - Murs antibruit - Culées de ponts - Protection de conduits enterrés - Pontons.

4-Caractéristiques principales de l'isolation thermique :**4-1- La conductivité thermique**

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ ou K voire k , cette grandeur apparaît notamment dans la loi de Fourier

En physique, la conductivité thermique est la grandeur introduite pour quantifier l'aptitude d'un corps à conduire de la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous l'action d'une différence de température entre les deux extrémités d'un échantillon de ce corps, donc en présence d'un gradient de température.

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

4-2-La résistance thermique

($R = 1/K$) ou coefficient de conductance K . La résistance thermique est le rapport de l'épaisseur d'un matériau à sa conductivité thermique (e/λ). Elle s'exprime en mètre carré par degré Celsius par watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$). Plus R est élevée, meilleure est la performance d'isolation. Ce qui diminue les déperditions en hiver et les apports thermiques en été (transfert de chaleur par parois et vitrage). Dans un mur constitué de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs différentes, la relation donnant la résistance thermique s'écrit comme suit :

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

Où :

$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$: Somme des coefficients d'échange superficiels externe et interne 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 où ce coefficient tient compte des paramètres de facteurs de forme, dû à l'interaction entre toutes les surfaces internes à l'habitat avec un échange de rayonnement par infrarouge. Ils dépendent aussi des émissivités d'absorption de la voûte céleste et du sol par rapport à la surface externe les deux coefficients sont donnés en détails.

5-Déperditions thermiques :

5-1-Déperditions surfaciques par transmission

Les déperditions d'une paroi dépendent 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 reliant ces pertes est donnée comme suit :

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

Où :

K_i : Coefficient de transmissions surfacique en $(W/m^2.K)$.

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

ΔT : $(T_i - T_e)$ différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($^{\circ}C$)

5-2-Déperditions linéiques :

La relation nous permettant de calculer les déperditions linéiques est donnée comme suit :

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

Où :

K : Coefficient d'échange de transmission linéique de la liaison en $(W/m^2.K)$.

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

5-3-Déperditions par renouvellement d'air :

On distingue deux cas de pertes par renouvellement d'air :

Celles dues au débit des infiltrations et celles des ventilations spécifiques. Toutes les deux doivent être prises en compte. Ainsi les déperditions par renouvellement d'air s'expriment comme suit :

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

Où :

$$q_e = q_i + q_v$$

Avec :

q_e, q_i, q_v : Respectivement débit entrant par infiltration, débit par ventilation (m^3/h).

6-Types d'isolation :

De manière générale, il existe deux types d'isolation thermique : 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. Les isolants généralement utilisés sont des plaques isolantes, qui se fixent au mur soit par vissage, soit par collage.

) Isolation par l'intérieur

Elle représente l'avantage d'être maîtrisée par tous les intervenants du bâtiment, mais elle est loin d'être la plus courante. Les isolants intérieurs, plus ils sont performants.

Plus l'influence relative de ponts thermiques s'accroît. Rappelons aussi qu'une isolation intérieure, même performante, présente toujours une faible inertie thermique.

) Isolation par l'extérieur

L'isolation des murs par l'extérieur est une méthode qui présente l'avantage d'être plus efficace pour le traitement des ponts thermiques, notamment ceux des planchers intermédiaires. L'isolation par l'extérieur permet également de bénéficier pleinement de l'inertie thermique des parois en maçonnerie, qu'elle protège des changements de températures. En été, cela permet d'économiser sur la climatisation, en évitant que les murs accumulent la chaleur.

) Isolation intégrée

Cette technique intègre directement l'isolation dans les murs. En outre elle permet de gagner du temps, de réduire les ponts thermiques et de faciliter la mise en œuvre.

6-1-caractéristiques des matériaux utilisés pour la maison écologique :

Dans la maison écologique, nous avons choisi une série de matériaux avec des caractéristiques bien définies pour une isolation optimale. Pour toutes les parois de la maison, le sol, les murs et les fenêtres, l'isolation a été bien étudiée.

6-2-Types de matériaux

) Les murs

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
BA13	0.013	0.27
Enduitciment	0.03	1.1
Polystyrene	0.16	0.034
Enduitciment	0.03	1.1

Tableau 2-1 : Les matériaux utilisés pour l'isolation des murs.[01]

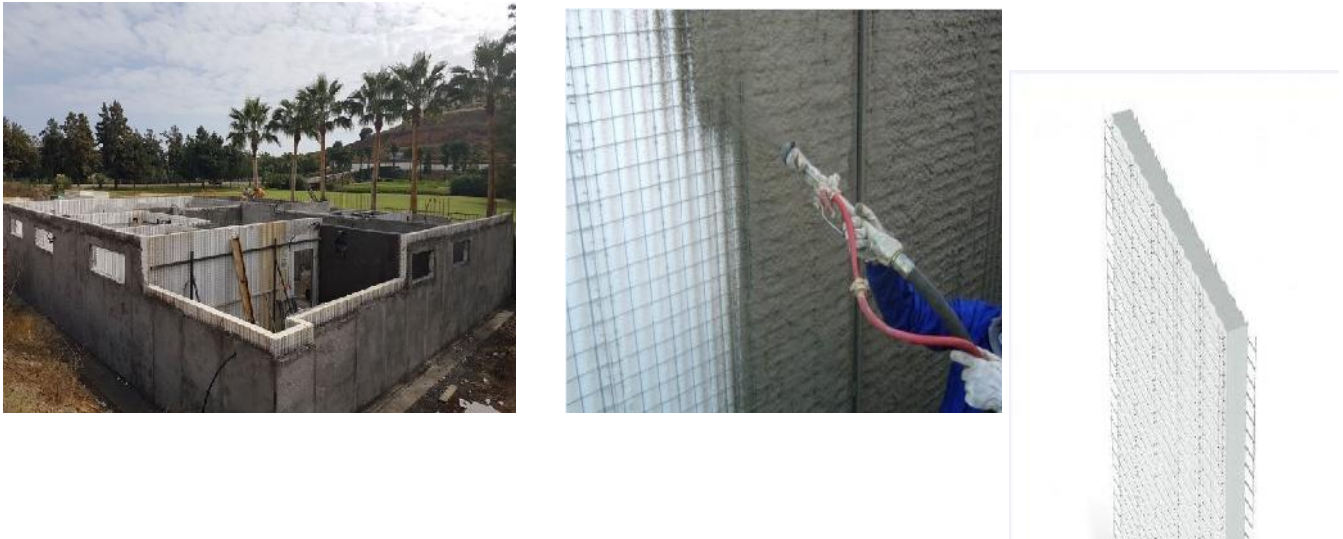


Figure 2-2 : Composition du mur en polystyrène

) Les parois vitrées

Pour les parois vitrées, nous avons utilisé des fenêtres en PVC traité avec un double vitrage.

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Verre	0,01	1,5
Argon	0.01	0.017

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

) Le plancher haut du garage

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Polystyrène	0.16	0.034
Crépi	0.03	1.1

Tableau 2-3 : Matériaux utilisés pour le plancher haut du garage.[01]

) Le plancher bas du garage

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Polystyrène	0.16	0.034
Dalle	0.10	1.27
Prédalle	0.15	1.279

Tableau 2-4 : Matériaux utilisés pour le plancher bas du garage.[01]



Figure 2-3 : Plancher bas du garage

) Le plancher haut de la maison

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol anti dérapage	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.05	0.9
Polystyrène	0.16	0.034
Crépi	0.03	1.1

Tableau 2-5 : Matériaux utilisés pour le plancher haut de la maison.[01]

) Le plancher bas de la maison

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier	0.02	1.4
Chape	0.07	1.92
Polystyrène	0.1	0.034
Crépi	0.03	1.1

Tableau 2-6 : Matériaux utilisés pour le plancher bas de la maison.[01]



Figure 2-4 : Plancher haut de la maison

7-Inertie thermique :

Dans les matériaux de construction couramment utilisés, l'inertie thermique d'un bâtiment se juge en première approximation par la masse interne d'un matériau mis en œuvre. Toutefois le rôle et les principaux paramètres sont énoncés comme suit :

En été, plus l'inertie thermique de l'habitation augmente, plus la température maximale atteinte est faible, et plus les variations des températures jour/nuit sont faibles. L'inertie thermique permet donc de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. L'utilisation des matériaux lourds contribue à donner au bâtiment une forte inertie. Elle évite les surchauffes et aide à la stabilisation de la température.

En hiver, l'inertie thermique joue également un rôle important, principalement dans le cas du chauffage intermittent. Le refroidissement est plus lent dans un local dont les parois sont lourdes. Les coupures de chauffage, visant à faire des économies d'énergie, sont d'autant moins intéressantes que la structure est plus inerte, car plus lourde.

7-1-Les principales caractéristiques de l'inertie thermique sont :

) La diffusivité thermique :

La diffusivité thermique « a » exprime la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus la diffusivité thermique est élevée, plus le matériau s'échauffe ou se refroidit rapidement. Tandis que, plus elle est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau. La diffusivité thermique s'exprime selon l'équation suivante :

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

Où :

a : diffusivité en (m^2/s).

λ : conductivité thermique en ($W/m.K$).

ρ : la masse volumique en (kg/m^3).

C : chaleur spécifique en ($J/kg K$).

) L'effusivité thermique :

L'effusivité thermique « b » exprime l'aptitude de la surface d'un matériau à stocker ou à restituer de la chaleur. Elle caractérise donc la capacité des matériaux à réagir plus au moins rapidement à un apport de chaleur au logement. Elle accroît avec la conductivité et la capacité thermique. Elle s'exprime en ($W K^{-1}.m^{-2} s^{1/2}$) est donnée par la formule suivante :

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

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

Conclusion :

Les portes, les fenêtres, les planchers et les murs extérieurs d'une construction constituent des ponts thermiques, c'est-à-dire des points de transferts de chaleur. Ce sont sur ces points que doit se concentrer l'isolation thermique. Dans l'idéal, une maison bien isolée conserve la chaleur en hiver et la fraîcheur en été.

Les principes d'isolation thermique dans l'optique de limiter la consommation d'énergie due au chauffage. En ce qui concerne l'isolation des murs, on distingue l'isolation intérieure, l'isolation extérieure et l'isolation intégrée. Les matériaux isolants employés pour les travaux d'isolation thermique sont les isolants synthétiques (polystyrène).

Les principes d'isolation thermique dans l'optique de limiter la consommation d'énergie due au chauffage. En ce qui concerne l'isolation des murs, on distingue l'isolation intérieure, l'isolation extérieure et l'isolation intégrée. Les matériaux isolants employés pour les travaux d'isolation thermique sont les isolants synthétiques (polystyrène).

1-Introduction :

Dans cette partie il s'agit de faire une étude thermique d'une maison écologique, c'est à dire bien isolée.

La maison a son architecture (garage et un étage avec une terrass 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.

2-Description du plancher bas :

Le plancher bas se constitue d'une dalle suivie d'une dalle isolé avec une couche du polystyrène ensuite suivie de la chape et du mortier de pose et pour finir la dalle de sol.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/mK)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier de pose	0.02	1.4
Chape	0.07	1.92
Polystyrène	0.1	0.034
Dalle	0.10	1.27
Pré dalle	0.15	1.279

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

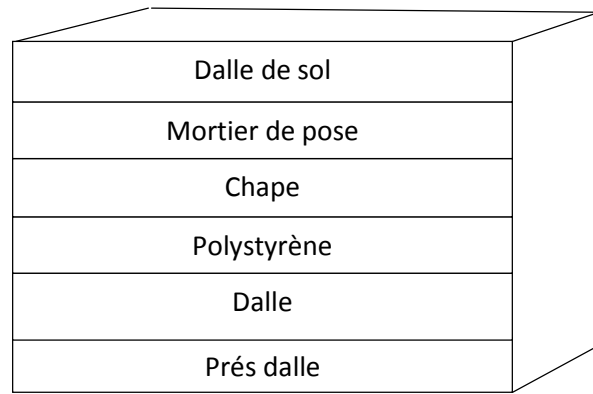


Figure 3-1 : schéma du plancher bas du garage

2-1-Constitution et description des murs

Les murs sont composés de polystyrène expansé sous forme de panneaux recouverts avec du trait à soudé et une couche d'enduit ciment et de plaques de BA13 par l'intérieur.

Couche	BA13	Enduit ciment	Polystyrène	Enduit ciment
Epaisseur (m)	0.013	0.03	0.16	0.03
Conductivité Thermique (W/mK)	0.27	1.1	0.034	1.1

Tableau 3-2 : les caractéristiques des matériaux composant les murs

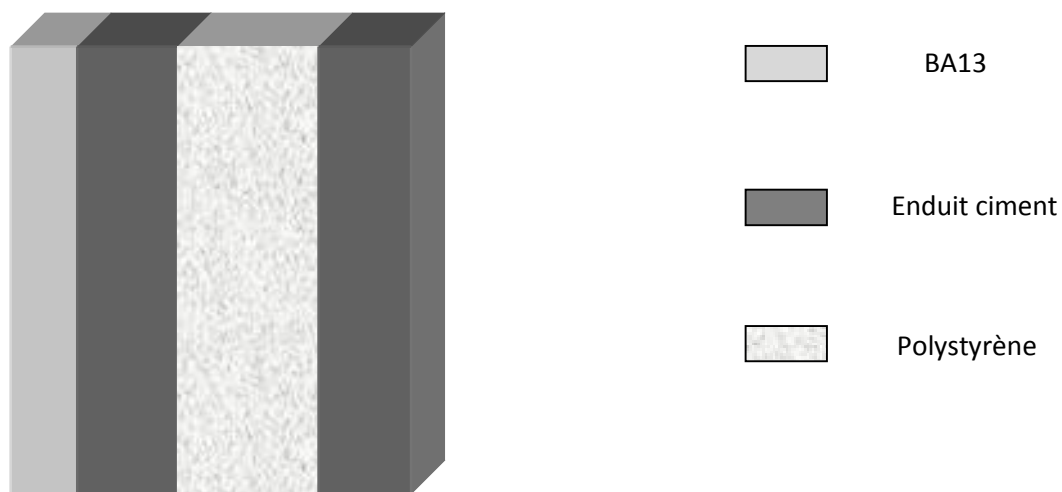


Figure 3-2 : schéma des murs de la maison

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

Le plancher bas de la maison se constitue d'une couche de crépissage isolé avec du polystyrène d'épaisseur 16 cm suivie par de la chape et le mortier pour finir avec la dalle de sol.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol	0.01	1
Mortier de pose	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Polystyrène	0.16	0.034
Crépis ciment	0.03	1.1

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

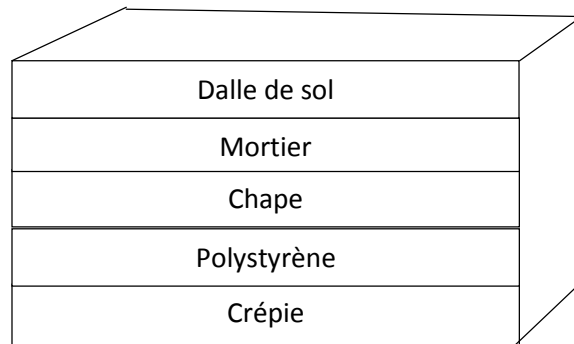


Figure 3-3 : schéma du plancher bas de la maison

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 polystyrène d'épaisseur 16 cm suivie par la chape et le mortier pour finir avec la dalle de sol anti dérapage.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Dalle de sol anti dérapage	0.01	1
Mortier de pose	0.02	1.4
Chape	0.05	1.9
Polystyrène	0.16	0.034
Crépis ciment	0.03	1.1

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

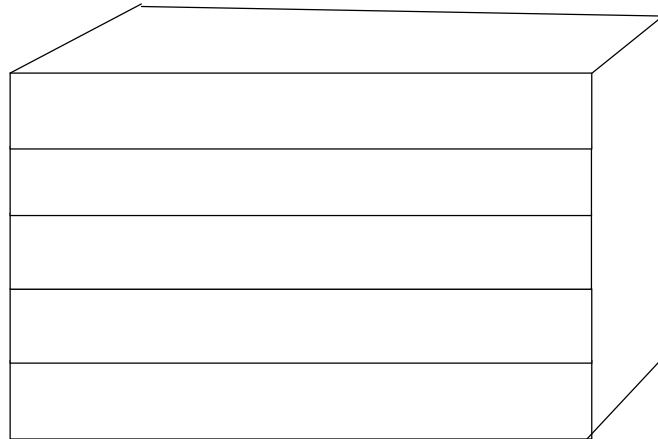


Figure 3-4 : schéma du plancher haut de la maison

2-4-Les parois vitrées

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

2-5-La résistance thermique surfacique R

Elle est obtenue par la somme des résistances de chaque matériau et les résistances superficielles intérieures et extérieures, elle est donnée par la relation suivante :

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

Avec :

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

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

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 :

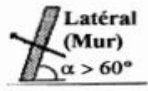
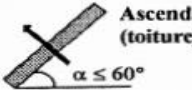
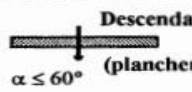
$\frac{l}{h}$ en $m^2 \cdot ^\circ C/W$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha \leq 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher) $\alpha \leq 60^\circ$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tableau3-5 : les valeurs des résistances superficielles.[01]

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

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

2-6-Calcul du coefficient de transmissions surfacique K

) Plancher bas du garage

$$R_g = \frac{1}{h} + \frac{e_{d.s}}{\lambda_{d.s}} + \frac{e_{m.p}}{\lambda_c} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_d}{\lambda_d} + \frac{e_{p.d}}{\lambda_{p.d}} + \frac{1}{h_e} \quad (3.2)$$

$$= 5.1 \text{ m}^2.K/W$$

$$K_g = \frac{1}{R} = 0.19 \text{ W/m}^2.K$$

) Plancher bas de la maison

$$R_{pb} = \frac{1}{h_i} + \frac{e_d}{\lambda_d} + \frac{e_m}{\lambda_m} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_c \text{ ép}}{\lambda_c \text{ ép}} + \frac{1}{h_e} \quad (3.3)$$

$$= 5.12 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$K_{pb} = \frac{1}{R} = 0.19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

) Plancher haut de la maison

$$R_{ph} = \frac{1}{h_i} + \frac{e_d}{\lambda_d} + \frac{e_m}{\lambda_m} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_c \text{ ép}}{\lambda_c \text{ ép}} + \frac{1}{h_e} \quad (3.4)$$

$$= 5 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$K_{ph} = \frac{1}{R} = 0.20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

) Les murs

$$R_m = \frac{1}{h_i} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_e} + \frac{e_e}{\lambda_e} + \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_e}{h_e} + \frac{1}{h_e} \quad (3.5)$$

$$= 4.97 \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$K_m = \frac{1}{R} = 0.20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

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°.

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

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

Avec :

K_p : Le coefficient de transmission de la paroi (w/m²k)

S_p : Surface de la paroi (m²)

ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C)

3-2-Le flux de chaleur par infiltration

$$\phi_i = k_i \times S_i \times \Delta T + \sum (a_i l_i) \quad (R.H) \quad (3.7)$$

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

S_i : Surface de la vitre (m²)

ΔT : 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 local

H : constante d'immeuble

3-3-Les déperditions par renouvellement d'air

Elles doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des habitations.

Pour un logement :

$$D_R = 0.34 (Q_V + Q_S) \quad (3.8)$$

Avec :

0.34 est la chaleur volumique de l'air (W/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 :

$$Q_V = \max [0.6 \times V_h; Q_{\text{réf}}] \quad (m^3/h) \quad (3.9)$$

V_h : Volume habitable (m³)

$Q_v \text{ éf}$: Débit extrait de référence (m³/h)

$$Q_v \text{ éf} = \frac{5Q_v + Q_v}{6} \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3.10)$$

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

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

Tableau 3-6 : Les valeurs de débits Q_v de référence.[01]

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

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

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

$$Q_s = P_p e_v \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3.11)$$

$$P_p = A_J P_{oJ} \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3.12)$$

P_{oJ} : perméabilité surfacique. (m³/h.m²)

A_J : surface de l'ouvrant (m²)

- e_v coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i

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 3-8 : Les valeurs de la perméabilité P_0 . [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

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

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 .

$$\phi_1 = K_1 S_1 (T_1 - T_L) \quad (3.13)$$

Avec : $K_1 = K_2$ et $S_1 \neq S_2$

$$\phi_2 = K_2 S_2 (T_L - T_e) \quad (3.14)$$

On posant :

$$\phi_1 = \phi_2$$

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

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

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

$$T_L = 12.65 \text{ °C} \approx 13 \text{ °C}$$

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

Posant :

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

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

$\phi_f = K_f S_f (T_L - T_e)$ Le flux de chaleur qui traverse la fenêtre de surface S_f

$\phi_{m2} = K_{2m} S_{2m} (T_L - T_e)$ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_2

Donc :

$$K_{1m} S_{1m} (T_1 - T_L) + k_p S_p (T_1 - T_L) = K_{2m} S_{2m} (T_L - T_e) + K_f S_f (T_L - T_e)$$

$$T_L = \frac{T_1 (K_{1m} S_{1m} + k_p S_p) + T_e (K_f S_f + K_{2m} S_{2m})}{(K_{1m} S_{1m} + k_p S_p + K_f S_f + K_{2m} S_{2m})}$$

$$T_L = 15.85 \text{ °C} \approx 16 \text{ °C}$$

4-Calcul des déperditions par renouvellement d'air :

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

$$Q_{v \max} = [0,6 \times V_h ; Q_{\text{réf}}]$$

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

$Q_{v \min}$ 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 la somme des débits maximal de références

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

$$Q_{v \text{ réf}} = \frac{5 \times 1 + 1}{6} = 142,566 \text{ m}^3/\text{h}$$

4-1-Calcul le volume habitable V_h :

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

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

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

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

$$\text{Cuisine} = 36,230 \text{ m}^3$$

$$\text{Salle de bain} = 15,353 \text{ m}^3$$

$$\text{W.C} = 9,894 \text{ m}^3$$

$$\text{Cage d'escalier} = 118,287 \text{ m}^3$$

Donc:

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

$$Q_{v \text{ max}} = 0,6 \times V_h = 0,6 \times 452,652 = 271,575 \text{ m}^3/\text{h}$$

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

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

4-2-1-Calcul de perméabilité P_{pi} :

$$P_{pi} = \sum A_j P_{\circ j}$$

) **Surface Porte fenêtres** : $S = 2,64 \text{ m}^2$

$$P_{pi p} = 4 \times 2,64 \times 1,2 = 12,672$$

) **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:

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

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 hivernal**:

Parois	Orientation	longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface de vitre (m ²)	Surface nette (m ²)	K	T (C°)	Ɛal	RH	KS T	(W)
ME	O	9,6	2,96	28,416	0	28,416	0,2	5			28,416	28,416
ME ₁	N	12	2,96	35,52	2,4	33,12	0,2	5			33,12	33,12
ME ₂	N	3	2,96	8,88	0	8,88	0,2	10			17,76	17,76
ME	E	8,35	2,96	24,716	0	24,716	0,2	10			49,432	49,432
ME ₁	S	0,35	2,96	1,036	0	1,036	0,2	5			1,036	1,036
ME ₂	S	1	2,96	2,96	0	2,96	0,2	5			2,96	2,96
ME ₃	S	1	2,96	2,96	0	2,96	0,2	5			2,96	2,96
ME ₄	S	0,35	2,96	1,036	0	1,036	0,2	5			1,036	1,036
ME ₅	S	1,7	2,96	5,032	3,12	1,912	0,2	10			3,824	3,824
MI ₁	O	8,35	2,96	24,716	0	24,716	0,2	5			24,716	24,716
MI ₂	O	1,25	2,96	3,7	0	3,7	0,2	5			3,7	3,7
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	5,52	85,68	238,032
PE ₄	S	1,3	2,2	2,86		3,12	1,5	10	18,4	5,52	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	0,19	5			109,44	109,44
											∅ ₁ =	1430,976

Tableau 3-10 : Bilan hivernal du garage

	Orientation	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Surface vitre (m ²)	Surface nette (m ²)	K	T (c°)	KS T	Ɛal	RH	(W)
ME ₃	O	3,3	3,06	10,098		10,098	0,2	10	20,196			20,196
ME ₂	O	3,8	3,06	11,628	0,48	11,148	0,2	8	17,8368			17,8368
MI	O	3,8	3,06	11,628	4,136	7,492	0,2	2	2,9968			2,9968
MI ₂	SO	2,23	3,06	6,8238	0	6,8238	0,2	2	2,72952			2,72952
MI ₁	NO	2,23	3,06	6,8238	0	6,8238	0,2	2	2,72952			2,72952
ME ₁	O	3,5	3,06	10,71		10,71	0,2	10	21,42			21,42
ME ₁	N	8,3	3,06	25,398	3,36	22,038	0,2	10	44,076			44,076
ME ₂	N	7	3,06	21,42	2,64	18,78	0,2	10	37,56			37,56
ME	E	9,6	3,06	29,376		29,376	0,2	10	58,752			58,752
ME ₁	S	3	3,06	9,18	2,64	6,54	0,2	10	13,08			13,08
ME ₂	S	4,3	3,06	13,158	1,68	11,478	0,2	10	22,956			22,956
ME ₃	S	7,9	3,06	24,174	5,28	18,894	0,2	10	37,788			37,788
ME	SE	1,4	3,06	4,284		4,284	0,2	10	8,568			8,568
ME	SO	1,4	3,06	4,284		4,284	0,2	10	8,568			8,568
FE ₁	N	1,4	1,2	1,68		1,68	1,5	10	25,2	12,8	5,52	95,856
FE ₂	N	1,4	1,2	1,68		1,68	1,5	10	25,2	12,8	5,52	95,856
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	69,7992
PI ₂	O	0,74	2,2	1,628		1,628	1,5	2	4,884	11,8	5,52	69,7992
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	0,2	10	340,2			374,22
Plancher bas	cher bas	9,6	12	115,2		115,2	0,19	5	109,44			109,44
												∅ ₂ = 1815,84304

Tableau 3-11 : Bilan hivernal du premier étage

5-Bilan estival :

Celui-ci est établi selon des températures de base l'une correspondant au confort T_c qui est de 22 °C et la température extérieure moyenne de base qui est de 50°C.

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

$$\Phi_F = \Phi_T + \Phi_S + \Phi_O + \Phi_M + \Phi_E \quad (3.15)$$

$$\text{Apports externes} = \Phi_T + \Phi_S$$

$$\text{Apports internes} = \Phi_O + \Phi_M + \Phi_E$$

5-1-Le flux de chaleur par transmission :

$$\Phi_T = K_p \times S_p \times \Delta T \quad (w) \quad (3.16)$$

Avec :

K_p : Le coefficient de transmission de la paroi (w/m²k)

S_p : Surface de la paroi (m²)

ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C)

5-2-Le flux de chaleur par infiltration :

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

a : constante du vitrage

c : coefficient de la vitre

s : surface du vitre

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

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

$$\Phi_M = 0.86 \times p_m \times N \times C_c \quad (3.18)$$

P_m : Puissance de la machine

N : Nombre de machine C_c : Rendement de la machine

C_c : Coefficient de correction

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

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

5-5-Appports internes :**) Apports dus aux occupants :**

$$\Phi_o = A \times c \times p_s \times n \quad (3.20)$$

$$p_s : 170 \text{ kcal /h} = 170 \times \frac{4}{3} = 197,38 \text{ W} \text{ Activité légère (assis) et repos debout}$$

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

n : Nombre d'occupant $n=4$.

$$\Phi_o = 197,38 \times 4 \times 1 = 789,52 \text{ W}$$

) Apports dus à l'éclairage :

Chaque surface a une ampoule classique de 10 W.

Nous avons 13 lampes donc,

$$\Phi_E = 13 \times 10 = 130 \text{ W}$$

) Apports dus aux appareils électriques :

$$\Phi_M = 0.86 \times p_m \times n \times c_c$$

$$\text{Téléviseurs : } n=2, \quad p_m=70\text{W}, \quad c_c=0.96, \quad = 0.86 \times 70 \times 2 \times 0.99 = 119.196 \text{ W.}$$

Ordinateurs : $n=2$, $p_m=100\text{W}$, $c_c=0.96$, $\Phi_{in} = 0.86 \times 100 \times 2 \times 0.96 = 165.12\text{W}$.

Réfrigérateur : $n=1$, $p_m=75\text{W}$, $c_c=0.99$, $\Phi_{in} = 0.86 \times 75 \times 1 \times 0.99 = 63.855\text{W}$.

$$\Phi_M = 348.171\text{W}$$

Donc :

$$\Phi_{in} = 1267,691\text{ W}$$

$$\Phi_e = \Phi_{in} + \Phi_e = 1267,691 + 5794.62392 = 70623,31492\text{ W}$$

$$\Phi_e = 70623,31492\text{ W}$$

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

Posant Φ_1 le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_1 et Φ_2 le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_2 .

$$\Phi_1 = K_1 S_1 (T_1 - T_{L n-c}) \quad T_e = 50^\circ\text{C}$$

$$\Phi_2 = K_2 S_2 (T_{L n-c} - T_e) \quad T_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$K_1 = K_2$$

$$S_1 \neq S_2$$

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

$$T_{L n-c} = \frac{S_1 T_1 + S_2 T_e}{(S_2 + S_1)} = \frac{24,716 \times 22 + 28,416 \times 50}{(24,716 + 28,416)} = 36,97^\circ\text{C} \approx 37^\circ\text{C}$$

Calcul de la température de SDB et WC non climatisé :

Posant :

$\Phi_{m1} = K_{1m} S_{1m} (T_1 - T_{L n-c})$ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_1

$\Phi_p = k_p S_p (T_1 - T_{L n-c})$ Le flux de chaleur qui traverse la porte de surface S_p

$\Phi_f = K_f S_f (T_{L n-c} - T_e)$ Le flux de chaleur qui traverse la fenêtre de surface S_f

$\Phi_{m2} = K_{2m} S_{2m} (T_{L n-c} - T_{ex})$ Le flux de chaleur qui traverse le mur de surface S_2

Donc :

$$K_{1m} S_{1m} (T_1 - T_{Ln-c}) + k_p S_p (T_1 - T_{Ln-c}) = K_{2m} S_{2m} (T_{Ln-c} - T_e) + K_f S_f (T_{Ln-c} - T_e)$$

$$T_{Ln-c} = \frac{T_1 (K_{1m} S_{1m} + k_p S_p) + T_e (K_f S_f + K_{2m} S_{2m})}{(K_{1m} S_{1m} + k_p S_p + K_f S_f + K_{2m} S_{2m})}$$

$$T_{Ln-c} = 28.12 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 28^\circ\text{C}$$

paroi extérieur local	Longueur(m)	largeur(m)	hauteur(m)	surface (m ²)	surface vitre (m ²)	surface nette (m ²)	K w/m ² k	T (c°)	ƒal	RH	KS T	Φ
ME-Ouest	9,6	-	2,96	28,416	0	28,416	0,2	13			73,8816	73,8816
ME1-Nord	12	-	2,96	35,52	2,4	33,12	0,2	13			86,112	86,112
ME2-Nord	3	-	2,96	8,88	0	8,88	0,2	13			23,088	23,088
ME-Est	8,35	-	2,96	24,716	0	24,716	0,2	28			182,8984	182,8984
ME1-Sud	0,35	-	2,96	1,036	0	1,036	0,2	13			2,6936	2,6936
ME2-Sud	1	-	2,96	2,96	0	2,96	0,2	13			7,696	7,696
ME3-Sud	1	-	2,96	2,96	0	2,96	0,2	13			7,696	7,696
ME4-Sud	0,35	-	2,96	1,036	0	1,036	0,2	13			2,6936	2,6936
ME5-Sud	1,7	-	2,96	5,032	3,12	1,912	0,2	28			14,1488	14,1488
MI1-Est	8,35	-	2,96	24,716	0	24,716	0,2	15			74,148	74,148
MI2-Est	1,25	-	2,96	3,7	0	3,7	0,2	13			9,62	9,62
FE1-Nord	1	-	0,8	0,8		0,8	1,5	13	7,2	5,52	15,6	55,344
FE2-Nord	1	-	0,8	0,8		0,8	1,5	13	7,2	5,52	15,6	55,344
FE3-Nord	1	-	0,8	0,8		0,8	1,5	13	7,2	5,52	15,6	55,344
PE1-Sud	3	-	2,4	7,2		7,2	2,38	13	27,6	5,52	222,768	375,12
PE2-Sud	3	-	2,4	7,2		7,2	2,38	13	27,6	5,52	222,768	375,12
PE3-Sud	3	-	2,4	7,2		7,2	2,38	13	27,6	5,52	222,768	375,12
PE4-Sud	1,3		1,2	1,56		1,56	2,38		18,4	5,52	137,3736	238,9416
Plancher bas 1	9,6		12	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	0,19	15			328,32	328,32
												Φ ₁ =2461,1396

Tableau 3-12 : Bilan estivale du garage

paroi extérieur local	Longueur(m)	largeur(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	Φ
ME1-Nord	8,3		3,06	25,398	3,36	22,038	0,2	28			123,4128	123,4128
ME2-Nord	7		3,06	21,42	2,64	18,78	0,2	28			105,168	105,168
ME3-Ouest	3,3		3,06	10,098		10,098	0,2	28			56,5488	56,5488
ME2-Ouest	3,8		3,06	11,628	0,48	11,148	0,2	22			49,0512	49,0512
MI-O	3,8		3,06	11,628	4,136	7,492	0,2	6			8,9904	8,9904
MI2-SO	2,23		3,06	6,8238		6,8238	0,2	6			8,18856	8,18856
MI1-NO	2,23		3,06	6,8238		6,8238	0,2	6			8,18856	8,18856
ME-Ouest	3,5		3,06	10,71		10,71	0,2	28			59,976	59,976
ME-Est	9,6		3,06	29,376		29,376	0,2	28			164,5056	164,5056
ME1-Sud	7,9		3,06	24,174	5,28	18,894	0,2	28			105,8064	105,8064
ME2-Sud	4,3		3,06	13,158	1,68	11,478	0,2	28			64,2768	64,2768
ME3-Sud	3		3,06	9,18	2,64	6,54	0,2	28			36,624	36,624
ME4-Sud	1,4		3,06	4,284		4,284	0,2	28			23,9904	23,9904
ME5-Sud	1,4		3,06	4,284		4,284	0,2	28			23,9904	23,9904
FE1-Nord	1,4		1,2	1,68		1,68	1,5	28	12,8	5,52	70,56	141,216
FE2-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
PE1-Sud	1,2		2,2	2,64		2,64	1,5	28	13,6	5,52	110,88	185,952
PE2-Sud	1,2		2,2	2,64		2,64	1,5	28	13,6	5,52	110,88	185,952
FE1-Sud	1,4		1,2	1,68		1,68	1,5	28	12,8	5,52	70,56	141,216
PE3-Sud	1,2		2,2	2,64		2,64	1,5	28	13,6	5,52	110,88	185,952
PI1-Ouest	0,74		2,2	1,628		1,628	1,5	6	11,76	5,52	14,652	79,5672
PI2-Ouest	0,74		2,2	1,628		1,628	1,5	6	11,76	5,52	14,652	79,5672
FE1-Ouest	0,6		0,4	0,24		0,24	1,5	22	4	5,52	7,92	30
FE2-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	0,19	6			131,328	131,328
Plancher haut	12,4		15,3	189,72	19,62	170,1	0,2	28			952,56	952,56
												∅ ₂ =3333,48432

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.

Introduction

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.

À cet effet, la recherche de nouvelles ressources d'énergie est devenue un sujet capital. De nombreuses recherches scientifiques ont été faites dans le but de passer des énergies de Stocks à des énergies renouvelables.

Parmi ces énergies renouvelables, l'énergie solaire est considérée comme une Solution prometteuse pour la production d'électricité.

) **Avantages**

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante
- L'énergie est propre et ne dégage pas 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 solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes.

) **Inconvénients**

- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes

4-1. Cellule solaire photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un composant semi-conducteur capable de transformer directement l'énergie solaire en énergie électrique, cette transformation d'énergie se fait via la création et le déplacement de charges électriques positives et négatives dans le matériau semi-conducteur sous l'effet de la lumière. Cette transformation est donc basée sur :

- 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.

4-1-1. 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.

4-1-2. Description du Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure.

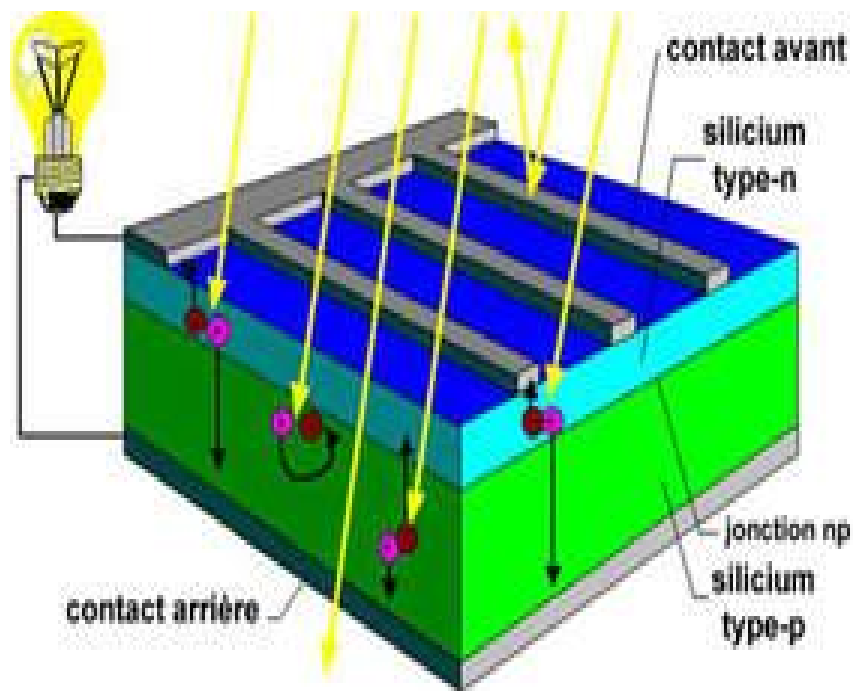


Figure 4-1 : représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque. [08]

4-1-3. Module photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque ou module (figure 4-2) est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et /ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électrique désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert, d'une protection contre les intempéries sous forme de vitre et de stratifié, d'une protection contre les surtensions sous forme d'une ou plusieurs diodes by-pass et d'un dispositif de branchement.



Figure 4-2 : Module photovoltaïque.[10]

4-1-4. 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

$$\text{par : } \frac{P_m}{P_i} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_i}$$

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.

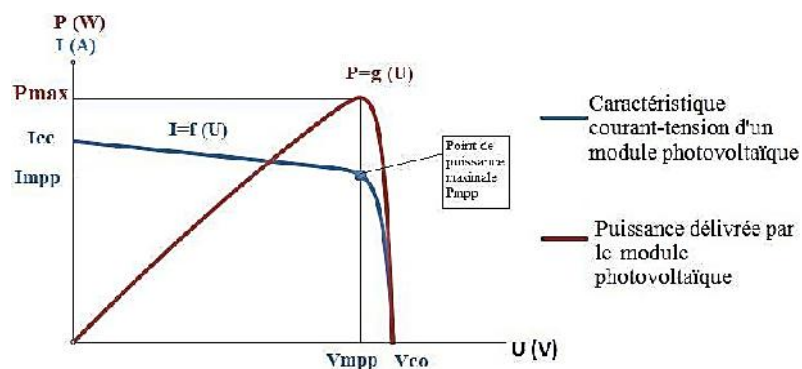


Figure 4-3 : Caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque.[08]

4-1-5. Recyclage des modules

Les modules sont recyclables en fin de vie (après 25 à 30 ans). Il est possible de récupérer le verre, l'aluminium des cadres, le silicium des cellules et le cuivre des connecteurs. Ce recyclage permet de réduire le coût énergétique des modules, car une partie des opérations d'extraction et de raffinage n'est plus nécessaire.

4-1-6. Le champ photovoltaïque

Le champ photovoltaïque (figure 4-5) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



Figure 4-4 : Champ photovoltaïque.[10]

4-1-7.L'effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible.

4-2.Matériau de base de la cellule photovoltaïque

) Silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Avantage :

- bon rendement, de 14 % à 16 % (~150 Wc/m²)

Inconvénients :

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



Figure 4-5 : 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 :

- cellule carrée (a coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module,
- bon rendement de conversion, environ 100 Wc/m², mais cependant un peu moins bon que pour le monocristallin,
- rendement de 9 à 11 %
- moins cher à produire que le monocristallin.

Inconvénient :

- rendement faible sous un faible éclairage ou soleil diffus



Figure 4-6 : cellule en silicium poly-cristallin.[10]

J) 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 :

- fonctionne avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel),
- un peu moins chère que les autres techniques,
- intégration sur supports souples ou rigides.
- rendement de 10 %

Inconvénients :

- rendement faible en plein soleil, de 5 % à 7 %
- 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.

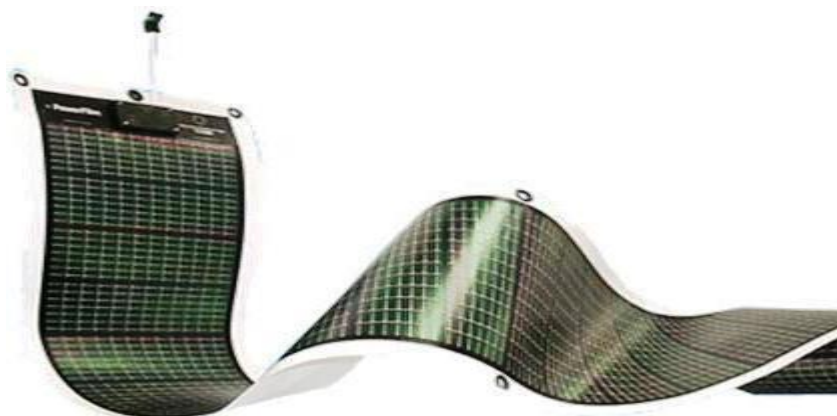


Figure 4-7 : cellule en silicium amorphe.[10]

4-2-1.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.

$$V_{c_i} = N_s * I_c ; I_c = I_{c_i} \quad (4.1)$$

V_{c_i} : La somme de la tension en circuit ouvert de N_s cellules en série.

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

) Regroupement des cellules en parallèle

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 :

$$- I_{c_i} = N_p * I_{cc} ; V_c = V_{c_i} \quad (4.2)$$

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

- V_{c_i} : 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.

4-3.Schéma simplifié d'un system PV

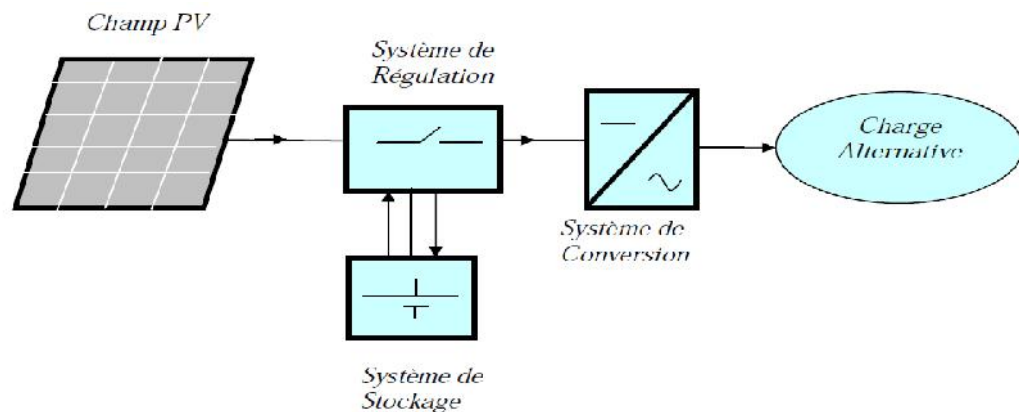


Figure 4-8: Schéma simplifié d'un system PV.[07]

4-3-1.Système de stockage

) Les batteries

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.

4-3-2. Les type de batteries

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 5 à 15 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 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

Tableau 4-1 : Types de batteries [07]

4-3-3 .Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle :

- en parallèle en 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.

4-3-4.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 :

Ces appareils doivent être en mesure d'assurer, sur commande manuelle ou par défaut (masse, court-circuit), le sectionnement complet du circuit électrique côté courant continu en charge (c'est-à-dire sous tension), ce qui signifie qu'ils doivent être capables de supprimer totalement l'arc électrique produit à l'ouverture (ce qui peut ne pas être le cas des interrupteurs-disjoncteurs à courant alternatif pourtant encore couramment utilisés dans les installations solaires en site isolé).

) **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 :**

Celui-ci est destiné à protéger l'entrée CC du convertisseur. Bien souvent, ces derniers possèdent déjà un fusible interne, mais peu accessible, et comme il n'est pas recommandé d'ouvrir ces appareils en cas de défaut, il vaut mieux placer un fusible externe à l'entrée CC. Il doit être calibré à la valeur maximale du courant d'entrée, exprimé en Ampère (A) du convertisseur.

4-3-5. Comment définit-on la durée de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL.

Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge.

Pour vous donner un ordre d'idée, 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

4-3-6. Système de régulation

) Le Régulateur de charge

Cet élément sert à augmenter la durée de vie des accumulateurs tout en atteignant les rendements les plus élevés possible, en adaptant de façon optimale l'électricité produite par le générateur photovoltaïque (tension et courant de charge) et destinée à la charge des accumulateurs.

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.

4-3-7. 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.

4-3-8.Disposition des panneaux

Avant d'installer les panneaux d'une installation photovoltaïque, il faut tout d'abord localiser le site d'emplacement. Une fois la localisation faite on peut faire l'orientation.

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 (ϕ)

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

L'installation des modules peut se faire sur un toit si son orientation et son inclinaison sont bonnes ou à même le sol pour peu que l'endroit soit bien dégagé, aéré (10 cm d'espace sous les modules est vivement conseillé) et protégé. On les place habituellement avec la pente vers l'équateur (vers le sud dans l'hémisphère nord). L'inclinaison des panneaux n'est pas critique. On la prend en général égale à la latitude, avec une tolérance de 15°. La hauteur maximale du soleil variant au cours de l'année, on choisira une inclinaison supérieure ou inférieure à la latitude suivant que les besoins sont les plus importants lorsque la course du soleil est basse (éclairage, besoins importants en hiver dans l'hémisphère nord) ou haute (irrigation...).

Toutefois, l'inclinaison des modules devrait rester supérieure à 10° pour assurer l'auto nettoyage lors des pluies.

Les structures doivent être solides, fixées au sol, pour résister à des vents d'au moins de 150 km/h. De plus, elles doivent être fiables dans le temps, elles doivent utiliser un matériau de bonne fiabilité (autre l'aluminium anodisé, la visserie inox et la visserie inviolable).

) Fixation des panneaux

La fixation des panneaux doit assurer correctement 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

4-4.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°

J Bilan énergétique 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	3	420
PC	2	100	200	2	400
Réfrigérateur	1	75	75	12	900
Climatiseur 12000 BTU	1				920
Machine à laver	1	649	649	1	649
Cuisinière	1	120	120	4	480
					4289

Tableau 4-2 : La consommation journalière en énergie de la maison

Pour le choix des appareils, nous avons pris en considération l'aspect économique pour l'énergie ainsi que pour les prix d'achat, on a choisi la marque Brandt pour leur disponibilité ainsi que leur rendement et leur consommation.

-) **Lampes L.E.D** : c'est des lampes qui produisent de la lumière en consommant moins d'énergie.
-) **Télévision L.E.D** : c'est un téléviseur haute technologie qui ne consomme pas beaucoup d'énergie.
-) **Réfrigérateur** : de marque Brandt, économe de classification A⁺.
-) **Climatiseur** : de marque Brandt économe de classification A.
-) **Cuisinière** : de marque Brandt de classification A⁺⁺.
-) **Machine à laver** : de marque Brandt de classification A⁺⁺⁺.

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.

4-4-1. Dimensionnement de la climatisation

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

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

Avec :

P_o : Puissance d'entrée de l'onduleur.

C_j : consommation journalière du climatiseur.

R_o : Rendement de l'onduleur.

Calcul de la puissance d'entrée de régulateur :

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

Avec :

P_r : Puissance d'entrée de régulateur.

R_r : Rendement de régulateur.

Calcul de l'énergie produite :

$$E_p \times \frac{C_j}{R_o \mid R_r} \quad (4.5)$$

E_p : Énergie produite.

Calcul de la puissance crête :

$$P_c \times \frac{E_p}{K \mid E_{\min}} \quad (4.6)$$

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 :

$$N_m \times \frac{P_c}{P_{cm}} \quad (4.7)$$

Avec :

N_m : Nombre de modules.

P_{cm} : Puissance crête d'un module.

Calcul de la surface totale des modules :

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

Avec :

S_t : Surface totale des modules en m^2 .

S_m : Surface d'un seul module en m^2 .

Avec un angle de déclinaison 36° .

4-4-2. Dimensionnement de la batterie de stockage

La capacité utile de la batterie est :

$$C \times \frac{C_j}{P_f} \times \frac{N_j}{R_b} \quad (4.9)$$

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 :

$$N_{bs} = \frac{U_I}{U_b} \quad (4.10)$$

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 exprimée 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)

4-4-3. Les critères pour choisir son régulateur solaire :

Pour choisir notre régulateur, 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 :**

Le choix de l'onduleur à utiliser sera fait selon ses caractéristiques, qui conviennent à alimenter l'installation considérée. Dans notre cas on a :

- 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 a 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.

J Propriétés des câbles :

Tout câble électrique a une résistance qui est donnée par la formule suivante :

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

Avec :

L : La longueur du câble en m.

S : La section du câble en mm².

ρ : La résistivité du matériau conducteur en $\mu hm.m$.

Les protections électriques sont constituées de :

- Disjoncteur.
- 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 : $\frac{U_I}{U_m} = 1 \text{ module en série}$.

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

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

h- Nombre de batteries en série : $N_{bs} = \frac{U_I}{U_b} = 2$

i- Nombres de batteries en parallèle : $N_{bp} = \frac{C_u}{C_e} = 2$.

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

b. Dimensionnement des équipements et appareils de la maison :

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

On donne :

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

$N_j = 2$ 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 : $N_m = 6$ modules.

g- Nombre de modules en séries : $\frac{U_I}{U_m} = 1$ module en série.

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

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

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

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

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

Schéma du système

La figure ci-dessous montre la constitution du système photovoltaïque autonome

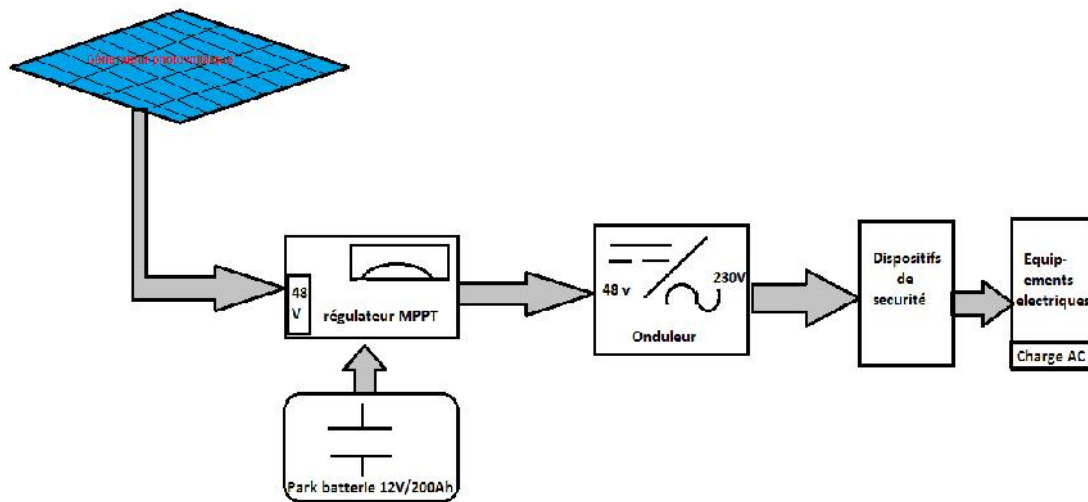


Figure 4-9 : Schéma de l'installation photovoltaïque autonome.[07]

4-5. Capteur solaire thermique :

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.

4-5-1.Principe de fonctionnement :

Le fluide caloporteur, très souvent de l'eau glycolée, circule dans des tuyaux de cuivre contigus plaqués en sous face d'absorbeurs métalliques noirs qui captent l'énergie des rayons du soleil ; le tout placé derrière une plaque de verre à haute transparence qui assure l'effet de serre, dans un caisson isolé de laine minérale et/ou de mousse composite polyuréthane.



Figure 4-11 : panneau solaire thermique avec un ballon de stockage.[0]

4-5-2. 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)

Elément	Nombre	Prix unitaire (D.A.)	Coût en (D.A.)
Panneau	8	17 000	136 000
Batterie	8	32 000	256 000
Régulateur	2	72 000	144 000
Onduleur	2	91 000	182 000
Disjoncteur	2	3 200	6 400
Fusible	4	500	2 000
mise à la terre	2	2 200	4 400
Ballon de stockage	1	12000	12000

Totale = 742 800

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

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.

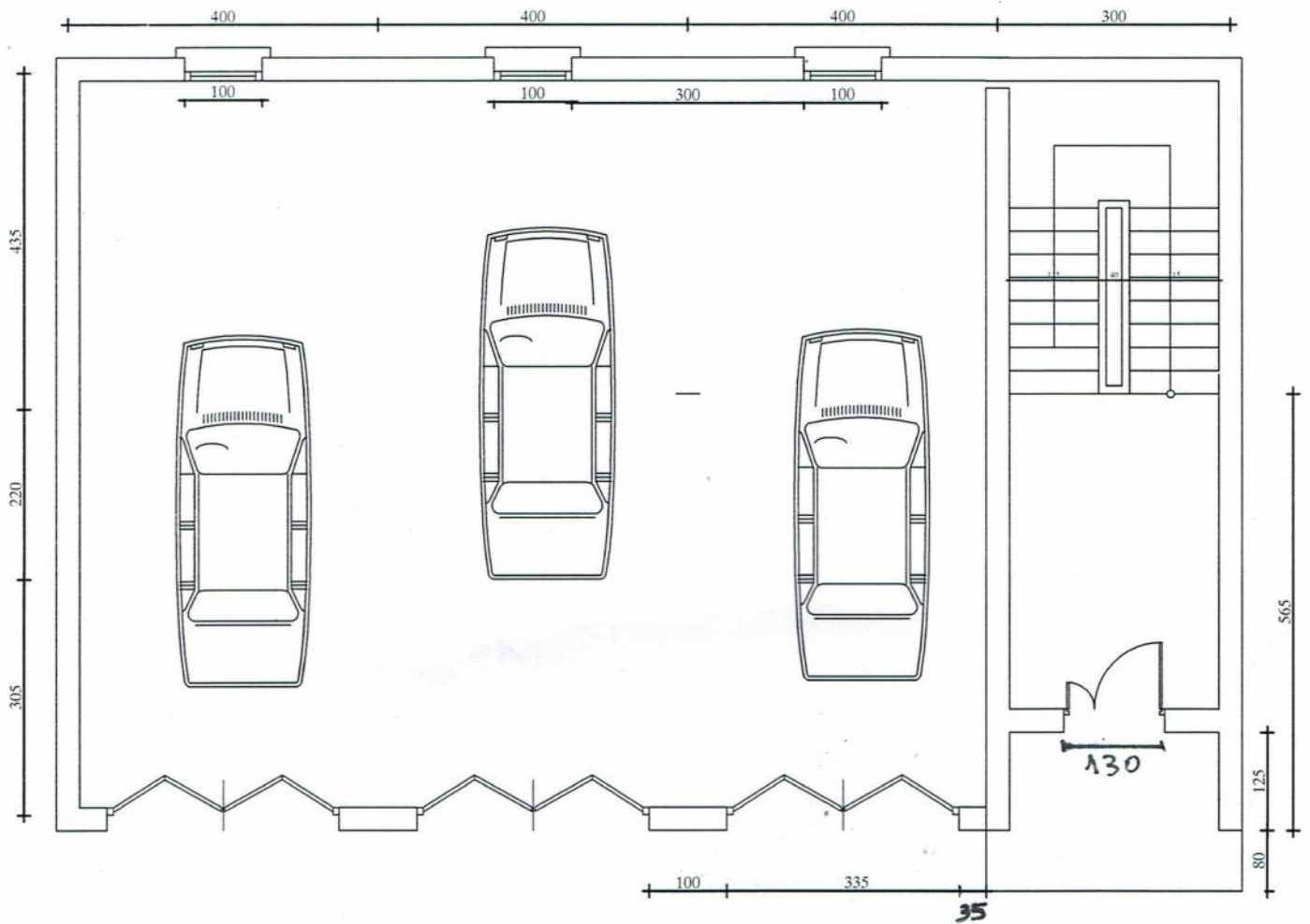
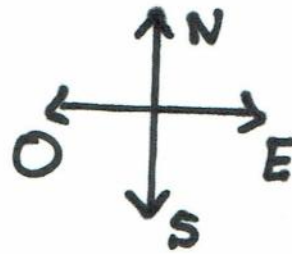
Le dimensionnement des panneaux photovoltaïque et des panneaux thermique nous a permis de définir la puissance que l'on a besoin pour le bon fonctionnement de la maison ainsi que le coût d'électricité a économisé grâce à l'énergie solaire.

Conclusion

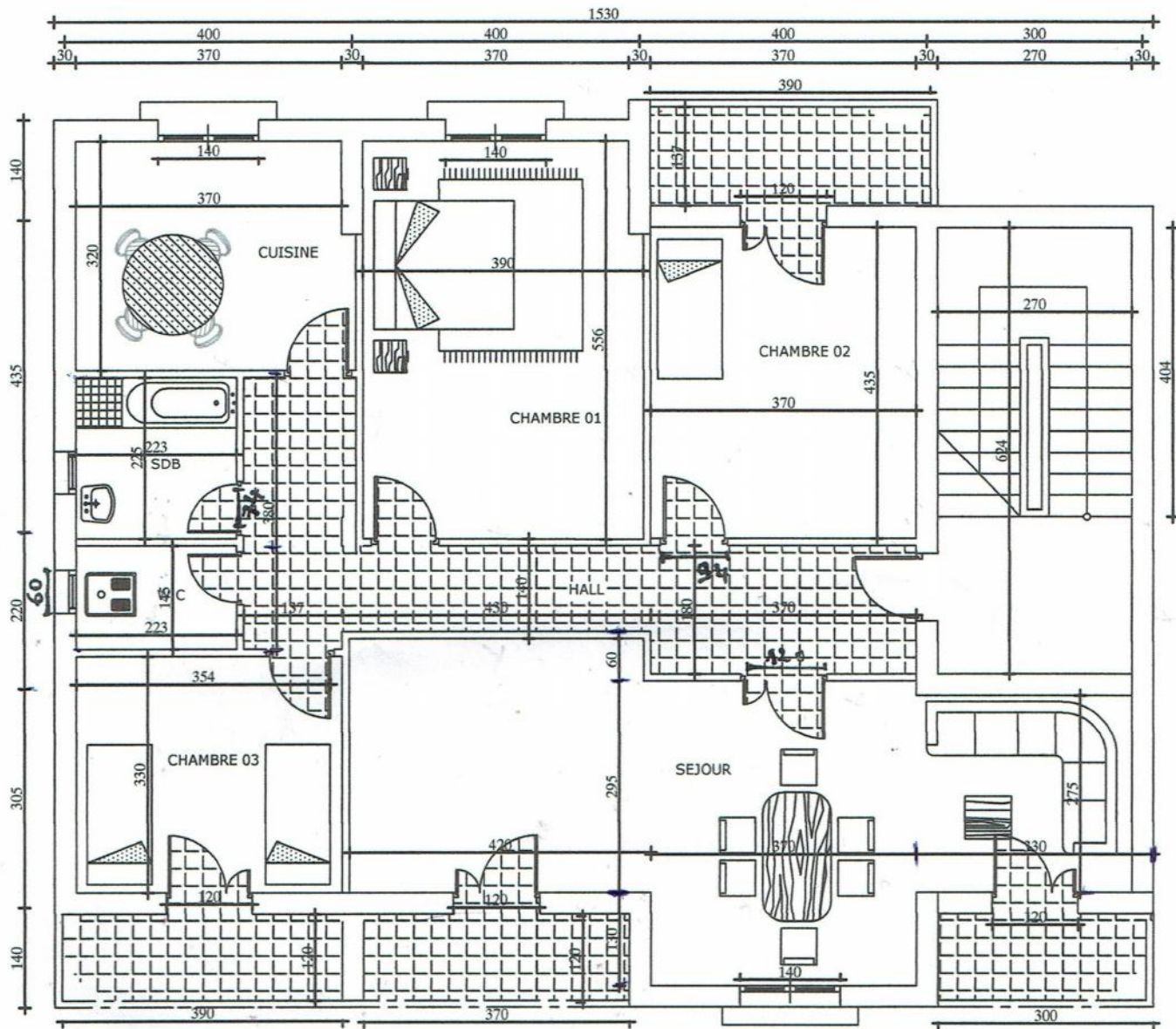
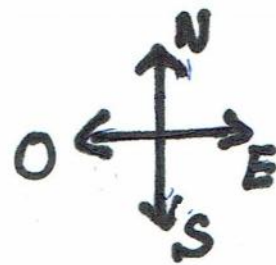
L'homme il doit garder la température de son corps constante malgré les variations de température au tour de lui pour avoir une meilleure performance biologique donc il faut qu'il ait un équilibre entre la production de chaleur et la perte de chaleur ; c'est pour cela les habitations doivent être adapté 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 besoin 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



PLAN DU RDC ECH:1/50



PLAN D'ETAGE COURANT ECH:1/50

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

[02] : **J.F. Sacadura** , Initiation aux transferts de thermique, 2^e 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, 2^e 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** ,4^e édition **Dunod 2005**.

Dimensionnement	Paramètres	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 (m2)	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	
	Ntb	4	
Régulateur	Un (V)	150	Régulateur MPPT 150V/100A (VictronEnergy)
	In (A)	200	
	Pn (W)	3000	
	Rr (%)	95	

Tableau 4-3 : Dimensionnement de la climatisation.

Dimensionnement	Paramètres	Equipements	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 (m2)	15,6		
	Surface nécessaire de champ (m ²)	Toiture		
Stockage	C (Wh)	9960	Batteries Gel 200Ah/12v (Victron Energy)	
	Cu (Ah)	415 wh		
	Nbs	2		
	Nbp	2		
	Ntb	4		
Régulateur	Un (V)	150	Régulateur MPPT 150V/100A (VictronEnergy)	
	In (A)	200		
	Pn (W)	3000		
	Rr (%)	95		
		Batteries		200
		Régulateur		
		Onduleur		100
	Disjoncteurs (A)	Côté panneaux		30
		Côté charge		30
	Section du câble de mise à la terre	Côté panneaux		6
Côté charge		6		

Tableau 4-4 : Dimensionnement des équipements de la maison.

TABLEAU DES MATÉRIAUX

Matériaux	Conductivité thermique (W/m.K)
Polystyrène	0.034
Mousse de polyuréthane	0.032
Laine minérale	0.034
BA.13	0.27
Liège	0.040
Hourdis	0.69
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

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