

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention de diplôme du MASTER

En : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en génie mécanique

Présenté par : LABDELLI Sidi Mohammed Amine

TAIBI Mohammed El Amine

Sujet

Comparaison de plusieurs systèmes solaires thermiques intégrés dans une maison solaire

Soutenu publiquement, le 29/06/2022, devant le jury composé de :

M/ ROSTANE Brahim	MCA	Université de Tlemcen	Président
M/ GUELLIL Houcine	MCA	Université de Tlemcen	Examinateur
M/ SARI HASSOUN Zakaria	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
M/ ALIANE Khaled	Pr	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2021/2022



Remerciements

Un grand merci à Dieu de nous avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et de savoir.

*Nous tenons à remercier notre encadrant Docteur **SARI HASSOUN Zakaria** et notre Co-encadrant professeur **ALIANE Khaled**, pour leurs orientations éclairées et leurs aides pour élaborer notre projet.*

*Nous tenons à exprimer nos respectueuses gratitudees à Monsieur **ROSTANE Brahim** Docteur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie, qui nous donne le privilège de l'avoir comme président de jury.*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **GUELLIL Houcine** Docteur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie, d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

Enfin, Nous remercions mes familles qui ont aidés à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*C'est avec la plus grande émotion et la plus grande joie que je dédie ce modeste travail à mes chers parents **LABDELLI Mohammed** et **BOUCIF Naima** pour leur soutien et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours que ne cessent de sacrifier pour le bonheur de leur fils et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.*

Je le dédié aussi

- ✓ *A mes frères **Zaki** et **Manel**.*
- ✓ *A mon ami **KHOUANI Foued**.*
- ✓ *A tout la famille **LABDELLI, BOUCIF**.*
- ✓ *A mon binôme **Amine**.*

Enfin, je veux me remercier, je veux me remercier d'avoir cru en moi, je veux me remercier d'avoir fait tout ce travail acharné, je veux me remercier pour ne jamais avoir abandonné, et j'essaie de donner plus que je ne reçois, je veux me remercier d'essayer de faire plus de bien que de mal, je veux me remercier d'être juste moi à tout moment.

LABDELLI Sidi Mohammed Amine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes parents, **TAIBI Ahmed** et **HASSANI Yamina** qui étaient toujours là pour moi dès mon enfance, grâce à eux que j'ai pu atteindre ce succès que dieu les protégé.*
- ✓ *A mes chères sœurs **Soumia, Radjae, Imane.***
- ✓ *A mes chers amis.*
- ✓ *A mon binôme **Mohammed Amine.***
- ✓ *Et toute ma famille.*

TAIBI Mohammed El Amine

Sommaire

Remerciments

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale1

Chapitre 01 : Analyse bibliographique sur le gisement solaire et les capteurs solaires thermiques5

1. Introduction :..... 6

2. Généralités sur le soleil :.....6

2.1 Le soleil :.....6

2.1.1 Présentation:6

2.1.2 Carte d'identité du soleil :.....7

2.1.3 Caractéristiques du soleil :7

2.1.4 Constitution du soleil :9

2.2 Aspects géométriques :11

2.2.1 Mouvements de la terre :11

2.2.2 Mouvements apparent du soleil :.....12

2.2.3 Distance terre au soleil :.....13

2.2.4 Calcul de la position du soleil :.....13

2.2.4.1 Systèmes des coordonnées :.....13

Sommaire

2.2.4.2 Paramètres de temps :	19
2.3 Aspects énergétiques :	21
2.3.1 Atmosphère terrestre :.....	21
2.3.2 Rayonnement solaire:.....	22
2.3.2.1 Composante du rayonnement solaire :.....	22
2.3.2.2 Caractéristiques du rayonnement :.....	23
2.3.2.3 Mesure et calcul des rayonnements solaires :.....	25
3. Gisement solaire :.....	26
3.1 Gisement solaire dans le monde :	27
3.2 Gisements solaire en Algérie :.....	27
4. Généralités sur les capteurs solaires thermiques :.....	30
4.1 Description des différents capteurs solaires :.....	30
4.1.1 Caractéristiques techniques des différents composants :.....	31
4.1.1.1 Couvertures :.....	31
4.1.1.2 Absorbeur :.....	31
4.1.1.3 Fluide caloporteur :.....	32
4.1.1.4 Isolant :.....	32
4.1.1.5 Boîtier :	32
4.1.2 Principe de l'effet de serre :.....	33
4.1.3 Bilan énergétique :.....	34
4.1.3.1 Bilan thermique du capteur :	34
4.1.3.2 Rendement instantané d'un capteur :	35
4.1.4 Paramètres de captage :.....	35

Sommaire

4.1.4.1 Paramètres externes :.....	36
4.1.4.2 Paramètres internes :	36
4.2 Capteurs solaires thermiques :.....	37
4.2.1 Définition :.....	37
4.2.2 Historique :.....	38
4.2.3 Principe de fonctionnement :.....	38
4.2.4 Types des capteurs solaires thermiques :	39
4.2.4.1 Capteur sans vitrage :.....	39
4.2.4.2 Capteur vitré :	40
4.2.4.3 Capteur sous vide :	41
4.2.5 Orientation et l'inclinaison d'un capteur solaire :.....	42
4.2.5.1 Orientation :.....	42
4.2.5.2 Inclinaison :.....	42
5. Conclusion :	43
<i>Chapitre 2 : Systèmes solaires thermiques :.....</i>	44
1. Introduction :	45
2. Installation d'un système solaire thermique :.....	45
2.1 Qu'est ce que la thermique ?.....	45
2.2 Eléments constitutif d'une installation thermique :.....	45
2.3 Réalisation d'une installation solaire thermique :.....	46
2.3.1 Montage des capteurs solaire thermique :.....	47
2.3.2 Captage de l'énergie :.....	48
2.3.3 Stockage :.....	49

Sommaire

2.3.4 Echangeurs de chaleur :.....	49
2.3.5 Fonctionnement d'un appoint :.....	49
2.3.6 Orientation et inclinaison d'un capteur plan :	51
3. Production directe de chaleur pour l'habitat :.....	53
3.1 Chauffage solaire des maisons :.....	53
3.1.1 Principe du chauffage solaire :.....	53
3.1.2 Types d'installation de chauffage :	54
3.1.3 Systèmes de chauffage solaire de l'habitat :.....	56
3.1.4 Eau chaude solaire et appoint de chauffage:	58
3.2 Chauffe-eau solaire :.....	58
3.2.1 Principe de fonctionnement:.....	59
3.2.2 Composants d'une installation de CES :.....	62
3.2.3 Différents types de chauffe eau solaire :.....	64
3.2.4 Systèmes de chauffe-eau solaire :.....	71
3.3 Piscine solaire :.....	71
3.3.1 Principe de Chauffage solaire des piscines :.....	72
3.3.2 Composants d'un chauffage solaire pour piscine :.....	72
3.3.3 Différents types de chauffage des piscines :	73
3.3.4 Avantages et inconvénients de chauffer les piscines avec solaire thermique :	74

Sommaire

4. Bilan énergétique de système thermique :.....	75
4.1 Estimation des besoins en chauffage :.....	75
4.2 Détermination des besoins d'eau chaude sanitaire :.....	75
4.3 Bilan thermique de la cuve de stockage :.....	77
4.4 Bilan thermique de la piscine :.....	78
5. Conclusion :.....	78
<i>Chapitre 3 : Simulation numérique d'une installation solaire thermique</i>	79
1. Introduction :.....	80
2. Présentation générale de logiciel GetSolar :.....	80
2.1 Présentation incluses :.....	82
2.3 Simulation et résultats	82
3. Etude de cas :.....	83
3.1 Paramètre de site :.....	83
3.1.1 Présentation de la zone d'étude :.....	83
3.1.2 Puissance rayonnée :.....	84
3.1.2 Description du bâtiment :.....	85
3.2 Présentation de l'installation étudiée :.....	85
3.2.1 Description du système utilisé :.....	85
3.3 Profil de la consommation :.....	88
3.3.1 Paramètres de température :.....	88
3.3.2 Consommation :.....	89
3.3.3 Besoin en chauffage :.....	91

Sommaire

3.4 Evolution des pertes thermiques du système :	92
3.4.1 Pertes thermiques des capteurs et les pertes tuyauterie extérieur et intérieur :.....	92
3.4.2 Pertes thermiques des deux ballons ECS :.....	92
3.5 Calcul des besoins de E.C.S et dimensionnement :.....	93
3.5.1 Estimation des besoins :.....	93
3.5.2 Calcul de la surface de captation du système :.....	94
4. Résultats de simulation:.....	95
4.1 Irradiations global spécifique sur la surface inclinée et la température moyen de capteur :.....	95
4.2 Rendement de système :.....	96
4.3 Bilan énergétique :.....	97
4.4 Analyse écologique et environnementale :.....	98
4.3.1 Emission de CO ₂ évitée :.....	99
4.3.2 Consommation de gaz naturel :.....	99
4.3.3 Economie de gaz naturel :.....	100
5. Interprétations :.....	100
6. Conclusion:.....	101
Conclusion générale.....	102
Bibliographie.....	104
ANNEXE.....	109
Résumé.....	114

Liste des figures

Chapitre 1 : Analyse bibliographique sur le gisement solaire et les capteurs solaires thermiques :

Figure 1.1 Structure du soleil	8
Figure 1.2 Image du soleil	9
Figure 1.3 Structure du soleil en coupe	10
Figure 1.4 Densité de la couronne solaire.....	10
Figure 1.5 Mouvement de la Terre autour du Soleil	11
Figure 1.6 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L.....	12
Figure 1.7 Mouvement apparent du soleil.....	12
Figure 1.8 Longitudes et latitudes sur le globe.....	14
Figure 1.9 Systèmes des coordonnées équatoriales.....	14
Figure 1.10 Variation annuelle de la déclinaison solaire.....	15
Figure 1.11. Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n.....	16
Figure 1.12 Système de coordonnées horaires.....	16
Figure 1.13 système de coordonnées horizontales.....	17
Figure 1.14 Coordonnées célestes horizontales.....	18
Figure 1.15 Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord.....	18
Figure 1.16 Azimut du soleil pour des journées typiques de l'année.....	19
Figure 1.17 Variations annuelles de l'équation du temps.....	21
Figure 1.18 Composantes du rayonnement solaire au sol.....	23
Figure 1.19 Variation mensuelle de la constante solaire.....	24
Figure 1.20 : Pyrhéliomètre.....	25
Figure 1.21 : Pyranomètre avec anneau d'ombrage.....	25
Figure 1.22 : Pyranomètre.....	26
Figure 1.23 Ensoleillement moyen annuel dans le monde.....	27

Liste des figures

Figure 1.24 Moyenne annuelle de l'irradiation Solaire globale reçue sur un plan incliné à la Station Latitude du lieu.....	28
Figure 1.25 Répartition territoriale des météorologique en Algérie.....	29
Figure 1.26 Cartes mensuelles du gisement solaire algérien.....	30
Figure 1.27 Différents composants d'un capteur plan.....	33
Figure 1.28 Effet de serre dans un capteur solaire thermique	34
Figure 1.29 Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.....	36
Figure 1.30 Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.....	39
Figure 1.31 Description d'un capteur solaire non vitré.....	40
Figure 1.32 Capteur plan vitré.....	40
Figure 1.33 Un modèle de capteur à tubes sous vide.....	41
Figure 1.34 Capteur à tube sous vide.....	41
Figure 1.35 Orientation d'un capteur solaire.....	42
Figure 1.36 Installation d'un capteur solaire.....	42

Chapitre 2 : Systèmes solaires thermiques

Figure 2.1 schéma de principe d'une installation solaire thermique.....	47
Figure 2.2 Montage des capteurs solaires.....	47
Figure 2.3 Stockage avec appoint placé à la sortie du ballon.....	51
Figure 2.4 Stockage avec appoint placé à la partie supérieure du ballon.....	51
Figure 2.5 Disposition des capteurs.....	52
Figure 2.6 schéma d'une installation destinée pour le chauffage des maisons.....	54
Figure 2.7 Schéma de chauffage solaire avec tampon.....	55
Figure 2.8 Schéma d'une installation solaire avec chauffage direct	56

Liste des figures

Figure 2.9 Principe du mur trombe.....	57
Figure 2.10 Schéma de fonctionnement.....	60
Figure 2.11 Stratification dans boiler.....	61
Figure 2.12 Appoint électrique.....	62
Figure 2.13 Appoint chaudière au gaz ou au mazout.....	62
Figure 2.14 Appoint instantané au moyen d'une chaudière murale au gaz.....	63
Figure 2.15 Schéma d'une régulation différentielle.....	63
Figure 2.16 Chauffe eau solaire monobloc	64
Figure 2.17 Chauffe eau solaire à thermosiphon.....	65
Figure 2.18 Chauffe-eau solaire avec pompe et régulation.....	65
Figure 2.19 Chauffe-eau stockeur	66
Figure 2.20 Chauffe eau avec circulateur	67
Figure 2.21 Chauffe eau solaire collectif	68
Figure 2.22 Chauffe-eau solaire collectif avec appoint individualisé	69
Figure 2.23 Chauffe-eau solaire collectif individualisé (Plutôt utilisés pour les bâtiments résidentiels).....	69
Figure 2.24 Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon	70
Figure 2.25 Schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct	71
Figure 2.26 : Fonctionnement de piscine solaire.....	72
Figure 2.27 : Schéma des composants d'une installation de chauffage solaire pour piscine individuelle.....	73
Figure 2.28 : Consommation chaude sanitaire par jour en fonction de type de famille.....	76
Figure 2.29 : Schéma de la cuve de stockage.....	77

Liste des figures

Chapitre 3 : Simulation numérique d'une installation solaire thermique

Figure 3.1 Interface du programme GetSolar.....	81
Figure 3.2 Rayonnement solaire de région Kolen.....	83
Figure 3.3 Schéma de système solaire combiné.....	87
Figure 3.4 Profil de consommation du jour de E.C.S.....	89
Figure 3.5 Profil de la consommation d'eau chaude sanitaire.....	90
Figure 3.6 Pertes thermiques des capteurs et les pertes tuyauterie extérieur et intérieur.....	92
Figure 3.7 Pertes thermiques des deux ballons ECS.....	92
Figure 3.8 Diagramme de l'énergie solaire ECS et la consommation d'ECS et le Besoins énergétique réchauffement.....	93
Figure 3.9 Courbes spécifiques de l'année d'un capteur plan.....	95
Figure 3.10 Courbes spécifiques de l'année d'un capteur sous vide.....	95
Figure 3.11 Taux de couverture solaire et efficacité pour capteur plan.....	96
Figure 3.12 Taux de couverture solaire et efficacité pour capteur sous vide.....	96
Figure 3.13 Bilan énergétique de capteur sous vide.....	97
Figure 3.14 Bilan énergétique de capteur plan.....	97
Figure 3.15 Bilan écologique de capteur plan.....	98
Figure 3.16 Bilan écologique de capteur sous vide.....	98
Figure 3.17 Emission de CO2 évitée.....	99
Figure 3.18 consommation de gaz naturel.....	99
Figure 3.19 Economie de gaz naturel.....	100

Liste des tableaux

Chapitre 1 : Généralités sur l'énergie solaire

Tableau 1.1 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques27

Chapitre 2 : Systèmes solaires thermiques

Tableau 2.1 : Besoins thermiques en eau chaude sanitaire.....77

Chapitre 3 : Simulation numérique d'une installation solaire thermique

Tableau 3.1 Données climatique de région Kolen.....84

Tableau 3.2 Consommation annuel de E.C.S.....90

Nomenclature

A_r	surface du réservoir	[m ²]
A_v	Surface de la vitre.	
A	Azimut du soleil	[degré]
Z	L'altitude	m
L	La latitude	[degré]
I	inclinaison du capteur	[degré]
C_p	Chaleur spécifique de l'air	[J/kg. °C]
D	Rayonnement diffus : Plan horizontal	[W/m ²]
D^*	Rayonnement diffus : Plan incliné	[W/m ²]
G	Rayonnement globale : Plan horizontal	[W/m ²]
G^*	Rayonnement globale : Plan incliné	[W/m ²]
GV	coefficient de déperdition thermique	(W/°C)
$SS0$	insolation potentielle (théorique)	
SS	Durée d'insolation	
H	Hauteur du soleil	[degré]
H	La hauteur angulaire	[degré]
H	Coefficient de convection	[W/m ² °C]
$I_0 (C_0)$	Constante solaire	[W/m ²]
I_0n	La variation de I_0 en fonction de l'année	[W/m ²]
I	Rayonnement direct : Plan horizontal	[W/m ²]
I_c	Intensité des radiations solaires dans le plan du capteur	[W/m ²]
I	Inclinaison du capteur	[degré]
m_f	Débit du fluide	[kg/s]
N	Quantième jour de l'année	-----
Q_u	Chaleur utilisé	[J/kg. °C]

Nomenclature

Q_r	Chaleur convective de réservoir vers l'ambient	[J/kg. °C]
Q_r	Taux de perte thermiques	[W]
$R (X)$	Rayonnement diffus du sol	[W/m ²]
S	Rayonnement direct : Plan incliné	[W/m ²]
T_a	Température de l'ambiance	[°C]
T_{ab}	Température de l'absorbeur	[°C]
T_r	Température de réservoir	[°C]
T_{ap}	Température d'appoint	[°C]
T_u	Température utile	[°C]
T_{2f}	Température de sortie du réservoir	[°C]
T_{1f}	Température d'entrée de réservoir	[°C]
U	Coefficient global de perte thermique du capteur	[W/m ² °C]
Be-c-s	Les besoins d'eau chaude sanitaire	W/h

Lettres grecques :

δ	La déclinaison du soleil	[degré]
\varnothing	La latitude du lieu	[degré]
θ	l'angle incident	[degré]
ω	L'angle horaire	[degré]
Λ	Longitude	[degré]
α_v	L'absorptivité	[%]
Φ_a	Le flux solaire absorber à la surface de l'absorbeur	W/m ²

Nomenclature

ε_v	L'émissivité de la vitre	[%]
ρ	Masse volumique	[kg/m ³]
Φ_u	La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur	W/m ²
α	Coefficient d'absorption pour le rayonnement solaire	[%]

Indice :

ASA	l'Agence Spatiale Allemande
CESI	Chauffe Eau Solaire Individuel
SSC	système solaire combiné
ECS	l'Eau Chaude Sanitaire
PER	polyéthylène réticulé
GMT	Greenwich Mean Time
S.I	système international d'unités
L'ISES	International Solar Energie Society
PAC	pompe a chaleur
PSD	Plancher Solaire Direct
VMC	ventilation mécanique contrôlée
O.N.M	Office National de la Météorologie
TS	Temps solaire de la journée.
TSV	temps solaire vrai en heures
TSM	Temps solaire moyen

Nomenclature

TU	Temps solaire universel
TL	Temps légal
TC	Temps civil
TFH	Temps du fuseau horaire
DH	Décalage horaire



***Introduction
Générale***

Introduction générale

Aujourd'hui, l'économie algérienne est totalement dépendante du secteur des hydrocarbures. Dans le contexte de conjoncture économique actuel, il devient impératif et urgent d'emprunter une nouvelle trajectoire en développant des énergies alternatives surtout dans une optique de raréfaction des ressources, de réchauffement climatique et de développement durable.

Dans ce contexte, l'Algérie dispose d'un important capital inépuisable en énergies renouvelables, qui est en mesure d'être exploité facilement et proprement. L'intégration long terme des énergies renouvelables dans l'offre énergétique du pays joue un rôle important dans l'économie d'énergie et l'efficacité énergétique. Ce dernier permet, à travers une bonne maîtrise du rythme de croissance de la demande, une meilleure planification des investissements nécessaires à la satisfaction des besoins énergétiques. L'Algérie avec plus de deux millions de km² de superficie, reçoit l'équivalent de 300 milliards de Tep par an en énergie solaire. En terme d'insolation, l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la quasi-totalité du territoire national ; La durée d'insolation quant à elle dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara, ce qui représente une moyenne élevée comparée aux pays du monde. Pour exploiter efficacement cette énergie, une connaissance de la distribution de la quantité du rayonnement solaire reçue sur les différentes régions du territoire algérien est indispensable.

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus dominante et aussi la plus facilement exploitable. De part, la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à travers le monde ; Cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années. Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables représente un handicap face à l'expansion de son utilisation. L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répand davantage dans le monde. L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. C'est aussi l'une des plus anciennes, comme plusieurs dispositifs de chauffe-eau-solaires qui sont été inventés depuis les débuts du XX ème siècle jusqu'à nos jours, plus performants les uns que les autres. Les trois parties de fonctionnement d'un système de chauffage solaire sont : la captation, le stockage et la distribution. La captation est la partie essentielle pour la conversion de l'énergie solaire. Elle est représentée par le capteur solaire. C'est ce dernier qui transforme l'énergie solaire en quantité de chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur

Introduction générale

circulant dans son absorbeur. Vu le rôle important que joue le capteur solaire dans la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, plusieurs recherches ont été menées sur l'étude du capteur solaire plan avec le but d'améliorer son rendement instantané qui représente la performance la plus caractéristique. Le rendement instantané d'un capteur plan varie avec sa géométrie, ses paramètres de construction et les paramètres externes comme le rayonnement, la température ambiante...etc. [1]

Notre travail s'intéresse à l'étude comparative de plusieurs systèmes solaires thermiques intégrés dans une maison solaire pour produire de l'eau chaude sanitaire et chauffer la maison.

Ce travail est subdivisé en trois chapitres :

Au premier chapitre :

Dans ce chapitre, on désire connaître des notions essentielles sur le gisement solaire et les informations sur l'évaluation du potentiel énergétique solaire concernant l'Algérie ; On veut voir de près les résultats réalistes obtenus sur la description du gisement solaire de ce pays, c'est-à-dire ce gisement est-il bien défini en tout point du territoire Algérien.

On a commencé ce chapitre par une description de quelques notions utiles concernant la description du gisement solaire qui a été défini par une succession de flux d'énergie ou de puissance. Les composantes du rayonnement solaire incident au sol sont aussi traitées, le direct qui provient du disque solaire et le diffus qui provient de tous les éléments irradiés par le soleil ; La constante solaire est aussi discutée. L'atmosphère, caractérisée par ses constituants fixes et variables, a été le sujet de l'atténuation des rayons incidents du disque solaire.

On termine ce chapitre par une brève analyse sur les capteurs solaires thermiques et ses différents types.

Le deuxième chapitre :

Dans ce chapitre on a fait une description sur les systèmes solaires thermiques et la production directe de chaleur pour l'habitat ; Nous allons exposer les principes fondamentaux et les divers éléments des installations solaires thermiques.

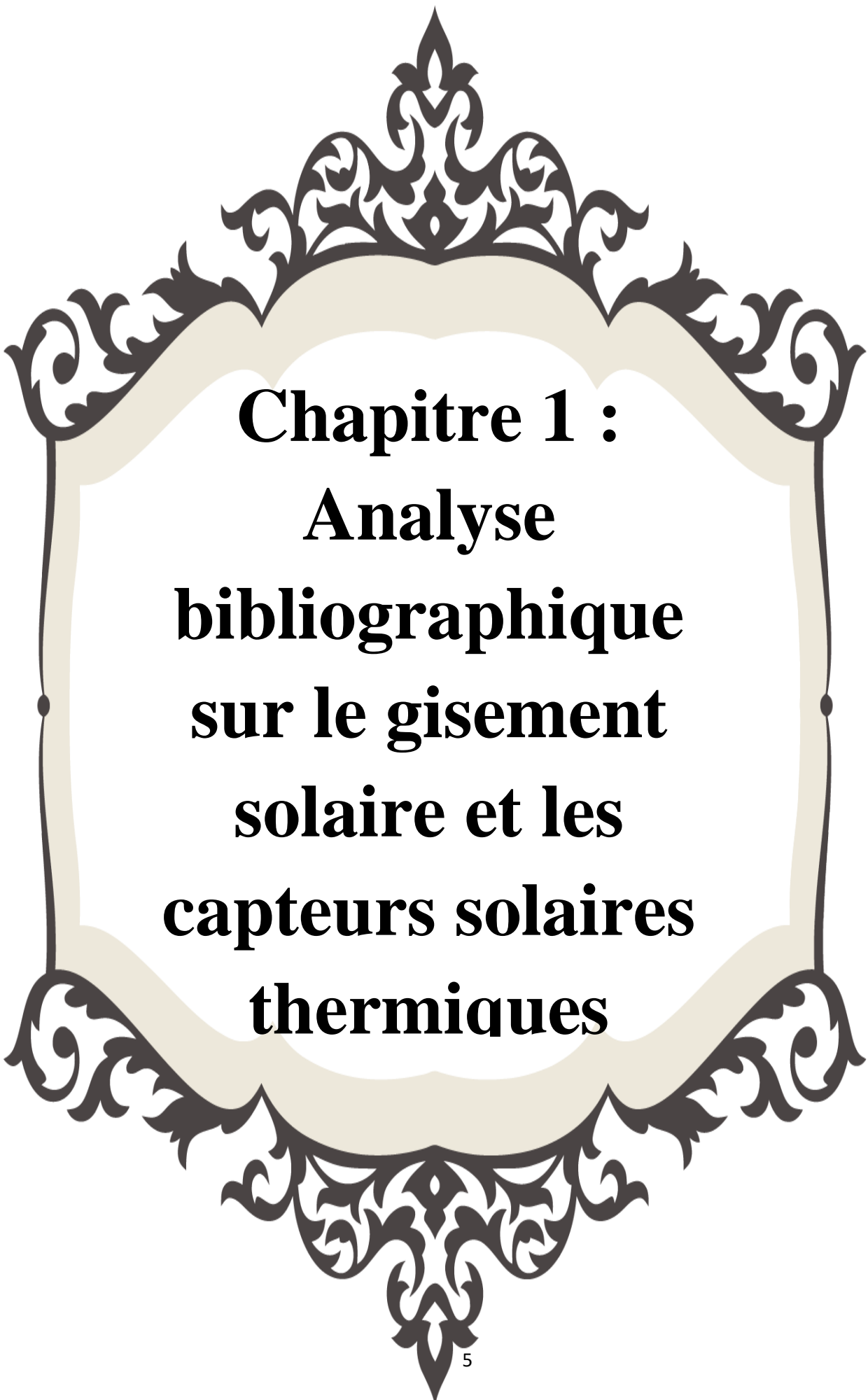
Après, on présente un état d'art sur les chauffe-eau-solaires, les chauffages solaires et le chauffage des piscines. Nous allons citer dans cette partie les généralités, les classifications, les différents composants et le fonctionnement de ces systèmes.

Introduction générale

Au troisième chapitre :

Dans ce chapitre, nous montrons les résultats de la simulation d'une installation de système solaire combiné intégrés d'une maison dans la région Koln en Allemagne en utilisant le logiciel GetSolar.

Après, on va faire une discussion et interprétation des résultats du chauffage de l'eau sanitaire.



Chapitre 1 :
Analyse
bibliographique
sur le gisement
solaire et les
capteurs solaires
thermiques

1. Introduction :

L'étude ou les applications de l'énergie solaire en un site donné, sont tributaires de données plus complètes et détaillées de l'ensoleillement de ce site. Ayant acquis des données sur le gisement solaire, soit par mesure, soit par estimation, il faut les présenter de telle façon qu'elles soient accessibles aux concepteurs de systèmes énergétiques solaires, qu'elles puissent servir pour un premier choix du type de système : à concentration ou non, autonome ou non et à stockage journalier ou saisonnier. Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend de plusieurs facteurs : l'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre, la latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude, la période de l'année, l'instant considéré dans la journée et la nature des couches nuageuses. Lorsque l'énergie lumineuse (photons) rencontre de la matière, celle-ci transforme une partie en chaleur. C'est ce qu'on appelle la conversion photo thermique et c'est sur ce principe que sont basés les procédés de capteur plan solaire. L'énergie solaire pour son utilisation exige un système de captation solaire de deux types :

- Capteur solaire photo-thermique.
- Capteur solaire photovoltaïque.

L'utilisation directe de l'énergie solaire au travers de capteurs représente un complément logique de ces efforts. A l'heure actuelle, une utilisation économique de l'énergie solaire n'est plus une vision d'avenir. Grâce à des capteurs d'un niveau technique élevé et à des systèmes adaptés, elle devient une réalité qui a déjà fait ses preuves au quotidien. Investir dans ces technologies est une décision à la fois économique et écologique. Cette découverte s'impose de plus en plus au sein de la population.[2]

2. Généralités sur le soleil :

2.1 Le soleil :

2.1.1 Présentation :

Le soleil est la seule étoile du système solaire est la plus proche de la terre, situé au centre d'un système dit « système solaire » dont la terre faite partie avec d'autres planètes, sa lumière met environ huit minutes et 20 secondes à nous atteindre. Elle est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 15000 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une année [3].

Le soleil a toujours eu un rôle dominant dans les différentes activités naturelles de l'univers, en particulier sur la Terre pour la formation des sources d'énergie fossile et renouvelable. Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de

l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Ceci étant vrai autant pour les énergies non renouvelables d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont le résultat de la photosynthèse ; que pour les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie géothermique, la biomasse...etc. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [4].

2.1.2 Carte d'identité du soleil :

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1,39 10⁶ Km. Il est situé à une distance de la terre de 149,59 10⁶ Km, sa masse est de l'ordre de 2.10²⁷ tonnes. [5]

L'étude astrophysique du soleil conduit aux valeurs suivantes : [6]

- Masse : 2.10³⁰ kg, soit 333432 fois celle de la terre.
- Rayon : 7 10⁸ m, soit 109 fois celui de la terre.
- Densité du soleil : 1400 kg/m³.
- Age de soleil : 4.7 10⁹ années.
- Puissance rayonnée par le soleil : 4.10²³kw.
- Distance moyenne (d) à la terre : 149.6 10⁹ m.
- Diamètre : 1392000 Km.
- Surface : 6.09.10¹² Km²
- Volume : 1.41.10¹⁸ Km³.
- Vitesse : 217 km/s.
- Distance du centre de la voie lactée : 2.5.10¹⁷ Km.
- Température superficielle : 5770 C°
- Gravité à la surface : 273.95 m/s²
- Température au centre : 16.10⁶ C°

2.1.3 Caractéristiques du soleil :

Le soleil est considéré comme un corps noir, a des caractéristiques suivant :

Le soleil est une sphère avec une matière extrêmement chaude et gazeuse avec un diamètre de 1,39.10⁹ m et est à distance moyenne de 1,49.10¹¹m de la terre. Comme vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe une fois toutes les quatre semaines, cependant il ne tourne pas comme un corps solide, une rotation est faite en 27 jours à l'équateur et en 30 aux régions polaires [7].

La température des régions intérieures centrales est de l'ordre de 8.10⁶ à 40.10⁶ K et la densité est estimée à 100 fois celle de l'eau. Le soleil est en effet, un réacteur de fusion

continu avec ses constituants sous forme gazeuse retenue par des forces gravitationnelles, plusieurs réactions de fusion est déclenché pour intensifier l'énergie rayonnée par le soleil. [8].

Les processus radiatif et convectif sont le résultat des états successifs d'émission, d'absorption et de radiation, la gamme de spectre de rayonnement dans le noyau du soleil est comprise entre la longueur d'onde des rayons X et celle des rayons gamma, avec une longueur d'onde de radiation qui augmente suivant la diminution de la température à de grandes distances. Dans la structure schématique du soleil illustré dans la figure 1.1, il est estimé que 90% de l'énergie est générée dans la région du disque solaire située entre 0 et 0,23R, ou R le rayon du soleil, qui représente 40% de la masse du soleil. A distance de 0,7R du centre, la température diminue d'environ 130 000 K et la densité de 70 kg/m³, le processus convectif du soleil devient important et la zone comprise entre 0,7 et 1,0R est appelée : zone convective. Dans cette zone, la température diminue d'environ 5000 K et la densité d'environ 10-5 kg/m³ [9].

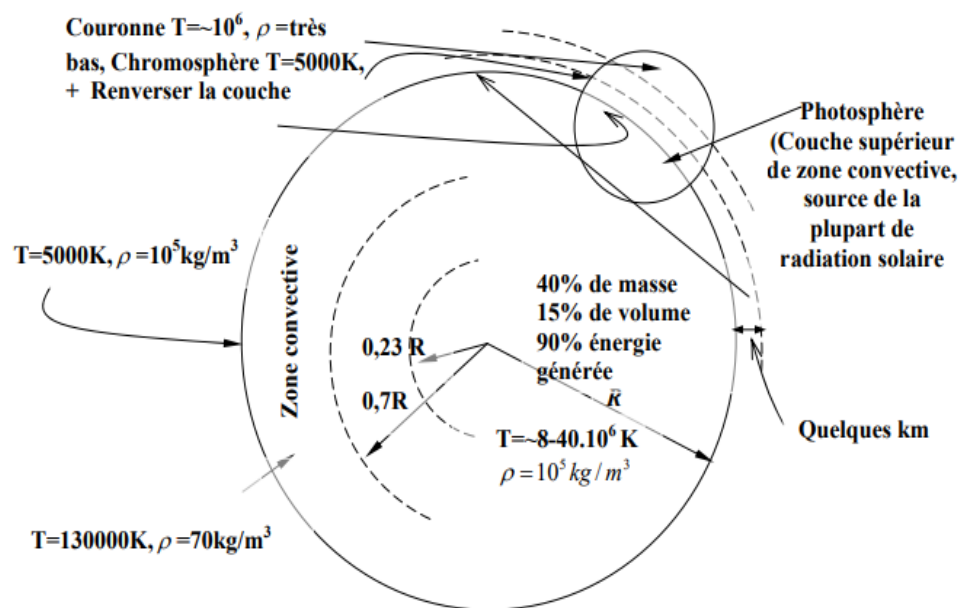


Figure 1.1 Structure du soleil. [10]

A chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium à travers les réactions thermonucléaires qui se produisent au sein du soleil. Les 4 millions de tonnes restant sont dissipées sous forme d'énergie qui quitte sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique d'un spectre allant de 0,2mm (ultra-violet) à 4mm (infrarouge). Cette énergie a une valeur totale de 36.1022 kW, dont la terre en reçoit 1,8.10¹⁷ kW de cette énergie pendant une seconde [11].

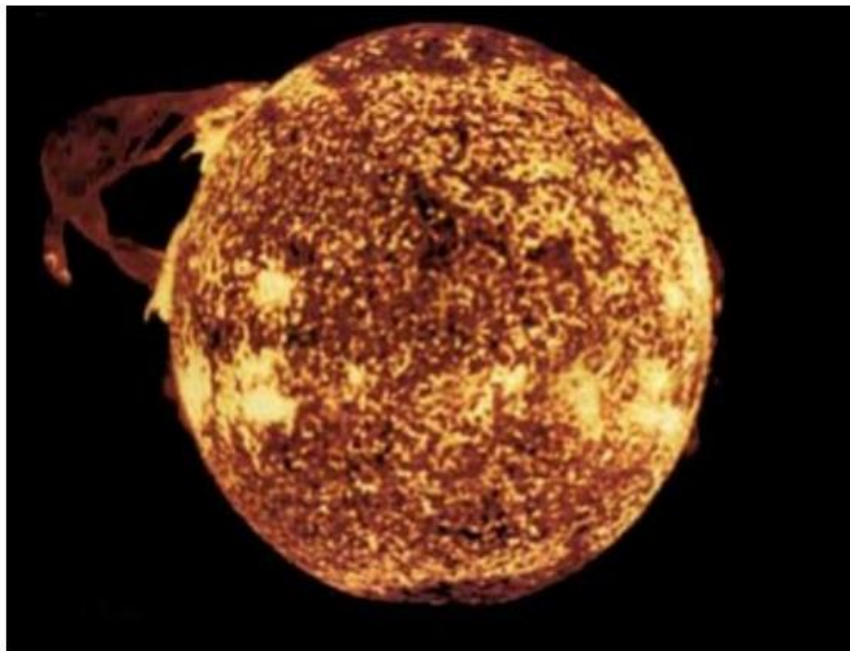


Figure 1.2 Image du soleil. [12]

2.1.4 Constitution du soleil : [13]

C'est une sphère non homogène comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus, dans laquelle on peut distinguer 4 zones principales : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et la couronne solaire.

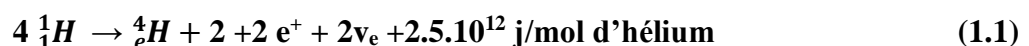
a. L'intérieur : C'est la source d'énergie du soleil, il est composé de 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'hélium. La température atteint de l'astre 15. 10 K. Le noyau contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de 25.104 km, elle présente les caractéristiques suivantes [5],

Une température de 15.10^6 °C.

Une densité est de 1015 kg/m³.

Une pression de 109 ATM.

La réaction de fusion s'écrit :



Où e⁺ désigne l'électron positif, ν_e neutrino électronique.

b. La photosphère : C'est la couche gazeuse qui enveloppe le soleil .elle est responsable de presque la totalité du rayonnement que la terre reçoit. Elle est mince d'environ 300km, et de pression de 10² atmosphère et une densité de 10⁸ g/cm³.

c. Chromosphère : Elle surmonte la photosphère. C'est une couche gazeuse qu'on assimile à l'atmosphère solaire sont épaisseur ne dépasse pas 800km et sa température est de 10k.

d. La couronne : C'est une auréole blanche irrégulière sans limite définies, son épaisseur est de l'ordre de 3.10 km.

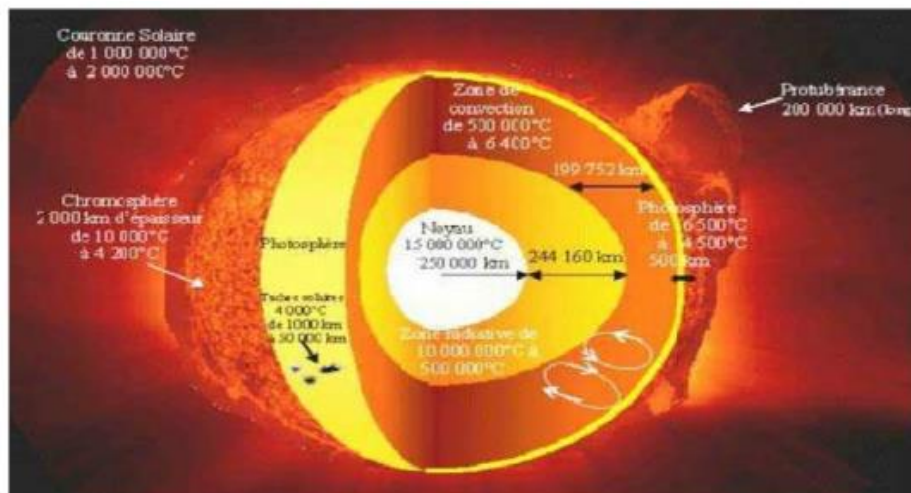
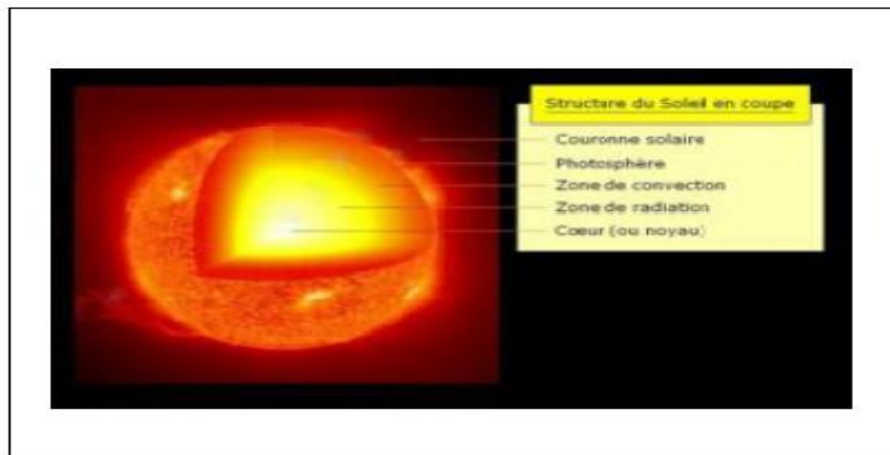


Figure 1.3 Structure du soleil en coupe. [14]

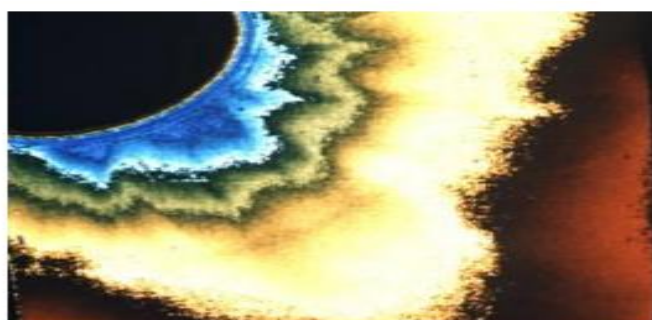


Figure 1.4 Densité de la couronne solaire. [15]

2.2 Aspects géométriques :

2.2.1 Mouvements de la terre :

Le mouvement de la terre autour du soleil est sous forme d'ellipse dont le plan est appelé plan écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible, ce qui fait que la distance Terre/soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne. La révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles, cette rotation s'effectue en une journée. L'axe qui passe par le centre de la terre et qui est perpendiculaire à l'axe des pôles est appelé l'équateur.

Le plan qui contient cette ligne est le plan équatorial de la Terre ; il divise la Terre en deux hémisphères, Nord et Sud. L'angle que fait ce plan avec la direction Terre-Soleil est la déclinaison du Soleil. Il varie tout au long de l'année de façon symétrique dans l'intervalle ($-23,45'$ à $+23,45'$), comme l'indique la figure ci dessous.

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 21 juin la distance terre-soleil est de 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxes d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux. [16]

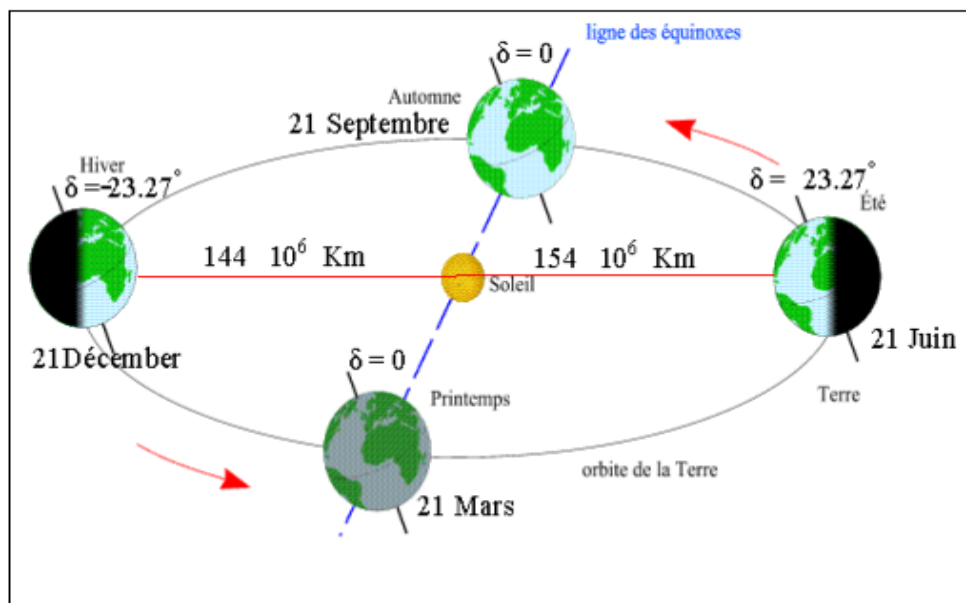


Figure 1.5 Mouvement de la Terre autour du Soleil. [17]

2.2.2 Mouvements apparent du soleil : [18]

Le mouvement que paraît faire le Soleil en une journée vu par un observateur situé sur Terre est appelé ‘Le mouvement apparent du Soleil’. En dehors des régions polaires, de l’Equateur et des tropiques :

- Le matin ; le Soleil est à l’Est, bas sur l’horizon, c’est le « lever du Soleil »
- A midi : le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent.
- Le soir : le Soleil apparaît à l’Ouest, bas sur l’horizon, c’est le « coucher du Soleil »

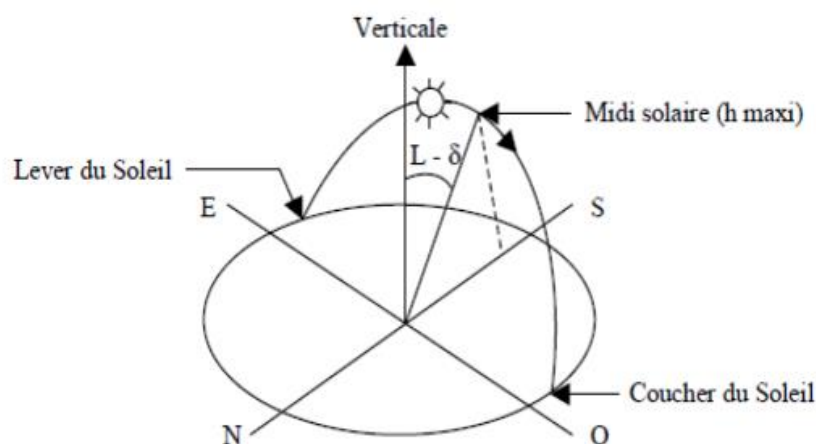


Figure 1.6 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L. [18]

Le repérage de la position du Soleil s’effectue par l’intermédiaire de deux angles : L’azimut a : C’est l’angle que fait la direction de la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du sud, cet angle étant orienté positivement vers l’Ouest et varie de $[-90^\circ$ à $+90^\circ]$. La hauteur h du Soleil : C’est l’angle que fait la direction du soleil avec la projection sur un plan considéré. Ces deux angles sont représentés sur la figure 1.7.

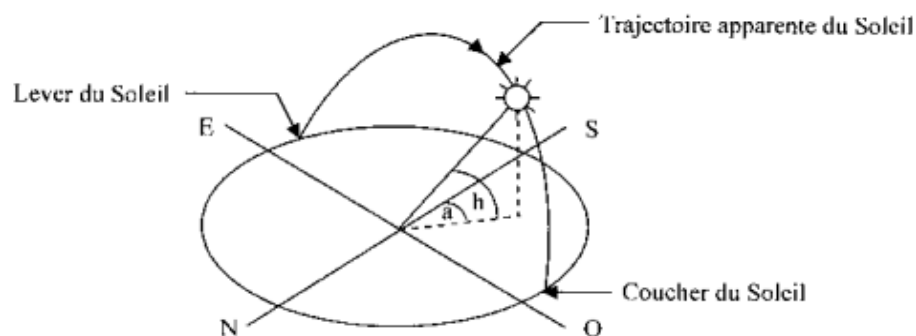


Figure 1.7 Mouvement apparent du soleil. [19]

Ces deux angles sont fonction de :

- La latitude (L) du lieu considéré.
- La date ou le numéro du jour de l'année (N).
- Temps solaire (TS) de la journée.

2.2.3 Distance terre au soleil : [20]

La Terre subit deux types de déplacement aux répercussions totalement différentes. Le premier est lié au mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil de périodicité annuelle, qui permet de comprendre le phénomène des saisons. Le second mouvement est lié à la rotation de la Terre sur elle-même autour de l'axe des pôles d'une périodicité de 24 heures.

La distance Terre-Soleil varie donc au cours de l'année. En moyenne, la distance Terre Soleil sert de base à l'« unité astronomique », soit 1 ua correspondant à 150.106 km (r_0). Elle atteint son maximum au solstice d'été (Aphélie ; 1,017 ua soit 152.106 km) et son minimum au solstice d'hiver (Périhélie ; 0,983 ua soit 147.106 km). Elle dépend du numéro j du jour de l'année qui varie de 1 à 365 (ou 366 pour les années bissextiles). La distance Terre-Soleil r est donnée par l'Equation (1.2)

$$\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = 1 + \epsilon \quad (1.2)$$

Désigne la correction relative suivant le jour considéré, et peut être approximé en j défini par ω utilisant la notion d'angle journalier :

$$\omega_j = j \cdot 2\pi/365,2 \quad (1.3)$$

2.2.4 Calcul de la position du soleil :

2.2.4.1 Systèmes des coordonnées :

2.2.4.1.1 Systèmes des coordonnées terrestres :

a. Longitude (λ) : C'est l'angle entre le méridien du lieu et la méridienne origine des longitudes (Greenwich en Angleterre), positive à l'Est et négative à l'Ouest. Il y a 23 méridiens séparés donc de 15° donnant naissances aux 24 fuseaux horaires, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.

Pour Tlemcen, la longitude est de $-1^\circ 17'$.

b. Latitude (L) : est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le Centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud. Elle permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur.

Pour la ville de Tlemcen la latitude est environ $35^{\circ}28'N$.

c. L'altitude (Z) : correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de Référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

Pour la ville de Tlemcen la latitude est environ 750m

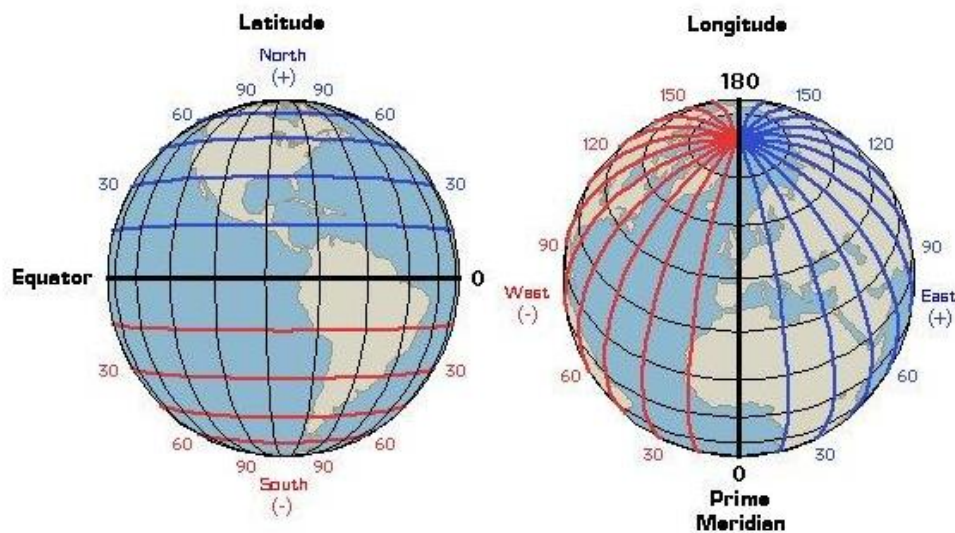


Figure 1.8 Longitudes et latitudes sur le globe. [21]

2.2.4.1.2 Systèmes des coordonnées équatoriales : [22]

Le système de coordonnées horaires a également pour origine le centre de la Terre O. Il est déterminé par l'équateur terrestre, l'axe des pôles de la Terre (PP'), et le zénith de l'observateur (Z). Les coordonnées de l'astre M sont définies par la déclinaison δ et l'angle horaire ω_h .

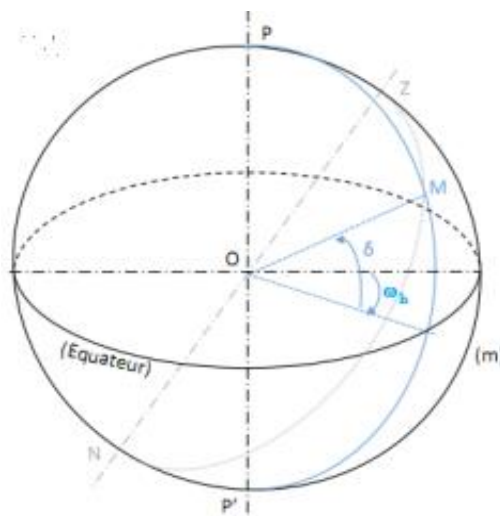


Figure 1.9 Systèmes des coordonnées équatoriales. [23]

a. Déclinaison du soleil (δ) : est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie en fonction des saisons de $-23,45^\circ$ à $+23,45^\circ$.

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$\delta = 0^\circ$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta = +23,45^\circ$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta = 0^\circ$
Solstice d'hiver :	22 Décembre	$\delta = -23,45^\circ$

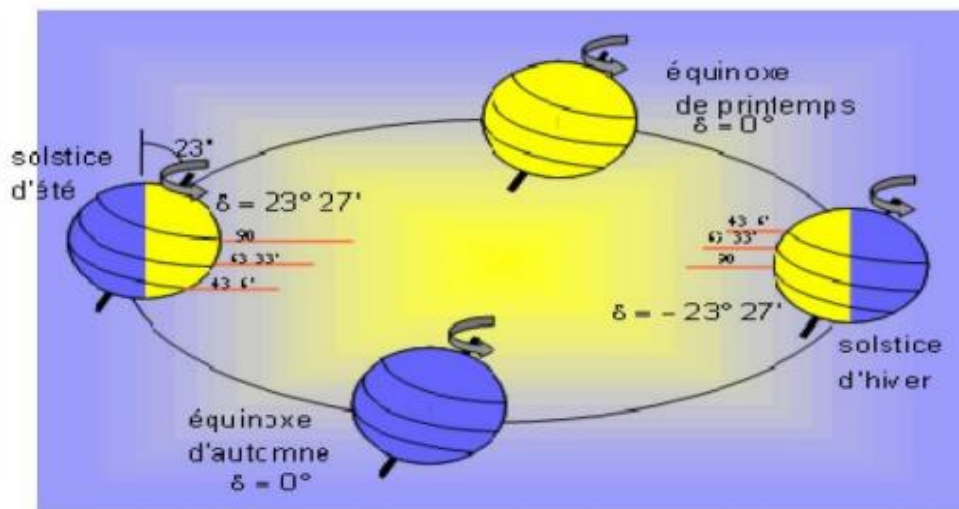


Figure 1.10 Variation annuelle de la déclinaison solaire. [10]

Entre ces 4 points remarquables, δ prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par les relations (1.4) :

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365} (284 + n)\right]$$

Ou bien

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365} (n - 81)\right] \quad (1.4)$$

n : numéro du jour de l'année compté à partir du 1er janvier.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure 1.11.

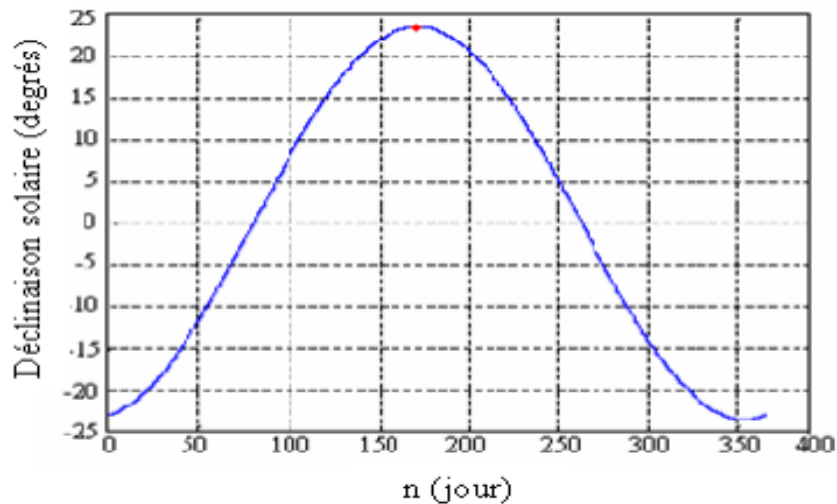


Figure 1.11. Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année n.

b. L'angle horaire (ω) : est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure, ou encore c'est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire dans sa course d'Est en Ouest par rapport au méridien local. Il est nul à midi solaire, négatif le matin et positif l'après midi. Il est donné par :

$$\omega = 15 * (TSV - 12) \quad (1.5)$$

ω : en degrés.

TSV : temps solaire vrai en heures.

Un angle horaire de 15° est donc l'équivalent d'une heure en TSV.

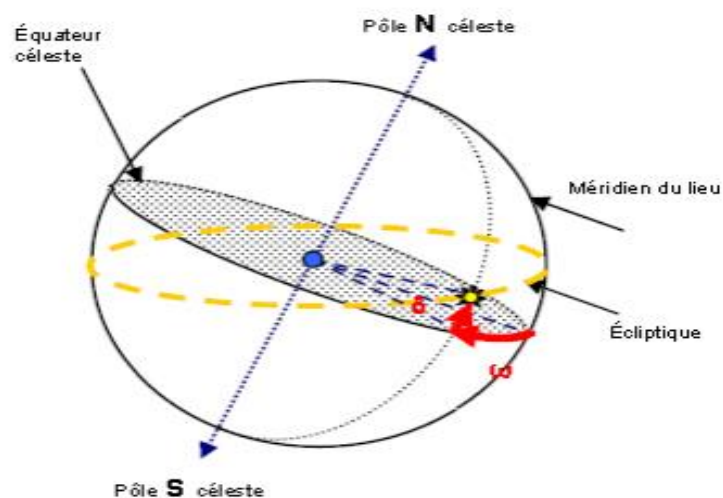


Figure 1.12 Système de coordonnées horaires. [21]

2.2.4.1.3 Systèmes des coordonnées horizontales : [24]

Il s'agit d'un système de coordonnées locales. Son origine est le centre de la Terre O, et ses plans de référence sont l'horizontal du lieu d'observation (H) et le demi-méridien sud (m). La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales définies dans la sphère céleste. La sphère céleste est la sphère ayant pour centre la Terre et pour rayon la distance entre la Terre et l'astre étudié (le Soleil dans notre cas).

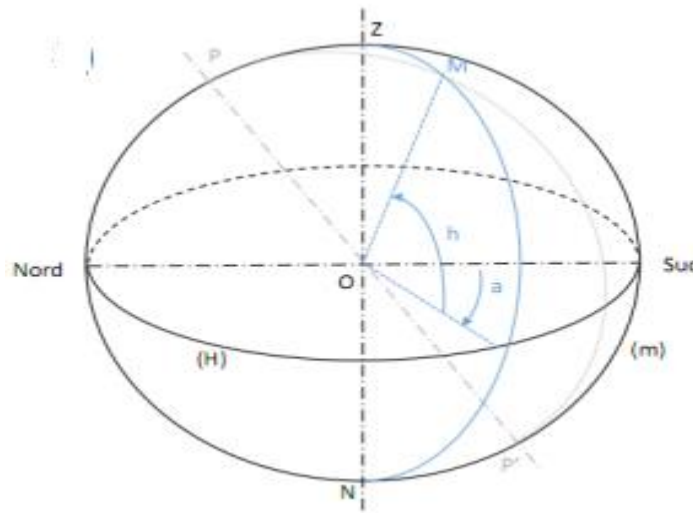


Figure 1.13 système de coordonnées horizontales. [25]

a. Angle d'incidence (θ) : L'angle d'incidence représente l'angle compris entre la normale au plan du capteur et la radiation solaire.

θ : est donné par la relation suivante :

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin L \cdot \cos i - \sin \delta \cdot \cos L \cdot \sin i \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos L \cdot \cos i \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin L \cdot \sin i \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin i \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (1.6)$$

Avec : i : inclinaison du capteur.

γ : angle entre le méridien local et la projection de la normal au plan.

b. La hauteur angulaire (h) : La hauteur angulaire ou encore hauteur du soleil est l'angle formé par le plan horizontal du lieu d'observation et la direction de l'astre (voir Figure 1.15). Il est donné par la relation trigonométrique [4] :

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (1.7)$$

c. L'azimut (a) : est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil (figure 1.14) Il est compté positivement vers l'Ouest. L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur, la déclinaison par la relation [4] :

$$\sin a = \sin \omega \cdot \cos \delta \cdot \cos h \quad (1.8)$$

Et si l'on souhaite exprimer l'azimut indépendamment de la hauteur h , on peut utiliser la formule :

$$\tan a = \sin \omega (\sin \varphi \cos \omega - \cos \varphi \tan \delta) \quad (1.9)$$

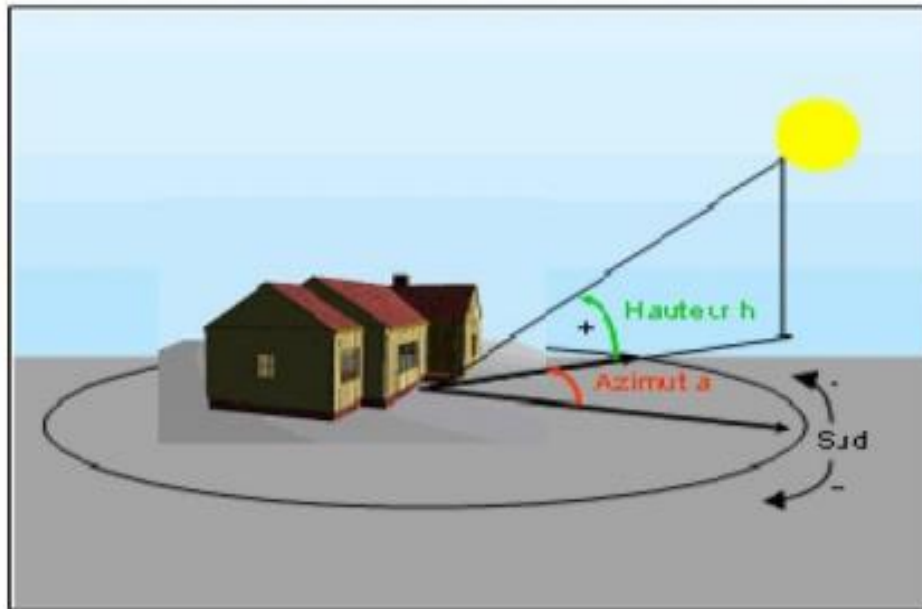


Figure 1.14 Coordonnées célestes horizontales. [10]

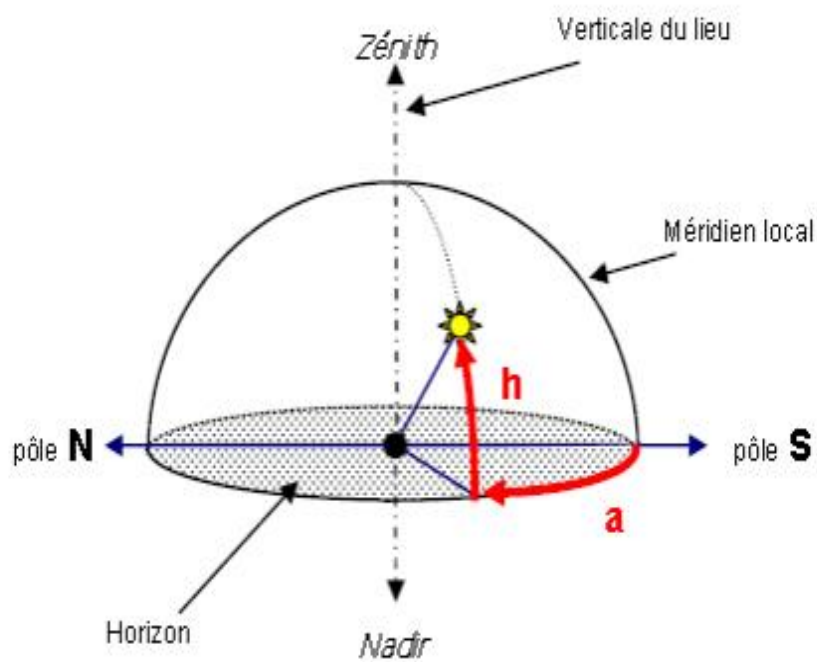


Figure 1.15 Hauteur et azimut pour un observateur dans l'hémisphère Nord. [26]

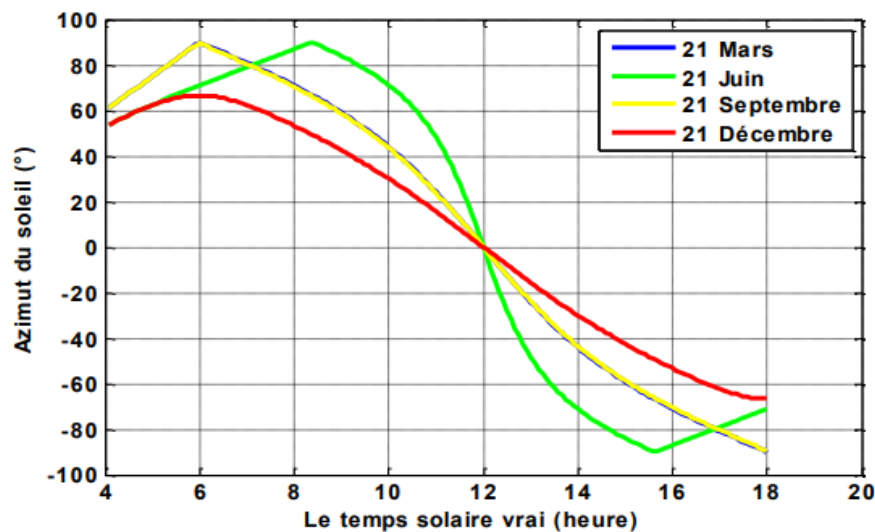


Figure 1.16 Azimut du soleil pour des journées typiques de l'année.

2.2.4.2 Paramètres de temps :

La terre subit deux types de déplacement : La rotation de la terre autour de l'axe des pôles et sa révolution autour du soleil. Le mouvement de la terre sur elle-même définit la notation de journée solaire. Une rotation complète s'effectue en 24 heures. Elle amène ainsi la définition du temps, puisque chaque heure correspond à un écart angulaire de 15° . La rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et amène à distinguer le temps solaire vrai.

2.2.4.2.1 Les temps solaires : [27][28]

Le temps solaire est une mesure du temps basée sur la définition de midi solaire : c'est l'instant où le soleil atteint son point de culmination, en un endroit donné de la terre. Le temps solaire ne coïncide pas avec le temps des horloges locales :

a. Temps solaire moyen (TSM) : La rotation de la terre autour des pôles, introduit la notion de « Temps Solaire Moyen (TSM) ». On définit le Temps Solaire Moyen (TSM) par la différence entre le temps universel et la correction de longitude, il est donné par:

$$TSM = TSV - Et \quad (1.10)$$

Et : étant l'équation du temps donnée en minutes qui est à son tour exprimée par :

$$Et = 9.87 \sin \left(2 \times \frac{360}{365} \times (N - 81) \right) - 7.53 \cos \left(\frac{360}{365} \times (N - 81) \right) - 1.5 \sin \left(\frac{360}{365} \times (N - 81) \right) \quad (1.11)$$

N : le numéro du jour dans l'année.

b. Temps solaire vrai (TSV) : est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression :

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (1.12)$$

ω : l'angle horaire, doit être exprimé en degrés.

$$TSV = TSM + \frac{ET}{60} \quad (1.13)$$

c. Temps solaire universel (TU) : est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) il est donné par la relation suivante :

$$TU = TSM + \frac{L}{15} \quad (1.14)$$

L : la longitude en ($^{\circ}$)

d. Temps légal (TL) : est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des est donné par la relation suivante :

$$TL = TU + \Delta H \quad (1.15)$$

Où ΔH : Est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considérée.

Le temps légal est le temps officiel d'un état.

e. Temps civil (TC) : est pris comme étant le temps solaire moyen avec l'origine à minuit.

f. Temps du fuseau horaire (TFH) : est défini comme le temps solaire moyen au milieu du fuseau. Ainsi, on obtient ce temps en heures par la relation suivante :

$$TFH = TU + n \quad (1.16)$$

Où n est le numéro du fuseau.

g. Durée du jour (d) : La durée du jour est donnée par la relation suivante:

$$d = (TSV)_c - (TSV)_l = 2 \times \frac{\omega_l}{15} \quad (1.17)$$

h. Décalage horaire (DH) : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (égale à 1 pour l'Algérie). Le temps solaire vrai est égale au temps légale corrigé par un décalage du à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

$$TSV = TL - DH + (ET + 4\psi) / 60 \quad (1.18)$$

2.2.4.2.2 L'équation du temps (ET) : C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de l'année considéré [29]

$$ET = TSV - TSM \quad (1.19)$$

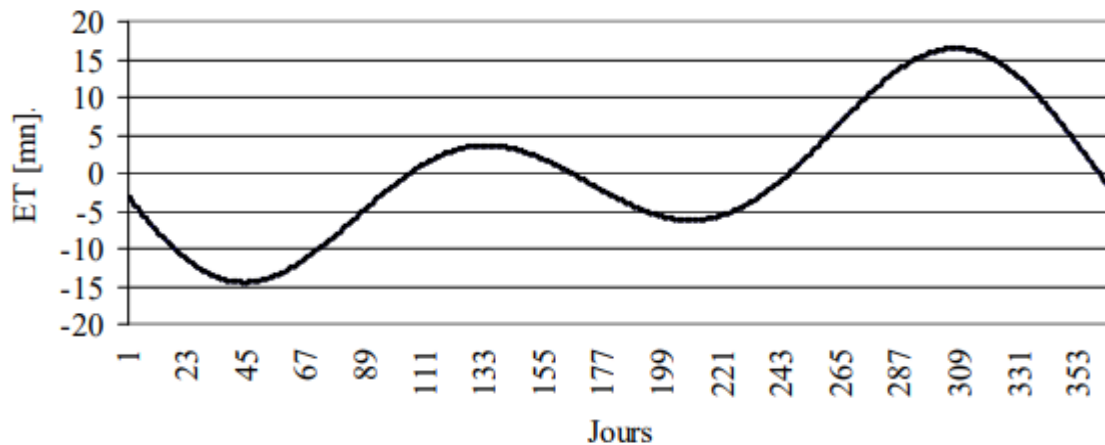


Figure 1.17 Variations annuelles de l'équation du temps.

$$ET = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x \quad (1.20)$$

$$\text{Avec : } x = \frac{360(N-1)}{365.25}$$

Où l'angle x est défini en fonction du numéro du jour N . Le décompte commence à partir du 1er janvier où $N=1$.

2.3 Aspects énergétiques :

2.3.1 Atmosphère terrestre :

L'atmosphère terrestre est une enveloppe gazeuse entourant la terre, maintenue près de la surface grâce à la force gravitationnelle. Elle constitue une enveloppe protectrice pour notre planète, et est indispensable à la vie sur terre. Elle contient l'air que nous respirons, protège toutes les formes de vie contre les radiations dangereuses du soleil grâce à sa couche d'ozone, C'est un élément majeur dans le cycle de l'eau, qui contribue à adoucir de manière notable la température moyenne à la surface du globe. [30]

Les constituants fixes sont surtout l'azote et l'oxygène. Parmi les constituants variables citons l'eau sous forme de vapeur, de gouttelettes ou de cristaux de glace et les poussières. Schématiquement, on peut considérer que l'atmosphère est constituée de trois couches de caractéristiques différentes, ce sont :

- La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.
- La stratosphère entre 15 et 80 km d'altitude.
- L'ionosphère entre 80 et 200km d'altitude.

2.3.2 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animée d'une vitesse et d'une énergie extrême élevées, le soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamme, en passant par la lumière visible. Ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre.

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1354 w/m² (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchi une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

La connaissance du rayonnement solaire dans tous ses aspects est nécessaire dans toute application de l'énergie solaire. Pour cela on a vu utile de définir ci-dessous quelques notions essentielles pour le rayonnement solaire. [31]

2.3.2.1 Composante du rayonnement solaire : [32]

a. Le rayonnement solaire direct : est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair. Il est se forme de rayons parallèles provenant du soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par :

$$G_{dirh} = C^* \cdot \tau_{dir} \quad (1.21)$$

G_{dirh} : éclairement énergétique direct reçu sur un plan horizontal.

L'éclairement énergétique G_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par :

$$G_{dir} = G_{dirh} \times \cos\theta \quad (1.22)$$

θ : angle d'incidence des rayons solaires.

b. Le Rayonnement solaire diffus : C'est la composante du rayonnement solaire incidente sur un plan récepteur après avoir été diffusée par les nuages, les poussières, les aérosols et le sol et subissant le phénomène de multi-réflexions. Elle parvient ainsi de toute la voute céleste.

c. Le Rayonnement solaire réfléchi : C'est le rayonnement qui provient du sol par suite à la réflexion. Cette composante Dépend de la nature du sol et de sa couleur.

d. Le rayonnement solaire global : C'est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus, donc on peut l'exprimer par :

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad (1.23)$$

e. La transmission : C'est la soustraction de flux incident et la somme de flux réfléchi, absorbé, Φ_t .

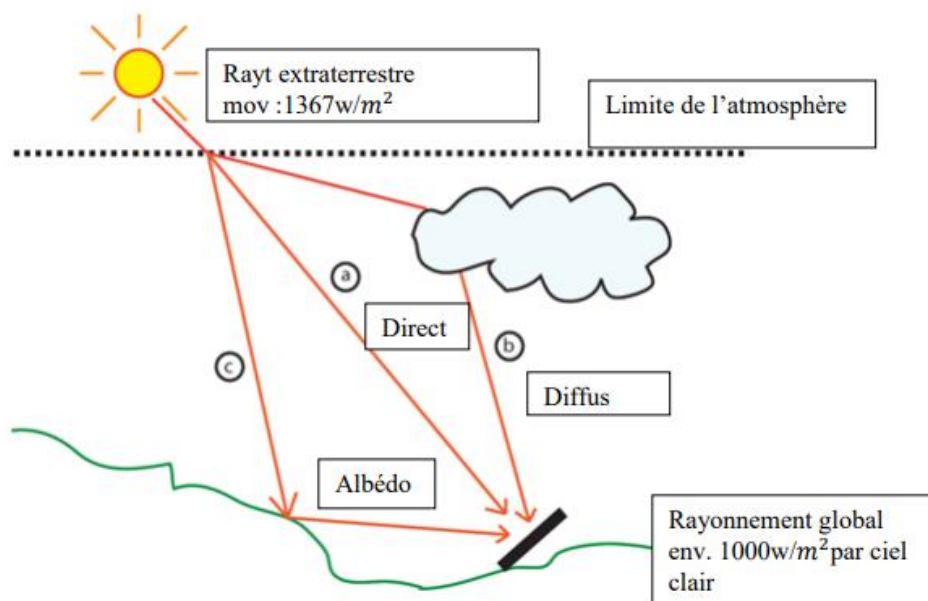


Figure 1.18 composantes du rayonnement solaire au sol. [18]

2.3.2.2 Caractéristiques du rayonnement : [33]

a. L'éclairement : est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). Le S.I. (système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole E.

b. L'irradiation ou rayonnement : est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime En J m^{-2} (joule par mètre carré). L'ISES (International Solar Energie Society) recommande le Symbole H. D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré).

c. Constante solaire : est le flux énergétique reçu par une surface unité. On appelle la constante solaire noté C^* , la valeur moyenne du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre.

La variation de la constante solaire suit la relation suivante :

$$C^* = C^* + 0.033 \cdot \cos(0.948 \cdot n) \quad (1.24)$$

Où : C^* : la constante solaire.

On a : $C_0^* = 1353 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue.

n : le numéro du jour de l'année.

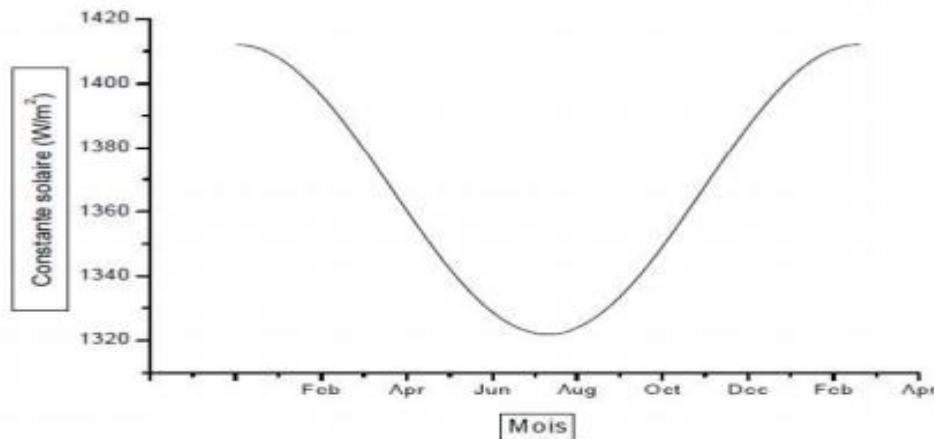


Figure 1.19 Variation mensuelle de la constante solaire. [34]

d. Insolation :

- **insolation potentielle (théorique) SS_0** : L'insolation potentielle est définie comme étant la valeur de l'insolation de la journée considérée en absence de l'atmosphère, elle ne dépend que de la position géographique du lieu considéré, sa formule est comme suit :

$$SS_0(n) = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\text{tg}\varphi \text{ tg}\delta) \quad (1.25)$$

- **Durée d'insolation (SS)** : La durée d'insolation est définie comme étant un paramètre temporel caractérisant le rayonnement solaire. Pour une journée donnée, elle représente la somme des intervalles de temps pour les quels l'intensité du rayonnement solaire dépasse un seuil de 100 W/m^2 .
- **La fraction d'insolation** : C'est un paramètre qui dépend des conditions climatiques de nébulosité du ciel. La nébulosité est le rapport entre la surface du ciel couverte par les nuages et la surface totale du ciel au dessus du territoire correspondant. On relie à la fraction d'insolation qui est une grandeur mesurable par la connaissance des durées d'insolation enregistrées par les héliographes qui sont déduits par le rapport suivant :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} = \frac{\text{durée d'insolation}}{\text{durée insolation maximale}} \quad (1.26)$$

2.3.2.3 Mesure et calcul des rayonnements solaires :

Le rayonnement solaire peut être déterminé de plusieurs manières en fonction de données disponibles, la mesure du rayonnement solaire est assurée par des appareils spécifiques, on distingue notamment :

- **Le Pyrhéliomètre** : La mesure de l'éclairement solaire direct est assurée par un Pyrhéliomètre. Cet appareil est généralement constitué par une thermopile peinte en noir.



Figure 1.20 : Pyrhéliomètre. [35]

- **Pyranomètre ombré** : La mesure de l'éclairement diffus est assurée par un Pyranomètre avec un anneau d'ombrage appelé bande pare-soleil.



Figure 1.21 : Pyranomètre avec anneau d'ombrage. [35]

- **Le Pyranomètre :** Pour la mesure de l'éclairement global, on utilise un Pyranomètre figure 1.22 Les pyranomètres les plus utilisés sont de type (Kipp Zonen) pour la mesure de l'éclairement solaire global.



Figure 1.22 : Pyranomètre. [35]

3. Gisement solaire : [36]

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances. L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire. Bien qu'il existe un réseau de stations d'évaluation du gisement solaire, le nombre de ces stations est très limité.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données ;
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure)
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc....

3.1 Gisement solaire dans le monde : [37]

La situation géographique de notre planète nous montre un gisement solaire très élevé ce qui nous pousse à faire penser à l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable et facile à l'exploiter pour produire de l'électricité.

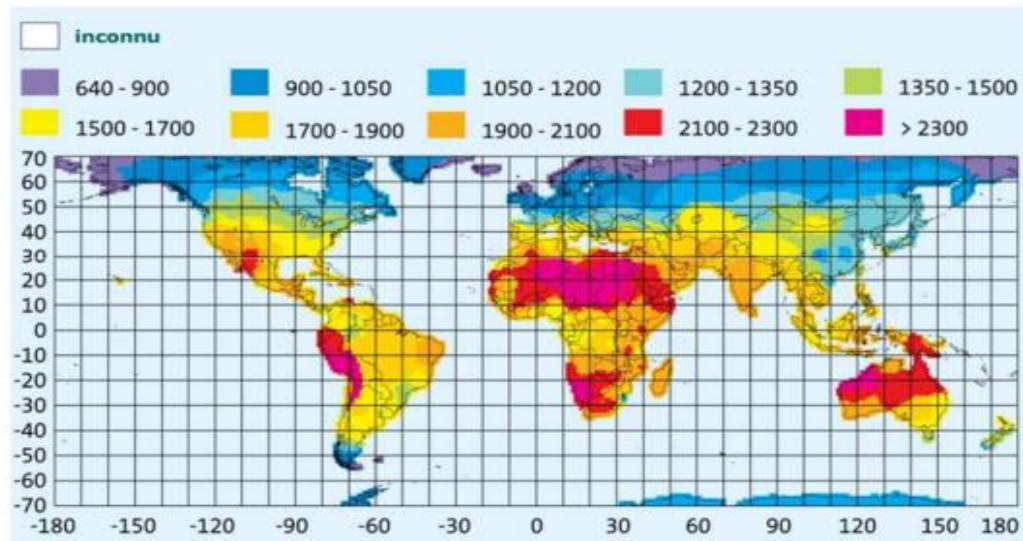


Figure 1.23 Ensoleillement moyen annuel dans le monde. [37]

3.2 Gisements solaire en Algérie :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme, suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau 1.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement [32] :

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie%	04	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement(H/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue kWh/m ² /an	1700	1900	2650

Tableau 1.1 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques. [32]

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peu arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [32]. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure 1.24).

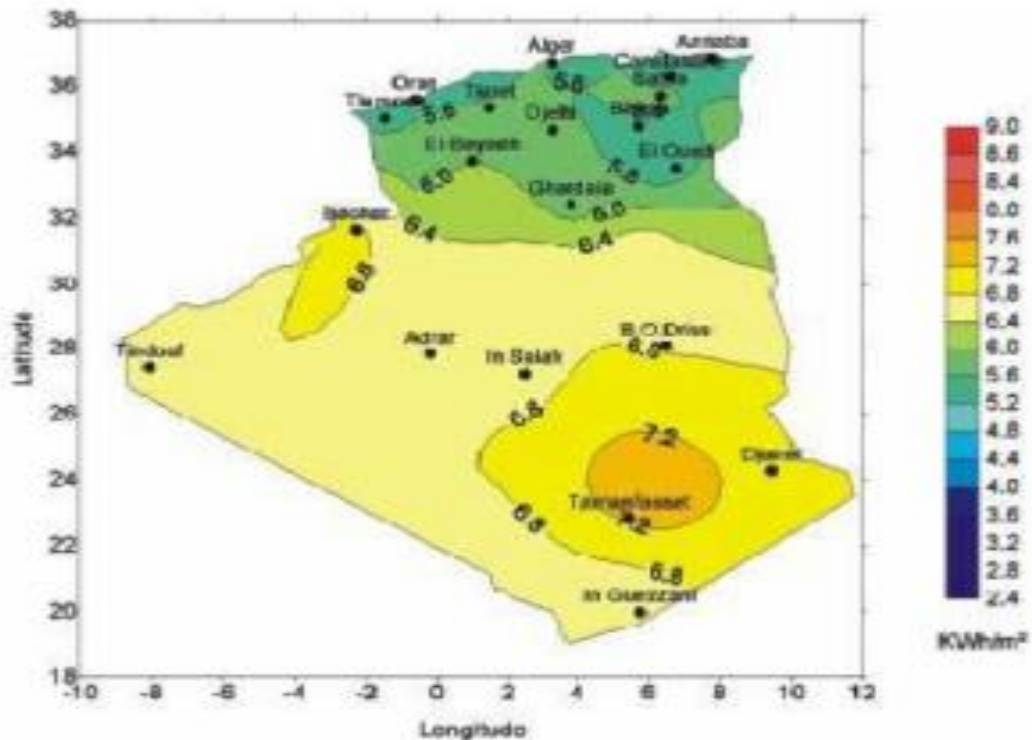


Figure 1.24 Moyenne annuelle de l'irradiation Solaire globale reçue sur un plan incliné à la Station Latitude du lieu. [38]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire algérien. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

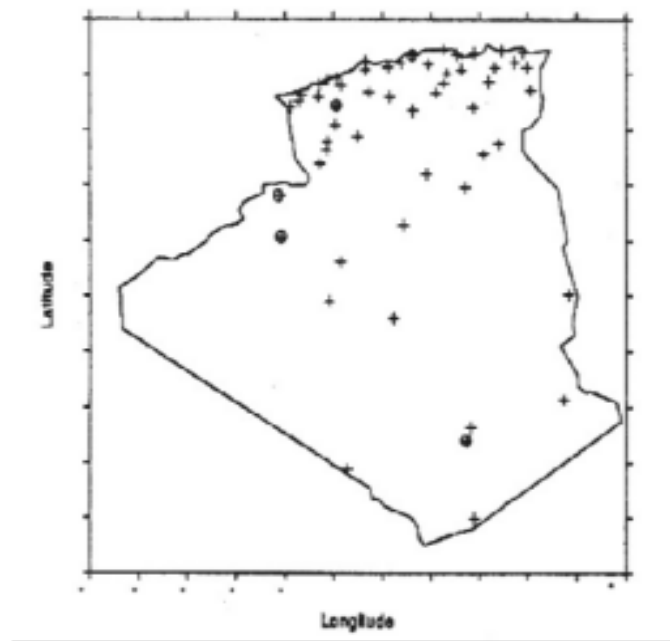


Figure 1.25 Répartition territoriale des météorologique en Algérie. [38]

Les cartes de gisement solaire ont été dessinées pour chaque mois de l'année (figure 1.26). En les analysant, nous remarquons que :

- Le gisement solaire à travers le pays tend à croître de janvier jusqu'à juillet où il atteint son maximum. À partir de Août, il commence à faiblir jusqu'à la fin d'année.
- Le gisement solaire est plus important dans le Sud algérien. Plus nous avançons vers le Nord, plus il faiblit.
- En décembre, c'est approximativement entre les latitudes 32° et 37° Nord, et longitudes 1° et 9° Est, que le gisement solaire du Nord est le plus important. En avançant vers les mois chauds, nous relevons que cette surface rétrécit et se redistribue en plusieurs petites surfaces ayant des gisements plus ou moins différents mais qui restent plus importants que le gisement qui règne dans cette partie du pays durant la fin d'année.
- Toujours en restant dans le Nord, nous remarquons que les gisements qui se trouve à l'extrême Est est le plus faible du pays.
- Dans le Sud, où le rayonnement solaire reçu est le plus important, c'est à l'extrême Sud-est que nous retrouvons le gisement le plus important du pays. Cependant, durant les mois chauds (comme il apparait clairement durant le mois de juillet), c'est entre les latitudes 26° et 30° Nord, et longitudes 1° et 10° Est, que le pays reçoit le plus d'énergie solaire. Ce n'est pas une coïncidence si c'est l'intérieur de ce périmètre que la première centrale thermique hybride d'Algérie a été installée (Hassi R'Mel, 31.7° Nord et 6.05° Est).

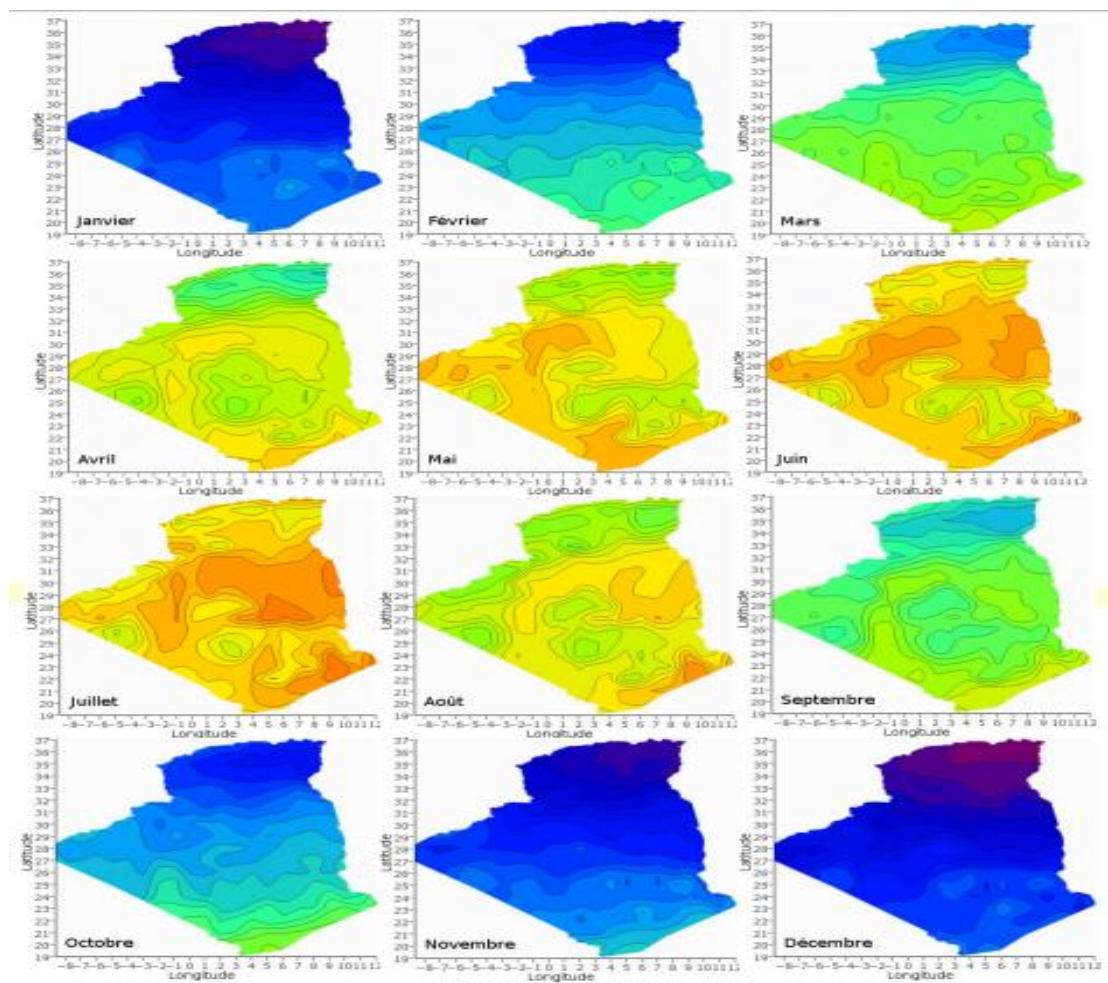


Figure 1.26 Cartes mensuelles du gisement solaire algérien. [39]

4. Généralités sur les capteurs solaires thermiques :

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente. L'intérêt du solaire est sensiblement le même sur tout le territoire. L'ensoleillement est plus fort dans le Sud, mais dans le Nord, les besoins en chauffage sont plus importants et plus étalés sur l'année. L'énergie peut être récupérée par des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques. Le flux solaire peut être directement converti en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques.

4.1 Description des différents capteurs solaires :

Les capteurs solaires ont toujours constitué des éléments essentiels dans les dispositifs de conversion thermiques et se sont présentés sous différentes formes et modèles diversifiés. L'étude de leur évolution dans le temps à montrer une diversification de l'architecture de ses différents prototypes qui s'adaptent à leur environnement d'utilisation et le type de fluide caloporteur.

4.1.1 Caractéristiques techniques des différents composants : [40]

Un capteur plan utilise l'effet de serre et parvient à récupérer environ 50% de l'énergie Incidente. Il se compose des éléments suivants :

4.1.1.1 Couvertures :

C'est la partie qui reçoit directement le maximum du rayonnement solaire incident. Il s'agit d'une plaque en verre qui a un rôle d'assurer une bonne transmission du rayonnement qu'elle reçoit à l'absorbeur. Elle peut être en simple, double ou triple vitrage afin d'assurer l'effet de serre et de minimiser les pertes vers l'extérieur. On distingue deux types de couvertures transparentes :

a. Le verre : La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre.

b. Les polycarbonates : sont des dérivés de matières plastique à double et à triple lame très fine, reliées entre elles par une multitude de parois pour former des cavités alvéolaires, ces dernières réduisent le mouvement de l'air incarcéré dans cet espace, et permettent de minimiser les pertes thermiques par convection vers l'avant. C'est ce genre de couvertures qu'on utilise dans notre laboratoire. Leur coefficient de transmission au rayonnement solaire, est de l'ordre de 83% sous une incidence normale à l'état neuf, qui diminue légèrement avec le temps (79% au bout de cinq ans). Il faut noter que l'effet de serre est nettement meilleur avec des couvertures transparentes en verre et en particulier avec des plaques alvéolaires à double paroi. Les polycarbonates, en comparaison avec des couvertures en verre, présentent l'avantage d'avoir une bonne résistance aux chocs thermomécanique.

4.1.1.2 Absorbeur :

Souvent en tôle noire, sa fonction essentielle est d'accumuler le maximum de chaleur afin de la transmettre aux autres composantes de son environnement par convection (fluide caloporteur) par rayonnement (vitre) ou par conduction (tube). L'absorbeur doit avoir un maximum d'échange avec le fluide caloporteur pour optimiser les échanges avec ce dernier et minimiser ses pertes vers l'extérieur pour une bonne efficacité du capteur.

Deux fonctions incombent à l'absorbeur :

1. absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible.
2. transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

Les matériaux utilisés comme absorbeur sont : le cuivre, les aciers, l'aluminium ...etc.

4.1.1.3 Fluide caloporteur :

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur, différents fluides peuvent être utilisée mais doit satisfaire a des certains conditions :

L'air : C'est un fluide gratuit mais il possède une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau.

L'eau : Elle possède les avantages suivants : une grande chaleur massique, et une faible viscosité.

4.1.1.4 Isolant :

Le capteur solaire emmagasine de l'énergie thermique à partir du rayonnement solaire. Cependant pour rendre maximal cette énergie, il faut utiliser un matériau suffisamment isolant afin de minimiser les pertes vers l'extérieur.

Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C.

Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm. Un bon isolant doit les qualités suivantes :

- Une faible conductivité thermique.
- Une faible densité (pour une faible inertie thermique).
- La chaleur massique doit être basse.
- Une résistance thermique dans l'intervalle des températures de service.

4.1.1.5 Boîtier :

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques. Destinée à réduire les pertes de chaleur vers l'arrière et les cotés du capteur, celui-ci Doit être solide et résistant à la corrosion.

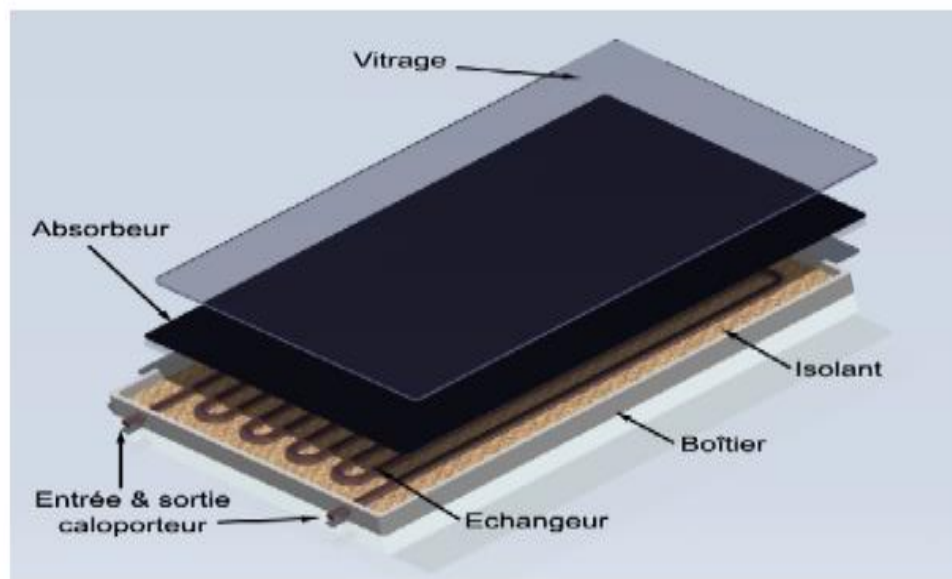


Figure 1.27 Différents composants d'un capteur plan. [10]

4.1.2 Principe de l'effet de serre :

Certains matériaux laissent passer une gamme étendue de longueurs d'onde, alors que le verre est transparent seulement au visible et au proche infrarouge. Entourant un corps noir d'une cage de verre, la lumière traversant le verre chauffe le corps noir et le porte à une température de 30° à 100°C environ. Ce corps noir faiblement chauffé va donc émettre dans l'infrarouge pour lequel le verre est opaque, l'infrarouge piégé dans la cage va retourner au corps noir contribuant ainsi un échauffement ; c'est l'effet de serre [41].

Le phénomène de l'effet de serre rappelle celui de la serre du jardinier : l'atmosphère terrestre laisse passer la lumière du soleil mais emprisonne la chaleur. Il y a deux phénomènes :

- les rayons ultraviolets du soleil se jettent sur le sol terrestre et la terre en renvoie une partie de cette énergie vers le ciel.
- Or, une couche de vapeur d'eau et de gaz empêche une partie de cette chaleur de repartir dans l'espace, d'où réchauffement de la planète. Parmi les gaz concernés, la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Alors on peut pratiquer le même principe sur les capteurs vitrés.

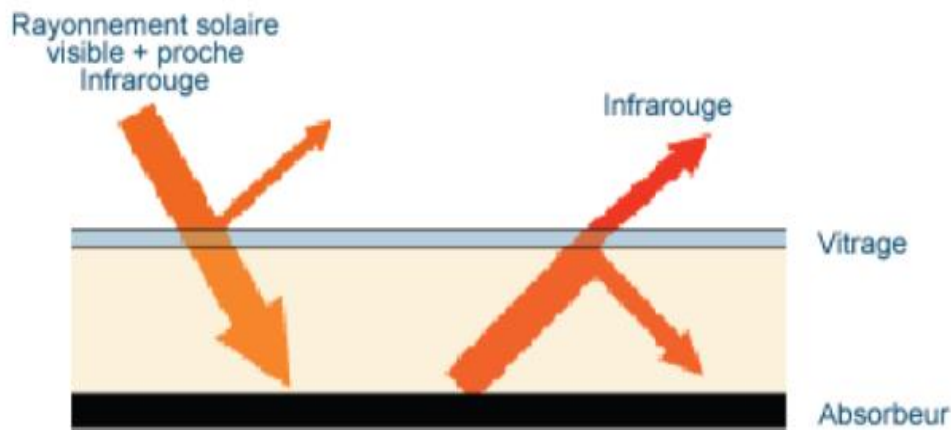


Figure 1.28 Effet de serre dans un capteur solaire thermique. [10]

4.1.3 Bilan énergétique :

La puissance P_v rayonnée par le soleil et absorbée par la vitre :

$$P_v = \alpha_v \cdot G \cdot A_v \quad (1.27)$$

Où : α_v : Absorptivité de la vitre.

G : Rayonnement global incident.

A_v : Surface de la vitre.

Le bilan énergétique par unité de surface du capteur s'écrit :

$$\varphi_a = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_s \quad (1.28)$$

Où φ_a : Le flux solaire absorber à la surface de l'absorbeur,

φ_u : La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur

4.1.3.1 Bilan thermique du capteur :

Le bilan thermique par unité de surface d'un capteur s'écrit :

$$P_{abs} = P_u + P_a + P_s \quad (1.29)$$

Cette équation caractérise le fonctionnement d'un capteur solaire plan en régime transitoire, en régime permanent, on aura :

$$P_{abs} = P_u + P_a \quad (1.30)$$

P_{abs} : La puissance absorbée à la surface de l'absorbeur.

P_u : La puissance utile.

P_a : La puissance perdue par convection et conduction et rayonnement vers l'arrière du capteur et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant du capteur.

P_s : Puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur lorsque le régime est transitoire.

4.1.3.2 Rendement instantané d'un capteur :

Les rendements d'un capteur sont définis par rapport au flux solaire incident de la manière suivante :

- Le rendement global :

$$\eta = \frac{\varphi_u}{G_{(i,\gamma)}^* S} \quad (1.31)$$

- Le rendement interne :

$$\eta_i = \frac{\varphi_u}{\varphi_{sa}} \quad (1.32)$$

- Le rendement optique :

$$\eta_0 = \frac{\varphi_{sa}}{G_{(i,\gamma)}^* S}$$

$$\eta = \frac{\text{Puissance thermique utile par m}^2 \text{ du capteur}}{\text{Flux solaire incident sur le plan du capteur}}$$

$$\eta = \frac{\varphi_u}{\varphi_a} \quad (1.33)$$

4.1.4 Paramètres de captage :

Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur des rayons solaires qui les transforment en chaleur, en absorbant les rayons solaires provenant de toutes les directions. Le rayonnement solaire est non seulement absorbé par le ciel, mais aussi de tout l'environnement. Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée.

Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus au moins complexes dont le principe consiste à focaliser le rayonnement

incident sur un absorbeur de surface réduite que la surface d'ouverture du collecteur, afin d'augmenter la concentration du rayonnement aux niveaux de l'absorbeur.

Les capteurs plans utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La figure suivante montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire [42].

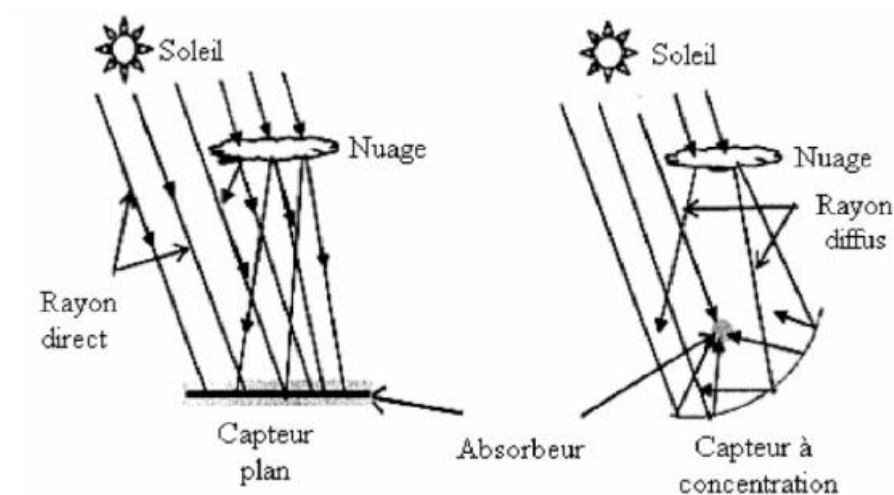


Figure1.29 Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire. [10]

Le rendement d'un capteur solaire plan est influencé par différents paramètres. On peut les classer en deux catégories : paramètres externes et paramètres internes [10].

4.1.4.1 Paramètres externes :

a. Les paramètres d'ensoleillement :

- Eclairement énergétique dû au rayonnement global.
- Position du soleil et durée d'insolation.
- L'heure de la journée et la saison.
- La position géographique du lieu considéré (latitude).

b. Température ambiante.

c. Vitesse du vent.

4.1.4.2 Paramètres internes :

a. Les paramètres de position :

- Orientation, inclinaison et emplacement du capteur.
- Capteur fixe ou suiveur du soleil.

b. Les paramètres de construction : Parmi lesquels nous citons :

L'absorbeur :

- Les propriétés thermo physiques et optiques.
- Dimensions des tubes, de la plaque absorbante et espacement entre les tubes.
- Introduction des rugosités artificielles et de la surface sélective.
- Epaisseur de la lame d'air entre l'absorbeur et la vitre.
- Géométrie des canaux (carrée, rectangulaire, hexagonale, circulaire).
- Configuration du réseau de circulation du fluide caloporteur.
- Température de l'absorbeur.
- La différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant.

La surface sélective :

- Propriétés optiques.

Couverture transparente :

- Propriétés optiques et thermo physiques.
- Epaisseur.
- Le nombre de vitrage et la forme.

L'isolant :

- Propriétés thermo physiques et optiques.
- Epaisseur.

Fluide caloporteur :

- Régime d'écoulement (laminaire ou turbulent) et le débit.
- Température d'entrée.
- Propriétés thermo physiques.

4.2 Capteurs solaires thermiques :

4.2.1 Définition :

Les capteurs solaires thermique sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il

est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre.

4.2.2 Historique : [40]

Le soleil constitue une source d'énergie permettant d'équilibrer la vie de l'homme sur terre. L'utilisation des collecteurs solaires thermiques remonte dans le temps et ils peuvent être classés selon les différentes époques de l'évolution technologique et industrielle.

Vers 212 ans avant Jésus Christ, Archimède avait conçu une méthode de production de chaleur à l'aide de miroirs métalliques.

En 1780 l'effet de serre est mis en évidence par un vitrage au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé. Il faut cependant attendre 1910 pour voir apparaître les premiers chauffe-eau solaires. Comme beaucoup de filières d'énergies renouvelables, le solaire thermique connaît une phase de croissance importante entre 1973 et 1985 en réaction au choc pétrolier. Mais ce développement rapide, avec des technologies ou des installateurs déficients, a entraîné de nombreuses contre-performances.

À la fin du 18^{ème} siècle, Lavoisier construit un four solaire qui atteint la température de 1800 °C. Pour cela, il concentre les rayons solaires à l'aide d'une lentille à liquide. En 1816, Robert Stirling invente le "moteur à air chaud" (appelé aujourd'hui "moteur Stirling"), à 4 temps qui a révolutionné l'industrie.

Au cours du 19^{ème} siècle, Augustin Mouchot met au point de nombreuses inventions : pasteurisation solaire, distillation solaire, cuisson solaire, pompage solaire, concentrateur parabolique alimentant des machines thermiques. Il a mis en place un réflecteur de 5 mètres de diamètre associé à une machine à vapeur qui actionne une presse d'imprimerie.

En 1910, Franck Shuman construit une centrale thermo solaire à taille industrielle et c'est à la fin du 20^{ème} siècle que sont lancés diverses centrales et fours solaires à concentration après différents prototypes, de même, de 1984 à 1991, de nombreuses centrales à miroirs cylindro paraboliques sont apparues. Plusieurs applications industrielles telles que le dessalement de l'eau de mer, la production d'énergie, le séchage.., ont vu le jour dans plusieurs pays lors de ses 50 dernières années grâce aux collecteurs solaires.

4.2.3 Principe de fonctionnement :

Considéré comme élément essentiel chargé de capter et de transformer l'énergie, le capteur solaire utilise l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible (longueurs d'onde comprises entre 0,3 et 3 μm), il traverse la vitre et est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante.

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30 μm). Ce rayonnement est partiellement arrêté par la paroi du verre qui

s'échauffe et rayonne vers la surface absorbante. Ce cycle interactif permet d'élever la température de la couverture transparente et de l'absorbeur.

Un échange par convection permet au fluide caloporteur de collecter une partie de cette énergie absorbée qui contribue à une élévation de température le long de son parcours dans le capteur. Cette énergie sera par la suite transportée vers des installations pour usage.

Côté extérieur, le capteur doit être isolé avec des matériaux de faible conductivité thermique afin de minimiser les pertes thermiques.

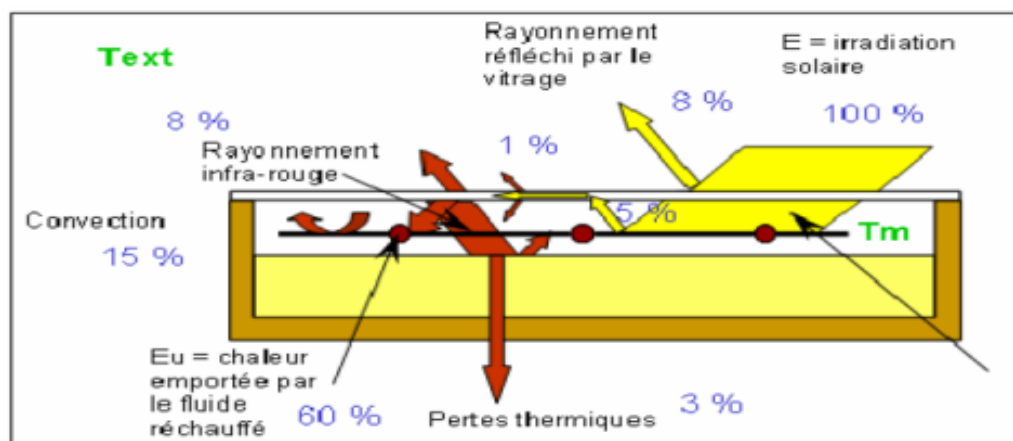


Figure 1.30 Principe de fonctionnement du capteur solaire plan. [10]

4.2.4 Types des capteurs solaires thermiques :

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

4.2.4.1 Capteur sans vitrage : (aussi appelé capteur "moquette") [43]

Ce sont des capteurs simples de grande surface de collecte produisant de températures relativement basses et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement. Un modèle de ces capteurs est présenté sur la figure 1.31

Il ne comporte pas de couverture et est souvent constitué uniquement :

- d'absorbeurs (métalliques ou en plastique).
- de faisceaux de tubes cylindriques ou ovalisés parcourus par de l'eau (fluide caloporteur). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

Les pertes thermiques étant dans ce cas élevées. Il est peu sensible à l'angle d'incidence du rayonnement. Les températures courantes de fonctionnement ne dépassent jamais 30°C , ce qui limite leur emploi :

- au chauffage des piscines.
- au préchauffage d'eau chaude.

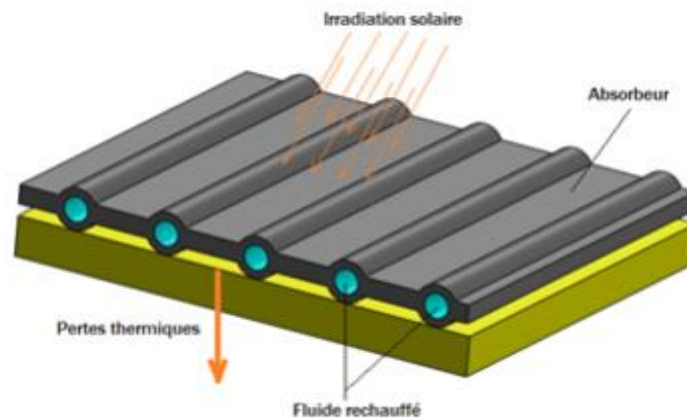


Figure 1.31 Description d'un capteur solaire non vitré. [44]

4.2.4.3 Capteur vitré :

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

Le capteur vitré est constitué de différents composants :

- le coffre.
- l'isolation thermique.
- l'absorbeur.
- la couverture transparente.

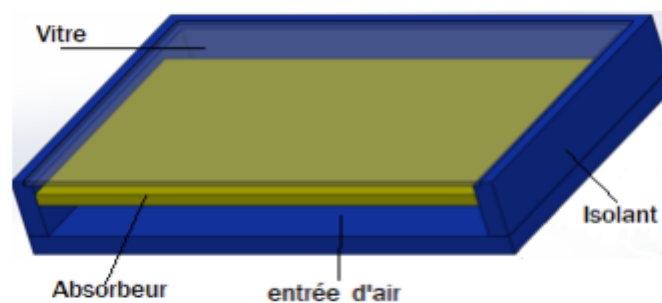


Figure 1.32 Capteur plan vitré. [44]

4.2.4.4 Capteur sous vide :

Le capteur à tubes sous vide et leur principe de fonctionnement sont respectivement présentés sur les figures 1.33 et 1.34. Ce type de capteurs permet de satisfaire aux applications nécessitant des niveaux de températures plus importantes, il utilise le vide comme isolation thermique, il possède donc un très bon rendement à hautes températures. On le trouve dans de nombreuses applications industrielles, mais aussi dans le domaine de l'habitat individuel et collectif pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Il est composé

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

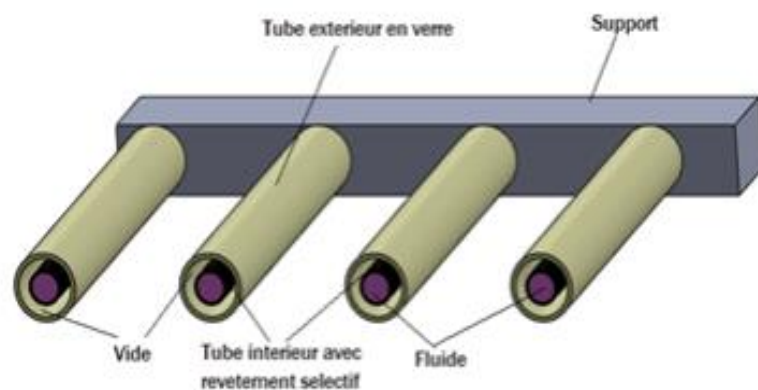


Figure 1.33 Un modèle de capteur à tubes sous vide. [44]

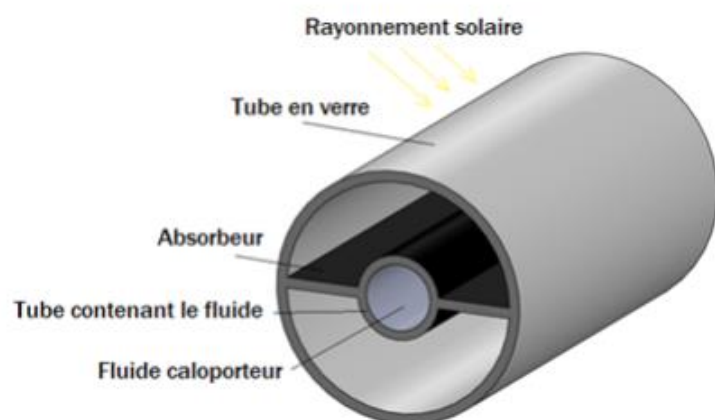


Figure 1.34 Capteur à tube sous vide. [44]

4.2.5 Orientation et l'inclinaison d'un capteur solaire :

4.2.5.1 Orientation :

A cause de répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueilli soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord).

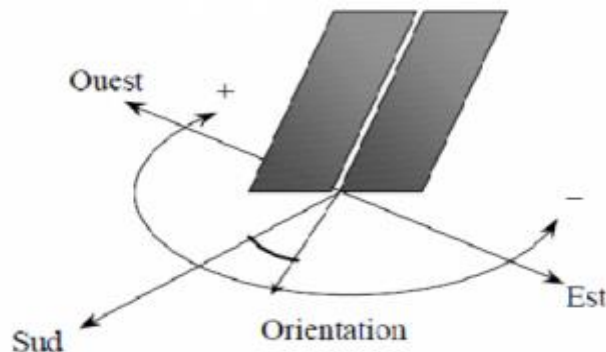


Figure 1.35 Orientation d'un capteur solaire. [44]

4.2.5.2 Inclinaison : [45]

Les capteurs solaires peuvent être installés au sol, contre le côté d'un édifice ou sur la toiture. Idéalement, ils devraient être orientés vers le sud, à l'écart des zones ombragées, et devraient présenter un angle d'inclinaison qui permet que la surface du capteur soit perpendiculaire aux rayons solaires et d'être exposés au maximum à la lumière solaire. Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en soustrayant la déclinaison du soleil de la latitude géographique de l'emplacement du capteur.

En général, il s'agit de la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15 degrés. En hiver (position hivernale), lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison plus élevé (à la latitude plus 10 à 15 degrés). Par contre, il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison moins élevé (à la latitude moins 10 à 15 degrés) durant les mois d'été lorsque le soleil est plus haut dans le ciel (position estivale).

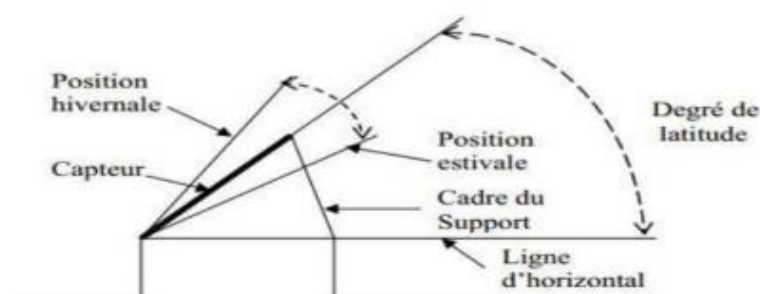


Figure 1.36 Installation d'un capteur solaire.

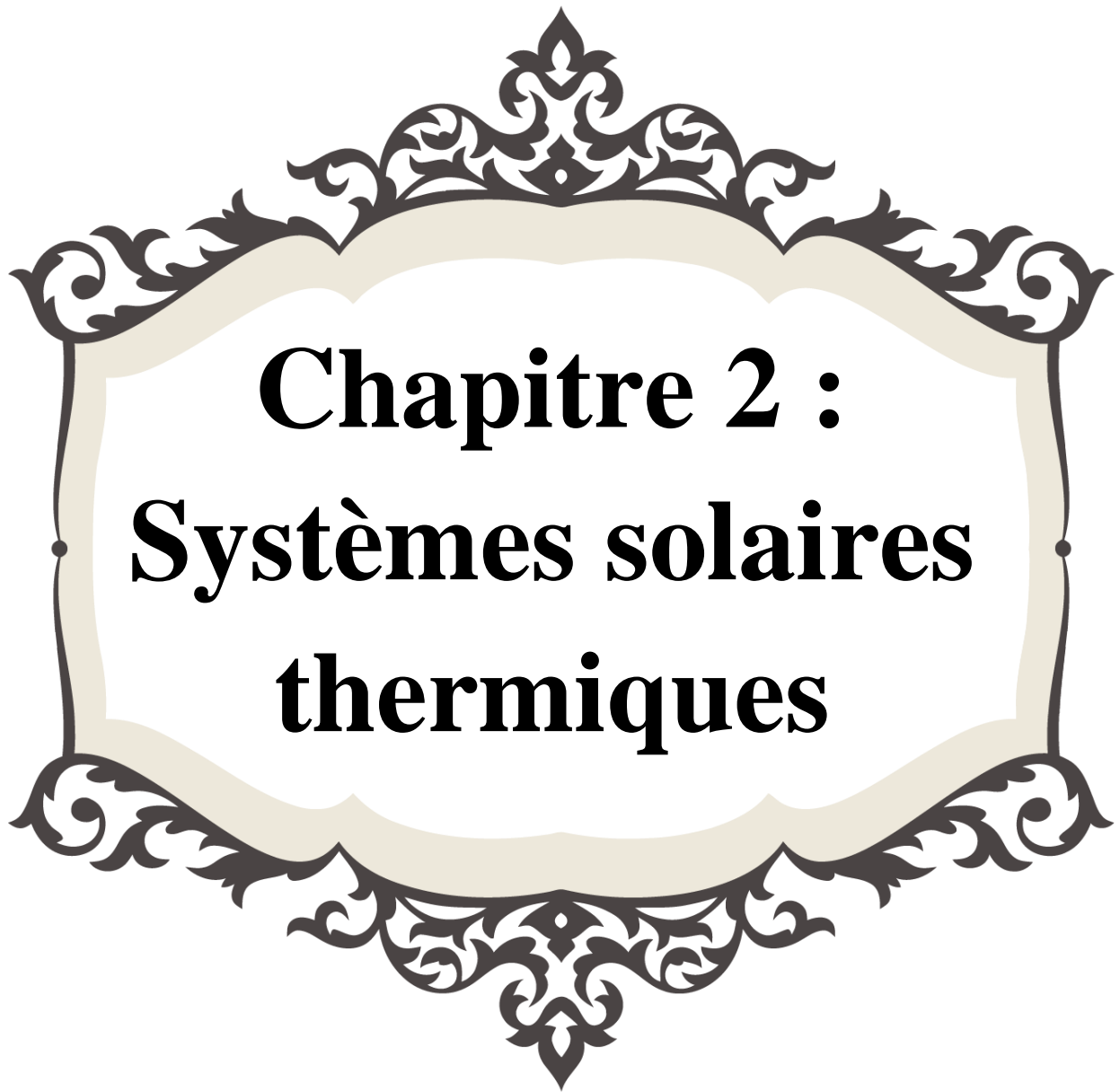
5. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un récapitulatif de quelques notions de base relatif au soleil et de son l'énergie. Nous avons présenté des notions importantes sur le gisement solaire, comme le mouvement de la terre autour de soleil et les coordonnées terrestres.

Ensuite nous avons donné brièvement quelques définitions pour différencier les types de l'irradiation solaire, et les paramètres qui permettent une optimisation de l'énergie solaire comme les angles d'inclinaison et les systèmes de poursuite du soleil.

Les mesures solaires sont principalement des mesures au sol du rayonnement direct, diffus et du rayonnement global. D'autres paramètres peuvent également être mesurés et qui sont : les durées d'insolation et le temps horaire. Les mesures solaires sont effectuées par des appareils tels que l'héliographe, le pyréliomètre qui mesure le rayon incident et les pyranomètres. Ces paramètres nous seront très utiles pour connaître la meilleure orientation possible d'un capteur. .

Enfin, nous avons donné quelques notions sur les différents types et les caractéristiques techniques des différents composants des capteurs solaires pour distinguer le solaire thermique.



Chapitre 2 :
Systemes solaires
thermiques

1. Introduction :

Le solaire thermique est largement exploité dans le monde, essentiellement pour des besoins d'eau chaude sanitaire, éventuellement combinées à du chauffage.

L'énergie du soleil, qui parvient à la surface de la terre sous forme de rayonnement, est la source de toute vie sur terre. Elle nourrit les plantes grâce à la photosynthèse, elle génère de la chaleur (que l'on peut capter). On peut alors utiliser la chaleur pour chauffer l'eau chaude sanitaire, mais aussi l'eau des piscines ou les bâtiments.

Les systèmes solaires combinés et les chauffe eau solaires sont des systèmes thermiques actifs qui utilisent l'énergie du soleil, via un capteur solaire pour convertir une partie des besoins (eau chaude sanitaire, chauffage). On distingue deux types d'installation :

- Le chauffe-eau solaire individuel (CESI) en réponse partielle au besoin d'eau chaude sanitaire (ECS).
- Le système solaire combiné (SSC) en réponse partielle aux besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Le chauffage des piscines extérieures est une des applications les plus rentables de l'utilisation de l'énergie solaire, et cela pour la période pendant laquelle les piscines sont utilisées correspond à celle qui offre le meilleur ensoleillement, l'efficacité des capteurs solaires thermiques à des basses températures (environ 26°C).

2. Installation d'un système solaire thermique :

2.1 Qu'est ce que la thermique ?

A fin de mieux cerner le champ disciplinaire qui nous intéresse, il convient de préciser la définition de la thermique : la thermique est la branche de la physique relative à l'une des formes les plus usuelles de l'énergie : la chaleur.

Elle traite tous les phénomènes liés à son transfert, entre milieu matériel ou en leur sein, sous l'action de différences de températures.

2.2 Eléments constitutif d'une installation thermique :

Tout système de conversion thermique de l'énergie solaire constitue les éléments suivants :

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

2.3 Réalisation d'une installation solaire thermique : [46]

Les installations solaires thermiques servent à préparer de l'eau chaude sanitaire, à chauffer des locaux ou à des fins industrielles (séchage, déshydratation, etc.). Elles comportent les trois groupes suivants :

a. La production de chaleur : Se fait au moyen de capteurs solaires, dans lesquels circule habituellement un liquide. Comme les bons capteurs peuvent atteindre des températures de 200 °C, il est généralement nécessaire de prendre des mesures afin d'éviter toute surchauffe. Il est fréquent, par exemple, que les jours de beau temps, le réservoir d'accumulation atteigne une température supérieure à la valeur de consigne, pour se refroidir durant la nuit du fait de la circulation du liquide dans le champ de capteurs. Le vase d'expansion doit donc être dimensionné de manière à pouvoir absorber le contenu des capteurs (au cas où le fluide caloporteur s'évaporerait).

b. L'accumulation de chaleur : Se fait dans un récipient dont le rôle est de conserver la chaleur entre le moment où elle est produite et celui où elle est consommée. D'habitude, ce genre de récipient stocke la chaleur correspondant à un à deux jours de consommation. L'accumulateur de chaleur, y compris les raccords et les brides, devrait être bien isolé, et toutes les conduites de raccordement être équipées d'un siphon.

c. Le transport de chaleur : Se fait généralement au moyen d'un liquide (le fluide caloporteur). Comme les capteurs solaires sont exposés à de basses températures ambiantes, le caloporteur (eau) est additionné d'un produit antigel. Dans le cas des chauffages à air chaud ou des installations de séchage ou de déshydratation, le fluide caloporteur peut aussi être de l'air. Les capteurs à air ne nécessitent pas de protection antigel, mais ils sont trop peu efficaces pour préparer de l'eau chaude. Le caloporteur est mis en mouvement par une pompe de circulation, elle même mise en marche ou arrêtée au moyen d'une commande thermostatique à température différentielle : la pompe se met en marche lorsque la sonde du capteur enregistre une température plus élevée que la sonde implantée dans la partie inférieure de l'accumulateur. Les conduites et les vannes doivent être isolées conformément aux prescriptions des cantons. Les conduites et l'isolation thermique devraient supporter des températures de 130 °C (voire plus à la sortie des capteurs). Pour que l'énergie solaire captée durant la journée ne se perde pas pendant la nuit via les capteurs, on met en place un dispositif anti-refoulement. Habituellement, la conduite est équipée d'un siphon à l'endroit de son raccordement avec l'accumulateur, et une vanne de retenue est montée dans le système de conduites.

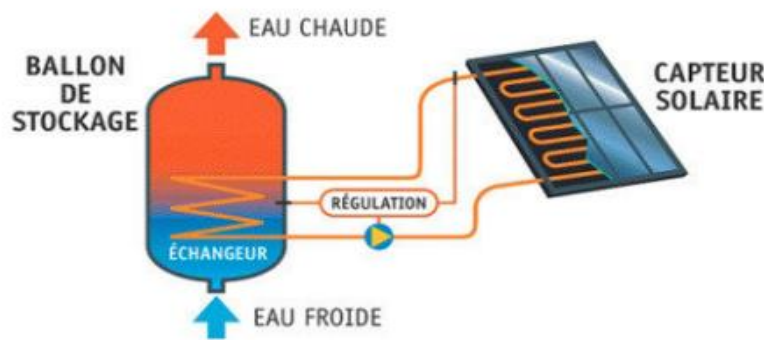


Figure 2.1 Schéma de principe d'une installation solaire thermique. [44]

2.3.1 Montage des capteurs solaire thermique : [47]

Les capteurs peuvent être installés de différentes manières. Ces trois possibilités sont représentées sur la figure 2.2 :

a. montage en superposition de toiture (cas A) : Dans ce cas, des pattes sont fixées directement sur la charpente du toit sur lesquels viennent se poser des guides et finalement les capteurs. Ce type de pose présente le gros avantage de ne pas toucher à l'étanchéité de la toiture : il faut juste enlever quelques tuiles le temps de fixer les pattes de support à la charpente et les remettre par après. Deux guides par capteur, attachés à ces supports (deux par guide), vont retenir le capteur.

b. montage intégré en toiture (cas B) : Dans ce cas, les capteurs sont directement posés sur la charpente de la toiture et remplacent les tuiles. Différents accessoires permettent de garantir une étanchéité parfaite de la toiture.

c. montage sur toiture plate ou en terrasse (cas C) : Quand aucune toiture n'est bien orientée ou quand la toiture est plate, des kits de montage permettent de disposer les capteurs sur la toiture plate ou en terrasse. Des profilés en aluminium permettent d'incliner facilement les capteurs à 45°. Les profilés sont fixés sur la toiture ou maintenus à l'aide de blocs en béton.

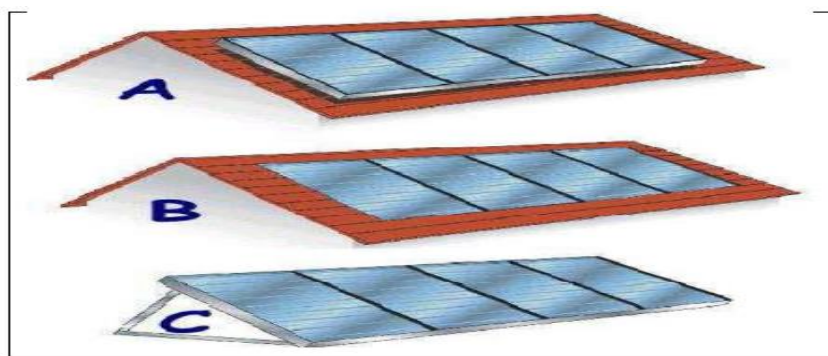


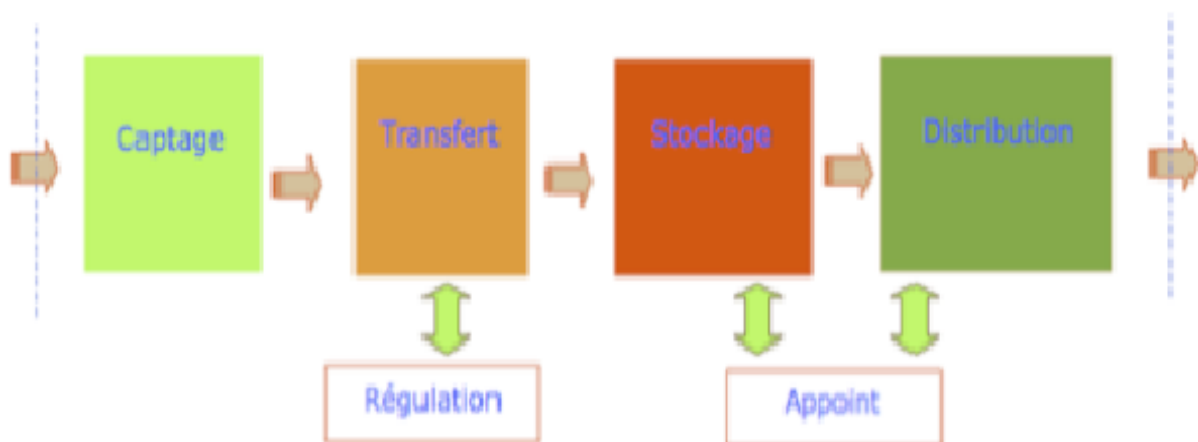
Figure 2.2 Montage des capteurs solaires.

2.3.2 Captage de l'énergie :

Une installation d'un système thermique par l'énergie solaire est généralement constituée de capteurs solaires plans à circulation de liquide qui effectuent la conversion du rayonnement électromagnétique émis par le soleil, en chaleur et permettent le transfert de cette énergie calorifique en la cédant à un fluide caloporteur.

Un capteur solaire plan est essentiellement constitué d'une surface absorbante exposée au rayonnement solaire, qui échange avec un fluide caloporteur, les calories produites par absorption du rayonnement incident, et émet en s'échauffant un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde (Loi de Stefan-Boltzman). Si cet absorbeur est en contact direct avec l'air environnant, en plus des pertes par rayonnement, les pertes par convection peuvent être importantes. Il s'établit alors un équilibre thermique entre l'absorbeur et le milieu ambiant. On capte ainsi peu d'énergie. Pour réduire les pertes par la face arrière du capteur, l'absorbeur est placé à l'intérieur d'un coffre dont les parois internes sont recouvertes d'un isolant thermique (laine de verre ou mousse synthétique, par exemple). L'isolation thermique de la face avant est réalisée en interposant entre l'absorbeur et l'air, un matériau opaque au rayonnement thermique, mais transparent au rayonnement solaire. Les verres et certains matériaux synthétiques sont transparents pour le rayonnement solaire, et opaque pour le rayonnement infrarouge lointain. Ils sont donc utilisés en tant que couvertures transparentes des capteurs solaires.

Dans un capteur équipé d'une couverture transparente, le rayonnement thermique émis par l'absorbeur est absorbé par la couverture transparente qui s'échauffe et rayonne à son tour par les deux faces. En première approximation, on peut considérer qu'une moitié du rayonnement se disperse dans le milieu extérieur et que l'autre moitié, réémise vers l'absorbeur est à l'origine de l'effet de serre. Les couvertures ont également pour rôle de limiter les pertes par convection, étant donné que les échanges thermiques entre deux plaques séparées par une lame d'air immobile, se font essentiellement par conduction et qu'il est connu que l'air immobile est un bon isolant thermique. Cet effet d'isolation croît avec l'épaisseur de la lame d'air séparant les deux surfaces, tant que le phénomène de transfert reste conductif (2 à 3 cm d'épaisseur). Au-delà, les effets de la convection naturelle viennent contrarier l'effet recherché. [48]



2.3.3 Stockage :

Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température. Pour apprécier l'efficacité d'un système de stockage, il faut rappeler que le rendement d'un capteur dépend essentiellement de la température moyenne du fluide qui le traverse, donc de la température du fluide au retour du stockage. L'une de caractéristiques essentielles de l'aptitude à l'emploi du stockage sera de fournir, à l'entrée des capteurs, un fluide dont la température sera la plus basse possible.

Le transfert de chaleur des capteurs vers le ballon s'effectue de deux façons différentes : soit par circulation forcée avec une pompe commandée par un dispositif de régulation soit par circulation naturelle ou thermosiphon. [49]

2.3.4 Echangeurs de chaleur : [50]

Sur l'ensemble du territoire métropolitain, il est nécessaire de protéger les équipements solaires contre les risques de gel. Dans la plupart des cas, les capteurs sont protégés par un fluide non gélif, ce qui implique la présence d'un échangeur. On distingue deux catégories d'échangeurs : les échangeurs intégrés au stockage et les échangeurs extérieurs au stockage.

2.3.5 Fonctionnement d'un appoint :

L'appoint fonctionnant grâce à de l'énergie payante est souvent nécessaire, deux solutions sont envisageables, la première est de placer l'appoint après le puisage, un capteur mesure la température en sortie de ballon, et ordonne le fonctionnement de l'appoint qui porte le fluide à la température souhaitée grâce à un échangeur de chaleur secondaire. La deuxième solution se fait grâce à un échangeur (ou un épingle électrique dans le cas d'un appoint électrique) noyé dans la partie supérieure du ballon, un capteur mesure la température de puisage, et ordonne le fonctionnement de l'appoint.

2.3.5.1 Systèmes d'appoint :

Suivant la nature des besoins et la configuration des bâtiments, on considère trois types de systèmes d'appoint :

- les installations avec appoint centralisé et distribution par boucle de circulation, sous réserve que la longueur totale de canalisation entre la boucle et chaque point de puisage ne dépasse pas 6 m en moyenne.
- les installations de production décentralisée avec distribution directe ou par boucle. La distribution est réalisée soit directement (distance ballons-points de puisages inférieure à 8 m) soit par des boucles de distribution desservant des points de puisages groupés (la longueur totale de canalisation entre la boucle et chaque point de puisage doit être inférieure à 6 m).
- les installations avec appoint individualisée et distribution directe, lorsque les points de puisage ne sont pas éloignés de plus de 8 m des ballons de stockage, afin d'éviter les pertes thermiques et des puisages d'eau froide. Dans le cas

contraire, les dispositifs d'appoint individuels sont alimentés par une boucle de circulation maintenue en température.

2.3.5.2 Position du système d'appoint : [51]

On considère en générale quatre position du système d'appoint par apport au stockage :

- dans le stockage.
- en série avec le stockage.
- En parallèle avec le stockage.
- Complètement séparé du système solaire.

a. Appoint dans le stockage : Cette disposition est extrêmement défavorable est devra être évitée autant que possible, mais a part le cas ou la cuve est réellement stratifiée et ou l'appoint est situé en partie haute que l'on peut considérer, en première approximation, comme un ballon en série avec le ballon solaire, ce dispositif est limité à l'appoint de type électrique par résistance thermo-statée et utilisé presque exclusivement pour les chauffe-eau solaire.

Hormis ce cas, la position de l'appoint dans le stock conduit à un fonctionnement quasi continu de cet appoint et à l'inutilité des capteurs solaires.

b. Appoint en série avec le stockage : C'est une solution peu chère, et à la régulation simple.

L'inconvénient majeur de la mise en série de l'appoint et du stock est que l'eau des retours chauffage va maintenir le stock à des températures qui ne permettront pas de récupérer le maximum d'énergie solaire.

En d'autres termes, selon le type de distribution adopté, la température du stock ne descendra jamais sous la température des retours chauffage, mis à part les pertes du stockage.

A titre de sécurité on peut prévoir des dispositifs (by-pass du ballon solaire par exemple) permettant d'éviter des retours à température excessive dans le stock

c. Appoint en parallèle avec le stock : L'appoint en parallèle avec le stock est une solution performante :

- Il ne fonctionnera que lorsque le stock ne pourra rien fournir.
- Pas de problème de températures de retour.
- Un seul et unique système de distribution des calories.
- Par contre, ce système nécessite une régulation soignée.

d. Appoint complètement séparé : Ce système présente les meilleures performances thermiques. Il permet une bonne utilisation des calories solaires, mais il demande deux dispositifs distincts pour distribuer les calories.

Les ventilo-convecteurs (solaire) avec résistance électrique terminale rentrant dans cette catégorie, l'électricité est presque toujours employée dans ce cas, vu son faible coût relatif d'installation.

Néanmoins, une régulation soignée s'impose pour donner toujours la priorité aux surfaces de chauffage alimentées en calories solaire.

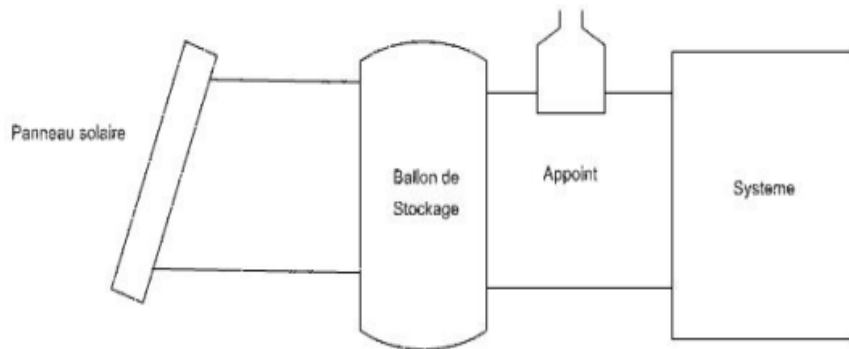


Figure 2.3 Stockage avec appoint placé à la sortie du ballon.

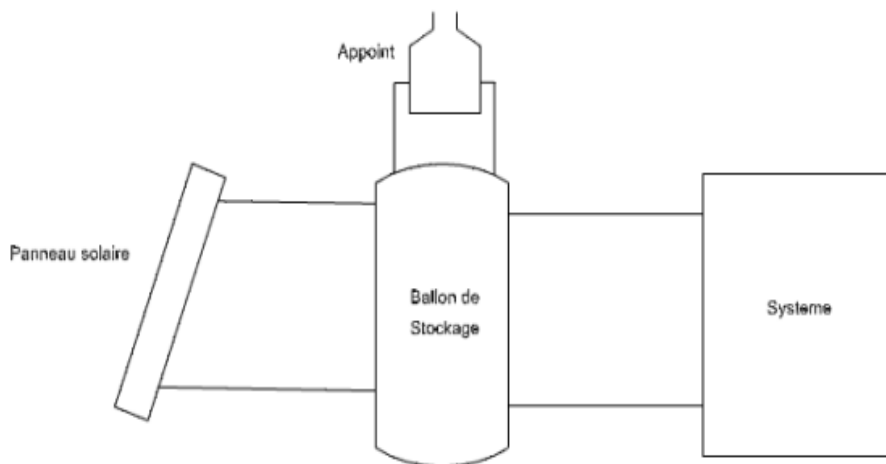


Figure 2.4 Stockage avec appoint placé à la partie supérieure du ballon.

2.3.6 Orientation et inclinaison d'un capteur plan :

2.3.6.1 Orientation :

A cause de répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueillie soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord).

2.3.6.2 Inclinaison :

Le problème de l'inclinaison est le plus délicat et nécessite une étude chiffrée, mais nous constatons néanmoins que la position verticale du capteur favorise la période hivernale, alors que la position horizontale conduit à de meilleurs rendements pendant l'été, la solution idéale serait d'incliner différemment les capteurs suivant la période de l'année d'une inclinaison de 45° environ et surtout qui n'est masquée par aucun obstacle à la lumière (arbre, immeuble...).

Comme les capteurs seront nécessairement fixes on les inclinera sur l'horizontale d'un angle égal à la latitude du lieu.

2.3.6.3 Raccordement des capteurs :

a. Raccordement des capteurs en série : Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite. Plus le parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues à la sortie du dernier capteur sont élevées.

b. Raccordement des capteurs en parallèle : Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs. Voir figure 2.5.

c. Raccordement mixte : Il s'agit d'un montage qui combine le mode série et le mode parallèle. Il en résulte une distribution plus uniforme de l'écoulement et donc des températures.

Il existe deux types de raccordement mixte, particulièrement indiqués pour les installations de grande dimension.

- Le raccordement série parallèle.
- Le raccordement parallèle série.

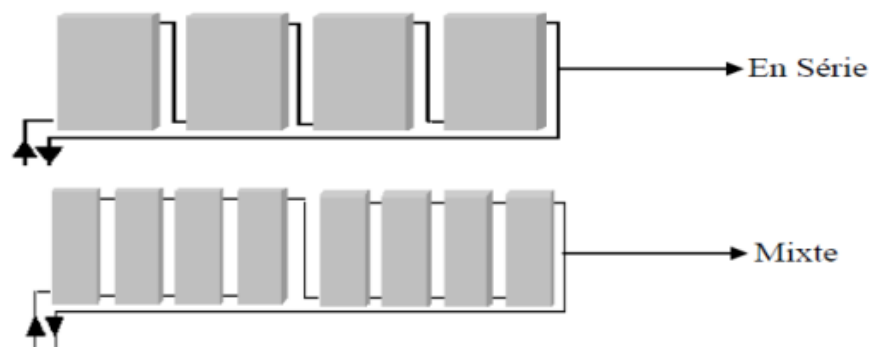


Figure 2.5 Disposition des capteurs.

3. Production directe de chaleur pour l'habitat :

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur, avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation). Le développement récent de l'énergie solaire dans le bâtiment a mis en évidence l'utilisation de collecteurs plans, couplés à un stockage thermique. Le chauffage des locaux constitue une application particulièrement intéressante de l'énergie solaire par l'utilisation des capteurs à eau par leur développement industriel, ces matériels sont maintenant fiables et performants [52].

3.1 Chauffage solaire des maisons : [53]

Le chauffage solaire du bâtiment fait appel à des capteurs à air ou à eau, mais avec des surfaces par logement plus grandes. La chaleur peut être distribuée par des radiateurs à eau chaude ou des planchers ou plafonds chauffants. L'utilisation de la chaleur solaire pour le chauffage du bâtiment demande le recours à une forme de stockage. Il est possible de stocker de l'énergie sous forme d'eau chaude dans des réservoirs de plusieurs mètres cubes, ce système permet de s'affranchir en partie du caractère intermittent de l'énergie solaire.

3.1.1 Principe du chauffage solaire :

Le principe consiste à distribuer la chaleur provenant des capteurs solaires dans des radiateurs de grande surface ou dans un plancher chauffant (bâtiment neuf), le chauffage des locaux étant réalisé dans les deux cas en basse température. Ces systèmes de chauffage doivent recourir à un appoint puisque l'on ne couvre jamais 100 % des besoins de chauffage.

Pour le chauffage d'habitation, le fluide caloporteur est soit l'air, soit l'eau. L'air est utilisé principalement dans les systèmes passifs. On peut en effet se passer facilement d'énergie auxiliaire pour le mouvoir.

L'air est chauffé par les capteurs puis envoyé directement dans les pièces d'habitation. Le stockage de l'énergie se fait alors par léchage d'un matériau solide (mur en béton, lit de pierres...). Il peut cependant être intéressant de recourir à des ventilateurs

pour créer une circulation forcée ; les puissances mises en jeu sont toujours faibles, de l'ordre de celles nécessaires au fonctionnement d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée).

L'utilisation de l'eau nécessite un échangeur. Son avantage réside dans le volume de stockage nécessaire, beaucoup plus faible qu'avec l'air. Dans ce cas on trouvera sur le circuit, une ou plusieurs pompes (circulateurs), des électrovannes, etc ..

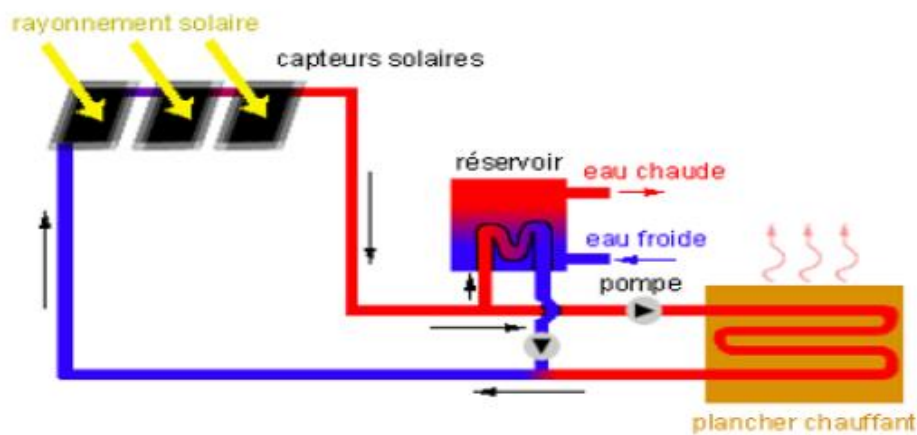


Figure 2.6 schéma d'une installation destinée pour le chauffage des maisons. [44]

3.1.2 Types d'installation de chauffage : [54]

Il existe essentiellement deux types d'installations :

a. la première utilise un ballon de stockage solaire tampon plus ou moins important qui va permettre de continuer à chauffer le bâtiment même pendant les périodes consécutives de faible insolation.

Avantages :

- système de chauffage solaire automatique (l'énergie d'appoint va faire automatiquement l'appoint du ballon).
- possibilité d'installer un plancher chauffant et/ou des radiateurs basses températures.
- économie plus importante d'énergie et d'argent par rapport au CESI (chauffe eau solaire individuel).

Inconvénients :

- système plus complexe que le plancher solaire direct (régulation, ballon de stockage...).

- système plus coûteux que le Plancher Solaire Direct (PSD).
- besoin de place pour le ballon de stockage "500 litres minimum".

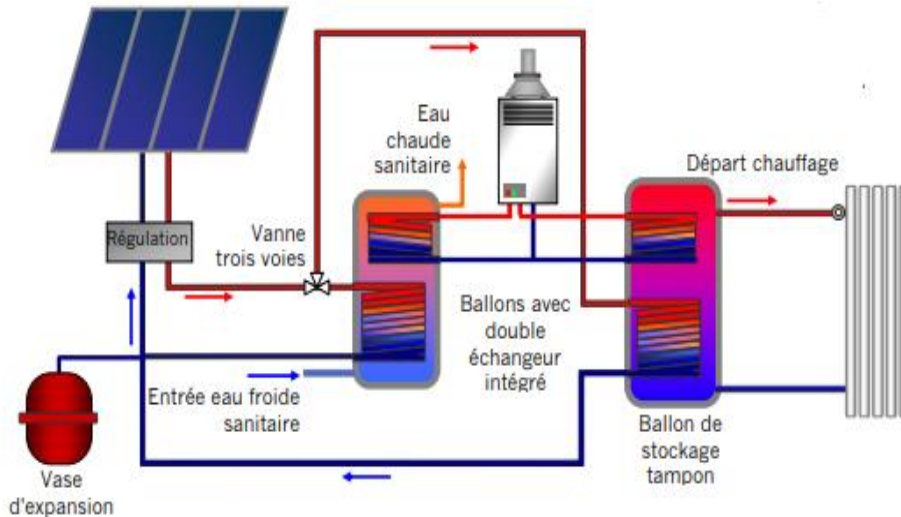


Figure 2.7 Schéma de chauffage solaire avec tampon. [44]

b. la seconde installation envoie directement le fluide caloporteur provenant des capteurs solaires dans un circuit de tuyaux qui circulent dans la dalle en béton. L'inertie de cette dalle d'une épaisseur de 10 à 15 cm permet de restituer en soirée l'énergie accumulée pendant la journée.

L'appoint peut être intégré au système solaire et dans ce cas, le plancher chauffant ou les radiateurs servent à distribuer la chaleur complémentaire qui provient d'une résistance électrique ou d'une chaudière gaz ou fuel.

Avantages :

- Le confort thermique : le sol, servant de radiateur, diffuse la chaleur de façon homogène à travers la maison pour un confort optimal.
- L'encombrement est réduit, puisque le stockage solaire pour le chauffage est intégré au plancher.
- L'inertie thermique : la chaleur emmagasinée dans la dalle béton pendant la journée continuera d'être diffusée durant la nuit.
- Système simple de chauffage solaire qui permet de diminuer de moitié la facture de chauffage.
- Système moins coûteux que le système solaire combiné.

Inconvénients :

- Ce système solaire requiert un revêtement de sol adapté tel du parquet ou du carrelage. La moquette est donc déconseillée.

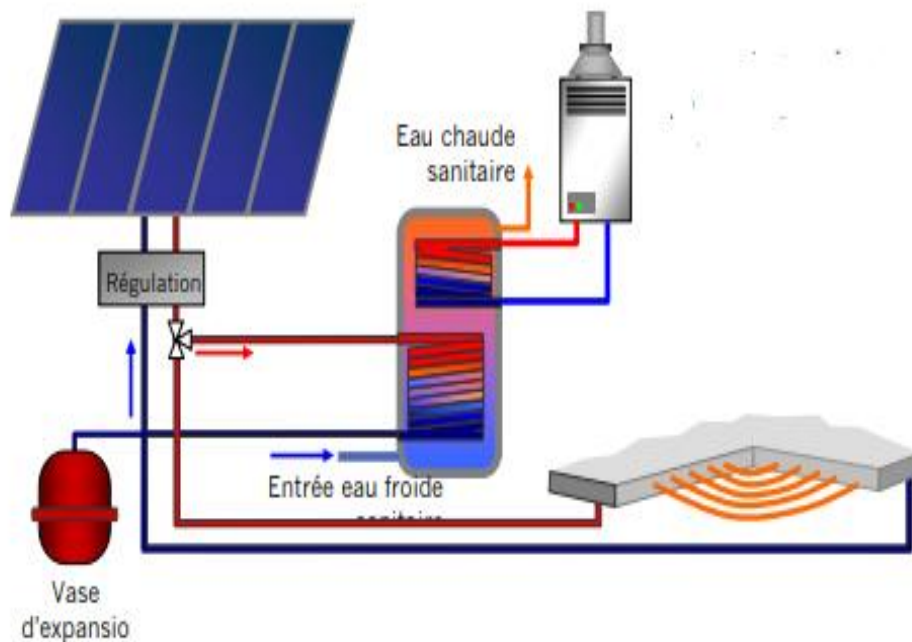


Figure 2.8 Schéma d'une installation solaire avec chauffage direct. [44]

3.1.3 Systèmes de chauffage solaire de l'habitat :

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaire, nécessitent des systèmes de chauffage plus ou moins complexes pour maintenir, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur, avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation). On distingue, suivant la nature du véhicule de chaleur, les chauffages à eau chaude ou à air chaud [55].

3.1.3.1 Systèmes de chauffage solaire par circulation d'air chaud : [56]

Pour chauffer de l'air, on peut le faire circuler derrière des panneaux métalliques noirs, placés dans des châssis vitrés installés sur le toit ou la terrasse d'un bâtiment, puis on peut faire du chauffage par air pulsé en faisant circuler l'air chaud dans des canalisations.

Plusieurs études aussi bien expérimentales que numériques ont été réalisées pour améliorer ce type de chauffage solaire d'habitat, on trouve principalement :

➤ Procédé du professeur Trombe (mure de Trombe) :

En France, les études du professeur Félix Trombe ont abouti à la mise au point d'un procédé de chauffage des maisons par air chaud, le chauffage de nuit étant assuré par récupération de la chaleur accumulée pendant la journée dans les murs constituant une masse thermique [46]. Ce système passif est probablement celui qui est actuellement le plus utilisé. Le principe de fonctionnement très simple, consiste en un flux solaire traversant la (ou les) vitres, est absorbé par une paroi verticale qui peut faire partie des éléments de structure du bâtiment. L'échauffement de l'air en contact avec cette paroi déclenche une circulation naturelle. L'air du bas de l'espace est alors admis par des ouvertures dans la partie inférieure du mur et revient à la salle par des ouvertures dans la partie haute (Figure 2.9) [51]. Ce système de chauffage peut continuer à fonctionner après le coucher du soleil, grâce au stockage partiel de la chaleur reçue par le mur [46].

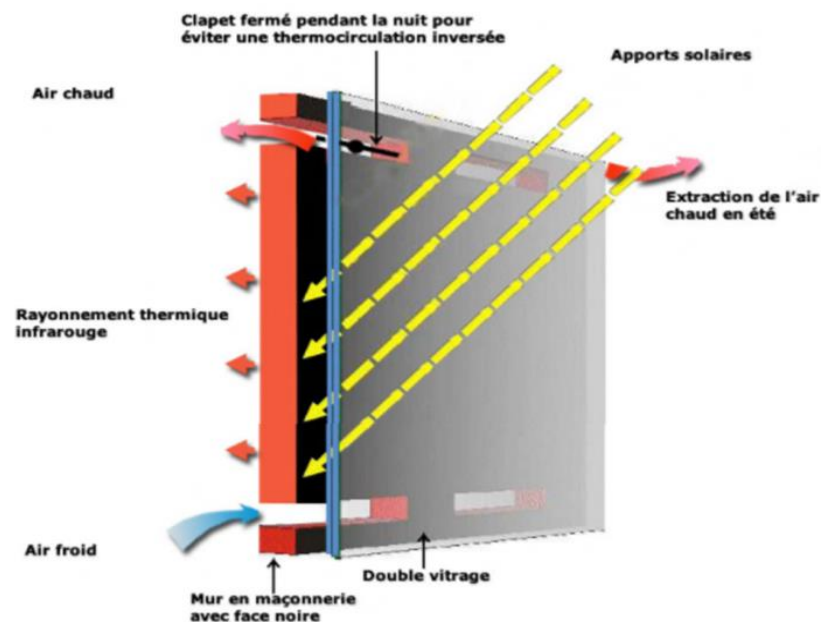


Figure 2.9 Principe du mur trombe. [56]

Solaire passif : L'objectif du solaire passif est la conception et la construction de bâtiments qui, grâce à l'énergie solaire, restent chauds en hiver et frais en été. En hiver, les rayons du soleil réchauffent l'intérieur des bâtiments à travers le vitrage des portes et des fenêtres. En été, au contraire, des stores maintiennent la fraîcheur. On parle de solaire « passif » pour indiquer qu'il n'y a aucun transfert actif de chaleur au moyen de pompes, de vannes ou d'électricité.

3.1.3.2 Systèmes de chauffage solaire par circulation d'eau chaude :

Il existe essentiellement deux dispositifs courants de chauffage solaire par circulation d'eau chaude, les chauffe-eaux solaires individuels (CESI) auxquels on peut raccrocher les chauffe-eaux solaires collectifs et les systèmes solaires combinés (SSC) pour le chauffage des locaux.

3.1.4 Eau chaude solaire et appoint de chauffage :

L'apport solaire à une installation de chauffage est surtout intéressant dans le cas de constructions bien isolées. Pour les bâtiments mal isolés, l'alternative la moins onéreuse consiste généralement à mettre en œuvre des mesures d'économie d'énergie. Avant d'installer un système de chauffage solaire, il faut donc d'abord vérifier quelles économies d'énergie sont réalisables par des travaux d'aménagement. L'utilisation de l'énergie solaire est bien définie avant le début de la phase de conception sur la base des caractéristiques individuelles du bâtiment et des souhaits du maître de l'ouvrage.

On utilise la chaleur emmagasinée par le fluide (eau antigel) pour chauffer la maison.

C'est donc un chauffage solaire à eau chaude, dans lequel la chaleur peut être distribuée par des radiateurs ou par le sol (solution plus fréquente).

Dans ce dispositif, le fluide échange sa chaleur avec la dalle qui elle-même va transmettre la chaleur reçue par le fluide à l'air de la maison. Ainsi, la dalle est un intermédiaire entre le fluide et l'air.

Le réservoir d'eau chaude peut avoir deux fonctions :

- Il peut servir la nuit à chauffer la dalle de la maison. En effet la nuit le fluide ne peut pas se chauffer via les capteurs solaires. Il faut donc une réserve de chaleur pour le chauffage central ou bien utiliser une chaufferie classique.
- Il peut aussi tout simplement être utilisé comme chauffe-eau afin de fournir l'eau chaude sanitaire.

3.2 Chauffe-eau solaire : [57]

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Ce type de chauffage permet habituellement de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse, ...) dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'énergie solaire étant parfaitement renouvelable, ce remplacement permet de limiter efficacement les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires.

Ce dernier est un système équipé d'un ou de plusieurs panneau(x) solaire(s) produisant de l'eau chaude pour les besoins en eau chaude sanitaire. On utilise la dénomination de CESI (Chauffe Eau Solaire Individuel) qui est équipé simplement de panneaux solaires et d'un réseau de circulation avec pompe faisant circuler l'eau chaude dans un ballon solaire. Un appoint d'énergie est nécessaire pour compenser les besoins hors couverture solaire. Cet appoint peut être apporté par une simple résistance électrique, ou par une chaudière ou une pompe à chaleur.

3.2.1 Principe de fonctionnement : [58]

a. Capter l'énergie solaire : Le capteur solaire (1) comprend : une plaque et des tubes métalliques noirs. Ils constituent l'absorbeur. C'est le cœur du « système solaire », qui reçoit le rayonnement solaire et s'échauffe ; un coffre rigide et thermiquement isolé entourant l'absorbeur. Sa partie supérieure, vitrée, laisse pénétrer le soleil et retient la chaleur comme une petite serre. L'ensemble est en général placé sur un toit.

b. Transporter la chaleur : C'est le rôle du circuit primaire (2). Étanche et calorifugé, il contient de l'eau additionnée d'antigel. Ce liquide s'échauffe en passant dans les tubes du capteur, et se dirige vers un ballon de stockage.

c. Restituer la chaleur : Là, grâce à un échangeur thermique (serpentin), il cède ses calories solaires à l'eau sanitaire (3). Le liquide primaire, refroidi, repart vers le capteur (4), où il est chauffé à nouveau tant que l'ensoleillement reste efficace.

d. Stocker l'eau chaude : Le ballon solaire (5) est une cuve métallique bien isolée. Il constitue la réserve d'eau sanitaire. L'eau chaude soutirée est remplacée immédiatement par la même quantité d'eau froide du réseau (6), réchauffée à son tour par le liquide du circuit primaire.

e. Faire circuler le liquide caloporteur : La circulation du liquide peut être naturelle ou forcée : dans le premier cas, le liquide caloporteur circule grâce à sa différence de densité avec l'eau du ballon. Tant qu'il est plus chaud, donc moins dense qu'elle, il s'élève naturellement par thermo circulation. Le ballon doit être placé plus haut que les capteurs. Sur ce principe sont conçus les chauffe-eau solaires « en thermosiphon » ; dans le second cas, une petite pompe électrique, le circulateur (7), met en mouvement le liquide caloporteur quand il est plus chaud que l'eau sanitaire du ballon. Son fonctionnement est commandé par un dispositif de régulation (8) jouant sur les différences de températures : si la sonde du ballon (10) est plus chaude que celle du capteur (9), la régulation coupe le circulateur. Sinon, le circulateur est remis en route et le liquide primaire réchauffe l'eau sanitaire du ballon.

f. Pallier l'insuffisance d'ensoleillement : Partout en métropole, on doit faire face à des périodes défavorables (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps). L'énergie solaire ne peut alors assurer la totalité de la production d'eau chaude. Aussi, le ballon est équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin, et reconstitue le stock d'eau chaude. Il peut s'agir :

- d'une résistance (appoint électrique), souvent placée à mi-hauteur du ballon solaire
- d'un serpentin (11) (appoint hydraulique) raccordé à une chaudière (12) (gaz, fioul, bois) située en aval du ballon.

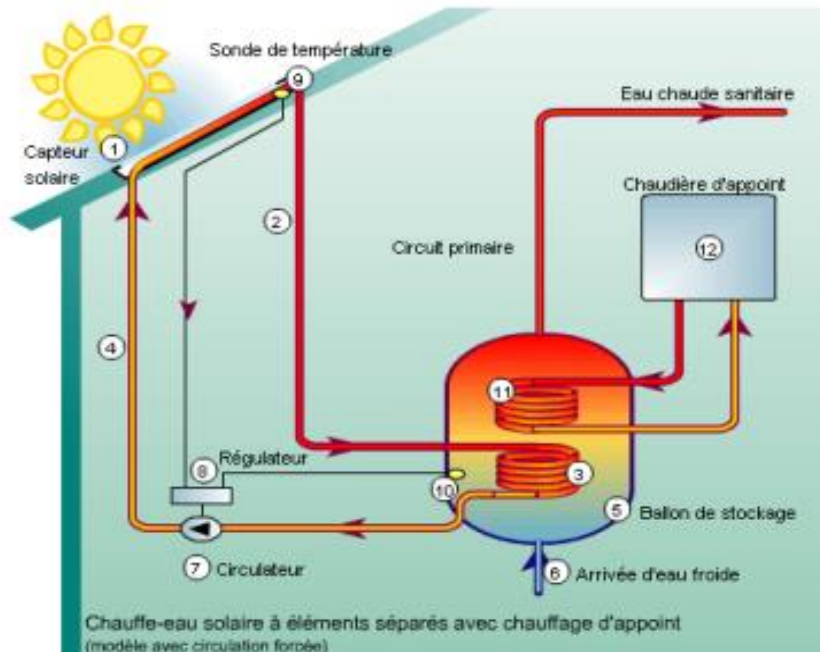


Figure 2.10 Schéma de fonctionnement. [58]

3.2.2 Composants d'une installation de CES : [59]

a. Le capteur solaire : Le capteur solaire est l'élément de base pour la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Il existe deux grandes familles de capteurs solaires thermiques :

- les capteurs solaires plans.
- les capteurs solaires sous vide et capteurs solaires à tubes à bouteille thermos.

b. le stockage : Le stockage de l'énergie permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

Il est important de respecter une stratification thermique dans le réservoir de stockage (figure 2.11). A cet effet, celui-ci devrait être de forme verticale, le plus étroit et le plus haut possible. Un rapport hauteur/diamètre de 2 à 2,5 est recommandé. La stratification est réalisée dans un boiler lors du puisage. L'eau chaude ayant une densité plus faible que l'eau froide a tendance à occuper l'espace supérieur du boiler lors de l'échauffement de celui-ci. Lors du puisage, la quantité d'eau chaude puisée sera remplacée dans le réservoir par de l'eau froide de la conduite. Cette eau froide arrivant par le bas, on observera une superposition de couches d'eau à des températures différentes. C'est la stratification. On obtient dans un bon réservoir de stockage différentes couches d'eau avec des températures d'eau les plus froides en bas et de plus en plus chaudes plus on monte dans le boiler. L'important est donc d'éviter tout brassage de l'eau.

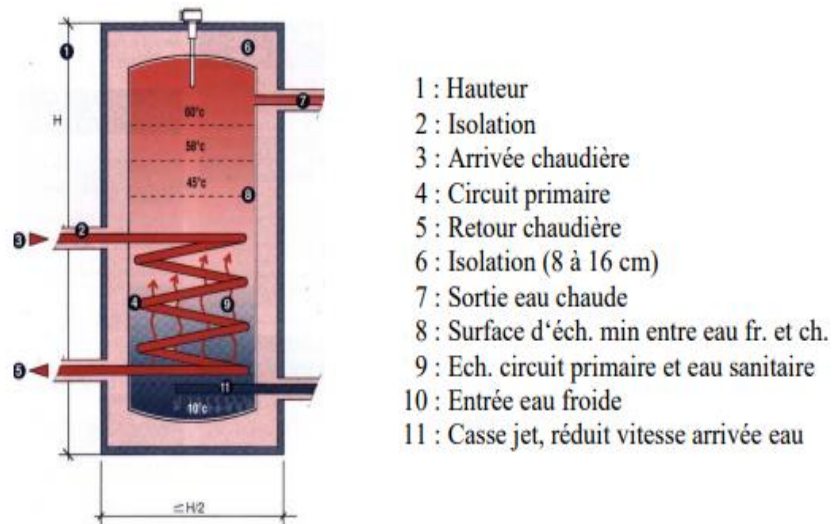


Figure 2.11 Stratification dans boiler.

c. Le fluide caloporteur :

c.1 Rôle et caractéristiques : Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de l'installation c'est à dire dans le circuit reliant le boiler aux capteurs. Différents fluides peuvent être utilisés (eau, glycol, ...), mais il faut veiller au risque de gel de l'installation dû à la présence des capteurs à l'extérieur en hiver. On choisira donc habituellement de travailler avec un fluide résistant à des températures de 20°C pour nos régions ou simplement de l'eau en veillant bien à la vidange complète des parties de l'installation présentant un risque de gel.

c.2 Deux grandes catégories de systèmes solaires : La conception du circuit hydraulique de l'installation solaire peut varier. Voici une brève présentation des deux grandes familles :

- **Chauffe-eau solaire à vidange :** Dans ce type d'installation, le circuit solaire n'est pas complètement rempli d'eau. Tant que le circulateur n'est pas en marche, l'eau stagne dans la cuve de vidange et les capteurs ne sont pas remplis d'eau. A ce moment, il n'y a pas non plus de danger de gel ou de surchauffe.
- **Chauffe-eau solaires à circulation forcée :** Contrairement aux chauffe-eau à vidange, l'installation ici est tout le temps sous pression et donc complètement remplie de fluide caloporteur. L'installation étant toujours sous pression, le fluide caloporteur doit pouvoir résister au gel en hiver et on utilise donc habituellement comme fluide caloporteur un antigel.

Ce système s'apparente fortement à un circuit de chauffage central au niveau de ses composants.

d. L'énergie d'appoint : L'énergie solaire dépendant essentiellement du rayonnement solaire et l'eau du robinet devant être maintenue à une température constante, un système d'appoint est nécessaire. La philosophie solaire est de se passer totalement de l'appoint en période de non chauffage de l'habitation. Le principe du système d'appoint est de réchauffer le tiers supérieur du boiler. C'est pourquoi ce système devra se situer dans la partie supérieure

du boiler. L'eau, réchauffée au moyen de l'échangeur (via la chaudière mazout ou gaz) ou d'une résistance électrique, aura une densité plus élevée que l'eau située dans la partie basse du boiler et restera donc dans la partie haute de celui-ci.

Il existe trois systèmes d'appoint possibles :

- **L'appoint électrique** : Système d'appoint intégré, car on insère une résistance électrique à mi-hauteur du réservoir de stockage de l'eau sanitaire. Quand la température est inférieure à une température de consigne fixée, la résistance se mettra en marche. Il est également possible de définir une plage horaire pour la mise en marche de cette résistance afin de profiter du courant de nuit (en cas de présence d'un compteur bi-horaire au domicile).

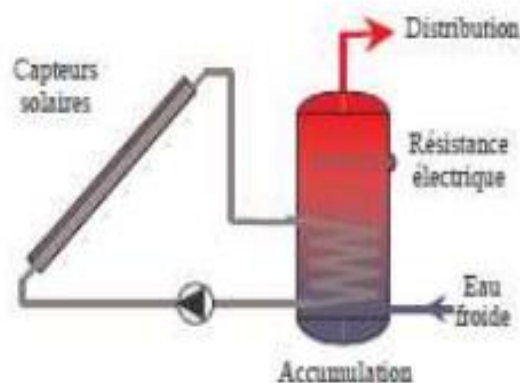


Figure 2.12 L'appoint électrique.

- **L'appoint chaudière au gaz ou au mazout** : Un deuxième échangeur situé dans la partie supérieure du ballon de stockage d'eau chaude sanitaire permet de réchauffer le boiler par la circulation forcée au moyen d'un circulateur entre les deux dispositifs.

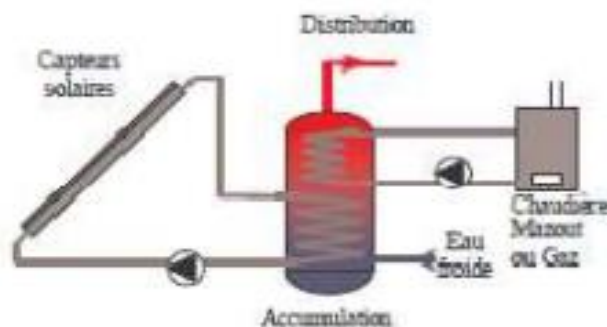


Figure 2.13 Appoint chaudière au gaz ou au mazout.

- **Appoint instantané au moyen d'une chaudière murale au gaz :** Dans ce cas l'appoint se trouve à l'extérieur du réservoir de stockage. L'eau chauffée par le système solaire arrive à l'entrée de la chaudière modulante au gaz qui la porte à la température souhaitée. Il faut bien veiller à utiliser un chauffe-eau au gaz détectant la température d'arrivée de l'eau « froide » et non un chauffe-eau réglé d'office pour augmenter la température de l'eau d'entrée de x degrés.

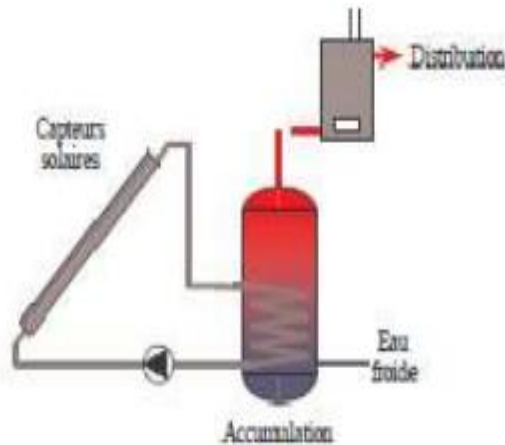


Figure 2.14 Appoint instantané au moyen d'une chaudière murale au gaz.

e. La régulation électronique et le monitoring : Dans une installation solaire thermique, une régulation minimale est nécessaire (excepté pour les systèmes à thermosiphon) afin de réguler le processus d'échange de chaleur entre le capteur et le réservoir de stockage. C'est pourquoi, dans tous les cas, une régulation différentielle est utilisée.

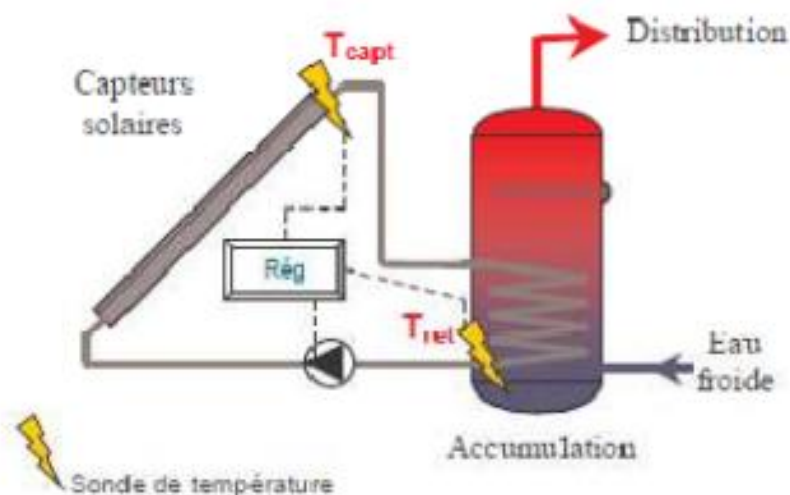


Figure 2.15 Schéma d'une régulation différentielle.

f. Les tuyaux de raccords :

f.1 la nature des tuyaux : La nature des composants de la liaison entre le champ de capteurs et le stockage est importante. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés : le polyamide, le PER (polyéthylène réticulé), le cuivre ou l'inox. Le choix, encore une fois, dépend de la solution technique envisagée et des performances globales du système.

f.2 L'isolation de la tuyauterie : Une isolation de très bonne qualité est nécessaire, car le fluide solaire joue sur une large échelle de température.

3.2.3 Différents types de chauffe eau solaire :

3.2.3.1 Chauffe eau solaire monobloc [60] :

Les Capteurs et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et placés à l'extérieur. Ils peuvent être installés en toiture, sur terrasse ou au sol et fonctionnent sans électricité. Ce système est simple et peu coûteux. Mais le ballon se refroidit plus rapidement, même s'il est bien isolé. Il peut servir à préchauffer l'eau qui alimente un équipement classique existant.

Ce chauffe-eau est compact et bien adapté à la pose sur supports inclinés, en toiture-terrasse. Il se prête moins bien à la fixation sur un toit en pente.



Figure 2.16 Chauffe eau solaire monobloc. [60]

3.2.3.1 Chauffe-eau solaire à éléments séparés [61] :

Le ballon est à l'abri dans une pièce de la maison ou une construction attenante loin des capteurs, ce qui nécessite une circulation du liquide. Celle-ci peut être naturellement obtenue par thermosiphon, ou « forcée » par une pompe électrique.

a. Le chauffe-eau solaire à “thermosiphon” : Thermosiphon veut dire que la circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon naturellement sans pompe ou autre dispositif, grâce aux différences de température. Pour ce faire, le ballon doit impérativement être placé plus haut que les capteurs et les circuits hydrauliques doivent être installés dans les règles de l'art afin de faciliter la thermo-circulation.

Avantage : Ce type de chauffe-eau solaire est très simple les risques de pannes sont faibles. Les coûts sont restreints et les performances, surtout dans les régions ensoleillées (comme le Sud de la France), sont excellentes.



Figure 2.17 Chauffe eau solaire à thermosiphon. [61]

b. Le chauffe-eau solaire avec pompe et régulation : Ce type de chauffe-eau solaire “à circulation forcée” est adapté à toutes les différentes configurations. Ainsi, le ballon peut être éloigné des capteurs. Il est plus cher que les systèmes précédents à cause des équipements supplémentaires. En effet, il faut une pompe pour transférer la chaleur des capteurs au ballon, ainsi qu’un système de régulation électronique. La plupart des fabricants proposent un “groupe de transfert” qui regroupe tous ces équipements ANNEXEs.

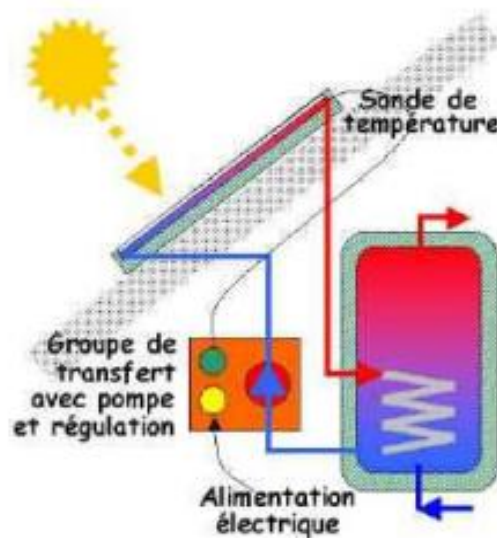


Figure 2.18 Chauffe-eau solaire avec pompe et régulation. [61]

3.2.3.2 Chauffe eau solaires individuels :

Un chauffe-eau solaire individuel (CESI) permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude pour différents usages : sanitaire, lave linge, piscine...

Il se compose de capteurs solaires thermiques posés en toiture, d'un système de circulation et de régulation et d'un ballon de stockage d'eau chaude. Ce système peut-être utilisé indépendamment du système de chauffage avec par exemple une résistance électrique qui sert d'appoint ou avec celui-ci et dans ce cas c'est la chaudière qui sert d'appoint. [61]

Il existe différentes catégories de chauffe-eau solaires individuels, qui dépendent essentiellement des conditions climatiques des régions dans lesquelles ils sont utilisés.

a. Chauffe-eau stockeur : Le principe du chauffe-eau stockeur (ou auto-stockeur) est très ancien. Il est constitué d'un réservoir disposé dans un coffre isolant et protégé par une couverture transparente (figure 2.19).

Pendant la période d'ensoleillement, la température du ballon, recouvert d'un revêtement absorbant noir, s'élève.

Pour éviter que celle-ci ne diminue pendant la nuit, le revêtement est généralement du type « sélectif ». Avant que ces revêtements n'existent, il était courant de rencontrer des chauffe-eau munis d'un double vitrage ou d'un volet isolant qui était disposé sur le capteur, hors période d'ensoleillement.

Ce type de chauffe-eau est bien adapté aux régions où le risque de gel n'existe pas et où la température ambiante nocturne est très élevée. C'est, en particulier, le cas des régions tropicales.



Figure 2.19 Chauffe-eau stockeur.

b. Chauffe eau avec échangeur : L'échange de chaleur à l'intérieur de la cuve de stockage est médiocre et difficile à estimer car il se fait en convection naturelle, la solution la plus simple et la plus utilisée est de placer un échangeur dans la cuve, la circulation se fait dans le circuit primaire (capteur, échangeur, capteur), le fluide caloporteur en générale est un mélange d'eau et d'antigel afin d'éviter de faire éclater les capteurs et conduites en hiver (la nuit). [62]

Ces chauffe-eau solaires ont une bonne stratification, mais leur coût est élevé à cause de l'échangeur et l'antigel.

c. Chauffe eau avec circulateur [59] : Le circuit primaire se compose d'un capteur en série avec l'échangeur Ech et le circulateur P.

Le fluide qui parcourt le circuit primaire est de l'eau additionné d'antigel spécial, non nocif pour la santé en cas de fuite. On pourrait envisager de faire circuler directement l'eau sanitaire dans le capteur, sans échangeur mais cette méthode présente toutes sortes d'inconvénient : gel, dépôt de calcaire et encrassement du capteur.

Comme la circulation est forcée, le parcours des tubes dans le capteur n'a pas grande importance, contrairement à l'exemple ci-dessus.

Le circulateur ne fonctionne que si la différence entre la température en sortie de capteur est supérieure à la température du fluide en sortie de ballon. Un système de régulation simple est nécessaire.

La situation du capteur est indifférente, on a toutefois intérêt à le placer au plus près du ballon pour réduire les pertes.

Pour compenser l'augmentation de pression dans le circuit primaire due à la dilatation lors des variations de température, il est nécessaire d'ajouter un vase d'expansion et une soupape de sécurité. On doit aussi pouvoir purger le circuit en plaçant une petite vanne en partie haute.

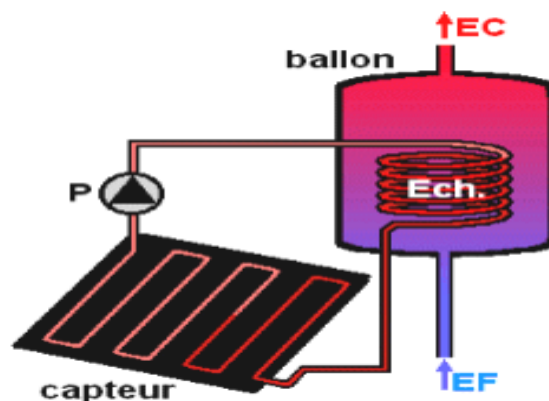


Figure 2.20 Chauffe eau avec circulateur. [59]

3.2.3.3 Chauffe eaux solaires collectifs :

Adapté à la taille et aux besoins limités d'une famille, le principe du chauffe-eau solaire individuel peut être étendu à des consommations plus importantes d'eau chaude sanitaire.

On parle alors de "chauffe-eau solaire collectif", ou d'installation collective de production d'eau chaude solaire.

Dans les immeubles de logements, dans les maisons de retraite, hôpitaux, hôtels et hébergements de vacances, des installations solaires adaptées sont envisageables, pour des bâtiments existants à rénover, ou à l'occasion de nouveaux projets de construction.

Dans les installations collectives, la boucle primaire comporte presque toujours un échangeur extérieur et la source d'énergie d'appoint. Quelque soit la surface des capteurs on ne peut éviter la période sans soleil suffisamment prolongé, pour épuiser le stockage d'énergie solaire à ce moment la chaleur nécessaire ne peut être produite que par une installation de chauffage d'appoint.

L'eau froide d'alimentation est placée à l'entrée de l'échangeur de chaleur et non dans la cuve de stockage, cela permet de maintenir le fluide passant à travers les capteurs à une température relativement élevée et ainsi d'améliorer le rendement de conversion.

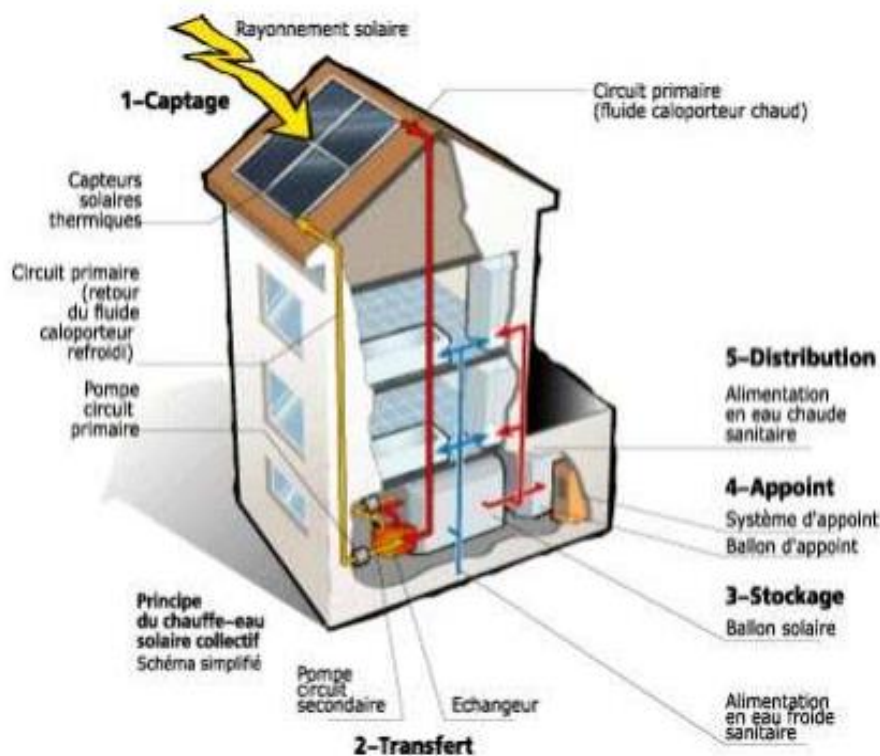


Figure 2.21 Chauffe eau solaire collectif.

a. Schémas types d'installations [61] :

L'installation solaire collective comprend le plus souvent un échangeur externe entre le circuit capteurs (circuit primaire) et le circuit eau chaude.

L'installation comprendra également :

- Une régulation spécifique pour eau chaude collective.
- Des pompes de circulation.
- Un vase d'expansion.
- Une panoplie d'accessoires hydrauliques (vannes d'arrêt, d'équilibrage, clapet, dispositifs de sécurité...)
- Une métrologie (compteurs volumétriques, sondes de températures ECS) et son dispositif de traitement et de communication permettant la télé suivi pour mise en œuvre de la GRS.

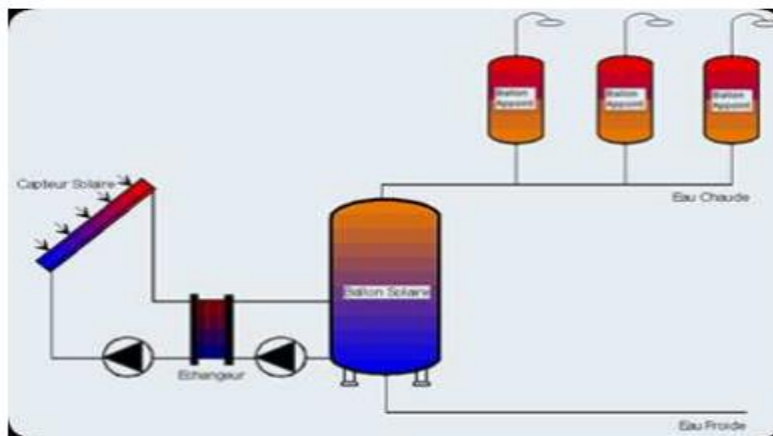


Figure 2.22 Chauffe-eau solaire collectif avec appoint individualisé. [63]

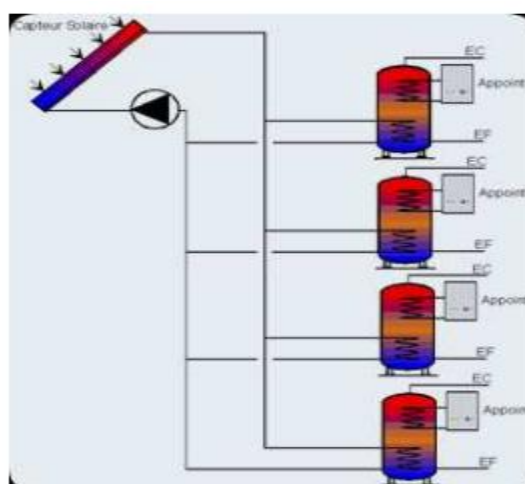


Figure 2.23 Chauffe-eau solaire collectif individualisé (Plutôt utilisés pour les bâtiments résidentiels). [63]

3.2.3.4 Système solaire combiné (SSC) :

Aussi appelé Combi solaire, c'est une installation qui utilise le rayonnement solaire pour couvrir une partie des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire. Comme son nom l'indique, le système solaire combiné, associe chauffage de l'eau sanitaire et chauffage de l'habitat. En plus de réchauffer l'eau sanitaire, le caloporteur transmet sa chaleur au réseau d'eau de chauffage également stockée dans un ballon et toujours par le biais d'un échangeur thermique. C'est ensuite l'eau de chauffage qui circule dans les radiateurs pour réchauffer l'air ambiant. Là encore, il convient de prévoir une chaudière classique pour prendre le relais en cas de besoins. On distingue deux types de système solaire combiné (SSC) :

a. Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon : [51]

Ce système est basé sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir afin de restituer la chaleur tout au long de la journée. Il est constitué de 4 principaux éléments :

- Des capteurs solaires thermiques identiques à ceux utilisés avec un chauffe-eau solaire. Ils reçoivent le rayonnement solaire et ainsi chauffe l'eau
- Un réservoir tampon d'eau de chauffage de grande capacité (environ 700L) intégrant la production d'eau chaude sanitaire
- Une chaudière raccordée au réservoir pour compléter le chauffage, si besoin
- Un ensemble de régulation

Le fluide chauffé dans les capteurs passe dans un échangeur situé dans la partie basse du ballon de stockage. L'eau froide est réchauffée au contact de l'échangeur et lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'ensoleillement, une sonde de température déclenche l'appoint (chaudière, résistance électrique...).

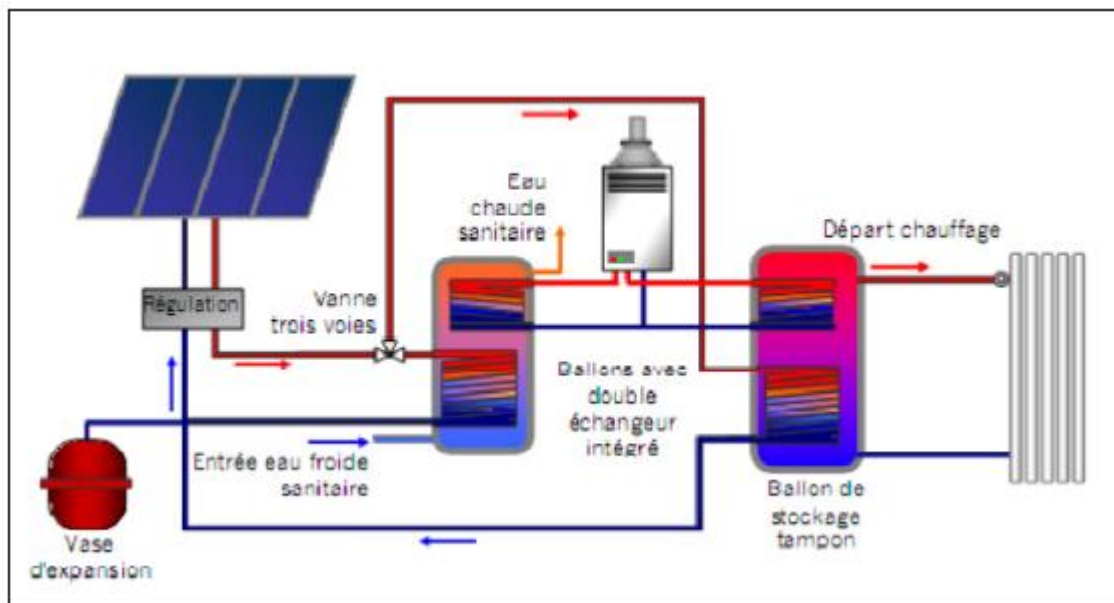


Figure 2.24 Schéma de principe du chauffage solaire avec tampon. [51]

b. Le plancher solaire direct (PSD) : Le principe de fonctionnement du plancher solaire direct est le même que celui d'un SSC avec stockage, mais il n'utilise pas de réservoir tampon puisque c'est le plancher chauffant qui sert de réservoir. L'inertie thermique de la dalle permet de restituer, la nuit, la chaleur accumulée le jour. Un ballon autonome assure la production et le stockage de l'eau chaude sanitaire. Une chaudière permet de compléter les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

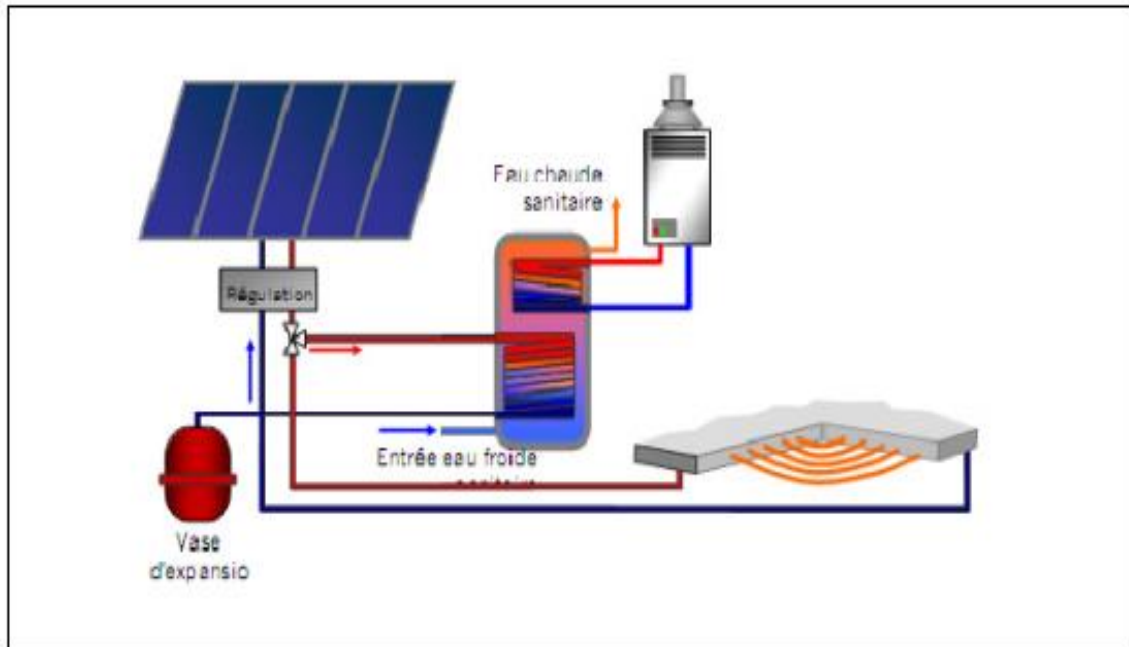


Figure 2.25 Schéma de principe d'une installation solaire avec chauffage direct.

3.2.4 Systèmes de chauffe-eau solaire : [63]

Les chauffe-eau solaires ont recours à l'énergie du soleil pour chauffer l'eau, en se basant sur deux systèmes solaires :

- **les systèmes solaires passifs :**

Les systèmes solaires passifs préchauffent l'eau dans un capteur solaire et la transfèrent ensuite par pression de fluide à un chauffe-eau à réservoir de stockage ordinaire alimenté à l'électricité, au gaz ou au mazout.

- **Les systèmes solaires actifs :**

Les systèmes solaires actifs, par contre, utilisent des pompes et des commandes pour faire passer l'eau chaude du collecteur au réservoir. Dans les régions où la température descend sous le point de congélation, une solution antigel est habituellement utilisée comme fluide dans les capteurs, et est ensuite passée dans un échangeur thermique pour chauffer l'eau de la maison.

3.3 Piscine solaire : [64]

Le chauffage des piscines est une des applications les plus rentables de l'utilisation de l'énergie solaire, et cela pour plusieurs raisons. ...

- La période pendant laquelle les piscines sont utilisées correspond à celle qui offre le meilleur ensoleillement (mai à septembre). ...
- L'efficacité d'un capteur solaire thermique est inversement proportionnelle à la température du fluide qui le traverse. Or, la température de l'eau de baignade est d'environ 26°C. ...
- Le coût de fonctionnement est très faible. ...
- Les besoins d'entretien sont très réduits. ...
- La durée de vie des capteurs solaires est supérieure à celle d'autres systèmes de chauffage.

3.3.1 Principe de Chauffage solaire des piscines :

Le chauffage solaire des piscines est très simple. Il consiste à envoyer l'eau du bassin dans les capteurs solaires au moyen de la pompe du système de filtration 2, dès que la différence de température entre l'eau et les capteurs est suffisante. La faible différence de température entre l'air extérieur et l'eau de baignade (+/- 26°C) permet d'utiliser des capteurs sans couverture vitrée ni isolation. Ils se réduisent à un simple absorbeur en matière synthétique, souple ou rigide, résistante à la chaleur, à la corrosion et aux rayons UV. Ces caractéristiques expliquent leur prix réduit par rapport aux capteurs utilisés pour le chauffage de l'eau sanitaire et des locaux.

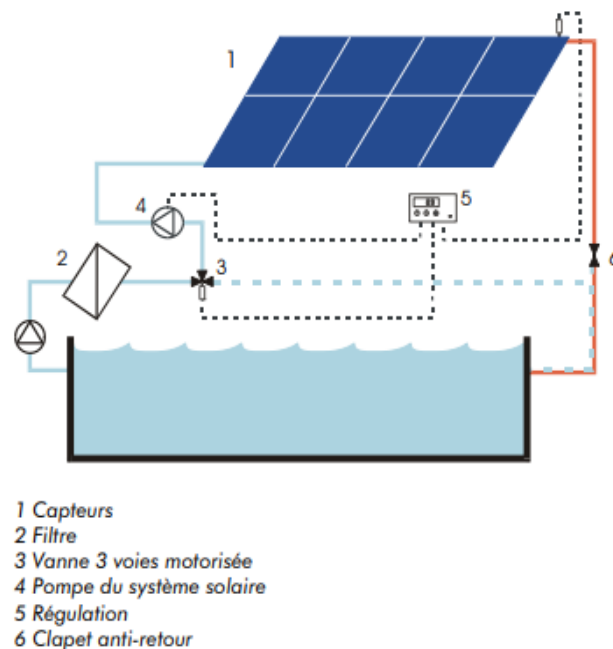


Figure 2.26 : Fonctionnement de piscine solaire.

3.3.2 Composants d'un chauffage solaire pour piscine :

Pour bénéficier d'un chauffage solaire de piscine avec des panneaux thermique, il faudra prévoir :

- Des capteurs solaires
- Possibilité de coupler avec une PAC
- Possibilité d'utiliser un chauffe-eau solaire qui fasse aussi office de chauffage de piscine (CESI Décharge piscine)

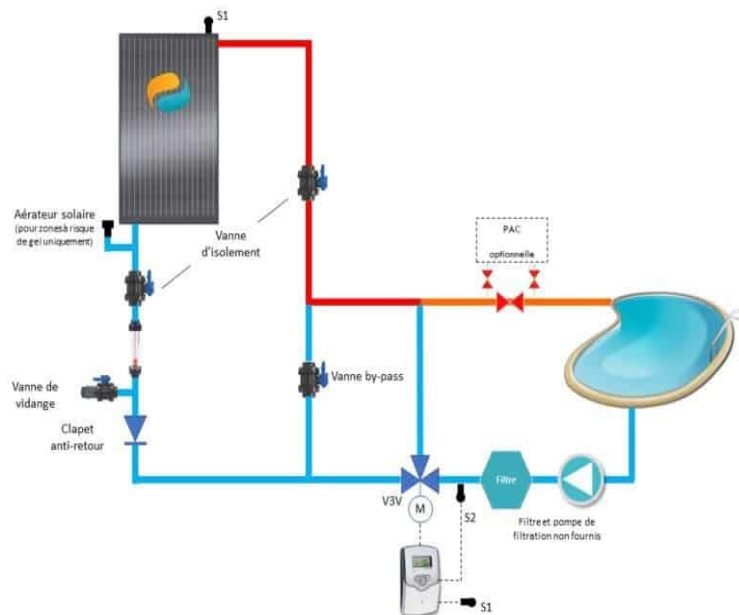


Figure 2.27 : Schéma des composants d'une installation de chauffage solaire pour piscine individuelle. [44]

- **La pompe de filtration** : son rôle est de filtrer l'eau de la piscine. Elle est située en amont des panneaux afin d'éviter qu'ils ne s'encrassent.
- **La vanne pilotée** : elle permet d'orienter l'eau de la piscine vers les panneaux solaires quand les panneaux sont plus chauds que l'eau de la piscine.
- **La pompe à chaleur (PAC) air-eau** : elle est optionnelle. Elle permet d'apporter un appoint de chaleur pour plus de confort, mais consomme de l'électricité. La coupler à des panneaux solaires hybrides permet de couvrir une partie de sa consommation.

3.3.3 Différents types de chauffage des piscines :

Il existe actuellement plusieurs dispositifs de chauffage sur le marché : capteur solaire, pompe à chaleur, échangeur thermique, couverture thermique

a. Le chauffage solaire : On exploite simplement l'énergie du soleil grâce à des capteurs solaires. Le principe est de faire passer l'eau de la piscine dans des capteurs solaires (souvent des tubes noirs en plastique) ; ces derniers réchauffent naturellement l'eau qui est ensuite renvoyée dans la piscine. Les gains sont de l'ordre de 3 à 10°C.

Avantages du chauffage piscine solaire :

- Économique et écologique
- Assez simple à installer

Inconvénients du chauffage piscine solaire :

- N'atteint pas l'efficacité des autres systèmes de chauffage (surtout en début de saison)
L'efficacité dépend de l'ensoleillement
- Montée en température plutôt lente
- Nécessite une régulation

b. L'échangeur thermique piscine : Le système de chauffage par échangeur thermique est le système idéal si vous faites construire car il permet de profiter de l'eau chaude du réseau de chauffage de votre maison pour réchauffer l'eau de votre piscine. L'eau de votre piscine est tout simplement chauffée par votre chaudière domestique (au gaz ou au fioul). C'est encore mieux si vous avez opté pour une chaudière dernière génération, économique et écologique.

La montée en température de l'eau dépend ensuite de la puissance de votre chaudière. Le système par échangeur thermique est rapide et efficace. Votre piscine doit être à proximité de votre maison. L'échangeur thermique est donc composé de 2 réseaux d'eau : le réseau d'eau chaude en provenance de votre chaudière et le réseau d'eau de la piscine en provenance de la pompe piscine.

Avantages du chauffage piscine par échangeur thermique :

- Installation simple
- Montée en température rapide
- Système de chauffage performant et robuste
- Économique (partage du système de chauffage de la maison)
- Peut être installé sur un réseau basse température

Inconvénients du chauffage piscine par échangeur thermique :

- Le local technique doit être proche de la chaudière pour éviter de faire courir l'eau chaude sous la terre
- Peu avantageux si la chaudière n'est pas économique

c. La bâche de piscine ou couverture thermique : La bâche à bulles de piscine est un dispositif de chauffage naturel. Elle est essentielle en complément de votre système de chauffage. Mise sur votre piscine la nuit, elle permet de conserver la chaleur emmagasinée pendant la journée. Mais elle permet également de réchauffer l'eau de la piscine pendant la journée. En plus d'éviter la déperdition de chaleur de votre eau, la couverture permet d'éviter l'évaporation de l'eau et protège votre piscine des impuretés qui peuvent tomber dedans pendant la nuit. Elle est très simple à utiliser et économique.

3.3.4 Avantages et inconvénients de chauffer les piscines avec solaire thermique :

Avantages des panneaux thermiques :

- Ils captent l'énergie solaire, gratuite et inépuisable et n'ont pas besoin d'électricité pour pouvoir produire de l'eau chaude. C'est la raison pour laquelle, en fonctionnement, les panneaux solaires sont plus économiques qu'une pompe à chaleur. En effet, cette dernière doit tout de même utiliser de l'énergie électrique pour fonctionner.
- Les panneaux solaires thermiques vous garantissent d'améliorer votre autonomie énergétique vis-à-vis des réseaux d'énergie traditionnels.
- La technologie est robuste et l'entretien limité.
- Elle bénéficie des aides de l'État.

Inconvénients des panneaux thermiques :

- Les panneaux solaires thermiques restent soumis aux aléas de la météo et aux saisons. Ils produiront moins au printemps et à l'automne ce qui pourrait avoir un impact pour les personnes recherchant un maximum de confort.
- Les panneaux thermiques ne produisent pas d'électricité pour la pompe de la piscine (contrairement aux panneaux hybrides).

Il faudra veiller au bon dimensionnement de l'installation afin que les panneaux solaires thermiques ne surchauffent pas.

4. Bilan énergétique de système thermique :

4.1 Estimation des besoins en chauffage :

- **Calcul du coefficient de déperdition thermique GV (W/°C) :** Ce coefficient, appelé coefficient de déperdition thermique (en W/°c), caractérise les déperditions thermiques Q_{th} du bâti. Il est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q_{th} = GV (T_i - T_a) = [(K_m S_m + K_v S_v + K_p S_p + K_t S_t + K_{po} S_{po}) 1,1 + \rho a \cdot V a \cdot C_p a] (T_i - T_a) \quad (2.1)$$

Soit :

$$GV = (K_m S_m + K_v S_v + K_p S_p + K_t S_t + K_{po} S_{po}) 1,1 + \rho a \cdot V a \cdot C_p a \quad (2.2)$$

4.2 Détermination des besoins d'eau chaude sanitaire :

La consommation d'eau chaude sanitaire à 50 °C varie en fonction des habitudes des occupants, du type de famille et du nombre de personnes (attention aux personnes occasionnels). La consommation d'eau chaude peut être définie comme suit :

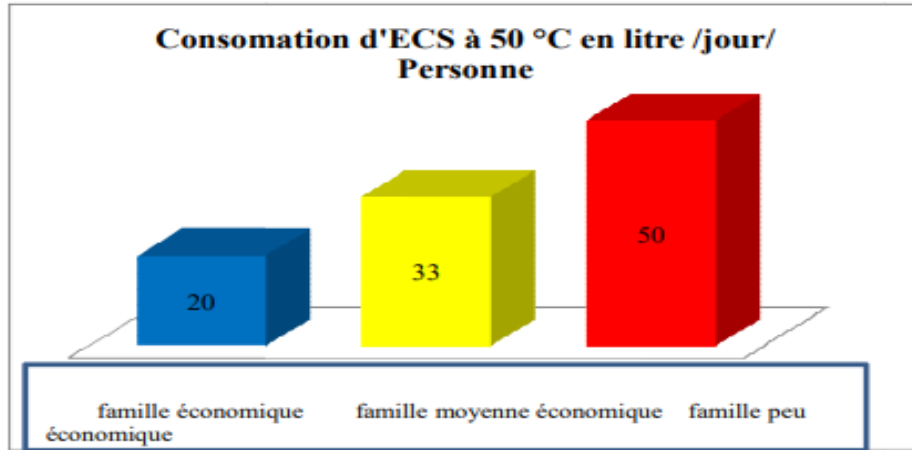


Figure 2.28 : Consommation chaude sanitaire par jour en fonction de type de famille.

Les besoins en eau chaude sanitaire dépendent de :

- le débit journalier nécessaire au besoin du ménage.
- le nombre d’occupant.
- la norme d’utilisation.

Les besoins d’eau chaude sanitaire sont donnés par la formule suivante :

$$Be-c-s = N.V. (T_{ec} - T_{ef}) \rho.C_p \tag{2.3}$$

Avec :

- N : nombre d’occupants ;
- V : volume d’eau utilisé par occupant par jour ;
- ρ : masse volumique de l’eau (1 kg/l) ;
- Cp : chaleur spécifique (4,186 kJ/kg °C) ;
- Tec et Tef : températures de l’eau chaude et le fluide ;

Pour la zone urbaine, l’utilisation de l’eau est de 170 l/j par habitant et dans la zone rurale est de 100 l/j par habitant d’après la direction de l’hydraulique. Le besoin de l’eau chaude pour les occupants d’un appartement est estimé à 25 l/j par occupant à 50°C.

	Ts	Te	cp	N	ρ	V	B (kwh/j)	B(kwh)
janvier	50	11,7	4,186	4	1	25	4,45	134
février	50	11,5	4,186	4	1	25	4,48	134
mars	50	13,5	4,186	4	1	25	4,24	127
avril	50	15,2	4,186	4	1	25	4,05	121
mai	50	18,7	4,186	4	1	25	3,64	109
juin	50	22,8	4,186	4	1	25	3,16	95
juillet	50	25,2	4,186	4	1	25	2,88	87
août	50	26,5	4,186	4	1	25	2,73	82
septembre	50	23,7	4,186	4	1	25	3,06	92
octobre	50	20,4	4,186	4	1	25	3,44	103
novembre	50	15,4	4,186	4	1	25	4,02	121
décembre	50	12,7	4,186	4	1	25	4,34	130

Tableau 2.1 : Besoins thermiques en eau chaude sanitaire.

4.3 Bilan thermique de la cuve de stockage [65] :

Pour calculer la température de l'eau dans la cuve de stockage, le modèle brassé est adopté. Ce dernier consiste à supposer que la température dans la cuve est uniforme. Le régime est considéré transitoire et le flux total de la chaleur perdue dans la cuve est égal à la somme des flux radiaux Q_r plus le flux qui traverse les fonds bombés. La puissance récupérée par le fluide caloporteur est définie comme étant la différence entre l'énergie solaire incidente et les pertes thermiques.

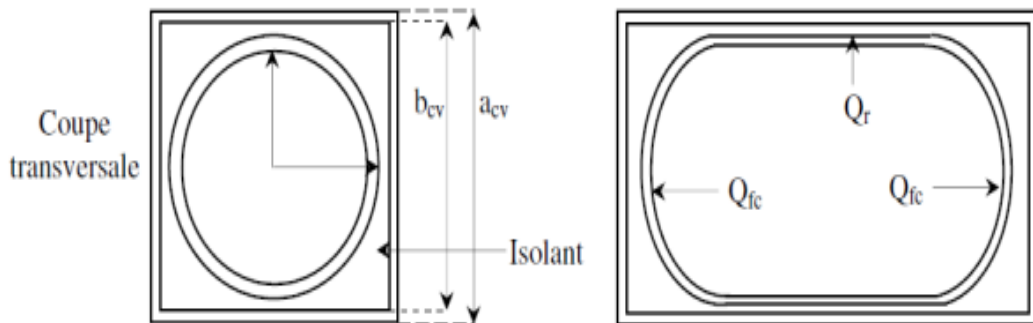


Figure 2.29 : Schéma de la cuve de stockage. [65]

$$Q_u = m \cdot C_p (T_{fs} - T_{fe}) \quad (2.4)$$

$$Q_u = A_c \cdot Fr [(\alpha\tau)_{eff} \cdot G - UL(T_{fe} - T_a)] \quad (2.5)$$

Avec :

- Q_u : le flux d'énergie utile
- $\tau\alpha$: transparence de vitrage et coefficient d'absorption de l'absorbeur.
- T_a : température de l'air extérieur.
- T_{fe} : température intérieure de fluide.
- A_c : surface du capteur.
- m : le débit massique du fluide.
- C_p : la chaleur spécifique du fluide.

4.4 Bilan thermique de la piscine :

Les pertes et les apports d'énergie au niveau de la piscine sont repris comme suit :

$$B = (G + G_a) - (P_{ray} + P_{ev} + P_{cv} + P_{cond} + P_{renouv}) \quad (2.6)$$

- B : Besoin énergétique de la piscine (kWh/m²)
- G : L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal (kWh/m²)
- G_a : Totale des gains solaires passifs (kWh/m²)

- Pray : Pertes par rayonnement pour la piscine (kWh/m²)
- Pev : Pertes par évaporation pour la piscine (kWh/m²)
- Pcv : Pertes par convection (kWh/m²)
- Pcond : Pertes par conduction (kWh/m²)
- Prenouv : Pertes par renouvellements (kWh/m²)

5. Conclusion :

Transformer l'énergie solaire en eau chaude, c'est aujourd'hui la meilleure façon de concilier la haute technologie avec une utilisation propre des ressources naturelles.

Dans une installation solaire, l'importance du choix des composants (type de capteurs, types de stratification dans le ballon de stockage, la qualité de fluide caloporteur, etc ...)

Les systèmes solaires, et précisément les chauffages solaires, qui fonctionnent selon un principe simple et efficace. Le chauffage par le solaire peut devenir très efficace dans le cadre d'un logement basse consommation.

Le principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est relativement simple. D'abord, il s'agit de capter l'énergie solaire, qui est le rôle des capteurs. Ensuite, il faut bien transporter la chaleur. Le chauffe-eau solaires fonctionne en mode circulation naturelle et forcée. Du point de vue de l'utilisation, le chauffe-eau solaire à thermosiphon occupe une bonne position dans les applications domestiques en raison de sa facilité d'utilisation sans recours à l'utilisation de toute énergie externe.

Les chauffe eau solaires sont composées essentiellement d'un capteur solaire et d'une cuve de stockage. Ils sont destinés pour la production de l'eau chaude sanitaire. Ainsi, les chauffe-eau-solaires sont considérés comme une solution d'avenir.



Chapitre 03 :
simulation
numérique
d'une
installation
solaire
thermique

1. Introduction :

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire est une option simple pour réduire la consommation d'énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Les installations solaires qui fournissent à la fois de l'eau chaude sanitaire et une partie de l'énergie de chauffage sont généralement appelées des systèmes solaires combinés ou des combi-systèmes.

Une installation solaire familiale est composée de 10 à 30 m² de capteurs, pour couvrir de 10 à 60% de besoins en chauffage, en plus de l'eau chaude sanitaire. Les techniques mises en œuvre pour un chauffe-eau solaire sont bien connues et les performances sont faciles à évaluer. Mais les combi-systèmes posent des problèmes beaucoup plus complexes. En effet, les performances dépendent de l'interaction entre les besoins d'eau chaude sanitaire et le chauffage, ainsi que de la fourniture de chaleur par le système solaire et par l'appoint, suivant les différentes saisons.

Dans notre travail, nous allons procéder à une simulation thermique d'un prototype de chauffe eau solaire et chauffage pour un site qui se trouve à Kolen (Allemagne) en utilisant le logiciel de simulation GetSolar. On va simuler les besoins en eau chaude sanitaire avec les données qu'on a pris dans nos calculs par la méthode analytique, en utilisant l'énergie solaire comme source de chaleur.

2. Présentation générale de logiciel GetSolar :

Le nom original est **GetSolar**. *Get Solar* signifie : recueillir l'énergie solaire (*to get rich*). Dans le texte d'aide, on parle de *GetSolar* même lorsque le logiciel, par ex. en tant que version interne à l'entreprise, peut avoir un autre nom.

GetSolar est un programme de conception et de simulation d'installations thermiques solaires avec préparation d'eau chaude, appoint de chauffage, chauffage de la piscine. Les utilisateurs sont les planificateurs, installateurs, conseillers en énergie et architectes.

GetSolar basic est conçu pour la simulation d'installations solaires pour des habitations de une ou deux familles. Il permet une présentation rapide de l'installation solaire incluant les estimations en termes de rendement et de rentabilité correspondantes. Les systèmes simples et typiques disponibles couvrent env. 80% des champs d'application d'installations comparables utilisées en Europe et aux USA.

Au-delà des systèmes standards, GetSolar propose aussi des systèmes adaptés aux entreprises, aux piscines couvertes, chaleurs de procédé et aux grandes installations. De plus, l'étude du projet est simplifiée :

- plusieurs variantes pour un même projet, arbre du projet

- étude de l'ombre portée, assistance au dimensionnement, diagramme de résultats
- Profils de charge et composants modifiables (collecteurs, chaudières, accumulateurs)

GetSOLAR Expert est également adapté à la simulation de réseaux solaires.

Ce programme permet au concepteur d'étudier l'influence des différentes pièces de l'installation sur le fonctionnement d'une installation thermique solaire. Tous les paramètres du système peuvent être rapidement modifiés à l'aide de l'interface utilisateur.

Vous pouvez analyser les résultats de la simulation sous forme de tableau ou de graphique. Les bases de calcul avancées de GetSolar en font un véritable outil professionnel de planification d'installations thermiques solaires.

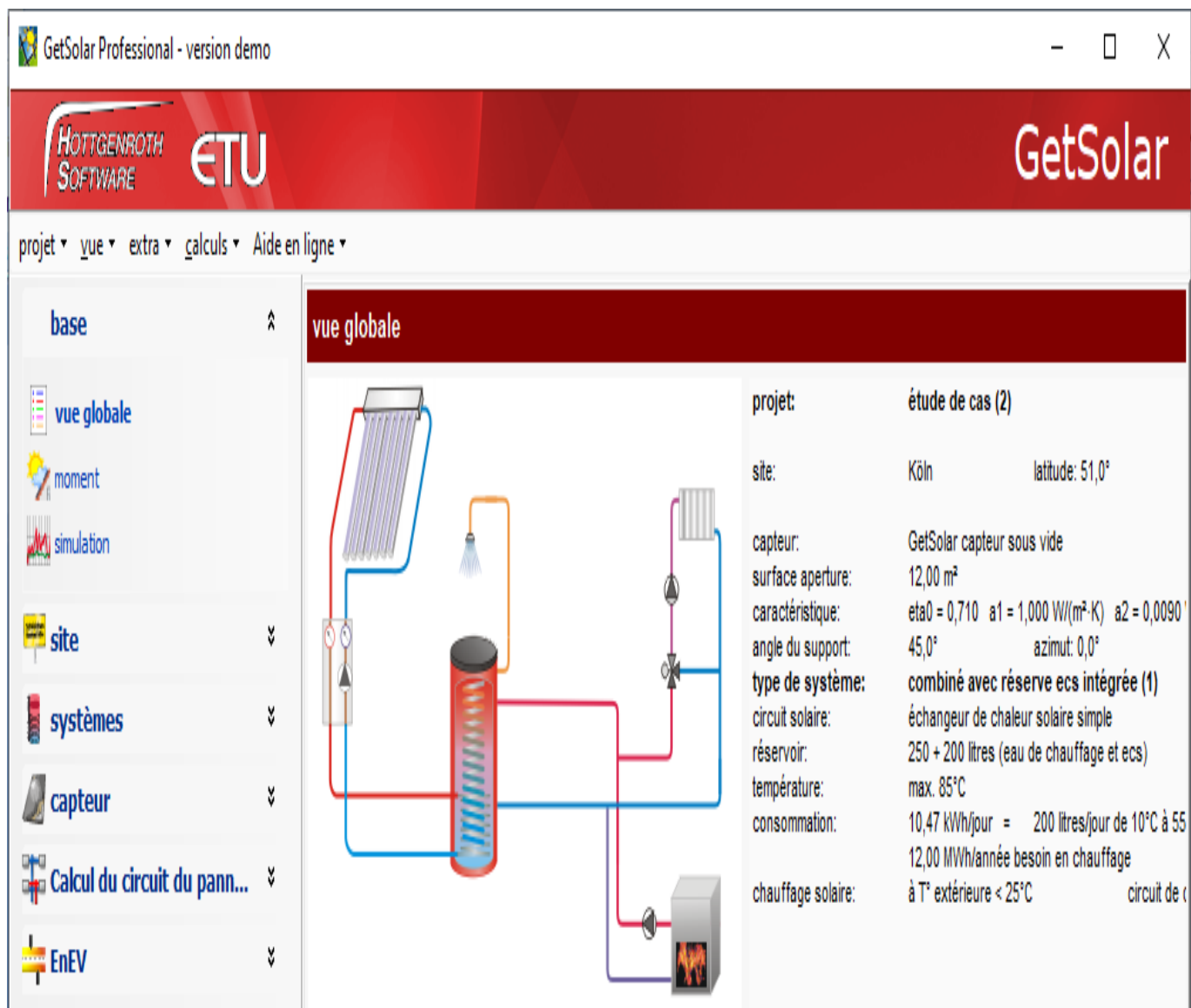


Figure 3.1 Interface du programme GetSolar.

2.1 Présentations incluses :

- Simulation d'installations thermiques solaires pour l'approvisionnement en eau potable et l'appoint de chauffage pendant une période réglable jusqu'à un an.
- Conception (optimisation de la surface des capteurs et du volume du ballon) selon les valeurs par défaut
- Influence de l'ombre induite par l'horizon et d'autres objets (maisons, arbres, etc.)
- Saisie de l'ombrage sous forme de graphique et de tableau
- Importantes bases de données de composants
- Créer l'occupation du toit avec Photo Plan.
- Prise en compte de profils de consommation d'eau chaude
- Simulation de chauffage par radiateurs ou au sol possible
- Comparaison facile entre plusieurs installations grâce au traitement parallèle des variantes au sein d'un même projet.
- Bilan des énergies, des émissions de polluants et des coûts
- Calcul des grandeurs d'évaluation classiques pour les installations thermiques solaires comme le rendement du système, le taux de couverture, etc.
- Représentation complète des résultats dans des rapports et des graphiques
- Analyse de rentabilité d'une installation après une simulation annuelle
- Le programme, l'aide en ligne et le manuel d'utilisation sont disponibles dans cinq langues : allemand, anglais, français, espagnol, italien.

2.3 Simulation et résultats :

Le calcul est basé sur le bilan des flux énergétiques et fournit des prévisions de rendement définies à l'aide de données d'entrée météorologiques horaires.

GetSolar calcule les énergies délivrées par le système solaire pour la préparation d'eau chaude sanitaire et pour le chauffage, ainsi que le taux de couverture solaire.

Les fonctions de ce programme permettent de mieux comprendre les comportements de la technique solaire à l'occasion des formations proposées. Les licences de formation pour le programme GetSolar sont disponibles à des prix réduits. 99 % des fonctions du programme sont utilisables même dans la version de démonstration, toutefois sans données concrètes en ce qui concerne les données des capteurs ou du lieu.

GetSolar fonctionne avec deux modes de calcul :

- Rendement en cours
- Simulation

Les trois fonctions du menu Extra peuvent également servir :

- Rotation des tubes de capteur
- Contenu énergétique de l'ECS
- Volume du circuit solaire et dimensionnement des vases d'expansion

Les résultats sont ensuite enregistrés. Ils peuvent être représentés dans une documentation détaillée ou une présentation précise ou dans des graphiques. Le graphique présente l'évolution des énergies et d'autres grandeurs dans une résolution réglable. Il peut être enregistré sous forme de tableau au format texte et être copié dans d'autres programmes par le biais du presse papiers.

Entre autres résultats de cette fonction de calcul :

- Rendement solaire
- Excédents solaires pour le complément de chauffage (pour modèles d'installation correspondants)
- Rayonnement sur le capteur
- Énergie traditionnelle nécessaire pour le complément de chauffage
- Taux de couverture et rendement d'exploitation

Avant de démarrer les calculs de simulation, il est nécessaire de connaître les paramètres du projet concernant la technique de l'installation, les capteurs et le lieu d'installation.

3. Etude de cas :

3.1 Paramètre de site :

3.1.1 Présentation de la zone d'étude :

Notre zone d'étude est la région de Kolen, située à l'Allemagne

- Latitude : 50° 97'
- Longitude : 6° 87'
- Altitude : 37 m
- Fuseau horaire : 1

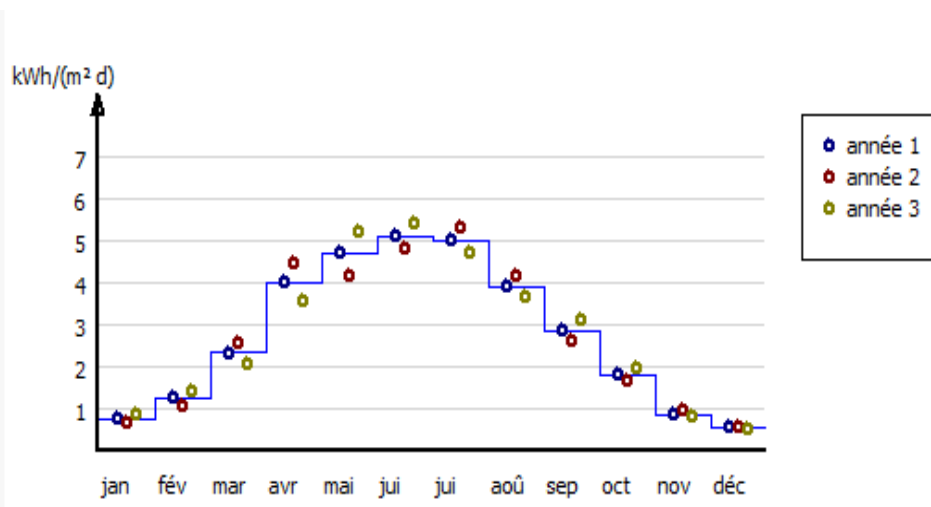


Figure 3.2 Rayonnement solaire de la région Kolen.

On remarque à travers la courbe graphique de la figure 3.2 que le rayonnement horizontal varie avec le changement de saison, où le rayonnement est important pendant la saison d'été et atteint une valeur maximale à la fin juillet et diminue pendant les saisons d'automne et l'hiver, en raison de la formation de nuages et du manque de sources d'énergie solaire pendant l'hiver.

Pendant la période estivale, les sommes journalières moyennes du rayonnement global sont largement supérieures à 3 kWh par mètre carré.

	irradiation kWh/(m ² d)	température °C
jan	0,76	3,4
fév	1,23	4,2
mar	2,33	6,7
avr	3,98	10,4
mai	4,68	14,8
jui	5,10	17,2
jui	5,00	19,0
aoû	3,89	18,6
sep	2,83	15,1
oct	1,78	11,5
nov	0,86	7,3
déc	0,53	3,5
annuel	1005,36	11,0

Tableau 3.1 Données climatiques de la région Kolen.

3.1.2 Puissance rayonnée :

La puissance de rayonnement existante, mesurée sur une surface définie, est importante pour l'utilisation thermique solaire du rayonnement. Cette valeur est appelée intensité de rayonnement solaire et correspond à une puissance définie par surface.

Les sommes journalières maximales en Allemagne s'élèvent à environ 8 kWh/m² en été, elles peuvent atteindre en jour d'hiver ensoleillé jusqu'à 3 kWh/m².

En Allemagne, les sommes annuelles moyennes du rayonnement global (en kWh/ (m²·a), a correspond à année) atteignent en moyenne entre 950 kWh/ (m²·a) dans la plaine du Nord de l'Allemagne et à 1 200 kWh/(m²·a) autour de Fribourg ou dans la région alpine. Les sommes mensuelles de l'énergie du rayonnement global peuvent s'écarter jusqu'à 50 % des valeurs moyennes et les sommes annuelles jusqu'à 30 %.

3.1.2 Description du bâtiment :

Le bâtiment où nos installations seront placées, est une petite maison d'un seul étage ayant une surface totale de 100 m² occupée et conditionnée chaque jour. Il est construit sur la base d'une architecture simple, les murs extérieurs sont en double cloison de brique, le plafond est une dalle en béton armée, les murs intérieurs sont d'une seule cloison. Les fenêtres sont en bois. Cet appartement est composé de deux chambres, une cuisine, de sanitaire et d'une salle de séjour. Il est habité par cinq personnes, les besoins de cette habitation sont évalués en fonction de ces caractéristiques architecturales, du nombre d'occupants et du taux de renouvellement d'air.

3.2 Présentation de l'installation étudiée :

3.2.1 Description du système utilisé :

C'est un système solaire combiné pour la production de l'eau chaude sanitaire et chauffage avec circuit solaire (échangeur de chaleur solaire simple), un réservoir combiné (échangeur chauffe-eau) et un circuit de chauffage avec réservoir tampon en connexion parallèles.

Cette installation est destinée pour :

- Transformation de l'énergie solaire irradiée en chaleur par le biais de capteurs.
- Acheminement de la chaleur à travers le réseau de conduites dans différentes directions du Ballon.
- Stockage de la chaleur dans le ballon tampon jusqu'à ce que le consommateur en ait besoin.

3.2.2 Caractéristiques particulières des composants :

Cette installation se compose de : capteurs solaires plans et sous vide, réservoirs de stockage, canalisation (circuit solaire) et chauffage d'appoint (chaudière à gaz).

3.2.2.1 Capteur solaire plan :

Fabricant	GetSolar								
Désignation	capteur plan								
Norme d'essai									
institut / Test certificat	DIN 4701-10								
<input checked="" type="radio"/> capteur plan <input type="radio"/> capteur sous vide									
surface brute	2,100	m ²	(AG)						
surface ouverture	2,000	m ²	(Aa)						
valeurs se réfèrent à									
	Aa	AG							
Facteur de conversion	0,770	0,733	-						
Coefficient de perte a1	3,500	3,333	W/m ² K						
Coefficient de perte a2	0,0200	0,0190	W/m ² K ²						
capacité thermique	6,400	6,095	kJ/m ² K						
Température stagnante	190 °C								
IAM	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
transversal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Longitudinal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	-
volume	1,60 litres								

- Angle d'azimut : 0°.
- Inclinaison d'installation : 45°.
- Objectif de couverture : moyen 57.0%.
- Nombre de capteurs : 6.
- Support fixe.

3.2.2.2 Le capteur sous vide :

- Angle d'azimut : 0°.
- Inclinaison d'installation : 45°.
- Objectif de couverture : moyen 62.4%.
- Nombre de capteurs : 6.
- Support fixe.

3.2.2.3 Réservoir de stockage :

- ❖ Premier réservoir de stockage :
 - Fabricant : Standard.
 - Type : Ballon ECS chouffé au solaire.
 - Volume : 300l.

- Surface d'échangeur : 2.5m^2
- Epaisseur de l'isolation :
 - Enveloppe : 100mm.
 - Couvercle : 100mm
 - Par terre : 50 mm
- Conduction thermique : 0.04W/m.k .
- Pertes de chaleur : $67\text{ W à } 65^\circ$
- Taux de pertes thermiques : 0.2W/k .
- ❖ Deuxième réservoir de stockage :
 - Volume : 250l

3.2.2.4 Circuit solaire :

- Débit volumique : 40 (l/h) /m^2 (par surface de capteur).
- Eau-glycol : 45% poly-propylen-glycol.
- Type de tubes : cuivre.
- Pompe du circuit : 45 Watt (max)

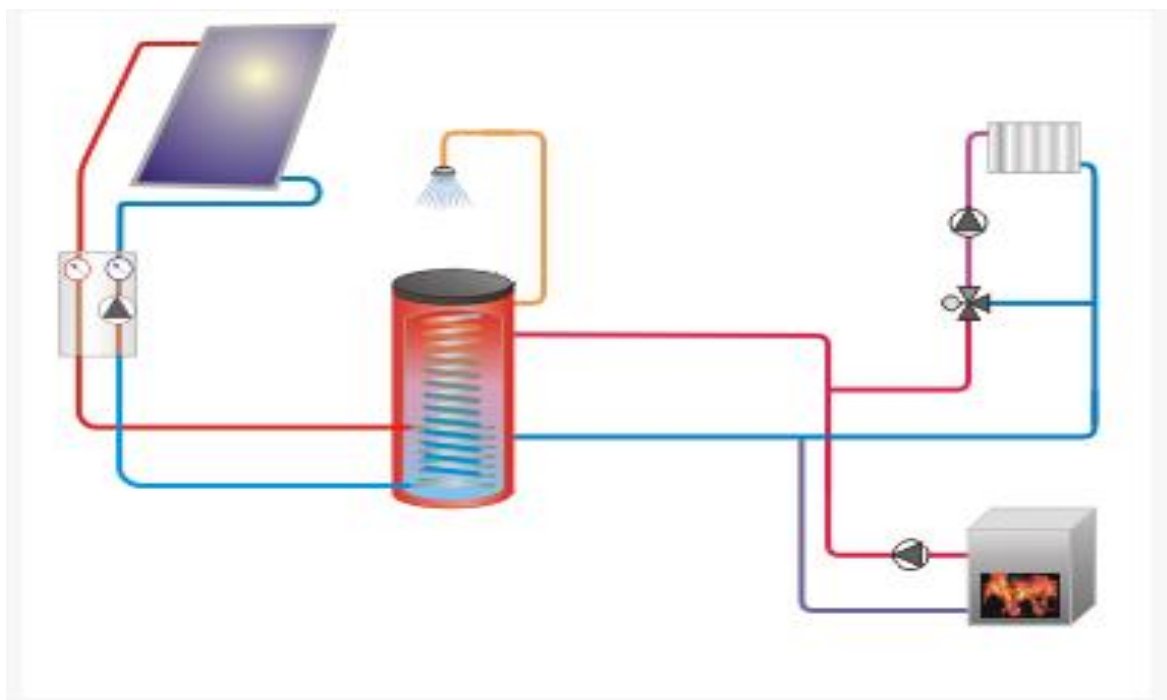


Figure 3.3 Schéma de système solaire combiné.

3.3 Profil de la consommation :

Dans les installations destinées à la production d'eau chaude sanitaire pour lesquelles on ne dispose pas de données fiables, on peut utiliser les valeurs standards européennes indiquées dans le tableau suivant :

Type d'installation	Volume consommé par personne et par jour
Installations familiales	40 l
Installations multi-familiales	30 l
Établissements hospitaliers	80 l
Établissements hôteliers	80 l
Installations de douches collectives	20 l

On trouve un autre procédé pour évaluer la consommation d'eau chaude à partir de la consommation des différents appareils en quantifiant la fréquence d'utilisation par les usagers

Appareils	Volume (litre)	Température d'utilisation
Lavabo	5 (par usage)	40°C
Bidet	4 (par usage)	40°C
Douche	15-20 (par usage)	32°C
Baignoire	80-100 (par usage)	37°C
Lavoir	10-15 (par usage)	60-70°C

3.3.1 Paramètres de température :

- Température eau froide : 10°C
- Température eau chaude : 55°C
- Température max : 85°C

La température d'eau froide à indiquer est généralement la température introduite au niveau du raccordement d'eau froide (env. 8 - 15°C). GetSolar ne tient compte que d'une moyenne valable pour toute l'année.

Sur l'installation modèle avec réservoir tampon et préparateur ECS, la température d'eau froide est déterminée à une valeur fixe de 10°C.

La détermination d'une température maximale protège le préparateur solaire contre la surchauffe. Lorsque la température maximale est atteinte, le circuit solaire s'arrête. Le capteur atteint alors des températures de veille élevées et transmet la totalité du rendement solaire capté à l'environnement en tant que perte. Ce processus de stagnation entraîne souvent la formation d'une bulle de vapeur dans le capteur. Dans la pratique, veillez à ce que le vase d'expansion soit assez grand pour pouvoir recueillir le fluide solaire refoulé par le capteur.

Pour les installations d'ECS, la température maximale est généralement réglée entre 65°C et 85°C. Il est nécessaire de doter l'installation d'une régulation de circuit solaire avec limitation de température maximale.

GetSolar permet d'entrer une température jusqu'à 150°C afin de pouvoir également simuler des installations de production de chaleur industrielle.

3.3.2 Consommation :

La consommation d'eau chaude sanitaire à 50 °C varie en fonction des habitudes des occupants, du type de famille et du nombre de personnes.

Pour une maison individuelle de 100 m² (comme notre cas), la moyenne de la consommation énergétique pour E.C.S est de :

- 10.47 kWh/jour
- 3456 kWh/année
- 200 Litres

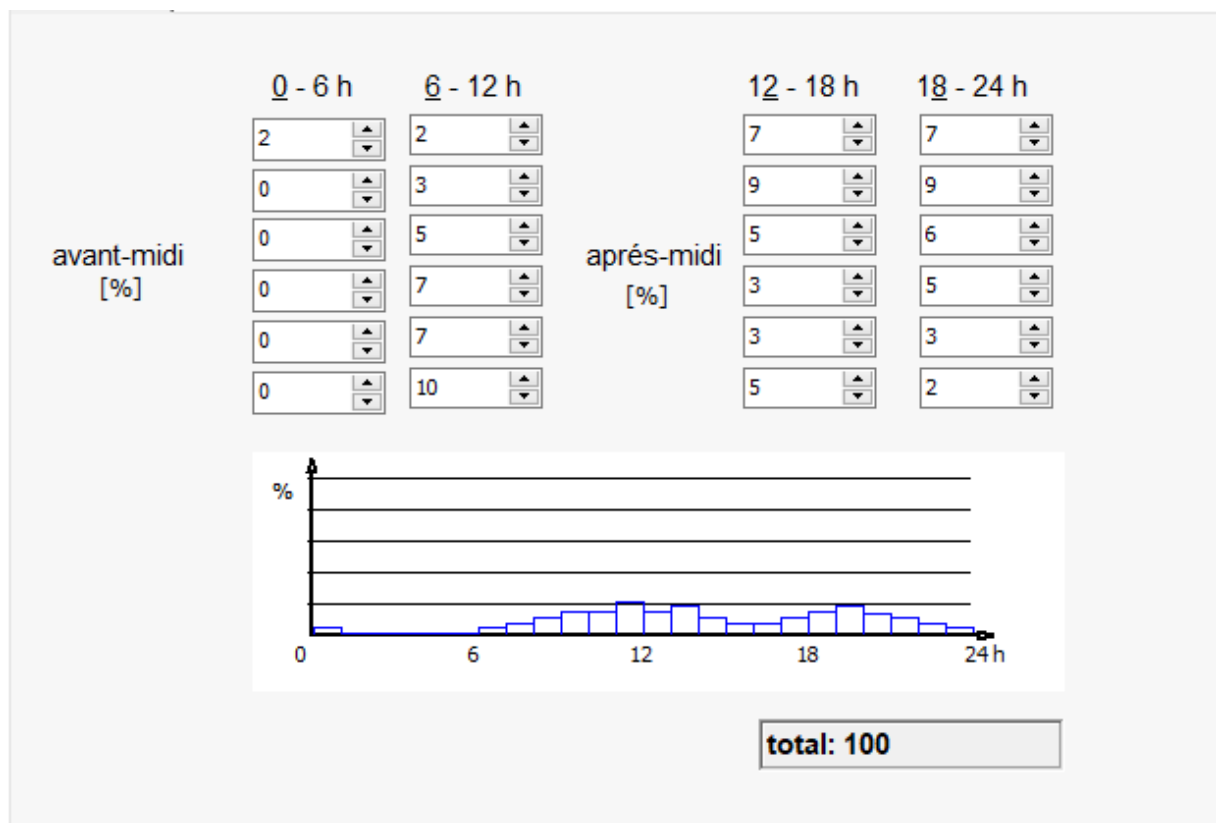


Figure 3.4 Profil de consommation du jour de E.C.S.

	[%]	kWh/jour	100%!
jan	90	9,4	<input type="radio"/>
fév	87	9,1	<input type="radio"/>
mar	81	8,5	<input type="radio"/>
avr	79	8,3	<input type="radio"/>
mai	77	8,1	<input type="radio"/>
jui	58	6,1	<input type="radio"/>
jui	47	4,9	<input type="radio"/>
aoû	50	5,2	<input type="radio"/>
sep	65	6,8	<input type="radio"/>
oct	80	8,4	<input type="radio"/>
nov	87	9,1	<input type="radio"/>
déc	100	10,5	<input type="radio"/>
moyenne	75,0%	7,9	<input checked="" type="radio"/>

kWh/jour

100% = **10,5**

Tableau 3.2 consommation annuel de E.C.S.

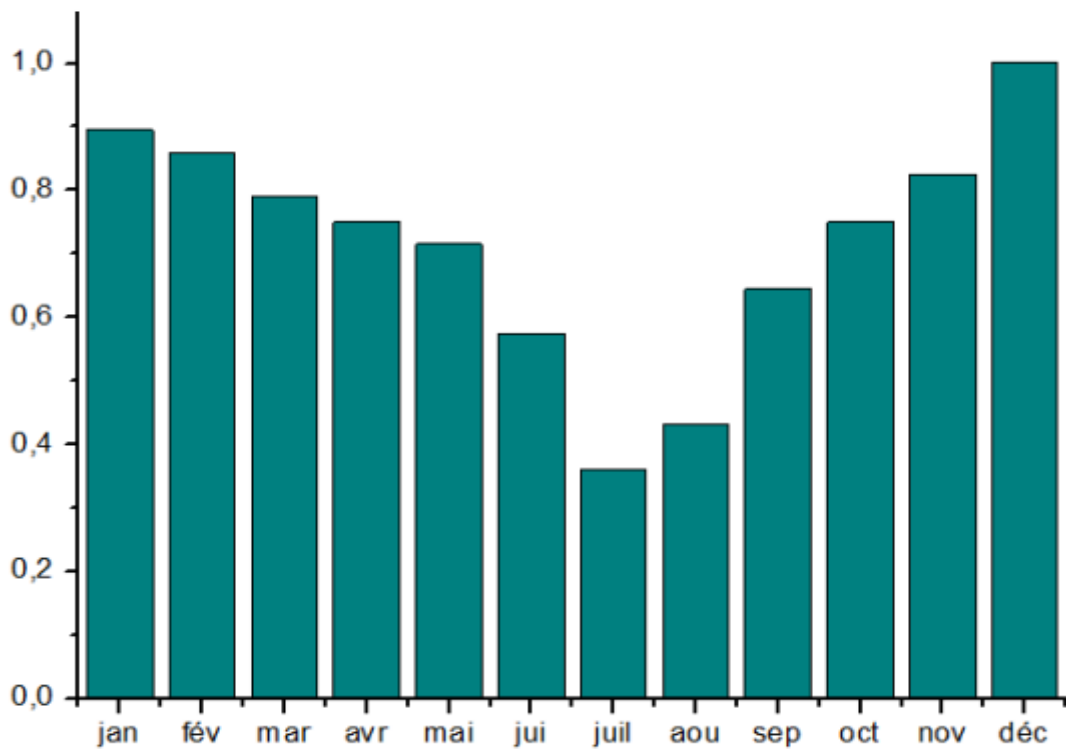


Figure 3.5 Profil de la consommation d'eau chaude sanitaire.

On constate d'après la figure 3.5 que la consommation de l'eau chaude sanitaire est plus importante pour les mois de novembre, décembre, janvier, février (mois d'hiver dans la région). La consommation en décembre est maximale 100% de ECS. Elle est affectée d'un coefficient égal à l'unité. Autrement dit, pendant ce mois, la consommation journalière moyenne sera prise égale à 250l. (Cas d'une famille de 5 personnes)

Cela nous oblige à utiliser un autre système comme chaudière à gaz, pour aider à fournir de l'eau chaude sanitaire, car les mois d'hiver les sources d'énergie solaire diminuent.

3.3.3 Besoins en chauffage :

a. Chauffage solaire :

Q chauffage=12000 kWh/année

Paramètres du circuit chauffage :

- Puissance nominale : 5.5 kW
- Température extérieure de base : -12 °C
- Température de départ : 55°C
- Température de retour : 40°C
- Température limite de saison de chauffage : 25°C

Pertes de chaleur utilisée pour chauffage :

- Stockage : 10%
- Générateur de chaleur : 10%
- Circulation : 10%

b. Energie conventionnelle (chauffage appoint) :

Dans cette installation nous avons utilisé une chaudière à gaz à condensation avec une énergie se forme du gaz naturel L, avec les caractéristiques suivants :

- Puissance : 9.5 kW
- Efficacité : 91.0 %
- Pertes de chaleur : 6.2 W/k
- Emission de ges (CO₂) : 1900 Kg
- Energie : 9970 KWh par unité

3.4 Evolution des pertes thermiques du système :

3.4.1 Pertes thermiques des capteurs et les pertes des tuyauteries extérieur et intérieur :

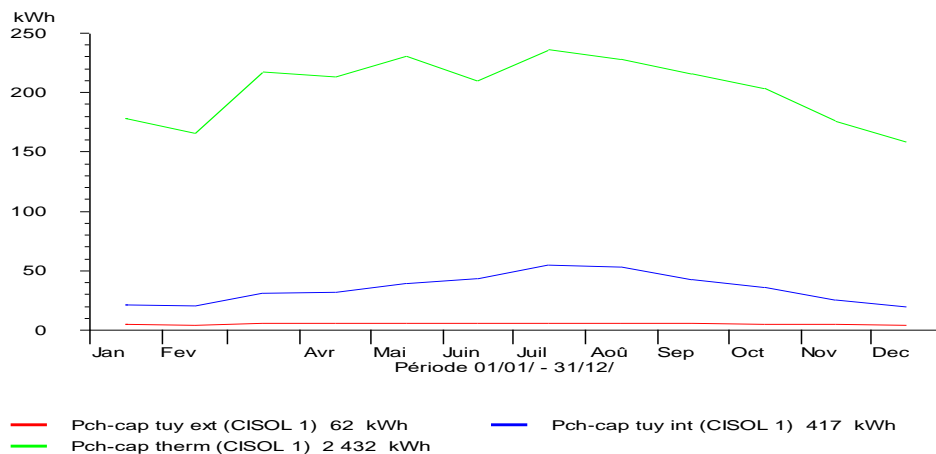


Figure 3.6 Pertes thermiques des capteurs et les pertes tuyauterie extérieur et intérieur.

D'après la figure 3.6, On remarque que les pertes thermiques dans le capteur plan est plus importante (environ de 250kwh), par rapport aux pertes dans la tuyauterie. Elles sont très faibles, entre 0et 50 kWh. Cette différence est due à l'énergie inversée ou réfléchi de capteur vers le milieu ambiant.

3.4.2 Pertes thermiques des deux ballons ECS :

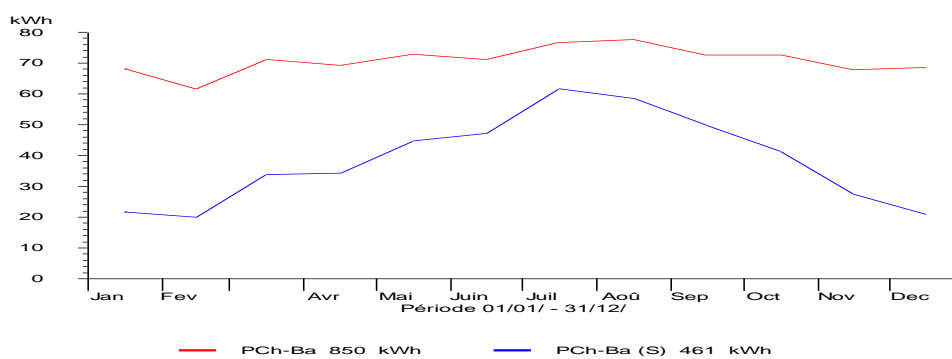


Figure 3.7 Pertes thermiques des deux ballons ECS.

D'après la figure 3.7, on remarque que les pertes thermiques dans le premier réservoir (75kwh) sont supérieures aux pertes thermiques dans le deuxième réservoir (50kwh)

3.5 Calcul des besoins de E.C.S et dimensionnement :

3.5.1 Estimation des besoins :

La connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est primordiale pour bien dimensionner un chauffe-eau solaire. Il est recommandé de se baser sur les consommations réelles d'eau chaude. On peut calculer les besoins journaliers en eau chaude, en se basant sur la formule suivante :

$$B_j = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot (T_c - T_f) \quad (3.1)$$

- B_j : les besoins journalier en eau chaude en kWh/j ;
- V : la consommation journalière en l/jour ;
- T_f : la température d'eau froide en °C ;
- T_c : la température d'eau chaude en °C.

Après simulation sous le logiciel GetSolar, les résultats sont comme suit : Les besoins en consommation annuel pour l'eau chaude sanitaire sont représentés en figure 3.8

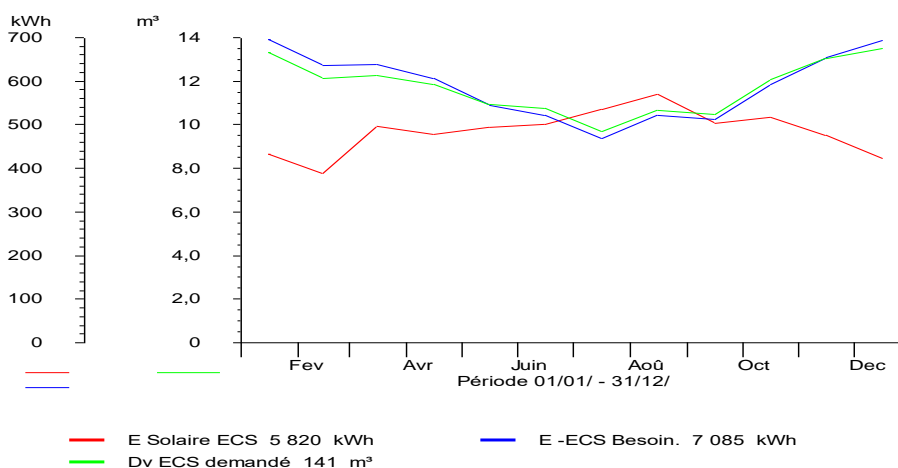


Figure 3.8 Diagramme de l'énergie solaire ECS et la consommation d'ECS et le Besoins énergétique réchauffement.

On remarque à travers la figure 3.8 qu'il y a une différence et une contradiction directe entre l'énergie solaire du système et la demande en eau chaude sanitaire pendant les périodes de l'année, de sorte que l'énergie solaire du système augmente entre les mois de printemps et d'été pour atteindre une valeur maximale d'environ 5820 kWh pendant la saison d'août, et diminue pendant la saison d'hiver, contrairement à la consommation d'eau chaude sanitaire, de sorte que la demande d'eau chaude ECS est importante pendant la saison hivernale jusqu'à ce que la demande atteigne environ 100 m³, en raison de la froideur de la région en hiver.

3.5.2 Calcul de la surface de captation du système :

Les capteurs solaires utilisés dans cette étude sont :

- Capteur solaire plan avec rendement de : 57%
- Capteur sous vide avec rendement de : 62.4%

a. Calcul de la surface de captation du aux besoins en ECS :

En prenant la valeur d'une demande journalière maximale de 200 litres/jours d'eau chaude sanitaire, l'énergie annuelle nécessaire pour chauffer cette quantité d'eau à 50°C est de 2315,5 kWh. La surface de captation nécessaire pour la satisfaction totale de ces besoins est égale à :

$$S_{\text{ecs}} = \frac{\text{Besoins annuels}}{\text{Apports solaires} \times \text{Rendement}} \times 1.2$$

Soit :

$$S_{\text{ecs}} = \frac{2315.5}{1864 \times 0,43} \times 1.2 = 4 \text{ m}^2$$

(3.2)

b. Calcul de la surface de captation pour le chauffage :

L'estimation des besoins annuels en chauffage pour la région Kolen ont été faites dans les deux cas en supposant une température de 21°C à l'intérieur de la maison. Nous avons trouvé 12737 KWh et 5192 KWh :

$$S_{\text{ch}} = \frac{\text{besoins en chauffage}}{\text{energie utile}} \times 0.6$$

(3.3)

4. Résultats de simulation :

4.1 Irradiations globale spécifique sur la surface inclinée et la température moyenne de capteur :

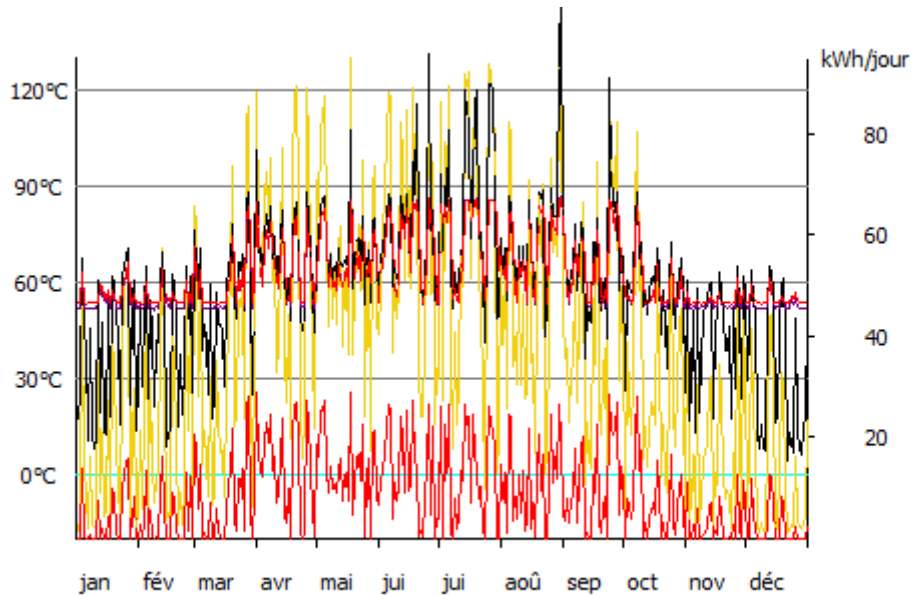


Figure 3.9 Courbes spécifiques de l'année d'un capteur plan.

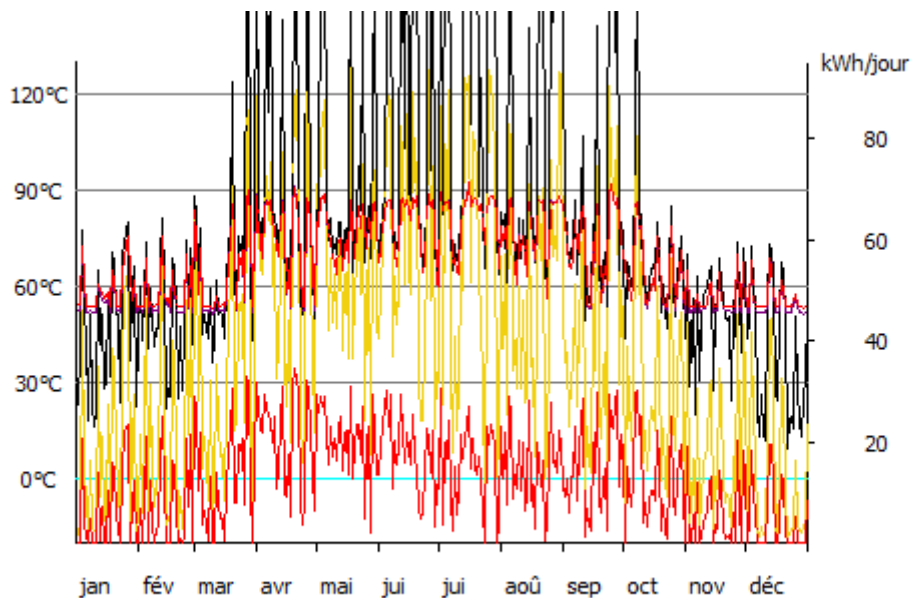


Figure 3.10 Courbes spécifiques de l'année d'un capteur sous vide.

D'après les figures : le rayonnement global spécifique sur la surface inclinée et la température moyen de capteur. Diminuent pendant l'hiver, et augmentent légèrement pendant le printemps, et durant l'été ils atteignent leurs valeurs maximums respectivement 210 kWh/m et 40°C, puis ils diminuent au cours de l'automne et l'hiver.

4.2 Rendement de système :

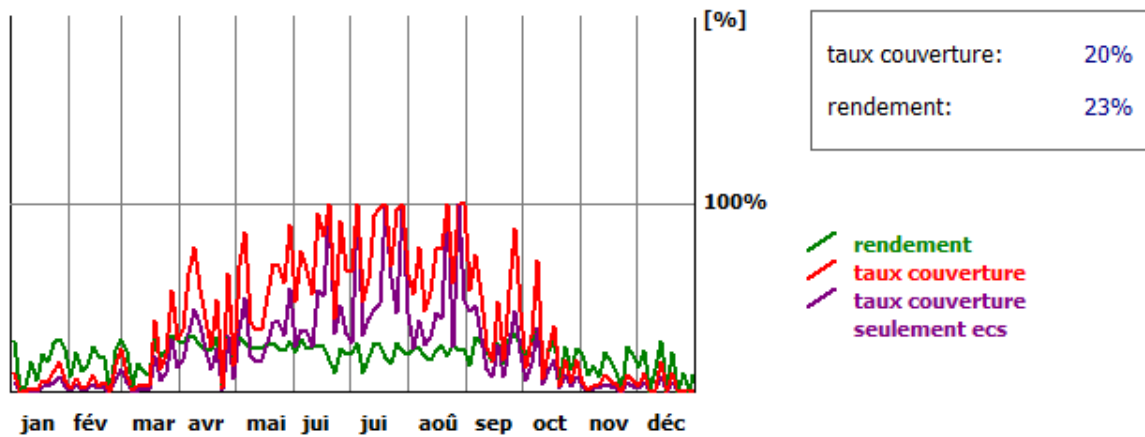


Figure 3.11 Taux de couverture solaire et efficacité pour capteur plan.

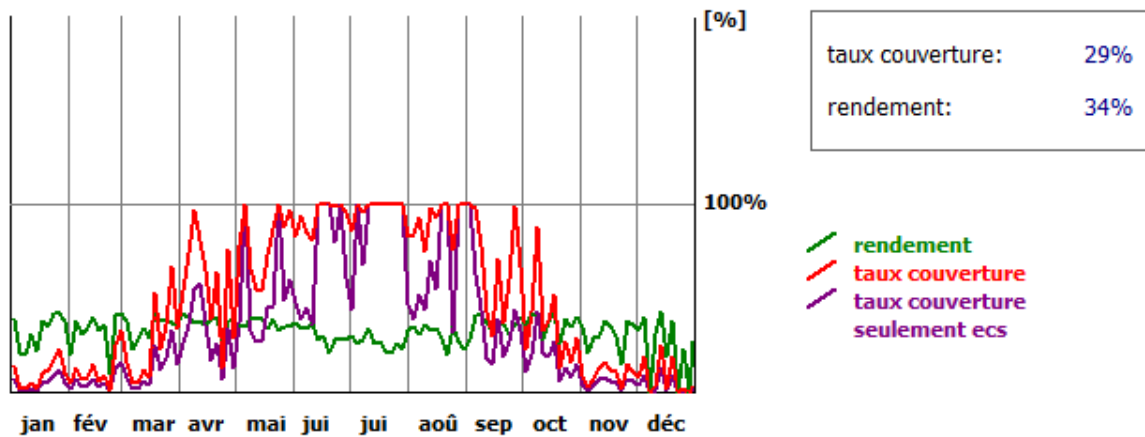


Figure 3.12 Taux de couverture solaire et efficacité pour capteur sous vide.

En ce qui concerne la couverture en ECS, nous notons que : La couverture varie entre 35% et 73%, de sorte que le taux de couverture augmente pendant la saison de printemps et d'été, atteignant une valeur maximale d'environ 73% dans le mois de juillet, en raison du fait que les saisons d'été et de printemps sont de grandes sources d'énergie solaire et de la température élevée de ces mois. Les mois d'hiver, on constate une diminution progressive du taux de couverture, due à la formation de nuages et à la rétention de température, ce qui entraîne une diminution des sources d'énergie solaire.

4.3 Bilan énergétique :

mois	apport solaire [kWh]	chauff. solaire [kWh]	irradiation capteurs [kWh]	énergie de secours [kWh]	consomm. ecs. [kWh]	taux ecs. [%]	taux couv. chaf. [%]	rendement [%]
janvier:	202	178	562	2204	376	7	9	36
février:	257	223	701	1834	345	10	13	37
mars:	402	342	1094	1408	361	17	23	37
avril:	621	477	1624	553	369	39	58	38
mai:	615	390	1695	180	385	58	90	36
juin:	540	312	1766	44	329	69	100	31
juillet:	455	234	1748	9	313	71	100	26
août:	448	241	1522	47	311	67	100	29
septembre:	450	303	1236	292	322	46	72	36
octobre:	380	290	990	811	360	25	35	38
novembre:	160	135	491	1592	353	7	9	33
décembre:	140	122	401	2255	393	5	6	35
total:	4671	3246	13829	11230	4217	34	27	34

taux de couverture pour eau chaude et chauffage: 29,4%

rapport spécifique annuel du capteur: 371 kWh/m² (surface brut)

Figure 3.13 Bilan énergétique de capteur sous vide.

mois	apport solaire [kWh]	chauff. solaire [kWh]	irradiation capteurs [kWh]	énergie de secours [kWh]	consomm. ecs. [kWh]	taux ecs. [%]	taux couv. chaf. [%]	rendement [%]
janvier:	113	100	563	2287	373	4	5	20
février:	142	124	702	1939	341	5	7	20
mars:	244	208	1095	1551	354	10	14	22
avril:	415	319	1625	730	351	27	39	26
mai:	420	266	1696	345	361	43	61	25
juin:	402	232	1766	156	305	56	93	23
juillet:	382	197	1748	49	290	64	100	22
août:	332	178	1522	136	289	53	94	22
septembre:	309	208	1237	422	308	33	50	25
octobre:	228	173	992	950	352	15	21	23
novembre:	78	66	492	1668	351	4	5	16
décembre:	73	64	402	2318	391	2	3	18
total:	3138	2134	13840	12551	4066	25	18	23

taux de couverture pour eau chaude et chauffage: 20,0%

rapport spécifique annuel du capteur: 249 kWh/m² (surface brut)

Figure 3.14 Bilan énergétique de capteur plan.

Les figures montre que l'énergie fournie pour le chauffage d'eau sanitaire en hiver et en automne est d'environ 700kwh, en raison de la froideur de la région pendant ces saisons et de sorte que la demande d'eau chaude est grande. Pendant les1 mois d'été, nous avons besoin d'environ 500 kWh.

4.4 Analyse écologique et environnementale :

mois	apport solaire [kWh]	économie d'énergie		économie de CO2 [kg]
		[kWh]	[m ³]	
janvier:	113	133	13	25
février:	142	158	16	30
mars:	244	292	29	56
avril:	415	504	51	96
mai:	420	545	55	104
juin:	402	514	52	98
juillet:	382	544	55	104
août:	332	457	46	87
septembre:	309	397	40	76
octobre:	228	277	28	53
novembre:	78	88	9	17
décembre:	73	85	8	16
total:	3138	3994	401	761

réduction proportionnelle de l'énergie: 20,6%
 consommation électrique de la pompe solaire: 52,0 kWh
 coefficient de performance: 60

Figure 3.15 bilan écologique de capteur plan.

mois	apport solaire [kWh]	économie d'énergie		économie de CO2 [kg]
		[kWh]	[m ³]	
janvier:	202	230	23	44
février:	257	284	28	54
mars:	402	464	47	88
avril:	621	727	73	139
mai:	615	778	78	148
juin:	540	686	69	131
juillet:	455	628	63	120
août:	448	604	61	115
septembre:	450	584	59	111
octobre:	380	463	46	88
novembre:	160	180	18	34
décembre:	140	161	16	31
total:	4671	5789	581	1103

réduction proportionnelle de l'énergie: 29,9%
 consommation électrique de la pompe solaire: 68,1 kWh
 coefficient de performance: 69

Figure 3.16 bilan écologique de capteur sous vide.

4.3.1 Emissions de CO₂ évitées :

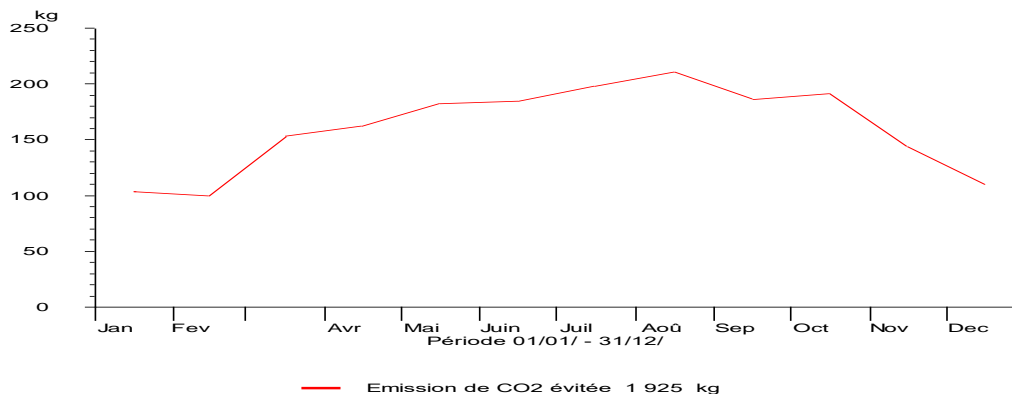


Figure 3.17 Emissions de CO₂ évitées.

L'émission de CO₂ évitée est forte pendant l'hiver et réduite pendant l'été. Ce qui amène à dire que l'énergie solaire participe à la diminution de la pollution de l'environnement.

4.3.2 Consommation de gaz naturel :

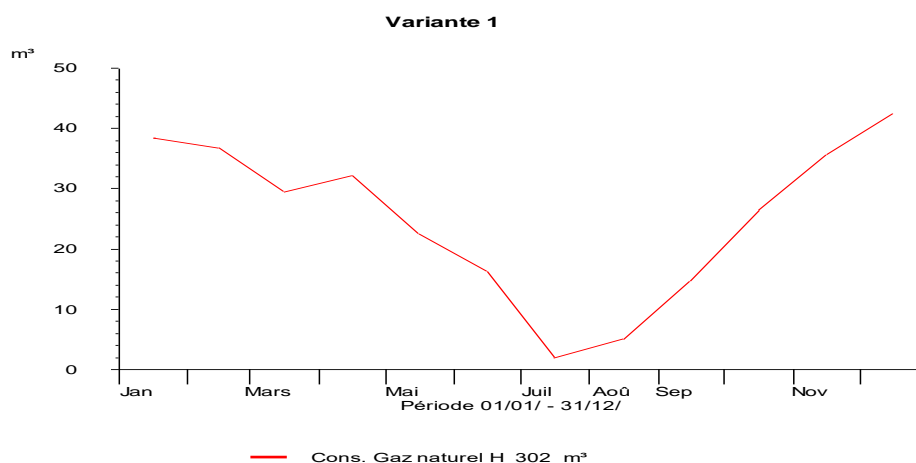


Figure 3.18 consommation de gaz naturel.

D'après la figure 3.18, La consommation de gaz naturel est forte pendant les mois de novembre, décembre, janvier et février, et réduite pendant le printemps et l'été.

4.3.3 Economie de gaz naturel :

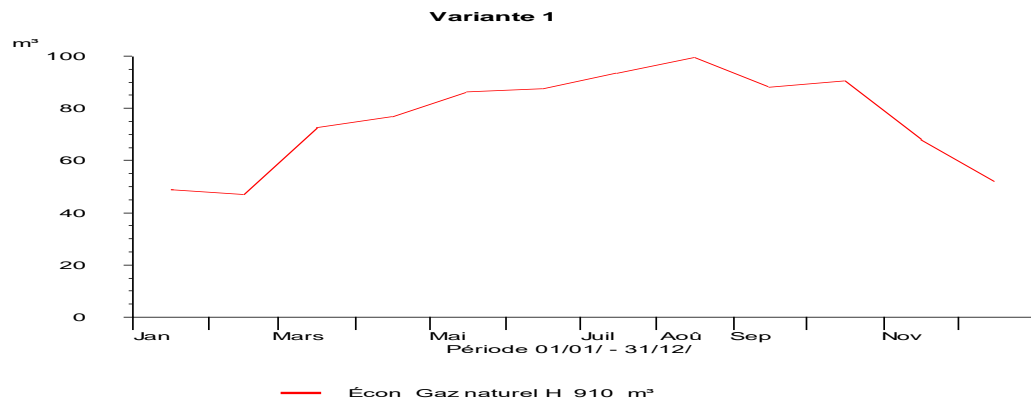


Figure 3.19 Economie de gaz naturel.

On observe d'après la figure 3.19 l'économie de gaz naturel diminue légèrement pendant Janvier et Février, et à partir du mois de Mars elle commence à augmenter jusqu'à le mois d'Octobre, après elle diminue à partir du mois de Novembre.

5. Interprétations :

D'après les résultats de la simulation de cette installation thermique, nous remarquons :

- Dans l'ensemble que le rendement d'un capteur thermique plan est très faible mais surtout se dégrade rapidement avec la montée en température.
- Le rendement du capteur sous vide est nettement supérieur au capteur plan vitré. De plus, le rendement ne chute pas aussi vite lors de la montée en température. C'est l'une des raisons pour la quelle le capteur sous vide est utilisé pour des hautes températures.
- La puissance d'un capteur dépend du mode de fonctionnement. Plus la différence entre la température intérieure du capteur et la température extérieure est élevée, plus ses déperditions thermiques sont importantes. Le rendement diminue également. Si le capteur ne dégage pas de chaleur (parce que la pompe ne fonctionne pas et que le fluide caloporteur ne circule plus), le capteur chauffe pour atteindre ce qu'on appelle la température d'arrêt.
- Dans ce cas, les déperditions thermiques sont aussi importantes que la puissance de rayonnement enregistrée. La puissance du capteur est nulle.

6. Conclusion :

Comme il sera traité plus en détail dans les prochains paragraphes, il faut rappeler que de nombreux éléments sont à prendre en compte dans la conception et la mise en œuvre d'une installation solaire dans une maison. Les principaux sont repris ci-dessous :

- Les besoins en eau chaude sanitaire : Dans la maison, la consommation d'eau chaude doit obligatoirement être estimée à partir du nombre de logements et du nombre d'occupants dans chacun d'eux. Une estimation correcte des besoins est essentielle à la bonne conception de l'installation.
- Objectifs de couverture solaire recherchés : Les installations solaires de production d'eau chaude, couvrent en moyenne entre 23 et 40 % des besoins annuels. Durant les mois d'été, avec un rayonnement solaire plus important et une température légèrement plus élevée de l'eau froide, les installations peuvent facilement couvrir entre 70 et 100% des besoins.
- Conception de l'installation solaire : La configuration décrite dans ce guide est une installation solaire combinée avec stockage et appoint. Il existe d'autres schémas possibles pour la production d'eau chaude, mais ceux-ci sont moins bien adaptés aux particularités maisons.
- Disponibilité de l'espace en toiture : Ce point doit être évalué pour chaque projet sur la base des plans de construction. La surface de capteurs de l'orientation et de la forme du toit, ainsi que de la présence éventuelle d'obstacles et d'ombres générées par les bâtiments voisins. En règle générale, il est possible d'installer la surface de capteurs optimale sur la plupart des bâtiments neufs.
- Caractéristiques des matériels : Il est évident que le choix des matériels fait partie de la conception de l'installation. Les caractéristiques particulières des capteurs solaires influent grandement la performance énergétique annuelle attendue de l'installation.
- Energie d'appoint : En général, le choix est limité dans les bâtiments résidentiels à l'option chaudière à gaz naturel pour les chauffe-eau instantanés.

En conclusion, les facteurs à prendre en compte pour une bonne conception de l'installation solaire sont multiples. Pour cette raison, il est essentiel de faire intervenir un concepteur spécialisé qui dispose de toutes les informations pertinentes relatives au bâtiment et à son usage.

La conception simplifiée obtenue par extrapolation des caractéristiques d'autres bâtiments ne permet pas d'obtenir des résultats satisfaisants.



**Conclusion
générale**

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse principalement à l'étude des systèmes et les performances des capteurs solaires thermiques intégrés dans une maison solaire, ils comportent une étude détaillée des capteurs solaires. Pour cette raison un modèle du système solaire thermique a été réalisé sous le logiciel GetSolar les différentes analyses du système ainsi que les résultats de la simulation ont été présentés, on a conclu cette section par l'interprétation des résultats de la simulation.

On a commencé par une présentation détaillée des données astronomiques qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires. Après avoir donné un aspect général par des généralités sur les capteurs solaires sujet de notre étude. Par la suite, on a dressé un état d'art sur les différents systèmes solaires thermiques.

Dans le troisième chapitre, l'essentiel de notre travail ayant de simuler et évaluer les performances d'une installation de chauffage solaire et chauffage d'eau pour une maison domestique sise dans la région de Kolen (Allemagne) à l'aide de logiciel de simulation qui nous a permis de dimensionner et à évaluer les performances de notre installation en fonction de plusieurs paramètres.

Dans une installation solaire, l'importance du choix des composants (type de capteurs, types de stratification dans le ballon de stockage, la qualité de fluide caloporteur, etc ...) et leur dimensionnement, permet d'obtenir une meilleure production avec un meilleur rendement du système dans son ensemble.

Le chauffe-eau solaire (CES) est l'une des applications les plus courantes du système d'utilisation de l'énergie solaire. L'avancement des CES se traduira par un avantage sur le système conventionnel sur une longue période de temps. La nature écologique d'un tel système favorise l'utilisation fréquente de ces systèmes dans le chauffage domestique et industriel. Les chercheurs du monde entier se concentrent sur le progrès technique ainsi que la faisabilité économique des CES.

En fin notre travail de mémoire a permis d'une part de mieux comprendre la conversion d'énergie solaire en énergie thermique.

Références bibliographiques

- [1] NAIMA, BOUBOU-BOUZIANI. Potentiel et développement des énergies renouvelables en Algérie.
- [2] BAILEK, Nadjem, *et al.* *Étude et Modélisation du Flux Solaire globale sur surface inclinée dans la région de Touat*. 2018. Thèse de doctorat.
- [3] FONTAINE, Bernard. LES ENERGIES RENOUVELABLES. 2009.
- [4] YASSINE, BENOUAZ Idriss et MOHAMMED, HABBAB. Réalisation d'un Suiveur Solaire dans le site de Béchar.
- [5] MEDJHED, Adel. *Extraction des paramètres des cellules solaires en utilisant le modèle à deux exponentielles*. 2018. Thèse de doctorat.
- [6] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [7] TAYEBI, Abdelbasset, BELHADJ, Zohra, et MAOUEDJ, Rachid. *Installation et expérimentation d'un système hybride photovoltaïque-éolien pour la production d'électricité*. 2013. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa-Adrar.
- [8] BOUGUETAIA, Nadia. Contribution à l'Etude et a la Simulation d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique. 2013.
- [9] KHALED, Mahdi. Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique. *Université Mentouri Constantine Faculté Des Sciences Exactes Département De Physique* 2007, 2008.
- [10] [Analyse-des-pertes-thermiques.pdf](#)
- [11] ZÉGHAMRI, Leila, HAIDA, Abdelkarim, MOUNGAR, Houcinee, *et al.* *Etude analytique et expérimentale des deux configurations d'un capteur plan destiné au chauffe-eau solaire*. 2015. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draia-ADRAR.
- [12] sciencesetavenir.fr
- [13] ABDERRAOUF, Yamina, *et al.* *Contribution au développement d'un capteur solaire thermique plan*. 2019. Thèse de doctorat. UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
- [14] <https://www.planetoscope.com>
- [15] <https://www.britannica.com>
- [16] BRAHIMI, Aghilas. *Etude de performances d'un capteur solaire plan a eau*. 2016. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.
- [17] astrologieduverseau.fr
- [18] Y. Jannot. Thermique solaire, Mars 2011.

Références bibliographiques

- [19] D.Saheb-Koussa, M.Haddadi. 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007. Modélisation d'un générateur photovoltaïque dans l'environnement « Matlab ».
- [20] AZOUAOU, Cherfaoui. *Simulation d'un système hybrid photovoltaïque et éolienne totalement autonome*. 2010. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [21] A. Bouras, « Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire », mémoire de magister Université Mentouri, Constantine, 2007.
- [22] Alain Ricaud, «Gisement-solaire » Master Energies Renouvelables, Université de CERGY-PONTOISE 2011
- [23] R. Maouedj, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah ». Mémoire De Magistère Décembre 2005.
- [24] Anne Labouret, Michel Viloz « Energie solaire photovoltaïque » édition LE MONITEUR.
- [25] physique.unice.fr
- [26] CHENNI. Rachid, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire, Université Mantouri de constantine, 2007
- [27] KIHOU, Khadidja et BOUNAB, Lynda. *Estimation du Rayonnement Solaire en Station d'Ain El Melh Cas d'un Ciel Clair*. 2020. Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- [28] ABBAD, Imane et HEBBIR, Nacer. Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairement) sur le rendement d'une cellule solaire. 2019.
- [29] BELGAID, B. L'ensemblement en architecture.
- [30] DJAAFERI, Younes et GUERROUT, Ahmed. *REALISATION D'UNE PETITE STATION METEOROLOGIQUE DESTINEE A UNE APPLICATION EOLIENNE*. 2012. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa-ADRAR.
- [31] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwatz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et documentation, paris, 1980.
- [32] OULED HAMMADI, Selma et SELMA, Saliha. *DEGRADATION DES MODULES PV DANS UN MILIEU DE TYPE SAHARIEN*. 2013. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa-Adrar.
- [33] M. Koussa, A. Malek et M. Haddadi, 2006. Validation de quelques modèles de reconstitution des éclairagements dus au rayonnement solaire direct, diffus et global par ciel clair. Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°4 (2006) 307- 332.

Références bibliographiques

- [34] Bendjellouli Zakaria, contribution à la modélisation d'une cellule solaire, Université de Bechar, 2009.
- [35] Chirifi Ouassama, Madache Hamza « Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière », Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.
- [36] BENABDELKARIM, B. et BENATILLAH, A. Etude et simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière...) sur les modules solaires en couches minces en région saharien. *Uraer. Cder. Dz*, 2016, p. 1-5.
- [37] slideserve.com
- [38] www.cder.dz/PotentielENRdel'algerie
- [39] Atlas solaire algerien.pdf
- [40] NDIAYE, Mame Mor Diarra. *Optimisation d'un capteur solaire double passe à air et estimation des échanges de chaleur paroi-fluide*. 2018. Thèse de doctorat. Université Bourgogne Franche-Comté; Université Cheikh Anta Diop (Dakar).
- [41] MARIR, M., *et al.* Simulation numérique de modèle de collecteur hybride photovoltaïque/photothermique.
- [42] NOUAH, Nourreddine, DJENNAOUI, Nabil, et HASSANI, Tinhinane. Validation des résultats de la modélisation numérique pour la conception d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique.
- [43] NOUREDDINE, BOUBECHÉ. Étude paramétrique d'un panneau solaire à air dans la région de Biskra.
- [44] www.ECS-Solar.com
- [45] HAMANI, N., MOUMMI, A., MOUMMI, N., *et al.* Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra. *Journal of Renewable Energies*, 2007, vol. 10, no 2, p. 215–224-215–224.
- [46] ROGET, Fabien. *Définition, modélisation et validation expérimentale d'une capacité de stockage thermique par chaleur latente adaptée à une centrale thermodynamique solaire à basse température*. 2012. Thèse de doctorat. Toulon.
- [47] PEREZ, Claude. *Paul Claudel-" Je suis le contradictoire"*. Les éditions du Cerf, 2021.
- [48] LAHBIL, Larbi, HAMOUDA, Messaoud, *et al.* *Contribution dans le Chauffage de l'Habitat par le Plancher Solaire direct (PSD)*. 2012. Thèse de doctorat. Université Ahmed Draïa-Adrar.
- [49] DEHIRI, Zohra. *Etude numérique d'un capteur solaire thermique plan dans la région de Boussaâda*. 2018. Thèse de doctorat. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila.

Références bibliographiques

- [50] ZID, Said et BENNOUI, Mohamed Salah. Optimisation des procédés de climatisation solaire.
- [51] Système solaire combiné, Estimation des besoins énergétiques, Revue des énergies renouvelables ICRES-07 Tlemcen, 2007, 109-114.
- [52] MUSY, Marjorie, BOZONNET, Emmanuel, BRIOTTET, Xavier, *et al.* *Rapport final Projet ANR-09-VILL-0007 VegDUD Programme Villes Durables 2009*. 2014. Thèse de doctorat. IRSTV FR CNRS 2488.
- [53] LE, Ky. *Gestion optimale des consommations d'énergie dans les bâtiments*. 2008. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- [54] MAZARI, Hichem. *Mise au point d'un dispositif autonome de poursuite du soleil-SUN TRACKER*. 2012. Thèse de doctorat. USTO.
- [55] KHARCHI, R., HAMID, A., et BELHAMEL, M. Contribution de l'Energie Solaire dans le Chauffage de l'Habitat par le Plancher. In : *National Workshop on Renewable Energies Valorisation*. 1999.
- [56] OUDRANE, Abdellatif. *Contribution à la modélisation et au développement des systèmes de chauffage solaire à usage individuel*. 2018. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin.
- [57] www.ines-solaire.com.
- [58] BALLOT, E. Promotion of solar thermal energy-guide and comparison of experience. 2004.
- [59] MAMBRINI, Thomas. *Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies*. 2014. Thèse de doctorat. Paris 11.
- [60] KATOMPA, Aubin Kazadi et MULAMBA, Fontaine Ngeleka. AVANT PROJET DE DIMENSIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2019, vol. 27, no 1, p. 71-87.
- [61] JOHANNES, Kévy. *Optimisation des installations solaires collectives d'eau chaude sanitaire : application des techniques «des faibles débits» et «du stockage divisé»*. 2005. Thèse de doctorat. Université de Savoie.
- [62] HONGOIS, Stéphanie. *Stockage de chaleur inter-saisonnier par voie thermo-chimique pour le chauffage solaire de la maison individuelle*. 2011. Thèse de doctorat. Lyon, INSA.
- [63] JABBOUR, Noel. *Intégration des systèmes à absorption solaire de petites puissances aux bâtiments-approche multifonction solaire : chauffage, ECS et rafraîchissement*. 2011. Thèse de doctorat. INSA de Lyon.

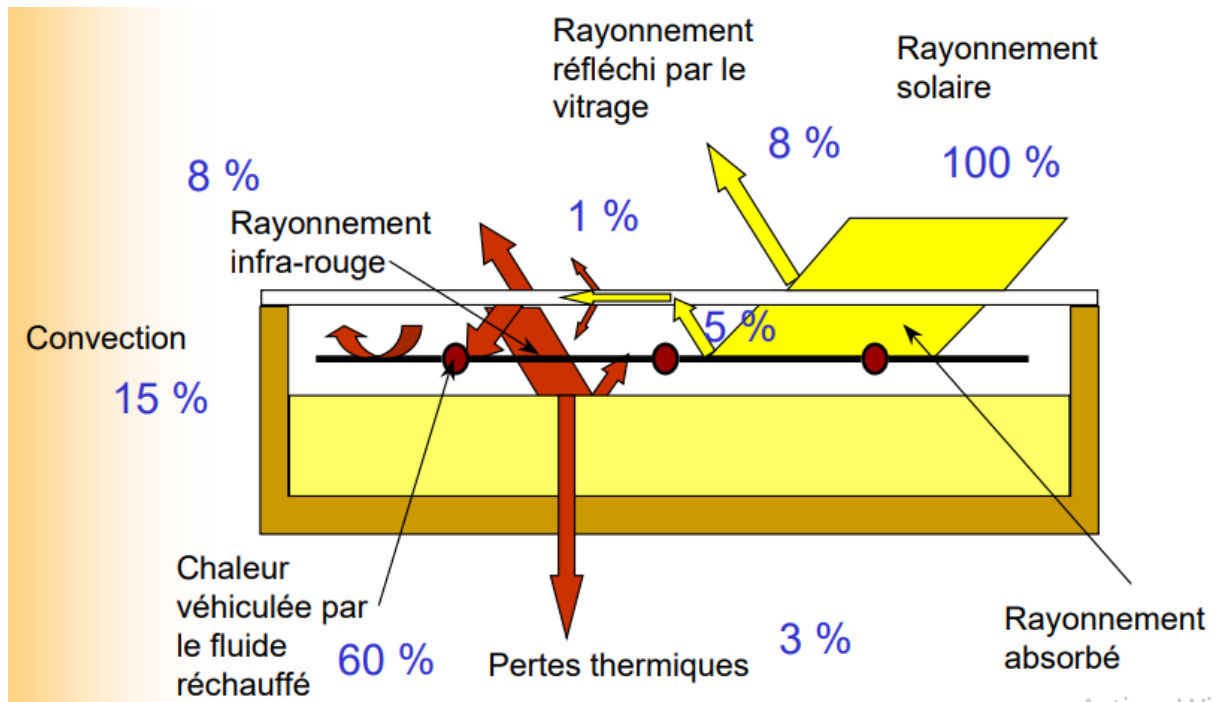
Références bibliographiques

[64] ANGIOLETTI, Robert et DESPRETZ, Hubert. Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments-
définitions. usages. consommations. *Techniques des ingénieurs (cité pages 31, 32, 34, 36, 43,
173 et 175.)*, 2004.

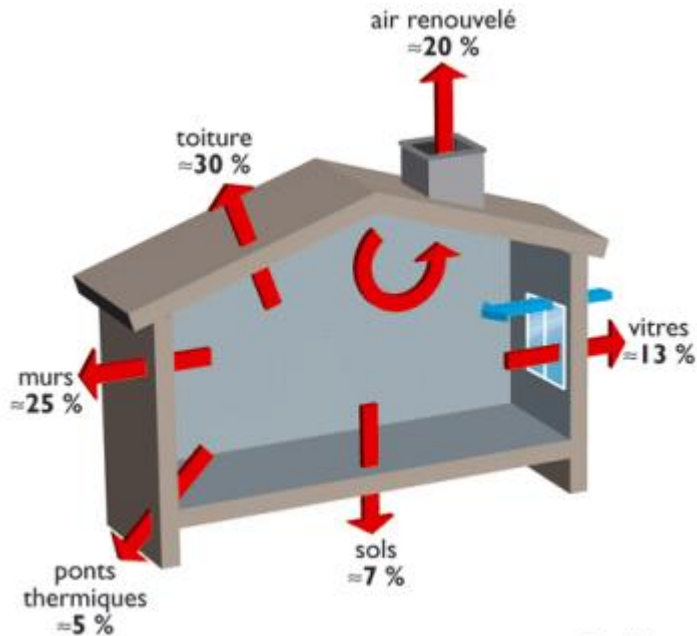
[65] METAHNI, Amine. *Déposition et réenvol de spores fongiques : contribution à la
compréhension du risque nosocomial aérotransmis*. 2012. Thèse de doctorat. Ecole normale
supérieure de lyon-ENS LYON.

Annexe

ANNEXE A :



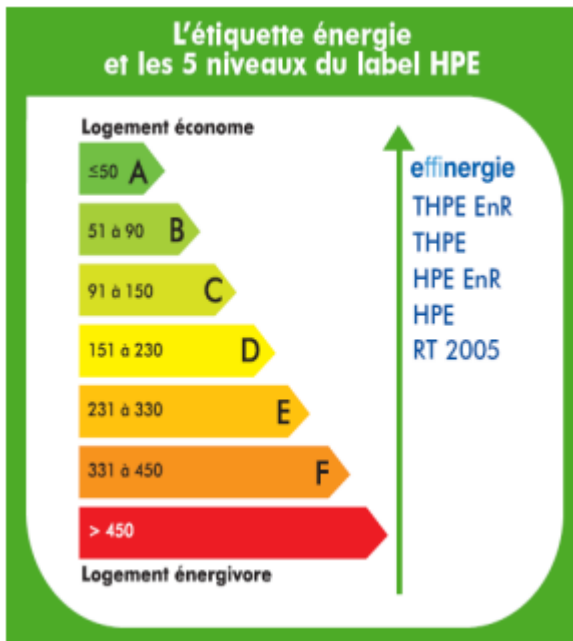
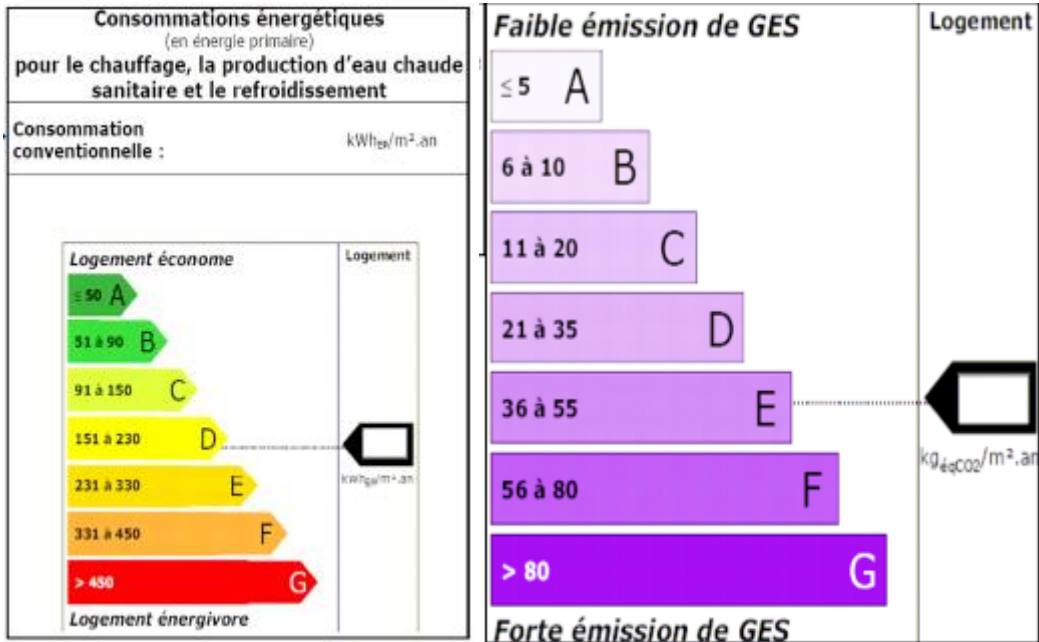
Les pertes pendant l'année.



Les pertes de la maison pendant l'année.

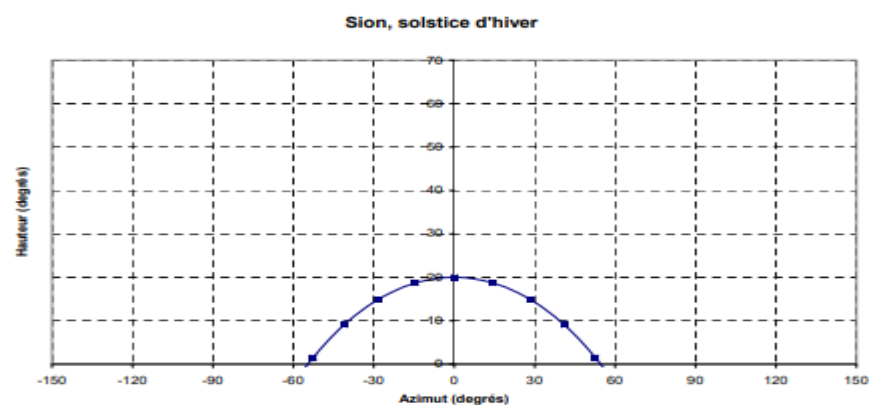
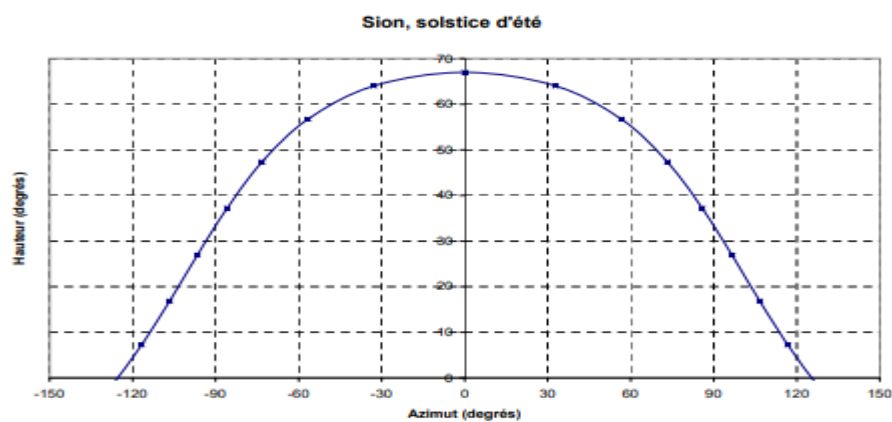
Annexe

ANNEXE B :



Annexe

ANNEXE C :



ANNEXE D :

	Chauffe eau solaire individuel
Nombre de personnes	6
Besoins eau chaude (litres/j)	300
Orientation	Sud
Inclinaison	45°
Surface capteur (m ²)	6
Volume stockage (litres)	450
Surface échangeur (m ²)	1,8
Puissance appoint élec. (kW)	5
Longueur tuyaux (m)	40

	Energie produite (kWh/an)	Pompe (kWh/an)	Appoint (kWh/an)
CESI (6m ²)	2 640	67	3260

Annexe

ANNEXE E :

Tranche horaire		6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	Total
JANVIER	Directe S	0	60	173	269	337	372	372	337	269	173	60	0	2 422
	Globale G	0	99	269	410	511	564	564	511	410	269	99	0	3706
	G/Vitre	0	72	218	346	436	483	483	436	346	218	72	0	3110
	G/Vgtp	0,00	70,34	212,99	338,05	425,98	471,90	471,90	425,98	338,05	212,99	70,34	0,00	3038,51
	Globale G*	0	177	467	701	867	952	952	867	701	467	177	0	6328
FEVRIER	Directe S	13	113	242	353	433	474	474	433	353	242	113	13	3256
	Globale G	21	175	360	518	633	694	694	633	518	360	175	21	4802
	G/Vitre	11	127	294	439	542	595	595	542	439	294	127	11	4016
	G/Vgtp	10,75	124,08	287,24	428,91	529,54	581,32	581,32	529,54	428,91	287,24	124,08	10,75	3923,68
	Globale G*	36	272	548	781	948	1035	1035	948	781	548	272	36	7240
MARS	Directe S	33	149	283	399	483	527	527	483	399	283	149	33	3748
	Globale G	58	234	423	587	707	771	771	707	587	423	234	58	5560
	G/Vitre	31	170	347	498	605	661	661	605	498	347	170	31	4624
	G/Vgtp	30,29	166,09	339,02	486,55	591,09	645,80	645,80	591,09	486,55	339,02	166,09	30,29	4517,70
	Globale G*	83	333	598	826	991	1078	1078	991	826	598	333	83	7818
AVRIL	Directe S	43	160	288	399	480	523	523	480	399	288	160	43	3786
	Globale G	88	262	443	600	717	779	779	717	600	443	262	88	5786
	G/Vitre	50	190	362	509	613	667	667	613	509	362	190	50	4788
	G/Vgtp	48,85	185,63	353,68	497,30	598,91	651,67	651,67	598,91	497,30	353,68	185,63	48,85	4672,07
	Globale G*	115	356	605	821	979	1063	1063	979	821	605	356	115	7884
MAI	Directe S	53	184	324	446	535	582	582	535	446	324	184	53	4248
	Globale G	107	286	472	635	756	821	821	756	635	472	286	107	6182
	G/Vitre	60	204	383	537	647	704	704	647	537	383	204	60	5092
	G/Vgtp	58,62	199,31	374,20	524,66	632,13	687,82	687,82	632,13	524,66	374,20	199,31	58,62	4953,45
	Globale G*	127	352	582	782	930	1008	1008	930	782	582	352	127	7590
JUIN	Directe S	51	177	310	427	512	557	557	512	427	310	177	51	4068
	Globale G	110	280	456	611	727	789	789	727	611	456	280	110	5988
	G/Vitre	62	198	368	515	621	676	676	621	515	368	198	62	4914
	G/Vgtp	60,57	193,45	359,54	503,16	606,72	660,46	660,46	606,72	503,16	359,54	193,45	60,57	4767,82
	Globale G*	129	342	560	751	892	967	967	892	751	560	342	129	7326
JUILLET	Directe S	55	192	341	471	567	617	617	567	471	341	192	55	4486
	Globale G	107	287	476	643	768	835	835	768	643	476	287	107	6266
	G/Vitre	59	203	385	544	657	717	717	657	544	385	203	59	5156
	G/Vgtp	57,64	198,33	376,15	531,49	641,90	700,52	700,52	641,90	531,49	376,15	198,33	57,64	5012,07
	Globale G*	126	337	555	747	888	964	964	888	747	555	337	126	7274
AOUT	Directe S	52	197	358	500	605	660	660	605	500	358	197	52	4744
	Globale G	96	285	487	667	802	873	873	802	667	487	285	96	6434
	G/Vitre	52	204	398	567	688	751	751	688	567	398	204	52	5330
	G/Vgtp	50,80	199,31	388,85	553,97	672,18	733,74	733,74	672,18	553,97	388,85	199,31	50,80	5197,70
	Globale G*	115	334	564	766	916	995	995	916	766	564	334	115	7396
SEPTEMBRE	Directe S	39	172	329	470	573	627	627	573	470	329	172	39	4420
	Globale G	69	252	456	636	770	841	841	770	636	456	252	69	6050
	G/Vitre	37	183	374	542	661	724	724	661	542	374	183	37	5044
	G/Vgtp	36,15	178,79	365,40	529,54	645,80	707,36	707,36	645,80	529,54	365,40	178,79	36,15	4926,09
	Globale G*	87	315	559	774	931	1015	1015	931	774	559	315	87	7364
OCTOBRE	Directe S	16	119	256	378	466	513	513	466	378	256	119	16	3496
	Globale G	29	185	372	537	658	722	722	658	537	372	185	29	5006
	G/Vitre	16	135	306	456	564	619	619	564	456	306	135	16	4192
	G/Vgtp	15,63	131,90	298,97	445,52	551,03	604,77	604,77	551,03	445,52	298,97	131,90	15,63	4095,63
	Globale G*	43	265	522	745	907	992	992	907	745	522	265	43	6948
NOVEMBRE	Directe S	3	68	182	284	357	395	395	357	284	182	68	3	2578
	Globale G	5	113	281	425	530	585	585	530	425	281	113	5	3878
	G/Vitre	3	82	228	360	453	501	501	453	360	228	82	3	3254
	G/Vgtp	2,93	80,11	222,76	351,72	442,59	489,48	489,48	442,59	351,72	222,76	80,11	2,93	3179,20
	Globale G*	10	191	460	689	852	933	933	852	689	460	191	10	6278
DECEMBRE	Directe S	0	48	160	259	329	365	365	329	259	160	48	0	2322
	Globale G	0	80	246	387	489	542	542	489	387	246	80	0	3488
	G/Vitre	0	58	199	327	417	464	464	417	327	199	58	0	2930
	G/Vgtp	0,00	56,67	194,43	319,48	407,41	453,33	453,33	407,41	319,48	194,43	56,67	0,00	2862,64
	Globale G*	0	144	423	655	819	904	904	819	655	423	144	0	5890

Energie (en wh/m2) incidente sur le plan SUD / Incl=Latit par tranche horaire.

Annexe

Métal	Conductivité Thermique (W/m.K)	Masse Volumique (kg/m ³)	Chaleur Massique (j/kg.K)	Absorptivité	Emissivité
Cuivre	384	8900	398	0.25	0.02
Acier inoxydable	14	7800	460	0.01	0.04
Aluminium	204	2700	879	0.63	0.09

ANNEXE F :

Caractéristiques thermo-physiques des matériaux métalliques.

Matériau	Epaisseur (mm)	Transmissivité (%)	Masse Volumique (kg/m ³)	Chaleur Massique (j/kg.K)	Conductivité Thermique (W/m.K)
Verre à vitre	3	85-92	2700	840	0.93
Polycarbonate	3.2	82-89	1200	1260	0.2
Polyméthacrylate	3.2	89-92	1200	1460	0.2
Polyester armé	1	77-90	1400	1050	0.21
Polyfluoéthyle Propylène	0.05	97	2.51	1170	0.25
Polyfluorure vinyle	0.1	93	1.5	1380	0.12

Propriétés optiques et thermiques de quelques surfaces transparentes.

ملخص

شهدت الطاقة الشمسية تطوراً هاماً للغاية في العالم بنمو 20٪ ، واستخدام الإمكانيات يتجاوز 100 جيجاواط.

كجزء من عملنا، أجرينا دراسة لأداء المجمعات الحرارية الشمسية المدمجة في منزل شمسي. بدأنا بعرض مفصل للبيانات الفلكية اللازمة لجميع دراسات الأنظمة الشمسية. بعد إعطاء جانب عام من خلال العموميات على الأنظمة الحرارية الشمسية للمسكن، قمنا بوضع حالة فنية على المجمعات الحرارية الشمسية موضوع دراستنا. بعد ذلك، ينصب اهتمامنا على التبادلات الحرارية المختلفة المتضمنة في جهاز الاستشعار الخاص بنا (يجب أن يعمل مستشعران مختلفان في نفس الوقت في نفس الظروف الخارجية) ولهذا اخترنا منشأة حرارية شمسية تهدف إلى تدفئة المسكن وإنتاج الماء الساخن المنزلي.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ، المجمع الحراري الشمسي ، المنزل الشمسي ، التبادل الحراري ، النظام الشمسي ، البيانات الفلكية ، الماء الساخن المنزلي.

Abstract

Solar energy had a very important development in the world with a 20% growth, potential 100 GW.

Summary Within the framework of our work, one has undertook a study of the performances of a solar thermal collectors integrated in a solar house. One started with a detailed presentation of the astronomical data which are necessary for all studies of the solar systems. After having given a general aspect by general information on the solar ones one drew up a state of art on the plane solar collectors subject of our study. Thereafter, our interest is related to various heat exchange concerned within our sensor in order to define the equations governing the thermal behavior of this last (two different sensors must operate at the same time under the same outdoor conditions) and for this we have chosen a solar thermal installation intended to heat a dwelling and to produce domestic hot water.

Keywords : Solar energy, thermal solar collector, solar house, heat exchange, solar system, astronomical data, domestic hot water.

Résumé

L'énergie solaire a connu un développement très important dans le monde avec une croissance de 20% et l'utilisation de potentiel qui dépasse 100 GW.

Dans le cadre de notre travail, on a entrepris une étude des performances des capteurs solaires thermiques intégrés dans une maison solaire. On a commencé par une présentation détaillée des données astronomiques qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires. Après avoir donné un aspect général par des généralités sur les systèmes solaires thermiques de l'habitat, on a dressé un état d'art sur les capteurs solaires thermiques sujet de notre étude. Par la suite, notre intérêt est porté sur les différents échanges thermiques mis en jeu au sein de notre capteur (deux capteurs différent doivent fonctionner au même temps dans les mêmes conditions extérieurs) et pour cela, on a choisi une installation solaire thermique destinée à chauffer une habitation et à produire de l'eau chaude sanitaire.

Mots-clés : Energie solaire, capteur solaire thermique, maison solaire, échanges thermiques, système solaire, données astronomiques, l'eau chaude sanitaire.