

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 عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Energétique
Domaine : Sciences et de Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

**Étude paramétrique et amélioration d'un système de chauffe-eau
solaire domestique (SDHW) pour l'approvisionnement en eau
chaude.**

Présenté Par :

1) Melle. CHAIBI Rihem

Devant le jury composé de :

Dr. NEHARI Tayeb

MCA

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Président

Dr. HARCHOUCHE Zine El Abidine

M AB

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Examineur

Dr. REMLAOUI Ahmed

MCB

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Résumé :

En concordance avec le développement technologique dans l'énergie solaire et aux besoins d'eau chaude pour les activités quotidiennes, le chauffe-eau solaire, son analyse et son étude paramétrique permettent une augmentation de la production d'énergie.

Notre objectif dans cette étude est de modéliser et simuler le système chauffe-eau solaire exposé aux conditions climatique prévalant à Ain Temouchent différents cas des composants et discuter l'influence d'augmentation et de diminution des paramètres des composants sur la production de l'énergie. Cela nous permet d'étudier différents paramètres des composants de système chauffe-eau solaire et déterminer leur capacité et leur efficacité énergétique. Logiciel sélectionné pour cette étude est Système Advisor Model SAM, cela nous a également permis d'étudier l'utilisation de le système chauffe-eau solaire et augmenter la production de chaleur.

Mots clés : chauffe-eau solaire, étude paramétrique, Solar Advisor Model, chaleur

Abstract:

In line with the technological development in solar energy and the need for hot water for daily activities, the solar water heater, its analysis and parametric study allow an increase in energy production.

Our objective in this study is to model and simulate the solar water heating system exposed to the climatic conditions prevailing in Ain Temouchent different cases of the components and discuss the components and discuss the influence of increasing and decreasing the parameters of the components on energy different parameters of solar water heating system components and determine their capacity and energy efficiency. Software selected for this study is System Advisor Model SAM, this also allowed us to study the solar water heating system and increase heat production.

Keywords: the solar water heating system, parametric study, Solar Advisor Model, heat

المستخلص:

وفقا للتطور التكنولوجي في مجال الطاقة الشمسية واحتياجات الماء الساخن للأنشطة الحياتية اليومية، فإن سخان المياه بالطاقة الشمسية وتحليله ودراسته البارامترية يسمح بزيادة إنتاج الطاقة.

هدفنا في هذه الدراسة هو نمذجة و محاكاة نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية المعرض للظروف المناخية السائدة في عين تموشنت بحالات مختلفة من المكونات و مناقشة تأثير زيادة و نقصان معاملات المكونات على إنتاج الطاقة. و هذا يسمح لنا بدراسة المعلمات المختلفة لمكونات نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية و تحديد قدرتها و كفاءة الطاقة. البرنامج الذي تم اختياره لهذه الدراسة هو System Advisor Model SAM, مما سمح لنا أيضا بدراسة استخدام نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية و زيادة إنتاج الطاقة الشمسية و زيادة إنتاج الحرارة.

الكلمات المفتاحية: سخان الماء، دراسة بارامترية، Solar Advisor Model، حرارة.

Remerciement

Je remercie mon dieu, le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le sans l'aide et l'encadrement de notre Professeur monsieur **Dr. REMLAOUI Ahmed**. Je le remercie pour sa qualité de savoir, qui nous a été transmise, sa patience et sa disponibilité durant mon préparation de ce mémoire.*

Un remerciement au toutes les personnes qui m'a aidé à la réalisation de ce travail sois de près ou de loin.

J'adresse également mon remerciement aux enseignants qui m'a fait l'honneur de participer au jury de ce mémoire.

Melle. CHAIBI RIHEM

Dédicace

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux, quoi je fasse ou je dise, je ne saurai te remercier comme il se doit, ni rembourser mes envers toi, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta ^présence à mes côtés a toujours été a toujours été ma source de force dans cette vie, je t'aime maman.

A mon père pour son affection et son amour, pour son sacrifice et son soutien durant mes études et ma vie globalement.

*A mon frère, **Mohamed Ali** qui a toujours été présent pour moi et qui m'a aidé et soutenu pendant cette année.*

A mes amis :Ismahane, Kheiro, Mohammed, Leila, Ilies, Sedik, Wafaa

Une spéciale dédicace à mes collègues Mme la directrice M. Halima, Mme Aidoune nerimene, Mr Boukerma Oussama, Mme H. Karima, Mme benbenaziz

Rihem

sommaire

Page de garde.....	I
Résumé	II
Remerciement	III
Dédicace	IV
Sommaire	V
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Nomenclature	XII
Introduction générale	1
Chapitre01 :	
Introduction	3
I.1 Energie renouvelable :.....	3
I.2 Les types d'énergies renouvelables :.....	3
I.2.1 Energie éolienne :.....	3
I.2.1.1 Les différents types des turbines éoliennes :.....	4
I.2.1.1.1 Les éoliennes à axe verticale :	4
I.2.1.1.2 Les éoliennes à axe horizontale :	4
I.2.2 Energie hydraulique.....	4
I.2.3.1 Energie marine :.....	5
I.2.3 Energie biomasse :	5
I.2.4 Energie géothermique :	6
I.2.4.1 Les types de la géothermie :.....	6
I.2.4.1.1 La géothermie à basse température :	6
I.2.4.1.2 La géothermie à haute température :.....	7
I.2.5 Energie solaire :.....	7
I.2.5.1 Importance de rayonnent solaire :.....	7
I.2.5.1.1 Production d'électricité :.....	7
I.2.5.1.2 Production de chaleur :.....	7
I.2.5.2 Système d'énergie solaire :	7
I.2.5.2.1 Energie solaire photovoltaïque :.....	8
I.2.5.2.1.1 Fonctionnement :.....	8
I.2.5.2.2 Energie solaire thermique :.....	9
I.2.5.2.2.1 Fonctionnement :.....	9
I.2.5.2.3 Production d'eau chaude sanitaire (ECS) avec le solaire thermique :	9

I.3 Les énergies renouvelables dans le monde :	10
I.4 Les avantages d'énergie renouvelables :.....	12
I.4.1 Réduction d'émission de CO ₂ :.....	13
Conclusion:.....	13
introduction:	15
II.1 le soleil :	15
II.2 Les rayonnements solaire et sources :	15
II.2.1 l'éclairement :	16
II.2.2 irradiation :	16
II.3 Les rayonnements solaires disponibles sur la terre :	17
II.3.1 Le rayonnement solaire direct :	17
II.3.2 Le rayonnement solaire diffuse	18
II.3.3 Le rayonnement solaire global	18
II.4 Le rayonnement solaire en Algérie :.....	18
II.5 Le mouvement de la terre et de soleil :.....	19
II.5.1 Coordonnés géographiques :	20
II.5.1.1 La latitude (Φ) :	21
II.5.1.2 La longitude (\mathring{L}).....	21
II.5.1.3 Altitude (z) :.....	21
II.5.1.4 Le méridien :	21
II.5.2 Les coordonnées célestes horaires :.....	21
II.5.2.1 La déclinaison du soleil (d) :	21
II.5.2.2 L'angle horaire (ω) :.....	22
II.5.3 La coordonnée céleste horizontale :.....	22
II.5.3.1 Hauteur du soleil (h) :.....	22
II.5.3.2 Azimut de soleil (a) :	22
II.5.3.3 Angle zénithal (Θ_z) :.....	23
II.6 Trajectoire apparente du soleil :.....	23
II.7 Emission des corps :	24
II.7.1 Emission d'un corps noir :.....	24
II.7.2 Emission d'un corps quelconque :	24
II.8 La fraction solaire :	25
II.9 Captation :	25
II.9.1 Energie solaire thermodynamique :.....	26
II.7.2 Energie solaire photovoltaïque :.....	26

II.7.3 Energie solaire thermique :	26
II.7.3.1 Système solaire thermique :	26
II.7.3.2 mode de transfert dans les capteurs solaire :	26
II.7.3.2.1 Transfert par conduction :	26
II.7.3.2.2 Transfert par convection :	27
II.7.3.2.2 Transfert par rayonnement :	27
Conclusion:.....	27
Chapitre 03:	
introduction :.....	29
III.1 Présentation du système étudié :	29
III.1.1 Description générale du système de chauffe-eau solaire :	29
III.1.2 Importance et application du système :	30
III.1.2.1 Système solaire combiné SSC :.....	30
III.1.2.1 Chauffage piscine :	31
III.2 Principe de fonctionnement des composants :	31
III.2.1 Capteurs solaire :	32
III.2.1.1 Principe de fonctionnement :	32
III.2.1.2 Les types de différents capteurs :.....	32
III.2.1.2.1 Les capteurs plans vitrés :.....	32
III.2.1.2.1 Les capteurs non vitrée :	33
III.2.1.2.2 Les capteurs sous vide :	33
III.2.1.3 Les composants d'un capteur solaire thermique plan :	34
III.2.1.3.1 La boite ou coffre :.....	34
III.2.1.3.2 Isolation thermique :	34
III.2.1.3.3 Une couverture transparente :	34
III.2.1.3.4 L'absorbeur :	34
III.2.1.3.5 Le fluide caloporteur [21] :	35
III.2.2 Réservoir de stockage :	36
III.2.2.1 Matériau au résistant :	36
III.2.2.2 L'isolant :	36
III.2.2.3 Echangeur thermique :	37
III.2.2.4 L'appoint :.....	37
III.2.2.5 Stratification dans le ballon de stockage :	37
III.2.3 circuit hydraulique:	38

III.2.3.1 Les conduites :	38
III.2.3.2 Isolation de conduites :.....	39
III.2.3.3 Vanne d'arrêt :	39
III.2.3.4 Soupape de sécurité et le manomètre :	39
III.2.3.5 Vase d'exploitation :.....	40
III.2.3.6 Clapet antiretour :.....	40
III.2.3.7 Débitmètre :	40
III.2.3.8 Thermomètre :.....	40
III.2.3.9 Circulateur :.....	41
III.2.3.9.1 Types de circulations :.....	41
III.2.3.9.1.1 Chauffe-eau solaire monobloc:	41
III.2.3.9.1.2 Circulation par thermophsion (naturelle) :.....	42
III.2.3.9.1.3 Circulation par pompe (forcé) :.....	42
III.2.4 Régulation et commandes :	43
III.2.4.1 Thermostat :.....	43
III.2.4.2 Résistance électrique :.....	43
III.2.4.3 Contrôleur :.....	43
III.3 Installation d'un chauffe-eau solaire :	44
III.3.1 Estimation journalier des besoins d'eau chaude :.....	44
III.3.2 Choix de système adapté :	44
III.4 Caractéristique technique des composants :	45
III.4.1 Caractéristique technique de capteur plan:	45
III.4.2 Caractéristique technique de ballon de stockage :.....	45
III.4.3 Caractéristiques technique de circuit hydraulique :	46
III.5 Modélisation du système :	46
III.5.1 Description de logiciel :.....	46
III.5.2 Procédure de simulation de modélisation de système :	47
conclusion.....	47
chapitre 04	
introduction	51
IV.1 Données météorologique :	51
IV.2 Résultats de la simulation :	52
IV.2.1 Données mensuelles de la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée :	53
IV.3 Etude paramétrique de système :	55

sommaire

IV.3.1 Estimation journalier des besoins :	55
IV.3.2 Surface de collecteur :	58
IV.3.3 Le volume de réservoir	61
IV.3.4 L'efficacité d'échangeur de chaleur :	65
IV.3.5 La température sortie :	68
Conclusion	72
Conclusion générale:	73

Liste des figures

Chapitre I:

Figure (I.1) : différents type d'énergie renouvelable.....	3
Figure (I.2) : centrale d'énergie éolienne.....	4
Figure (I.3) : schéma de centrale hydraulique.....	5
Figure (I.4) : fonctionnement de la biomasse.....	6
Figure (I.5) : centrale d'énergie géothermique.....	6
Figure (I.6) : système solaire.....	8
Figure (I.7) : schéma de cellule photovoltaïque.....	8
Figure (I.8) : schéma de capteur thermique.....	9
Figure (I.9) : schéma d'un chauffe-eau solaire.....	10
Figure (I, 10) : répartition prévisible de la demande d'énergie primaire par source d'énergie	11
Figure (I.11) : marché chauffe-eau solaire taux de croissance par région.....	12

Chapitre II:

Figure (II.1) : la quantité d'irradiation atteignent la surface de la terre est affecté par la mesure laquelle ambient ça passe à travers.....	16
Figure (II, 2) : carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en $Kwh/m^2/jour$ sur un plan horizontal.....	17
Figure (II.3) : les trois types de rayonnement solaire.....	17
Figure (II.4) : composant d'un rayonnement solaire.....	18
Figure (II.5) : carte de l'irradiation solaire en Algérie.....	19
Figure (II.6) : la position du soleil en site varie suivant la rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil.....	20
Figure (II.7) : la sphère céleste.....	20
Figure (II.8) : coordonnées géographique.....	21
Figure (II.9) : les coordonnés horaires.....	22
Figure (II.10) : les coordonnées horizontales.....	23
Figure (II, 11) : mouvement apparent du soleil.....	23
Figure (II, 12) : schéma de captation solaire.....	25

Chapitre III:

Figure (III.1) : schéma d'un chauffe-eau solaire.....	30
Figure (III.2) : schéma de système solaire combiné.....	31
Figure (III.3) : schéma d'un capteur plan	32
Figure (III.4) : le capteur solaire non vitré.....	33
Figure (III.5) : tubes sous vide installée dans une toiture.....	33
Figure (III, 6) : composants d'un capteur solaire	34
Figure (III.7) : ballon de stratification SOLUS.....	38
Figure (III.8) : isolation des conduites.....	39
Figure (III.9) : une vanne d'arrêt.....	39
Figure (III.10) : soupape de sécurité avec un manomètre.....	39
Figure (III.11) : vase d'exploitation	40
Figure (III.12) : clapet antiretour.....	40
Figure (III.13) : thermomètre.....	40
Figure (III.14) : un circulateur de liquide.....	41
Figure (III, 15) : monobloc.....	41
Figure (III.16) : schéma de chauffe-eau séparé thermophison	42
Figure (III, 17) : schéma de chauffe-eau à circulation forcé	42
Figure (III.18) : régulateur	43
Figure (III.19) : schéma présente les composants d'installation chauffe-eau solaire	44
Figure (III.20) : présentation de logo de système SAM.....	47
Figure (III.21) : présentation de crée un nouveau Project	47
Figure (III.22) : présentation de la performance de modèle	47
Figure (III.23) : information des données météorologique d'Ain temouchent	48
Figure (III.24) : estimation journalier des besoins	48
Figure (III.25) : présentation des données de système	48
Figure (III.26) : présentation de données de capteur	49
Figure (III.27) : présentation de données de réservoir de stockage	49
Figure (III.28) : présentation de données de circuit hydraulique	49

Liste des figures

Figure (III.29) : présentation de exécutions la simulation 49

Chapitre IV:

Figure (IV.1) : l'irradiation (global et diffuse) et vitesse de vent par heure dans Ain temouchent51

Figure (IV.2) : l'énergie nette mensuelle pour une année d'Ain temouchent52

Figure (IV.3) : tableau de résultat de simulation53

Figure (IV.4) : donnees mensuelles de chaleur auxiliaire et délivrée54

Figure (IV.5) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi55

Figure (IV.6) : colonne de graphique présente la chaleur auxiliaire en fonction de l'estimation journalière des besoins 56

Figure (IV.7) : colonne de graphique présente la chaleur délivrée en fonction de l'estimation journalière des besoins 57

Figure (IV.8) : la fraction solaire par rapport l'estimation journalière des besoins58

Figure (IV.9) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi58

Figure (IV.10) : la chaleur auxiliaire par rapport la surface de capteur59

Figure (IV.11) : la chaleur délivrée par rapport la surface de capteur60

Figure (IV.12) : la fraction solaire par rapport la surface de capteur solaire61

Figure (IV.13) : le tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi61

Figure (IV.14) : la chaleur auxiliaire par rapport le volume de réservoir62

Figure (IV.15) : la chaleur délivrée par rapport le volume de réservoir63

Figure (IV.16) : la fraction solaire par rapport le volume de réservoir64

Figure (IV.17) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi65

Figure (IV.18) : la chaleur auxiliaire par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur66

Figure (IV.19) : la chaleur délivrée par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur.....67

Figure (IV.20) : la fraction solaire par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur68

Figure (IV.21) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi68

Figure (IV.22) : la chaleur auxiliaire par rapport de température sortie69

Figure (IV.23) : la chaleur délivrée par rapport de température sortie70

Liste des figures

Figure (IV.24) : la fraction solaire par rapport la température sortie	71
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Liste des tableaux

Chapitre III :

Table (III.1) : les caractéristiques technique d'un capteur plan	45
Table (III.2) : les caractéristiques technique d'un réservoir de stockage	46
Table (III.3) : les caractéristiques technique d'un circuit hydraulique	47

Chapitre IV :

Table (IV.1) : variation de différence entre la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée pour chaque mois dans système chauffe-eau solaire	52
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

η : Le rendement thermique du capteur

η_o : Facteur optique

τ : La transmittance optique du capteur

α_1 et α_2 : Coefficients de perte thermique

T_m : la température moyenne du fluide caloporteur dans le capteur °C

T_a : la température ambiante °C

G : irradiation solaire (w/m^2)

A : la surface de capteur (m^2).

G : irradiation solaire (w/m^2).

α : l'absorptivité du capteur.

K : coefficient de perte thermique du capteur ($W/m^2 \cdot K$).

T_a : température ambiante (°C).

T_c : température de capteur(°C).

T_{fe} : température de fluide entrée.

T_{fs} : température de fluide sortie.

η : l'efficacité du capteur.

Q : Le taux de variation de la quantité de chaleur (W)

\dot{m} : Le débit massique du fluide (kg/s)

C_p : la capacité thermique de l'eau ($J/kg \cdot K$)

ΔT : Le taux de variation de la température de l'eau dans le bilan de stockage (K/s)



Introduction Générale



Introduction générale :

La gestion de l'énergie est actuellement l'un des défis mondiaux les plus urgents, l'énergie pétrolière est la principale source de production d'énergie, devenant de plus en plus coûteuse et rare. De plus, l'utilisation du pétrole présente des risques environnementaux. Il existe un besoin important de passer aux énergies renouvelables comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, énergie hydraulique, l'énergie géothermie et la biomasse pour conserver l'énergie tout en minimisant l'impact des émissions de gaz grâce à la circulation naturelle.

La domination de l'énergie solaire est indéniable, étant donné qu'elle est transmise par le soleil sous forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est utilisée d'une manière presque infinie toute la vie.

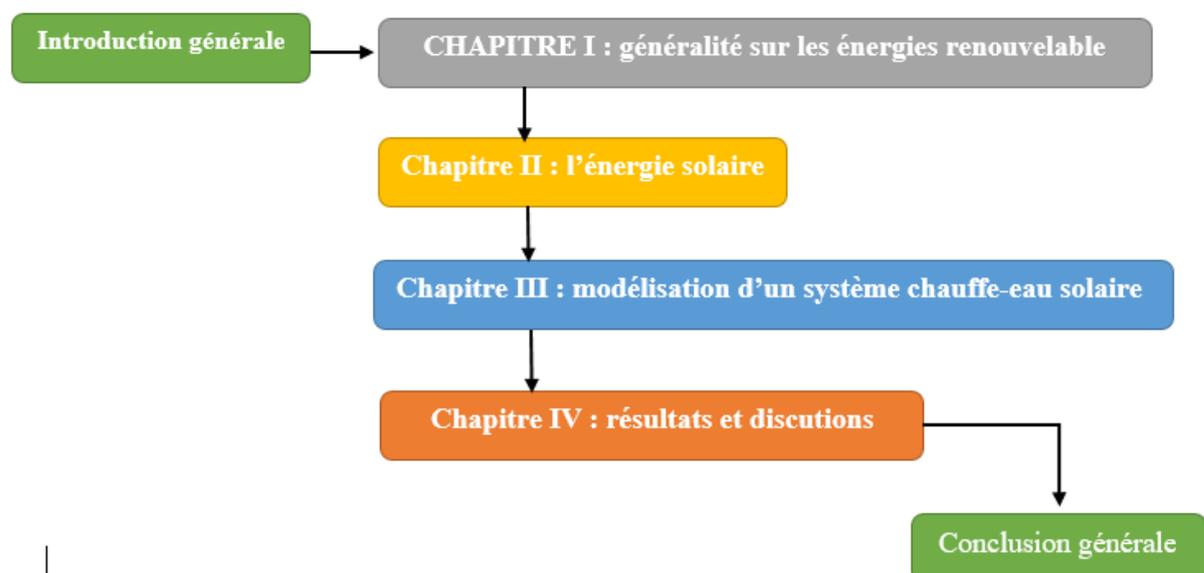
Depuis longtemps, l'énergie solaire est employée afin de satisfaire divers besoins thermiques, tel que le système chauffe-eau solaire, le chauffage, chauffe piscine...

Actuellement, les chauffe-eau solaires sont les outils solaires les plus avancés dont nous disposons aujourd'hui. Les pays développés ont connu des progrès significatifs dans la mise en œuvre de la production d'énergie solaire. Le fonctionnement du système chauffe-eau solaire est composé de capteur solaire, fluide caloporteur, réservoir... . Le système absorbe l'énergie solaire, chauffe le fluide caloporteur puis passer la chaleur à l'eau du réservoir.

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à l'étude paramétrique de le système chauffe-eau solaire (surface de capteur solaire, le volume de réservoir, la température de sortie, l'efficacité d'échangeur de chaleur, l'estimation de besoin d'eau). On réalise une étude paramétrique dans les conditions météorologique d'Ain Temouchent.

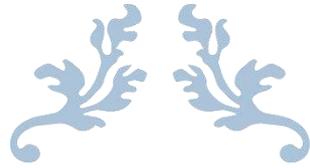
L'objectif de ce travail est basé sur l'étude paramétrique du système chauffe-eau solaire et l'effet de chaque paramètre sur la chaleur auxiliaire, la chaleur délivrée et la fraction solaire avec le logiciel System Advisor Model SAM.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, organisées de la manière suivante :



Figure(1) : plan de cette recherche

- ✓ Dans le premier chapitre, nous avons abordé de manière générale les énergies renouvelables (l'énergie solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie de vent, l'énergie géothermie et la biomasse).
- ✓ Dans le deuxième chapitre ce chapitre se concentre sur l'exploration du potentiel solaire, en fournissant un aperçu des concepts et des définitions essentiels liés à l'énergie solaire.
- ✓ Le troisième chapitre décrit la conception du système chauffe-eau solaire et ses composants. Ensuite la création de logiciel avec la mise en service du système.
- ✓ Le quatrième chapitre, on a présenté les résultats obtenus lors de cette étude et leurs interprétations.



Chapitre I : généralités sur l'énergie renouvelable



Introduction :

Partout dans le monde, l'énergie électrique et l'énergie de chaleur sont principalement produite à partir de combustibles fossiles et nucléaires. Cependant, une dépendance généralisée aux combustibilités fossiles : pétrole, le charbon, et le gaz entraîne une émission importante de gaz serre nocifs pour l'environnement.

En opposition, les énergies renouvelables tirent leur source de processus naturels et durable (vent, mer, soleil, la terre...). En effet, elles découlent principalement de deux sources primaires : l'énergie solaire, qu'engendrent le vent, le cycle d'eau, la croissance des végétaux et les marées, ainsi que l'énergie géothermique émise par la terre.

I.1 Energie renouvelable :

Les énergies renouvelables proviennent de ressources naturelles telles que le soleil, le vent, l'eau et la chaleur de la terre, et sont converties sous forme d'électricité, chaleur ou en carburant.

Les énergies renouvelables peuvent être classées en cinq catégories principales :

- ✓ Energie solaire
- ✓ Energie éolienne
- ✓ Energie hydraulique
- ✓ La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz)
- ✓ La géothermie [1]

Grâce à ces énergies inépuisables, on peut produit des énergies usable respectueuse de l'environnement.



Figure (I, 1) : différents type d'énergie renouvelable [2].

I.2 Les types d'énergies renouvelables :**I.2.1 Energie éolienne :**

L'énergie éolienne est une énergie inépuisable qui générée par le mouvement d'air.

La machine se compose de 3 pales portée par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Les pales du rotor convertissent l'énergie cinétique du vent en mouvements rotatifs. Cette énergie mécanique est ensuite convertie en énergie électrique par un générateur. Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. L'absorption du rayonnement solaire

dans l'atmosphère provoque une différence de température et de pression, faisant de l'énergie éolienne une forme indirecte d'énergie solaire. L'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an [3,4]

L'énergie éolienne peut servir à plusieurs usages, notamment :

- ✓ Transformer la force du vent en force motrice pour la compression de fluide ou le pompage
- ✓ Conserver de l'énergie mécanique afin, par exemple, de pomper de l'eau
- ✓ Produire de l'énergie électrique [4]

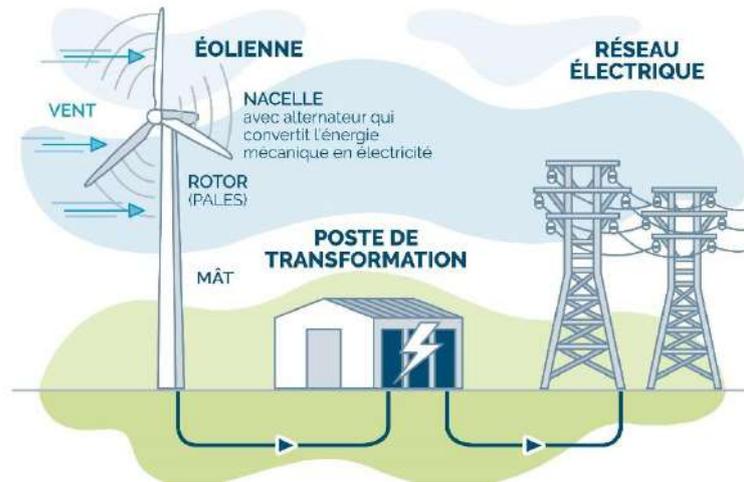


Figure (I, 2) : centrale d'énergie éolienne [6].

I.2.1.1 Les différents types des turbines éoliennes :

Il y a deux catégories principales d'éoliennes :

- ✓ Les éoliennes à axe verticale.
- ✓ Les éoliennes à axe horizontales.

I.2.1.1.1 Les éoliennes à axe verticale :

Ces structures ont été les premières mises au point pour générer de l'électricité. Plusieurs technologies ont fait l'objet de tests, mais seules deux structures ont atteint le stade de l'industrialisation : le rotor de Savonius et le rotor de Darrieus. Ce genre d'éoliennes est aujourd'hui assez rare et son utilisation est beaucoup moins courante [7].

I.2.1.1.2 Les éoliennes à axe horizontale :

Les moulins à vent sont la principale des éoliennes à axe horizontale. En général, les hélices composées de deux ou trois pales. Les tripales offrent un excellent compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolienne à axe horizontale est plus élevé que celui des éoliennes à axe verticale, leur exposition aux contraintes mécaniques est moins importante et leur coût est moins élevé [7].

I.2.2 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique présente une forme d'énergie inépuisable qui exploite la puissance de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité durable.

L'énergie hydraulique, comme de nombreuses sources d'énergies renouvelables sur terre, est présente indirectement de l'énergie solaire. À cause du cycle d'eau, le soleil provoque

l'évaporation de l'eau de mer. Le vapeur d'eau se condense à mesure que les températures baissent. Entraînant des précipitations sous forme de Pluie, qui finissent par de déverser dans les océans et la mer.

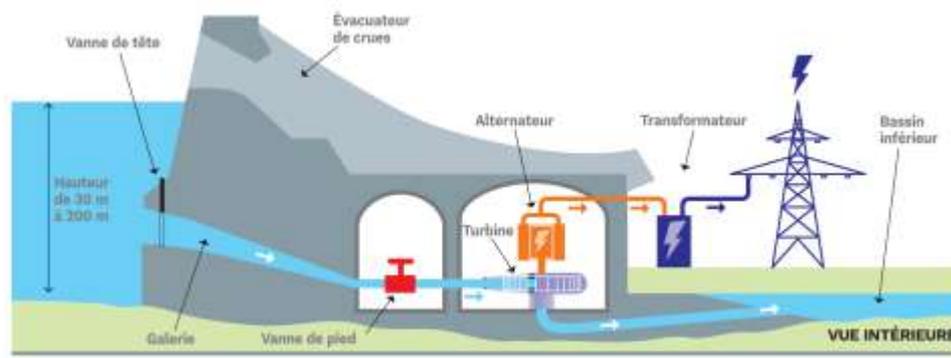


Figure (I, 3) : schéma de centrale hydraulique [8].

I.2.3.1 Energie marine :

L'énergie marine ou énergie des océans est une combinaison de différentes technologies qui permettent de gérer de l'électricité en utilisant les ressources marines. Les sources d'énergie marine les plus importantes sont :

- ✓ Energie thermique marine
- ✓ Energie osmotique
- ✓ Energie éolienne offshore
- ✓ Energie houlomotrice
- ✓ Energie marémotrice
- ✓ Energie hydrolienne

I.2.3 Energie biomasse :

La biomasse est une source d'énergie polyvalente qui répond à divers besoins énergétiques. La biomasse représente une vaste gamme de matières organiques, qu'elles soient d'origine végétale ou animale, souvent incluant des sources inattendues. Et elle les convertit sous forme d'électricité, chaleur et ou du carburant. En 2010, la biomasse représentait 7,5 des énergies produites [3]. La biomasse est divisée par plusieurs types :

- ✓ La biomasse sèche (avec les déchets agricoles et le bois),
- ✓ Biogaz,
- ✓ La biomasse des déchets domestiques,
- ✓ La biomasse humide,

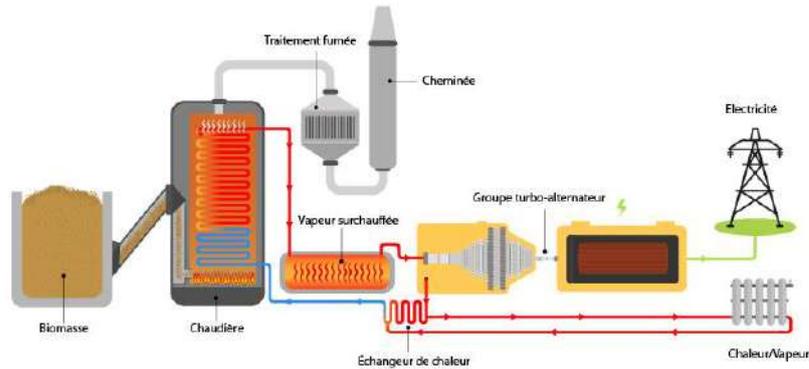


Figure (I, 4) : fonctionnement de la biomasse [9]

I.2.4 Energie géothermique :

L'énergie géothermique présente un type d'énergie renouvelable qui utilise la chaleur de la terre. Cette chaleur produit divers énergie usable : l'électricité ou chaleur. Il existe différents types de l'énergie géothermique :

- ✓ Géothermique à haute énergie
- ✓ Géothermique à base énergie [3]

Il y a différents approches pour exploites l'énergie géothermique, comprenant les centrales géothermiques qui convertissent la vapeur ou l'eau chaude en électricité, les systèmes de chauffage géothermique qui utilisent la chaleur du sol pour chauffer les constructions, et les installations géothermique directes qui fournissent de l'eau chaude pour des usages industriels ou domestiques.

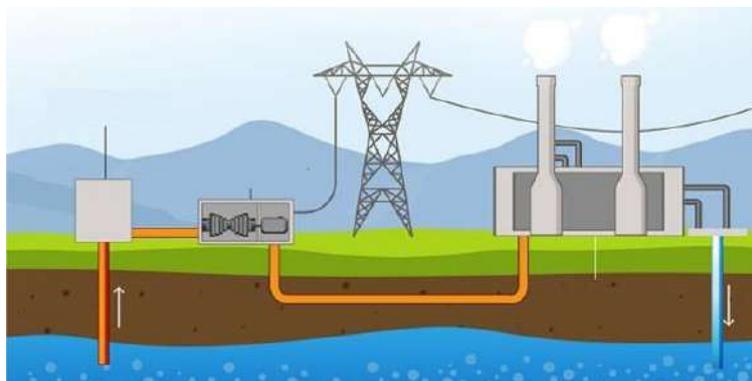


Figure (I, 5) : centrale d'énergie géothermique [10]

I.2.4.1 Les types de la géothermie :

Il existe deux types dans cette énergie géothermique tout dépend de situation.

I.2.4.1.1 La géothermie à basse température :

La géothermie à basse température allant de 30°C à 100°C, avec une profonde moyenne de 1000 à 2500 mètres (bassin parisien, bassin aquitain...). Ce genre est principalement employé dans le domaine du chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, ainsi que dans certain industries [11].

I.2.4.1.2 La géothermie à haute température :

La géothermie à haute énergie, également connue sous le nom de géothermie à haute température est une source d'énergie produite par la croûte terrestre, dont la profondeur à 14000 mètres, ils se distinguent par des températures dépassant les 150°C. Les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange d'eau et de vapeur) sont exploités par la géothermie à haute température [11].

Le gradient géothermique est particulièrement élevé dans les régions volcaniques (volcans) et sismiques (frontières de plaques) ou la géothermie à une température élevée.

La géothermie à haute température est principalement utilisée pour générer de l'électricité. On puise la vapeur du réservoir géothermique, puis on décharge dans une turbine, qui est connectée à un alternateur pour générer de l'électricité. La vapeur sèche est utilisée directement tandis que la vapeur humide, qui est plus courante requiert l'emploi d'un séparateur [11].

I.2.5 Energie solaire :

L'énergie solaire est un type d'énergie renouvelable obtenue à partir de rayonnement solaire.

Le soleil envoie de grandes quantités d'énergie rayonnée vers le système solaire, seule une fraction minuscule de cette énergie solaire rayonne dans l'espace est interceptée par la terre.

La majeure partie de l'énergie solaire est utilisée pour des applications directes (séchage, chauffage, agricoles...). Bien que cette énergie soit abondante à la surface de la terre et qu'elle soit fortement atténuée lors de son passage dans l'atmosphère, une quantité importante atteint quand même la surface. On peut ainsi compter sur 1000 w/m^2 dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 w/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau [3].

I.2.5.1 Importance de rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire joue un rôle important dans le développement et l'efficacité des énergies renouvelables, notamment l'énergie photovoltaïque et solaire thermique.

I.2.5.1.1 Production d'électricité :

Les panneaux solaires photovoltaïques utilisent des cellules semi-conductrices pour convertir la lumière du soleil en électricité. Ce processus dépend fortement de l'intensité et de la durée de l'ensoleillement.

I.2.5.1.2 Production de chaleur :

Les collecteurs sont employés dans les systèmes solaires thermiques afin d'absorber la chaleur solaire et de la transmettre à un fluide caloporteur. Par la suite, cette chaleur peut servir à chauffer l'eau, les bâtiments ou à générer de la vapeur dans des centrales électriques.

I.2.5.2 Système d'énergie solaire :

Dans la figure ci-dessus on présente deux différents systèmes d'énergies solaires pour produire l'énergie électrique et la chaleur.

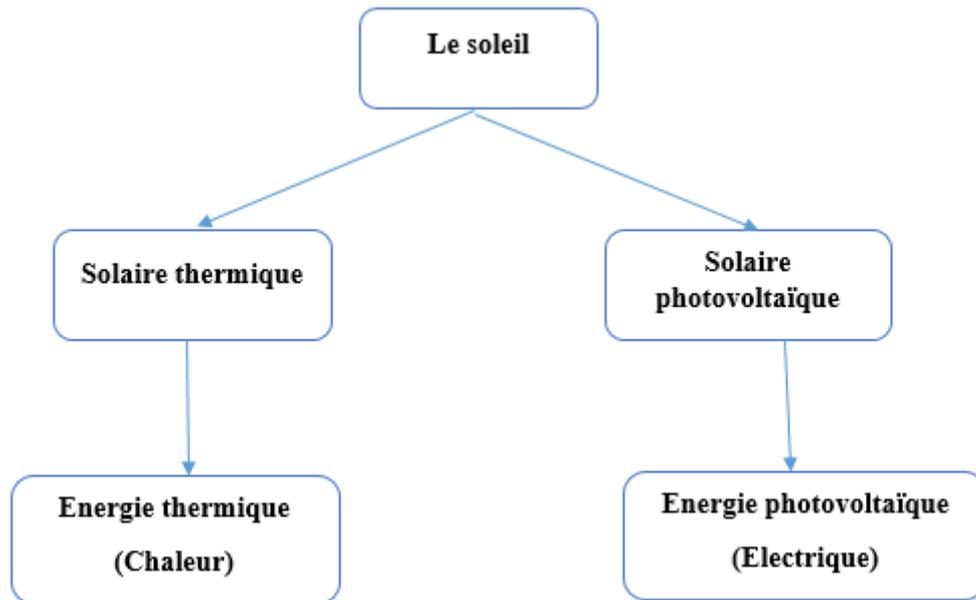


Figure (I, 6) : système solaire.

I.2.5.2.1 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est un type d'énergie inépuisable qui utilise des cellules photovoltaïques pour produire de l'électricité en convertissant le rayonnement solaire.

Ces panneaux peuvent être utilisés individuellement pour charger une batterie et pour répondre aux besoins en électricité des particuliers, ou à plus grande échelle, dans des centrales photovoltaïques pour alimenter le réseau de distribution publique [12].

I.2.5.2.1.1 Fonctionnement :

Le système photovoltaïque consiste des cellules photovoltaïques qui contiennent des couches de semi-conducteurs, généralement en silicium. Lorsque les rayons solaires atteignent une cellule, elle provoque les électrons, créant ainsi un courant électrique continu, ce courant transformé en courant alternatif par un onduleur, prêt à être utilisé dans les applications électriques domestiques.

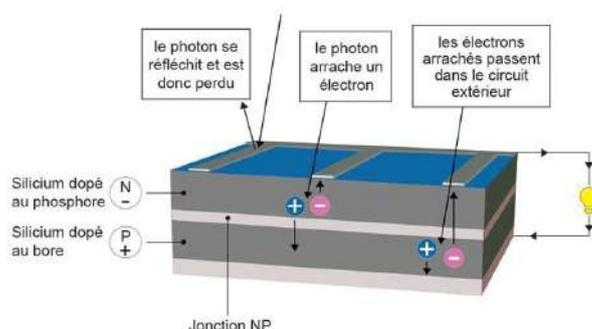


Figure (I, 7) : schéma de cellule photovoltaïque [13]

I.2.5.2.2 Energie solaire thermique :

Le solaire thermique implique l'utilisation des capteurs solaires pour absorber les rayonnements solaires par un fluide caloporteur, l'air ou l'eau.

Cette énergie récupérée peut ensuite être utilisée dans le chauffage, chauffe-eau solaire, chauffe piscine et les locaux.

I.2.5.2.2.1 Fonctionnement :

Le capteur solaire consiste des composants suivants : une surface absorbante, un fluide transportant l'énergie, un cadre et un isolant thermique.

Les capteurs solaires utilisent la surface absorbante pour capter l'énergie solaire, et le cadre placé à l'intérieur améliore l'efficacité du capteur, ensuite le fluide caloporteur transporté cette énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur est transférée dans des conduites bien isolées et elle chauffe l'eau froide. Il existe différentes innovations techniques de capteur solaire thermique :

- ✓ Des vitres traitées qui laissent passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer.
- ✓ Des tubes transparents « sous vide » pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur [12].

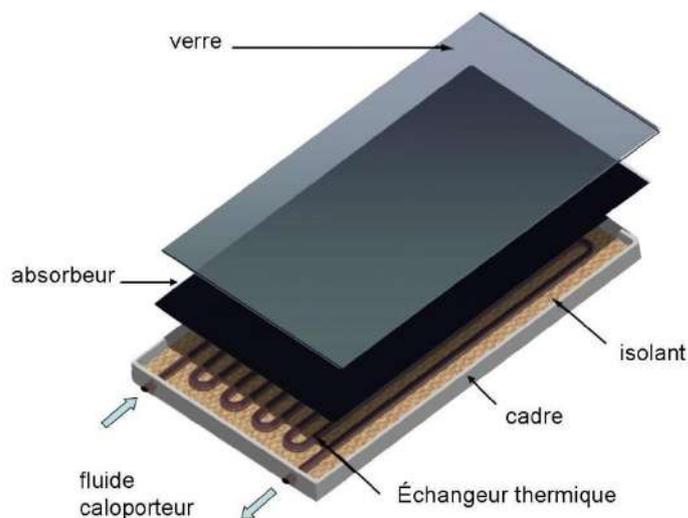


Figure (I, 8) : schéma de capteur thermique [14]

I.2.5.2.3 Production d'eau chaude sanitaire (ECS) avec le solaire thermique :

L'énergie renouvelable a conquis le monde, et l'énergie solaire est l'une des plus largement utilisées dans diverses applications et dans plusieurs domaines. Avec le progrès technologique, l'énergie solaire est devenue une source majeure pour la production de l'eau chaude sanitaire en exploitant les rayonnements solaires, il est nécessaire de disposer d'un dispositif qui compose des éléments suivants : un système de captation, système de stockage, un système d'appoint et un système de distribution.

L'énergie solaire doit pouvoir répondre aux besoins des utilisateurs.

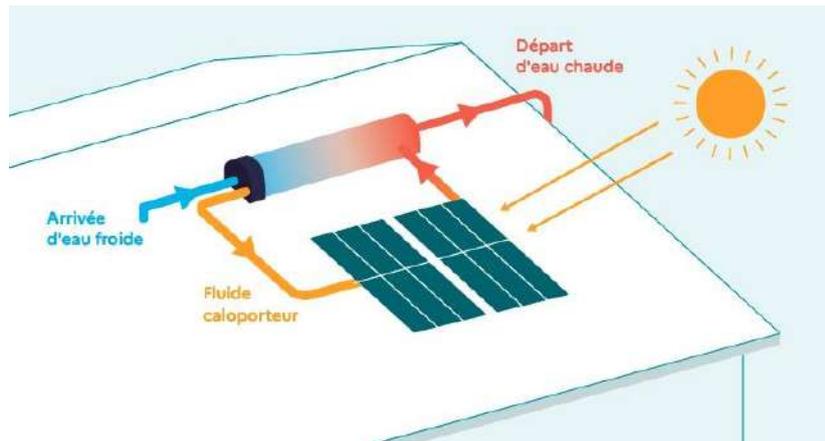


Figure (I, 9) : schéma d'un chauffe-eau solaire [15]

Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaire :

- ✓ Paramètres d'ensoleillement
- ✓ La section de passage du fluide
- ✓ La température ambiante,
- ✓ La vitesse du vent sur le capteur
- ✓ Paramètre de position : l'inclinaison et l'orientation,
- ✓ Dimensions du capteur : épaisseur, longueur, largeur et la surface récepteur
- ✓ Débit du fluide caloporteur
- ✓ Les températures des différentes parties du capteur [16,17]

I.3 Les énergies renouvelables dans le monde :

De nombreux pays se concentrent sur le développement de l'énergie renouvelable est essentielle pour relever les défis des changements climatiques et créer une source d'énergie durable à l'avenir.

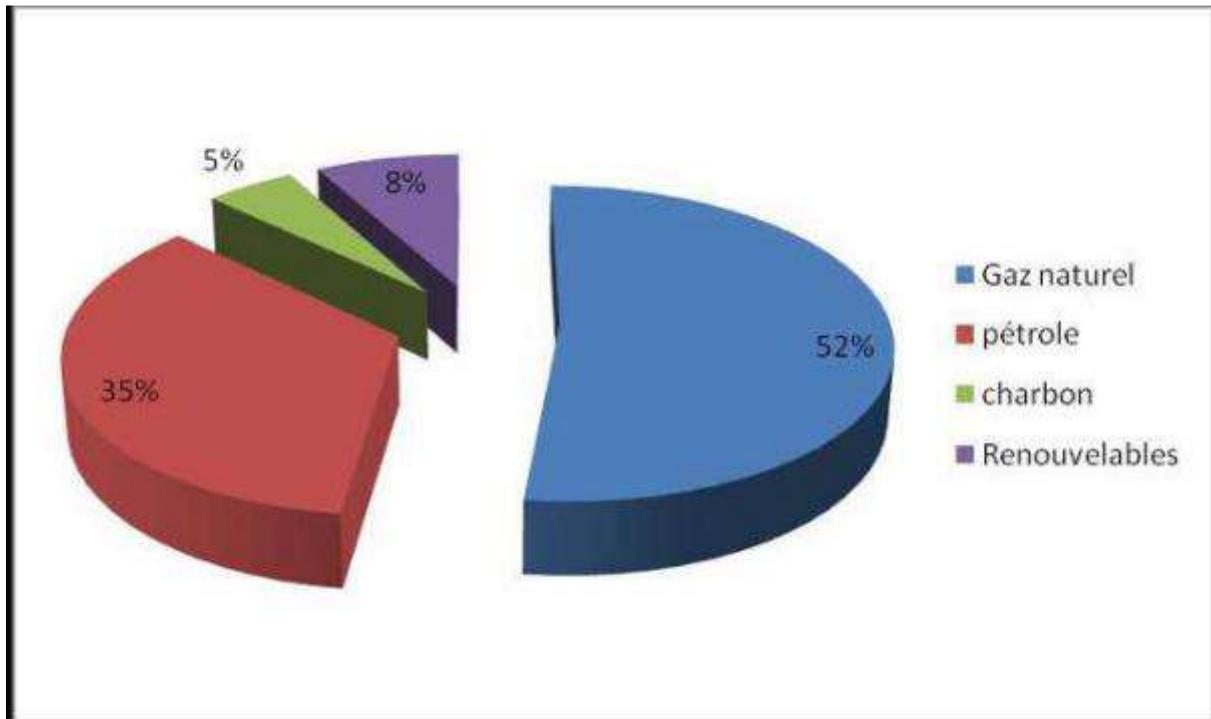


Figure (I, 10) : répartition prévisible de la demande d'énergie primaire par source d'énergie [18]

La Figure (I, 10) présente la demande d'énergie dans le monde (Gaz naturel, pétrole, charbon et les énergies renouvelables).

L'utilisation de l'énergie solaire se développe rapidement et devient plus utilisée par rapport les autres énergies. L'énergie solaire a conquis plusieurs domaines dans le monde tel que les systèmes chauffe-eau solaire.

Le chauffe-eau solaire se développe dans le monde partout dans différents domaines (chauffe des piscines, chauffage...).

La figure ci-dessus Figure (I, 11) présente le marché de chauffe-eau solaire par régions et dans différents .

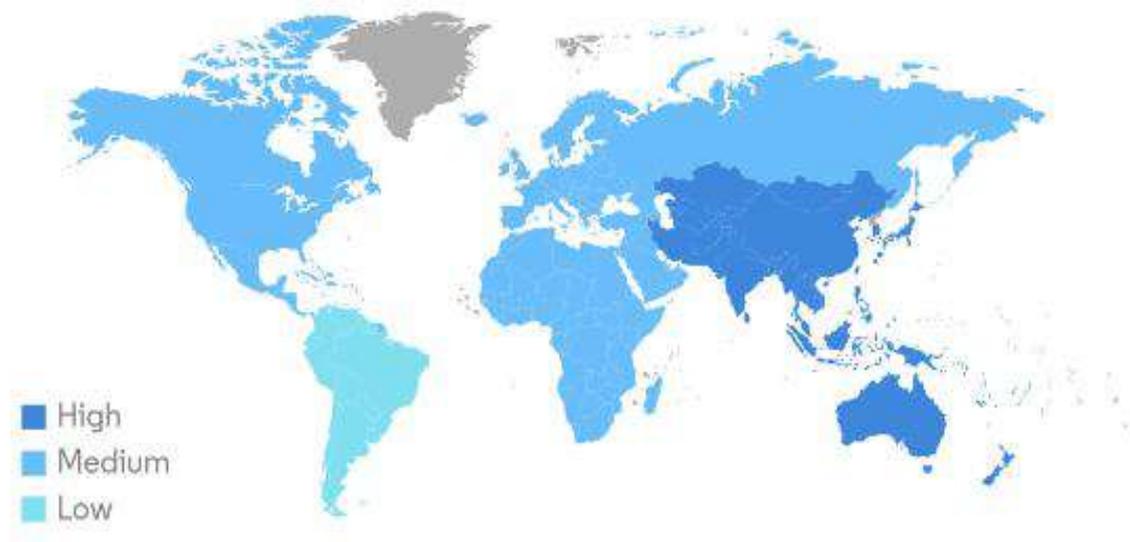


Figure (I, 11) : marché chauffe-eau solaire- taux de croissance par région [19]

I.4 Les avantages d'énergie renouvelables :

En comparaison avec les énergies fossiles et fissiles, les énergies renouvelables présentent une plus grande propreté. Pendant la production, l'exploitation et le démantèlement, ils sont plus respectueux de l'environnement, et ils sont sécurisés, facilement accessibles partout, et disponibles gratuitement lorsque l'installation de production est rentable [20].

Elle est respectueuse de l'environnement tant que ses sources principales sont :

- ✓ Le vent
- ✓ La mer
- ✓ Le soleil
- ✓ Les déchets
- ✓ Et la chaleur de la terre

Pour ces propriétés, il est primordial d'examiner chaque type d'énergie de manière individuelle, voire même chaque cas particulier, afin de déterminer si les bénéfices supposés peuvent être réellement réalisés [20].

L'énergie éolienne est l'énergie écologique par excellence, sans émissions ni déchets de toute nature. Elle offre une indépendance énergétique solide, que ce soit sur terre ou offshore. Les éoliennes ont des capacités de production exceptionnelles et sont une alternative viable pour les régions les plus éloignées ou l'accès à l'électricité est difficile [20].

L'énergie biomasse est associée à la combustion de bois, qui est un combustible très répandu. Cependant, même si cette énergie produit des gaz à effet de serre, les rejets sont inférieurs à la quantité de CO₂ absorbée par un arbre tout au long de sa vie. Une bonne gestion et un renouvellement de la forêt permettent de préserver les réserves en bois [20].

L'énergie solaire est largement appréciée dans le domaine de l'énergie et connaît une croissance rapide. Le photovoltaïque permet de produire de l'électricité et de chauffer grâce

aux panneaux solaires thermiques. L'utilisation du solaire peut être réalisée à grande échelle dans parcs spécialement conçus à cet effet ou à petite échelle chez les particuliers [20].

Les énergies hydrauliques sont renouvelables, elles entraînent peu d'émissions de gaz à effet de serre, et elles permettent une production d'électricité fiable et contenue avec des coûts de fonctionnement réduit. Elle favorise également la croissance économique locale et peut servir à l'irrigation et à la gestion des inondations. Toutefois, il est essentiel de prendre en compte ses conséquences sur l'environnement et la société.

La géothermie représente une source d'énergie renouvelables et durable, garantissant une production stable et continue avec une faible émission de gaz à effet de serre. Après l'investissement initial, elle présente de faibles coûts d'exploitation et un impact environnemental réduit. En outre, elle offre la possibilité d'être employée de manière flexible pour fournir de l'électricité et du chauffage, générant ainsi des emplois locaux et fortifiant l'économie régionale.

I.4.1 Réduction d'émission de CO2:

Le rôle essentiel de l'intégration et de l'expansion des énergies renouvelables est de lutter contre le changement climatique. Grâce à l'adoption de technologies comme l'énergie solaire, éoliennes, hydraulique et biomasse, il est possible de diminuer progressivement notre dépendance aux combustibles fossiles, qui sont les principaux responsables des émissions CO2. Contrairement aux centrales fossiles, les énergies renouvelables présentent l'avantage de produire de l'électricité et de chaleur sans émissions de CO2 pendant leur fonctionnement. En outre, la constante avancée technologique. Dans le domaine des énergies renouvelables a permis de rendre ces sources d'énergie plus compétitives sur le plan économique, ce qui favorise leur utilisation à grande échelle.

Investir dans les infrastructures d'énergies renouvelables permet non seulement de diminuer les émissions de CO2, mais aussi de favoriser l'innovation, de générer des emplois écologiques en mettant en valeur la diversité de nos sources d'approvisionnement en énergie.

Il est crucial de passer aux énergies renouvelables. Elles sont un mix énergétiques plus écologique et réduction des émissions de gaz à effet de serre et de garantir un avenir plus sûr et plus viable pour les générations.

Finalement, la réduction d'émission de CO2 est liée au recours aux énergies renouvelables et à leur développement dans plusieurs domaines, et évite les sources des énergies fossile et fissile.

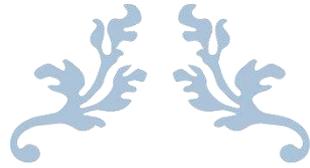
Conclusion :

En conclusion, les énergies renouvelables sont des solutions pour protéger l'environnement. L'énergie solaire se positionne comme l'une des forces motrices de la transition énergétique mondiale. Elle est une source sans fin, sa supériorité dans diverses applications telles que le chauffage de l'eau chaude sanitaire reflète son potentiel et son adaptabilité inégalés, et autres développements dans le futur dans cette source.

Le monde adopte les énergies renouvelables dans différents domaines pour produire de la chaleur et de l'électricité.

Dans ce chapitre, nous avons étudié les énergies renouvelables et les rayonnements solaires dans l'énergie solaire dans différentes applications.

Grâce aux avancées technologiques, l'utilisation de l'énergie solaire consiste non seulement une alternative respectueuse de l'environnement, mais également une solution viable pour répondre durablement à la demande énergétique actuelle et future.



CHAPTRE II: Les rayonnements solaire et sources



Introduction :

La source d'énergie solaire repose sur la luminosité du soleil. Grâce à la lumière du soleil captée par les capteurs solaires, cette énergie permet de générer de l'électricité ou des centrales solaires thermiques.

Si le soleil est loin de nous, à plus de 150 millions de kilomètres, il reste notre principale source d'énergie, même si elle est sporadique.

Il s'agit d'une énergie écologique qui ne produit aucun gaz à effet de serre et sa source, le soleil, est libre et inépuisable à travers le monde

II.1 le soleil :

Notre système solaire orbite autour d'une étoile centrale connue sous le nom de soleil. Sa composition est principale est constituée principalement d'hydrogène (78.4% de la masse) et d'hélium (19.6% de la masse), les 2% restants sont constitués d'autres éléments chimiques, parmi lesquels les plus abondants sont l'oxygène et le carbone. La température au cœur du soleil est à environ 10^7 K. à cette température extrêmement élevée, les réactions de fusion nucléaire se produisent, transformant l'hydrogène en hélium. Ce processus libère une quantité massive d'énergie, équivalente à environ $4.109kg/s$ d'énergie de masse [21].

II.2 Les rayonnements solaire et sources :

Cependant, une grande partie de l'énergie solaire n'est pas retransmise à la terre. Lorsqu'elle est mesurée au sommet de l'atmosphère terrestre, l'irradiation solaire moyenne s'élève à $1368w/m^2$. Cette mesure, connue sous le nom de « constante solaire », représente la puissance que chaque mètre carré de surface reçoit. Cependant, la quantité réelle de rayonnement solaire atteignant la surface dépend de divers facteurs, notamment de l'angle d'élévation du soleil, qui varie tout au long de la journée [22].

Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il est en partie dispersé et absorbé par divers éléments tels que les molécules d'air, les impuretés atmosphériques et la vapeur d'eau. L'intensité du rayonnement solaire qui atteint la surface dépend également de la masse d'air à travers laquelle il voyage. Lorsque le soleil est directement au-dessus d'un point sur la terre, le rayonnement parcourt la distance la plus courte à travers l'atmosphère, ce qui se produit iniquement à certains moments de l'année entre les tropiques [22].

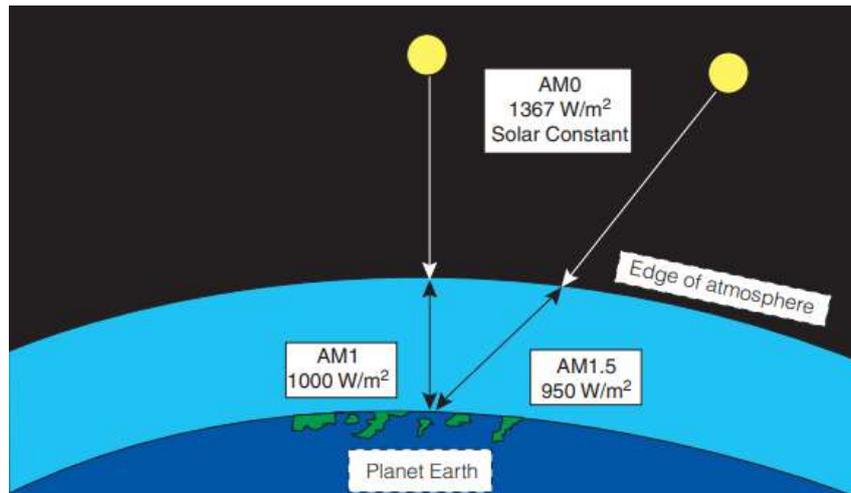


Figure (II, 1) : la quantité d'irradiation atteignent la surface de la terre est affecté par la mesure laquelle ambient ça passe à travers [22]

II.2.1 l'éclairement :

On définit l'éclairement comme une énergie absorbée par une surface. Il s'exprime en w/m^2 (watt par mètre carré).

II.2.2 irradiation :

Energie absorbée par une surface est appelé irradiation. Elle est exprimée en joule par mètre carré (j/m^2).

La quantité totale de rayonnement absorbée sur une surface déterminée par la somme de trois éléments :

Issu directement du soleil en passant par l'atmosphère. Cette composante s'annule si le soleil est caché par des nuages ou par un obstacle. La diffuse irradiation désigne le rayonnement direct. La diffusion de cette énergie par l'atmosphère et son orientation vers la surface de la terre. L'irradiation réfléchie désigne les rayonnements réfléchis par l'environnement extérieur, notamment le sol, dont le coefficient de réflexion est connu sous le nom d'albédo.

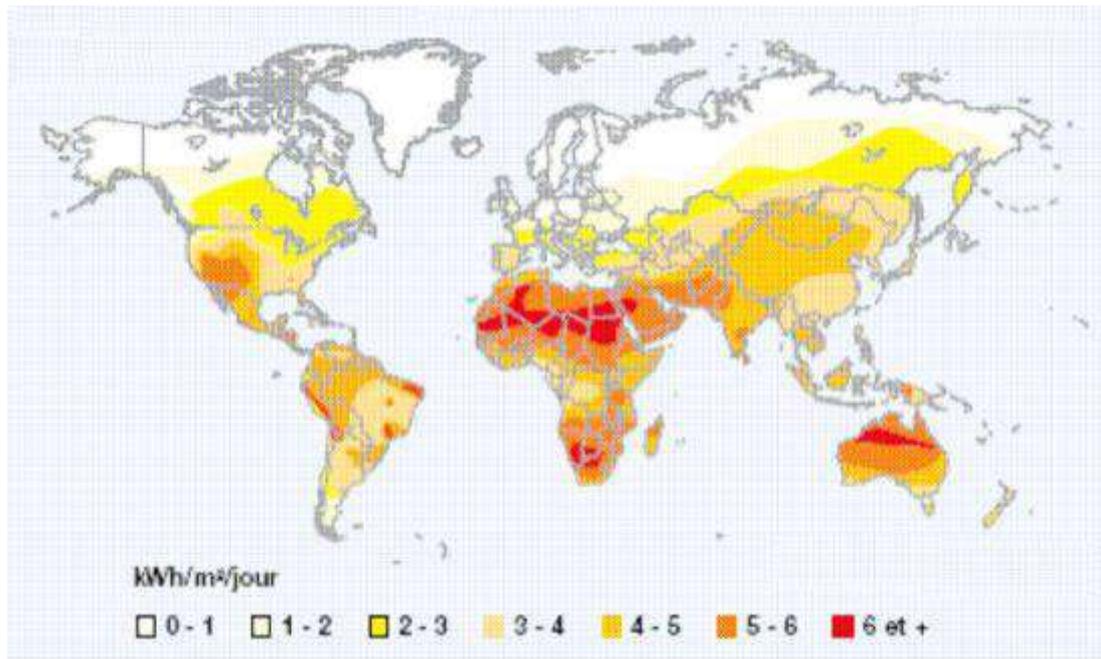


Figure (II, 2) : carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en $Kwh/m^2/jour$ sur un plan horizontal [23].

II.3 Les rayonnements solaires disponibles sur la terre :

Pour dimensionner correctement un système d'installation solaire, il est essentiel de déterminer la quantité d'énergie solaire disponible.

A un niveau particulier, trois composantes sont combinées pour former l'irradiation incident, appelé l'irradiation global.

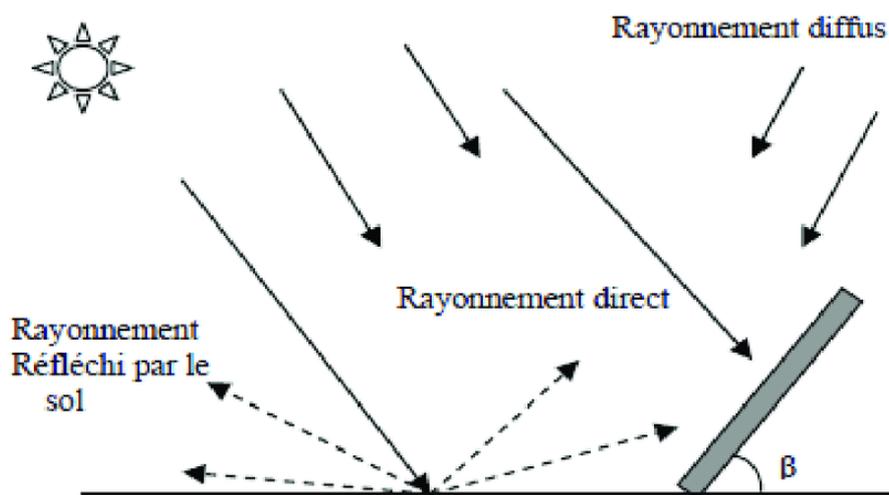


Figure (II, 3) : les trois types de rayonnement solaire [24]

II.3.1 Le rayonnement solaire direct :

Le rayonnement solaire direct désigne la lumière de soleil qui tombe sur une surface spécifique sans subis des obstacles et émis depuis un angle solide autour du disque solide.

II.3.2 Le rayonnement solaire diffuse

Le rayonnement solaire diffus représente la lumière émise par divers obstacles, venant de toutes les directions

II.3.3 Le rayonnement solaire global

Le rayonnement solaire global est le rayonnement total à ondes courtes ciel tombant sur une surface horizontal au sol. Il comprend à la fois le rayonnement solaire et rayonnement solaire diffus résultant de la lumière réfléchie ou diffusée [25]

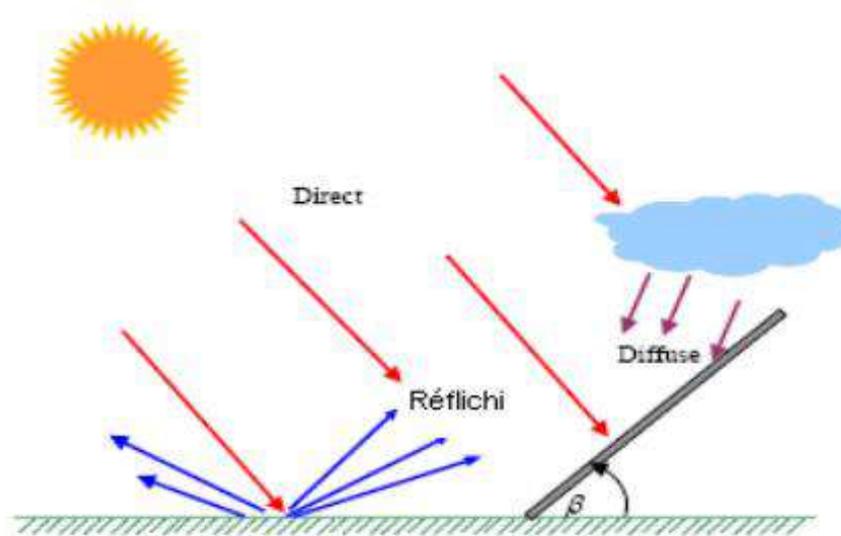


Figure (II, 4) : composant d'un rayonnement solaire [25]

II.4 Le rayonnement solaire en Algérie :

En raison de sa position géographique, l'Algérie est l'un des pays les plus riches en ressources solaires au monde et possède le potentiel pour devenir une source d'énergie solaire attractive. Compte tenu de la période de quarantaine enregistrée presque dans le pays, elle dépasse 2000 heures par an et, les régions des hauts plateaux et du Sahara, elle atteint 3900 heures [21,25].

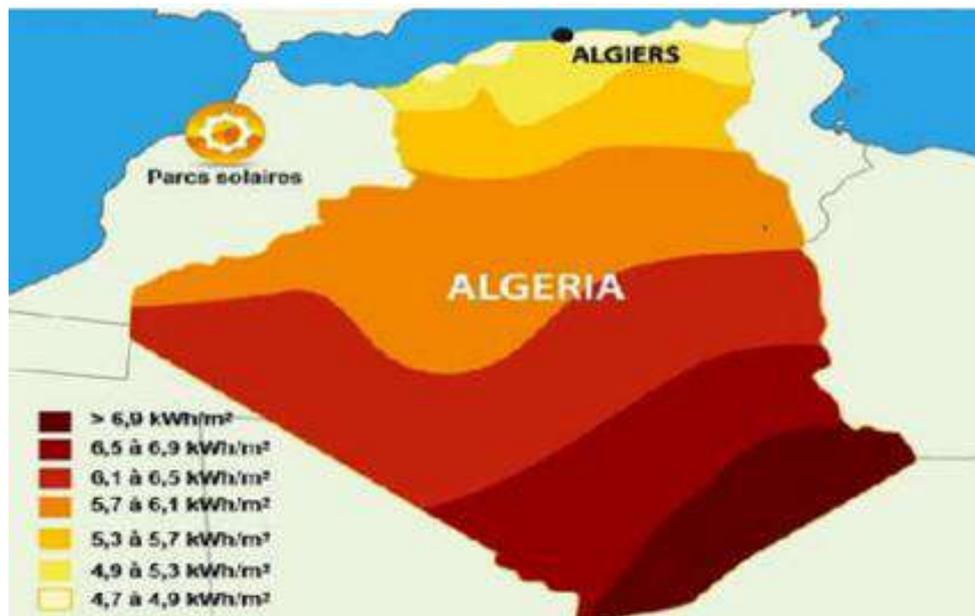


Figure (II, 5) : carte de l'irradiation solaire en Algérie [21]

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m2/an)	1700	1900	2650

Table (II, 1) : les différents ensoleillements des régions Algériennes [26].

II.5 Le mouvement de la terre et de soleil :

La terre constitue l'un des points focaux en raison d'orbite elliptique autour du soleil. Cette orbite est dans le plan de l'écliptique.

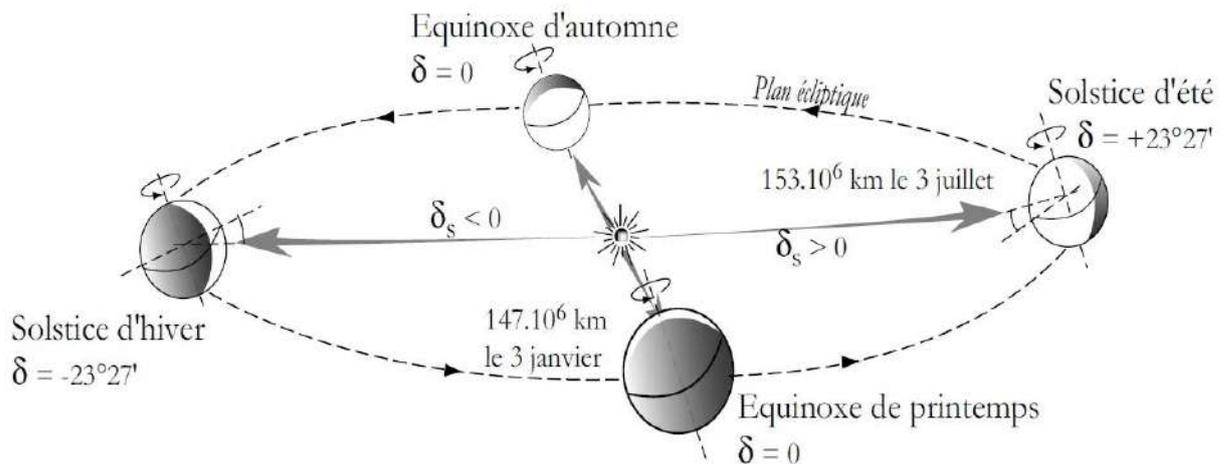


Figure (II, 6) : la position du soleil en site varie suivant la rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil [27].

La terre est aussi en rotation constante sur elle-même, se déplaçant uniformément d’ouest en est autour de son axe. C’est ce mouvement qui détermine le cycle quotidien des jours et des nuits.

Son axe de rotation maintient une direction stable tout au long de l’année, incliné à un angle de $66^{\circ} 33'$ par rapport au plan de l’écliptique. Cette inclinaison explique pourquoi la durée des jours et des nuits varie au fil des saisons. Pour un observateur terrestre, cela crée l’impression que le soleil se déplace d’est en ouest dans le ciel.

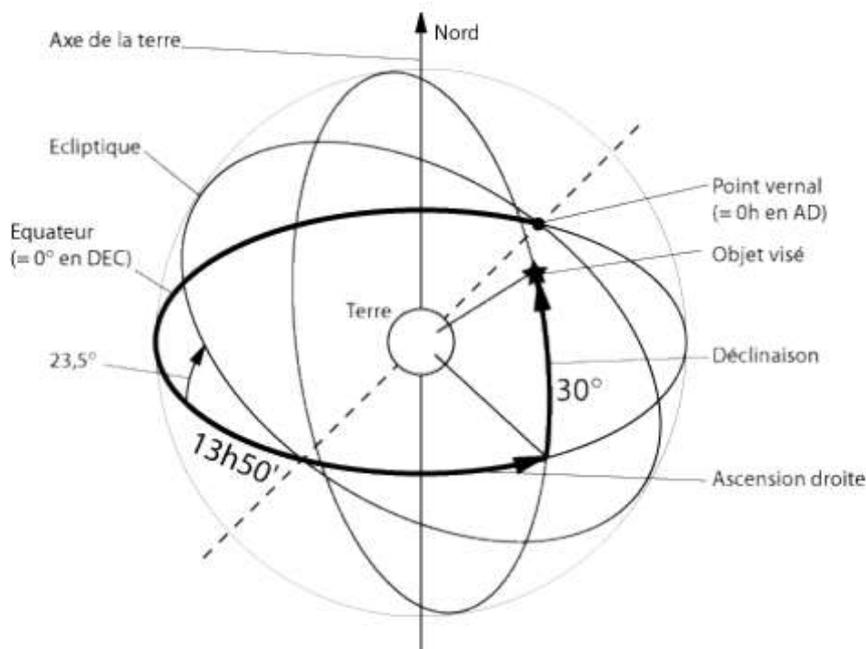


Figure (II, 7) : la sphère céleste [24]

II.5.1 Coordonnés géographiques :

Afin de localiser le soleil depuis n’importe quel endroit sur la terre, il est essentiel de spécifier les coordonnées géographiques de cet endroit.

II.5.1.1 La latitude (Φ) :

Il indique la position d'un point par rapport à l'équateur et varie entre 0° et 90° , positif par rapport au pôle nord et négatif par rapport pôle sud [21].

Si $\Phi > 0$, la position est dans l'hémisphère nord, sinon la position est dans l'hémisphère sud [18].

II.5.1.2 La longitude (L)

La longitude d'un emplacement particulier est l'angle que fait le méridien de cet emplacement avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich) [21].

En comptant de 0° à 180° , positifs vers l'est et négatif vers l'Ouest [21].

II.5.1.3 Altitude (z) :

L'altitude est la hauteur d'un endroit par rapport au niveau moyen de la mer, exprimée en mètres.

II.5.1.4 Le méridien :

Le méridien est le demi-cercle de la terre qui traverse les pôles nord et sud. Tous les points situés sur un même méridien partagent la même longitude. Le méridien de référence pour les longitudes est Greenwich. Le plan en méridien en un lieu est défini par ce lieu et l'axe des pôles.

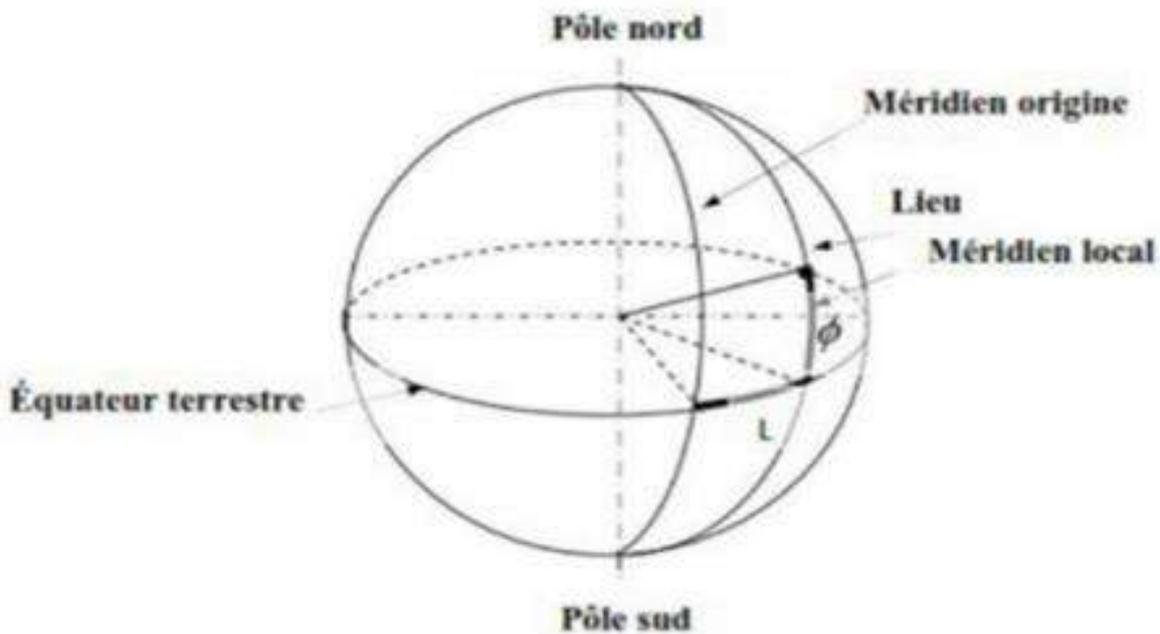


Figure (II, 8) : coordonnées géographiques [21].

II.5.2 Les coordonnées célestes horaires :

II.5.2.1 La déclinaison du soleil (d) :

La déclinaison est l'angle formé par la direction de la terre par rapport au soleil, lorsqu'elle est projetée sur le plan équatorial. Cela reflète l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan de l'écliptique. Il s'agit également de l'angle entre l'axe des pôles terrestres et la ligne

verticale passant par le centre de la terre. La valeur de cet angle varie quotidiennement, avec une valeur minimale de $-23^{\circ}27'$ et une valeur maximale de $+23^{\circ}27'$ [21].

II.5.2.2 L'angle horaire (ω) :

L'angle horaire est un concept déterminé par la rotation régulière de la terre sur son axe. Il représente l'arc de la trajectoire solaire entre le soleil et le plan méridien du lieu d'observation. L'angle horaire est donné par la relation suivante [21] :

$$\omega = 15 (TSV - 12) \quad (\text{II, 1})$$

TSV : temps solaire vrai

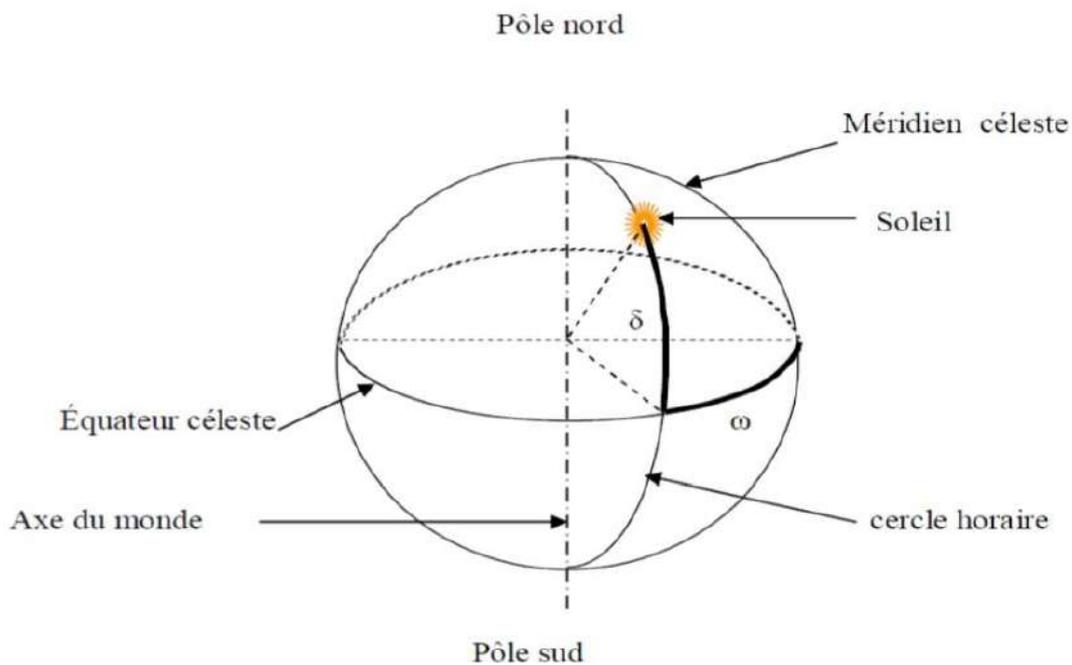


Figure (II, 9) : les coordonnées horaires [29]

II.5.3 La coordonnée céleste horizontale :

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère les coordonnées du soleil sont [21] :

II.5.3.1 Hauteur du soleil (h) :

La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal, elle est donnée par la forme [30,31] :

$$\sin(h) = \sin(L) \times \sin(d) \times \sin(L) \times \cos(d) \times \cos(\omega) \quad (\text{II, 2})$$

II.5.3.2 Azimut de soleil (a) :

L'azimut représente l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical qui coupe le soleil. Il est donné par la formule suivante :

$$\sin(a) = \cos(d) \times \frac{\sin \omega}{\sin h} \quad (\text{II, 3})$$

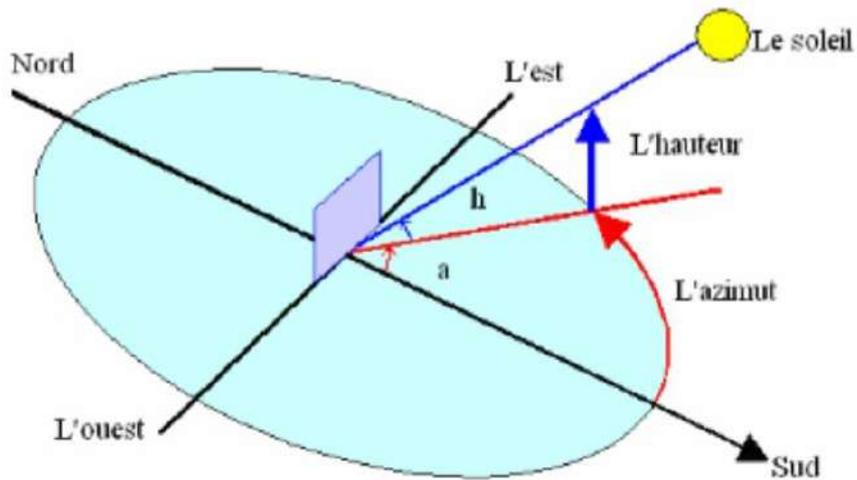


Figure (II, 10) : les coordonnées horizontales [32]

II.5.3.3 Angle zénithal (Θ_z) :

Cet angle représente la déviation entre la direction du zénith local et la ligne qui relie l'observateur au soleil. Sa variation s'étend de 0 à 90 degrés [21].

$$\Theta_z = 90 - h \quad (\text{II, 4})$$

II.6 Trajectoire apparente du soleil :

Le soleil représente, pour un observateur à la surface de la terre, une trajectoire apparente qui varie selon la latitude et la longitude du lieu où il est situé.

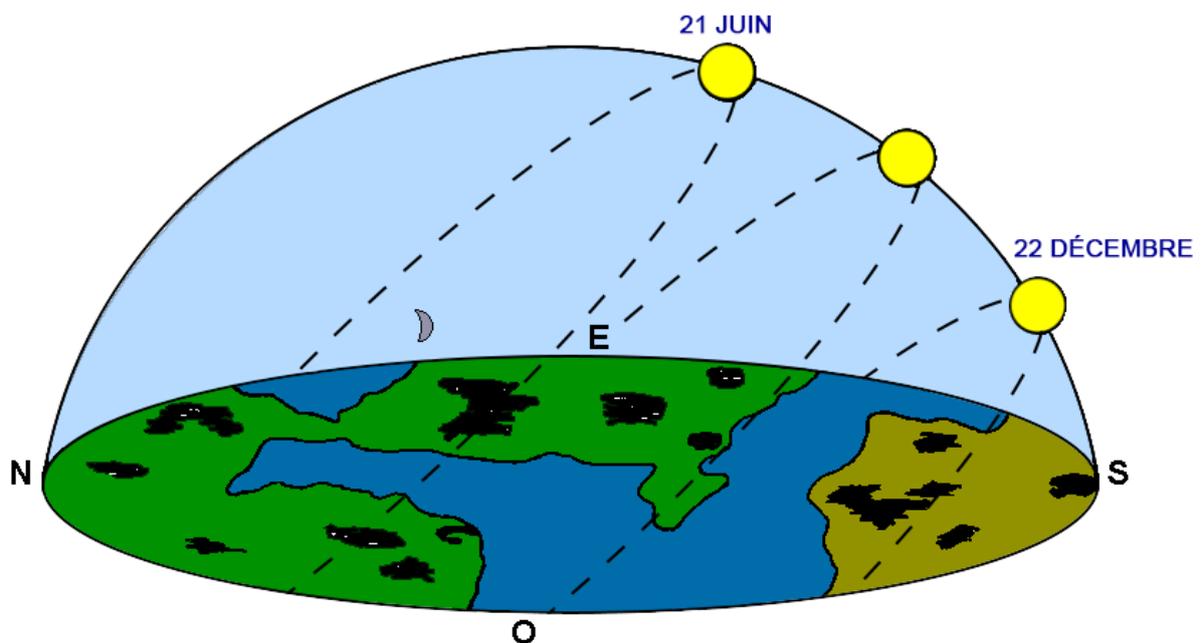


Figure (II, 11) : mouvement apparent du soleil [33]

II.7 Emission des corps :

L'espace environnant, tout corps dont la température dépasse le zéro absolu émet un rayonnement dont l'énergie se répartit sur une région spectrale correspondant à un intervalle de longueur d'onde $\Delta\lambda$.

Le spectre du soleil était compris entre 0.2 μm et 25 μm . Au-delà de l'atmosphère, la majorité de l'énergie se trouve dans la bande de 0.2 à 4 μm , tandis qu'au sol, elle se trouve dans la bande de 0.29 à 3 μm .

Le rayonnement thermique est défini comme le rayonnement émis dans l'intervalle spectral 10-1 à 100 μm , c'est-à-dire l'émission des corps à des températures que nous devons prendre en compte [34].

II.7.1 Emission d'un corps noir :

Par principe, le corps noir est le corps absorbeur parfait, c'est-à-dire qu'il absorbe tout rayonnement indésirable. En fait, une surface recouverte de suie représente une assez bonne approximation d'un corps noir.

Le spectre d'un corps noir est représenté par la courbe suivante $M^0_\lambda = M^0(\lambda, T)$ ou M^0_λ est l'émission monochromatique, autrement dit quantité d'énergie émise sur une bande de longueur d'onde unitaire par une surface émettrice d'aire et par l'aire hachurée sur la courbe représentant le spectre [34].

La variation de la température affecte le spectre du corps noir, notamment le déplacement du maximum de la courbe [34].

On obtient la quantité d'énergie (généralement une énergie thermique) émise par un corps dans un demi-espace (avec un angle solide de 2π stéradians) s'obtient par intégration de la courbe précédente [34] :

$$M^0 = \int M^0_\lambda d\lambda \quad (\text{II, 5})$$

La loi de PLANCK permet d'obtenir théoriquement la valeur de M^0 , relation qui constitue la loi de STEFAN :

$$M^0 = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{II, 6})$$

II.7.2 Emission d'un corps quelconque :

L'énergie émise par tout corps (non noir) par unité de surface et par unité de temps est exprimée suivante :

$$M = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4 \quad (\text{II, 7})$$

Avec :

ϵ : est le facteur totale d'émission du corps qui dépend de la température de l'émetteur et de son état de surface (ϵ est fort pour les corps de couleur et de sombre et faible pour les corps de couleur claire).

II.8 La fraction solaire :

La quantité de lumière absorbée, réfléchiée ou transmise à travers une surface, généralement une fenêtre ou vitrage, est appelée fraction solaire, ou facteur de fraction solaire. On l'exprime habituellement en pourcentage et correspond à la proportion de la lumière solaire totale incidente qui traverse cette surface.

La fraction solaire est définie par l'équation suivante :

$$FS = \frac{Q_{\text{solaire}}}{Q_{\text{totale}}} \quad (\text{II, 8})$$

FS : fraction solaire

Q solaire : est la quantité d'énergie thermique fournie par le système solaire.

Q totale : est la demande totale d'énergie thermique.

II.9 Captation :

Diverses méthodes sont disponibles pour absorber l'énergie solaire disponible sur la terre, telles que :

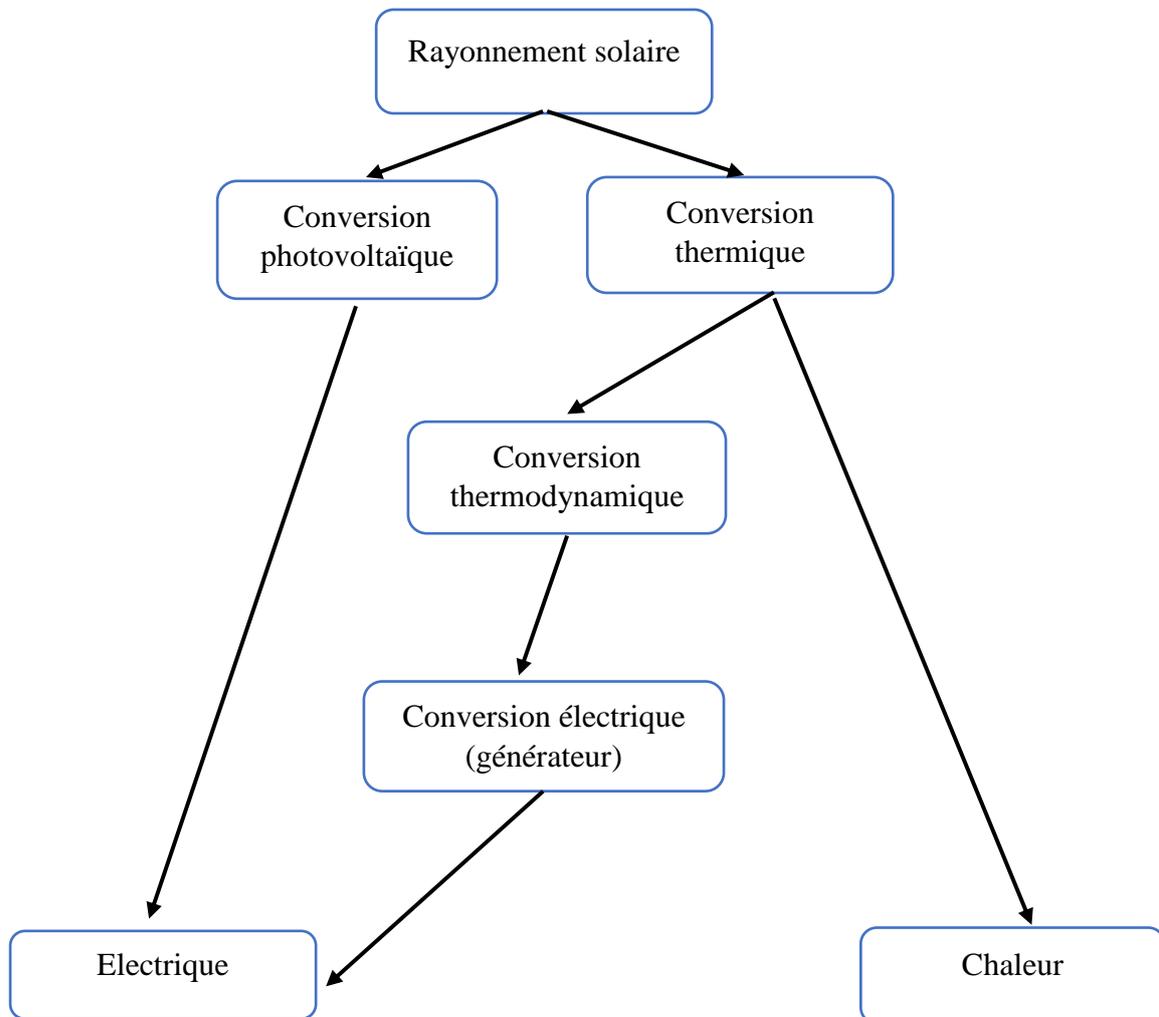


Figure (II, 12) : schéma de captation solaire.

II.9.1 Energie solaire thermodynamique :

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermodynamique [35] :

Trois types principaux de centrales sont utilisés [35]:

- ✓ Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350°C
- ✓ Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus
- ✓ Les centrales à tour pour atteindre 1000°C[35]

II.7.2 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire produit de l'électricité en convertissant une partie du rayonnement solaire à l'aide de cellules.

Les cellules solaires utilisent l'effet photovoltaïque, ils sont constitués de couches de matériau semi-conducteur et de jonctions semi-conductrices.

Le silicium est le plus couramment utilisé.

Cependant, même si l'arséniure de gallium offre de meilleures performances, il reste nettement plus cher que le [35].

II.7.3 Energie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est un type d'énergie qui convertit l'énergie solaire en chaleur et peut être utilisée pour différentes applications :

- ✓ Utilisation direct de la chaleur : chauffage eau solaire, chauffage d'espaces, cuisson et séchage solaires.
- ✓ Utilisation indirect ou la chaleur est utilisée pour d'autres usages.

II.7.3.1 Système solaire thermique :

Le système solaire thermique est un système qui assure la production de chaleur telle que la production de l'eau chaude et le chauffage par conversion de l'énergie solaire. Il capte l'énergie solaire pour réchauffer l'eau utilisée à la consommation domestique.

Le système absorbe l'énergie solaire, chauffe le fluide caloporteur puis passer la chaleur à l'eau du réservoir.

II.7.3.2 mode de transfert dans les capteurs solaire :

Les trois modes de transfert thermique sont simultanément utilisés par un capteur solaire : la conduction, la convection et le rayonnement.

II.7.3.2.1 Transfert par conduction :

Le transfert de chaleur par conduction se caractérise par la propagation de l'énergie thermique dans un environnement sans mouvement de matière. La loi de Fourier correspondant au processus de conduction [36].

$$\Phi = -\lambda \cdot S \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T \quad (\text{II, 9})$$

Les échanges par conduction se produisent principalement entre les faces supérieure et inférieure de la vitre, ainsi que les faces supérieure et inférieure de l'isolant dans le capteur solaire plan et l'absorbeur et le matériau isolant.

II.7.3.2.2 Transfert par convection :

Le transport par convection implique des mouvements macroscopiques.

Deux types de convection peuvent être distingués [37]:

- ✓ La convection (libre) : la rotation du fluide est causée par l'action simultanée.

Il existe des variations de température entre le milieu et un champ de forces massique.

- ✓ La convection forcée consiste à faire circuler le fluide grâce à un moyen mécanique tel que des pompes, des ventilateurs, etc.

Le transfert thermique convectif est régi par loi de Newton [37] :

$$\Phi = h.S.(T_p - T_f) \quad (\text{II, 10})$$

Dans un capteur plan, la convection se produit entre la vitre et l'environnement, soit par convection libre, soit par convection forcé par le vent.

- ✓ L'absorbeur fonctionne par convection libre en vitre et en plaque.
- ✓ La convection libre du tube et du fluide.
- ✓ La convection libre entre le fluide et le matériau isolant.
- ✓ La convection libre ou forcé par le vent entre l'isolant et l'ambiance.

II.7.3.2.2 Transfert par rayonnement :

Lorsqu'une surface émet de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétique et l'absorbe, cela entraîne le transfert de chaleur par rayonnement. Il est possible que cet échange se produise lorsque les corps sont séparés par le vide ou par tout autre milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques [38].

La loi de stefan-Boltzman consiste la loi fondamentale du rayonnement :

$$\Phi = \varepsilon.S.\sigma(T_p^4 - T_f^4) \quad (\text{II, 11})$$

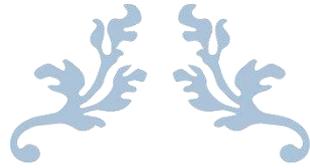
- ✓ Le transfert par rayonnement se produit dans un capteur solaire entre :
- ✓ La vitre et l'absorbeur.
- ✓ La fenêtre et le ciel
- ✓ Le matériau isolant et le sol.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a abordé une description sur l'énergie solaire disponible sur la terre et l'énergie thermique qui est considéré comme une source la plus répandue et connue parmi les sources d'énergie renouvelables, et mieux comprendre le principe de d'un système de l'énergie thermique et la captation de l'énergie solaire avec des différents mécanismes et différents types et l'importance de rayonnements solaire.

Les systèmes de l'énergie thermique connaissent un grand développement dans le domaine des énergies renouvelables et le transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) a un rôle essentiel pour produire l'énergie.

Dans le chapitre qui suit on va aborder les méthodes de poursuite qui peuvent être programmé et implémentes pour tester l'efficacité de notre système chauffe-eau solaire et améliorer sa production d'énergie.



CHAPTRE III: Modélisation et simulation d'un système de chauffe-eau



Introduction :

Ce chapitre concentre sur la description générale des composants principaux de système chauffe-eau solaire tels que le capteur solaire, le ballon de stockage et le circuit hydraulique et ses fonctionnements. Ensuite nous étudions l'influence de ses paramètres (la surface de capteur, le volume de réservoir, le rendement sur l'efficacité énergétique de système par la simulation « logiciel SAM »).

III.1 Présentation du système étudié :**III.1.1 Description générale du système de chauffe-eau solaire :**

Le système chauffe-eau solaire est permet d'utiliser l'énergie solaire, pour différents applications tel que le chauffage et le chauffe-eau.

Et pour exploiter cette énergie de manière utile, il faut accomplir un système composé de capteur solaire, les conduites, le réservoir de stockage, pompe...

Le capteur solaire récupère l'énergie solaire et la convertit sous forme de chaleur. Ensuite la chaleur absorbée est passée par le fluide caloporteur dans des tuyaux vers le ballon de stockage et transmet sa chaleur à l'eau froide dans le ballon de stockage isolé. À l'aide d'un régulateur le système s'adapte automatiquement en fonction des conditions météorologiques et du besoin d'eau chaude.

Une fois le caloporteur refroidi, retourne vers le collecteur soleil pour être à nouveau chauffée. Quand l'eau chauffée est consommée, l'eau froide remplace l'eau utilisée et ce dernier chauffée de la même manière.

Ce système durable est une solution énergétique écologique pour la production d'eau chaude

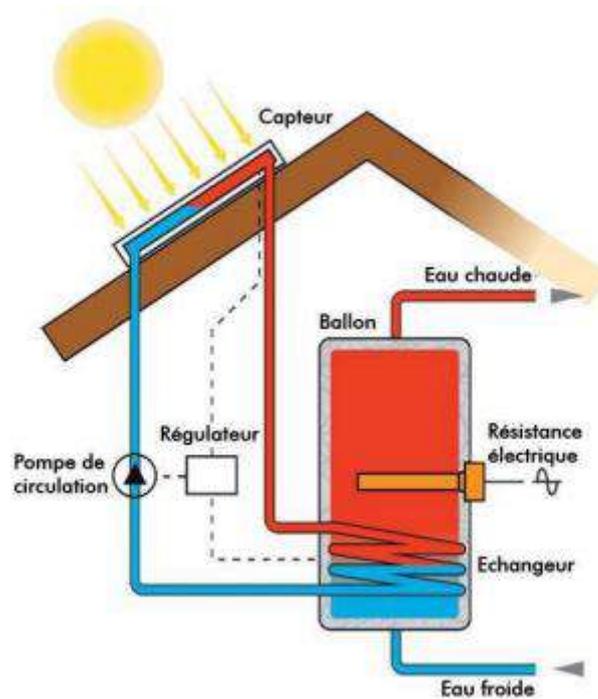


Figure (III,1) : schéma d'un chauffe-eau solaire [39]

III.1.2 Importance et application du système :

L'énergie joue un rôle principal dans tous les aspects de la vie moderne (industrie, transport, agriculture...). Et avec le développement, l'énergie renouvelable a conquis le monde puisque, elle est respectueuse de la nature. Chauffe-eau solaire dépendance des rayons de soleil. Notre système assure une solution économique dans notre facture d'énergie et durabilité environnementale. Un chauffe-eau solaire est principalement utilisé pour chauffer l'eau domestique mais notre système peut employer pour d'autres applications :

III.1.2.1 Système solaire combiné (SSC) :

Il fait comme le chauffe-eau solaire ; cependant, les systèmes de chauffage solaire plus vaste parce que les besoins en énergie pour le chauffage des locaux sont généralement beaucoup plus important [22].

Le chauffage solaire des locaux, la demande de chaleur est assez saisonnière, par contre chauffe-eau domestique est nécessaire toute l'année [22].

C'est un système qui utilise l'énergie soleil pour couvrir une partie des besoins en chauffage et en chaude sanitaire. Le SSC associe chauffage de l'eau sanitaire et chauffage de l'habitat. Le caloporteur transfère sa chaleur au réseau d'eau de chauffage également stockée dans un ballon et toujours par le biais d'un échangeur thermique. [22].

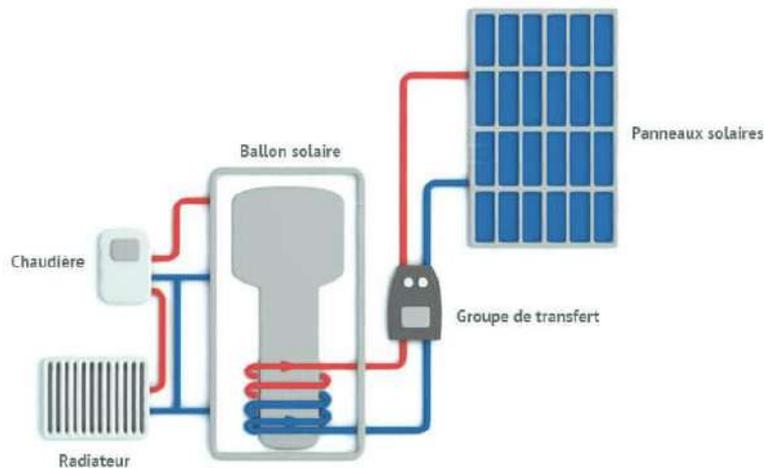


Figure (III, 2) : schéma se système solaire combiné [40]

Il y a deux catégories de système solaires combinés :

✓ **Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon [41]:**

Le fonctionnement de ce système repose sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir pour transmettre la chaleur tout au long de la journée.

✓ **Le plancher solaire direct (PSD) [41]:**

Le plancher solaire direct fonctionne de la même manière qu'un SSC avec stockage, mais il ne nécessite pas de réservoir.

III.1.2.1 Chauffage piscine :

Il est parmi les applications les plus rentables de l'utilisation de l'énergie solaire, pour différents réseaux :

- ✓ La saison 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
- ✓ Le coût de fonctionnement est très faible [42]

III.2 Principe de fonctionnement des composants :

III.2.1 Capteurs solaire :

Le capteur solaire autrement dit un récepteur d'énergie solaire est un dispositif qui convertit les rayons de soleil sous forme de chaleur. Il est un composant essentiel dans le système chauffe-eau solaire pour produire l'énergie.

III.2.1.1 Principe de fonctionnement :

Le récepteurs de chaleur (capteur) utilisent d'un surface absorbante pour collecte le rayonnement solaire .Cette surface échange la chaleur absorbé avec le caloporteur et la transfère vers le réservoir. Et émet en s'échauffant un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde (lois de stefan-Boltzman) [43].

Lorsque le collecteur est directement en contact avec l'air ambiant, il subit des pertes par rayonnement et convection.

Pour minimiser ces pertes l'absorbanter est positionné dans un cadre, et les parois internes de ce dernier sont pourvues d'une couche isolante thermique.

Pour l'insolation de face de la surface réalisé un couvercle transparent.

III.2.1.2 Les types de différents capteurs :

Dans le système chauffe-eau solaire, il existe plusieurs types de capteurs solaires. Pour répondre à différents besoins, plusieurs types de capteurs ont été développés.

III.2.1.2.1 Les capteurs plans vitrés :

Les capteurs solaires vitrés sont des capteurs simples avec une surface transparente vitrée, ils sont plus adaptés pour des applications nécessitant des températures entre 30°C et 70°C (système chauffe de l'eau, chauffage...).

Il se compose d'un cadre, l'isolation thermique, l'absorbanter, surface transparente).

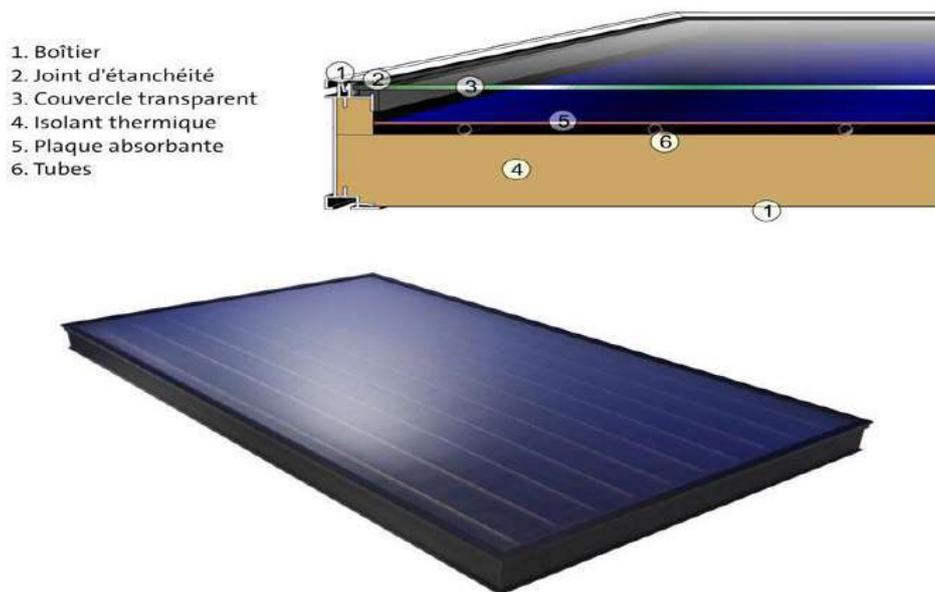


Figure (III, 3) : schéma d'un capteur plan [44]

III.2.1.2.1 Les capteurs non vitrés :

C'est le type le plus simple et le plus abordable mais également le moins efficace, il est composé :

- ✓ D'une absorbante de matière métallique ou synthétique.
- ✓ Et des tubes cylindriques contenant le fluide caloporteur.

Il peut cependant se révéler très performant lorsqu'il est utilisé dans les applications suivantes : chauffe piscine et d'autres applications de basse température.



Figure (III, 4) : le capteur solaire non vitré [44]

III.2.1.2.2 Les capteurs sous vide :

Le capteur solaire sous vide a une bonne performance, il répond aux besoins des applications qui demandent de température très élevés.

Ce type de capteur utilise le vide comme isolation thermique pour minimiser les pertes de chaleur et donc permet d'augmenter le rendement (entre 50% et 70 %) [45].

Ils sont capables de générer des températures jusqu'à 150°C.



Figure (III, 5) : tubes sous vide installée dans une toiture [22].

III.2.1.3 Les composants d'un capteur solaire thermique plan :

Le capteur solaire est composé des plusieurs éléments. Son structure est principalement composée d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, une couverture transparente, isolation thermique et d'une boîte.

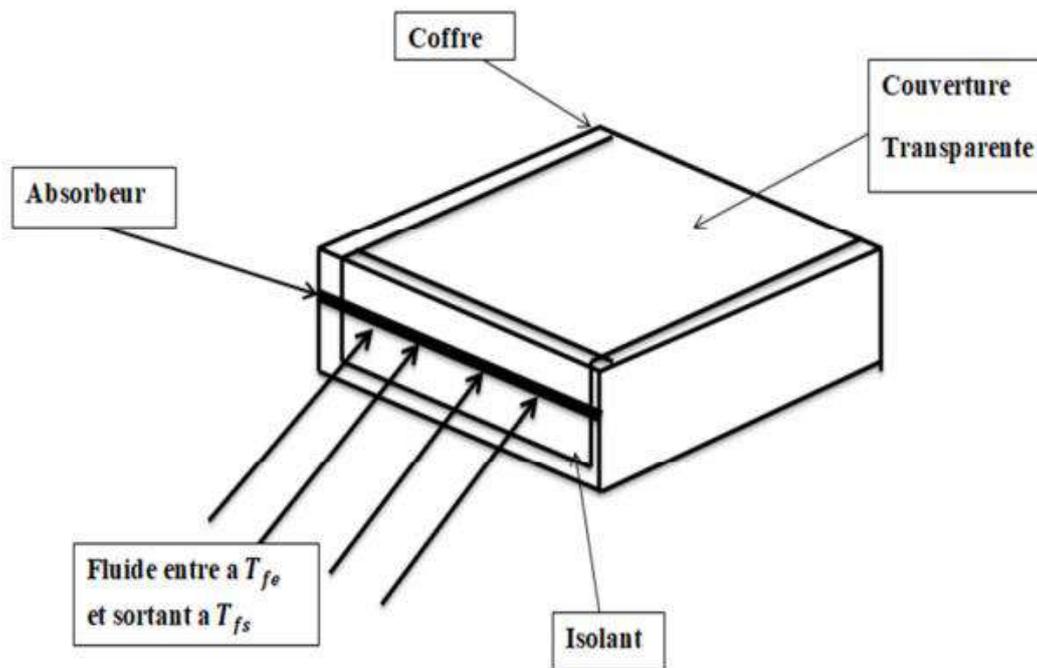


Figure (III, 6) : composants d'un capteur solaire [46].

III.2.1.3.1 La boîte ou coffre :

Elaborer un cadre solide et sécurisant pour le capteur. Elle préserve les éléments internes des conditions météorologiques, des chocs et d'autres dégâts mécaniques. Les matériaux les plus utilisés pour former la base du coffre sont aluminium ou en acier [47].

III.2.1.3.2 Isolation thermique :

L'isolation thermique évite les pertes par conduction (à l'arrière et sur les côtés de l'enveloppe du capteur). On utilise souvent de la mousse de polyuréthane, parfois associée à une couche de laine minérale en contact avec l'absorbeur. Si les températures sont élevées, il n'utilise que des mousses phénoliques, rares et coûteuses, ainsi que des laines minérales (laine de verre et surtout laine de roche qui a l'avantage de ne pas absorber l'humidité [47].

III.2.1.3.3 Une couverture transparente :

Son objectif est de transmettre le plus de rayonnement solaire possible et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en diminuant les phénomènes de convection de l'air et en bloquant le rayonnement infrarouge (effet de serre).

Les matériaux couramment employés sont le verre trempé (dans le but de diminuer les risques d'accident en cas de détérioration). L'utilisation de vitrages a des caractéristiques optiques légèrement supérieures aux vitrages classiques.

La distance entre la couverture transparente et l'absorbeur varie entre 25 et 40 mm. Un espace plus vaste permettrait de réduire les pertes thermiques causées par la convection [47].

III.2.1.3.4 L'absorbeur :

Il s'agit de l'élément qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et transfère l'énergie ainsi générée vers un fluide caloporteur.

Le cuivre est le matériau le plus couramment employée, car il présente une excellence résistance à la corrosion et une conductivité thermique élevée. On peut voir l'absorbeur comme une combinaison [47].

III.2.1.3.5 Le fluide caloporteur [21] :

En raison des conditions climatiques, un mélange d'eau et de glycol est généralement utilisé pour dissiper la chaleur emmagasinée dans la surface absorbante.

Comparé à l'eau, l'air n'a aucun problème de gel en hiver, aucun problème de cuisson en été et aucun problème de corrosion.

Cependant, l'air ne peut être utilisé que pour le chauffage et son transfert de chaleur est pire que celui de l'eau.

En revanche, quel que soit le système, le contact entre le tube transportant le liquide et la plaque d'absorption doit être très étanche par emboutissage ou soudage.

De même, la distance entre les tuyaux doit être calculée avec précision en fonction du diamètre du tuyau, de l'épaisseur de la plaque et du matériau utilisé.

Les tubes de circulation de fluide en contact avec le corps absorbant sont de préférence disposés en parallèle plutôt que selon un motif de serpent [21].

Bilan énergétique du capteur :

- ✓ Pour exprimer l'efficacité thermique d'un collecteur solaire plat, une formulation simplifiée pourrait être la suite :

$$\eta = \eta_o - \frac{\alpha_1 \times \Delta T}{G} - \frac{\alpha_2 \times \Delta T^2}{G} \quad (\text{III.1})$$

$$\Delta T = T_m - T_a \quad (\text{III.2})$$

η : Le rendement thermique du capteur

η_o : Facteur optique

τ : La transmittance optique du capteur

α_1 et α_2 : Coefficients de perte thermique

T_m : la température moyenne du fluide caloporteur dans le capteur °C

T_a : la température ambiante °C

G : irradiation solaire (w/m^2)

- ✓ Energie solaire incident (Qinci) :

$$Q_{inci} = A \times G \quad (\text{III.3})$$

- ✓ Chaleur absorbée par le capteur (Qabs) :

$$Q_{abs} = \alpha \times Q_{inci} \quad (\text{III.4})$$

- ✓ Perte thermique (Qperte) :

$$Q_{perte} = K \times A \times (T_c - T_a) \quad (III.5)$$

✓ **Chaleur utiles (Q_{utile}) :**

$$Q_{utile} = m \times C_p \times (T_{fe} - T_{fs}) \quad (III.6)$$

✓ **Efficacité du capteur (η) :**

$$\eta = \frac{Q_{utile}}{Q_{inci}} \times 100\% \quad (III.7)$$

A : la surface de capteur (m^2).

G : irradiation solaire (w/m^2).

α : l'absorptivité du capteur.

K : coefficient de perte thermique du capteur ($W/m^2.K$).

T_a : température ambiante ($^{\circ}C$).

T_c : température de capteur ($^{\circ}C$).

T_{fe} : température de fluide entrée.

T_{fs} : température de fluide sortie.

η : l'efficacité du capteur.

III.2.2 Réservoir de stockage :

Le réservoir de stockage autrement dit le ballon de stockage a été fabriqué avec grande capacité pour garder l'eau chaude pendant toute une journée. Cet élément constitué de divers éléments pour garder la chaleur :

III.2.2.1 Matériau au résistant :

Généralement il est fabriqué d'une matière métallique telle qu'acier, acier inoxydable ou de synthétique ou de divers matériau résistant à la haute température.

Miller [49] à étudier deux ballon de défèrent taille et défèrent matériaux (aluminium, verre), les résultats indique que la dégradation de la thermocline dans le ballon en aluminium est six fois plus rapide que celle du ballon en verre.

Murthy [50] et Al ont expérimentalement démontré l'impact de la conductivité des matériaux du réservoir sur la stratification en utilisant deux matériaux l'aluminium et l'acier. La disparation de la thermocline est plus marquer dans le cas du ballon aluminium.

Le choix de matériaux est important pour éviter les pertes d'énergie mais au même temps il faut améliorer la stratification pour éviter le transfert d'énergie par la convection

Les réservoirs fabriqués par l'acier inoxydable et l'acier émaillé dominant le marché grâce à ses propriétés de résistance et de durabilité.

III.2.2.2 L'isolant :

Pour améliorer l'efficacité d'énergie dans le réservoir est obligatoire d'appliquer l'isolation thermique au tour de ballon avec des matières isolantes tel que la laine de verre ou le polyuréthane, l'épaisseur de l'isolation permet de réduire les pertes d'énergie.

Il est conseillé de compléter tous les lacunes autour de réservoir de stockage en utilisant l'isolant.

III.2.2.3 Echangeur thermique :

L'échangeur thermique permet de transférer la chaleur du circuit primaire (solaire) vers le circuit secondaire (chauffe-eau), cet élément est généralement fabriqué en acier ou en cuivre.

III.2.2.4 L'appoint :

Un système d'énergie d'appoint joue un rôle de secours ou complément pour répondre aux besoins de l'eau chaude il existe différents modes :

- ✓ Sans appoint
- ✓ Avec appoint hydraulique
- ✓ Avec appoint électrique
- ✓ Avec appoint hydraulique et électrique

David B [51] a étudié la stratification dans un ballon de stockage à température uniforme, contient un point électrique situé au milieu du ballon. Les résultats montrent que l'appoint va chauffer la zone juste au-dessous de la résistance. L'énergie apportée par la résistance est 9 Kwh, alors que l'énergie totale au sein de ballon est de 7,48Kwh au fait des pertes d'énergie de l'ordre de 17%.

III.2.2.5 Stratification dans le ballon de stockage :

La densité de l'eau change en fonction de sa température, on peut dire que l'eau devient plus dense lorsqu'elle est plus froide.

La stratification est un phénomène naturel qui sépare les deux niveaux d'eau (chaude et froide) dans le même réservoir, la thermocline est une couche de séparation entre deux zones.

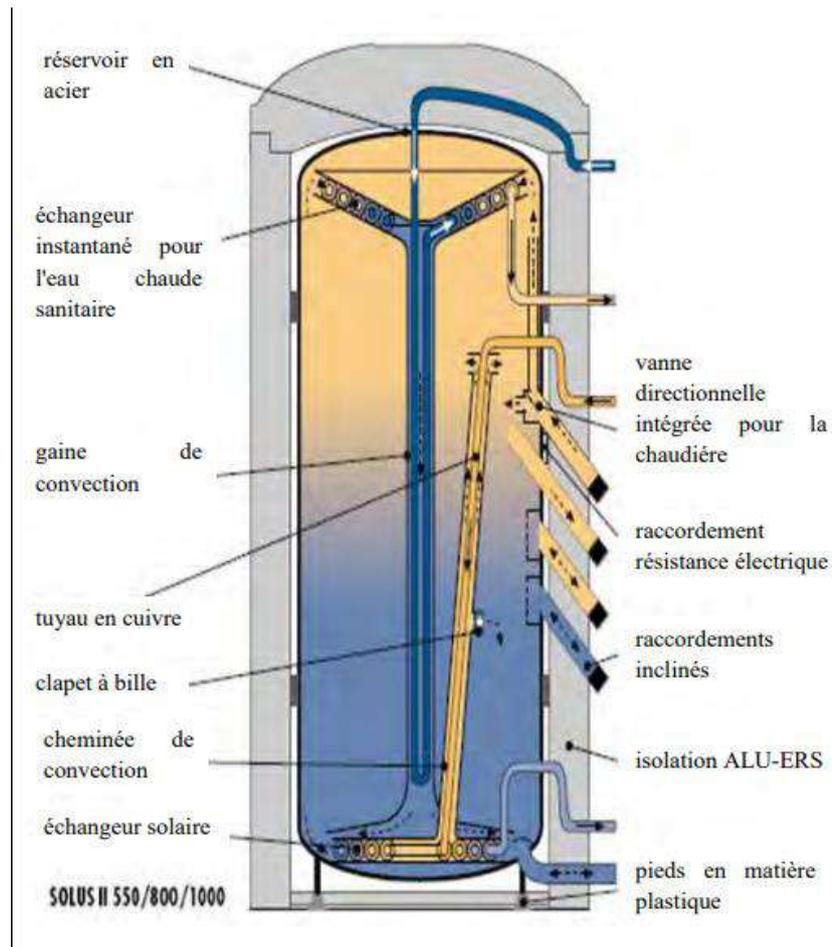


Figure (III, 7) : ballon de stratification SOLUS [52]

Bilan énergétique

Pour représenter les changements de température de l'eau dans le réservoir de stockage, une formulation de bilan énergétique pourrait être employée.

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (\text{III.7})$$

Q : Le taux de variation de la quantité de chaleur (W)

\dot{m} : Le débit massique du fluide (kg/s)

c_p : la capacité thermique de l'eau (J/kg.K)

ΔT : Le taux de variation de la température de l'eau dans le bilan de stockage (K/s)

III.2.3 Circuit hydraulique

L'installation hydraulique garantit la distribution efficace de l'eau chaude, elle est composée de divers éléments pour atteindre cet objectif :

III.2.3.1 Les conduites :

Ils sont les liaisons entre le capteur et le réservoir. Elle sera soumise à des conditions plus sévères lorsqu'elle est installée à l'extérieur (la haute température, la pression, la chaleur de soleil ...).

III.2.3.2 Isolation de conduites :

Il minimise les pertes de chaleurs dans les canalisations et protège les conduites. L'isolation doit être fabriqué de manière à résistée aux conditions sévère.



Figure (III, 8) : isolation des conduites [53]

III.2.3.3 Vanne d'arrêt :

Vanne d'arrêt est employée pour réguler et contrôler le passage de fluide.



Figure (III, 9) : une vanne d'arrêt [53]

III.2.3.4 Soupape de sécurité et le manomètre :

Le manomètre mesure et indique la valeur de pression, la soupape de sécurité réguler et contrôler la pression dans les circuits.



Figure (III, 10) : soupape de sécurité avec un manomètre [53]

III.2.3.5 Vase d'exploitation :

Il compensé les changements de volume du fluide caloporteur, il est fabriquée de matériaux qui résiste les hautes températures



Figure (III, 11) : vase d'exploitation [53]

III.2.3.6 Clapet antiretour :

Clapet antiretour empêche la circulation inverse par thermosiphon dans le circuit lorsque le système est à une température supérieure à celle des capteurs. Cette circulation est engendrée le refroidissement de l'accumulation [53].



Figure (III, 12) : clapet antiretour [53]

III.2.3.7 Débitmètre :

Il fournit une indication de débit dans le circuit hydraulique .il est utilisée pour régler et contrôler le débit dans le système, il se mesure en litre par minute.

III.2.3.8 Thermomètre :

Il mesure la température de le fluide entrée et sortie dans le capteur.



Figure (III ,13) : thermomètre [53]

III.2.3.9 Circulateur :

Il déplace le fluide dans le capteur solaire. Le circulateur doit être installé sur la conduite de retour aux capteurs. Le choix de pompe dépend deux critères le débit volumétrique et la hauteur manométrique [53].



Figure (III, 14) : un circulateur de liquide [53]

Le fluide peut être déplacé dans le système du capteur au réservoir par différents modes de circulation.

III.2.3.9.1 Types de circulations :

III.2.3.9.1.1 Chauffe-eau solaire monobloc:

Les chauffe-eau les plus basiques sont constitués d'un seul ensemble, le réservoir et le collecteur solaire. L'eau chaude sanitaire circule directement dans les panneaux. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau se réchauffe et augmente sa densité.

Le ballon se trouve un peu au-dessus du panneau. Aucune pompe n'est donc nécessaire.

Cependant, les réservoirs d'eau chaude doivent être placés au bord des panneaux solaires.

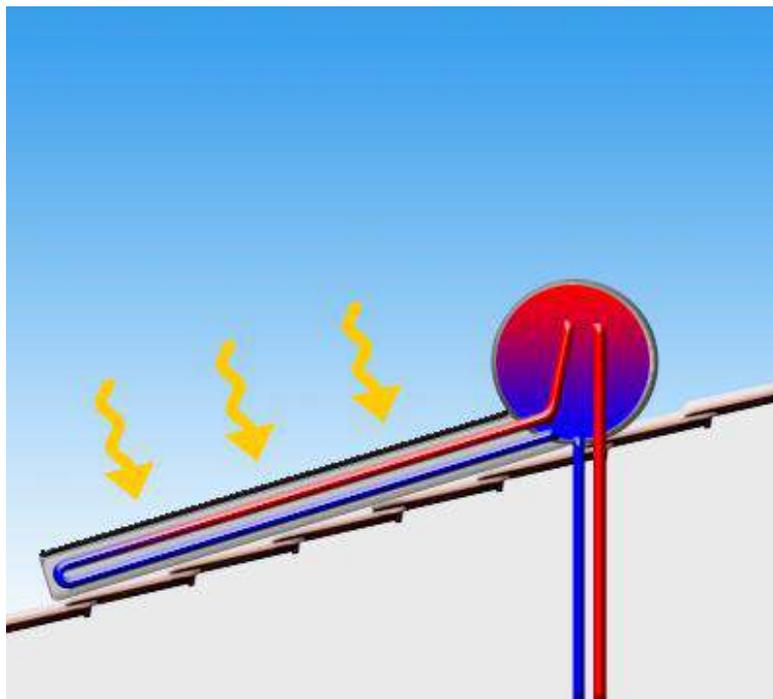


Figure (III, 15) : monobloc [54]

III.2.3.9.1.2 Circulation par thermophison (naturelle) :

Comme on a indiqué précédemment, la densité de l'eau change en fonction de sa température, l'eau avec température plus basse est plus dense. Dans le système chauffe-eau l'eau froide descend dans le bas de réservoir et la canalisation.

Dans un circuit thermophison le fluide une fois réchauffé devient moins dense et s'élève vers la haute de l'installation. Par la suite le fluide froid (plus dense) redescend vers le bas, prêt à être à nouveau réchauffé.

Il existe deux modèles de circulation forcée :

- ✓ Horizontale : la cuve de stockage est placée au-dessous de le récepteur d'énergie.
- ✓ Un élément séparé : le ballon de stockage est placé dans la maison et les panneaux solaires et toujours posé dans les terrasses.

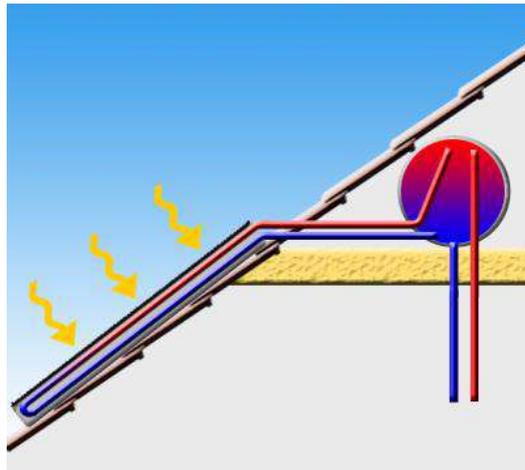


Figure (III, 16) : schéma de chauffe-eau séparé thermophison [54]

III.2.3.9.1.3 Circulation par pompe (forcé) :

Dans ce type de circulation utilise la pompe qui transforme l'énergie électrique à l'énergie hydraulique, et transfère le fluide dans les capteurs solaire d'un point à un autre point. Elle a deux caractéristiques importantes :

- ✓ Le débit.
- ✓ La pression.

Cette dernière fournit une charge plus élevée que le thermophison.

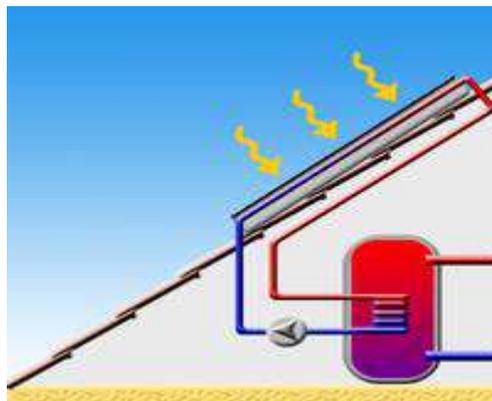


Figure (III, 17) : schéma de chauffe-eau à circulation forcée [54]

III.2.4 Régulation et commandes :

Un système de régulation est nécessaire pour optimiser la consommation d'énergie pour le système [55]. Et pour cela le système est composé de plusieurs instruments pour réguler et contrôler la température de fluide dans le chauffe-eau.

III.2.4.1 Thermostat :

Le thermostat mesure et contrôle la température du système chauffe-eau solaire. Cet élément allume la résistance électrique de chauffage et assure le bon fonctionnement du système et le maintien de la température optimale.

Le thermostat intègre des capteurs de température pour surveiller la température de l'eau en fonction de temps. À partir de ces données, le thermostat marche et active automatiquement la résistance électrique.

III.2.4.2 Résistance électrique :

L'énergie solaire à elle seule peut ne pas suffire à fournir la température d'eau chaude souhaitée. Dans ce cas, l'énergie électrique est utilisée pour fournir de l'eau chaude tout au long de la journée

La résistance électrique marche automatiquement lorsque le thermostat détecte la température. Cette solution garantit la disponibilité d'eau chaude toute la journée.

Elle joue un rôle de secours lorsque le système n'est pas capable de fournir l'eau chaude avec l'énergie solaire seulement.

III.2.4.3 Contrôleur :

L'installation compose d'un instrument de mesure. Il Contrôle le changement de la température.

Le rôle du contrôleur est de permettre par une commande appropriée, le transfert de l'énergie captée dans le cas où la température du fluide des capteurs est supérieure à celle de ballon [53]. Le contrôleur de la bonne marche des pompes sera toujours de type différentiel, fonctionnant suivant l'écart de température entre la sortie du capteur et réservoir d'accumulation solaire [53].



Figure (III, 18) : régulateur [53]

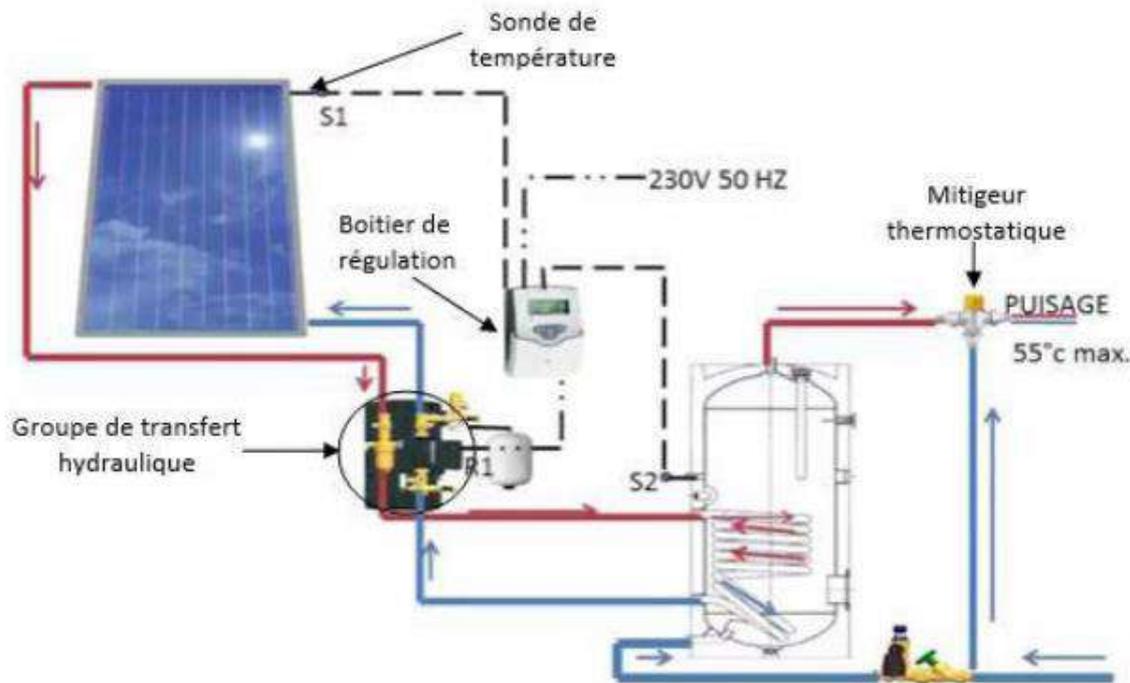


Figure (III, 19) : schéma présente les composants d'installation chauffe-eau solaire [53]

III.3 Installation d'un chauffe-eau solaire :

La mise en place d'un chauffe-eau solaire est une partie essentielle afin d'assurer l'efficacité et la pérennité de notre système chauffe-eau solaire. Il est essentiel d'effectuer une planification minutieuse et d'avoir une connaissance approfondie des divers éléments à prendre en considération afin d'améliorer les performances de notre système.

III.3.1 Estimation journalier des besoins d'eau chaude :

Afin d'estimer de manière adéquate notre système, il est crucial d'effectuer une mesure précise des besoins en eau chaude. Grâce à cette partie, nous pourrions évaluer la quantité de stockage requise pour satisfaire les besoins des utilisateurs.

Calculer le volume nécessaire lié au nombre des utilisateurs dans la famille dans la maison et à la consommation d'eau chaude dans diverses applications (douche, cuisine, etc.) dans une journée.

III.3.2 Choix de système adapté :

Une analyse approfondie des caractéristiques de la maison, de son orientation, de l'espace disponible pour l'installation des panneaux solaires et du climat de la région est essentielle pour sélectionner le système approprié. Il est essentiel de choisir le système adéquat afin d'assurer une performance optimale et une satisfaction durable.

Il est important que nous prenions en compte plusieurs critères, tels que l'efficacité énergétique, la surface des capteurs, le volume de ballon de stockage correspondant aux exigences, la capacité de circuit hydraulique, la température d'eau chaude à la sortie, l'efficacité d'échangeur de chaleur ...

III.4 Caractéristique technique des composants :

III.4.1 Caractéristique technique de capteur plan:

Une compréhension détaillée des caractéristiques technique des capteurs est importante pour améliorer leur efficacité et leur capacité à répondre aux besoins énergétique.

Ce tableau présente les caractéristiques technique telles que la surface de capteur, le débit de fluide, l'épaisseur du verre, type de fluide utilisé, le coefficient de perte de chaleur et le matériau de construction.

Ces données sont importantes pour évaluer les performances du capteur.

Tableau (III, 1) : les caractéristique technique d'un capteur plan [56]

La surface	1.44m²
Débit de caloporteur	50 m³/h
épaisseur de la vitre	4.2 mm
Fluide caloporteur	Propylène Glycol
Coefficient de perte K1	6,18w/m². K
Coefficient de perte K2	0.0277w/m². K²
Matière de profile	Aluminium
Matière de l'absorbant	Le cuivre (Cu)
Nombre de collecte	2
Température de stagnation	170 °C
Le rendement η_0	72.3%

III.4.2 Caractéristique technique de ballon de stockage :

Ce tableau présente les caractéristiques technique du réservoir de stockage tel que le volume du réservoir, le poids, les dimensions et les données sur les performances thermique telles que le coefficient de perte de chaleur et les températures.

Ces données sont essentielles pour améliorer la capacité du réservoir à stocker et à préserver l'énergie thermique.

Tableau (III, 2) : les caractéristiques technique d'un réservoir de stockage [56]

Le volume	200L
Le poids	203 kg

La hauteur/le diamètre	3.36
Coefficient de perte	$1w/m^2 \cdot ^\circ C$
Température maximale	99°C
Température ambiant	20°C
Le rendement	75%

III.4.3 Caractéristiques technique de circuit hydraulique :

Ce tableau présente un ensemble des données essentielles concernant les caractéristiques techniques d'un circuit hydraulique.

La puissance de la pompe, l'efficacité de la pompe, la longueur de diamètre, le diamètre de tuyau, la conductivité du tuyau, l'épaisseur de l'isolation des tuyaux, ces informations sont utiles pour évaluer les performances du circuit hydraulique, qui minimisent les pertes d'énergie.

Tableau (III, 3) : les caractéristiques techniques d'un circuit hydraulique [56]

Pompe	45 w
Efficacité de la pompe	0.85
La longueur	10 m
Le diamètre de tuyau	0.019 m
La conductivité de tuyau	$0.03w/m \cdot ^\circ C$
Epaisseur d'isolation des tuyaux	0.006 m

III.5 Modélisation du système :

III.5.1 Description de logiciel :

System Advisor Model (Solar Advisor Model) est un logiciel gratuit permettant de modéliser de nombreux types de systèmes d'énergie renouvelable. Il est utilisé par les gestionnaires de projets, les ingénieurs, les développeurs de technologie et les chercheurs pour étudier les fiabilités techniques, économiques des projets d'énergie renouvelables.

Le système est utilisé dans différents systèmes d'énergie renouvelables, système photovoltaïque, énergie éolienne, chauffe-eau solaire, la biomasse [57]



Figure (III, 20) : présentation de logo de système SAM [57]

III.5.2 Procédure de simulation de modélisation de système :

A. Configuration du modèle :

Pour commencer, lancez le logiciel SAM dans l'appareil. Ensuite initiales un nouveau projet en cliquant sur {Start a new Project} dans la barre d'outils de SAM

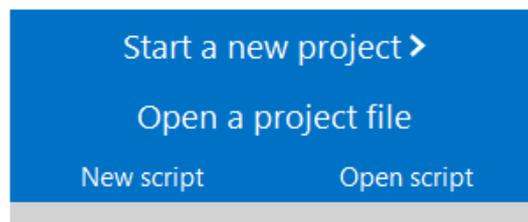


Figure (III, 21) : présentation de crée un nouveau Project

B. Sélectionner la performance de modèle :

Lors de l'initialisation d'un nouveau projet, on se trouve plusieurs types disponibles dans le logiciel.

Choisit le type (Solar Water Heating) en raison de notre étude de système chauffe-eau solaire.

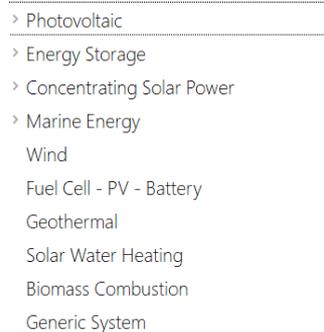


Figure (III, 22) : présentation de la performance de modèle

C. Les donnes météorologiques :

Après la section de types on commence de entre notre donnes dans logiciel.

On choisit une localisation géographique sur la carte pour une étude vite et facile. Ensuite le logiciel SAM récupère les informations météorologiques appropriées et calcule plusieurs paramètres : l'irradiation, l'altitude, longitude...

On a les données météorologiques pour différents la wilaya d'Ain temouchent :

Ain Temouchent :

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file:

-Header Data from Weather File-

Latitude	<input type="text" value="35.3"/> degrees	Location	<input type="text" value="999"/>
Longitude	<input type="text" value="-1.15"/> degrees	Data Source	<input type="text"/>
Time zone	<input type="text" value="GMT 1"/>	For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.	
Elevation	<input type="text" value="239"/> m		
Time step	<input type="text" value="60"/> minutes		

Figure (III, 23) : informations des données météorologiques d'Ain Temouchent

D. Les données de système :

Dans cette étape on saisit les données du système chauffe-eau solaire dans plusieurs étapes d'organisations :

- ✓ Estimation journalier de besoins d'eau chaude.
- ✓ Saisissez les informations de système.
- ✓ Saisissez les caractéristiques techniques de capteur solaire.
- ✓ Saisissez les caractéristiques techniques de réservoir de stockage.
- ✓ Saisissez les caractéristiques techniques de circuit hydraulique.

E. Estimation journalier des besoins :

On se base sur les données fournies, le besoin d'eau chaude $Bec = 225(kg/day)$ pour 3 personnes dans une maison.

Cette estimation est cruciale pour la conception des systèmes chauffe-eau solaires [10].

Hot Water Draw

Hourly hot water draw profile kg/hr

Scale draw profile to average daily usage

Total annual hot water draw kg/year

Average daily hot water usage kg/day

Figure (III, 24) : Estimation journalier des besoins

F. Système :

System

Tilt	<input type="text" value="30"/> deg	Diffuse sky model	<input type="text" value="Isotropic"/>
Azimuth	<input type="text" value="180"/> deg	Irradiance inputs	<input type="text" value="Beam and Diffuse"/>
Working fluid	<input type="text" value="Water"/>	Albedo	<input type="text" value="0.2"/> 0..1
Number of collectors	<input type="text" value="2"/>	Total system collector area	<input type="text" value="5.96"/> m2
		Rated system size	<input type="text" value="3.418"/> kW

-Shading-

Shading losses

-System Availability-

Constant loss: 0.0 %
Time series losses not enabled
Custom periods not enabled

Figure (III, 25) : présentation des données de système

G. Le capteur solaire :

Les caractéristiques techniques du capteur solaire (surface, débit, type de fluide, coefficient de perte, nombre de collecteurs, le rendement et les températures).

Collector	
<input checked="" type="radio"/> Enter user-defined parameters	
<input type="radio"/> Choose from library	

User-defined collector	
Collector area	1.44 m ²
FRta	0.723
FRUL	6.18 W/m ² .C
IAM coefficient	0.2
Test fluid	Glycol
Test flow	0.0134 kg/s

Figure (III, 26) : présentation de données de capteur

H. Le réservoir de stockage :

Les caractéristiques techniques du réservoir de stockage (le volume, le rapport de la hauteur et le diamètre, coefficient de perte, le rendement, les températures).

Solar Tank and Heat Exchanger			
Solar tank volume	0.2 m ³	Heat exchanger effectiveness	0.75 0..1
Solar tank height to diameter ratio	3.36	Outlet set temperature	55 C
Solar tank heat loss coefficient (U value)	1 W/m ² .C	Mechanical room temperature	20 C
Solar tank maximum water temperature	99 C		

Figure (III, 27) : présentation de données de réservoir de stockage

I. Circuit hydraulique :

Les caractéristiques techniques du circuit (la puissance de pompe, le rendement de la pompe, la longueur, le diamètre, la conductivité et l'épaisseur).

Piping and Pumping			
Total piping length in system	10 m	Pump power	45 W
Pipe diameter	0.019 m	Pump efficiency	0.85 0..1
Pipe insulation conductivity	0.03 W/m.C		
Pipe insulation thickness	0.006 m		

Figure (III, 28) : présentation de données de circuit hydraulique

J. Exécutions la simulation :

Une fois qu'on configure tous les paramètres de composants dans logiciel. On sélectionne (Simulate)

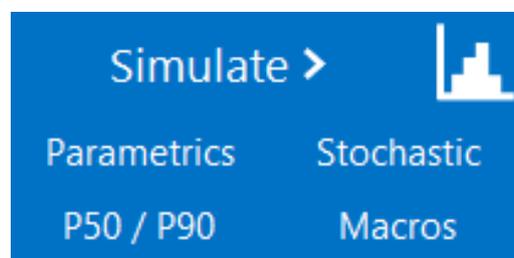


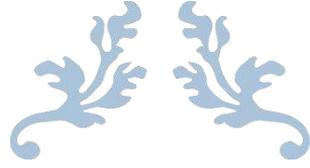
Figure (III, 29) : présentation de exécutions la simulation

Après la finalisation de la simulation, examinez les résultats fournis par SAM afin d'évaluer les performances du chauffe-eau solaire dans les conditions définies.

Conclusion :

Ce chapitre examine en détail les composants de système chauffe-eau solaire, leur fonctionnement et leur importance. Grâce au logiciel de simulation SAM, des informations essentielles sur les performances et les options d'optimisation de ces systèmes peuvent être obtenues en analysant l'influence de paramètres clés tels que la surface de capteur solaire, l'orientation et l'inclinaison de capteur, le volume de réservoir et l'efficacité et autres paramètres importants.

Cette étude est essentielle pour l'amélioration des systèmes chauffe-eau solaire afin de garantir une meilleure efficacité énergétique.



CHAPTRE IV: Résultats et discussion



Introduction :

L'objectif de ce chapitre est d'analyser les résultats et de discuter du système de chauffe-eau solaire étudié. Nous analysons les performances des systèmes dans les conditions particulières de région d'Ain Temouchent en utilisant les données météorologiques collectées et les simulations effectuées. Par la suite, les résultats obtenus sont analysés pour mettre en lumière les éléments qui influencent ces performances et repérer les moyens d'améliorer cette technologie dans le contexte local.

IV.1 Données météorologique :

Après avoir identifié la localisation géographique de la wilya d'in temouchent, nous pouvons cliquer sur « view data » pour consulter les données météorologiques dans le logiciel. Les informations affichées incluent l'irradiation globale, l'irradiation diffuse, ainsi que la vitesse du vent, toutes mesurées par heure. Pour la région d'Ain Témouchent, ces données permettent une analyse détaillée des conditions climatiques locales, essentielles pour des applications telles que la planification de projets d'énergie solaire ou d'autres études environnementales.

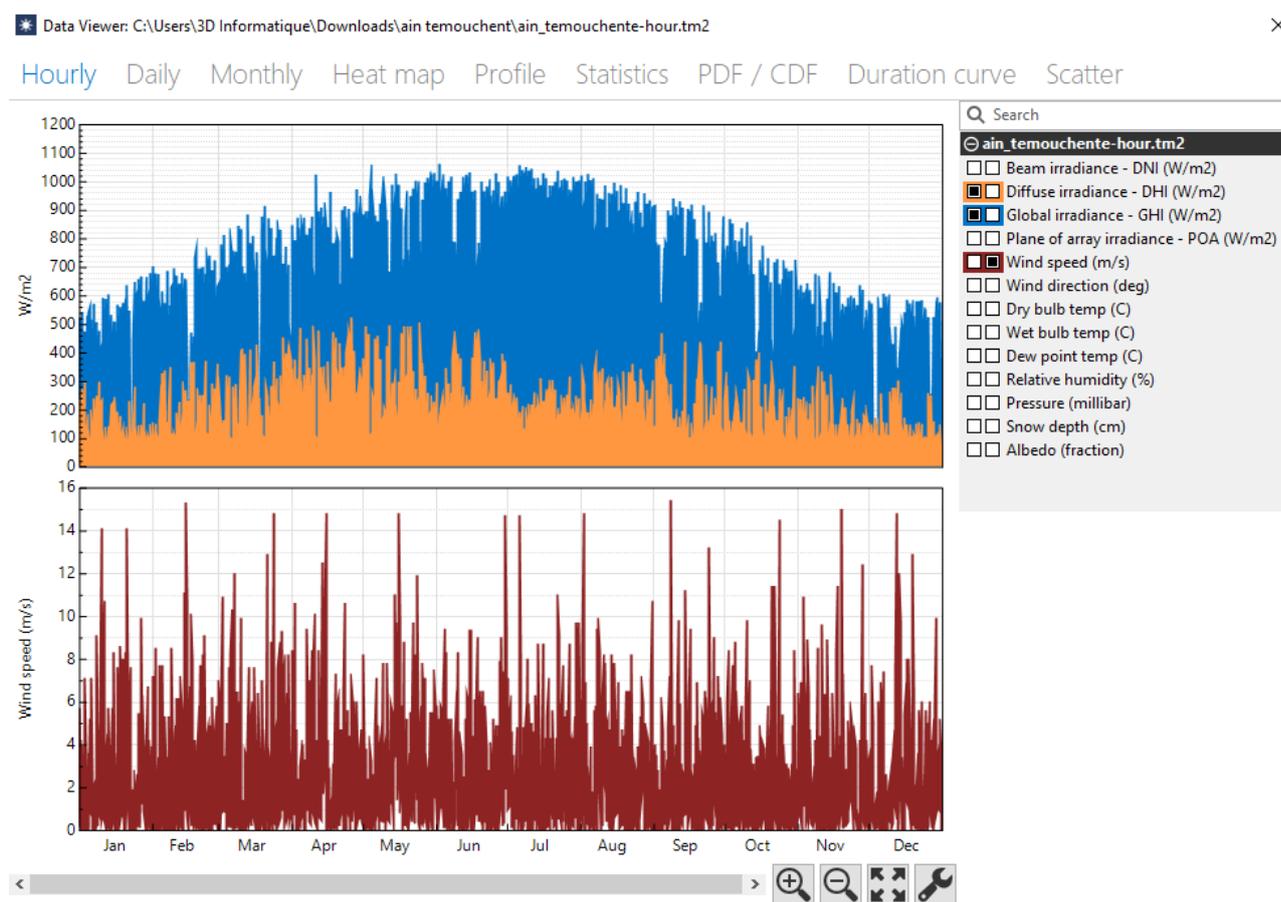


Figure (IV, 1) : l'irradiation (globale et diffuse) et vitesse de vent par heure dans Ain Temouchent

La figure (IV, 1) présentés les variations annuelles de l'irradiation globale, de l'irradiation diffuse, ainsi que des fluctuations de la vitesse du vent. Dans la wilaya d'Ain Témouchent,

l'irradiation globale atteint approximativement $1000\text{w}/\text{m}^2$, tandis que l'irradiation diffuse est estimée à environ $400\text{w}/\text{m}^2$. Ces données sont cruciales pour évaluer le potentiel solaire de la région et optimiser la conception de systèmes d'énergie renouvelable, en tenant compte des variations saisonnières et des conditions météorologiques locales.

IV.2 Résultats de la simulation :

Pour consulter les résultats souhaités, il suffit de sélectionner l'option « SUMMARY ». Cela permet d'afficher un tableau récapitulatif comprenant une gamme de résultats sélectionnés ainsi que des graphiques correspondants pour chaque scénario contenu dans le fichier de projet. Cette fonctionnalité offre une vue d'ensemble pratique et organisée des données clés pour une analyse approfondie.

Les résultats de la simulation indiquent que la production d'énergie varie au cours de l'année. Voici les valeurs de production d'énergie au cours de l'année.

Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin
Production d'énergie	151Kwh	147Kwh	179Kwh	160Kwh	188Kwh	192Kwh
Mois	Juilles	Aout	septembre	octobre	novembre	décembre
Production d'énergie	210Kwh	205Kwh	180Kwh	175 Kwh	145Kwh	135Kwh

Table (IV, 2) : la production d'énergie dans une année.

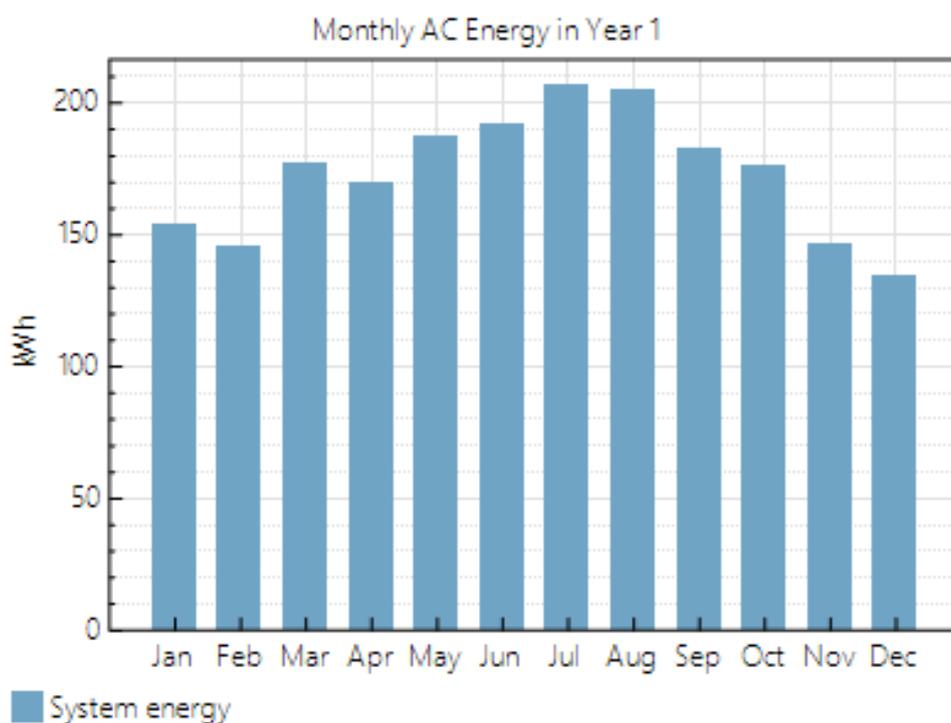


Figure (IV, 2) : l'énergie nette mensuelle pour une année d'Ain Temouchent

Metric	Value
Annual AC energy saved (year 1)	2,075 kWh
Solar fraction (year 1)	0.65
Aux with solar (year 1)	969.8 kWh
Aux without solar (year 1)	3,191.6 kWh
Capacity factor (year 1)	15.3%

Figure (IV, 3) : tableau de résultat de simulation

IV.2.1 Données mensuelles de la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée :

Les résultats de la simulation indiquent que la chaleur auxiliaire pour le mois de janvier est de 143 kWh, avec une chaleur délivrée pour le mois de 165 kWh. En février, la chaleur auxiliaire est de 121 kWh par rapport à la chaleur délivrée de 156 kWh. Pour mars, la chaleur auxiliaire est de 110 kWh avec une chaleur délivrée de 190 kWh. En avril, la chaleur auxiliaire est de 90 kWh, et la chaleur délivrée est de 185 kWh. Le mois de mai présente une chaleur auxiliaire de 61 kWh et une chaleur délivrée de 201 kWh. Juin a une chaleur auxiliaire basse de 30 kWh et une chaleur délivrée au sommet de 210 kWh. Juillet suit avec une chaleur auxiliaire de 16 kWh et une chaleur délivrée de 242 kWh. En août, la chaleur auxiliaire est légèrement plus élevée à 18 kWh, avec une chaleur délivrée de 238 kWh. Le mois de septembre a une chaleur auxiliaire de 40 kWh avec une chaleur délivrée de 202 kWh. Octobre voit la chaleur auxiliaire augmenter à 81 kWh et la chaleur délivrée à 190 kWh. Novembre a une chaleur auxiliaire de 118 kWh et une chaleur délivrée de 159 kWh. Enfin, décembre a une chaleur auxiliaire de 153 kWh et une chaleur délivrée de 145 kWh.

La variation entre la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée peut être expliquée par plusieurs facteurs. La chaleur auxiliaire fait référence à l'énergie supplémentaire nécessaire pour maintenir une température de confort lorsque le système principal ne peut pas fournir suffisamment de chaleur, comme pendant les mois d'hiver ou les périodes de faible ensoleillement. La chaleur délivrée, en revanche, est l'énergie réellement obtenue et utilisable du système.

Les fluctuations saisonnières de l'irradiation solaire entraînent une variation de la production d'énergie thermique. Pendant les mois d'été, l'intensité de l'irradiation est plus élevée, ce qui augmente la chaleur délivrée et réduit le besoin de chaleur auxiliaire. Inversement, pendant les mois d'hiver, l'irradiation est plus faible, nécessitant plus de chaleur auxiliaire pour compenser la baisse de la chaleur délivrée.

En outre, les conditions météorologiques, telles que la couverture nuageuse et la vitesse du vent, peuvent également influencer ces valeurs. Une couverture nuageuse élevée peut réduire l'irradiation solaire reçue, tandis que des vents forts peuvent augmenter les pertes de chaleur, nécessitant ainsi plus de chaleur auxiliaire pour maintenir la température souhaitée.

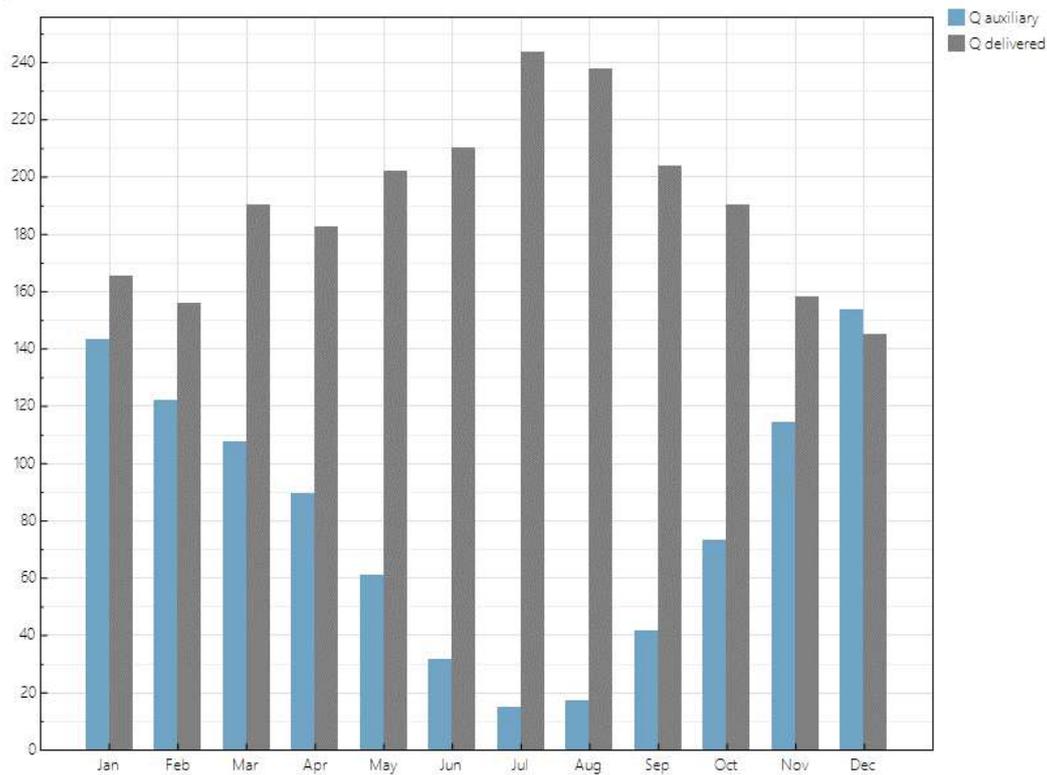


Figure (IV, 4) : Données mensuelles de la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée

La différence des chaleurs :

$$\Delta Q = Q_{\text{délivrée}} - Q_{\text{auxiliaire}} \quad (\text{IV.1})$$

Le symbole (ΔQ) représente la différence entre la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée pour chaque mois dans notre système de chauffe-eau solaire. Les calculs montrent que cette différence est la plus élevée en juillet, ainsi que durant les mois de mai, juin et août, en raison d'un ensoleillement plus intense et de journées plus longues, permettant au système d'être exposé à davantage de rayonnement solaire. Avec un ensoleillement optimal, le système capte plus d'énergie solaire pour le chauffage de l'eau, réduisant ainsi le recours à la chaleur auxiliaire. Durant cette période, la température élevée diminue le besoin de chaleur complémentaire.

En revanche, durant les mois de janvier, février, mars, septembre, octobre et novembre, la différence de chaleur est modérée en raison d'un ensoleillement moindre pendant l'hiver, le printemps, l'été et l'automne. Cela réduit l'efficacité du chauffage solaire de l'eau et augmente la dépendance du système à la chaleur auxiliaire pour atteindre la température désirée. En décembre, la chaleur auxiliaire est significativement plus élevée que la chaleur délivrée en raison des températures extérieures plus basses, ce qui entraîne une perte de chaleur plus importante et une demande accrue en eau chaude.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	May	Juin
ΔQ	22Kwh	35Kwh	80Kwh	95Kwh	140Kwh	180Kwh
Mois	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
ΔQ	226Kwh	220Kwh	162Kwh	109Kwh	77Kwh	-8Kwh

Table (IV, 1) : variation de différence entre la chaleur auxiliaire et la chaleur délivrée pour chaque mois dans système de chauffe-eau solaire.

IV.3 Etude paramétrique de système :

IV.3.1 Estimation journalier des besoins :

Dans le cadre de cette étude paramétrique, la consommation quotidienne estimée d'eau chaude est modifiée pour cinq scénarios distincts, caractérisés par les quantités suivantes : 220 kg/jour, 270 kg/jour, 320 kg/jour, 370 kg/jour et 420 kg/jour. Tous les autres paramètres, tels que la surface du collecteur solaire, l'efficacité de l'échangeur de chaleur, la température de sortie et le volume du réservoir, sont maintenus constants. Les résultats observés pour ces configurations sont les suivants :

	Average daily hot water usage (kg/day)	Collector area (m ²)	Heat exchanger effectiveness (0..1)	Outlet set temperature (C)	Solar tank volume (m ³)	Q auxiliary (kWh)	Q delivered (kWh)
1	225	1.44	0.75	55	0.2	969.787	2285.71
2	270	1.44	0.75	55	0.2	1359.64	2508.07
3	320	1.44	0.75	55	0.2	1517.11	3211.13
4	370	1.44	0.75	55	0.2	1779.99	4053.3
5	420	1.44	0.75	55	0.2	2105.86	4602.29

Figure (IV, 5) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi

La chaleur auxiliaire :

Les données de la simulation révèlent que la quantité de chaleur auxiliaire nécessaire s'accroît en fonction de l'augmentation des besoins journaliers estimés en eau chaude. Plus précisément, pour une consommation de 225 kg/jour, les différentes estimations journalières des besoins d'eau chaude sont représentées par les valeurs auxiliaires suivantes :

- ✓ Pour estimation journalier des besoins de 225kg/jour, la chaleur axiliaire est 969.785 Kwh
- ✓ A 270kg/jour, elle est de 943.693 Kwh.
- ✓ A 320kg/jour, elle est de 1359.64 Kwh.
- ✓ A 370kg/jour, elle est de 1517.11Kwh.
- ✓ Et à 420kg/jour, elle est de 2105.86 Kwh.

Cette tendance s'explique par le fait que toute augmentation de la demande en eau chaude nécessite une quantité proportionnelle de chaleur auxiliaire pour satisfaire cette nouvelle demande. En effet, une charge thermique plus importante exige une production de chaleur supplémentaire pour assurer que l'eau atteigne et maintienne la température souhaitée. Il est également important de noter que des facteurs tels que les variations saisonnières, l'efficacité de l'isolation du système et les habitudes de consommation peuvent influencer la quantité de chaleur auxiliaire nécessaire. Ainsi, une gestion efficace de la demande et de l'approvisionnement en chaleur est essentielle pour optimiser la performance du système de chauffe-eau solaire.

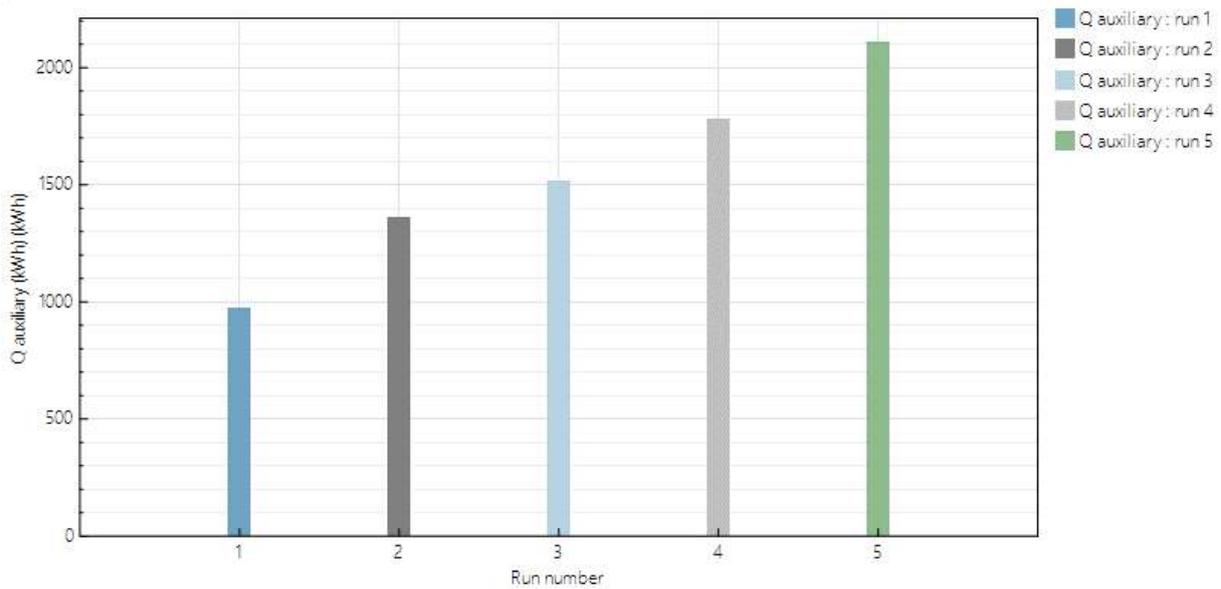


Figure (IV, 6) : colonne de graphique présente la chaleur auxiliaire en fonction de l'estimation journalière des besoins

La chaleur délivrée :

Les données issues des graphiques indiquent une corrélation directe entre l'augmentation des besoins quotidiens en eau chaude et la hausse de la chaleur délivrée par le système. Pour une consommation de 225 kg/jour, les diverses estimations de journaliers des besoins sont représentées par les valeurs de chaleur délivrée suivantes :

- ✓ Pour estimation journalier des besoins de 225kg/jour, la chaleur axiliaire est 4602.23 Kwh
- ✓ A 270kg/jour, elle est de 2285.71 Kwh.
- ✓ A 320kg/jour, elle est de 2508.07 Kwh.
- ✓ A 370kg/jour, elle est de 3211.13 Kwh.
- ✓ Et à 420kg/jour, elle est de 4602.29 Kwh.

L'augmentation de la demande en eau chaude nécessite une production de chaleur proportionnelle par le chauffe-eau solaire pour satisfaire les besoins accrus. Cela se traduit par le chauffage d'un volume d'eau plus important. Le système doit donc produire plus de chaleur pour compenser cette quantité d'eau additionnelle. De plus, afin de garantir une température constante de l'eau, le système doit ajuster sa production de chaleur en fonction des besoins estimés quotidiennement. Les pertes thermiques du système, notamment via les tuyauteries et le réservoir, peuvent s'intensifier avec l'augmentation de la demande, entraînant une consommation plus élevée d'eau chaude. Ainsi, le système de chauffe-eau solaire doit intensifier sa capacité de chauffage pour répondre à cette demande croissante, assurant ainsi un approvisionnement continu et confortable en eau chaude.

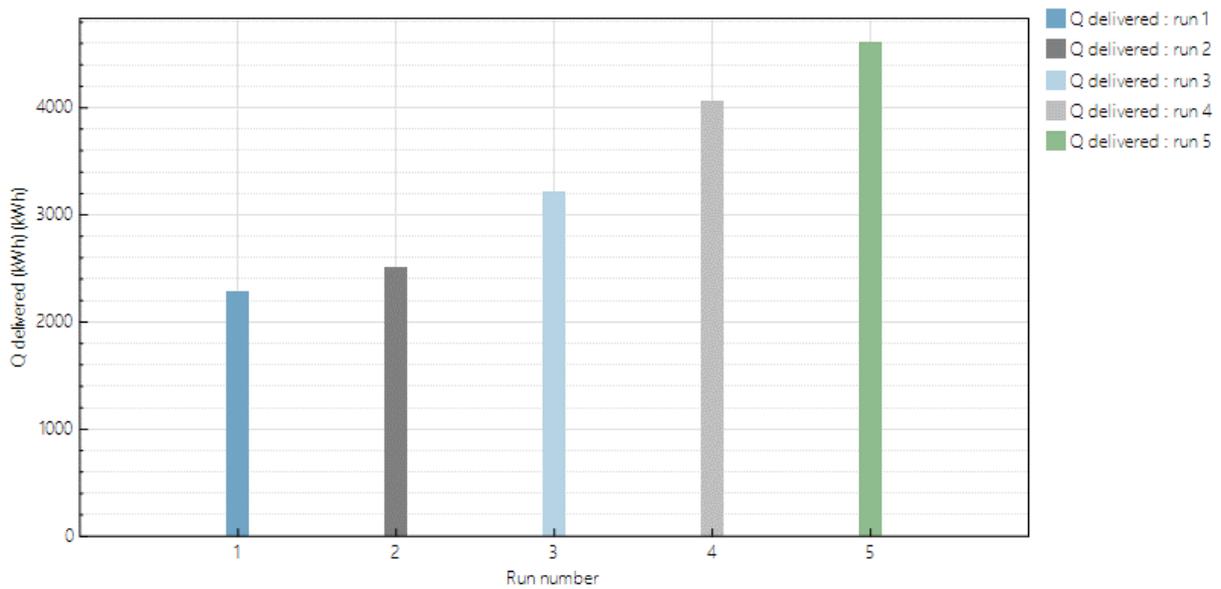


Figure (IV, 7) : colonne de graphique présente la chaleur délivrée en fonction de l'estimation journalière des besoins.

La fraction solaire :

Les colonnes du graphique illustrent la fraction solaire, qui est le rapport entre l'énergie solaire utilisée et les besoins énergétiques totaux estimés quotidiennement. La fraction solaire varie de 0.65 à 0.60, ce qui signifie que 65% à 60% de l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau provient directement du soleil. Cette variation indique que, même avec des besoins en eau chaude changeants, une grande partie de l'énergie requise est couverte par le système solaire, soulignant ainsi l'efficacité et la contribution significative de l'énergie solaire à la satisfaction des besoins en eau chaude. Une fraction solaire plus élevée est préférable car elle réduit la dépendance aux sources d'énergie auxiliaires et favorise une utilisation plus durable des ressources.

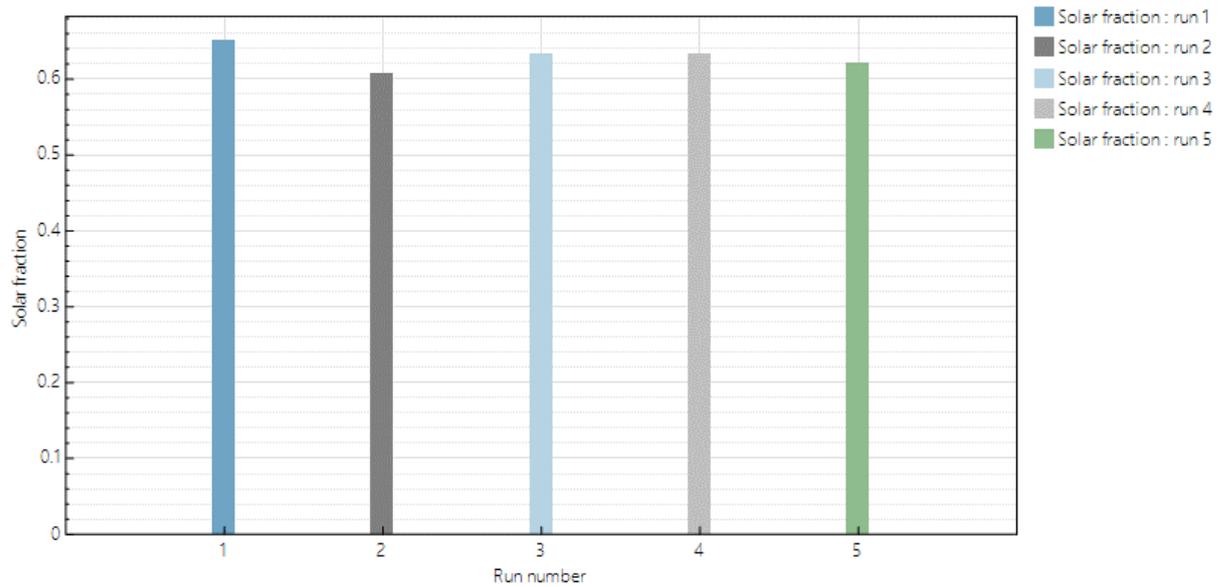


Figure (IV, 8) : la fraction solaire par rapport l'estimation journalier des besoins

IV.3.2 Surface de collecteur :

Dans le cadre de cette étude paramétrique, la surface du collecteur solaire a été modifiée pour cinq configurations distinctes : 1.44 m², 2 m², 3 m², 4 m² et 5 m². Tous les autres facteurs, y compris la consommation quotidienne estimée, l'efficacité de l'échangeur de chaleur, la température de l'eau en sortie et le volume du réservoir, sont restés inchangés. Les résultats observés pour ces différentes surfaces de collecteur sont présentés ci-après :

Il est important de noter que la variation de la surface du collecteur impacte directement la quantité d'énergie solaire captée, ce qui peut influencer l'efficacité globale du système de chauffe-eau solaire. Une plus grande surface permet de capter plus d'énergie solaire, ce qui peut réduire le besoin de chaleur auxiliaire et augmenter la fraction solaire du système. Ces résultats permettent d'évaluer l'optimalité des différentes tailles de collecteurs en fonction des besoins spécifiques en eau chaude.

	Average daily hot water usage (kg/day) *	Collector area (m2)	Heat exchanger effectiveness (0..1)	Outlet set temperature (C)	Solar tank volume (m3)	Q auxiliary (kWh)	Q delivered (kWh)
1	225	1.44	0.75	55	0.2	969.787	2285.71
2	225	2	0.75	55	0.2	563.636	2972.77
3	225	3	0.75	55	0.2	260.352	3994.33
4	225	4	0.75	55	0.2	160.428	4847.68
5	225	5	0.75	55	0.2	113.956	5427.25

Figure (IV, 9) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi

La chaleur auxiliaire :

Les résultats montrent une tendance à la baisse de la chaleur auxiliaire nécessaire avec l'augmentation de la taille des capteurs solaires. Les surfaces de capteur solaires variées sont indiquées par les valeurs de chaleur auxiliaire suivantes :

- ✓ Pour surface de capteur de 1.44 m², la chaleur axiliaire est 969.785 Kwh
- ✓ A 2 m², elle est de 563.636 Kwh.
- ✓ A 3 m², elle est de 260.352 Kwh.
- ✓ A 4 m², elle est de 160.428 Kwh.
- ✓ Et à 5 m², elle est de 113.636 Kwh.

L'augmentation de la surface des capteurs solaires permet une captation plus efficace de l'énergie solaire, ce qui peut réduire voire éliminer le besoin de chaleur auxiliaire, surtout pendant les périodes ensoleillées. Cela signifie que les capteurs plus grands peuvent souvent satisfaire la demande en eau chaude sans recourir à une source de chaleur complémentaire. De plus, avec des panneaux solaires thermiques performants, la dépendance à la chaleur auxiliaire diminue durant les périodes où l'énergie solaire est abondante. Si les capteurs solaires fournissent toute l'énergie nécessaire pour atteindre la température d'eau souhaitée, l'utilisation de chaleur auxiliaire peut être considérablement réduite. Cette optimisation de la taille des capteurs est donc cruciale pour améliorer l'efficacité énergétique globale du système de chauffe-eau solaire.

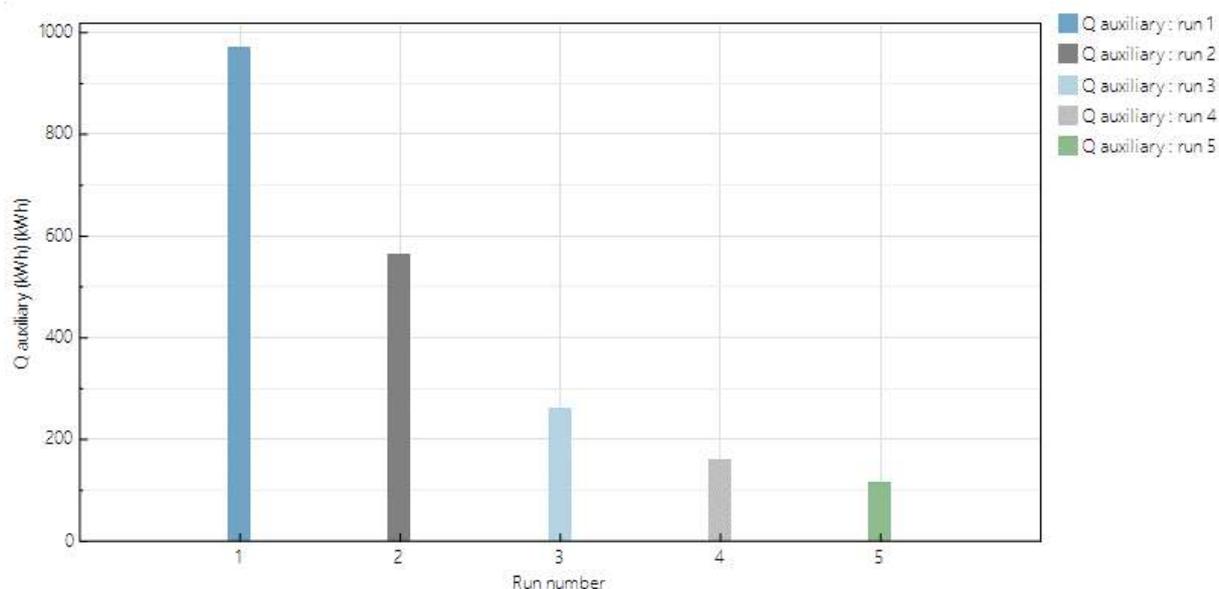


Figure (IV, 10) : la chaleur auxiliaire par rapport la surface de capteur

La chaleur délivrée :

La simulation démontre que la chaleur délivrée par le système de chauffe-eau solaire s'accroît avec l'élargissement de la surface des capteurs. Les différentes performances des surfaces de capteurs sont indiquées par les valeurs de chaleur délivrée suivantes :

- ✓ Pour surface de capteur de 1.44 m², la chaleur délivrée est 2287.71 Kwh
- ✓ A 2 m², elle est de 2972.77 Kwh.
- ✓ A 3 m², elle est de 3994.33 Kwh.
- ✓ A 4 m², elle est de 484.68.68 Kwh.
- ✓ Et à 5 m², elle est de 5427.25 Kwh.

L'augmentation de la surface des capteurs solaires permet de capter davantage d'énergie solaire, ce qui se traduit par une plus grande quantité de chaleur produite. Cette énergie captée est ensuite convertie en chaleur pour réchauffer l'eau stockée dans le réservoir. Par conséquent, une surface de capteur plus grande non seulement améliore la production d'eau chaude mais permet également au système de mieux répondre aux besoins accrus en eau chaude. Cela est particulièrement avantageux pendant les périodes de forte demande, où le système peut fournir de l'eau chaude de manière plus autonome, réduisant ainsi la nécessité de recourir à des sources d'énergie supplémentaires.

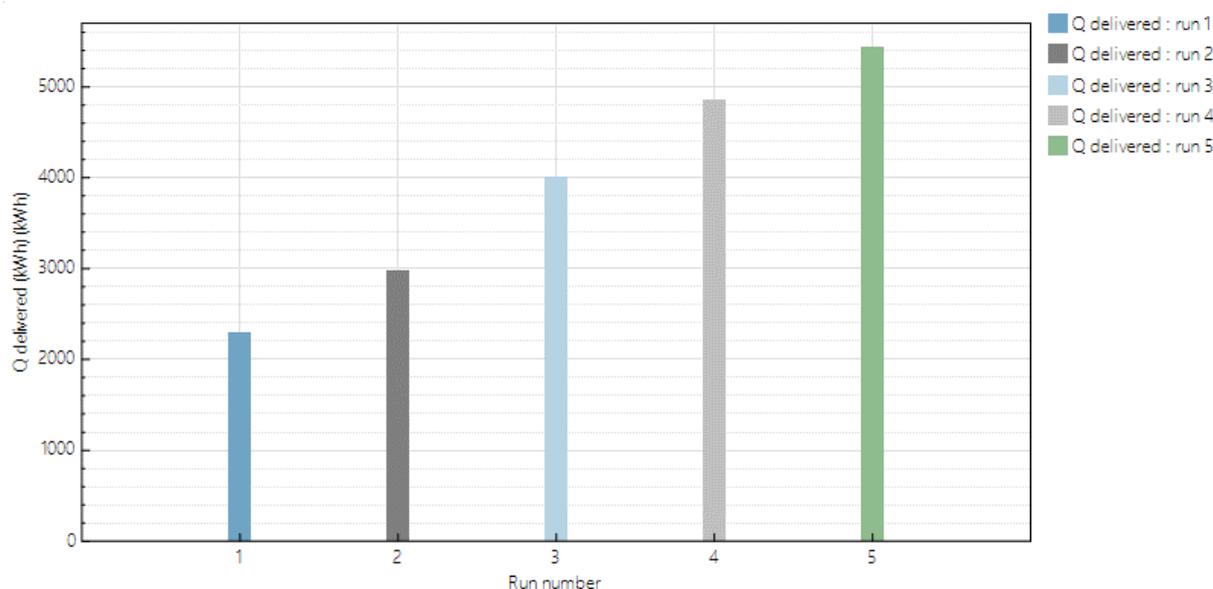


Figure (IV, 11) : la chaleur délivrée par rapport la surface de capteur

La fraction solaire :

Voici les valeurs de fraction solaire correspondant à différents surfaces de capteurs.

- ✓ Pour surface de capteur de 1.44 m², la fraction solaire est 0.65.
- ✓ A 2 m², elle est de 0.78.
- ✓ A 3 m², elle est de 0.88.
- ✓ A 4 m², elle est de 0.91.
- ✓ Et à 5 m², elle est de 0.93.

Les résultats de l'étude indiquent que la fraction solaire, qui est le ratio de l'énergie solaire utilisée par rapport à l'énergie totale nécessaire pour chauffer l'eau, s'accroît avec l'élargissement de la surface des capteurs solaires. Cette augmentation de la fraction solaire est due à plusieurs facteurs. Premièrement, une surface de capteur plus grande a une capacité accrue d'absorption de l'énergie solaire, ce qui augmente la quantité d'énergie thermique fournie par le soleil pour le chauffage de l'eau. En conséquence, la part de l'énergie solaire dans la production totale d'énergie s'élève.

De plus, un capteur plus grand permet au système de chauffe-eau solaire de répondre plus efficacement aux besoins en eau chaude, en exploitant davantage l'énergie solaire et en réduisant ainsi la dépendance à la chaleur auxiliaire. Cette efficacité accrue signifie que, même pendant les jours nuageux ou les périodes de rayonnement solaire variable, le système peut maintenir une production d'eau chaude adéquate grâce à sa capacité à utiliser l'énergie solaire de manière optimale. En somme, plus la surface des capteurs solaires est importante, plus la fraction solaire est élevée, traduisant une utilisation plus efficace de l'énergie solaire pour satisfaire les besoins en eau chaude, tout en contribuant à la durabilité et à l'efficacité énergétique du système.

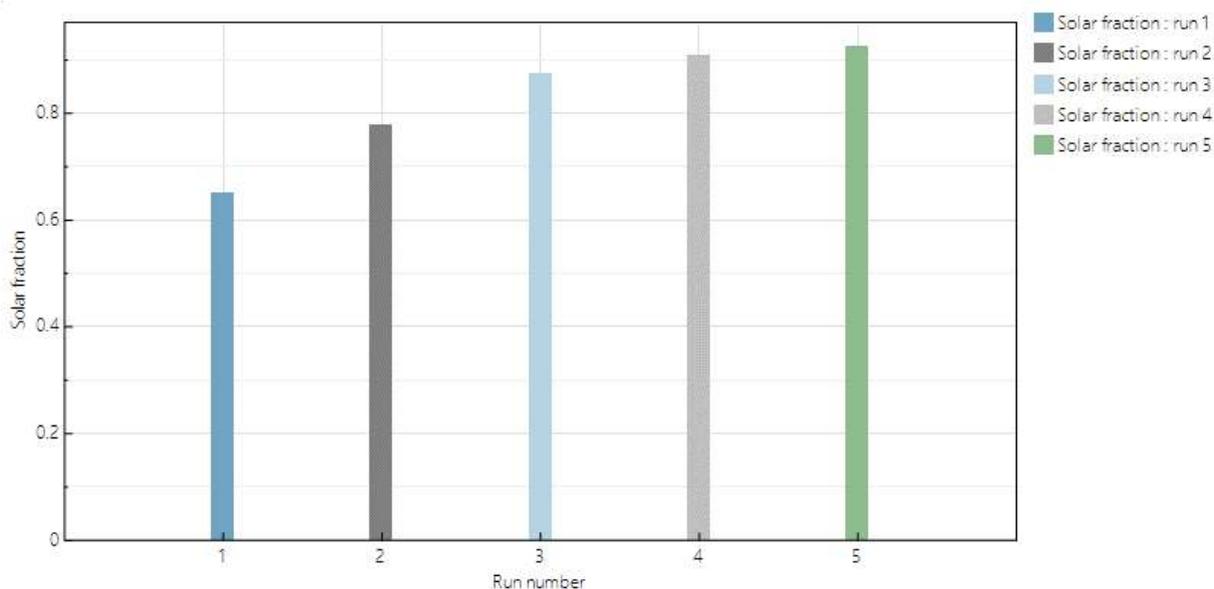


Figure (IV, 12) : la fraction solaire par rapport la surface de capteur solaire

IV.3.3 Le volume de réservoir

Dans le cadre de cette étude paramétrique, le volume du réservoir a été modifié pour cinq configurations différentes, avec les volumes suivants : 0.2 m³, 0.25 m³, 0.3 m³, 0.35 m³ et 0.4 m³. Tous les autres facteurs, tels que la demande quotidienne estimée, la surface du collecteur solaire, l'efficacité de l'échangeur de chaleur et la température de sortie de l'eau, sont restés inchangés. Les résultats obtenus pour chaque volume de réservoir sont présentés ci-dessous :

Il est à noter que le volume du réservoir influence la capacité du système à stocker l'eau chaude. Un volume plus grand permet de conserver davantage d'eau chaude, ce qui peut être avantageux pendant les périodes de forte demande ou lorsque l'apport en énergie solaire est limité. Cela peut également contribuer à une meilleure régulation de la température de l'eau tout au long de la journée. Les résultats de cette analyse aideront à déterminer le volume de réservoir optimal pour un rendement énergétique maximal et une satisfaction des besoins en eau chaude.

	Average daily hot water usage (kg/day) ^	Collector area (m2)	Heat exchanger effectiveness (0..1)	Outlet set temperature (C)	Solar tank volume (m3)	Q auxiliary (kWh)	Q delivered (kWh)
1	225	1.44	0.75	55	0.2	969.787	2285.71
2	225	1.44	0.75	55	0.25	1014.75	2212.79
3	225	1.44	0.75	55	0.3	1049.66	2162.68
4	225	1.44	0.75	55	0.35	1087.6	2116.1
5	225	1.44	0.75	55	0.4	1119.71	2079.19

Figure (IV, 13) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi

La chaleur auxiliaire :

Les données de la simulation révèlent que la nécessité de chaleur auxiliaire s'accroît avec l'augmentation du volume de stockage dans le système de chauffe-eau solaire.

Les différents volumes de réservoirs sont présentés par les valeurs de chaleur auxiliaires suivantes :

- ✓ Pour volume de reservoir de 0.2 m³, la chaleur axiliaire est 969.785 Kwh

- ✓ A 0.25m³, elle est de 1014.75 Kwh.
- ✓ A 0.3 m³, elle est de 1049.66 Kwh.
- ✓ A 0.35 m³, elle est de 1087.6Kwh.
- ✓ Et à 0.4 m³, elle est de 1119.71 Kwh.

Cette augmentation s'explique par plusieurs facteurs. Un réservoir plus grand peut signifier une consommation accrue d'eau chaude due à un nombre plus élevé d'utilisateurs ou à une demande globale plus importante. Pour satisfaire cette demande et maintenir une température constante de l'eau, il peut être nécessaire de fournir plus de chaleur auxiliaire. De plus, un volume plus important peut rendre plus difficile le maintien de la température souhaitée uniquement avec l'énergie solaire, surtout pendant les périodes de faible ensoleillement. Pour compenser les pertes thermiques dues au volume accru d'eau, une quantité supplémentaire de chaleur auxiliaire peut être nécessaire. Enfin, lors de conditions météorologiques moins favorables, comme des jours nuageux ou pluvieux, la production d'énergie solaire peut être insuffisante pour chauffer un grand volume d'eau, ce qui nécessite une utilisation accrue de la chaleur auxiliaire.

En somme, un volume de réservoir plus grand dans un système de chauffe-eau solaire peut entraîner un besoin accru de chaleur auxiliaire pour répondre à la demande en eau chaude, maintenir la température de l'eau et pallier les variations de l'énergie solaire dues aux conditions météorologiques. Cela souligne l'importance d'une conception et d'une gestion optimales du système pour équilibrer la capacité de stockage et l'efficacité énergétique.

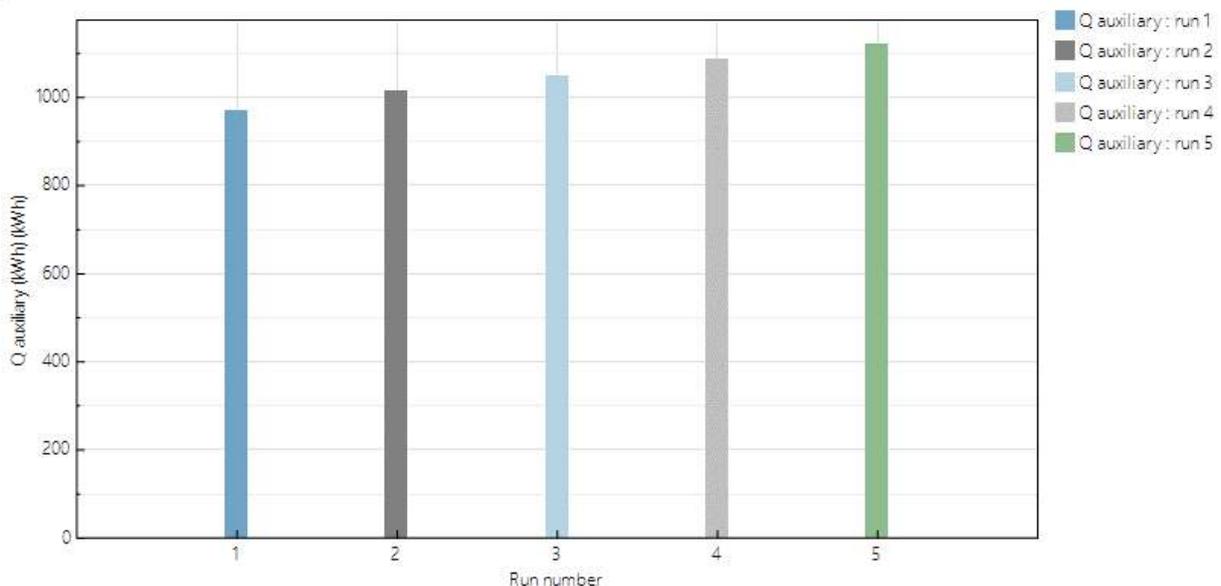


Figure (IV, 14) : la chaleur auxiliaire par rapport le volume de réservoir

La chaleur délivrée :

La simulation révèle que la quantité de chaleur délivrée diminue à mesure que le volume de stockage augmente.

Les diverses volumes de stockage sont représentées par les valeurs de chaleur axiliaires suivantes :

- ✓ Pour volume de reservoir de 0.2 m³, la chaleur délivrée est 2285.71 Kwh

- ✓ A 0.25m³, elle est de 2212.79 Kwh.
- ✓ A 0.3 m³, elle est de 212.68 Kwh.
- ✓ A 0.35 m³, elle est de 2116.1 Kwh.
- ✓ Et à 0.4 m³, elle est de 2079.19 Kwh.

Cette tendance à la baisse peut être attribuée à plusieurs facteurs. Un réservoir plus grand signifie que la chaleur provenant de l'énergie solaire est répartie sur une plus grande quantité d'eau, ce qui peut entraîner une température moyenne plus basse de l'eau stockée. Par conséquent, la chaleur perçue délivrée par le système peut sembler réduite. De plus, un réservoir de plus grande taille présente une surface externe plus importante, ce qui peut conduire à des pertes thermiques accrues à travers les parois du réservoir, surtout si l'isolation n'est pas optimale. Ces pertes thermiques peuvent réduire la quantité de chaleur disponible pour l'utilisateur final.

En outre, un volume de stockage plus important peut nécessiter plus de temps pour que l'eau atteigne la température souhaitée, ce qui peut être particulièrement notable pendant les périodes de faible ensoleillement ou lorsque la demande en eau chaude est élevée. Cela implique que, bien que le système puisse stocker plus d'eau chaude, la chaleur disponible à un moment donné peut être inférieure en raison de la distribution de l'énergie sur un plus grand volume d'eau et des pertes thermiques associées. Ainsi, l'augmentation du volume de stockage dans un système de chauffe-eau solaire doit être soigneusement évaluée pour équilibrer la capacité de stockage avec l'efficacité de la production de chaleur et la satisfaction des besoins en eau chaude.

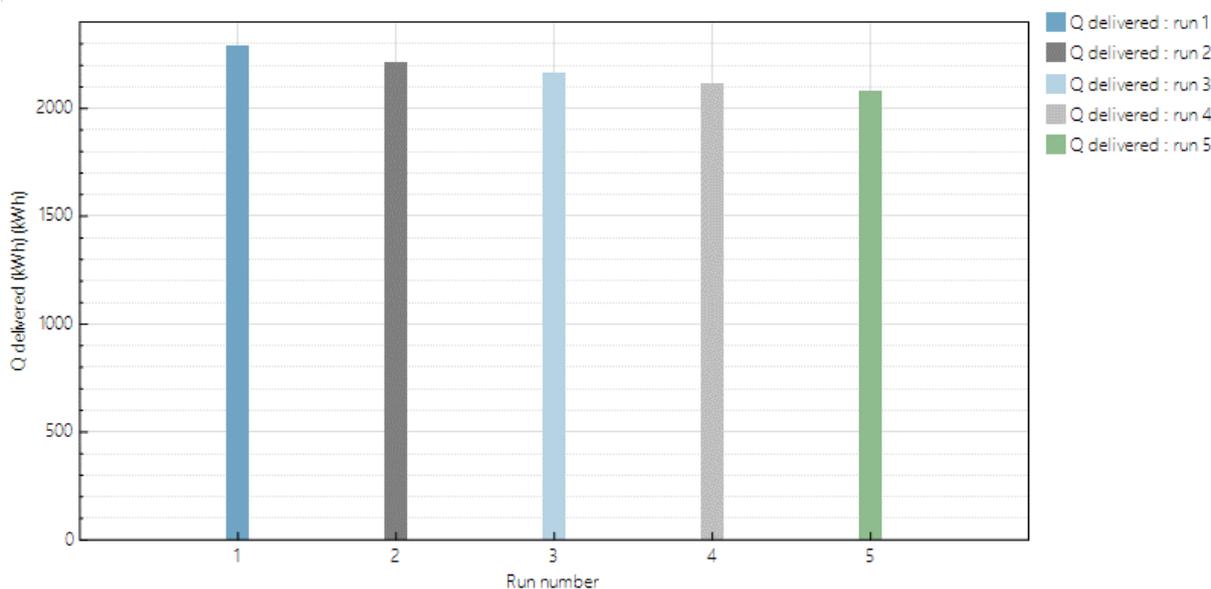


Figure (IV, 15) : la chaleur délivrée par rapport le volume de réservoir

La fraction solaire :

La simulation révèle que la fraction solaire diminue à mesure que le volume de stockage augmente.

- ✓ Pour volume de reservoir de 0.2 m³, la fraction solaire est 0.64
- ✓ A 0.25m³, elle est de 0.63

- ✓ A 0.3 m³, elle est de 0.62
- ✓ A 0.35 m³, elle est de 0.61
- ✓ Et à 0.4 m³, elle est de 0.60

Les observations montrent que la part de l'énergie solaire utilisée, ou la fraction solaire, diminue à mesure que le volume de stockage augmente dans un système de chauffe-eau solaire. Cette tendance s'explique par plusieurs mécanismes. Lorsque le volume du réservoir est agrandi, la chaleur solaire captée est répartie sur une plus grande quantité d'eau, ce qui entraîne une concentration moindre de l'énergie solaire et, par conséquent, une réduction de la fraction solaire. En outre, un réservoir plus grand présente souvent une surface externe plus vaste en proportion de son volume, ce qui peut accroître les déperditions thermiques à travers ses parois et diminuer l'efficacité de la rétention de la chaleur solaire. Ces pertes de chaleur additionnelles contribuent aussi à la baisse de la fraction solaire.

De plus, un réservoir de plus grand volume pourrait nécessiter un collecteur solaire de capacité inadéquate, incapable de capter suffisamment l'énergie solaire disponible, menant à une utilisation sous-optimale de l'énergie solaire collectée par rapport à la capacité augmentée du réservoir. Cela se traduit par une réduction supplémentaire de la fraction solaire. En résumé, l'élargissement du volume de stockage dans un chauffe-eau solaire peut mener à une baisse de la fraction solaire due à la dilution de l'énergie solaire, à l'augmentation des pertes thermiques et à l'utilisation inefficace de l'énergie solaire captée.

Pour approfondir, il est important de noter que la conception optimale d'un réservoir doit prendre en compte le ratio entre la surface de captation et le volume de stockage pour maximiser l'efficacité énergétique. Un équilibre doit être trouvé entre la capacité de stockage et la capacité de captation pour assurer que la chaleur solaire captée soit utilisée de manière optimale. Des études thermodynamiques peuvent aider à déterminer ce ratio idéal et à concevoir des systèmes de chauffe-eau solaire plus efficaces, réduisant ainsi les coûts énergétiques et l'impact environnemental.

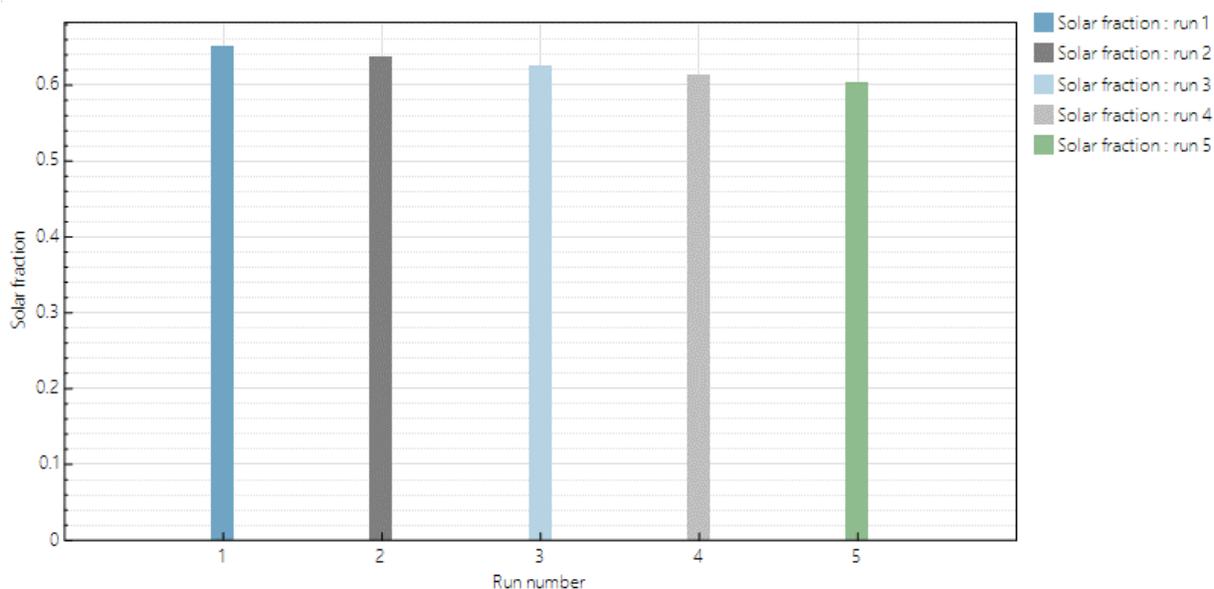


Figure (IV, 16) : la fraction solaire par rapport le volume de réservoir

IV.3.4 L'efficacité d'échangeur de chaleur :

Dans cette étude paramétrique, nous faisons varier les valeurs d'efficacité d'échangeur de chaleur pour cinq cas, ceux-ci sont définis par les valeurs suivantes : (0.75 ,0.8 ,0.85 ,0.9 ,0.95)

Concernant les autres paramètres (estimation journalier de besoin, la surface de collecteur, volume de réservoir, température de sortie) les valeurs sont constantes et on obtient les résultats suivants :

	Average daily hot water usage (kg/day) *	Collector area (m2)	Heat exchanger effectiveness (0..1)	Outlet set temperature (C)	Solar tank volume (m3)	Q auxiliary (kWh)	Q delivered (kWh)
1	225	1,44	0.75	55	0,2	969.787	2285.71
2	225	1,44	0.8	55	0,2	943.693	2322.01
3	225	1,44	0.85	55	0,2	920.532	2355.05
4	225	1,44	0.9	55	0,2	899.751	2385.24
5	225	1,44	0.95	55	0,2	880.86	2413.11

Figure (IV, 17) : tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi

La chaleur auxiliaire:

Les simulations révèlent une corrélation inverse entre la chaleur auxiliaire requise et l'efficacité de l'échangeur de chaleur dans un système de chauffe-eau solaire. Voici les valeurs de chaleur auxiliaire correspondant à différentes efficacités de l'échangeur :

- Pour une efficacité de 0.75, la chaleur auxiliaire est de 969.787 kwh.
- À 0.80, elle est de 943.693 kwh.
- À 0.85, elle est de 920 kwh.
- À 0.90, elle est de 899.86 kwh.
- Et à 0.95, elle est de 880.86 kwh.

Une efficacité accrue de l'échangeur de chaleur signifie que plus de chaleur provenant de l'énergie solaire captée est transférée à l'eau, ce qui diminue le recours à la chaleur auxiliaire. En effet, une efficacité supérieure minimise les pertes thermiques durant le transfert de chaleur, permettant ainsi une utilisation plus efficace de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau et réduisant le besoin de chaleur supplémentaire pour compenser ces pertes. De plus, l'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire disponible maximise l'apport de cette dernière dans le processus de chauffage, limitant d'autant le besoin en chaleur auxiliaire.

L'amélioration de l'efficacité de l'échangeur de chaleur entraîne donc une meilleure transmission de la chaleur, une réduction des pertes thermiques et une augmentation de l'utilisation de l'énergie solaire, ce qui se traduit par une réduction significative de la quantité de chaleur auxiliaire nécessaire.

Pour enrichir l'analyse, il est pertinent de considérer l'impact de l'efficacité de l'échangeur sur la durabilité et les coûts opérationnels du système. Un échangeur hautement efficace peut contribuer à une réduction des émissions de gaz à effet de serre en limitant l'utilisation de sources d'énergie non renouvelables pour la production de chaleur auxiliaire. De plus, cela peut entraîner une baisse des coûts énergétiques sur le long terme, rendant le système de chauffe-eau solaire plus économique et écologique. Il est également essentiel d'évaluer la durée de vie et la fiabilité de l'échangeur de chaleur, car un équipement plus efficace mais moins durable pourrait ne pas offrir les avantages économiques escomptés sur toute sa durée de service.

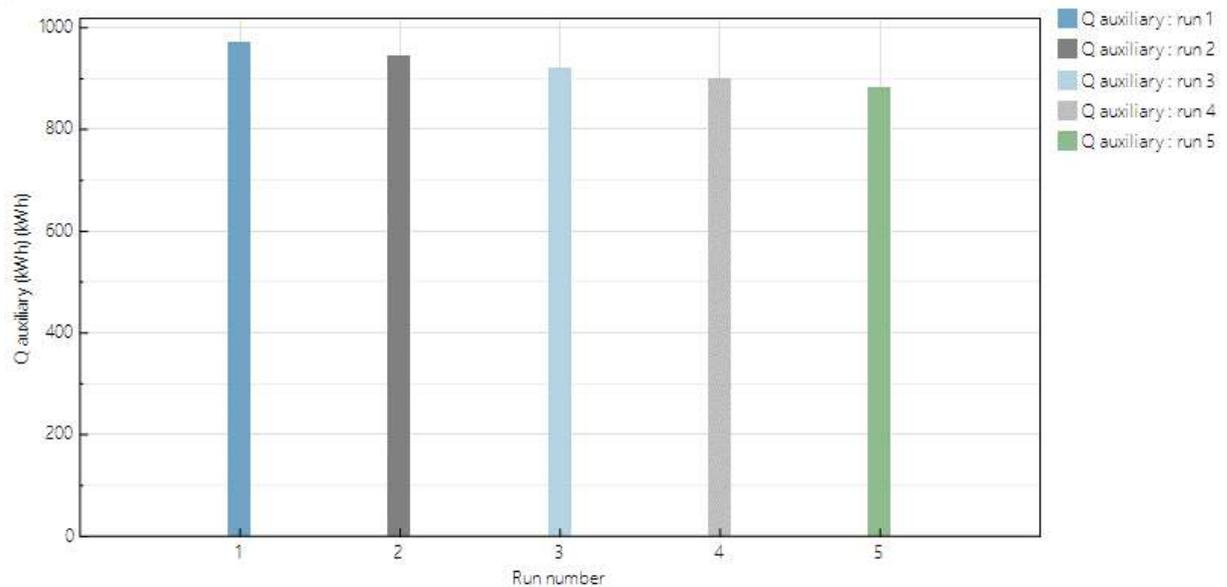


Figure (IV, 18) : la chaleur auxiliaire par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur

La chaleur délivrée :

Les résultats de la simulation indiquent une augmentation de la chaleur délivrée par l'échangeur de chaleur à mesure que son efficacité s'améliore. Voici les quantités de chaleur délivrées correspondant aux différentes efficacités :

- ✓ À une efficacité de 0.75, la chaleur délivrée est de 2285.71 kwh.
- ✓ À 0.80, elle est de 2322.01 kwh.
- ✓ À 0.85, elle est de 2355.05 kwh.
- ✓ À 0.90, elle est de 2385.24 kwh.
- ✓ Et à 0.95, elle est de 2413.11 kwh.

Une efficacité accrue de l'échangeur de chaleur permet de transférer plus de chaleur solaire captée vers l'eau, ce qui augmente la quantité de chaleur disponible pour le chauffage de l'eau. Cela entraîne une production thermique plus rapide, une utilisation plus efficace de l'énergie solaire et une meilleure conservation de la chaleur au sein du système. En améliorant l'efficacité de conversion de l'énergie solaire, le système peut transformer la lumière du soleil en chaleur de manière plus efficace, augmentant ainsi l'énergie disponible pour la production d'eau chaude. De plus, une meilleure efficacité de stockage thermique signifie que la chaleur solaire est mieux retenue, permettant au système de fournir de la chaleur sur une période prolongée.

En somme, une meilleure efficacité de l'échangeur de chaleur garantit que toute l'eau dans le système reçoit la quantité de chaleur nécessaire, optimisant ainsi l'utilisation de l'énergie solaire captée. En d'autres termes, l'augmentation de l'efficacité des échangeurs de chaleur dans les systèmes de chauffe-eau solaire signifie qu'ils peuvent capturer, conserver et distribuer l'énergie solaire plus efficacement, fournissant ainsi une plus grande quantité de chaleur pour le chauffage de l'eau.

Pour compléter cette information, il est essentiel de souligner que l'efficacité de l'échangeur de chaleur influence directement la performance globale du système de chauffe-

eau solaire. Un échangeur hautement efficace peut réduire la nécessité de recourir à des sources d'énergie supplémentaires, telles que l'électricité ou le gaz, pour maintenir la température de l'eau, ce qui se traduit par des économies d'énergie et une réduction des coûts opérationnels. De plus, cela contribue à la durabilité environnementale en diminuant la dépendance aux combustibles fossiles et en réduisant l'empreinte carbone du système. Il est également important de considérer la durabilité et la maintenance de l'échangeur de chaleur, car un équipement plus efficace mais nécessitant une maintenance fréquente pourrait ne pas être économiquement viable à long terme.

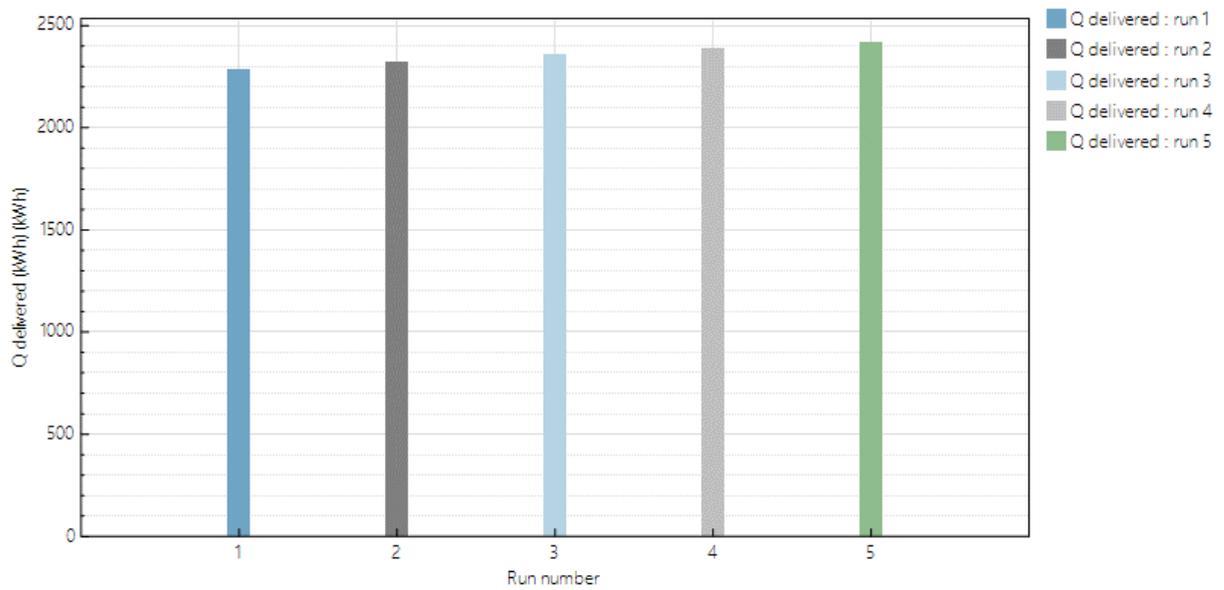


Figure (IV, 19) : la chaleur délivrée par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur

La fraction solaire :

Les résultats de la simulation indiquent une augmentation de la fraction solaire par l'échangeur de chaleur.

Les efficacités variées de l'échangeur sont indiquées par les valeurs de la fraction solaire :

- ✓ Pour l'efficacité d'échangeur de 0.75, la fraction solaire est 0.63
- ✓ A 0.8, elle est de 0.64
- ✓ A 0.85, elle est de 0.65
- ✓ A 0.9, elle est de 0.66
- ✓ Et à 0.95, elle est de 0.67

Les données indiquent que l'accroissement de la fraction solaire reste relativement constant avec l'amélioration de l'efficacité de l'échangeur de chaleur. L'optimisation de l'échangeur de chaleur favorise une distribution d'énergie plus uniforme grâce à sa capacité accrue à capturer, conserver et exploiter l'énergie solaire. Cette amélioration peut entraîner une utilisation plus stable de l'énergie solaire, assurant une performance constante malgré les variations des conditions environnementales.

Pour ajouter à cela, il est important de souligner que la stabilité de la fraction solaire, même avec une efficacité accrue de l'échangeur, suggère une conception robuste du système qui peut gérer efficacement les fluctuations de l'énergie solaire disponible. Cela implique que

le système est bien dimensionné pour son environnement et peut maintenir une performance énergétique optimale sans dépendre excessivement de l'efficacité de l'échangeur. Une telle stabilité est cruciale pour la fiabilité à long terme du système de chauffe-eau solaire, réduisant le besoin de maintenance fréquente et assurant une fourniture d'eau chaude constante.

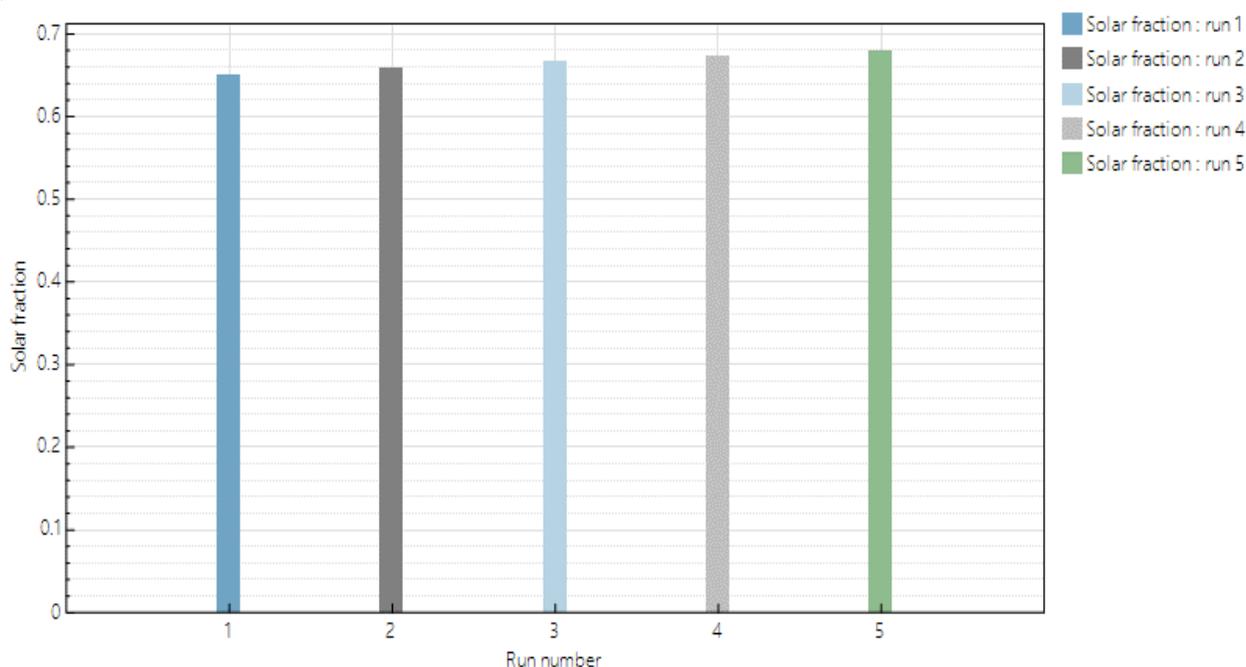


Figure (IV, 20) : la fraction solaire par rapport l'efficacité d'échangeur de chaleur

IV.3.5 La température sortie :

Dans cette analyse paramétrique, les températures de sortie d'eau ont été ajustées selon les valeurs suivantes : (55 C, 60 C, 65 C, 70 C, 75 C). Les autres variables, telles que la demande quotidienne estimée, la surface du collecteur, le volume du réservoir et l'efficacité de l'échangeur de chaleur, sont restées inchangées. Les résultats obtenus sont les suivants :

Pour enrichir ces informations, il est pertinent de noter que la température de sortie d'eau est un paramètre crucial dans la performance d'un système de chauffe-eau solaire. Des températures de sortie plus élevées peuvent nécessiter plus d'énergie solaire pour maintenir la température désirée, ce qui peut influencer la conception et la taille du collecteur solaire ainsi que l'efficacité globale du système. Il est donc essentiel d'optimiser ce paramètre pour assurer un équilibre entre l'efficacité énergétique et la satisfaction des besoins en eau chaude.

	Average daily hot water usage (kg/day) ^	Collector area (m2)	Heat exchanger effectiveness (0..1)	Outlet set temperature (C)	Solar tank volume (m3)	Q auxiliary (kWh)	Q delivered (kWh)
1	225	1.44	0.75	55	0.2	969.787	2285.71
2	225	1.44	0.75	60	0.2	1391.33	2285.71
3	225	1.44	0.75	65	0.2	1860.28	2285.71
4	225	1.44	0.75	70	0.2	2337.09	2285.71
5	225	1.44	0.75	75	0.2	2814.04	2285.71

Figure (IV, 21) tableau présente les données de l'étude paramétrique de notre système choisi

La chaleur auxiliaire :

Les simulations indiquent que la demande en chaleur auxiliaire s'accroît avec l'élévation de la température de sortie d'eau. Voici les valeurs correspondantes :

- ✓ À 55°C, la chaleur auxiliaire est de 969.787 kWh.
- ✓ À 60°C, elle est de 1391.33 kWh.
- ✓ À 65°C, elle est de 1860.28 kWh.
- ✓ À 70°C, elle est de 2337.09 kWh.
- ✓ À 75°C, elle est de 2914.04 kWh.

L'augmentation de la température de sortie dans un système de chauffe-eau solaire implique une plus grande consommation de chaleur pour élever l'eau à la température désirée. Cela peut nécessiter un complément à l'énergie solaire captée, augmentant ainsi l'utilisation de la chaleur auxiliaire pour atteindre la température cible. De plus, des températures de sortie plus élevées peuvent entraîner des pertes thermiques accrues lors du transport de l'eau chaude, ce qui exige une quantité supplémentaire de chaleur auxiliaire pour compenser ces pertes et maintenir une température constante jusqu'à l'utilisation finale. En résumé, une température de sortie plus élevée dans un système de chauffe-eau solaire se traduit souvent par un besoin accru en chaleur auxiliaire pour assurer un approvisionnement continu et adéquat en eau chaude.

Pour approfondir, il est essentiel de considérer l'impact de la température de sortie sur l'efficacité globale du système. Des températures plus élevées peuvent nécessiter des ajustements dans la conception du système, comme l'augmentation de la taille du collecteur solaire ou l'amélioration de l'isolation pour minimiser les pertes thermiques. Une analyse détaillée des coûts et bénéfices peut aider à déterminer la température de sortie optimale, équilibrant les besoins en confort et les considérations d'efficacité énergétique.

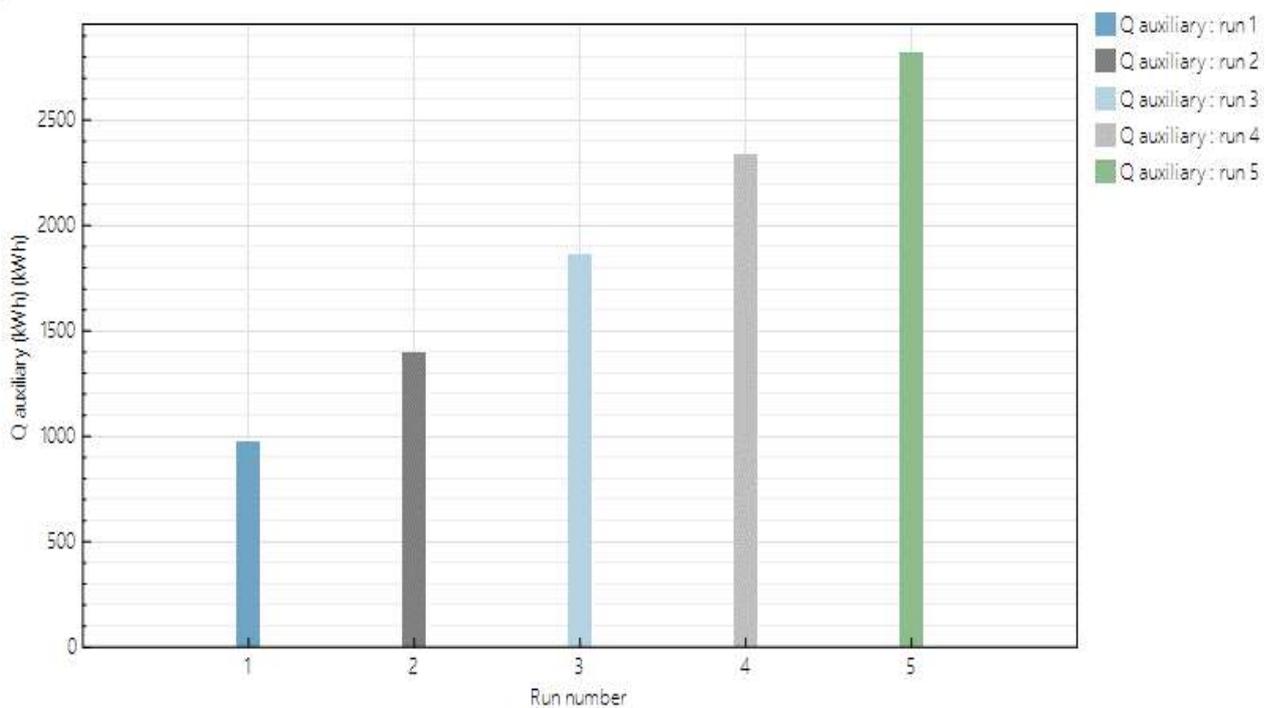


Figure (IV, 22) : la chaleur auxiliaire par rapport de température sortie

La chaleur délivrée :

La simulation révèle que la quantité de chaleur fournie reste inchangée malgré l'augmentation de la température de sortie d'eau. Pour toutes les températures testées, Voici la quantité de chaleur délivrées correspondant aux différentes efficacités

- ✓ De 55°C à 75°C, la chaleur fournie est constante à 2285.71 kWh.

Cette constance s'explique par la capacité du système de chauffe-eau solaire à élever la température de l'eau sans nécessiter d'énergie thermique supplémentaire, grâce à l'efficacité avec laquelle il utilise l'énergie solaire captée. En conséquence, la chaleur délivrée par le système reste stable, tirant parti de l'énergie solaire, une ressource renouvelable et sans coût. Le système est conçu pour ajuster la quantité de chaleur auxiliaire requise afin de maintenir une température constante de l'eau, même lorsque la température de sortie augmente.

Pour compléter ces informations, il est important de souligner que la capacité d'un système de chauffe-eau solaire à maintenir une production de chaleur constante, indépendamment de la température de sortie, est un indicateur de son efficacité énergétique. Cela démontre que le système peut s'adapter aux besoins en eau chaude sans gaspillage d'énergie, ce qui est bénéfique tant sur le plan économique qu'écologique. De plus, cela peut réduire la nécessité d'utiliser des sources d'énergie complémentaires, contribuant ainsi à la durabilité du système et à la réduction de l'empreinte carbone.

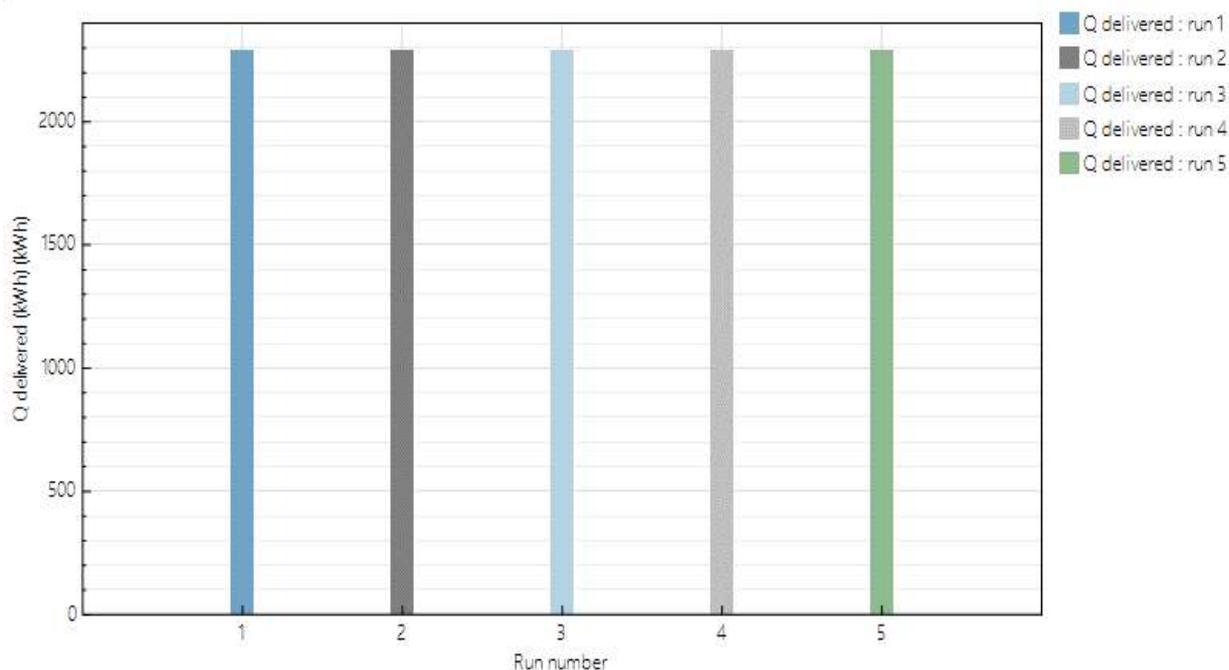


Figure (IV, 23) : la chaleur délivrée par rapport de température sortie

Fraction solaire :

Les différentes performances de la temperatures sont illustrées par les valeurs de la fraction solaire suivites :

- ✓ Pour température de sortie de 55°C, la fraction solaire est 0.64
- ✓ A 60°C, elle est de 0.59
- ✓ A 65°C, elle est de 0.51
- ✓ A 70°C, elle est de 0.48
- ✓ Et à 75°C, elle est de 0.41

Les résultats de la simulation suggèrent que la part de l'énergie solaire directement utilisée pour le chauffage de l'eau, connue sous le nom de fraction solaire, tend à diminuer à mesure que la température de sortie de l'eau augmente. Cette tendance peut être attribuée à une utilisation accrue de la chaleur auxiliaire, qui compense la chaleur nécessaire pour atteindre des températures de sortie plus élevées, réduisant ainsi la part relative de l'énergie solaire dans le processus de chauffage. En conséquence, une élévation de la température de l'eau chaude dans un système de chauffe-eau solaire peut entraîner une baisse de la fraction solaire, due à une moindre utilisation de l'énergie solaire, à des pertes thermiques plus importantes et à une utilisation moins efficace de l'énergie solaire captée.

Pour ajouter à cette analyse, il est important de considérer que la gestion de la température de sortie est un aspect clé de la conception d'un système de chauffe-eau solaire. Un équilibre doit être maintenu entre atteindre les températures de sortie souhaitées et maximiser l'utilisation de l'énergie solaire, afin de garantir une efficacité énergétique optimale et de minimiser la dépendance à des sources d'énergie complémentaires. Des stratégies telles que l'amélioration de l'isolation thermique et l'optimisation de la taille des collecteurs solaires peuvent aider à maintenir une fraction solaire élevée tout en répondant aux exigences de température de l'eau.

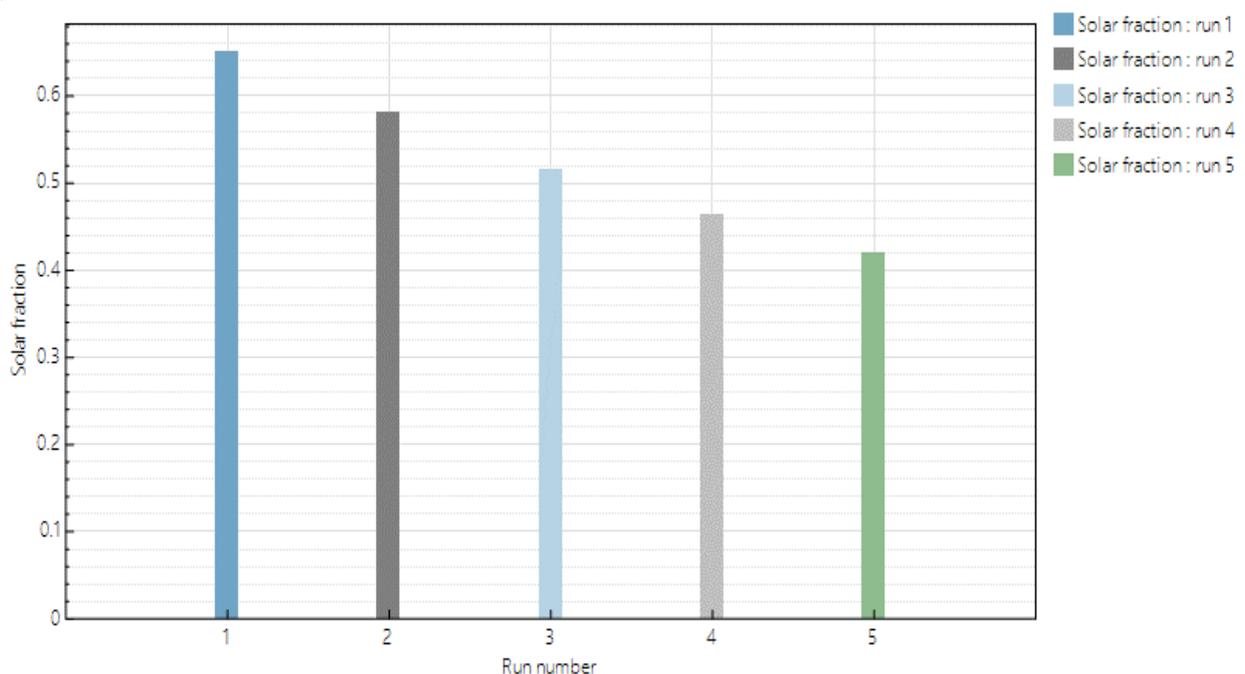
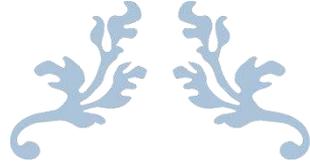


Figure (IV, 24) : la fraction solaire par rapport la température sortie

Conclusion :

En conclusion, cette étude paramétrique sur le système de chauffe-eau solaire à Ain Temouchent a mis en lumière l'influence significative des paramètres des composants sur l'efficacité globale du système et sur la production d'eau chaude. Les variations de l'efficacité de l'échangeur de chaleur, des températures de sortie d'eau et du volume de stockage ont démontré leur impact sur la quantité de chaleur auxiliaire nécessaire, la chaleur délivrée et la fraction solaire du système. Ces résultats sont essentiels pour guider les efforts d'optimisation future de la technologie des chauffe-eau solaires dans cette région, en mettant l'accent sur l'équilibre entre l'efficacité énergétique et la satisfaction des besoins en eau chaude. L'étude souligne l'importance d'une conception soignée qui maximise l'utilisation de l'énergie solaire tout en minimisant la dépendance aux sources d'énergie complémentaires, contribuant ainsi à la durabilité environnementale et à la réduction des coûts opérationnels.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES



Conclusion générale

Conclusion générale :

L'énergie renouvelable largement utilisée à travers le monde est différents domaines et l'énergie solaire est particulièrement importante dans divers domaines notamment dans la production de chaleur.

Le chauffe-eau solaire est un dispositif permettant de produire de l'eau chaude à l'aide de l'énergie solaire. Il est considéré comme une solution écologique.

Ce mécanisme est composé d'un récepteur d'énergie solaire, ballon de stockage et les conduites.

Le travail qu'on a présenté porte sur l'étude paramétrique d'un système chauffe-eau solaire et l'influence des paramètres des composants de notre système sur l'énergie produite exposé aux conditions climatique prévalant à Ain Temouchent à l'aide de logiciel Solar Advisor Model (SAM) qui nous donne des différents chaleurs et la fraction solaire dans chaque cas qu'on a mentionnée.

Les premières objectives étaient d'aborder les énergies renouvelables et les dernières technologies dans le domaine de l'énergie inépuisable et leur importance dans l'environnement, notamment l'énergie solaire et ses systèmes tel que l'énergie thermique dans le monde.

On a étudié, dans deuxième temps, l'énergie solaire et le rayonnement solaire disponible sur la terre. On a abordé la captation solaire et l'importance de l'énergie thermique.

Puis, on a représenté le système chauffe-eau solaire et examine en détail ses composants, leur fonctionnement et leur importance, ensuite on a présenté les caractéristiques techniques de notre système étudié, grâce au logiciel SAM nous pouvons analyser l'influence de paramètre clés des composants.

Dans le chapitre 04, on a discuté les résultats de notre simulation et l'influence des différents paramètres des composants sur l'énergie produite.

Les résultats de cette simulation montrent que l'augmentation de l'estimation journalière des besoins implique l'augmentation de les chaleurs délivrée et auxiliaire, l'estimation journalier des besoins est un paramètre indispensable pour produit la chaleur pour les utilisateurs.

Deuxièmes l'augmentation de la surface de capteur implique l'augmentation de la fraction solaire et la chaleur délivrée et nécessite de diminution de la chaleur auxiliaire, la surface est un paramètre important pour valoriser la production de chaleur.

Par contre l'augmentation de le volume de réservoir montre la diminution de la délivrée et une croissance de la chaleur auxiliaire et donc le volume de réservoir est un facteur influent.

Lorsque l'efficacité d'échangeur de chaleur augmente la chaleur délivrée augmente et on observe la diminution de la chaleur auxiliaire, l'efficacité est un paramètre nécessaire pour influençant l'énergie produite.

L'augmentation de la température de sortie montre la stabilité de la chaleur délivrée et une croissance de la chaleur auxiliaire et donc la température de sortie d'eau est un facteur influant.

Conclusion générale

En conclusion, l'augmentation et la diminution des paramètres des différents composants influence la production d'énergie, les chaleurs auxiliaire et délivrée et la fraction solaire.

Bibliographie :

- [1]Khadraoui Zakaria, « etude d'un centrale solaire thermique » université BADJI MOKHTAR ANNABA 2017
- [2]<https://www.environement-magazine.fr/territoires/article/2017/11/29/16082/cese-rend-son-avis-sur-les-contrats-transition-ecologique>
- [3]AZIZI Amina, « modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride » université BADJI MOKHTAR ANNABA 2019.
- [4] L. Leclercq, apport du stockage inertiel associé à des éoliennes dans un réseau électrique en vue d'assurer des services systèmes. Thèse de doctorat de l'université de Lille, Laboratoire L2EP, décembre 2004.
- [5] Belaid Nada Hibat Erreahmen, Abdallah Abderrazak, «énergie éolienne » université BADJI MOKHTAR ANNABA 2021
- [6]<https://www.eoliennes-de-provence.ch/production-et-technique/>
- [7]khelfat .L, Maataoui. L, « étude et simulation d'une éolienne à base d'une machine Asynchrone doublement alimenté » université BADJI MOKHTAR ANNABA juin 2017.
- [8]<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/jeunes-enseignants/pour-les-jeunes/lenergie-de-a-a-z/produire-de-lelectricite/quest-ce-que-lenergie-hydraulyque>
- [9]<https://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-la-biomasse/>
- [10]<https://fr.al-ain.com/article/l-energie-geothermique-pourra-t-elle-devenir-une-alernative-de-production-d-electricite>
- [11]Zahaf .H, Rahou. I, « dimensionnement et simulation d'un système multi-sources (géothermique, capteur Cylindro-parabolique et STEP) relie pour alimenter la ville touristique de BOUHANIFIA mascara » université Abdelhamid ibn badis Mostaganem, 2020.
- [12]Loïck Nossent et Loïck Hamel « l'énergie solaire : thermique et photovoltaïque ».
- [13]<https://www.planete-energies.com/fr/media/article/cellule-photovoltaique-comment-ca-marche>.
- [14]<https://www.2es.fr/fr/nos-cometences/le-solaire-thermique/>.
- [15]France rénov' « rénovation adopter le solaire thermique », novembre 2023.
- [16]CH.BENBOUZA ; Production et performance des capteurs Hybrides (PV/T) à eau intégrés la bâtiment-cas de l'Algérie, mémoire de magistère(2014)
- [17]CH.Sawsene , CH.Rania, « étude technico-économique et environnementale de capteur solaire hybride photovoltaïque/thrmique(PV/T) » 13-06-2022
- [18]keramane. A, « Maghrab : de l'interconnexion des réseaux électrique à l'intégration énergétique », rubrique : histoire mondiale de l'énergie.

[19] <https://www.mordorintelligence.com/fr/industries-reports/solar-water-heater-market>

[20] <https://fr.scribd.com/document/469003949/avantages-et-inconvenients>

[21] Mr. KHELOUI Lamine, Mr. KHEIFI Nabil « étude paramétrique d'un chauffe-eau solaire plan » université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou 2018/2019.

[22] Chris Laughton, solar domestic water heating, edition frank Jackson.

[23] « 20th World Energy Congress – Rome, November 11th- 15 th. 2007 ». Projet Maghreb – Europe : production d'hydrogène solaire phase I : étude d'opportunité et de faisabilité du projet. Bouziane MAHMAH, Maïouf BELHAMEL, Samira CHADER, Abdelhamid M'RAOUI, Farid HAROUADI, Claude ETIEVANT, Steve LECHEVALIER, Abdel-Nasser CHRIGUI.

[24] https://www.researchgate.net/figure/Composantes-du-rayonnement-solaire-Le-rayonnement-solaire-arrive-au-sol-directement-et_fig23_28532239

[25] M'SILTI Djamila, ARAIBA Maria Hiber Alleh « etude et realisation d'un suiveur solaire » université SAAD DAHLAB de BLIDA 2019/2020.

[26] ZERGUINE Bilal, modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque, université BADHI Mokhtar Annaba, 2010.

[27] <https://www.gqe.quidenr.fr/cible-10hqe/position-geometrique-soliel.php>

[28] <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcqzGxSbqlltixvQvVDfGXpWMmcVKg?projector=1&messagePartId=0.1>

[29] Ait Sai.S , Noufel. « etude de realisation d'un capteur solaire à air chaud » UMMTO 2017.

[30] Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et documentation, Paris.(1982)

[31] U, Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley sons, England. (2001)

[32] Mr. CHIBA Younes « étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire » université Mentouri constantine,

[33] sqa-art-patch.over-blog.com/article-une-de-plus-de-93759664.html

[34] ROGER BERNARD, GILBERT MENGUY, MARCEL SCHWARTZ, rayonnement solaire conversion thermique et application ' ', 2^e édition augmentée, technique et documentation Lavoisier. 11, rue Lavoisier, F 75384 Paris cedex 08, 1980 ISBN 2-85206-076-0

[35] BOUAZZA Fatima Yassmine, BENZAEMA nana mounira, « etude d'un système de chauffage complexe par la voie solaire » université ain temouchent 2017/2018

[36] A, Degionanni. Techniques de l'ingénieur, conduction, BE8200. (1981).

[37] J. A. Duffie, W. A. Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).

- [38]A, Sfeir; G, Guarracino. Ingénierie des systemes solaires, Technique et documentation, Paris, (1982).
- [39] BOUAZA HAMADOUCHE Soumia, BERRALEM Mohamed Chikh, « etude d'un chauffe-eau solaire » université Belhadj Bouchaib d'Ain temouchent 2018/2019.
- [40] <https://www.effy.fr/travaux-energitique/chauffe-eau/chauffe-eau-solaire/installation>
- [41] M. Tissot, 2eme édition, L'énergie solaire thermique et photovoltaïque.
- [42]ANGIOLETTI, Robert et DESPRETZ, Hubert. Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments- définitions. Usages. Consommation. Technique des ingénieurs (cité pages 31,32,34,35,43,173 et 175), 2004.
- [43] Nailée EBIBI, Guillaume MARTI, yang FENG, Thomas LEMAGNEM, « étude et dimensionnement d'une installation solaire thermique pour eau chaude sanitaire d'une collectivité », projet de physique P6-3, STPI/P6-3/2009-36, insa ROUEN à taille humaine, à l'échelle du monde.
- [44]https://www.solairethermique.guiden.fr/I_captur-solaire-thermique_-plan.php
- [45] Alioune Diop SY, Pr Salis GAYE, Pr Alassane DIENE, Pr Ngor SARR, « conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire » école supérieure Polytechnique 2006/2007.
- [46] BELOUI .S, « Etude des performances d'un capteur solaire thermique », université ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA 2019-2020.
- [47] BENBOUZA chaouki. « Production et performance des capteur hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment cas de l'Algérie », Magistère En Génie Climatiques, Option : THERMIQUE DU BATIMENT ET REFRIGERATION, l'Université de Constantine, (2014).
- [48] Aghilas BRAHIML « Etude de performance d'un capteur solaire plan a eau », mémoire fin d'étude dirigé par l'université de Lorraine (France), page 206, (2016).
- [49]Miller. C. W. « effect of conducting wall on a stratified fluid in a cylindre », American Institute of Aeronautics and Astronautics, Thermophysics conference, Albuquerque (1977).
- [50] Murthy. S.S. et all. "effect of wall conductivity on thermal", Solar Energy, Vol. 49, Issue 4, p 273-277, (1992).
- [51] David. B. « modélisation Et Validation expérimentale De Nouveaux Concepts De Ballons Solaires A Forte Stratification », Thèse de Doctorat, Lyon,(2010).
- [52] BOUCHTIBI Hamza, « modélisation d'un ballon de stockage thermique » université de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique (2014).
- [53] amee, agence marocaine pour l'efficacité énergétique « guide pratique : chauffe-eau solaire dans les mosquées».
- [54]fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=chauffage_solaire_de_1%27eau_sanitaire.
- [55]Alioune Idrissa NDIAYE, « étude d'un système de production d'eau chaude » université CHEIKH ANTA DIOP, (juin 2000)
- [56] Atlas Solaire TM Société d'énergie solaire.

[57] <https://sam.nrel.gov/>