



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Physique
Option : Physique des Matériaux

THÈME :

Réalisation et modélisation d'un panneau
hybride photovoltaïque thermique PV/T

Préparé par : SADAoui Kheira

Soutenu le : 10/07/2023

Devant le jury :

Président	Yassine SAHNOUNE	MCA	Université de BBA
Rapporteur	Anis IMAKHLAF	MCB	Université de BBA
Co-Rapporteur	Ben Abdellah SIMOHAMED	Ingénieur	Cadre Sonatrach
Examineur	Salim DAOUDI	Pr	Université de BBA
Examineur	Abderazzak BOUAYTA	MCA	Université de BBA

Année Universitaire 2022-2023



REMERCIEMENTS

Avant tout, je souhaite exprimer ma gratitude envers Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la capacité et la force de persévérer, qui m'a donnée le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme.

J'exprime mes vifs remerciements à mon promoteur Mr IMAKHLAF Anis, pour m'avoir encadré durant mon travail. Pour son orientation, sa confiance, sa patience.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à monsieur SIMOHAMED Ben Abdellah qui m'a aidé le long de mon travail. Un grand merci pour son accueil, sa permanente disponibilité, ses conseils pertinents, sa patience et diligence.

J'aimerais, le comité de discussion d'avoir accepté mon travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude au doyen de la faculté Amar NOUI, pour son soutien et sa présence à mes côtés.

Je voudrais remercier mes parents et mes sœurs pour tout ce qu'ils ont donné et pour m'avoir soutenu.

Je tenais à exprimer mon sincère remerciement à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, je tenais également à remercier ma famille et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mon très cher père « SADAoui Belkaseme », pour sa patience pendant le temps requis pour ce mémoire et pour ses encouragements et son soutien,

A ma chère mère « LEEBGA Malia » source d'amour et tendresse, qui n'a jamais cessé de prier pour moi, de me soutenir et de m'encourager.

A mes très chers sœurs et mon soutien Hanane, Aïcha, Amira, Fatima .

À ces deux personnes qui m'ont apporté leur soutien et encouragé depuis le début, et qui ont été un appui solide pour moi :

Bengueddoudj Abderahmen , Ahmed Tebbane.

je n'oublie pas mon cousin Gassmi Yassine

A mon cher oncle, Sadaoui Laid.

*A mon promoteur Mr Imakhlaf et monsieur Si Mohamed Ben Abd Allah ,
Houssam Bouaouinna*

A mes amis et compagnons Chaima, Messouda , Aya, Nihad , merci d'etre toujours là pour moi.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des Matières

<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>II</i>
<i>Dédicace</i>	<i>III</i>
<i>Table des Matières</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>VIII</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>X</i>
<i>La nomenclature</i>	<i>XI</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>I</i>
Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire	
<i>I.1. Introduction</i>	<i>4</i>
<i>I.2. Les énergies renouvelables</i>	<i>4</i>
I.2.1. Énergie solaire.....	<i>5</i>
I.2.2. Énergie éolienne.....	<i>5</i>
I.2.3. Énergie hydraulique	<i>6</i>
I.2.4. Biomasse	<i>6</i>
I.2.5. Géothermie.....	<i>6</i>
<i>I.3. Le gisement solaire</i>	<i>7</i>
<i>I.4. Le Soleil</i>	<i>8</i>
I.4.1. L'intérieur du soleil.....	<i>8</i>
I.4.2. La photosphère	<i>8</i>
I.4.3. La chromosphère et la couronne solaire	<i>8</i>
I.4.4. Les réactions nucléaires dans le soleil	<i>9</i>
<i>I.5. La constante solaire</i>	<i>10</i>
<i>I.6. La masse d'air</i>	<i>10</i>
<i>I.7. Aspects géométriques</i>	<i>12</i>
I.7.1. Mouvements de la Terre	<i>12</i>
I.7.2. Les coordonnées géographiques	<i>13</i>
I.7.3. Mouvement apparent du Soleil	<i>14</i>
I.7.4. Heures et temps.....	<i>15</i>
I.7.4.1. Durée du jour.....	<i>15</i>
I.7.4.2. Relation entre temps légal et temps solaire	<i>15</i>

I.7.4.3. Durée et taux d'ensoleillement.....	17
<i>I.8. Aspects énergétiques.....</i>	<i>17</i>
I.8.1. L'atmosphère terrestre	18
I.8.1.1. Structure de l'atmosphère.....	18
I.8.1.2. La composition de l'atmosphère	19
<i>I.8.2. Rayonnement solaire</i>	<i>19</i>
I.8.2.1. Rayonnement direct	20
I.8.2.2. Rayonnement diffus	20
I.8.2.3. Rayonnement global	20
I.8.2.4. Rayonnement solaire sur un plan quelconque.....	20
I.8.2.5. Albédo.....	21
<i>I.9. Le gisement solaire en Algérie</i>	<i>21</i>
<i>I.10 Rappels sur les transferts de chaleur.....</i>	<i>23</i>
I.10.1. Définitions.....	23
I.10.2. Formulation d'un problème de transfert de chaleur.....	24
<i>I.11. Semiconducteur.....</i>	<i>25</i>
I.11.1. Les meilleurs matériaux semi-conducteurs.....	25
I.11.2. Matériaux conducteurs, isolants et semi-conducteurs.....	25
I.11.3. À quelles conditions les électrons peuvent-ils être mobiles dans un matériau ?	26
I.11.4. Semi-conducteur dopé N et Semi-conducteur dopé P	26
<i>I.12. Etat de l'art.....</i>	<i>29</i>
 Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire	
<i>II.1. Introduction.....</i>	<i>30</i>
<i>II.2. Notions importantes sur les capteurs solaires</i>	<i>30</i>
II.2.1. Effet de serre.....	30
II.2.2. L'effet thermosiphon.....	31
II.2.3. Modes de transfert dans les capteurs solaires	31
II.2.3.1. Transfert par conduction	31
II.2.3.2. Transfert par convection	32
II.2.3.3. Transfert par rayonnement.....	32
II.2.4. Pertes thermiques dans un capteur solaire	33
II.2.4.1. Pertes par convection	33
II.2.4.2. Pertes par conduction	34
II.2.4.3 Pertes par rayonnement.....	34

<i>II.3. L'énergie solaire photovoltaïque</i>	34
<i>II.4. L'énergie solaire thermique</i>	34
<i>II.5. Les capteurs hybrides thermiques photovoltaïques</i>	35
<i>II.6. Différent types des capteurs solaires</i>	36
II.6.1. Capteurs à concentration.....	36
II.6.1.1. Capteur cylindro-parabolique	37
II.6.1.2. Capteur parabolique	37
II.6.1.3. Cheminée solaire	37
II.6.1.4. Tour solaire	37
II.6.2. Capteurs non concentration	38
<i>II.7. Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire</i>	38
II.7.1. Paramètres internes	39
II.7.1.1. La vitre	39
II.7.1.2. L'absorbeur	39
II.7.1.3. Forme et diamètres des pipes	39
II.7.1.4. La circulation du fluide caloporteur.....	39
II.7.1.5. L'isolation	39
II.7.1.6. L'orientation et l'inclinaison du capteur	40
II.7.2. Paramètres externe.....	40
II.7.2.1. Obstacles	40
II.7.2.2. Rayonnement solaire.....	40
II.7.2.3. Température	40
II.7.2.4. Vitesse du vent	40
<i>II.8. Conclusion</i>	40
 Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure	
<i>III.1. Introduction</i>	42
<i>III.2. Description du capteur solaire plan étudié</i>	43
III.2.1. Réalisation d'un capteur solaire thermique	44
III.2.1.1. Le coffre ou la cadre	45
III.2.1.2. Couverture verrière (verre)	45
III.2.1.3. L'absorbeur.....	45
III.2.1.4. Le serpentin	46
III.2.1.5. L'isolation thermique.....	48
III.2.1.6. Le support	49

III.2.2. Les panneaux solaires	49
<i>III.3. Les appareils utilisés pour la mesure</i>	<i>51</i>
III.3.1. Pyranomètre.....	51
III.3.2. Multimètre (Metrix)	52
III.3.3. Sondes de température.....	54
Chapitre IV : Résultats Expérimentaux et Discussions	
<i>IV.1. Introduction.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.2. Condition d'essai.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.3. Résultats et Discussions</i>	<i>56</i>
IV.3.1. Graphes des panneaux solaire	56
IV.3.2. Graphes du capteur solaire	63
<i>Conclusion générale</i>	
Annexe	
Références Bibliographiques	
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1 : Peneaux solaires photovoltaïques	5
Figure I.2 : Le panneau solaire thermique	5
Figure I.3 : Énergie éolienne.....	5
Figure I.4: Énergie hydraulique	6
Figure I.5 : Énergie biomasse	6
Figure I.6 :Énergie géothermie	7
Figure I.7 : Structure du Soleil.....	9
Figure I.8 : La distance parcourue par le rayonnement solaire dans l'atmosphère : le nombre de masse d'aire (AM) ..	11
Figure I.9 : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil	12
Figure I.10 Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donn.	13
Figure I.11 Mouvement apparent du soleil.....	14
Figure I.12 : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.....	16
Figure I.13 : Equation du temps ET et déclinaison δ en fonction du jour de l'année	16
Figure I.14 : Couches atmosphériques.....	16
Figure I.15 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol Terrestre.	19
Figure I.16 : Représentation des différents rayonnements	21
Figure I.17 : Différents composants de rayonnement.....	21
Figure I.18: Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, période 1992-2002 [Wh/m ²]	22
Figure I.19 : Isotherme et gradient thermique	23
Figure I.20: Système et bilan énergétique	24
Figure I.21 : Dopage de type N.	27
Figure I.22 : Dopage de type P.	27
Figure I.23:Structure électronique du silicium (Si), du phosphore (P) et du Bore (B).	27
Figure I.24 : Déplacement des charges vers la jonction P-N.....	28
Figure I.25 : Déplacement des charges et création d'un courant continu.	28
Figure II.1 : Effet de serre	30
Figure II.2 : Schéma du transfert de chaleur convectif.....	32
Figure II.3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif.....	33
Figure II.4 : Les différent type de transferts thermique.....	34
Figure II.5 : Capteur solaire Photovoltaïque.	36
Figure II.6 : Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire	37
Figure II.7 : capteurs cylindro-parabolique.....	37
Figure II.8 : Capteur parabolique	37
Figure II.9 : Cheminé solaire	37

<i>Figure II.10 : Tour solaire.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure II.11: Schématisation des flux convectifs dans un capteur solaire couvert de type 2</i>	<i>38</i>
<i>Figure III.1: Schéma de notre fabrication avec le logiciel Solidworks</i>	<i>43</i>
<i>Figure III. 2 : Le capteur solaire plan.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure III. 3 : Représentation schématique du capteur solaire</i>	<i>44</i>
<i>Figure III.4: La cadre de capteur solaire en bois.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure III.5: Absorbeur</i>	<i>46</i>
<i>Figure III.6: Les différentes configurations du circuit hydraulique</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.7: La serpentine du capteur solaire</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.8: Schéma de la serpentine du capteur solaire avec le logiciel Solidworks.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.9: Une serpentine soudée avec un absorbeur</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.10: Le verre de laine</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.11: Le support.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.12: Les Deux Panneaux solaires PV/T et Témoin.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III.13: Un serpent de tube parallèle.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III.14: Panneau solaire refroidi PV/T réel et en dessin en perspective cavalière</i>	<i>51</i>
<i>Figure III.15: Panneau solaire refroidi PV/T.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure III.16: Panneaux solaires témoin.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure III.17: Pyranomètres.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure III.18: Multimètres pour la mesure de courant.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.19: Deux Multimètres pour la mesure de tension</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.20: Sondes de températures</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.21: Sondes de températures installées dans un capteur solaire.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure IV.1 : Les panneaux solaires et le capteur thermique pendant les essais</i>	<i>55</i>
<i>Figure IV.2 : Irradiation Globale en fonction du temps.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure IV.3 : Puissance du panneau PV/T en fonction de temps.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure IV.4 : Puissance du panneau témoin en fonction du temps.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure IV.5 : Différences les panneaux PV/T et Témoin</i>	<i>59</i>
<i>Figure IV.6 : Model validation – Partly cloudy (Day type 2).....</i>	<i>59</i>
<i>Figure IV.7 : Variation de la puissance en fonction de la température.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure IV.8 : Puissance PV maximale pour différentes températures d'entrée du fluide.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure IV.9 : Rendement de conversion en fonction de la température.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure IV.10: Le rendement de la cellule en fonction de la température de la cellule.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure IV.11 : Puissance en fonction de l'irradiation au cours de temps.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure IV.12: puissance instantanée</i>	<i>62</i>
<i>Figure IV.13: Rendement instantané en fonction du temps</i>	<i>64</i>
<i>Figure IV.14 : Rendement en fonction de ΔT</i>	<i>64</i>

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse	12
Tableau I.2:Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées.	20
Tableau I.3: potentiel solaire en Algérie.....	22
Tableau III.1: Matériaux utilisés comme absorbeurs.....	46
Tableau IV.1 : Résultats obtenus de panneau solaire refroidi et du panneau témoin.....	56
Tableau IV.2 : Résultats obtenus de capteur solaire dans le jour (12/06/2023).....	63

La nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
I_0	La constante solaire et égale à 1367W/m ² .	W/m ²
δ	Déclinaison	degré
J	Le numéro du jour de l'année	-
Λ	La longitude	degré
φ	La latitude	degré
Z	Altitude	Km
P	Pression	hPa ou mbar
H	Élévation du soleil sur l'horizon (90° au zénith).	degré
A	L'azimut	degré
Ω	L'angle horaire	degré
TS	Le temps solaire	heure
ET	Equation du temps (terme correctif)	mn
T_{ra}	Température de rosée de l'air	K
T_a	Température de l'air	K
Φ_{ciel}	La densité de flux	°C
φ	Flux de chaleur	W
φ_{st}	Flux de chaleur stocké	W
φ_g	Flux de chaleur généré	W
φ_s	Flux de chaleur sortant	W
φ_e	Flux de chaleur entrant	W
φ_{sa}	Flux solaire absorbé	W
$\varphi_{p \rightarrow}$	Flux perdu par la paroi absorbante	W
φ_u	Flux utile transmis au fluide caloporteur	W
q_{cf}	Débit calorifique du fluide caloporteur () = (débit massique) x (capacité calorifique)	W. °C ⁻¹
T_{fe}	Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur	°C
T_{fs}	Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.	°C
η	Le rendement global	%
η_i	Le rendement interne	%
η_o	<i>Le rendement optique</i>	%
Q	Densité volumique d'énergie générée	W
V	Volume	m ³
T_{ciel}	La température du ciel	°C
T	Le temps	S
G	L'éclairement solaire global incident sur le capteur	W/m ²
C_p	La chaleur spécifique	Kj/kg.k
\dot{m}	Le Débit massique du fluide	Kg/m ²
S	Superficies du corps	M ²
Λ	Conductivité thermique du milieu	Wm ⁻¹ °C ⁻¹
X	Variable d'espace dans la direction du flux	m
σ	Constante de Stefan. 5,67. 10 ⁻⁸	W. m ⁻² K ⁻⁴

ε_p	Facteur d'émission de la surface	-
T_p	Température de la surface	K
E	Le facteur d'émission infrarouge (ou émissivité)	-
T_c	Température moyenne de la couverture	°C
T_{abs}	La température d'absorbeur	°C
T_s	La température de sortie d'eau	°C
T_e	La température de d'entrée d'eau	°C
T_{iso}	La température d'isolante	°C
T_v	La température de la vitre	°C
ρ	La masse volumique	Kg/m³
α	Facteur d'absorption	-
ε_a	Emissivité de l'atmosphère.	-

Indice	Désignation
v	La vitre
Air	L'air
Abs	Absorbeur
Iso	Isolant
av	Avant
ar	Arrière
ST	Stockage

Introduction générale

Le Soleil, l'étoile la plus proche de nous, est la source de lumière et de chaleur nécessaire à la vie sur Terre. Depuis des milliers d'années, l'humanité a reconnu les bienfaits du soleil et exploite son énergie dans tous les aspects de notre vie quotidienne. Le soleil joue un rôle vital dans de nombreux processus naturels et apporte de nombreux avantages à notre planète et à nous-mêmes. Qu'il s'agisse de fournir de la chaleur, de favoriser la croissance des plantes, d'influencer le climat ou d'être bénéfique pour notre santé, le soleil est une source inestimable d'avantages pour la vie sur Terre. Le rayonnement solaire prend moins de dix minutes pour atteindre la Terre. Une quantité suffisante d'énergie solaire peut être fournie pour répondre aux besoins mondiaux en électricité. Si chacun d'entre nous utilise l'énergie solaire, il y a de fortes chances que nous n'ayons pas besoin d'utiliser aucune autre forme d'énergie. N'est-ce pas étonnant ?"

Les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, sont considérées comme l'une des sources les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux. L'avantage de l'énergie solaire réside dans son caractère propre et renouvelable. Son développement et son utilisation pourraient contribuer à réduire l'utilisation des sources d'énergie fossile conventionnelles telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, ainsi que d'autres matières premières telles que l'uranium, le phosphate et les minerais, qui sont polluantes et nuisibles pour l'environnement.

Avec l'explosion démographique, la plupart des pays du monde se tournent vers l'utilisation de l'énergie solaire pour compenser la pénurie d'énergie sur le réseau électrique. Des pays avancés tels que l'Allemagne, la Chine et les États-Unis ont commencé à compter sur l'énergie solaire comme source alternative pour réduire leur dépendance aux combustibles traditionnels. Plus récemment, l'utilisation de cellules solaires a été adoptée pour fournir de l'électricité aux zones isolées où il est difficile de les connecter au réseau électrique en raison de leur éloignement géographique ou des coûts élevés de raccordement. Et des millions de chauffe-eau solaires sont actuellement en service. Les deux pays leaders dans le domaine du chauffage solaire de l'eau sont les États-Unis et le Japon. En Europe, l'Allemagne, la Grèce et l'Autriche se distinguent clairement des autres pays.

L'Algérie est classée comme l'un des pays possédant le plus grand potentiel solaire, mais elle dépend principalement des hydrocarbures pour sa base énergétique. Cependant, les énergies renouvelables ne représentent malheureusement qu'un très faible pourcentage de la production nationale d'énergie. Dans les années 1970, le premier chauffe-eau solaire en Algérie a été créé.

Une des solutions en constante évolution consiste à concevoir des composants hybrides qui permettent la production simultanée d'énergie thermique et d'énergie électrique.

Les panneaux solaires photovoltaïques (PV) offrent une solution pour les endroits isolés, déconnectés du réseau électrique, ainsi que pour rendre les installations autonomes. L'énergie solaire peut également être très bénéfique dans les installations résidentielles. Cependant, les panneaux solaires ne sont actuellement pas économiquement viables à grande échelle en raison de diverses contraintes. Dans l'utilisation de l'énergie solaire, la faible densité énergétique et le caractère intermittent de celle-ci sont dus aux variations des conditions climatiques.

Les capteurs hybrides (PV/T) constituent une excellente alternative aux capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques installés séparément, car ils combinent non seulement deux fonctions complémentaires, mais offrent également une double fonctionnalité dans un seul capteur. Les performances du capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique, dépendent de sa forme, de la technologie choisie et de la méthode utilisée pour réduire les pertes de chaleur à sa surface.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi d'utiliser un capteur solaire hybride qui exploite à la fois la lumière et la chaleur solaire. Cette approche combinée offre des avantages écologiques significatifs ainsi qu'une efficacité accrue. Notre objectif principal consiste à concevoir et à caractériser un capteur hybride (PV/T) qui permettra simultanément la production d'électricité et d'eau chaude. L'objectif est donc double : améliorer le rendement électrique du module et exploiter simultanément deux formes d'énergie, à savoir l'énergie électrique et thermique. Nous avons procédé à la mise en place d'un prototype de capteur hybride et avons réalisé une étude expérimentale pour évaluer ses performances électriques et thermiques. À cet effet, nous avons conçu et fabriqué un prototype de capteur hybride, puis avons mené des campagnes de mesures incluant la température, la puissance électrique et le rayonnement solaire sur une période de temps suffisante pour déterminer de manière pratique l'ensemble des caractéristiques électriques et thermiques de ce capteur.

Ensuite, nous avons comparé les performances électriques du capteur hybride avec à un module photovoltaïque témoin. De cette étude nous concluons que ce système hybride est un domaine de recherche très propice et complet tant d'un point de vue théorique et expérimental.

Cette mémoire est composée de quatre chapitres

- Le premier chapitre aborde les généralités sur les énergies renouvelables, ainsi qu'une introduction au gisement solaire.

- Le deuxième chapitre se concentre sur l'étude des différents types de capteurs solaires, ainsi que la théorie sous-jacente des capteurs solaires, en se basant sur les trois modes de transfert de chaleur (rayonnement, conduction et convection) et les équations du flux de chaleur pour chaque mode. Il aborde également les pertes thermiques dans les capteurs solaires.
- Le troisième chapitre décrit la réalisation d'un prototype de panneau solaire hybride, en détaillant les instruments et les appareils de mesure utilisés.
- Le quatrième chapitre présente les tests expérimentaux réalisés sur un panneau solaire classique et un panneau solaire hybride dans la zone de l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimi à Bordj Bou Arreridj, ainsi que les discussions des résultats obtenus.

Enfin, nous concluons cette mémoire par une synthèse générale des résultats obtenus au cours de cette étude.

• • • • •

Chapitre I
Généralités sur le gisement solaire

• • • • •

I.1. Introduction

Sur notre planète, il existe des sources d'énergie inépuisables, des énergies naturelles qui ne s'épuisent jamais, on les appelle énergies renouvelables. Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de source disponible sans limite de temps. Leur extraction produit très peu de déchets et d'émissions polluantes, pourtant elles sont beaucoup moins économes en énergie que les sources d'énergie non renouvelables.

Ce chapitre présente le contexte général dans lequel s'inscrit notre travail. Nous verrons un aperçu des énergies renouvelables, puis nous aborderons le gisement solaire est essentielle pour le calcul de diverses performances de systèmes liées au solaire telles que les panneaux solaires photovoltaïques et les capteurs solaires.

Nous nous concentrerons d'abord sur quelques concepts comme les données astronomiques sur le rayonnement solaire (soleil, nature, intensité, etc.), et divers phénomènes physiques qui nous intéressent dans notre travail

I.2. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont devenues, en 1973, un sujet d'actualité lors du premier choc pétrolier, dans un cadre de recherche de sécurité et d'indépendance énergétiques. Puis, avec la prise de conscience de l'aspect limité des réserves pétrolières (le pic de production a déjà été atteint dans de nombreux gisements, et les ressources pétrolières pourraient être épuisées dès le milieu du *XIX^e* s.) et la nécessité de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre et la pollution de l'air, leur développement est devenu un enjeu majeur. Il est indissociable, dans une démarche de développement durable, de la lutte contre le gaspillage énergétique et de l'amélioration des technologies de transport et de stockage. Contrairement à celle des énergies fossiles, l'exploitation des énergies renouvelables n'émet pas de gaz à effet de serre, ni de polluants atmosphériques ou de déchets nucléaires toxiques, d'où le qualificatif souvent employé d'énergies « propres », ou « vertes ».

Les énergies s'appuyant sur des ressources inépuisables (le Soleil, le vent, les mouvements de l'eau, la chaleur terrestre) ou se renouvelant rapidement à l'échelle humaine (cultures, forêts), par opposition aux sources d'énergie fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, uranium), dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle humaine [1].

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables produites à partir de sources différentes.[2]

I.2.1. Énergie solaire

Ce type d'énergie renouvelable est issue directement de la captation du rayonnement solaire. On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de les rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

- Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) : l'énergie solaire est captée en vue d'une production instantanée d'électricité.
- Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage solaire, panneaux solaires thermiques) : la chaleur des rayons solaires est captée et rediffusée et plus rarement sert à produire de l'électricité (solaire thermodynamique).[2]



Figure I.1 : Peneaux solaires photovoltaïques [21]



Figure I.2 : Le panneau solaire thermique [26]

I.2.2. Énergie éolienne

Dans le cas de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique du vent entraîne un générateur qui produit de l'électricité. Il existe plusieurs types d'éoliennes (Aérogénérateur) : les éoliennes terrestres, les éoliennes off-shore, les éoliennes flottantes...



Figure I.3 : Énergie éolienne [22]

Mais le principe reste globalement le même pour tous ces types d'énergies renouvelables.[2]

I.2.3. Énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable très faiblement émettrice de gaz à effet de serre. Cette source d'énergie renouvelable exploite les mouvements de l'eau actionnés par le Soleil et la gravité à travers le cycle de l'eau, les marées et les courants marins. Qu'elles utilisent les chutes d'eau naturelles (cascades) ou artificielles (barrages

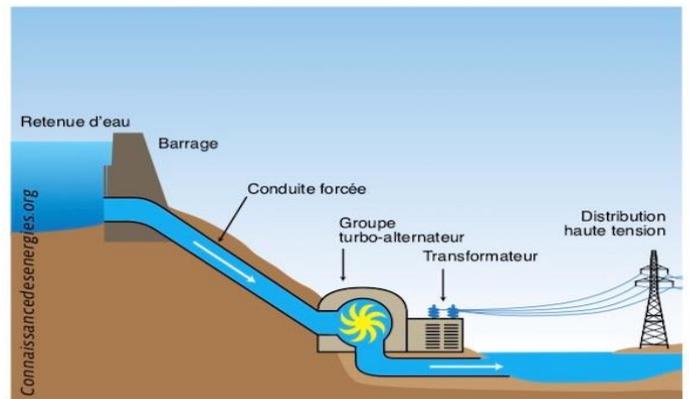


Figure I.4: Énergie hydraulique [23]

hydroélectriques), le débit des cours d'eau ou les courants marins (marée, circulation thermohaline, etc.), les centrales hydrauliques produisent de l'énergie mécanique convertie la plupart du temps en électricité (hydroélectricité) [39].

I.2.4. Énergie Biomasse

L'énergie est issue de la combustion de matériaux dont l'origine est biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques). On en distingue trois catégories principales :

Le bois, Le biogaz, Les biocarburants [2].

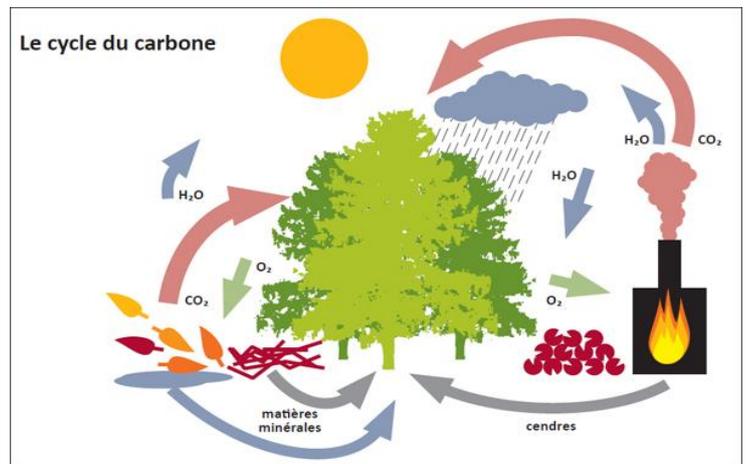


Figure I.5 : biomasse [24]

I.2.5. Énergie Géothermie

L'énergie est issue de la chaleur émise par la terre et stockée dans le sous-sol. Selon la ressource et la technologie mise en œuvre, les calories sont exploitées directement ou converties en électricité.[2]

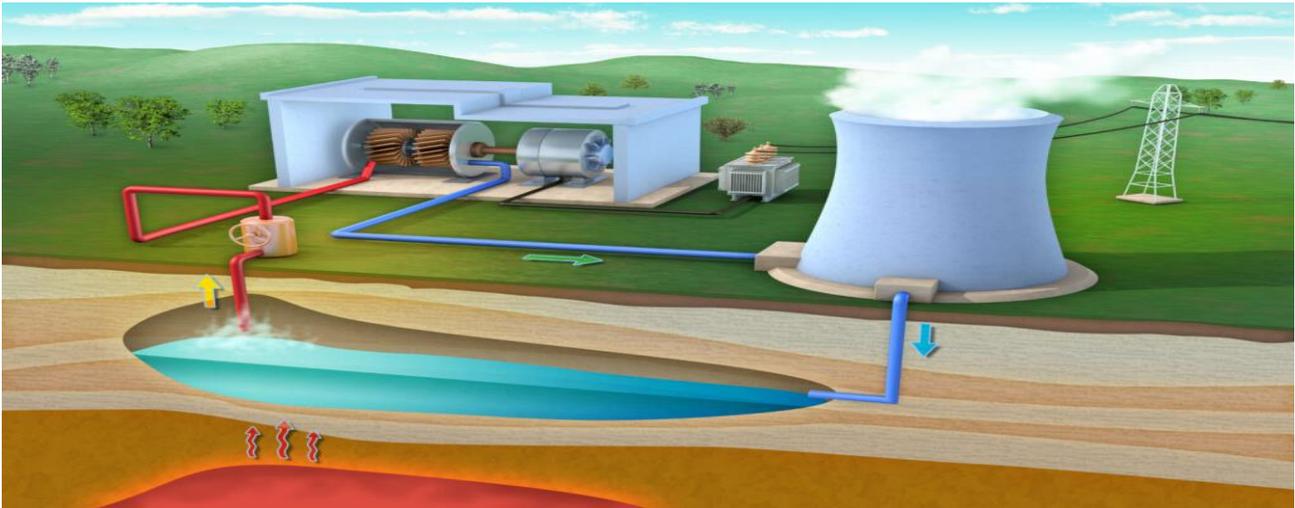


Figure I.6 : Énergie géothermie [25]

I.3. Le gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [3].

La connaissance du gisement solaire est essentielle pour le calcul de diverses performances de systèmes liés au solaire telles que les panneaux solaires photovoltaïques et les capteurs solaires, pour la construction de bâtiment avec la perspective d'une meilleure isolation thermique adaptée au lieu géographique, aussi pour le chauffage de locaux par l'intermédiaire exclusif du solaire, ou bien même et très essentiellement pour notre travail qui concerne le chauffe-eau solaire et le panneaux solaire photovoltaïque [14].

Le gisement solaire au sol est très variable. Nous constatons une variabilité importante des jours nuageux par rapport aux jours éclaircies et les jours de soleil. L'irradiation du soleil (les jours nuageux) est environ 200W/m^2 alors qu'elle est de 1000W/m^2 pour les jours ensoleillés. La présence de nuages (effet d'ombrage) modifie sensiblement la puissance reçue du soleil, les nuages jouant un rôle de milieu diffusant [4].

Le gisement solaire d'une région est plus ou moins précise selon :

- la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- le nombre d'années des mesures disponibles.
- le pas de temps des données (mois, jour, heure).

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

- la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe, diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc..., concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, les réseaux des mesures est peu dense relativement à la superficie du territoire.[14]

Les différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, sont :

- L'irradiation directe à incidence normale.
- Les irradiations de base, la composante diffuse et la composante globale mesurée sur le plan horizontal.
- L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orient Sud [14].

I .4. Le Soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn pour nous atteindre. L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} W.

Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchi vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère. [6]

I .4.1. L'intérieur du soleil

Cette région est divisée en trois zones ; le noyau, la zone radiative et la zone convective. Elle représente 40% de la masse du soleil et elle s'étend sur une épaisseur de 25.10^4 km. Sa température atteint plusieurs millions de degrés et la pression un milliard d'atmosphère [8]

I .4.2. La photosphère

C'est une couche opaque d'environ 300 km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C . [8]

I .4.3. La chromosphère et la couronne solaire

La chromosphère et la couronne solaire, sont des régions à faible densité où la matière est très diluée, elles constituent l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y est très élevée (un million de degrés).[8]

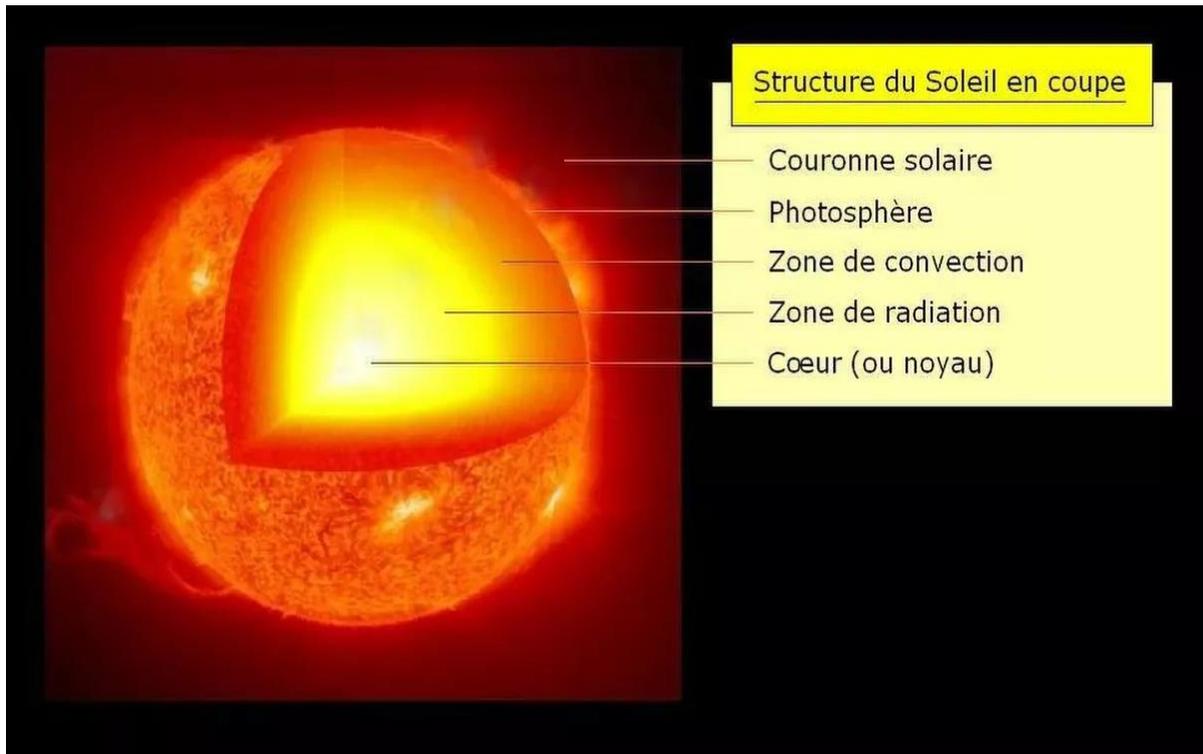


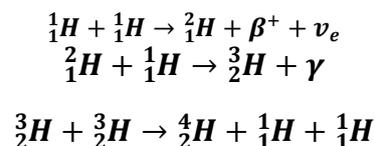
Figure I.7 : Structure du Soleil [28]

I.4.4. Les réactions nucléaires dans le soleil

Les réactions nucléaires de fusion se produisent dans le noyau du soleil, en libérant ainsi une énergie très considérable. Les réactions sont assurées grâce aux caractéristiques importantes du noyau : sa densité très élevée ($\cong 10 \text{ Kg/m}^3$), sa température énorme de 15 millions de degrés Celsius ainsi que sa pression de 2.10^{11} bars. La densité diminuant avec l'éloignement à un quart du rayon solaire, soit 175.00km environ. L'énergie produite se propage par diffusion radiative puis par convection turbulente jusqu'à la photosphère d'où elle s'échappe sous forme de rayonnement électromagnétique vers l'espace [41].

Origine de l'énergie solaire L'énergie solaire provient de la fusion d'hydrogène en hélium au sein du noyau de notre étoile. Deux cycles ont été imaginés par les astrophysiciens pour décrire les étapes conduisant à cette fusion. [41]

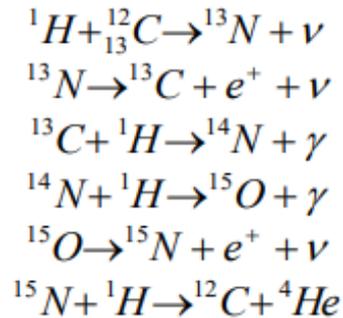
-Le cycle Proton –Proton : Le cycle proton -proton fournit 90% de l'énergie solaire. Les réactions nucléaires régissant ce cycle sont données par les équations suivantes.



La notation ${}^1_1\text{H}$ représente le noyau de l'atome d'hydrogène 1, c'est-à-dire un proton. Il y a émission de positrons β^+ (rayonnement bêta), de neutrinos ν_e et de photons γ (rayonnement électromagnétique).[41]

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

- **Le cycle du carbone** : Le cycle de Carbone fournit les 10% restants de l'énergie solaire a été découvert par Hans Bethe et Carl von en 1938. Les réactions faisant intervenir le carbone et l'azote forment un cycle; celui-ci reste répétitif tant que subsiste la présence de l'hydrogène : la série de transformations est représentée par les réactions ci-dessous:[41]



On peut dire que le soleil est un corps noir

Corps noir : C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit, et qui aussi, à une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, il émettrait le maximum de flux par rayonnement [19].

I.5. La constante solaire

La valeur du rayonnement solaire " I_C ", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne " I_0 " appelée constante solaire est de l'ordre de $1354 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. En première approximation, on peut calculer la valeur de " I_C ", " en fonction du numéro du jour de l'année "nj" par la relation suivante [6] :

$$I_C = I_0 [1 + 0.033 \times \cos(0.984 \times \text{nj})] \quad (1.1)$$

J : le numéro de jour de l'année compté à partir du 1^{er} Janvier, c.-à-d. varie de 1 à 366 selon l'année.

I.6. La masse d'air

La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes/m², elle est équivalent à 7,8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales : T=0 °C; P=1,013 bar. Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, en aurait 6,2 km d'azote, 1,7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30 m de vapeur d'eau, 24 m de CO₂, 14 cm de Néon, 4 cm d'Hélium, quelque mm de Krypton, de méthane de NO et de NO₂ et seulement 5 mm d'ozone [7].

Prenons pour référence unité, l'épaisseur verticale de l'atmosphère moyenne réduite à 7,8 km (conditions dites normales), supposant cette couche plane et stratifiée horizontalement, la longueur du trajet rectiligne d'un rayon lumineux incliné d'un angle 'h' par rapport à l'horizontale sera donnée par la forme :

$$OM = \frac{OA}{\sin h}$$

La longueur du rayon qui traverse l'atmosphère, pour tenir compte de la position relative du soleil qui modifie l'épaisseur d'atmosphère traversée, on introduit le nombre d'air masse défini par :

$$m = \frac{p}{1013} \times \frac{1}{\sin h} \times \exp^{\frac{-z}{7,8}} \quad (1.2)$$

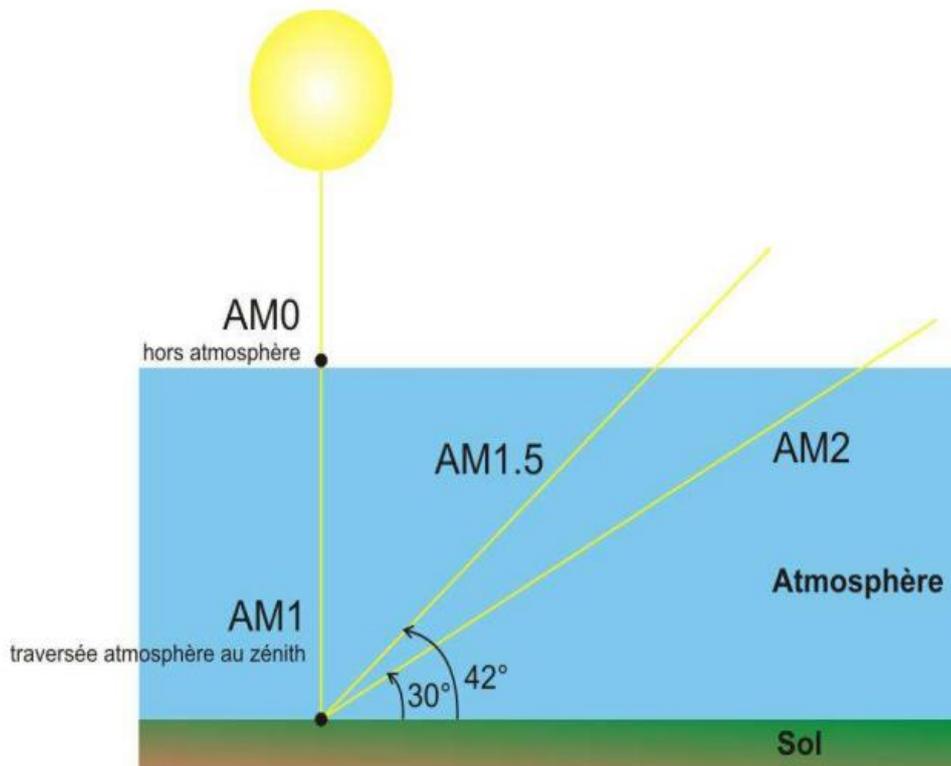


Figure I.8 : La distance parcourue par le rayonnement solaire dans l'atmosphère : le nombre de masse d'aire (AM) [40]

Avec :

P (hPa ou mbar) : pression.

H (degré) : élévation du soleil sur l'horizon (90° au zénith).

Z (Km) : altitude.

Dans les conditions normales et au niveau de la mer (ou $z=0$ Km, $p=1013$ hPa ou mbar), on obtient l'expression suivante :

$$m = \frac{1}{\sin h}$$

On cite autres conditions tel que :

AM₀ : Hors atmosphère à haute altitude, on définit les conditions AM₀.

AM₁ : Lorsque le soleil est au zénith, on dit que l'on a les conditions AM₁ car les rayons lumineux traversent une épaisseur d'atmosphère unité (7.8 Km).

AM_{1,5} : Le nombre 1,5 indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1,5 fois l'épaisseur atmosphérique, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith.

AM₂ : On obtient les conditions AM₂ lorsque le soleil est situé à 30° sur l'horizon.

Le groupe de physique du Solide du CNRS a établi des modèles d'irradiance spectrale pour n'importe quelles conditions.

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

Le Tableau (1) indique les valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse.[7]

Tableau I.1 : Valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse [7]

M	0	1	1,5	2	3	4	5
E (W/m ²)	1367	931	834	755	610	530	430

I.7. Aspects géométriques

Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.[9]

I.7.1. Mouvements de la Terre

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,106$ km. La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut $23^{\circ}27'$. Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure.[9]

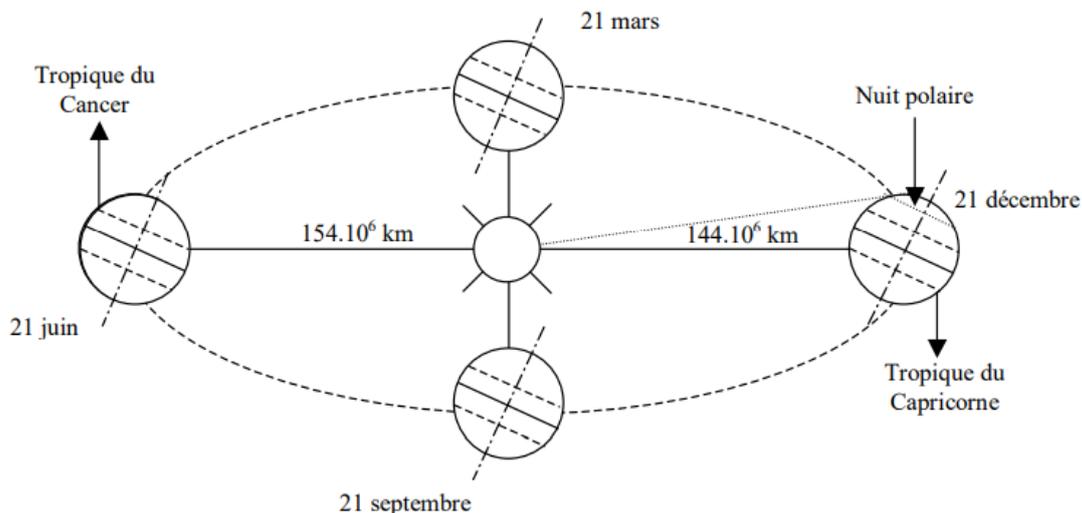


Figure I.9 : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil [9]

On appelle déclinaison δ l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre $-23,45^{\circ}$ et $+23,45^{\circ}$. Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation :

$$\delta = 23,45^\circ \sin[0,980^\circ (j + 284)] \quad (1.3)$$

Où j est le numéro du jour de l'année.[9]

I.7.2. Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre repérage d'un site à la surface de la terre (coordonnée géographique) pour repérer site donné à la surface, on définit les grandeurs suivantes [2] :

❖ La longitude λ

Un point à la surface de la terre est repéré par deux coordonnées angulaires, la latitude et la longitude λ . C'est la mesure de l'angle entre le méridien du lieu et la méridienne origine des longitudes (Greenwich en Angleterre). Les lieux qui sont situés à l'Est sont comptés avec le signe +. Le grand arc de cercle qui joint le pôle Nord, Greenwich et le pôle Sud s'appelle méridien origine. Il y a 23 méridiens séparés de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires.

On fixe la ligne de changement de date sur le méridien n° 12 au beau milieu du Pacifique. Quand il est midi le jour J à Greenwich, il est minuit du même jour sur la bordure Ouest de la ligne de changement de date et minuit du jour $J-1$ sur sa bordure Est.

Pour le comprendre, il suffit de déployer mentalement la projection cylindrique de la Sphère terrestre [14].

❖ La latitude φ

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord [14].

❖ L'altitude

C'est la distance verticale exprimée en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence [14].

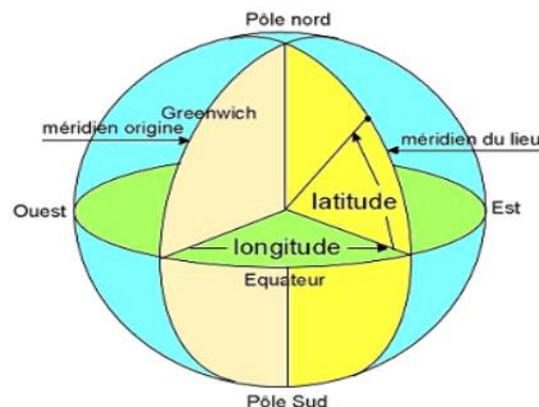


Figure I.10 : Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné [14].

L'équation de passage des coordonnées horizontales en coordonnées horaires est la suivante :

$$\cos(h) = \cos(\delta) \sin(\omega) \quad (1.4)$$

$$\sin(\alpha) \cos(\beta) = \cos(\delta) \cos(\omega) \sin(\Phi) - \cos(\Phi) \sin(\delta) \quad (1.5)$$

$$\sin(h) = \cos(\Phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi) \sin(\delta) \quad (1.6)$$

I.7.3. Mouvement apparent du Soleil

Le mouvement apparent du soleil vu par un observateur fixe en un point de la latitude L au nord de l'équateur est représenté par la figure suivante [43]:

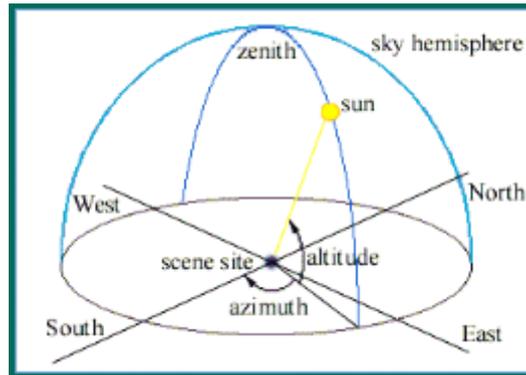


Figure I.11: Mouvement apparent du soleil [43]

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

- **L'azimut a** : c'est l'angle que fait la direction de la projection du Soleil sur le plan horizontal avec la direction Sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.
- **La hauteur h du Soleil** : c'est l'angle que fait la direction du Soleil avec sa projection sur un plan horizontal.

Ces deux angles sont fonction de :

- La latitude L du lieu
- La date j (numéro du jour de l'année)
- L'heure solaire TS dans la journée.

La latitude « L » et la date j, servent à déterminer la trajectoire du Soleil dans le ciel, et l'heure TS donne la position instantanée sur cette trajectoire.

lorsque la hauteur du Soleil est maximale (le Soleil est à son « zénith »).

On définit l'heure solaire TS en fixant TS = 12 h lorsque la hauteur du soleil est maximale

On définit également l'angle horaire ω par [43] :

$$\omega = 15^\circ (TS - 12) \quad (1.7)$$

ω est compté positivement l'après-midi.

La hauteur "h" vaut alors :

$$\sin(h) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (1.8)$$

L'azimut a par la relation :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (1.9)$$

I.7.4. Heures et temps

I.7.4.1. Durée du jour

Le module ω_1 de l'angle horaire au lever du Soleil s'obtient en écrivant $\sin(h) = 0$ dans la formule (1.8), ce qui conduit à :

$$\cos(\omega_1) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (1.10)$$

L'heure solaire au lever du Soleil a donc pour valeur :

$$(TS)_1 = -12 \frac{\omega_1}{15} \quad (1.11)$$

L'angle horaire ω_c au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc $\omega_c = -\omega_1$ et la durée du jour vaut :

$$d = 2 \frac{\omega_1}{15} \quad (1.12)$$

I.7.4.2. Relation entre temps légal et temps solaire

Les relations se rapportant au mouvement du soleil utilisent le temps solaire TS qui diffère généralement du temps légal TL (heure des montres) du lieu considéré. Cette différence est liée à :

- La différence (fixée par chaque pays) entre l'heure légale TL et l'heure civile TCF du fuseau horaire dans lequel il se trouve :

$$C = TL - TCF \quad (1.13)$$

L'heure civile TCF du fuseau horaire est égale au temps universel TU (temps solaire du méridien de Greenwich) augmenté de la valeur du décalage horaire.

- La variation de la vitesse de la Terre sur sa trajectoire autour du Soleil qui introduit un terme correctif appelé équation du temps et noté ET :

$$ET = -[0,0002 - 0,4797 \cos(\omega'j) + 3,2256 \cos(2 \omega'j) + 0,0903 \cos(3 \omega'j) + 7,3509 \sin(\omega'j) + 9,3912 \sin(2 \omega'j) + 0,3361 \sin(2 \omega'j)] \quad (1.14)$$

Où : j Numéro du jour de l'année

$$\omega' = 0,984$$

ET : Equation du temps (terme correctif) en mn ;

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

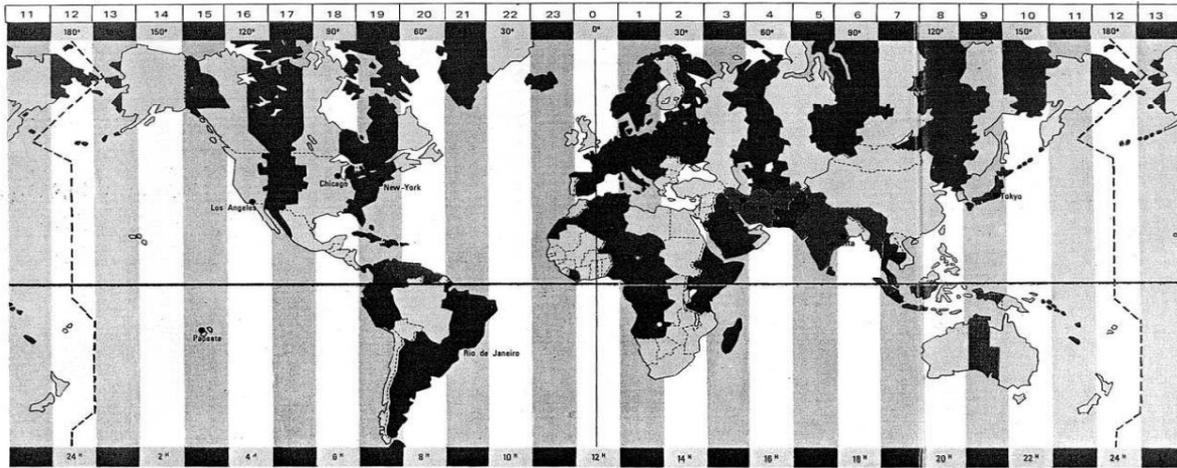


Figure I.12 : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich [9]

La différence de longitude ($l - l_{ref}$) entre le lieu considéré et le lieu servant de référence au temps légal (en général le centre du fuseau). Le temps solaire TS se calcule finalement par la formule :

$$TS = TL - C + ET + \frac{(l_{ref} - l)}{15} \quad (1.15)$$

La correction maximale due à l'équation du temps est de l'ordre de 16 mn, on peut ne pas en tenir compte en première approximation. On trouvera les variations annuelles de la déclinaison et de l'équation du temps sur la figure. [9]

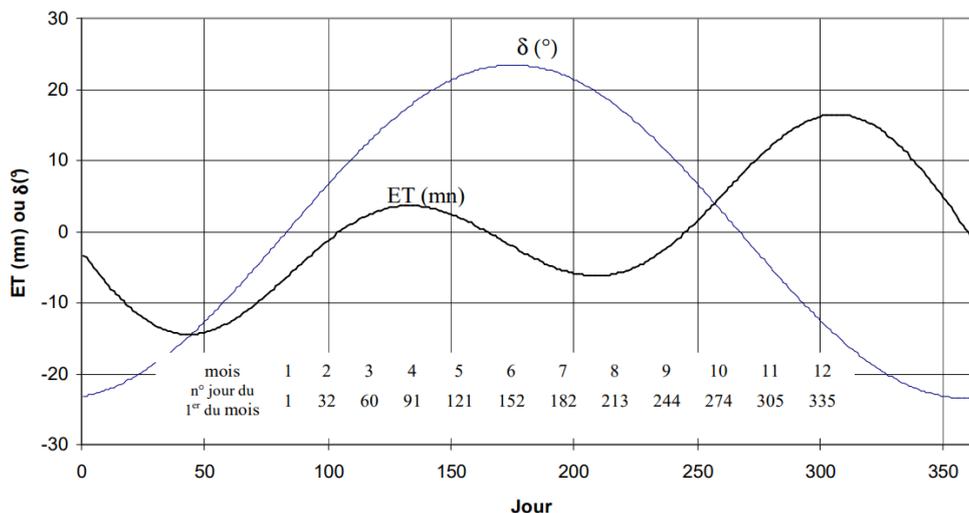


Figure I.13 : Equation du temps ET et déclinaison δ en fonction du jour de l'année.[9]

Le problème est souvent de déterminer la différence C entre TL et TCF en un lieu donné, on peut procéder de la manière suivante :

Il est possible de connaître TL et TU (écouter une radio internationale...) d'où $(TL - TU)$.

La différence $(TCF - TU)$ peut être lue sur la figure I.13.

On en déduit $C = (TL - TU) - (TCF - TU)$. [9]

I.7.4.3. Durée et taux d'ensoleillement

❖ Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages. On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation SS le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré.[9]

❖ Taux d'ensoleillement

Taux d'ensoleillement Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement [9] :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (1.16)$$

La durée maximale d'ensoleillement SS_0 pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (1.12). [9]

I.8. Aspects énergétiques

I.8.1. Atmosphère terrestre

I.8.1.1. Structure de l'atmosphère

On peut grossièrement diviser l'atmosphère en 5 couches aux propriétés tout à fait différentes et distinctement séparées

- **La troposphère** qui s'étend jusqu'à 10 à 15 km d'altitude, où la température décroît de 6,5°C par km, pour atteindre -70 °C à la base de la couche suivante.
- **La stratosphère** de 15 à 55km, où la température croît de -70°C à +10°C jusqu'à la stratopause : c'est celle qui contient une mince couche d'ozone.
- **La mésosphère** de 55 à 80km, où la température décroît à nouveau de +110°C à -80°C.
- **L'ionosphère** (confondue avec la thermosphère) où la température croît régulièrement pour atteindre 1500°C à l'altitude de 300km. C'est elle qui contient les couches réfléchissantes pour les ondes radio (couche Heavyside) ; elle s'étend jusqu'à 700km d'altitude.
- **L'exosphère** au-delà de 700km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidéral [42].

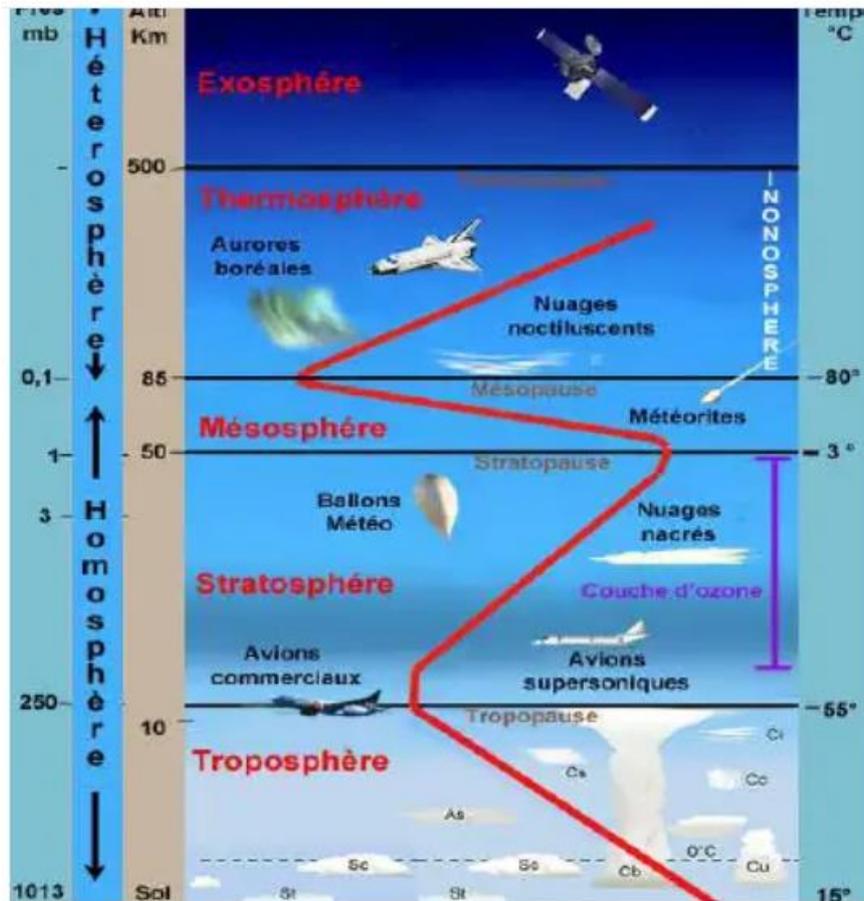


Figure I.14: Couches atmosphériques [45].

I.8.1.2. La composition de l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches : 78% d'azote, 21% d'oxygène, 0,9% d'argon, 0,03% de CO₂ et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la stratosphère dont le rôle est important dans l'absorption des rayons ultraviolets les plus durs.

L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante et par les aérosols : grains de sable, poussières, fumées.[42]

On trouvera sur la figure la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent ce rayonnement selon la longueur d'onde.[9]

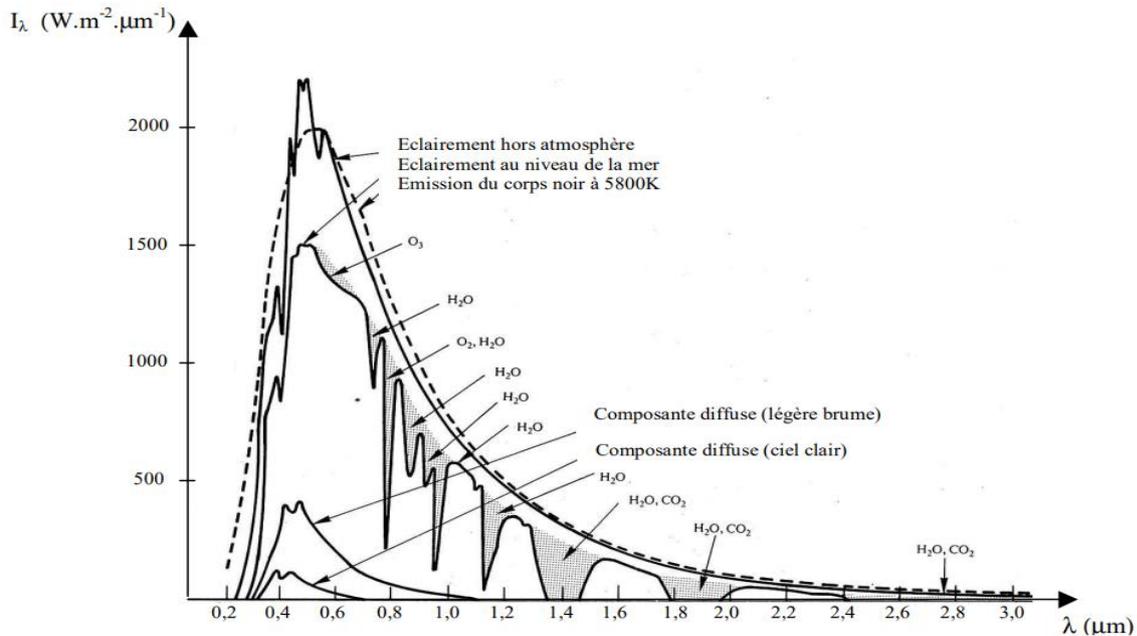


Figure I.15 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol Terrestre [9]

I.8.2 Rayonnement solaire

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1354 w/m² (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus, l'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc. [6]

I.8.2.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair. [6]

I.8.2.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.[6]

I.8.2.3. Rayonnement global

Le rayonnement global est la somme des rayonnements diffus et direct.

Les notations utilisées pour les composantes du rayonnement solaire sur une surface horizontale sont données dans le tableau [6]

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

Tableau I.2 : Rayonnement solaire sur un plan horizontal : notations utilisées. [9]

Irradiation solaire Energie reçue pendant une certaine durée $W.m^{-2}.durée-1$ ou $kWh. m^{-2} Durée^{-1}$	Directe	S	G=S+D
	Diffuse	D	
	Globale	G	
Eclairement solaire Flux instantané $W. m^{-2}$	Directe	S^*	$G^* = S^* + D^*$
	Diffuse	D^*	
	Globale	G^*	

I.8.2.4. Rayonnement solaire sur un plan quelconque

Soit une surface plane inclinée d'un angle i par rapport à l'horizontale et orientée vers une direction faisant un angle g avec la direction Sud (g compté positivement vers l'Ouest). Le rayonnement global $G^*(i, \gamma)$ reçu par cette surface est la somme de 3 termes : [9]

$$G^*(i, \gamma) = S^*(i, \gamma) + D^*(i, \gamma) + R^*(i, \gamma) \quad (1.17)$$

Chacuns des 3 termes se calculant de la façon suivante :

Eclairement direct:

$$S^*(i, \gamma) = \frac{S^*}{\sin(h)} [\cos(h) \sin(i) \cos(a - \gamma) \sin(h) \cos(i)] \quad (1.18)$$

Eclairement diffus :

$$D^*(i, \gamma) = \frac{D^*}{2} [1 + \cos(i)] \quad (1.19)$$

Eclairement réfléchi :

$$R^*(i, \gamma) = \frac{R^*}{2} \rho [1 - \cos(i)] \quad (1.20)$$

Où ρ est le facteur de réflexion du sol vis-à-vis du rayonnement solaire, ρ est appelé Albedo [9]

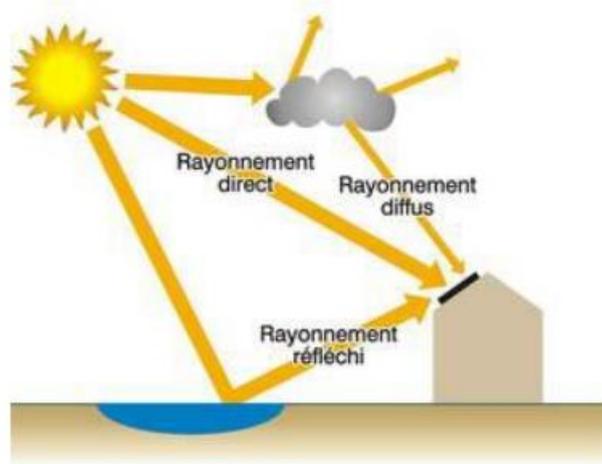


Figure I.16 : Représentation des différents rayonnements [29]

I.8.2.5. Albédo

C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol et aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considéré, et pour tous les angles d'incidences possibles. Par définition, le corps noir possède un albédo nul.[7]

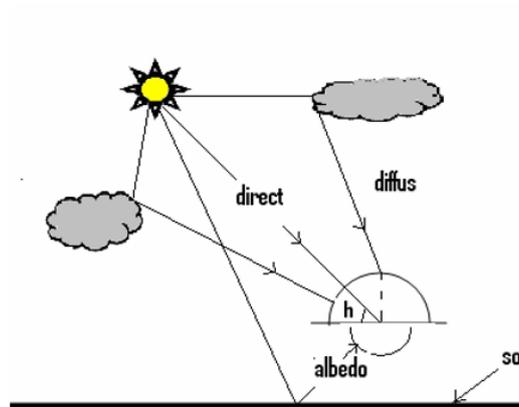


Figure I.17 : Différents composants de rayonnement [7]

$$L' \text{albédo} AB = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie recue}}$$

I.9. Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie de par sa situation

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

géographique, La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au sud du pays. [5]

Tableau I.3 : potentiel solaire en Algérie [38]

Région	Région côtière	Hauts-plateaux	Sahara
Superficie %	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Moyenne annuelle de l'irradiation Globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992-2002

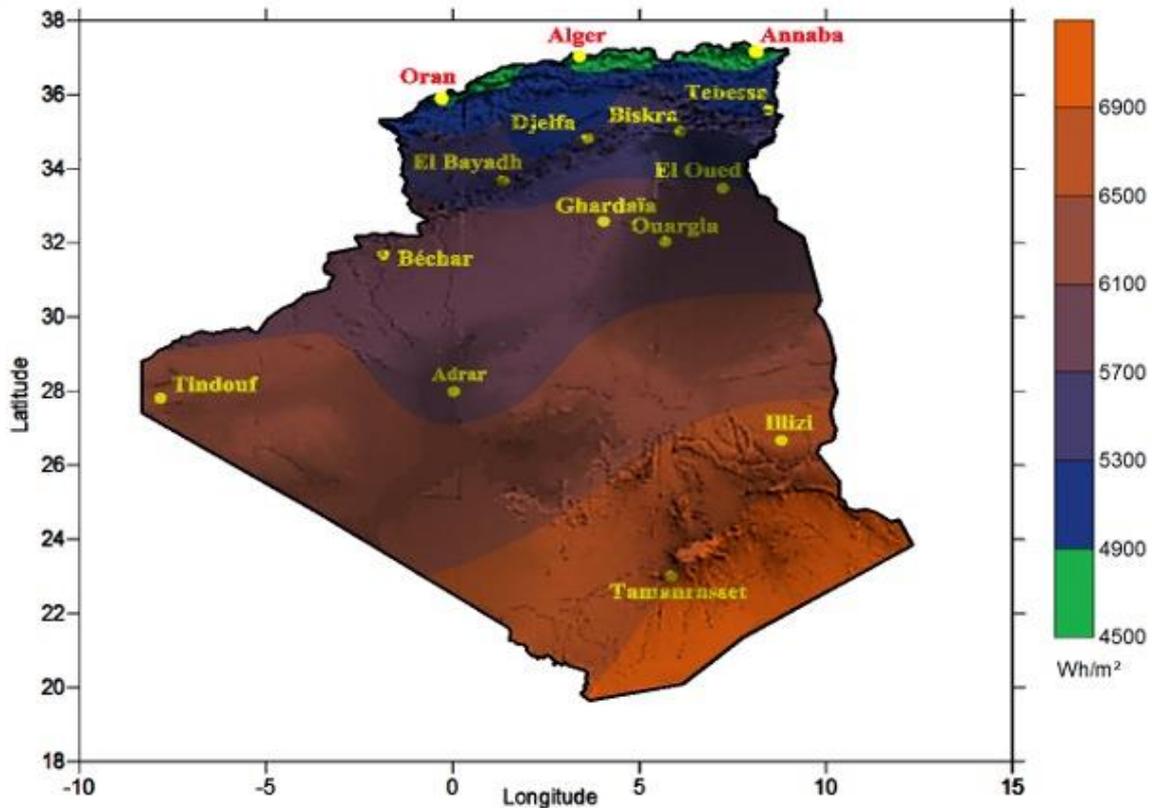


Figure I.18: Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, période 1992-2002 [Wh/m²] [27]

I.10. Rappels sur les transferts de chaleur

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final. [10]

I.10.1. Définitions

❖ Champ de température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou transitoire. [10]

❖ Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température [10]

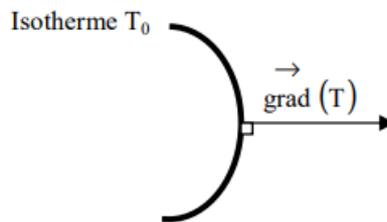


Figure I.19 : Isotherme et gradient thermique. [10]

$$\overrightarrow{\text{grad}}(t) = \vec{n} \frac{\partial t}{\partial n} \quad (1.25)$$

Avec :

\vec{n} : vecteur unitaire de la normale .

$\frac{\partial t}{\partial n}$: dérivée de la température le long de la normale.

❖ Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur [10]

$$\Phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dT} \quad (1.26)$$

Où S est l'aire de la surface (m^2).

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps

$$\varphi = \frac{dQ}{dT} \quad (1.27)$$

I.10.2. Formulation d'un problème de transfert de chaleur

❖ Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir l'inventaire des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système, qui schématisé sur la figure [10].

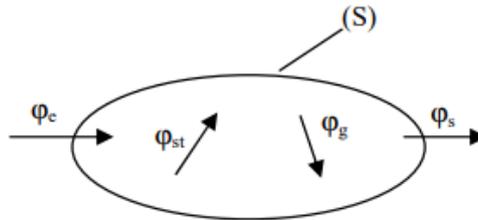


Figure I.20: Système et bilan énergétique

Dans le système (S)

φ_{st} : Flux de chaleur stocké

φ_g : Flux de chaleur généré.

φ_e : Flux de chaleur entrant.

φ_s : Flux de chaleur sortant.

On applique alors le 1^{er} principe de la thermodynamique pour établir le bilan d'énergie du système (S) :

$$\varphi_e + \varphi_g = \varphi_{st} + \varphi_s \quad (1.28)$$

❖ Flux de chaleur lié à un débit massique

Lorsqu'un débit massique \dot{m} de matière entre dans le système à la température T_1 et en ressort à la température T_2 , on doit considérer dans le bilan présent un flux de chaleur entrant correspondant. [10]

$$\varphi_e = \dot{m} c_p (T_1 - T_2) \quad (1.29)$$

φ_e : Flux de chaleur entrant dans le système. (W)

\dot{m} : Débit massique. (Kg)

c_p : Chaleur spécifique. (J)

T_1, T_2 : Températures d'entrée et de sortie. (K)

❖ Stockage d'énergie

Le stockage d'énergie dans un corps correspond à une augmentation de son énergie interne au cours du temps d'où (à pression constante et en l'absence de changement d'état).

$$\varphi_{st} = \rho V c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.30)$$

φ_{st} : Flux de chaleur stocké. (W)

ρ : Masse volumique.	(Kg)
V : Volume.	(m^3)
C : Chaleur spécifique.	(J °)
T : Température.	(°C)
t : Temps.	(s)

Le produit $\rho V c$ est appelé la capacitance thermique du corps [10].

❖ Génération d'énergie

Elle intervient lorsqu'une forme d'énergie (chimique, électrique, mécanique, nucléaire) est convertie en énergie thermique. On peut l'écrire sous la forme [10] :

$$\Phi_g = q V \quad (1.31)$$

Avec :

Φ_g : Flux d'énergie thermique générée (W)

q : Densité volumique d'énergie générée (W)

V : Volume (m^3)

I.11. Semiconducteur

Un semi-conducteur est un corps non cristallin non conducteur à l'état pur, mais susceptible de conduire de l'électricité suite à un traitement spécifique, le dopage. Cette semi-conduction est obtenue en introduisant des impuretés, par dopage n (pour négatif) ou p (pour positif) : cela augmente la conductivité des semi-conducteurs. Ce traitement est utilisé dans le cas du silicium qui est à la base des cellules photovoltaïques qui constituent les panneaux solaires. La conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celles des métaux (bons conducteurs) et celle des isolants.[12]

I.11.1. Les meilleurs matériaux semi-conducteurs

Le silicium est le matériau semi-conducteur le plus utilisé commercialement, du fait de ses bonnes propriétés, de son abondance naturelle et de son coût de mise en œuvre économique. On peut toutefois en citer quelques autres : le germanium, l'arséniure de gallium ou le carbure de silicium. Un semi-conducteur est un matériau isolant, qui ne laisse donc pas passer le courant électrique, mais que l'on peut rendre conducteur dans certaines conditions (en augmentant sa température par exemple).[12]

I.11.2. Matériaux conducteurs, isolants et semi-conducteurs

C'est le déplacement électrique qui s'opère au sein d'un matériau qui détermine s'il est conducteur, isolant ou semi-conducteur. Autrement dit, il s'agit de savoir comment les électrons s'y déplacent.[12]

I.11.3. À quelles conditions les électrons peuvent-ils être mobiles dans un matériau ?

Placés autour de l'atome, les électrons sont caractérisés par leur appartenance à des plages d'énergies appelées bandes. On distingue les bandes de « valence » et de « conduction ».

La première correspond aux électrons situés en périphérie de l'atome. Ils sont nombreux mais peu mobiles car ils interagissent avec les atomes voisins pour assurer la cohésion locale du matériau. La seconde correspond à des électrons d'énergie importante, libres dans le matériau mais en nombre réduit.

Si ces 2 plages d'énergie se recouvrent, les électrons de valence peuvent passer dans la bande de conduction : le matériau est alors conducteur. C'est le cas des métaux (cuivre, argent, aluminium, or, mercure...).

Si le « gap » d'énergie entre les bandes de valence et de conduction est important, le matériau est isolant (verre, céramique, carton, pierre, par exemple).

Les semi-conducteurs comme le silicium ont un faible gap qui peut être franchi par les électrons de valence si on leur apporte un supplément d'énergie thermique, lumineuse, électrique ou magnétique. Ils passent alors d'un état isolant à un état [12]

I.11.4. Semi-conducteur dopé N et Semi-conducteur dopé P

- Les panneaux sont un assemblage de cellules photovoltaïques, soudées les unes aux autres. Chacune de ces cellules est constituée de deux couches d'un matériau semi-conducteur, en général du silicium, qui est extrait de la silice.
- La couche supérieure de la cellule (Semi-conducteur dopé N) est dopée négativement grâce à un élément chimique qui contient plus d'électrons que le silicium (le phosphore par exemple).
- La couche inférieure (Semi-conducteur dopé P) dont la polarité est dopée positivement grâce à un élément chimique qui contient moins d'électrons que le silicium (le bore par exemple).
- Dopage de type N, qui consiste à produire un excès d'électrons, qui sont négativement chargés [13]

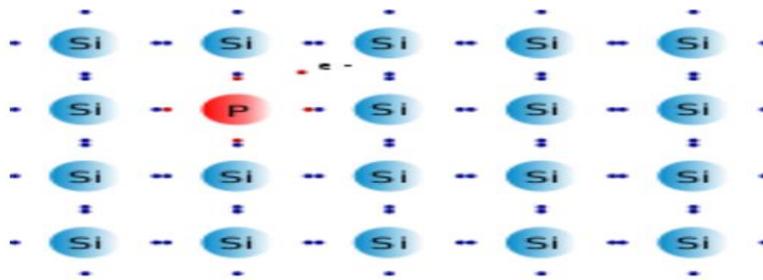


Figure I.21 : Dopage de type N. [13]

- Dopage de type P, qui consiste à produire un déficit d'électrons, donc un excès de trous, considérés comme positivement chargés

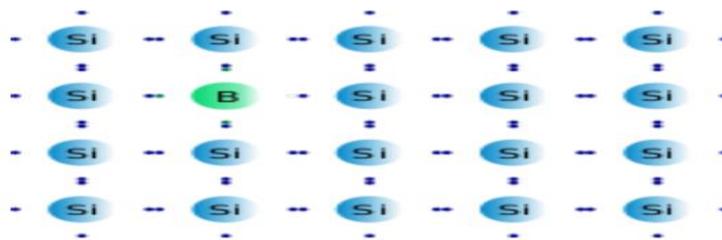


Figure I.22 : Dopage de type P. [13]

Structure électronique du silicium (Si), du phosphore (P) et du Bore (B)

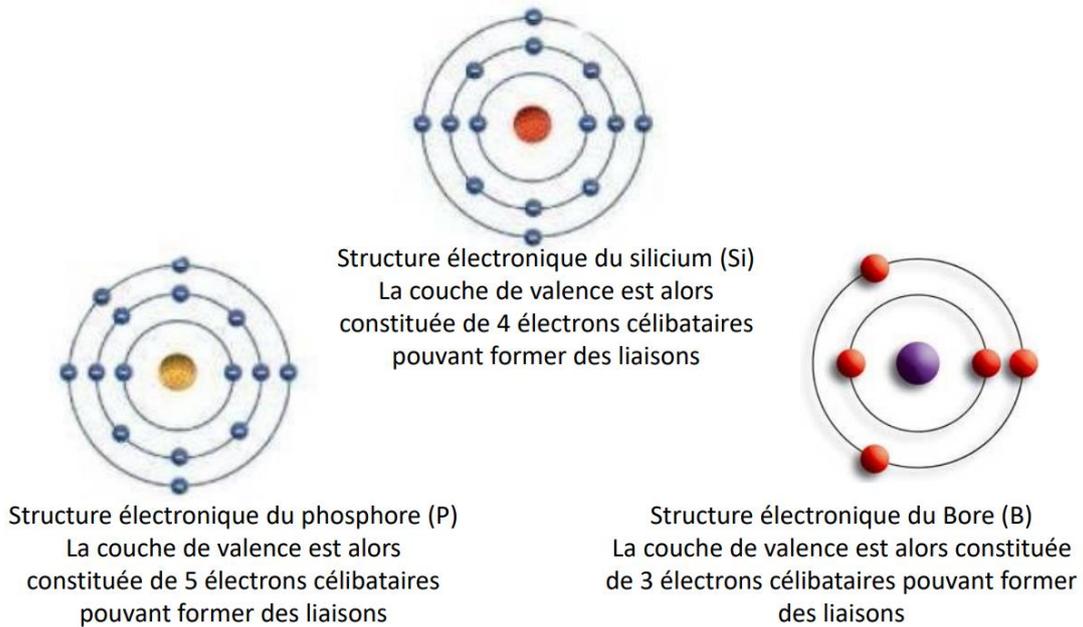


Figure I.23: Structure électronique du silicium (Si), du phosphore (P) et du Bore (B). [13]

Déplacement des charges vers la jonction P-N

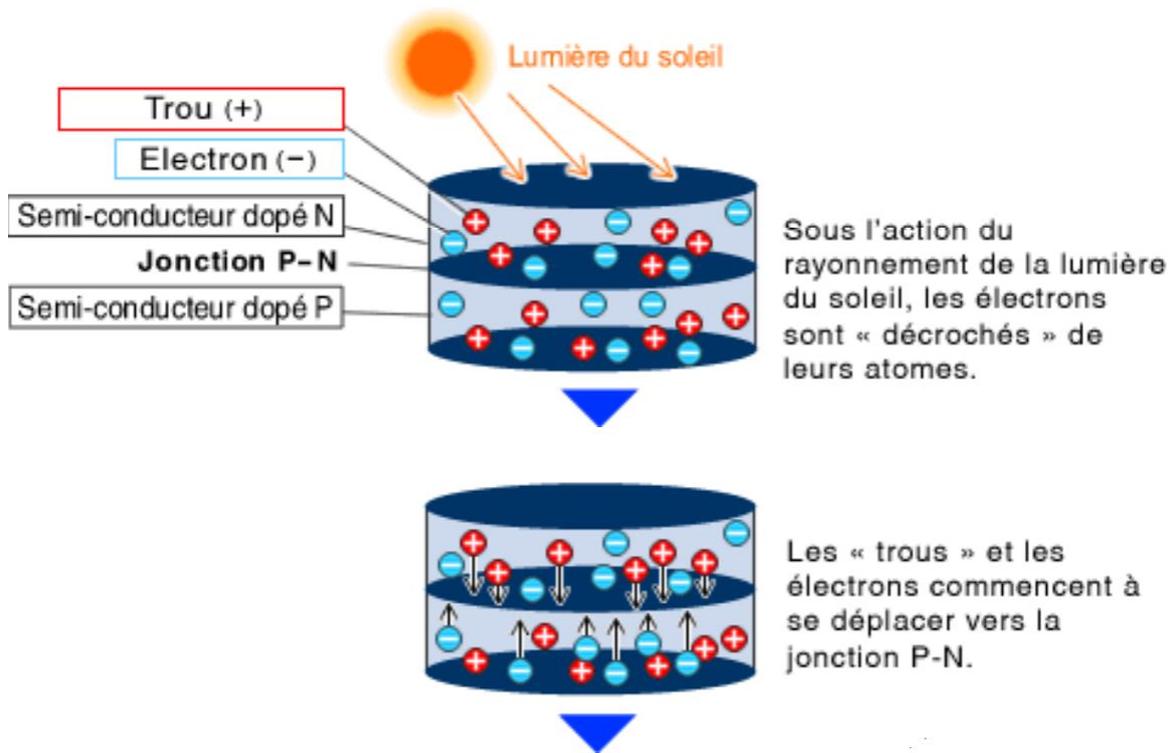


Figure I.24 : Déplacement des charges vers la jonction P-N. [13]

Déplacement des charges et création d'un courant continu

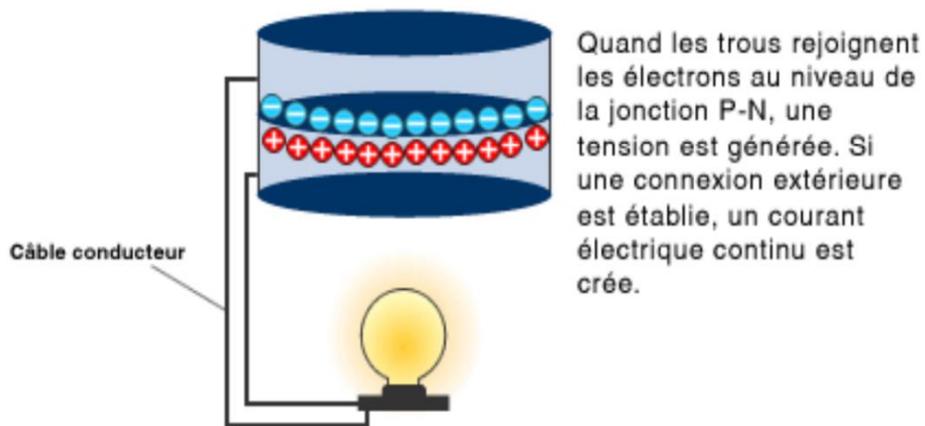


Figure I.25 : Déplacement des charges et création d'un courant continu. [13]

I.12. Etat de l'art

Après cet exposé, nous envisageons de faire une étude avec réalisation d'un panneau solaire thermique dit hybride, dans la région de Bordj-Bou-Arréridj en Algérie, accompagnée avec une modélisation et optimisation de ce type de système.

• • • • •

Chapitre II

Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

• • • • •

II.1. Introduction

L'énergie du rayonnement solaire est convertie en énergie thermique par le capteur solaire qui est placée sur les toitures, où il capte l'énergie solaire. La température commence à monter dans un mouvement circulaire dans le serpentin et transférée à un réservoir pour stocker l'eau chaude (Pas monte dans notre conception). Cette opération, baser sur le principe de l'effet de serre.

L'échange thermique est un transfert d'énergie sous forme microscopique désordonnée. Il intervient lorsque deux corps sont à des températures différentes, Il existe trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement. Nous nous proposons de donner quelques rappels sur ces phénomènes qui ont à la base du principe des chauffe-eau solaires. [20]

Dans ce chapitre, nous avons étudié la théorie de capteur solaire thermique, les transferts thermiques et les pertes d'énergie qui se produisent. Nous avons également abordé les types de capteurs solaires et parlé de ses composants internes et externes. Et finalement, étudier les facteurs qui l'affectent à la fois interne ou externe.

II.2. Notions importantes sur les capteurs solaires

II.2.1. Effet de serre

L'effet de serre est souvent mis à profit température du rayonnement solaire. On désigne normalement par "effet de serre", l'ensemble des modifications apportées à l'équilibre énergétique et thermique d'un corps récepteur (les serres par exemple) [19].

L'effet de serre consiste à emprisonner l'énergie apportée par le rayonnement solaire avec le minimum de pertes. Pour cela, on place au-dessus d'un absorbeur peint en noir mât une couverture transparente au rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge.[31]

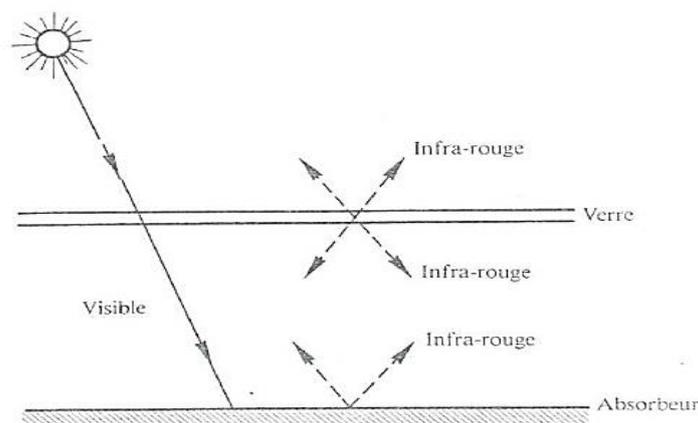


Figure II.1 : Effet de serre [31]

Le rayonnement solaire traverse la couverture transparente et vient frapper la surface de l'absorbeur qui s'échauffe. Celui-ci émet vers l'extérieur un rayonnement thermique dans l'infrarouge ($\lambda > 4 \mu\text{m}$). La vitre opaque à ce rayonnement va l'absorber et émettre à son tour vers l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture transparente : c'est l'effet de serre.[31]

II.2.2. L 'effet thermosiphon

C'est la circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température. Dans un chauffe-eau solaire en thermosiphon, le liquide caloporteur réchauffé dans le capteur solaire se dilate, et, plus léger, monte vers le ballon de stockage. Il est remplacé par le liquide froid descendant du ballon.[20]

$$\rho=f(T) \rightarrow \rho = \rho_i/(1 + \beta_T (T + T_i))$$

β_T : coefficient de dilatation thermique de liquide

II.2.3. Modes de transfert dans les capteurs solaires

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud cède de la chaleur au plus froid. Il y a échange thermique ou encore transfert thermique entre ces deux systèmes. Cette situation se rencontre dans de nombreuses situations industrielles (moteurs thermiques ou même électriques, centrales électriques au fuel au gaz, etc...., électronique) ou domestique (chauffage de l'habitat). Un transfert d'énergie donne lieu à un flux de chaleur qui correspond à un déplacement de l'énergie du plus chaud vers le plus froid. Comme on le verra par la suite, le flux de chaleur dont la densité locale est notée $\sim\phi$ est une grandeur vectorielle, ce qui signifie qu'un flux de chaleur est caractérisé non seulement par son intensité mais aussi par sa direction. Il est défini en chaque point de l'espace et a l'unité d'une densité surfacique de puissance (W/m^2). Il existe trois modes essentiels de transferts de chaleur : la conduction, le rayonnement et la convection.[11]

II.2.3.1. Transfert par conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres. La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température [14]

$$\varphi = -\lambda S \text{ grad } t \quad (2.1)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial t}{\partial x} \quad (2.2)$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par conduction. (W)

λ : Conductivité thermique du milieu. ($Wm^{-1}C^{-1}$)

x : Variable d'espace dans la direction du flux. (m)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur. (m^2)

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

II.2.3.2. Transfert par convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide (Figure II-2), l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. notons qu'il existe deux types de transferts convectifs :

- La convection forcée : dans laquelle l'écoulement du fluide est forcé par un dispositif mécanique quelconque (pompe ou gravité pour un liquide, ventilateur pour de l'air).
- La convection naturelle : lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un fluide, le fluide chaud, qui aura une masse volumique plus faible que le fluide froid aura tendance à monter sous l'effet de la poussée d'Archimède [11].

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton [14]

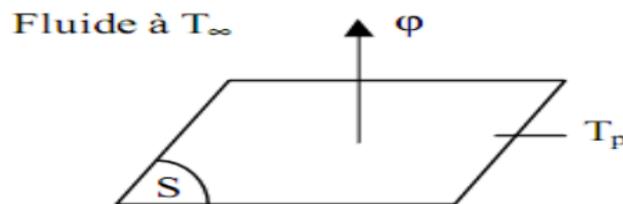


Figure II.2 : Schéma du transfert de chaleur convectif

Où

$$\varphi = h S (T_p - T_\infty) \quad (2.3)$$

φ : Flux de chaleur transmis par convection. (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection .($Wm^{-2}C^{-1}$)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide. (m^2)

T_p : Température de surface du solide. ($^{\circ}C$)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide. ($^{\circ}C$)

Remarque : La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

II.2.3.3. Transfert par rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide) (Figure II.3).

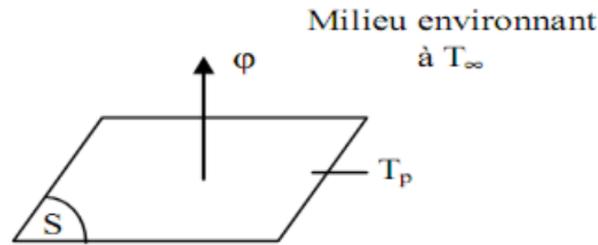


Figure II.3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif

Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation. [14]

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (2.4)$$

Avec

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement. (W)

σ : Constante de Stefan. ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$)

ε_p : Facteur d'émission de la surface.

T_p : Température de la surface. (K)

T_∞ : Température du milieu environnant la surface. (K)

S : Aire de la surface. (m^{-2})

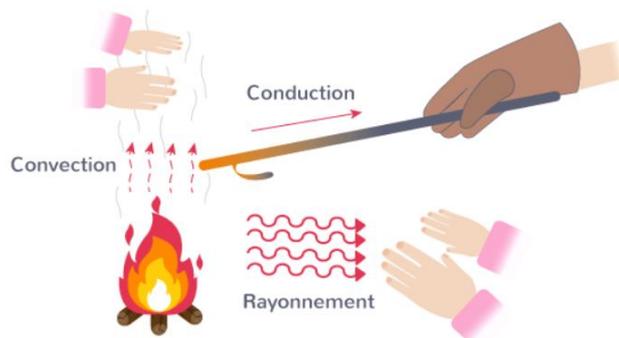


Figure II.4 : Les différents types de transferts thermiques [30]

II.2.4. Pertes thermiques dans un capteur solaire

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique : convection, conduction et rayonnement. [17]

II.2.4.1. Pertes par convection

Ce mode de transfert intervient généralement entre la couverture et le milieu extérieur, l'absorbeur et la lame d'air, la lame d'air et la couverture. Selon A. Benkhelifa (1998), le coefficient de pertes

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

thermiques augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur, sa température, et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, alors qu'il diminue avec l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre. Les obstacles soudés à l'absorbeur peuvent réduire les pertes par l'avant en diminuant la température de l'absorbeur, comme a été montrée par S. Youcef-Ali (2005). Ali M. El-Nashar (2006) a trouvé dans son travail expérimental que l'effet de la perte au niveau de la tuyauterie sur l'efficacité du capteur est faible dans les périodes de midi et grande dans les périodes du matin et après-midi.[17]

II.2.4.2. Pertes par conduction

Les pertes par conduction peuvent avoir lieu entre l'absorbeur et la vitre lorsque ces derniers se trouvent sur une très faible distance, comme elles existent au niveau de l'isolation de la partie arrière et latérale du capteur.[17]

II.2.4.3 Pertes par rayonnement

Les matériaux utilisés comme couvertures laissent passer le rayonnement solaire incident mais ils sont opaques au rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur porté à la température de 35 à 100 0C (c'est l'effet de serre), la face interne de la couverture absorbe ce rayonnement infrarouge, puis elle subit une augmentation de température et rayonne à son tour moitié vers l'extérieur et moitié vers l'absorbeur. Donc, les pertes par rayonnement sont diminuées de moitié. Il serait possible de réduire encore ces pertes en mettant plusieurs couvertures.[17]

II.3. L'énergie solaire photovoltaïque

Un capteur solaire photovoltaïque est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu en présence de rayonnement solaire. Constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, il sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques [15]



Figure II.5 : Capteur solaire Photovoltaïque.

II.4. L'énergie solaire thermique

Pendant le 19^{ème} siècle des tentatives ont été faites afin de convertir l'énergie solaire en d'autres formes basées sur la génération de la vapeur à basse pression pour actionner des machines à vapeur.

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

En 1875, Mouchot a fait une avance notable dans la conception de capteur solaire en faisant un réflecteur sous forme de cône court [16].

En 1901, A.G. Eneas a installé un collecteur de focalisation de diamètre 10 m qui a permis d'actionner un appareillage de pompage de l'eau d'une ferme de Californie. Pendant les 50 dernières années beaucoup de constructions ont été conçues en utilisant les collecteurs solaires afin de chauffer le fluide de fonctionnement qui actionne l'équipement mécanique. La fabrication de chauffe-eau solaire a commencé à partir des années 50. Leur industrie a augmenté très rapidement dans beaucoup des pays du monde. Le manque de l'eau était toujours un problème de l'humanité, par conséquent parmi les premières tentatives est d'utiliser l'énergie solaire pour le dessalement de l'eau de mer. La distillation solaire a été dans la pratique pendant longtemps, l'utilisation des concentrateurs solaires dans la distillation solaire a été rapportée par Pasteur (1928) qui a employé un concentrateur pour focaliser les rayons solaires sur une chaudière de cuivre contenant de l'eau [16].

- **Les composantes d'un système de conversion thermique**

Tout système de conversion de l'énergie solaire doit comprendre les éléments suivants :

- Une surface de captation du rayonnement solaire.
- Un circuit caloporteur qui assure le transfert de l'énergie extraite du capteur à l'élément d'accumulation (stockage des calories), les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont : l'eau et l'air.
- Un stockage thermique.
- Un réseau de distribution [16]

II.5. Les capteurs hybrides thermiques photovoltaïques

Un capteur photovoltaïque thermique (PV/T) est un capteur solaire hybride permettant de convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et de valoriser l'autre, habituellement perdue, en chaleur. Le concept consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique et thermique. Dans ce type de composant hybride, les cellules PV fonctionnent comme absorbeur thermique et sont refroidies grâce à la circulation d'un fluide caloporteur en face arrière. Plusieurs configurations de capteur existent et varient principalement selon la nature du fluide utilisé (eau, air ou bi-fluide) et selon le type d'absorbeur (plan, concentrateur) [15]

- **Principe du capteur PV/T**

La recherche et le développement dans les systèmes solaires photovoltaïques thermiques ont été menés depuis les années 1970. Surtout après la crise pétrolière de 1973, il était une prise de conscience à propos de la pénurie de ressources et la nécessité de développer les ressources énergétiques renouvelables indépendantes et locales. Cela a été particulièrement significative pour l'industrie photovoltaïque et donc aussi pour le développement de systèmes PV/T. La principale caractéristique

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

d'un système solaire hybride PV/T est la conversion du rayonnement solaire en électricité, en chaleur en même temps et elles sont généralement tenues au même endroit ; ce qui rend le combinaison de ces système est particulièrement intéressante, via le procédé d'extraction de chaleur du PV/T, la cellule photovoltaïque est activement refroidie ce qui permet de stabiliser ces performances électriques élevées (le rendement total de l'énergie produite par unité de surface est augmenté); un mètre carré de surface de PV/T donne plus d'électricité et de la chaleur par rapport à un mètre carré de module photovoltaïque et d'un mètre carré d'un capteur solaires thermiques séparément installés, les systèmes combinés permettent une apparence plus uniforme sur les toits et diminuée des coûts de l'installation. (Chow, 2010) [15]

II.6. Différent types des capteurs solaires

L'industrie peut être les capteurs solaires en plusieurs tailles pour répondre aux besoins de l'énergie solaire que la température requise pour l'eau et peuvent être classées en deux types : concentration et non concentration.[17]

La figure suivante montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire.[18]

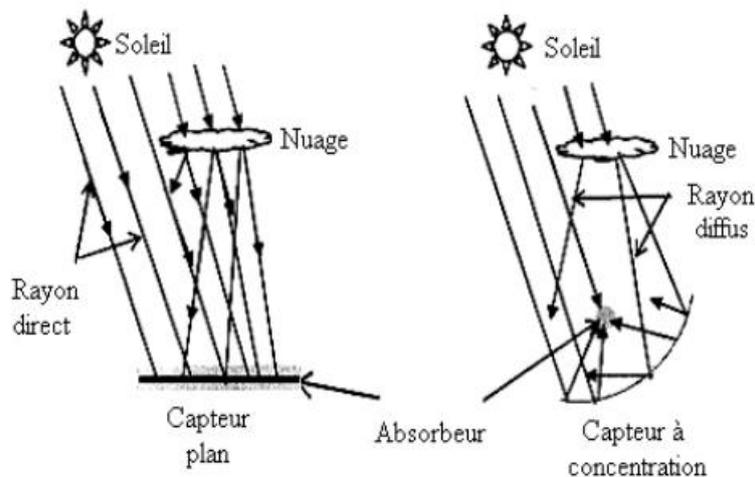


Figure II.6 : Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.[18]

II.6.1. Capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil.[17]

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

II.6.1.1. Capteur cylindro-parabolique

Est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section Parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs.[17]



Figure II.7 : capteurs cylindro-parabolique [17]

II.6.1.2. Capteur parabolique

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante.[17]

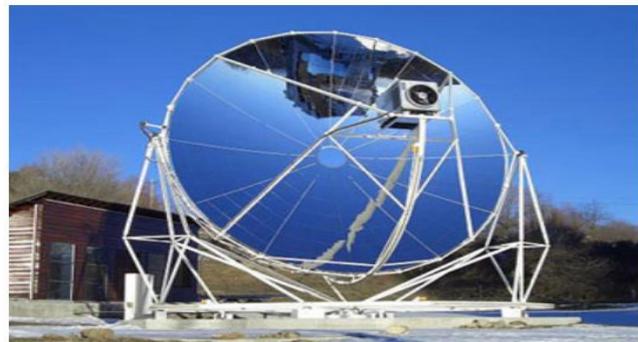


Figure II.8 : Capteur parabolique. [17]

II.6.1.3. Cheminée solaire

Son fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève. Une serre gigantesque, le « collecteur », placée tout autour de la cheminée centrale, chauffe l'air grâce au soleil et provoque un vent puissant exploité par des turbines situées à l'embouchure de la cheminée pour produire de l'électricité.[17]

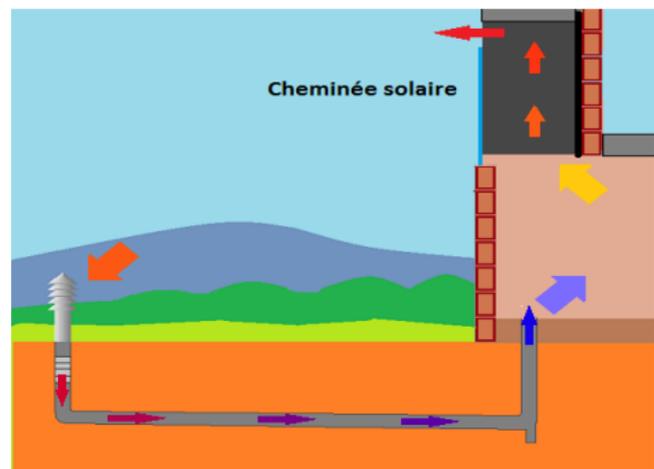


Figure II.9 : Cheminée solaire [17]

II.6.1.4. Tour solaire

Une tour solaire utilise la technique du solaire thermodynamique qui permet de transformer l'énergie solaire en chaleur à température élevée, puis de convertir cette chaleur en énergie électrique.[44]



Figure II.10 : Tour solaire [44]

II.6.2. Capteurs non concentration

❖ Capteurs solaires plan

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : Les effets de serre et du corps noir.

Capteur solaire couvert de type 2

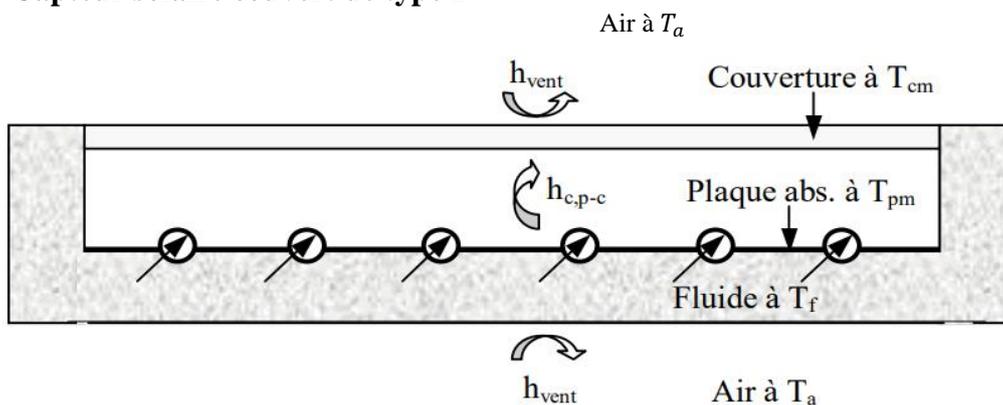


Figure II.11: Schématisation des flux convectifs dans un capteur solaire couvert de type 2 [9]

II.7. Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales [16]

II.7.1. Paramètres internes

II.7.1.1. La vitre

La plupart des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, à double ou triple. S.Youcef-Ali (2005) a montré dans une étude expérimentale que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce à la minimisation des pertes vers l'extérieur. Aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre de couvertures et il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur. Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisqu'il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur. Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont, son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et en service, c'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années des couvertures en plastique transparent ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides [16].

II.7.1.2. L'absorbeur

L'augmentation de la surface du capteur accroît le taux du rayonnement solaire intercepté et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (augmentation de la surface d'échange), mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur [16].

II.7.1.3. Forme et diamètres des pipes

Un autre facteur influe aussi sur l'efficacité du capteur, c'est bien, la tuyauterie, qui est généralement soudée à la partie inférieure de l'absorbeur et des fois fait partie de l'absorbeur, sa forme diffère d'un capteur à un autre. Parmi ces différentes formes, la forme sinusoïdale est la plus efficace, puisque elle offre la plus grande surface d'échange et réduit les zones mortes. Comme il est montré par Marwa. M. Hassan et Yvan Beliveau (2007), le diamètre des pipes le plus efficace est de l'ordre de 6.35 mm . Pour les réchauffeurs solaires à doubles passes et dans le but d'améliorer leurs efficacités. [16]

II.7.1.4. Fluide caloporteur

D'après le travail expérimental et numérique de Marwa. M. Hassan et Yvan Beliveau (2007), la diminution du débit massique augmente la température du fluide et décroît les gains globaux de la chaleur, au dessus d'un débit de 0.06 /h, la température du fluide n'augmente plus. [16]

II.8.1.5. L'isolation

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductives et convectives de l'absorbeur vers la vitre [16].

II.8.1.6. L'orientation et l'inclinaison du capteur :

L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires. O. Turgut et N. Onur (2008) ont tiré de leurs études expérimentales et numériques tridimensionnelle que, le Nusselt sur la surface des capteurs dépend faiblement de l'angle d'attaque et lorsque ce dernier diminue le taux de transfert thermique augmente [16].

II.7.2. Paramètres externe

II.7.2.1. Obstacles

Il s'agit avant tout des constructions et de la végétation, leur position dans la trajectoire solaire peut créer sur les surfaces captatrices une ombre nuisible au bon fonctionnement de l'installation. [14]

II.7.2.2. Rayonnement solaire

Selon F. Moukhtari et D. Semmar (1999), l'efficacité du capteur solaire est influée considérablement par le rayonnement solaire, et l'élévation de la température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident (Suleyman Karsil (2007)) [14].

II.7.2.3. Température

La température de l'environnement influe fortement sur le fonctionnement du capteur solaire. Runsheng Tang (2008) ont montré dans une étude expérimentale que les capteurs peuvent être endommagés par le gel pendant la nuit couverte [14].

II.7.2.4. Vitesse du vent

La vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre la vitre et l'extérieur qui agit sur la valeur des pertes, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est important. Lorsque le coefficient de transfert thermique dû au vent est à son maximum (pour une longueur de 1m d'absorbeur noir installé horizontalement) la réduction maximum de l'efficacité s'avère au plus bas niveau [14].

II.8. Conclusion

En fin de compte, nous avons conclu que la théorie des capteurs solaires dépend de deux études, la première étude, qui est le transfert de chaleur, concentre notre attention sur les trois types (rayonnement, conduction et convection) et s'appuie sur des relations mathématiques (le flux de chaleur). Les calculs et l'interprétation sont présentés dans le quatrième chapitre. La deuxième étude

Chapitre II : Equations gouvernantes et théorie du capteur solaire

sur les capteurs solaires (composition) a décrit les caractéristiques et les pertes thermiques de chaque type.

• • • • •

Chapitre III

Description du dispositif expérimental et les
appareils de mesure

• • • • •

III.1. Introduction

Danny Jonas et al., ont fait une étude sur : Performance modeling of PVT collectors : Implementation, validation and parameter identification approach using TRNSYS, et ont trouvé que :

Les capteurs photovoltaïques-thermiques (PVT) sont des solutions hybrides pour la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique et thermique. Le développement de modèles de capteurs PVT validés et standardisés est important pour la comparaison des produits, la prise de décision éclairée basée sur les performances énergétiques et économiques, et pour promouvoir la diffusion sur le marché de la technologie PVT. Cette contribution présente un nouveau modèle de performance PVT, compare différentes approches d'identification des paramètres et valide le modèle et son implémentation dans un logiciel de simulation commun (TRNSYS) pour les simulations de systèmes.

Pour le modèle de performance thermique, un modèle à deux nœuds avec une ou deux capacités thermiques est comparé.

L'approche à deux nœuds avec une capacité thermique représente une extension du modèle de capteur solaire thermique quasi-dynamique avec la fonctionnalité supplémentaire de la performance électrique. Cette approche de modélisation s'est également avérée être l'approche de modélisation recommandée pour les collecteurs PVT étudiés dans ce travail. En outre, la procédure d'identification des paramètres est décrite en détail et différentes approches sont comparées. Il est démontré qu'une identification combinée des paramètres du modèle thermique et électrique avec la détermination de tous les paramètres du modèle thermique et électrique est l'approche la plus appropriée en ce qui concerne la précision et l'effort de traitement.

En résumé, le modèle de performance PVT présenté et la procédure d'identification des paramètres proposée permettent d'obtenir un bon accord entre la puissance thermique et électrique simulée et mesurée pour les types de capteurs PVT analysés et les conditions de fonctionnement. Par conséquent, le modèle convient aux études de simulation dynamique et est proposé comme modèle de performance standardisé pour les collecteurs PVT.[38]

Dans cette partie du mémoire, on va expliquer les différents composants du capteur solaire et les différentes étapes de fabrication. On utilise les relations mathématiques du deuxième chapitre pour une fabrication avec le minimum des pertes donc évidemment une absorption maximum des rayonnements.

Ensuite, une brève description et photos des appareils utilisés pour la prise de mesures expérimentales.

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

Ce travail est personnel, la réalisation et les essais ont été effectués au niveau de l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimy -Bordj Bou Arreridj

No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	Panneau photovoltaïque	En Silicium	1
2	Grille de refroidissement	Soudé en parallèle et non pas sous forme serpentain	1
3	Serpentain du capteur solaire	où le fluide caloporteur circule	1
4	Capteur solaire	Composé d'un Absorbeur et serpentain en cuivre	1

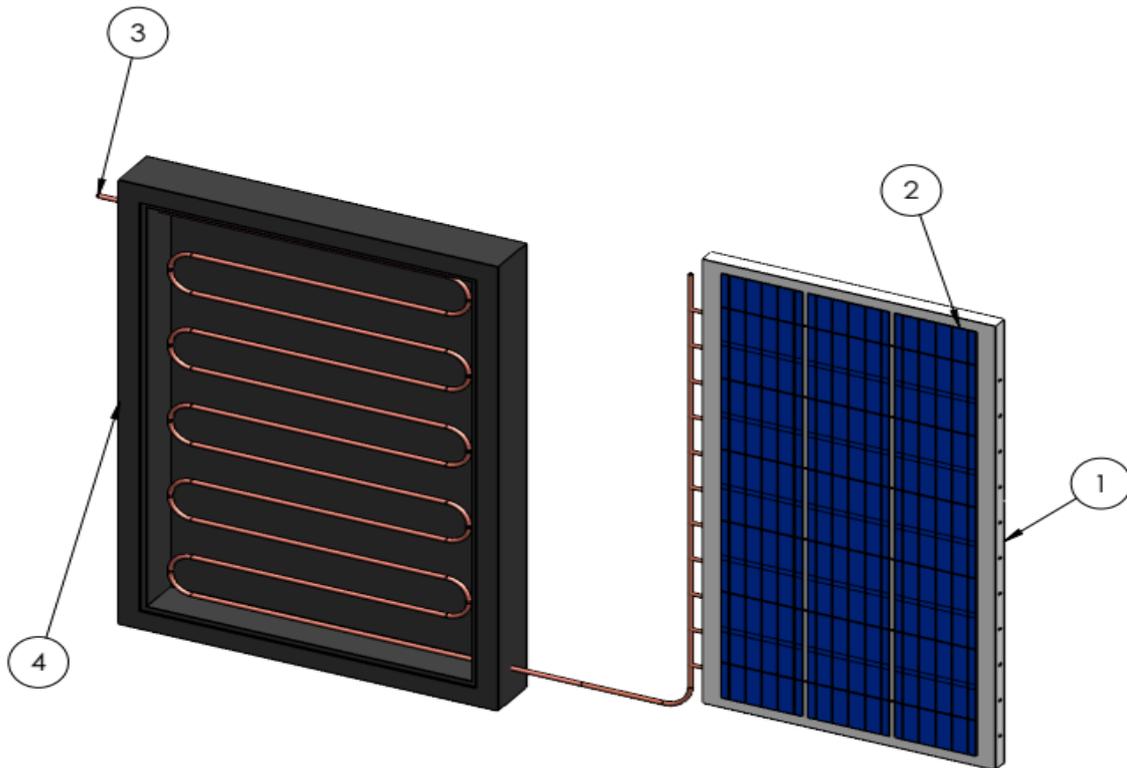


Figure III.1: Schéma de notre fabrication avec le logiciel Solidworks

III.2. Description du capteur solaire plan étudié

Le capteur solaire se compose de deux parties principales : le capteur solaire plan et le ballon de stockage, qui sont reliés entre eux par des conduites. Lorsque le rayonnement solaire frappe le capteur solaire, l'eau à l'intérieur se réchauffe, ce qui entraîne une diminution de sa densité. Cette variation de densité provoque la circulation du fluide par effet thermosiphon. Il est important de noter que le ballon de stockage doit être placé au-dessus du capteur solaire pour assurer un fonctionnement adéquat.

Le capteur solaire plan qui est un élément essentiel dans la capture et la conversion du rayonnement solaire, est composé des éléments suivants :

- Un caisson métallique
- Une couverture vitrée, généralement en vitrage ordinaire.
- Une plaque absorbante en aluminium, peinte en noir pour maximiser l'absorption de la chaleur.
- Une échelle tubulaire en cuivre, qui est fixée à l'absorbeur.

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

- Une isolation arrière, réalisée à l'aide de mousse polyuréthane ou de laine de verre.

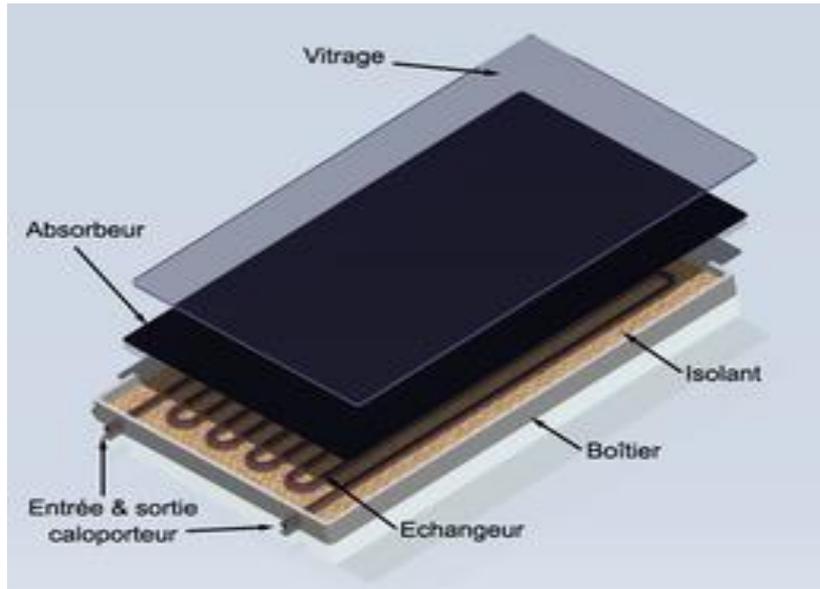


Figure III. 2 : Le capteur solaire plan. [33]

La Figure (III-3) est une représentation schématique d'un capteur solaire à thermosiphon, testé au Centre de Développement des Energies Renouvelable (CDER).[14]

III.2.1. Réalisation d'un capteur solaire thermique

Dans notre expérience, nous avons utilisé un capteur solaire thermique simple. Il présente l'avantage d'être simple à construire. Les composants clés de capteur solaire thermique sont les suivants :

1. Le coffre ou la cadre 2. Vitre. 3. Serpentine 4. Bac absorbant. 5. Isolation thermique.

Notre capteur solaire thermique réalisé est schématisé dans la figure (III-3).

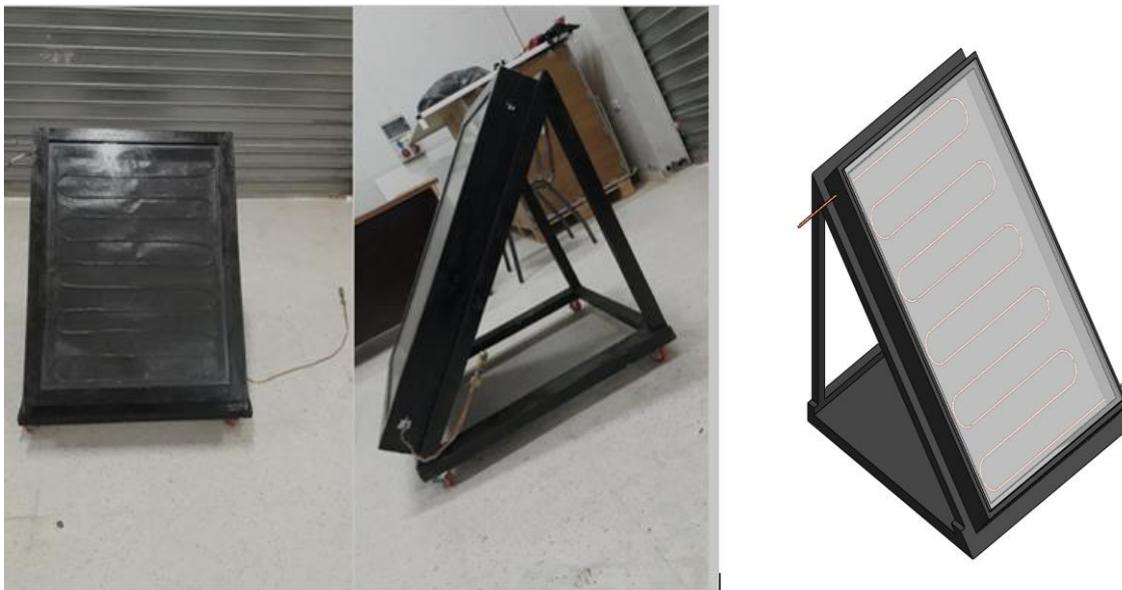


Figure III.3 : Capteur solaire thermique en réel et dessin en perspective sur Solidworks

III.2.1.1. Le coffre ou la cadre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, Le coffre protège l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur contre l'humidité et les détériorations mécaniques.



Figure III.4: La cadre de capteur solaire en bois.

III.2.1.2. Couverture verrière (verre)

Nous avons utilisé du verre ordinaire car ce type de verre transmet le maximum de rayonnement solaire à l'absorbeur.

Les dimensions de la vitre sont :

- Longueur : 0.89 ; Largeur : 0.59 ; Epaisseur : 0,003 ; Superficie $(0,89 * 0,59) = 054 m^2$

III.2.1.3. L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire thermique, qui absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le transforme en chaleur. La plaque de l'absorbeur peut être en métal or en plastique. Les matériaux plastiques provoquent des différences notables par rapport aux métaux.

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, car ils ont une excellente conductibilité thermique.

La taille de l'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium d'épaisseur 0,2 mm avec des variantes de 0,15 à 0,3 mm.

Pour réduire le plus possible la résistance thermique, il est crucial d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur.

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs :

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

Tableau III.1: Matériaux utilisés comme absorbeurs.[17]

Matériaux	Absorptivité $\alpha\alpha^*$	Emissivité $\epsilon\epsilon$	Sélectivité $\alpha\alpha^*/\epsilon\epsilon$	Température max (°C)
Black nickel	0,88 – 0,98	0,03 – 0,25	3,7- 32	300
Graphitic films	0,876 – 0,92	0,025 – 0,061	14,4 – 36,8	250
Black Copper	0,97 – 0,98	0,02	48,5 – 49	250
Black chrome	0,95 – 0,97	0,09 – 0,30	3,2 – 10,8	350 - 425

L'absorbeur se caractérise par deux paramètres :

- ❖ **Le facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité)** : le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident ;
- ❖ **Le facteur d'émission infrarouge ϵ (ou émissivité)** : le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température.

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé le transforme en par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R ($\epsilon \approx 0,9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir [17].

Dans notre cas ici nous avons utilisé de l'aluminium qui a été peint en noir.

Les dimensions de l'absorbeur :

- Longueur 0,89m; Largeur 0,60m; La surface totale de l'absorbeur est de 0,534m²



Figure III. 5 : Absorbeur

III.2.1.4. Le serpent

La serpentine est un élément le plus important dans le capteur solaire thermique après l'absorbeur, est un tube de cuivre sous la forme d'un serpent.

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

Le rôle de circuit hydraulique (La serpentine), est de récupérer la chaleur obtenue à l'absorbeur et la transmettre au fluide caloporteur circulant dans la serpentine, pour cela on doit avoir le meilleur contact entre la plaque absorbante et notre circuit hydraulique pour éviter toute résistance thermique supplémentaire.[32]

On peut définir quatre types de contact plaque-circuit :

- 1 – contact plaque-tube cylindrique.
- 2 – contact plaque-tube rectangulaire.
- 3 – soudure plaque-tube.
- 4 – forme convexe de la plaque absorbante.

Il existe différentes configurations pour la réalisation du circuit hydraulique :



Figure III.6 : Les différentes configurations du circuit hydraulique [32]

Dans notre réalisation, le tube en serpentin horizontale a les dimensions :

- Longueur 8 m
- Epaisseur 0,6 mm



Figure III.7 : La serpentine du capteur solaire

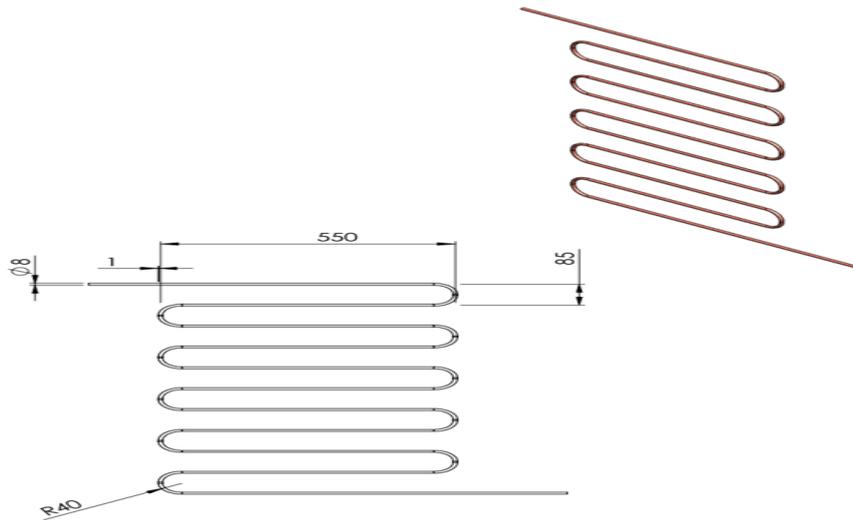


Figure III.8: Schéma de la serpentine du capteur solaire avec le logiciel Solidworks

Ensuite, nous avons soudé la serpentine dans l'absorbeur avec un matériau spécial en aluminium



Figure III.9: Une serpentine soudée avec un absorbeur

III.2.1.5. L'isolation thermique

L'isolant sert à réduire les pertes par convection et par conduction à travers la surface du boîtier, ça matière doit satisfaire les conditions suivantes :

- Ne doit pas être toxique ni explosif.
- Il doit résister à la gamme de température utilisée
- Il doit résister à l'humidité présentée dans le capteur.

L'épaisseur de l'isolant doit se situer dans la gamme indiquée si dessous :

Latérale : $0.035 < e_i < 0,075 m$

Arrière : $0.03 < e_{iarr} < 0,05 m$ [32]

Notre approche consiste à isoler efficacement les espaces en utilisant de la laine de verre comme matériau isolant.

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

Le laine de verre est un matériau isolant thermique fabriqué à partir de fibres de verre disposées de manière similaire à la laine. Elle est produite sous forme de panneaux ou de rouleaux avec différentes propriétés d'isolation thermique et mécanique.

Les dimensions de l'isolant thermique sont :

- Epaisseur : 0.04 m; Superficie de la base : 1.5 m²



Figure III.10 : Le verre de laine.

III.2.1.6. Le support

Le support c'est la pièce qui est placée dessus le capteur solaire, Notre support est réalisé en bois avec un angle de 45 degrés.



Figure III.11 : Le support

III.2.2. Les panneaux solaires

Nous avons utilisé deux panneaux solaires : panneau refroidi et l'autre une témoin.



Figure III.12: Les Deux Panneaux solaires PV/T et Témoin.

Nous avons installé une serpentine de tubes parallèles dans le deuxième panneau solaire

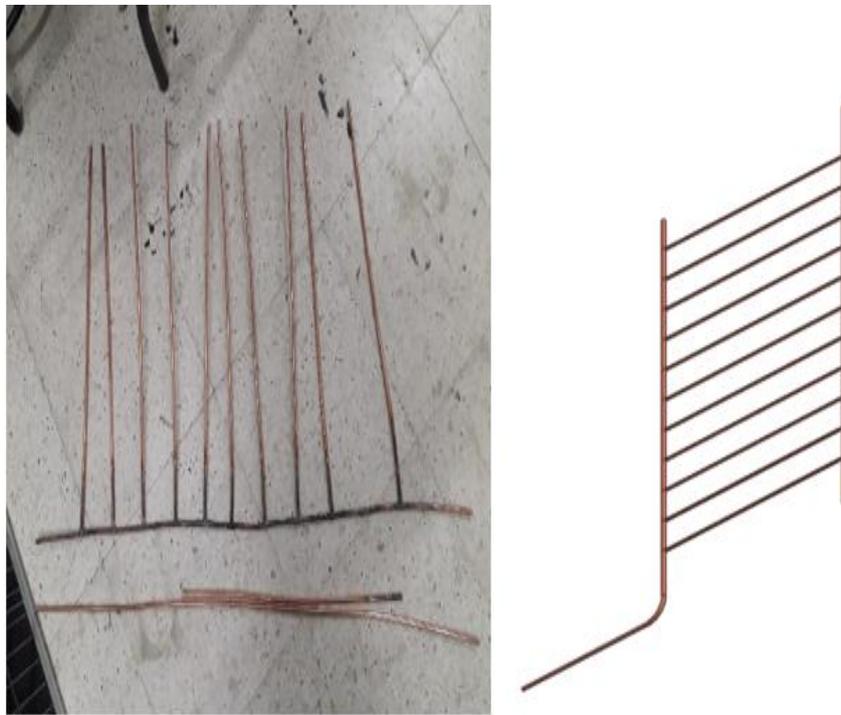


Figure III.13 : Un serpentin de tube parallèle

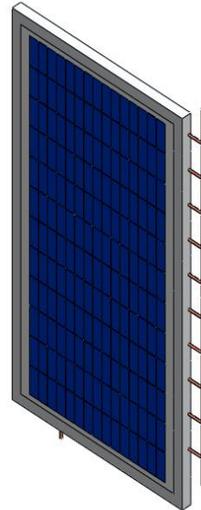


Figure III.14: Panneau solaire refroidi PV/T réel et en dessin en perspective cavalière



Figure III.15: Panneau solaire refroidi PV/T



Figure III.16 : Panneaux solaires témoin

III.3. Les appareils utilisés pour la mesure

III.3.1. Pyranomètre

Le Pyranomètre, est un appareil qui mesure le rayonnement direct. C'est un capteur qui mesure le flux de chaleur et permet d'évaluer l'énergie solaire présente dans la lumière naturelle du soleil, sensible à une large longueur d'onde spectrale de 300 à 2500 nanomètres, selon le filtre utilisé. L'unité de mesure

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure

du rayonnement solaire est l'irradiance, exprimée en watts par mètre carré (W/m^2), et est couramment utilisée en météorologie.



Figure III.17 : Pyranomètres

III.3.2. Multimètre (Metrix)

L'appareil Multimètres communément appelé Metrix, est un instrument de mesure polyvalent utilisé dans le domaine de l'électricité et de l'électronique. Il est conçu pour mesurer diverses grandeurs électriques telles que la tension, le courant, la résistance, la capacité et la fréquence.

Durant nos essais, Nous avons utilisé 4 Multimètres, deux pour la mesure de courant et deux pour la mesure de tension afin de comparer entre un panneau témoin et le panneau refroidis au même temps afin de minimiser les erreurs liées aux mesures.

Chapitre III : Description du dispositif expérimental et appareils de mesure



Figure III.18: Multimètres pour la mesure de courant



Figure III.19 : Deux Multimètres pour la mesure de tension.

III.3.3. Sondes de température

Les sondes de température sont des dispositifs utilisés pour mesurer la température dans différents environnements et applications : météorologie, maison, industrie, etc.

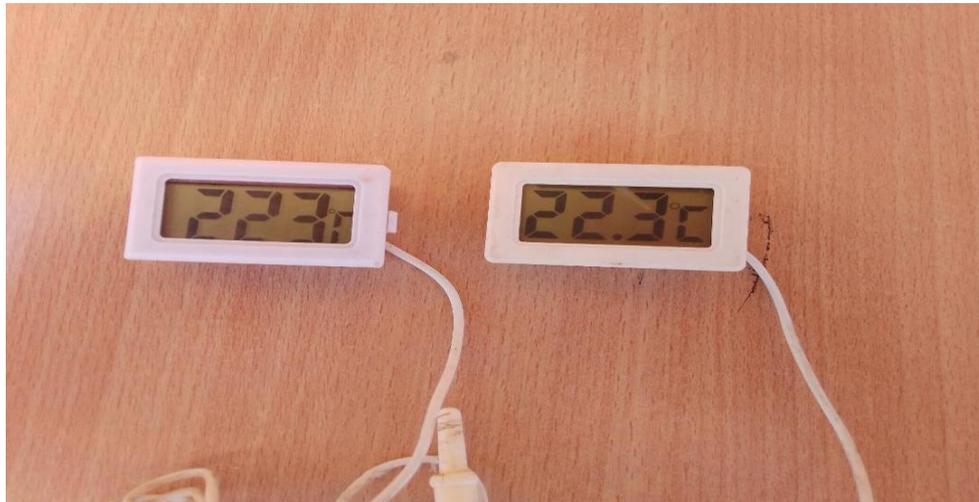


Figure III.20 : Sondes de températures

Utilisation des sondes de température pour mesurer la température dans chaque partie dans le capteur solaire



Figure III.21: Sondes de températures installées dans un capteur solaire

❧ •—————• ❧❧ •—————• ❧

CHAPITRE IV

Résultats Expérimentaux et Discussions

❧ •—————• ❧❧ •—————• ❧

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les résultats des essais réalisés sur le panneau solaire hybride, le panneau solaire simple et le capteur solaire thermique couplé avec le PV/T. L'objectif de cette étude est double : améliorer l'efficacité et le rendement électrique d'un panneau solaire en le refroidissant avec de l'eau, utilisé comme fluide de refroidissement, et au même temps utiliser la chaleur récupérée dans ce process afin de préchauffer l'eau entrante au capteur solaire afin d'en augmenter dans son efficacité.

La figure IV.1 suivante illustre le panneau solaire hybride (PV/T) et le capteur thermique utilisé dans notre étude.



Figure IV.1 : Les panneaux solaires et le capteur thermique pendant les essais

IV.2. Condition d'essai

Les données initiales de calcul :

1. Lieu de capteur solaire : Bordj Bou Arreridj, Latitude : 36.04N Longitude : 04.4 E
Altitude : 955m
2. Les heures d'essai (de 10h30min jusqu'à 15h00min).
3. l'effet du vent est 1,2 m/s
4. Humidité : 35%.
5. le jour considéré était : Lundi 12 Juin 2023)
6. Le pouvoir absorbant du matériau de cuivre $A_{ab} = 0.95$.
7. Le pouvoir absorbant du verre utilisé (verre ordinaire 4mm) $A_v = 0.04$.
8. l'émissivité de l'absorbeur $\epsilon_{ab} = 0.85$.
9. l'émissivité du verre $\epsilon_v = 0.93$.
10. le débit du fluide caloporteur = 0,00416 litres/s

Chapitre IV : Résultats Expérimentaux et Discussions

11. la chaleur spécifique d'eau. $C_p = 4180 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$

IV.3. Résultats et Discussions

IV.3.1. Graphes des panneaux solaire

Tableau IV.1 : Résultats obtenus de panneau solaire refroidi et du panneau témoin

Heure	Irradiation	Panneau Solaire Refroidis PV/T					Panneau solaire témoin				
		Température	Courant	tension	Rendement	Puissance	Température	Courant	tension	Rendement	Puissance
10:04	611	28	4,9	20,46	0,303855246	100,254	28,2	4,86	20,25	0,298281506	98,415
10:16	664	28,1	4,87	20,52	0,278704819	99,9324	28,4	4,82	20,3574689	0,272885988	98,123
11:09	853	29,5	4,88	20,45711066	0,265988223	99,8307	29,8	4,86	20,1611111	0,261065224	97,983
11:19	919	32,2	4,86	20,48195473	0,24617247	99,5423	32,4	4,85	20,1857732	0,242113463	97,901
11:29	942	35,1	4,9	20,24916327	0,23938646	99,2209	36	4,87	20,089117	0,23604034	97,834
11:39	969	35,4	4,96	20,00048387	0,232672859	99,2024	36,2	4,93	19,836714	0,229371892	97,795
11:49	1000	35,9	4,88	20,31780738	0,225342955	99,1509	36,2	4,83	20,2231884	0,221995455	97,678
11:59	1039	36,1	4,83	20,51865424	0,216784277	99,1051	36,3	4,79	20,3521921	0,213244816	97,487
12:09	1046	36,2	4,9	20,20440816	0,215108639	99,0016	36,5	4,85	20,068866	0,211485312	97,334
12:19	1085	36,3	4,85	20,39146392	0,207160871	98,8986	36,8	4,82	20,01	0,202028069	96,4482
12:29	1132	36,7	4,84	20,06	0,194929329	97,0904	37,3	4,82	19,94	0,192962576	96,1108
13:09	1116	36,9	5,03	20,73	0,212349096	104,2719	37,4	4,99	20,6	0,209339361	102,794
13:19	1168	37	5	20,64	0,200809465	103,2	38	4,96	20,48	0,19765878	101,5808
13:29	1098	37,3	5	20,65	0,213715019	103,25	38,2	4,95	20,47	0,209733607	101,3265
14:00	1082	38,4	5,02	20,7	0,218270039	103,914	38,7	4,97	20,51	0,214112544	101,9347
14:10	1056	39	4,89	20,79	0,218799716	101,6631	39,4	4,85	20,63	0,215339833	100,0555
14:20	1036	39,8	4,79	20,54	0,21583582	98,3866	40	4,74	20,35	0,211607143	96,459
14:30	986	41,4	4,79	20,15929019	0,222577448	96,563	41,9	4,76	20,2358824	0,222023788	96,3228
14:40	1000	43,6	4,78	20,06366109	0,217964318	95,9043	44,7	4,73	20,3554334	0,218820909	96,2812
14:50	974	44,9	4,75	20,01903158	0,221883517	95,0904	46,5	4,7	20,46	0,224383984	96,162

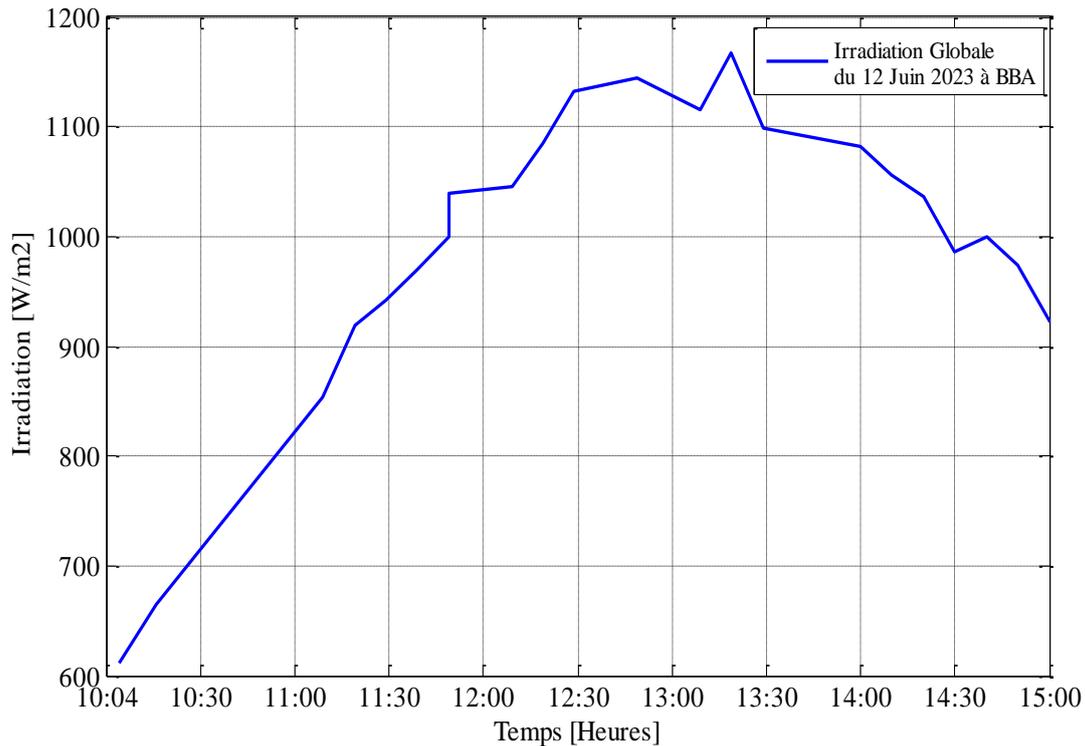


Figure IV.2 : Irradiation Globale en fonction du temps

L'allure de cette courbe donne une forme d'une cloche. On constate que :

La courbe présente des fluctuations dues aux variations naturelles de l'ensoleillement tout au long de la journée.

Une augmentation progressive jusqu'au pic d'irradiation solaire autour de midi 13 :15, La valeur maximale de l'éclairement est 1190 W/m^2 , suivi d'une diminution l'après-midi bien que cette valeur soit assujettie des erreurs dues à l'appareil de mesure utilisé.

Cette différence à cause de l'inclinaison (l'angle (i)), lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel et monte au cours de temps jusqu'à le 13 :15 et diminue jusqu'à le coucher de soleil.

Il y a aussi l'orientation tant que le panneau orienté directement à la direction du sud, cet angle positif vers l'Ouest, et négatif vers l'East, cet angle influe sur l'éclairement et évidemment influer sur le flux incident.

Les conditions météorologiques, telles que la couverture nuageuse, peuvent avoir un impact significatif sur l'irradiation globale. La journée de mesure, était ensoleillée.

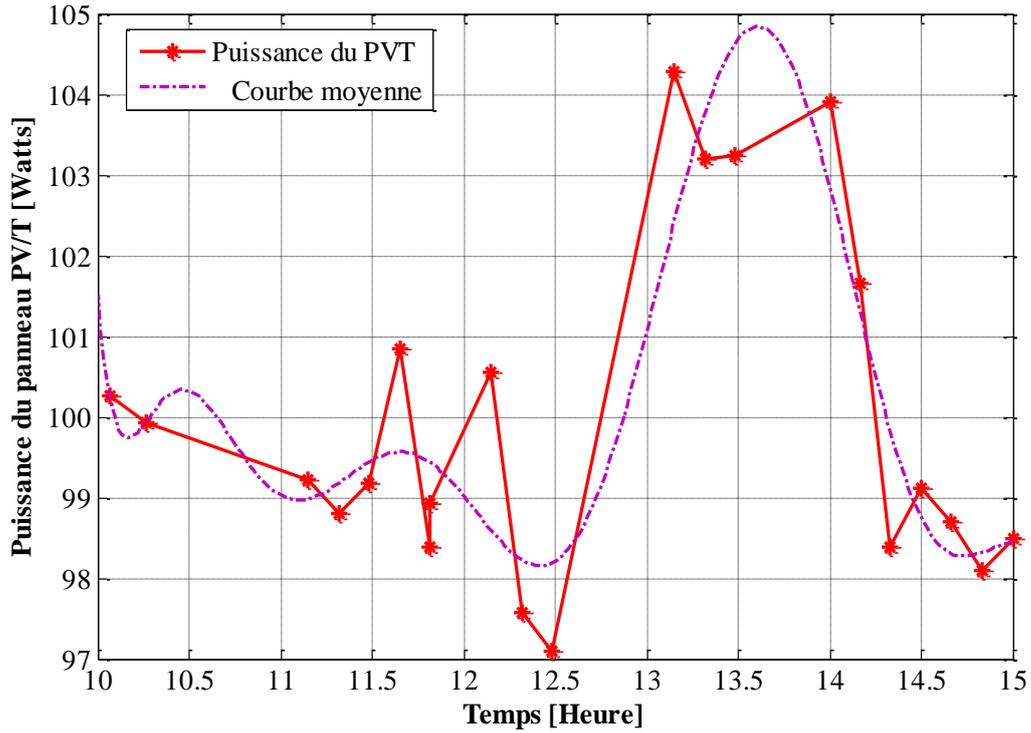


Figure IV.3 : Puissance du panneau PV/T en fonction de temps

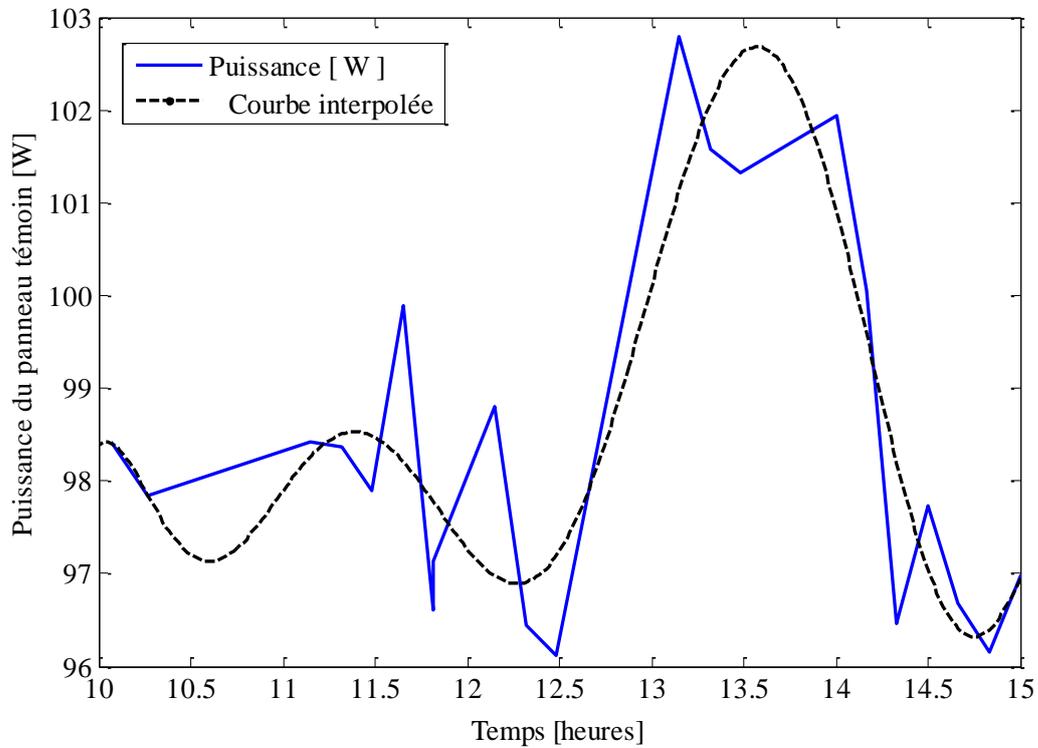


Figure IV.4 : Puissance du panneau témoin en fonction du temps

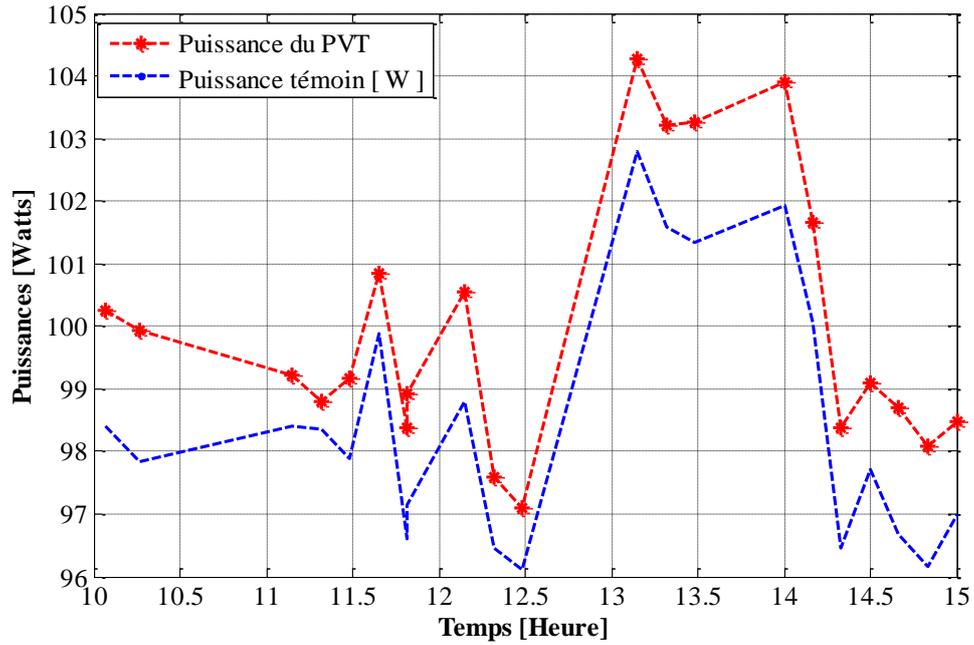


Figure IV.5 : Différences les panneaux PV/T et Témoin

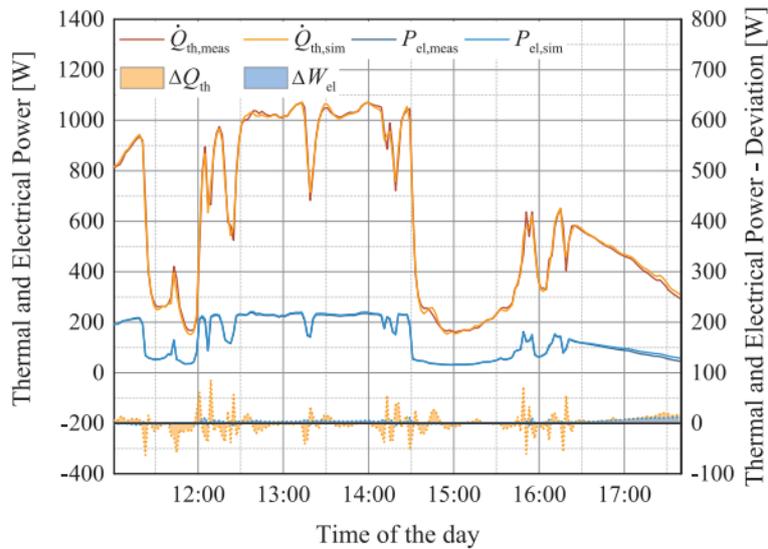


Figure IV.6: Model validation – Partly cloudy (Day type 2).[34]

On voit que la puissance demeure dans l'horizontale, puis elle prend un pic vers son maximum entre 12 :30 et 14 :30 ce qui est presque conforme aux travaux déjà réalisés (Danny Jonas, 2019), puis elle redescend pour être presque stable dans la suite du temps qui reste de la journée.

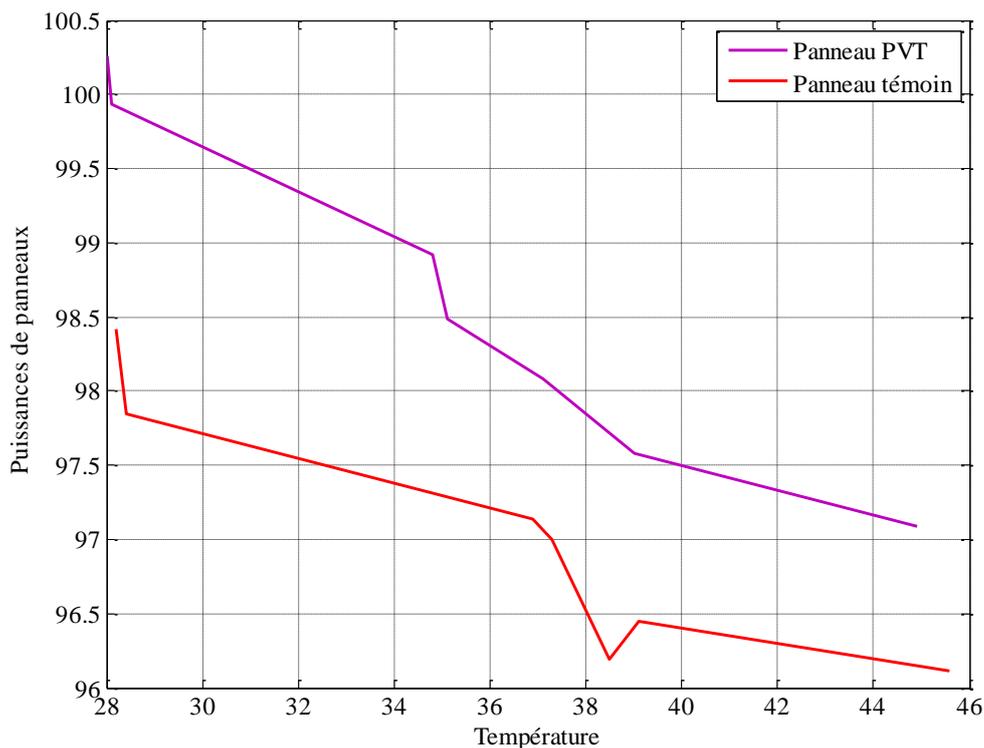


Figure IV.7 : Variation de la puissance en fonction de la température

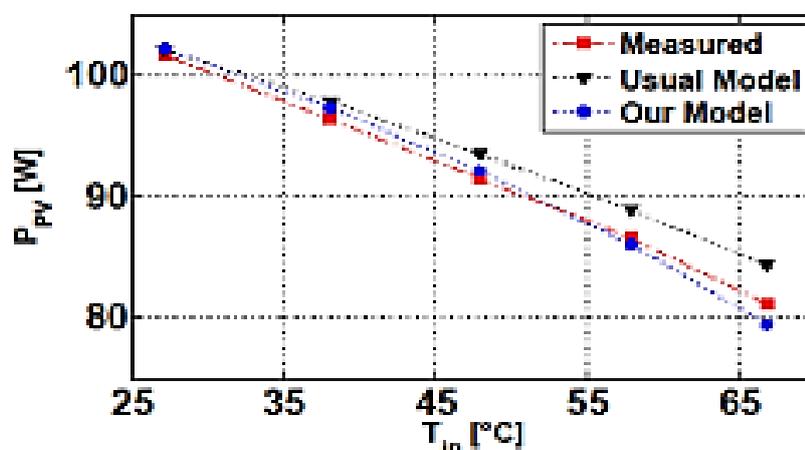


Fig. 5. Puissance PV maximale pour différentes températures d'entrée du fluide

Figure IV.8 : Puissance PV maximale pour différentes températures d'entrée du fluide [37]

On voit que la courbe de la puissance prend une descendante par rapport à la température ; ce qui est validé en les comparant avec les travaux disponibles dans la littérature (Pierrick Haurant, 2014), on voit que la puissance du panneau refroidis présente de meilleures valeurs par rapport au panneau témoin et c'est du grâce au refroidissement effectué bien que minime mais il existe bel et bien.

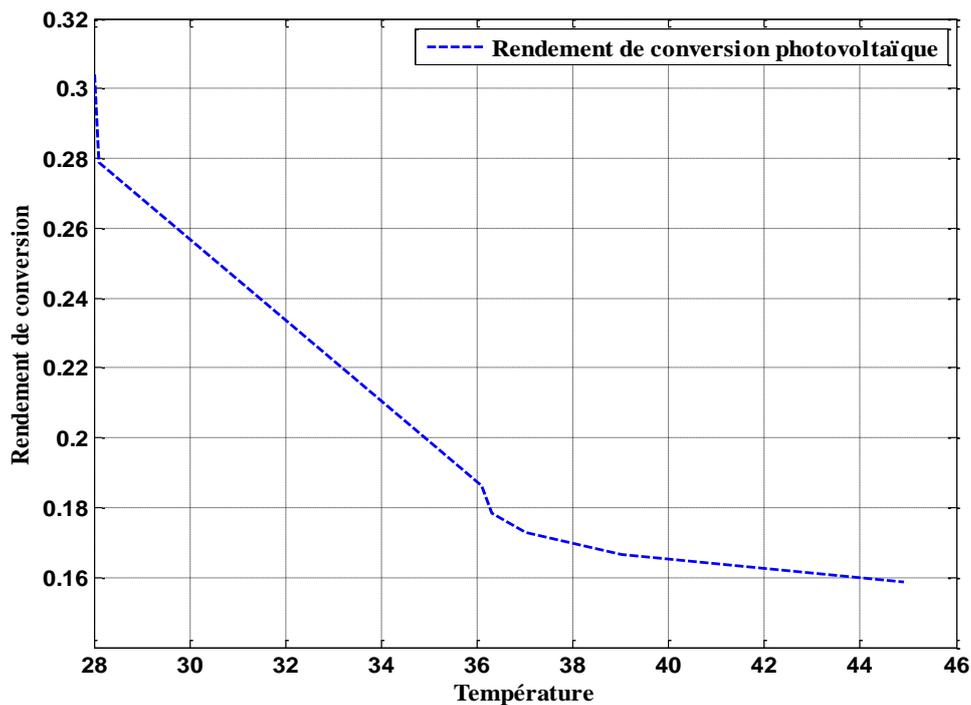


Figure IV.9 : Rendement de conversion en fonction de la température

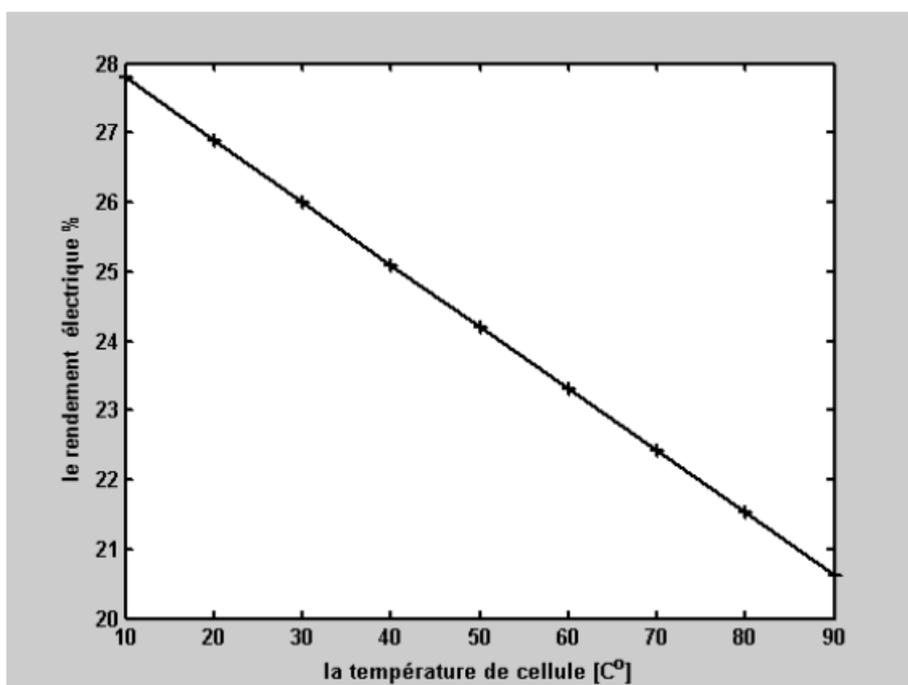


Figure IV.10 : Le rendement de la cellule en fonction de la température de la cellule [35]

Le rendement de conversion photovoltaïque diminue avec l'augmentation de la température comme témoigne les travaux déjà fait (Berkai, 2012) qui reste comme un inconvénient majeur dans les panneaux solaire ; ce qui a conduit vers la technique de refroidissement.

Chapitre IV : Résultats Expérimentaux et Discussions

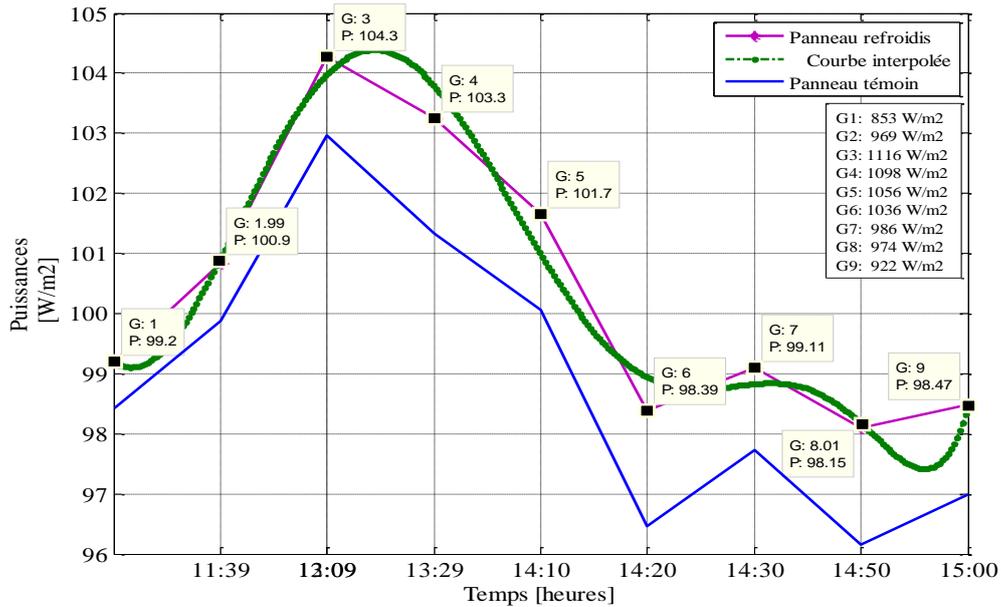


Figure IV.11 : Puissance en fonction de l'irradiation au cours de temps

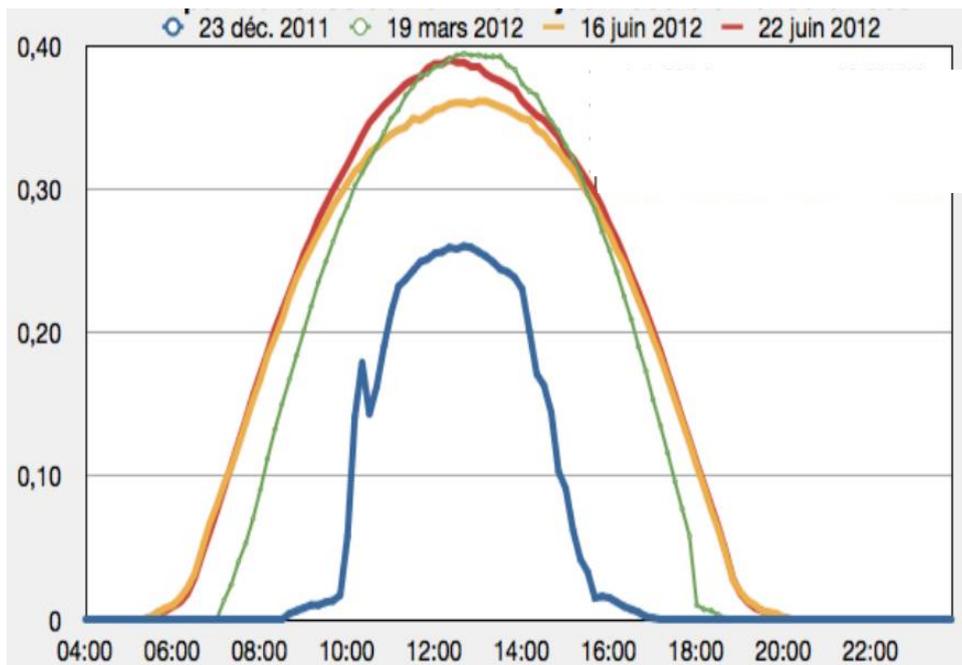


Figure IV.12 : puissance instantanée [36]

Dans cette figure ; la puissance prend une ascendance en fonction du temps et en éclairage ; jusqu'au elle atteint son maximum à l'environ de 12 :30, puis l'irradiance commence à chuter ce qui répercute sur la valeur de puissance qui commence à chuter aussi ; et puis la puissance du PV/T est nettement supérieure à celle du panneau témoin.

IV.3.2. Graphes du capteur solaire

Tableau IV.2 : Résultats obtenus de capteur solaire dans le jour (12/06/2023)

G	Heure	T_{atm}	T_e	T_s	T_{abs}	T_{verre}	T_{iso}	ΔT	\dot{m}	η
611	10:04	30	30,5	31,5	52,9	40,9	35	1	0,0043	0,01855953
664	10:16	30	28,5	30,5	54,5	39,2	34,5	2	0,0043	0,03415625
853	11:09	30,07	32,1	35,7	67,5	47,66	41,5	3,6	0,0043	0,04785879
919	11:19:00	31,1	32,1	33	76,5	42,89	37,2	0,9	0,0043	0,01110543
942	11:29	31,2	31,9	33,9	78,2	46,23	39,9	2	0,0043	0,02407617
318	12:39	36,9	35,7	59,9	80,9	41,43	38,1	24,2	0,0043	0,86297154
182	12:59	32,9	27,7	36,5	80,2	37,1	36	8,8	0,0043	0,5483016
1116	13:09	33,5	23	45,4	79,5	35,3	35,9	22,4	0,0043	0,22761037
1168	13:19	33,5	26,4	47,9	82,5	39,93	35,2	21,5	0,0043	0,20873912
1098	13:29	33	20	50,7	83,3	41,16	35,1	30,7	0,0043	0,31706205
1082	14:00	32	29,4	46,2	85,1	45,1	34,3	16,8	0,0043	0,17607198
1056	14:10	32,5	33,1	48	85,1	40,23	34,9	14,9	0,0043	0,1600039
1036	14:20	33,2	31,5	52,6	85,8	37,3	36,7	21,1	0,0043	0,23095689
986	14:30	32,8	30	43,6	85,9	38,33	35,6	13,6	0,0043	0,15641206
1000	14:40	33,5	32,8	48,2	86,8	39,36	35,7	15,4	0,0043	0,17463406
974	14:50	33,1	30,5	41,2	86,9	38,33	34,7	10,7	0,0043	0,12457562
922	15:00	31,9	29	39,6	86,9	39,36	35,1	10,6	0,0043	0,13037165

On récence quelques paramètres et index utilisés dans la suite du chapitre.

G : L'éclairement global incliné [W/m^2].

Q_u : le flux utile [W].

T_{abs} : la température d'absorbeur [$^{\circ}C$].

T_s : la température de sortie d'eau [$^{\circ}C$].

T_e : la température de d'entré d'eau [$^{\circ}C$]

T_{iso} : la température d'isolante [$^{\circ}C$]

T_v : la température de la vitre [$^{\circ}C$]

η : le rendement instantané.

H : le temps [heure].

\dot{m} : le débit massique .

Avec le Pyranomètre utilisé, on a recensé les données suivantes sur l'irradiation globale G sur le plan incliné formant le capteur solaire et les panneaux

Chapitre IV : Résultats Expérimentaux et Discussions

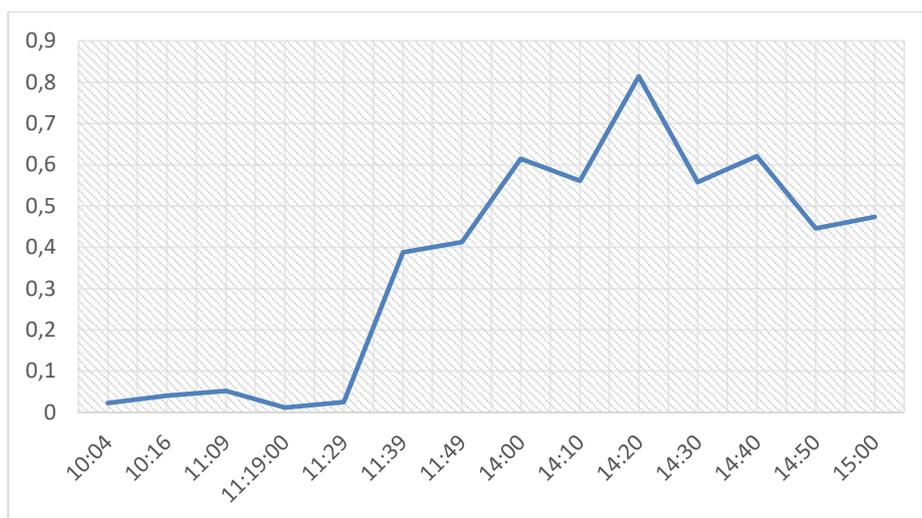


Figure IV.13 : Rendement instantané en fonction du temps

La courbe affiche une allure de cloche. Le rendement du capteur reste quasi constant. À l'environ de 11h29, il commence à augmenter jusqu'à atteindre son apogée à 0,8 vers 14h20. Ensuite, nous remarquons une diminution du rendement pendant une période après-midi, bien que cette valeur soit soumise à des erreurs liées aux appareils de mesure tels que les sondes utilisées. Cette variation est principalement due à l'inclinaison de la trajectoire du soleil dans le ciel. Au début de la journée, lorsque la trajectoire du soleil est basse, l'angle (i) augmente progressivement, puis diminue jusqu'au coucher du soleil. De plus, l'orientation du capteur solaire joue également un rôle, car lorsqu'il est directement orienté vers le sud, un angle positif vers l'ouest et un angle négatif vers l'est, cela affecte l'éclairement et, par conséquent, le flux incident.

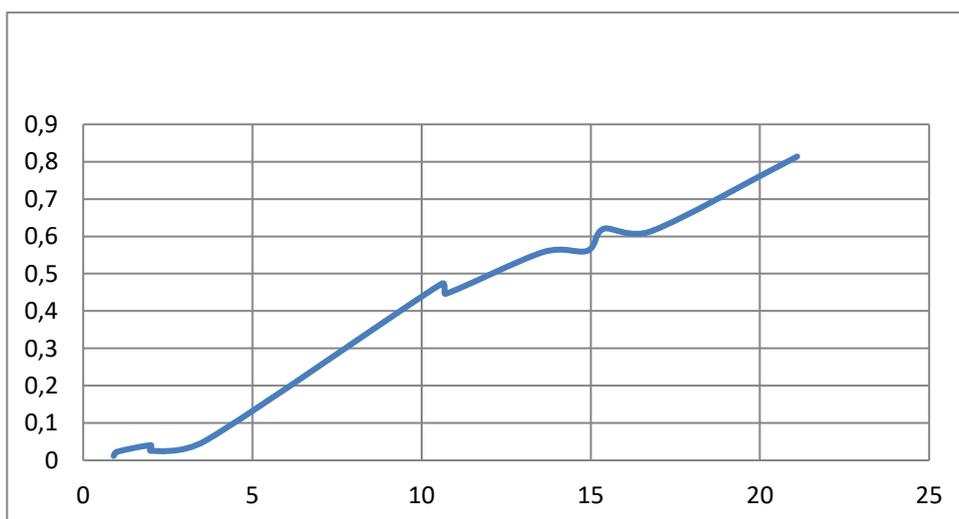


Figure IV.14 : Rendement en fonction de ΔT

Il est observé que cette évolution suit une trajectoire linéaire en raison des facteurs suivants :

- Le débit volumique initial est fixé à 0,00416 L/s.
- La chaleur spécifique de l'eau est constante, soit 4181 J/Kg.°C.

Chapitre IV : Résultats Expérimentaux et Discussions

- La surface S est également constante à 0,54.

La seule variable est donc la différence de température entre l'entrée et la sortie, ainsi que l'éclairement.

La courbe peut être représentée mathématiquement par l'équation $Y = A * x$ (fonction de ligne droite, comme notre courbe). Pour comprendre cette fonction et notre courbe, nous définissons les paramètres suivants : $Y =$ [valeur de Y], $A =$ [valeur d' A], et $x =$ [valeur de x]. Cela constitue une interprétation mathématique.

Dans la réalité, le rendement est contrôlé par l'éclairement et le ΔT par ce que à chaque fois que l'éclairement augmente, la plaque absorbante absorbe plus des rayonnements solaires qui sont ensuite transformés en chaleur, cette chaleur contribue à augmenter la température de sortie T_s qui sert à calculer le ΔT qui se voit aussi augmenter donc automatiquement le rendement va augmenter.

Conclusion générale

En conclusion, notre étude met en évidence l'importance de l'énergie solaire en tant que source d'énergie propre et renouvelable. Le soleil joue un rôle vital dans de nombreux processus naturels et offre de nombreux avantages à la vie sur Terre. Les énergies renouvelables, y compris l'énergie solaire, sont considérées comme l'une des sources les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux tout en réduisant l'utilisation des combustibles fossiles polluants.

La conversion de la majorité du rayonnement solaire absorbé par les cellules photovoltaïques en électricité conduit à une augmentation de leur température, réduisant ainsi leur efficacité électrique. Ici nous avons mis en évidence que l'utilisation de capteurs solaires hybrides (PV/T) offre une solution prometteuse pour augmenter l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en électricité et en chaleur.

Il existe plusieurs configurations de capteurs solaires hybrides, classées selon le type de fluide caloporteur utilisé, notamment le PV/T avec air et le PV/T avec eau.

Notre travail fait partie de la recherche et du développement des systèmes solaires hybrides dans des températures élevées ou basses. Notre étude expérimentale s'est concentrée sur la conception et la description d'un prototype préliminaire de collecteur solaire hybride. Les résultats ont montré une amélioration des performances de ce système hybride par rapport à l'unité photovoltaïque traditionnelle. Cette approche commune permet non seulement la production d'électricité, mais aussi la production d'eau chaude, offrant ainsi une fonction double et une utilisation plus efficace de l'énergie solaire.

En ce qui concerne la validation de nos résultats expérimentaux, nous avons démontré que nos résultats concordent bien avec la réalité.

Notre étude contribue à la recherche sur les collecteurs solaires hybrides et met en évidence leur potentiel dans la production d'électricité et d'eau chaude. L'utilisation de l'énergie solaire présente de nombreux avantages environnementaux et peut contribuer à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et atténuer les effets du changement climatique. Il est essentiel de poursuivre les efforts de recherche et de développement dans ce domaine afin de promouvoir

davantage l'utilisation des énergies renouvelables et de maximiser leur efficacité et leur impact positif sur l'environnement et la société.

Enfin, cette étude met en évidence l'importance d'accroître la sensibilisation et de promouvoir l'adoption de l'énergie solaire dans divers secteurs de la société. Si chaque individu contribue à l'utilisation de l'énergie solaire, il est possible de réduire notre dépendance à d'autres formes d'énergie et de préserver notre planète pour les générations futures. L'énergie solaire est une ressource abondante et inestimable, et son utilisation à grande échelle peut réellement changer notre avenir énergétique.



ANNEXE



عنوان المشروع:

تحقيق ونمذجة الألواح الشمسية الكهروضوئية الحرارية الهجينة PV / T

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في اطار القرار الوزاري 1275

صورة العلامة التجارية



الاسم التجاري

PHOENIX-GO

بطاقة معلومات:

حول فريق الاشراف وفريق العمل

1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي (01): امخلاف انيس	التخصص: استاذ جامعي MCB
المشرف المساعد: سي محمد بن عبد الله	التخصص: اطارفي سوناتراك

2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالبة: سعداوي خيرة	فيزياء المواد	علوم المادة

فهرس المحتويات

المحور الأول: التحليل الاستراتيجي للسوق

المحور الثاني: خطة الإنتاج والتنظيم

المحور الثالث: الخطة المالية

نموذج العمل التجاري BMC

المحور الأول: التحليل الاستراتيجي للسوق

عرض القطاع السوقى :

السوق المحتمل :

هو مجموعة المؤسسات العمومية والخاصة الشركات والمصانع أو الأفراد الذين يتواجدون على كل القطر الجزائري بحيث يجدون السخان الشمسي خاصتنا حلا يغطي مشاكلهم الخاصة التي يعانون منها السوق المستهدف :

تسعى شركتنا إلى تقديم منتج السخان الشمسي للمؤسسات الخاصة مثل شركة صوناطراك , كوندورو المصانع التي تصنع مواد قابلة للإشتعال مثل مصانع العطور, مواد التنظيف ,المواد الكيماوية المستشفيات والعيادات الخاصة وكذا مؤسسات الدولة والأفراد الأحرار في المناطق النائية . مبررات إختيار السوق :

تم اختيار هذه الفئة وذلك لحاجتهم الماسة لحل مشاكل الطاقة وكذا البحث عن الأمان والديمومة في العمل . مكانية إبرام العقود :

لقد وجدنا من خلال دراستنا للمشروع أن هناك إمكانية إبرام عديد العقود مع الشركات الخاصة والعمومية وكذا الشراء مع بعض المزعين والأفراد : مثل كوندور,كوسيدار,شيك ,ميس فلور.... قياس شدة المنافسة :

أغلب الشركات المنافسة في السوق الجزائرية لاتملك التقنية التكنولوجية المستعملة في سخاناتنا الشمسية وكذا مدة العمل والعيش للمنتج كما لايشكلون منافسة مباشرة لكيفية العمل المنتج والسعر المرتفع لمنتجاتهم . أهم المنافسين:

❖ شركة soled energie

❖ شركة Hilal energie

❖ شركة شمس

❖ شركة بتروجال

نقاط قوتهم :

من بين نقاط القوة التي يعتمدون عليها هي :

➤ التمويل الخاص والمستدام

➤ قوة العلامة التجارية

➤ التنوع في المنتجات التي تستخدم الطاقة الشمسية

➤ الأقدمية في السوق الجزائرية

نقاط ضعفهم :

➤ نقص جودة المنتج والتصنيع

➤ تقنية تكنولوجية قديمة جدا

➤ مدة عمل السخانة محدودة جدا

➤ درجة حرارة المياه غير مجدية نوعا ما

➤ تكلفة المنتج والتصليح المرتفعة

➤ مدة عيش المنتج صغيرة جدا

الإستراتيجية التسويقية

لقد قمنا في مؤسستنا بوضع إستراتيجية تسويقية جد فعالة وناجعة بحيث إعتدنا بشكل أساسي على خفض تكلفة الإنتاج ودخول السوق بأسعار جد تنافسية وهذا بفضل التكنولوجيا التصنيعية الجد المتطورة

كما اننا سنقوم بموازنة الجانب الأول مع الإعتماد على الترويج لمنتجاتنا عبر:

✓ المنصة الإلكترونية للمؤسسة

✓ التسويق الإلكتروني من خلال مواقع التواصل الإجتماعي

✓ لافتات إخبارية وإعلانات في المناطق الصناعية وتواجد الزبائن المحتملين

✓ المشاركة في الصالونات والمعارض الدولية والوطنية للطاقت المتجددة وكذا صالونات الأعمال

✓ حملات تسويقية تعتمد على محاضرات إقتصادية وعلمية مع القطاع السوقي

✓ توظيف عدد من الممثلين التسويقيين عبر مختلف ولايات الوطن

✓ كما تعتبر مؤسستنا زبائنها وشركائها المتعاملين أهم ركائزها بحيث تحيطها بشبكة من العلاقات المباشرة والغير المباشرة من خلال إتاحتها لعدد نقاط الإتصال وذلك لإيداع مراجعاتهم تشكراتهم

وأراهم إما عبر الاتصال المباشر لمكتب الشركة أو خدمات ما بعد البيع أو صندوق المراجعات للمنصة الإلكترونية .

المحور الثاني: خطة الإنتاج والتنظيم

عملية الإنتاج :

تمر عملية الإنتاج للسخان الشمسي بعدة مراحل أساسية :

❖ إقتناء المواد الأولية:

نقوم بجلب المواد الأساسية لصناعة منتجنا من الموزعين الأساسيين والممولين للشركة ونوزعها على الورشات والحرفيين الاحرار المتعاقدين معهم .

❖ عملية التصنيع :

صناعة الهيكل الخارجي من الألمنيوم المدعم

تركيب كل من الممتصة وكذا الخلية الأفعوانية في الهيكل

تركيب الزجاج الخارجي

تركيب كل من الهيكل والركائز الاساسية في الحامل

❖ تكييف المنتج :

نقوم بإخضاع المنتج لعدد الإختبارات لفحص الجودة والملائمة وكذا الأخطاء المحتملة للقيام بأحسن أداء

❖ التعبئة والتغليف :

نقوم بإعطاء المنتج رقم تسلسلي وإضافة كتيب إرشادات وورقة الضمان وتغليفه ووضعها في صندوق يراعي

ضروف التخزين والنقل

❖ التخزين :

نقوم بنقل المنتج النهائي لمستودع التخزين بإنتظار تسويقه

مخطط يوضح خط سير الإنتاج :



الموزعين وكذا المنصعين المباشرين لمختلف المواد الأولية لمنتجتنا.

شركة كوندور لصناعة الألواح الشمسية

شركة شمس للطاقات المتجددة

شركة إيبارسان لبيع لوازم الترخيص الصحي

شركة بروتوكول

شركة ألكوميتال لتوريد الألمنيوم

شركة كيال (Kyal)

تحديد سياسة الدفع وقت الاستلام :

اتخاذنا عدة عوامل في الاعتبار ويعتمد على طبيعة العمل والاتفاقات التجارية الخاصة بالشركة. هناك عدة

نقاط قمنا بأخذها في الاعتبار عند تحديد سياسة الدفع ووقت الاستلام:

(1) تقييم المخاطر

(2) دراسة المنافسة

(3) توفر الموارد المالية

4) توازن المصلحة

اليد العاملة :

تمكن مشروعنا من خلق

الشركات الرئيسية :

إن أهم شركاتنا الرئيسية كانت مع مختلف مصنعي وموردي المواد الأولية بإعتبارهم الركيزة الأساسية لسير خط الإنتاج يليهم الورشات والحرفيين المتعاقدين معهم لتصنيع اساسيات الهيكل وكذا شركات النقل والتوزيع

شركة كوندور لصناعة الألواح الشمسية

شركة سوناطراك

شركة شمس للطاقت المتجددة

شركة إيبارسان لبيع لوازم التريض الصحي

شركة بروتوكول

شركة ألكوميتال لتوريد الالمنيوم

شركة كيال (Kyal)

مؤسسة YALIDDINE

مؤسسة Z-STORE

ANED

BNA

CRMA

المحور الثالث: الخطة المالية

التكاليف والأعباء :

هيكل التكاليف

100000 DA	Frais d'établissement 1.1.1 تكاليف التعريف بالمنتج أو المؤسسة 1.1.2
50000 DA	Logiciels, formations 1.1.3 تكاليف (التكوين- برامج الاعلام الالي المختصة) 1.1.4
100000 DA	Frais de notaire ou d'avocat 1.1.5 تكاليف الموثق-المحامي 1.1.6
50000 DA	Enseigne et éléments de communication 1.1.7 تكاليف التعريف بالعلامة وتكاليف قنوات الاتصال 1.1.8
600000 DA	Matériel 1.1.9 الألات- الاجهزة 1.1.10
1000000 DA	Matériel de bureau 1.1.11 تجهيزات المكتب 1.1.12
400000 DA	Stock de matières et produits 1.1.13 تكاليف التخزين 1.1.14
5000000 DA	Trésorerie de départ 1.1.15 التدفق النقدي (الصندوق) الذي تحتاجه في بداية المشروع. 1.1.16

نفقات أو التكاليف الثابتة الخاصة بالمشروع

- 1.1.19	Assurances 1.1.17 التأمينات 1.1.18
50000 DA 1.1.22	Téléphone, internet 1.1.20 الهاتف والانترنت 1.1.21
400000 DA 1.1.25	Eau, électricité, gaz 1.1.23 فواتير الماء – الكهرباء- الغاز 1.1.24
50000 DA 1.1.28	Mutuelle 1.1.26 التعاضدية الاجتماعية 1.1.27
100000 DA 1.1.31	Entretien matériel et vêtements 1.1.29 صيانة المعدات والملابس 1.1.30
50000 DA 1.1.34	Nettoyage des locaux 1.1.32 تنظيف المباني 1.1.33

مصادر الإيرادات

2000000 DA	Apport personnel ou familial المساهمة الشخصية أو العائلية
ASF 40000000 DA	Prêt n°1 قرض رقم 1
ANADE 10000000 DA	Prêt n°2 (nom de la banque) قرض رقم 2 اسم البنك
CRMA 5000000 DA	Autre financement (libellé) تمويل آخر

رقم الأعمال:

رقم الأعمال المتوقع النظرة التفاضلية :

Produit A destiné Client	N -2	N -1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	70	100	100	100	300	600	900	1200
Prix produit A	45000 DA	50000 DA	45000 DA	450000 DA	1350000 DA	2700000 DA	4050000 DA	5400000 DA
Ventes produit A	70000D A	75000D A	75000D A	750000 DA	2250000 DA	4500000 DA	6750000 DA	9000000 DA

المجموع المتوقع :

$$9000000 \text{ DA} - 5400000 \text{ DA} = 3600000 \text{ DA}$$

رقم الأعمال المتوقع النظرة التشارؤية:

Produit A destiné Client	N -2	N -1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	70	100	70	70	210	420	630	840
Prix produit A	45000 DA	50000 DA	45000 DA	3150000 DA	9450000 DA	18900000 DA	28350000 DA	37800000 DA
Ventes produit A	70000 DA	75000 DA	75000 DA	5250000 DA	15750000 DA	31500000 DA	47250000 DA	63000000 DA

المجموع المتوقع:

$$63000000 \text{ DA} - 37800000 \text{ DA} = 25200000 \text{ DA}$$

رواتب الموظفين ومسؤولين الشركة:

6588000 DA	رواتب الموظفين Salaires employés
1920000 DA	أجور المسؤولين Rémunération nette dirigeant

جدول حسابات النتائج المتوقع :

التكاليف خلال سنة واحدة	المصاريف بالدينار
نفقاتك أو التكاليف الثابتة الخاصة	650000 DA
رواتب الموظفين ومسؤولين الشركة	8508000 DA
تكاليف الإنتاج	54000000 DA
إجمالي رقم المبيعات	90000000 DA

إجمالي السنة المحاسبية :

إجمالي التكاليف	إجمالي رقم المبيعات	الربح الصافي
DA 63158000	DA 90000000	DA 26842000

تطور رقم الاعمال خلال ثلاث سنوات :

إذا اعتبرنا أن نسبة تطور رقم أعمال الشركة خلال كل سنة محاسبية هو 10 %

السنة الاولى : **26842000 DA**

السنة الثانية : **29526200 DA**

السنة الثالثة : **32478820 DA**

النموذج الاولي التجريبي:



نموذج العمل التجاري

Business Model Canvas

Design pour :
panneaux solaires hybride

Design par :
SADAOUI Kheira

<p>Partenaires clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Groupe Bin Hammedi pour la fabrication de panneaux solaires • Distributeurs de quincaillerie • Entreprises de livraison • le gouvernement • Sonatrach 	<p>Activité clés</p> <p>Fabrication des panneaux solaires hybrides Fabrication de panneaux solaires thermiques et photovoltaïque Développement du nouveau système de produits solaire</p>	<p>Proposition de valeurs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Haute température : Température élevée par rapport aux autres systèmes:: • Flux de courant élevé • Il fonctionne 24h/24h • Prix bas / coût inférieur par rapport aux autres systèmes • Il est utilisé dans les régions éloignées • Il ne nécessite pas de source d'énergie telle que l'électricité ou le gaz • Le taux de sécurité est élevé : jusqu'à 100 %. 	<p>Relation avec clientèle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Service après-vente • Des offres et des remises pour fidélise les clients • service maintenance 	<p>Segment de clientèle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les hôpitaux : Privés : Bouranene, Zerfah, Les cliniques • De l'Etat : Lakhda Bouzidi, Mustata Bacha • D'entreprise de l'Etat • Sonatrach • Entreprises privées • Condor • Les individus • Les régions éloignées
<p>Ressources clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technicien de plombier • Ingénieur de mécanique énergétique • Ingénieur d'énergie renouvelable • Ouvrier diplômé • Labo d'essai • Atelier et fabrication • matières premières • secrétaire • Menuisier en aluminium • Fournisseur de matériaux de quincaillerie • Fournisseur de verre • matériaux électro – industriels • Machines de mesure 	<p>Structure de coûts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les coûts des produits première • Les coûts de l'atelier • Les coûts de transport • les coûts de main-d'œuvre • Les frais de livraison 	<p>Proposition de valeurs</p>	<p>Relation avec clientèle</p>	<p>Segment de clientèle</p>
<p>Structure de coûts</p>	<p>Sources de revenus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cash (vendre direct) • Chèque (Banque - Poste) • Remise de maintenance 	<p>Proposition de valeurs</p>	<p>Relation avec clientèle</p>	<p>Segment de clientèle</p>

Références Bibliographiques

- [1] : [https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/%C3%A9nergie_renouvelable/87381#:~:text=Se%20dit%20de%20formes%20d,uranium\)%2C%20dont%20les%20stocks%20sont](https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/%C3%A9nergie_renouvelable/87381#:~:text=Se%20dit%20de%20formes%20d,uranium)%2C%20dont%20les%20stocks%20sont)
17:44;20/02/2023
- [2] : <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/:17:18;20/02/2023>
- [3] : Belguendouz. M A, Brahim.M , Optimisation des performances d'un panneau solaire à air- Système Hybride PV/T –Etude expérimental, mémoire de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2021/2022, p88.
- [4] : M. Dariga « Réalisation d'un système de conversion et gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des réseaux de capteurs sans fil autonomes pour l'application aéronautique ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2010.
- [5] : Mechou Dihia , Etude comparative d'une installation d'un chauffe eau solaire GTP dans trois sites, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA 30/ 06 /2016..115P.
- [6] : F – Baghdadi. Cours -Energies renouvelables. Université de Bouira.P11
- [7] : Moussaoui Hanène ,Modélisation et simulation du panneau solaire sous différents rayonnement, mémoire de master, Université de B.B.A , 2020-2021, p96.
- [8] : S. Saadi, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, Mémoire de Magister en physique , Université freres mentouri Constantine, 2010.
- [9] : Yves JANNOT. Thermique solaire, Mars 2011
- [10] : Yves JANNOT, TRANSFERTS THERMIQUES,2012.
- [11] : Philippe Marty, COURS DE TRANSFERTS THERMIQUES. Université Joseph Fourier, Grenoble, 2012-2013, P45.
- [12] : <https://www.edfenr.com/lexique/semi-conducteur/02:53> ; 28/02/2023
- [13] : Taïb AJZOU. Cours de l'énergie solaire photovoltaïque. FS de Tétouan.P38.
- [14] : Si Mohamed Ben Abd Allah. Réalisation d'un capteur solaire plan et amélioration de son rendement par l'intégration des concentrateurs surfacique. Université de B.B.A,2012/2013, p78.
- [15] : BECHKI Sara, Etude Numérique D'un Capteur Solaire Hybride PVT. Mémoire Master Académique. UKM Ouargla, 2019/2020, P43.
- [16] : ABABSA Dalila, Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives, mémoire de magister en physique, Université EL-HADJ LAKHDAR-BATNA, 2009/2010, p122.

- [17] : NADJI NEDJEMEDDINE, Étude des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA , 2017/2018 , p109.
- [18] : N. Hamani 1 , A. Moummi 2* , N. Moummi 3 , A. Saadi 4 et Z. Mokhtari 5, Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie , 25 Juin 2007
- [19] : <https://www.africmemoire.com/part.3-chap-i-revue-de-la-litterature-2065.html> 22:38 12/05/2023 .
- [20] : ALIOUNE DIOP SY, conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire, senegal , universite cheikh anta diop de dakar, 2006/2007.
- [21] : <https://www.se.com/dz/fr/work/solutions/for-business/electric-utilities/power-generation/solar-power.jsp> 10:19,01/06/2023.
- [22] : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-eolienne> ;19:40;20/02/2023
- [23] : <https://www.missionenergie.goodplanet.org/fiche/les-energies-hydrauliques-2/> ; 19 :37 ;20/02/2023
- [24] : <https://mtaterre.fr/dossiers/comment-ca-marche-la-biomasse/lorigine-de-la-biomasse-et-les-enjeux-de-la-photosynthese> ;19:49; 20/02/2023
- [25] : <https://knowhow.distrelec.com/fr/energie-et-alimentation-electrique/energie-geothermique-une-source-denergie-renouvelable-sous-utilisee/> 19:02 ; 12/07/20223 .
- [26] : <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/panneau-solaire-thermique-tout-savoir> 10:27, 01/06/2023.
- [27] : <https://www.cder.dz/spip.php?article40> , 19 :21 ,24/05/2023.
- [28] : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Soleil-page-4.html> ;20:23;12/07/2023
- [29] : MEZIANE Manal; Conception et réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino. Master Académique. Université Larbi Ben M'hidi - Oum El bouaghi; 2020/2021; p58
- [30] : <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/les-transferts-et-les-bilans-denergies-thermodynamiques-1/52452> 7:24.8/03/2023
- [31] : <http://www.foad.uadb.edu.sn/mod/book/view.php?id=2429&chapterid=1477> 23:14 ; 03/06/2023
- [32] : KETFI OMAR, en réalisation et caractérisation d'un capteur solaire plan à eau, mémoire master énergies renouvelables, université saad dahleb de blida, octobre 2012
- [33] : http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan 20 :12 09/06/2023

[34] : Danny Jonasa, Manuel Lämmleb , Danjana Theisc , Sebastian Schneiderc , Georg Freya, Performance modeling of PVT collectors: Implementation, validation and parameter identification approach using TRNSYS, journal Solar Energy 193 (2019) 51–64.

[35] : Zakarya Berkai, Etude et simulation d'une cellule thermo-photovoltaïque, Université Tahri Mohammed Béchar, May 2012.

[36] : PV_Analyse (free.fr), 2011-2020 (30 juin) - page 1/16, 11:40 ; 25/06/2023

[37] : Pierrick Alexandre Haurant, Christophe Ménézo, Patrick Dupeyrat, Modélisation numérique d'un système hybride Photovoltaïque/Thermique intégré à un système de chauffe eau solaire, Conference Paper · May 2014.

[38]: Rahmani Djelloul; Analyse d'un système de concentration solaire pour la production d'hydrogène (cas de l'Algérie); Mémoire de Magister ; Université Hassiba BenBouali de Chlef ;2011/2012 .

[39] : <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-energie-hydraulique-6659/>;00:07;13/07/2023.

[40] : https://energypedia.info/images/c/c1/Le_Gisement_Solaire.pdf; 6:37 ; 13/07/2023.

[41] : Dr. SALMI Mohamed ; Support de cours : Gisement solaire ; Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; Septembre 2015.

[42] : BOUDOUMI. N; BOUSALEM .Ch ;Conception et réalisation expérimentale d'une installation solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire ;Ecole Nationale Polytechnique ALGERIE ; 2015.

[43] : Guillaume Deguy LUMPUNGU MABEYA; Etude et conception d'un systeme de climatisation utilisant le rayonnement solaire ; Université de Lubumbashi ; 2004.

[44] : https://www.maisondelenergie.fr/sites/maisondelenergie.fr/files/tour_solaire__0.pdf ; 20 :13 ;14/07/2023.

[45] : <https://fr.scribd.com/document/635376137/Cours-solaire-thermique-partie-I#>; 20 :43 ; 14/07/2023.

Résumé

Les capteurs solaires hybride PV/T, produisent à la fois de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque et de la chaleur à partir de l'énergie thermique générée par ces capteurs solaires thermovoltaïques. Il est bien connu que les panneaux photovoltaïques traditionnels produisent trois fois plus de chaleur que d'électricité. L'augmentation de la chaleur à l'intérieur de l'unité est l'une des principales causes de la baisse des performances des panneaux photovoltaïques. C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser une technique de dissipation de chaleur. L'avantage de la technique hybride réside dans le refroidissement des cellules photovoltaïques grâce à la circulation d'un fluide, qui sera chauffé lors de son passage à travers le capteur. L'originalité de cette étude réside dans la récupération de cette énergie thermique par chauffage. L'objectif de cette proposition est d'effectuer une étude expérimentale sur le capteur PV/T afin d'examiner l'effet des différentes variables sur les performances énergétiques du capteur PV/T. Les résultats indiquent que ce type de collecteurs est une bonne alternative aux unités photovoltaïques et aux collecteurs thermiques installés séparément.

Mots clés : énergie solaire, ensoleillement global, les capteurs solaires hybride, l'énergie solaire photovoltaïque, capteurs solaires thermovoltaïque , fluide caloporteur ,capteur plan.

Abstract

Solar thermal photovoltaic systems produce both electricity from solar photovoltaic energy and heat from the thermal energy generated by solar thermal collectors. It is well known that traditional photovoltaic panels produce three times more heat than electricity. The increase in heat within the unit is one of the main causes of the decrease in the performance of photovoltaic panels. Hence, the need for heat dissipation technology arises. The advantage of hybrid technology lies in cooling the photovoltaic cells through the circulation of a fluid, which will be heated during its passage through the sensor. The novelty of this study lies in the recovery of this thermal energy through heating. This proposal aims to conduct an experimental study on the PV/T collector to examine the effect of different variables on the energy performance of the PV/T collector. The results indicate that this type of collector is a good alternative to photovoltaic units and thermal collectors installed separately.

Keywords: solar energy, global insolation, hybrid solar collectors, photovoltaic solar energy, thermovoltaic solar collectors, fluid heat exchanger, flat panel collector.

ملخص

تنتج مجمعات الطاقة الشمسية الحرارية الهجينة كلاً من الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضوئية والحرارة من الطاقة الحرارية الناتجة عن مجمعات الطاقة الشمسية الحرارية. من المعروف أن الألواح الكهروضوئية التقليدية تنتج حرارة أكثر بثلاث مرات من الكهرباء. تعتبر زيادة الحرارة داخل الوحدة أحد الأسباب الرئيسية لانخفاض أداء الألواح الكهروضوئية. هذا هو السبب في ضرورة استخدام تقنية تبديد الحرارة. تكمن ميزة التقنية الهجينة في تبريد الخلايا الكهروضوئية بفضل دوران السائل ، والذي سيتم تسخينه أثناء مروره عبر لاقط شمسي. تكمن أصالة هذه الدراسة في استعادة هذه الطاقة الحرارية بالتسخين. ، الهدف من هذا الاقتراح هو إجراء دراسة تجريبية على مجمع PV / T لفحص تأثير المتغيرات المختلفة على أداء الطاقة لمجمع PV / T تشير النتائج إلى أن هذا النوع من المجمعات هو بديل جيد للوحدات الكهروضوئية والمجمعات الحرارية المثبتة بشكل منفصل .

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ، الشمس العالمي ، مجمعات الطاقة الشمسية الهجينة ، الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، المجمعات الطاقة الشمسية الحرارية ، مبادل حراري للسوائل , مجمع مسطح .