



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Énergétique**

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**Qussay Omar Mohammed HROUB**

Le : mercredi 10 juillet 2019

## Etude expérimentale d'un concentrateur solaire cylindro- parabolique à base de miroirs plans dans la région de Biskra

---

### Jury :

Dr.	Massoud BEN MACHICH	MCB	Université de Biskra	Président
Pr.	Mohamed Said CHEBBAH	Pr	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Kamel AOUES	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : Choisissez une année

Année universitaire : 2018 - 2019

## *Dédicace*

*A mon cher pays Palestine...*

*A mes chers parents*

*Mes frères et mes sœurs*

*A tous mes chers amis, à l'EPITA07 team*

*Et tous ce qui m'a aidé de près ou de loin...*

## *Remercîment*

Je tiens à exprimer tous mes remerciements à mon cher encadreur, Kamel AOUES, pour son aide, ses conseils, et sa générosité tout au long de ce parcours.

Un grand merci à ma petite famille, mes frères, mes sœurs, mes chers parents pour leurs sacrifices, encouragement et soutien, merci infiniment à mon ami Mohamed Aymen KETHIRI qui a été présent de moi dès le début de notre parcours, et qui a contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie également mes chers amis de l'EPTA07 team pour leurs encouragements et leurs conseils, durant mon parcours universitaire.

J'en profite pour remercier infiniment, Monsieur Ismail GUETTALA pour son soutien dès le début de l'année, aussi que sa disponibilité à tout moment pour me rendre le service.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes chers amis, intervenant par leurs paroles, écrits, conseils et leurs critiques, qui ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches, aussi par leurs aides dans le cadre pratique.

Merci infiniment à mes enseignants, les membres de jury.

# SOMMAIRE

<b>Listes des figures</b> .....	VIII
<b>Liste des tableaux</b> .....	XI
<b>Nomenclature</b> .....	XII
<b>Résumés</b> .....	XV
<b>Introduction générale</b> .....	2
 <b>Chapitre 1:Généralités sur les concentrateurs solaires</b>	
1.1 Introduction.....	6
1.2 Les capteurs solaires .....	6
1.3 Les concentrateurs solaires.....	7
1.3.1 Le concentrateur parabolique (CP).....	7
1.3.2 La tour solaire.....	8
1.3.3 Les miroirs de Fresnel.....	9
1.3.4 Le concentrateur cylindro-parabolique (CCP).....	10
1.4 Conclusion .....	12
 <b>Chapitre 2 : Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique (CCP)</b>	
2.1 Introduction .....	14
2.2 La géométrie parabolique .....	14
2.3 Description optique .....	17
2.4 Système optique d'une surface cylindro-parabolique.....	17

2.5	Les composants d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique.....	18
2.5.1	Réflecteur (miroirs).....	18
2.5.2	Récepteur (Le tube absorbeur).....	19
2.5.3	Mécanisme de suivi du soleil.....	20
2.6	La concentration.....	20
2.6.1	Concentration géométrique.....	20
2.6.2	Concentration optique .....	21
2.7	Température de l'ouverture du récepteur.....	22
2.7.1	L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur.....	23
2.7.2	Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur.....	24
2.7.3	Puissance correspondant aux pertes thermiques.....	24
2.7.3.1	Pertes par convection.....	24
2.7.3.2	Pertes par rayonnement.....	25
2.7.3.3	Pertes par conduction.....	26
2.8	Rendement du concentrateur.....	27
2.9	Conclusion .....	27

### **Chapitre 3:Description du band d'essai expérimental**

3.1	Introduction.....	29
3.2	Description les différentes parties du CCP.....	30
3.2.1	Le réflecteur.....	30
3.2.2	Le foyer.....	35
3.2.3	Système de poursuit du soleil .....	38

3.2.4 Assise de fixation du CCP au sol.....	39
3.3 Appareils et méthodes de mesure.....	41
3.4 Problèmes rencontrés.....	42
3.5 Conclusion .....	42

## **Chapitre 4 : Résultats et discussions**

4.1 Introduction.....	44
4.2 Données du lieu.....	44
4.3 Position du concentrateur.....	44
4.4 Résultats et discussions.....	44
4.4.1 La concentration.....	44
4.4.2 Evolution de l'éclairement solaire direct.....	45
4.4.3 Evolution de la vitesse du vent.....	48
4.4.4 Evolution de la température ambiante.....	52
4.4.5 Evolution du chauffage du récepteur.....	55
<b>Conclusion et Perspectives .....</b>	<b>60</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>61</b>

## Listes des figures

<b>Chapitre 1 : Généralités sur les concentrateurs solaires</b>		
<b>Figure 1.1.</b>	Concentrateur parabolique [7].	<b>8</b>
<b>Figure 1.2.</b>	Tour solaire [6].	<b>9</b>
<b>Figure 1.3.</b>	Miroirs de Fresnel [4].	<b>10</b>
<b>Figure 1.4.</b>	Centrale électrique de Hassi R'mel [9].	<b>11</b>
<b>Figure 1.5.</b>	Concentrateur cylindro-parabolique [11].	<b>11</b>
<b>Chapitre 2 : Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique (CCP)</b>		
<b>Figure 2.1.</b>	Description géométriques de la parabole [13].	<b>14</b>
<b>Figure 2.2.</b>	Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole $d = 1\text{m}$ [15].	<b>15</b>
<b>Figure 2.3.</b>	Description géométrique d'un cylindro- parabolique [10].	<b>16</b>
<b>Figure 2.4.</b>	Description optique d'un cylindro- parabolique [10].	<b>17</b>
<b>Figure 2.5.</b>	Système optique d'une surface cylindro-parabolique [16].	<b>18</b>
<b>Figure 2.6.</b>	Miroirs de concentrateur [17].	<b>18</b>
<b>Figure 2.7.</b>	Le tube absorbeur [17].	<b>19</b>
<b>Figure 2.8.</b>	Description du tube absorbeur [20].	<b>19</b>
<b>Figure 2.9.</b>	Exemple de système de mouvement [7].	<b>20</b>
<b>Figure 2.10.</b>	Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur [15].	<b>21</b>
<b>Figure 2.11.</b>	Bilan énergétique [22].	<b>22</b>
<b>Figure 2.12.</b>	Réflexion d'un rayon parallèle [1].	<b>23</b>
<b>Chapitre 3 : Description du band d'essai expérimental</b>		
<b>Figure 3.1.</b>	Réflecteur cylindro-parabolique.	<b>29</b>
<b>Figure 3.2.</b>	Interface avant et arrière du CCP.	<b>31</b>
<b>Figure 3.3.</b>	Dimensions du réflecteur.	<b>32</b>
<b>Figure 3.4.</b>	Installation de miroirs.	<b>32</b>

<b>Figure 3.5.</b>	Première Méthode de correction de l'orientation des miroirs.	<b>33</b>
<b>Figure 3.6.</b>	Deuxième Méthode de correction de l'orientation des miroirs.	<b>33</b>
<b>Figure 3.7.</b>	Troisième méthode de corriger la direction des miroirs.	<b>34</b>
<b>Figure 3.8.</b>	Outils utilisés pour installer et corriger les miroirs.	<b>34</b>
<b>Figure 3.9.</b>	Coupe transversale du tube d'absorption et de la couverture.	<b>35</b>
<b>Figure 3.10.</b>	Tube d'absorption et la couverture.	<b>36</b>
<b>Figure 3.11.</b>	La première et la deuxième étape.	<b>37</b>
<b>Figure 3.12.</b>	La troisième et quatrième étape.	<b>37</b>
<b>Figure 3.13.</b>	La Cinquième et sixième étape.	<b>37</b>
<b>Figure 3.14.</b>	La septième étape.	<b>38</b>
<b>Figure 3.15.</b>	La partie électrique.	<b>38</b>
<b>Figure 3.16.</b>	Système de poursuit du soleil.	<b>39</b>
<b>Figure 3.17.</b>	Dessin de définition de l'assise en béton armé du CCP.	<b>40</b>
<b>Figure 3.18.</b>	Position du thermocouple.	<b>41</b>
<b>Figure 3.19.</b>	Pyranomètre et Anémomètre.	<b>41</b>
<b>Chapitre 4 : Résultats et discussions</b>		
<b>Figure 4.1.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 25/04/2019.	<b>45</b>
<b>Figure 4.2.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 27/04/2019.	<b>45</b>
<b>Figure 4.3.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 28/04/2019.	<b>46</b>
<b>Figure 4.4.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 29/04/2019.	<b>46</b>
<b>Figure 4.5.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 30/04/2019.	<b>47</b>
<b>Figure 4.6.</b>	Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 01/05/2019.	<b>47</b>
<b>Figure 4.7.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 25/04/2019.	<b>48</b>
<b>Figure 4.8.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 27/04/2019.	<b>49</b>
<b>Figure 4.9.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 28/04/2019.	<b>49</b>
<b>Figure 4.10.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 29/04/2019.	<b>50</b>

<b>Figure 4.11.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 30/04/2019.	<b>50</b>
<b>Figure 4.12.</b>	Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 01/05/2019.	<b>51</b>
<b>Figure 4.13.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 25/04/2019.	<b>52</b>
<b>Figure 4.14.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 27/04/2019.	<b>52</b>
<b>Figure 4.15.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 28/04/2019.	<b>53</b>
<b>Figure 4.16.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 29/04/2019.	<b>53</b>
<b>Figure 4.17.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 30/04/2019.	<b>54</b>
<b>Figure 4.18.</b>	Evolution de la température ambiante le long de la journée du 01/05/2019.	<b>54</b>
<b>Figure 4.19.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 25/04/2019.	<b>55</b>
<b>Figure 4.20.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 27/04/2019.	<b>56</b>
<b>Figure 4.21.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 28/04/2019.	<b>56</b>
<b>Figure 4.22.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 29/04/2019.	<b>57</b>
<b>Figure 4.23.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 30/04/2019.	<b>57</b>
<b>Figure 4.24.</b>	Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 01/05/2019.	<b>58</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 3.1</b>	Caractéristiques géométriques du réflecteur.	<b>30</b>
<b>Tableau 3.2</b>	Les caractéristiques du foyer.	<b>35</b>

## NOMENCLATURE

$f$ :	La distance focale.	[ $m$ ]
$P$ :	Distance entre la courbe de la parabole et le foyer.	[ $m$ ]
$\Psi$ :	L'angle d'ouverture.	[degré]
$d$ :	Diamètre de l'ouverture de la parabole.	[ $m$ ]
$h$ :	La profondeur de la parabole.	[ $m$ ]
$S$ :	La longueur d'arc d'une parabole.	[ $m$ ]
$A_0$ :	Surface d'ouverture.	[ $m^2$ ]
$L$ :	Longueur d'ouverture.	[ $m$ ]
$A_x$ :	Surface d'une cylindro-parabolique.	[ $m^2$ ]
$C$ :	Le coefficient de concentration solaire.	
$A_t$ :	La surface de la tache solaire focalisée le long de ligne focale.	[ $m^2$ ]
$C_g$ :	La concentration géométrique.	
$C_0$ :	La concentration optique.	
$I_r$ :	L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.	[W]
$I_c$ :	L'énergie reçue à l'ouverture d'un cylindro-parabolique.	[W]
$M_{eau}$ :	Masse de l'eau.	[Kg]
$C_{eau}$ :	Chaleur massique de l'eau.	[J/Kg.k]
$M_r$ :	Masse du récepteur.	[Kg]

$C_r$ :	Chaleur massique du récepteur.	[J/Kg.k]
$Q_u$ :	Puissance utile.	[W]
$Q_a$ :	Puissance solaire absorbée par le récepteur.	[W]
$Q_p$ :	Puissance correspondant aux pertes thermiques.	[W]
$ds$ :	La longueur différentielle de l'arc de la parabole.	[m]
$I$ :	La longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.	[m]
$I_a$ :	L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur cylindro-parabolique.	[W]
$A_a$ :	Surface d'ouverture du paraboloïde.	[m <sup>2</sup> ]
$I_b$ :	Puissance reçue à l'ouverture de paraboloïde.	[W/m <sup>2</sup> ]
$\eta_{op}$ :	Rendement optique du concentrateur.	
$\rho$	Masse volumique de l'eau.	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau$ :	Coefficient de transmission du récepteur.	
$\alpha$ :	Coefficient d'absorption du récepteur.	
$Q_p$ :	Puissance correspondant à la perte thermique.	[W]
$Q_{p.cv}$ :	Pertes par convection.	[W]
$Q_{p.r}$ :	Pertes par rayonnement.	[W]
$Q_{p.cd}$ :	Pertes par conduction.	[W]
$A_\gamma$ :	Surface d'ouverture du récepteur.	[m <sup>2</sup> ]
$T_r$ :	Température du récepteur.	[K]

$T_a$ :	Température ambiante.	[K]
$h_{cv}$ :	Coefficient de transfert par convection.	[W/m <sup>2</sup> ]
V :	Vitesse du vent.	[m/s]
K :	Conductivité thermique de l'air.	[W/m.k]
$\nu$ :	Viscosité de l'air.	[Pa.s]
$d_2$ :	Diamètre du récepteur.	[m]
$\varepsilon$ :	Facteur émissivité de l'absorbeur.	
$\sigma$ :	Constante de Stefan Boltzmann.	[W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> ]
$T_{sk}$ :	Température du ciel.	[K]
$h_r$ :	Coefficient de transfert par rayonnement.	[W/m <sup>2</sup> ]
K :	Conductivité de l'absorbeur.	[W/m <sup>2</sup> ]
$\Delta x$ :	Epaisseur de l'absorbeur.	[m]
$K_{v,r}$ :	Le coefficient global des pertes.	[W/m <sup>2</sup> ]
$\eta$ :	Rendement du concentrateur.	
$\theta_s$ :	L'angle apparent du soleil.	[degré]

## Résumé

Le travail effectué porte sur une étude expérimentale de conversion d'énergie solaire en énergie thermique en utilisant un concentrateur solaire cylindro-parabolique, CCP, orienté à l'aide d'un système de poursuite du soleil. L'expérience a été effectuée sur un CCP. Le foyer est 6 m de longueur et un appareil de mesure de la température, situé au plan focal de Le foyer afin de mesurer la température. Le CCP développé fait intervenir un certain nombre de paramètres tel que le rayonnement solaire moyen mensuel qui nous permet d'estimer le rayonnement direct au niveau du réflecteur, la concentration géométrique et l'échange de chaleur entre l'ouverture de la cylindro-parabolique et l'ouverture du foyer, permettant l'évaluation la température au niveau de cette dernière. Ce modèle de concentration conduit à des niveaux de températures compris entre 350°C et 450°C.

**Mots clés :** Rayonnement solaire, Transfert de chaleur, Concentrateur cylindro-parabolique (CCP), Le foyer, Réflecteur, Plan focal.

## Abstract

This work carried out concerns an experimental study of conversion of solar energy into thermal energy using a solar cylindro-parabolic concentrator oriented by means of a sun tracking system. The experiment was performed on a cylindro-parabolic concentrator. The focus is 6 m in length and a temperature measuring device, located at the focal plane of the focus in order to measure the temperature. The developed cylindro-parabolic concentrator uses a number of parameters such as the average monthly solar radiation that allows us to estimate the direct radiation at the reflector, the geometric concentration and the heat exchange between the opening of the cylindro-parabolic trough and opening the focus, allowing the evaluation of the temperature at the end. This concentration model leads to temperature levels of between 350 ° C and 450 ° C.

**Key words:** Solar radiation, Heat transfer, Cylindro-parabolic concentrator, Focus, Reflector, Focal plane.

## ملخص

يتعلق هذا العمل بإجراء دراسة تجريبية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مُركز أسطوانى مكافئ موجه بواسطة نظام تتبع أشعة الشمس. تم إجراء التجربة على مُركز أسطوانى مكافئ. يبلغ طول البُورة (أنبوب الامتصاص) 6 أمتار وجهاز قياس درجة الحرارة، يقع في المستوى البُورى للتركيز من أجل قياس درجة الحرارة. يستخدم المركز الاسطوانى المكافئ عددًا من المعالم مثل متوسط الإشعاع الشمسى الشهري الذي يسمح لنا بتقدير الإشعاع المباشر عند العاكس والتركيز الهندسى والتبادل الحرارى بين فتحة الاسطوانى المكافئ وفتحة التركيز، مما يسمح بتقييم درجة الحرارة في النهاية. نموذج التركيز هذا يؤدي إلى مستويات حرارة تتراوح بين 350 درجة مئوية و450 درجة مئوية.

**الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسى، نقل الحرارة، مُركز أسطوانى مكافئ، التركيز، العاكس، المستوى البُورى.

---

# Introduction générale

---

# Introduction générale

Le soleil est une boule de gaz très chaude d'un diamètre de  $1,39 \times 10^9$  m, un réacteur de fusion continu dans lequel l'hydrogène est converti en hélium. L'énergie solaire atteint notre planète à seulement 8 minutes et 20 secondes du lever du soleil.

La température au centre du soleil est élevée et estimée à de  $8 \times 10^6$  à  $40 \times 10^6$  °C. L'énergie totale du soleil est de  $3,8 \times 10^{20}$  MW, ce qui correspond à  $63 \text{ MW/m}^2$  de la surface du soleil. Cette énergie rayonne dans toutes les directions. La Terre n'est interceptée que par une petite fraction du rayonnement total émis, soit  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Même avec ce petit segment, on estime que le rayonnement solaire pendant 30 minutes est égal à la demande mondiale en énergie pour un an [1, 4].

Les humains ont compris que l'utilisation appropriée de l'énergie solaire était à l'époque préhistorique et était utilisée pour le séchage afin de conserver les aliments et d'évaporer l'eau de mer pour extraire le sel. Depuis qu'il a commencé à penser au monde qui l'entoure, il sait que le soleil est une force formidable responsable de la plupart des phénomènes naturels. C'est pourquoi de nombreuses tribus préhistoriques considèrent le soleil comme un "dieu" [1-4].

Fondamentalement, toutes les formes d'énergie dans le monde que nous connaissons sont d'origines solaires. Le pétrole, le charbon, le gaz naturel et le bois ont été produits à l'origine par la photosynthèse, suivie de réactions chimiques complexes exposées à des phénomènes de décomposition à des températures et à des pressions extrêmement élevées pendant une longue période. Même l'énergie éolienne et l'énergie marémotrice ont une origine solaire car elles sont causées par des différences de température dans différentes parties de la terre [6-7].

Bien que les combustibles fossiles fournissent l'essentiel de notre énergie au cours du siècle dernier, car ils sont beaucoup moins chers et plus confortables que d'autres, le principal problème est que les réserves trouvées de pétrole et de gaz au taux de consommation actuel seront suffisantes pour répondre à la demande des 40 prochaines années. Avec le temps, les prix de l'énergie dans les prochaines décennies atteindront un niveau d'inflation plus élevé, qui est également l'une des principales causes de la pollution et du réchauffement de la planète, ce qui nécessite une révision de la stratégie énergétique et de chercher d'autres ressources [10].

Les ressources en énergies renouvelables sont l'une des stratégies les plus importantes en matière d'énergie. Ils diffèrent considérablement des combustibles fossiles contenus dans le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou le combustible nucléaire utilisés dans les réacteurs nucléaires. Les énergies renouvelables ne produisent généralement pas de dioxyde de carbone résiduel ni de gaz nocifs, et le réchauffement climatique n'augmente pas, comme la combustion de combustibles fossiles ou les déchets nucléaires nocifs des réacteurs nucléaires. L'énergie renouvelable est produite à partir du vent, de l'eau et du soleil. Il peut résulter du mouvement des vagues, des marées ou de l'énergie géothermique [11].

Actuellement, la plupart des sources d'énergie renouvelables sont produites dans des centrales hydroélectriques par des barrages en eau. Les méthodes éoliennes et solaires sont largement utilisées dans les pays développés et dans certains pays en développement. Les énergies renouvelables couvriront 20% des besoins en énergie d'ici 2020. À la Conférence de Kyoto au Japon, Signé le 11 décembre 1997, il est entré en vigueur le 16 février 2005, La plupart des chefs d'État ont décidé de réduire la production de dioxyde de carbone au cours des prochaines années afin d'éviter les menaces majeures pesant sur le changement climatique, notamment Pollution et épuisement des combustibles fossiles et Risques sociaux et politiques liés aux combustibles fossiles et à l'énergie nucléaire [10-12].

Le plus gros avantage du solaire est qu'elles sont propres et peuvent être fournies sans aucune pollution de l'environnement. L'énergie solaire est connue comme la lumière et la chaleur du soleil utilisées par les humains à leur avantage depuis l'Antiquité et par l'utilisation de techniques en constante évolution. Les techniques solaires incluent l'utilisation de l'énergie thermique solaire pour le chauffage direct, le déplacement mécanique ou l'énergie électrique, ou pour produire de l'électricité en utilisant simultanément des phénomènes photovoltaïques. Utilisation de panneaux photovoltaïques.

Dans ce travail, nous abordons le concentrateur cylindro-parabolique avec une superficie de 18,54 mètres carrés couverts de 618 petits miroirs. Ce travail est basé sur les matériaux locaux disponibles.

L'objectif de cette étude est de déterminer la capacité thermique et la température maximale atteinte du concentrateur cylindro-parabolique.

Pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessus, nous avons divisé ce mémoire en quatre parties en différentes étapes de cette étude:

Le chapitre 1 contient des recherches bibliographiques sur l'énergie solaire et divers transformateurs d'énergie solaire.

Le chapitre 2 propose un rappel théorique des équations des concentrateurs cylindro-parabolique d'énergie solaire.

Le chapitre 3 présente les différentes étapes de la réalisation du concentrateur cylindro-parabolique solaire.

Le chapitre 4 contient les principaux résultats obtenus et leurs discussions.

Puis on termine ce travail de recherche par une conclusion générale.

---

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les concentrateurs solaires**

---

## 1.1 Introduction

Aujourd'hui, la croissance de la demande énergétique mondiale et l'épuisement des ressources fossiles ont conduit à des travaux de recherche et développement visant à exploiter des sources d'énergie moins coûteuses et inexploitées, l'énergie solaire pouvant être proposée comme une alternative à la crise énergétique mondiale puisqu'elle est naturellement disponible et peut être utilisée dans différentes applications [1-2].

Pour collecter l'énergie solaire, des écrans plats basés sur le principe de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique peuvent être utilisés directement, mais le champ d'application est très limité, tels que le chauffage de l'eau, le chauffage et le dessalement d'eau. Les spécialistes ont conçu d'autres modèles plus efficaces, utilisant le principe de concentration, qui fournit une grande quantité d'énergie un système de focalisation redirige le rayonnement solaire capté par une surface particulière vers une cible plus petite [4,6].

La concentration de l'énergie solaire est actuellement utilisée pour produire de l'électricité ou de l'hydrogène ou dans des réactions chimiques (entre 450 et 3000 °C) ou pour augmenter la production de cellules photovoltaïques. Il est donc important de considérer que ces technologies contribueront, à moyen ou long terme, à offrir une réelle alternative à la consommation de ressources fossiles [7,10].

Les systèmes de concentration solaire génèrent de l'énergie solaire avec une efficacité de conversion élevée en général, ce qui est très important dans le monde entier. Ces technologies constituent une véritable alternative à faible impact environnemental et à fort potentiel. Ainsi que la possibilité d'hybridation de ces installations.

En fin, on réalise que l'énergie solaire est l'une des solutions les plus importantes à ces défis contemporains. Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux types de concentrateurs solaires avec leurs composants et leur mode de fonctionnement.

## 1.2 Les capteurs solaires

Les capteurs solaires sont un type spécial d'échangeur de chaleur qui convertit l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique pour le milieu de transport. Le capteur solaire est le composant principal de tout système solaire. C'est un appareil qui absorbe le rayonnement solaire, le convertit en chaleur et la transfère dans un liquide (généralement de l'air, de l'eau ou de l'huile) qui traverse le capteur.

L'énergie solaire récupérée dans le liquide provient soit directement d'un équipement de traitement de l'eau chaude ou de climatisation, soit d'un réservoir de stockage thermique pouvant être utilisé de nuit ou de jour.

Il existe essentiellement deux types de capteurs solaires: à basse température (sans concentration) et à haute température (avec concentration) [3].

### 1.3 Les concentrateurs solaires

La concentration de l'énergie solaire est soit ponctuelle comme dans la tour solaire, le concentrateur parabolique, ou linéaire comme dans le concentrateur cylindro-parabolique et les miroirs de Fresnel.

En général, le facteur de focalisation dans la ligne est inférieur à la concentration du point, en fonction de la forme générale de la surface de capture et de la surface d'absorption. Il représente le rapport entre la surface de capture et la surface d'absorption.

Les systèmes utilisant des concentrateurs solaires peuvent générer des températures d'environ 1000 ° C. Ces systèmes ont été développés pour la production d'électricité [4].

Les capteurs solaires peuvent être divisés principalement par leurs mouvements en capteurs statiques (les miroirs de Fresnel et la tour solaire), capteurs en mouvement à un seul axe (le concentrateur cylindro-parabolique), ou capteurs en mouvement à deux axes (le concentrateur parabolique) [5].

#### 1.3.1 Le concentrateur parabolique (CP)

Le concentrateur parabolique représenté sur la figure (1.1) consiste en une surface réfléchissante qui concentre le rayonnement solaire sur une région Bitmap. Il repose sur deux axes du mouvement pour assurer un rayonnement solaire continu. Trois types de surfaces réfléchissantes sont utilisés: la première consiste à placer de l'argent ou de l'aluminium sur le dos d'une plaque de verre, la seconde repose sur le même principe, mais nous remplaçons la plaque de verre par un couvercle en plastique et la troisième consiste en tôles d'aluminium polies. Ces plaques sont bon marché mais elles ont une faible réflectivité et une faible longévité.

Dans ce type, un moteur thermique est installé dans la surface d'aspiration pour produire de l'électricité. En 1818, Robert Stirling (1790-1878) conçut un moteur utilisant le gaz (air, hélium et hydrogène) dans une cellule fermée, chauffée par une source de chaleur externe.

Le moteur a un "point chaud" et un "point froid", la source chaude est alimentée par le biais du concentrateur solaire et la source est alimentée froide par l'air soufflé par le ventilateur situé à l'arrière du moteur. Le gaz tourne entre ces deux points et est donc soumis à la pression et à la détente en alternance. Cette impulsion de gaz est utilisée pour faire fonctionner un piston qui récupère de l'énergie mécanique.

Les deux points sont installés dans des endroits isolés non connectés au réseau électrique. Ils ont donc un potentiel de développement important, en particulier dans les zones à faible densité de population. Mais les systèmes de concentrateurs solaires souffrent principalement des coûts d'investissement et en outre, le manque de retour d'information de ces systèmes dans les usines pré-commerciales rend difficile l'estimation des coûts associés à la maintenance et la température qu'il produit est de 800-900°C [6-7].



Figure 1.1. Concentrateur parabolique [7].

### 1.3.2 La tour solaire

Ce type de tour est constitué de poutres en béton ou en métal entourées d'un champ de miroirs appelé "Héliostats" (en grec: qui fixe le soleil), comme indiqué à la figure (1.2).

Chacune se déplace sur deux axes pour focaliser le rayonnement solaire direct sur un récepteur situé au sommet de la tour solaire, permettant ainsi d'accéder à des températures élevées, mais l'ombre de la tour affecte négativement ces miroirs, Où la zone d'ombre change en fonction de l'emplacement du soleil, ce qui affecte directement l'efficacité du système [7].

Afin d'utiliser l'énergie solaire rationnellement, chaque héliostat doit être muni d'un système d'orientation qui contrôle la concentration de l'énergie renvoyée par l'ensemble des héliostats sur la surface du générateur de vapeur.

Le système de commande automatique doit effectuer le contrôle en fonction non seulement de la position du Soleil, mais, également des variations propres de l'inclinaison de chaque héliostat provoquées par les vents [8].

Les premiers modèles utilisaient les rayons concentrés pour chauffer de l'eau, et utilisaient la vapeur produite pour alimenter une turbine. De nouveaux modèles utilisant du sodium liquide ont été testés, et des systèmes utilisant des sels fondus (nitrate de potassium et de nitrate de sodium). Ces fluides ont une capacité calorifique élevée, qui peut être utilisée pour stocker l'énergie, avant de l'utiliser pour faire bouillir l'eau afin d'actionner des turbines et la température qu'il produit est de 550-1000°C. Les tours solaires sont moins répandues que les systèmes cylindro-paraboliques, mais elles offrent un meilleur rendement et une meilleure capacité de stockage de l'énergie [7].

Comme exemple de cette technologie nous pouvons citer : Les centrales Solaire deux à Daggett en Californie et Planta Solar 10 (PS10) à Sanlucar la Mayor en Espagne [6].



Figure 1.2. Tour solaire [6].

### 1.3.3 Les miroirs de Fresnel

Ce système est constitué de miroirs plats, disposés sous la forme de segments parallèles afin de réfléchir la lumière du soleil vers un avenir tubulaire. Les miroirs restent près du sol et cette position permet d'éviter le vent. Les réflecteurs redirigent le rayonnement vers le récepteur tubulaire installé au centre des miroirs, comme indiqué sur la figure (1.3) [4].

Ce système de mise au point comprend deux phases de réflexions. Le réflecteur de la première phase au niveau du sol reflète le rayonnement vers le tube d'absorption. La deuxième phase de réflexion redirige le rayon vers le tube récepteur. Ce deuxième étage de réflecteurs augmente la probabilité que tout le rayonnement tombé sur le premier étage soit dirigé vers le tube d'absorption et joue le rôle de tampon pour le tube de réception. La partie supérieure de cette seconde phase est recouverte d'une couche isolante et la température qu'il produit est de 270-550°C [7].

Malgré la baisse des performances, les coûts de maintenance et d'investissement sont réduits de moitié par rapport aux autres technologies (concentrateur parabolique et tour solaire), ce qui en fait une option à appliquée.

Cette technique a été développée récemment par de nombreuses entreprises, il est vrai que les prototypes préparés à ce jour sont prometteurs, mais souffrent toujours d'immatunité [4].

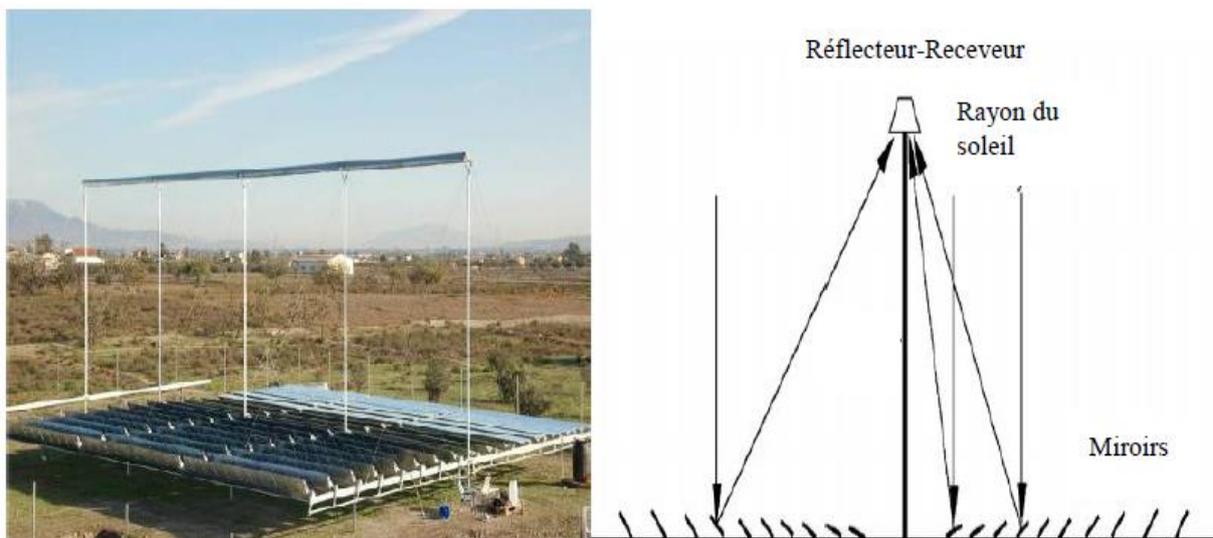


Figure 1.3. Miroirs de Fresnel [4].

#### 1.3.4 Le concentrateur cylindro-parabolique (CCP)

Les concentrateurs cylindro-parabolique sont linéaires les plus largement utilisés pour la conversion thermodynamique de l'énergie solaire, surtout dans les domaines industriels et domestiques exigeant une température de service entre 80 et 160°C [1].

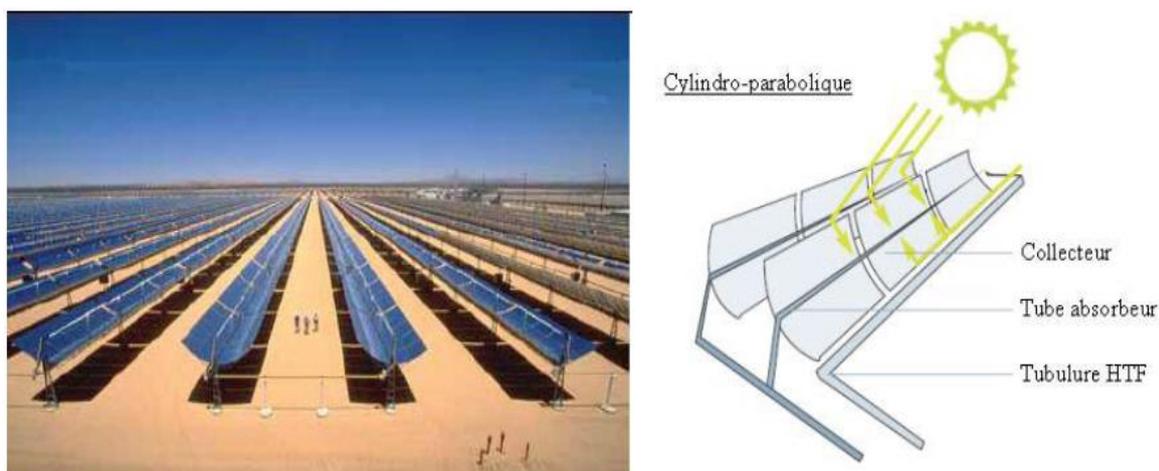
Au niveau national, la première centrale électrique mise en service le 14 juillet 2011 d'une capacité de 150 mégawatts située dans la région saharienne de Hassi R'mel. Cette centrale produit 120 mégawatts à partir du gaz et 30 mégawatts par l'énergie solaire à travers des concentrateurs cylindro-paraboliques (figure 1.4) [9].



**Figure 1.4.** Centrale électrique de Hassi R'mel [9].

En général, ce type est capable de produire une température dans une plage de 300 à 450°C [10].

Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole (Figure 1.5). La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. La chaleur résultante convertit les liquides contenus dans le tube en vapeur et sert à entraîner des turbines afin de produire de l'électricité [11].



**Figure 1.5.** Concentrateur cylindro-parabolique [11].

Souvent un tube en verre entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de suivi solaire à simple axe ou à double axe [12].

Les huiles synthétiques sont les fluides caloporteurs les plus couramment employés dans le concentrateur cylindro-paraboliques. Des réservoirs de chaleur (réservoirs de sels fondus) peuvent être utilisés pour stocker la chaleur durant la journée afin d'actionner la turbine pendant la nuit [12].

## **1.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur la technique de concentration solaire, ainsi que les différentes technologies des concentrateurs solaires et leurs applications.

---

# **Chapitre 2**

## **Etude théorique du Concentrateur Cylindro-Parabolique (CCP)**

---

## 2.1 Introduction

Pour une compréhension profonde de l'idée du concentrateur cylindro-parabolique et pour une conception claire de ce type de technique solaire, dans ce chapitre, nous aborderons la description théorique et géométrique du concentrateur cylindro-parabolique. Nous expliquerons ses composants de base, le système optique ainsi que l'énergie reçue et l'énergie perdue à cause des pertes thermiques.

## 2.2 La géométrie parabolique

La parabole est une forme à deux dimensions, définie géométriquement comme des points se trouvent à un niveau éloigné du point focal (F), à une distance égale à la distance du guide (D). La ligne verticale du guide (D) passe par le point focal (F), appelé axe de symétrie, appelé jonction parabole avec l'axe de symétrie de la tête (V). Le sommet de la parabole (V) est un point où il y a un changement de direction de l'appariement (c'est-à-dire des périodes d'augmentation et de diminution) et où l'inclinaison tangente est nulle [13].

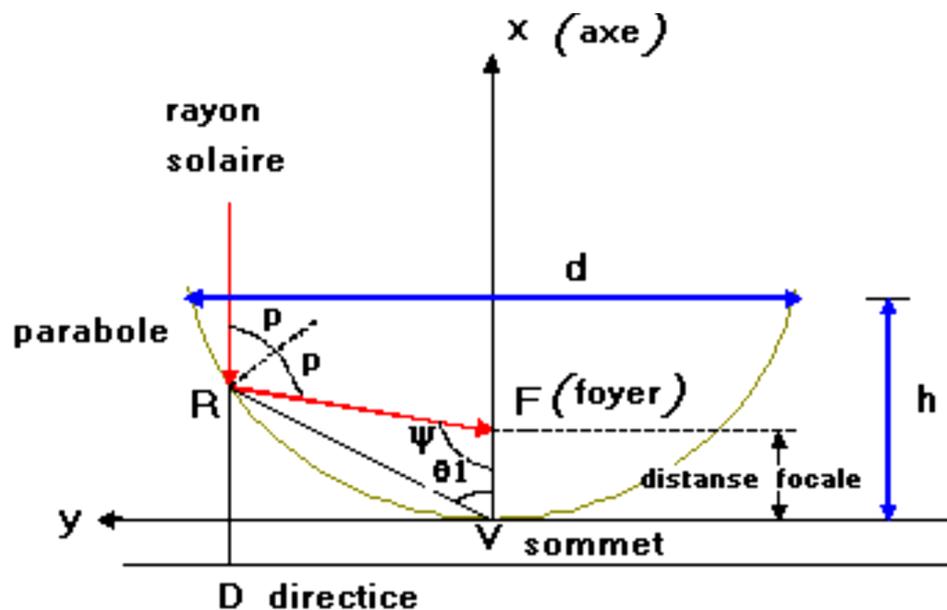


Figure 2.1. Description géométriques de la parabole [12,13].

L'équation de la parabole est [12,14]:

$$Y^2 = 4 \cdot f \cdot x \quad (2.1)$$

f : la distance focale FV.

$$P = \frac{2f}{1 + \cos \Psi} \quad (2.2)$$

$p$  : rayon parabolique, distance (RF) entre la courbe de la parabole et le foyer  $f$ .

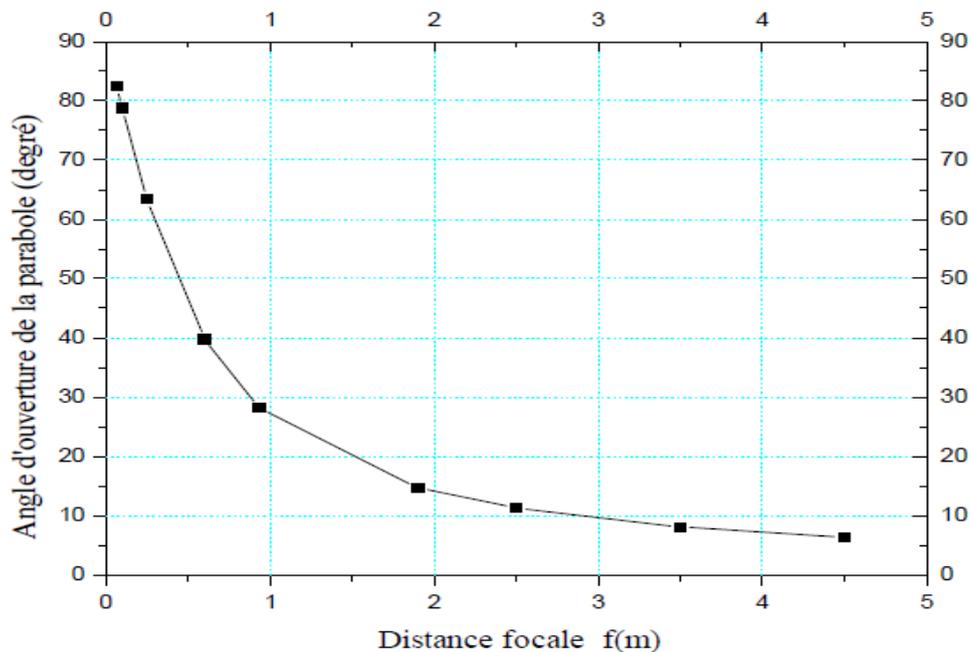
$\Psi$  : Angle mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

L'angle d'ouverture  $\Psi$  d'une parabole est exprimé par la relation suivante [10,12] :

$$\tan \Psi = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \quad (2.3)$$

$f$  : distance focale.

$d$  : diamètre de l'ouverture de la parabole.



**Figure 2.2.** Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole  $d = 1\text{m}$  [12,15].

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate. L'augmentation de l'angle d'ouverture de la parabole fait diminuer la distance focale.

La profondeur ( $h$ ) de la parabole, le diamètre d'ouverture ( $d$ ) ainsi que sa distance focale ( $f$ ) sont reliés par l'expression analytique suivante [10,12] :

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2.4)$$

A travers les deux expressions (2.3) et (2.4), l'angle d'ouverture peut être exprimé en fonction des deux dimensions de la parabole en prenant la forme suivante [12] :

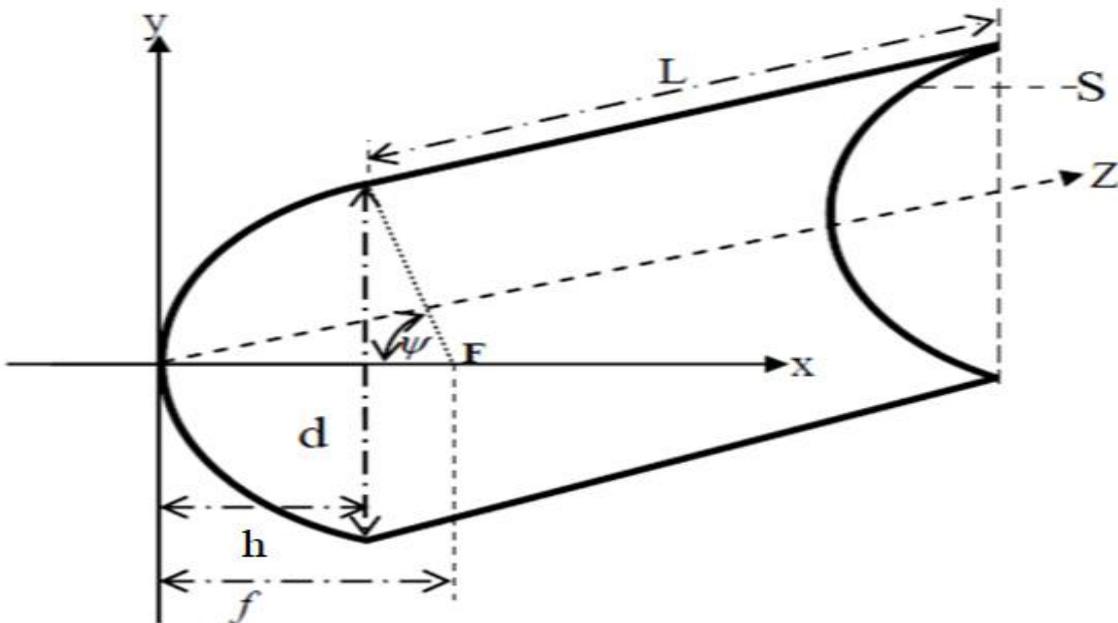
$$\tan \Psi = \frac{1}{(d/8h)-(2h/d)} \quad (2.5)$$

La longueur d'arc d'une parabole peut être trouvée en intégrant une surface différentielle de cette courbe (l'équation 2.1), en appliquant les limites  $X = h$  et  $Y = d/2$  comme décrit sur la figure (2.1), on trouve [12,13]:

$$S = \left[ \frac{d}{2} \sqrt{\left[ \frac{4h}{d} \right]^2 + 2} \right] + 2f \ln \left[ \frac{4h}{d} \sqrt{\left[ \frac{4h}{d} \right]^2 + 1} \right] \quad (2.6)$$

La surface primaire d'un concentrateur cylindro-parabolique est déterminée à travers le produit de son contour par sa longueur  $L$  comme indiqué sur la figure (2.3), tandis que sa surface d'ouverture ( $A_0$ ) est définie comme étant le produit de son diamètre d'ouverture ( $d$ ) par longueur ( $L$ ) représenté par la relation suivante [10,12]:

$$A_0 = L d \quad (2.7)$$



**Figure 2.3.** Description géométrique d'un cylindro- parabolique [10].

La surface d'une cylindro-parabolique ( $A_x$ ) représente la longueur de l'arc ( $S$ ) multipliée par la longueur ( $L$ ), elle est représentée par la relation suivante [10,12]:

$$A_x = L S \quad (2.8)$$

## 2.3 Description optique

Le paramètre optique dans les concentrateurs solaires est le coefficient de concentration solaire ( $C$ ). Il est défini comme étant le rapport entre le flux solaire concentré au plan focal et le flux solaire réfléchi à travers la surface d'ouverture du concentrateur comme illustré sur la figure (2.4). Rapport entre les deux flux surfaciques fait ressortir l'expression suivante [10] :

$$C = \frac{A_o}{A_t} \quad (2.9)$$

$A_o$  Est la surface d'ouverture du concentrateur.

$A_t$  Est la surface de la tache solaire focalisée le long de ligne focale [10,12].

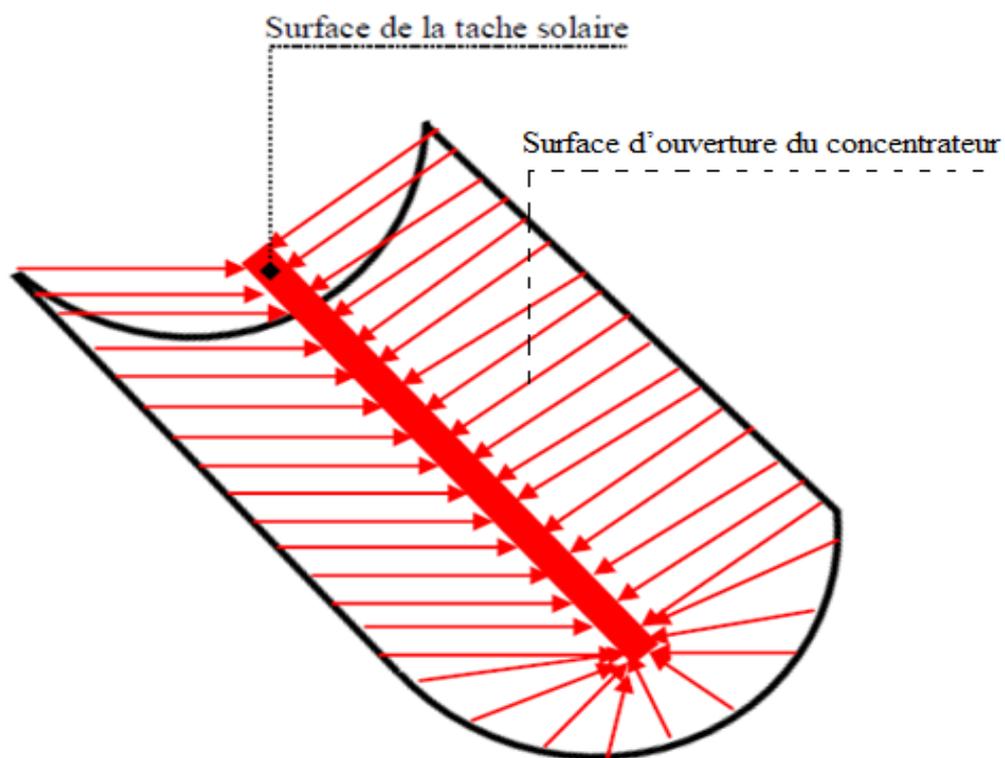


Figure 2.4. Description optique d'un cylindro- parabolique [10].

## 2.4 Système optique d'une surface cylindro-parabolique

Selon les lois de la réflexion, tous les rayons verticaux sur la surface de réflexion (Surface d'une cylindro-parabolique) sont reflétés dans le foyer linéaire s'étendant le long de la surface cylindrique parabolique (Le focus linéaire). Le foyer linéaire est ainsi appelé car il combine tout le rayonnement réfléchi, une partie qui absorbe la chaleur induite par le rayonnement comme dans la figure (2.5) [14].

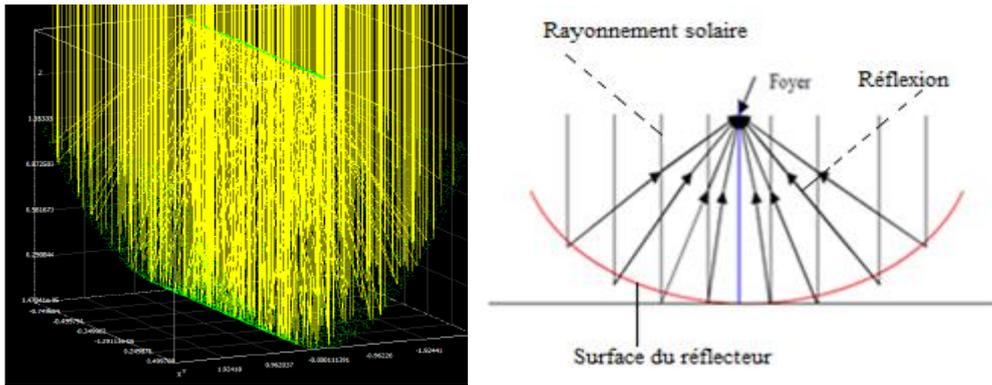


Figure 2.5. Système optique d'une surface cylindro-parabolique [14, 16].

## 2.5 Les composants d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique

Ce type de centrale se compose en un grand ensemble de miroirs parallèles, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à  $500^{\circ}\text{C}$ . Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité [9].

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique est composé des éléments suivants :

### 2.5.1 Réflecteur (miroirs)

Le réflecteur fabriqué en verre dont la transmittance atteint 98%. Ce verre est recouvert d'une couche d'argent en dessous et d'une couche protectrice spéciale. Un réflecteur de haute qualité peut refléter 97% du rayonnement incident [11].



Figure 2.6. Miroirs de concentrateur [17].

### 2.5.2 Récepteur (Le tube absorbeur)

L'élément le plus important est le tube d'absorption. Le tube d'absorption en cuivre est souvent recouvert d'une peinture noire pour augmenter l'efficacité de l'absorption, il est entouré d'une enveloppe en verre transparente et d'une zone d'air entre le tube absorbant et le couvercle en verre, comme indiqué dans la figure (2.7) [18].



Figure 2.7. Le tube absorbeur [17].

Le tube absorbant doit avoir les caractéristiques suivantes:

1. Bonne absorption du rayonnement : son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement collecté sur le tube.
2. Pertes thermiques limitées : La température du tube dépassant généralement  $400^{\circ}\text{C}$ , les pertes par échanges convectifs et radiatifs sont très importantes. Afin de les limiter, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide [11].
3. Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisée.

Il est important que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre :  $360 \text{ W/m.k}$ , aluminium :  $200 \text{ W/m.k}$ , acier  $60 \text{ W/m.k}$ ). Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur [19].

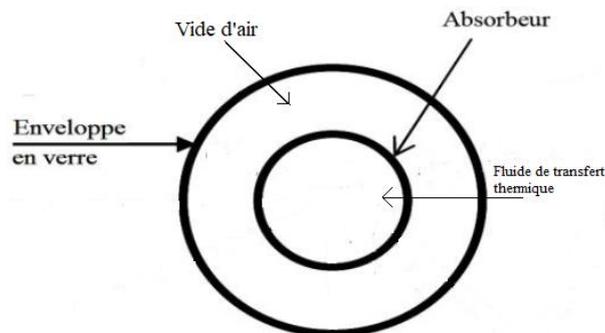


Figure 2.8. Description du tube absorbeur [20].

### 2.5.3 Mécanisme de suivi du soleil

Puisque la position apparente du soleil est variable par rapport à un point de captation au cours d'une journée, nous serons donc obligés de modifier constamment la position du concentrateur afin de suivre celle du soleil [7].

C'est un système qui se déplace sur un axe de sorte que le rayonnement solaire reste verticalement sur le réflecteur. De cette manière, le rayonnement se reflète dans le foyer et se concentre sur le tube récepteur contenant le fluide [9].

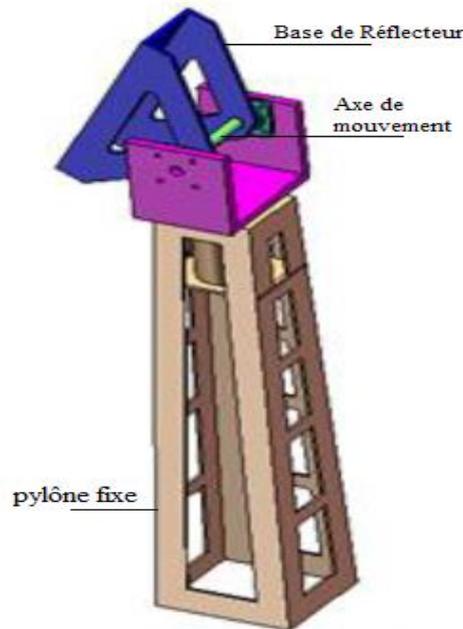


Figure 2.9. Exemple de système de mouvement [7].

## 2.6 La concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un capteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

### 2.6.1 Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du capteur  $A_o$  à celle du récepteur  $A_t$ [10,12].

$$C_g = \frac{A_o}{A_t} \quad (2.12)$$

## 2.6.2 Concentration optique

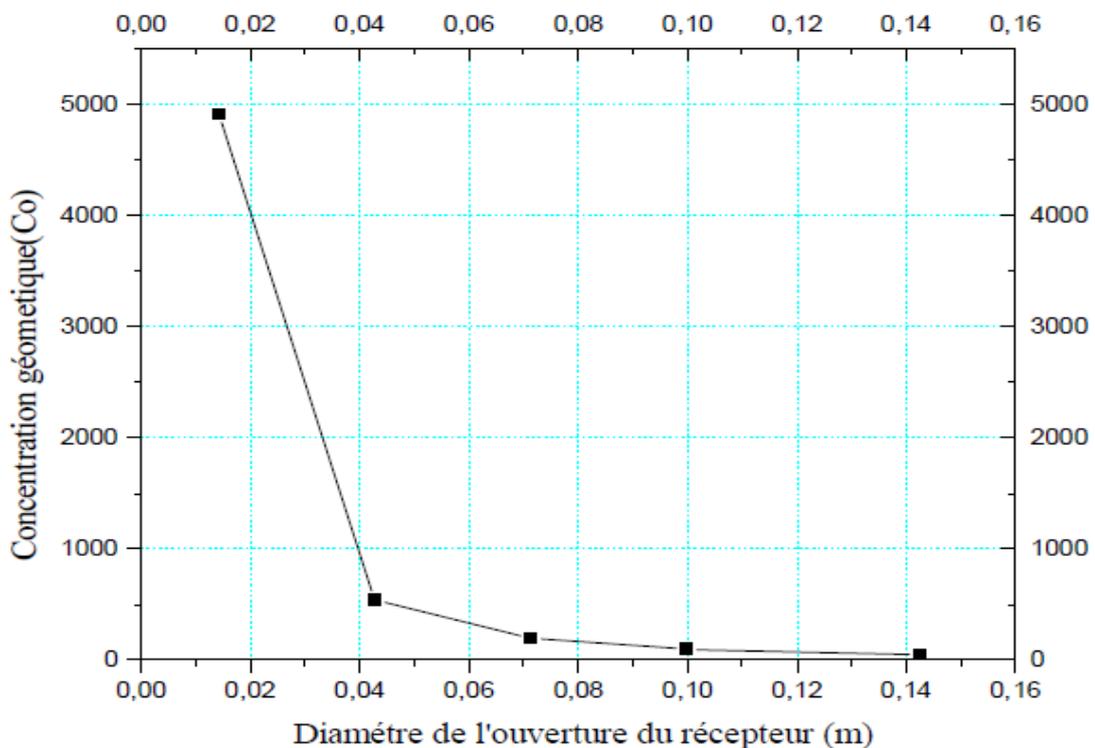
La concentration optique est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture [12].

$$C_0 = \frac{I_r}{I_c} \quad (2.13)$$

$I_r$ : L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.

$I_c$ : L'énergie reçue à l'ouverture d'un cylindro-parabolique [15].

On remarque que l'optique peut délivrer des concentrations théoriques supérieures à 100000, ce qui est énorme. Dans la pratique on réalise des concentrateurs cylindro-parabolique dont les rapports réalisables de la concentration sont beaucoup plus petits, en tenant compte de la contribution des erreurs sur la qualité géométrique des surfaces, de l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du récepteur, on peut obtenir des concentrations de l'ordre de 40000 [14, 21].



**Figure 2.10.** Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur [12, 15].

## 2.7 Température de l'ouverture du récepteur

Pour calculer la température de l'ouverture du récepteur, nous supposons les hypothèses suivantes :

- ✓ Le récepteur sous forme cylindrique plein d'eau.
- ✓ La température du ciel égale à la température ambiante.
- ✓ La température est uniforme sur l'ouverture du récepteur.

Le bilan énergétique de la surface d'ouverture du récepteur est donné par la formule suivante [12] :

$$(M_{eau}C_{eau} + M_r C_r) \frac{dT}{dt} = Q_u \quad (2.14)$$

$M_{eau}$  : Masse de l'eau.

$C_{eau}$  : Chaleur massique de l'eau.

$M_r$  : Masse du récepteur.

$C_r$  : Chaleur massique du récepteur.

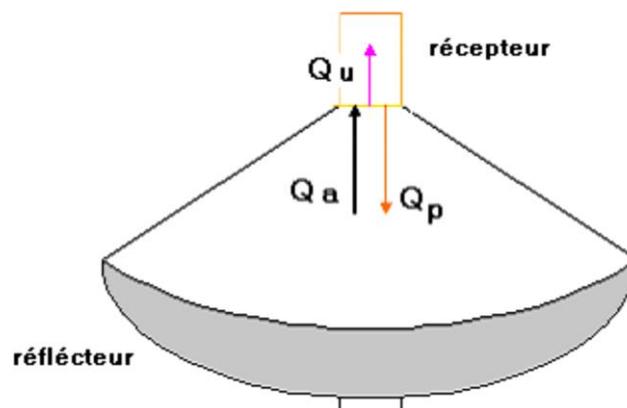
$Q_u$  : Puissance utile.

Où d'après [22]:

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (2.15)$$

$Q_a$  : Puissance solaire absorbée par le récepteur.

$Q_p$  : Puissance correspondant aux pertes thermiques.



**Figure 2.11.** Bilan énergétique [22].

### 2.7.1 L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur

Supposons qu'un rayon solaire incident, avec l'intensité  $I_b$  parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera reflète au foyer  $f$ . Puisque nous voudrions calculer toute la quantité des rayons reflétés par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérons un secteur différentiel qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole.

La surface différentielle est définie comme [1,12]:

$$dA_s = I ds \quad (2.16)$$

$ds$  : La longueur différentielle de l'arc de la parabole représentée sur la figure (2.12).

$I$  : La longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.

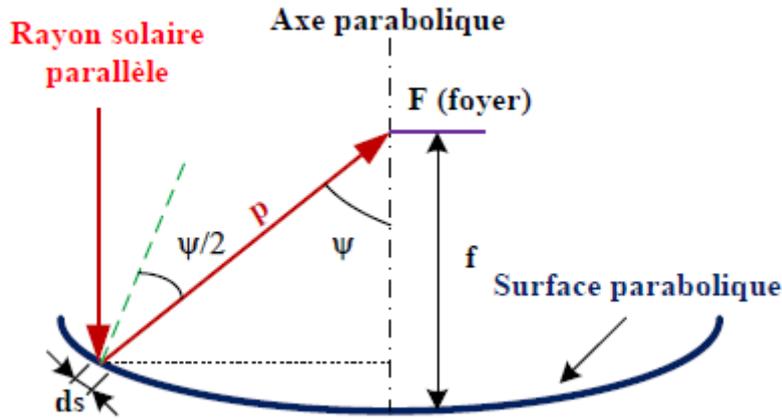


Figure 2.12. Réflexion d'un rayon parallèle [1,12].

$$ds = \frac{p \sin \sin(d\Psi)}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.17)$$

L'angle  $d\Psi$  est petit,  $\sin d\Psi = d\Psi$  donc l'équation (2.19) réduite.

$$ds = \frac{p(d\Psi)}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.18)$$

$$dA_s = \frac{I.p. d\Psi}{\cos(\cos(\Psi/2))} \quad (2.19)$$

L'énergie reçue au niveau d'un concentrateur cylindro-parabolique est [1,12]:

$$I_a = \int \frac{8.\pi.I_b.f^2.\sin(\sin\Psi).d\Psi}{(1+\cos(\cos\Psi))^2} \quad (2.20)$$

### 2.7.2 Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante [12,23]:

$$Q_a = I_b A_a \tau \alpha \rho \quad (2.21)$$

Où :  $\eta_{op} = \tau \alpha \rho$

L'équation (2.22) devient :

$$Q_a = \eta_{op} I_a A_a \quad (2.22)$$

$I_a$  : Puissance reçue à l'ouverture de collecteur parabolique.

$\eta_{op}$  : Rendement optique du concentrateur [12,23].

$\tau$  : Coefficient de transmission du récepteur.

$\alpha$  : Coefficient d'absorption du récepteur [1,12].

### 2.7.3 Puissance correspondant aux pertes thermiques

Le récepteur qui reçoit le rayonnement solaire concentré est le siège des échanges de chaleur avec le milieu ambiant dont une partie est considérée comme pertes de chaleur. Ces pertes sont par convection, par rayonnement et par conduction. Les pertes thermiques peuvent être données par l'expression suivante [12]:

$$Q_p = Q_{p.cv} + Q_{p.r} + Q_{p.cd} \quad (2.23)$$

$Q_p$  : Puissance correspondant à la perte thermique.

$Q_{p.cv}$  : pertes par convection.

$Q_{p.r}$  : pertes par rayonnement.

$Q_{p.cd}$  : pertes par conduction [24].

#### 2.7.3.1 Pertes par convection

La convection est un phénomène encore peu connu pour la plaque plane. Elle est de plus liée à la vitesse et la direction du vent sur le site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface du récepteur et la différence entre la température de surface d'absorbeur et l'air ambiant [23].

$$Q_{p.cv} = h_{cv} A_Y (T_r - T_a) \quad (2.24)$$

$A_Y$  : Surface d'ouverture du récepteur.

$T_r$  : Température du récepteur.

$T_a$  : Température ambiante.

$h_{cv}$  : Coefficient de transfert par convection est donne par [12,14] :

$$h_{cv} = \frac{N_u \cdot K}{d_2} \quad (2.25)$$

$$N_u = 0.664(Re)^{1/2} (pr)^{1/3} \quad (2.26)$$

$$Re = \frac{V \cdot d_2}{\nu} \quad (2.27)$$

$V$  : Vitesse du vent.

$K$  : Conductivité thermique de l'air.

$\nu$  : Viscosité de l'air.

$d_2$  : Diamètre du récepteur.

### 2.7.3.2 Pertes par rayonnement

Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Ils sont proportionnels à l'émissivité de l'absorbeur [12,22].

$$Q_{pr} = \varepsilon \sigma A_Y (T_r^4 - T_{sk}^4) \quad (2.28)$$

$\varepsilon$  : Facteur émissivité de l'absorbeur.

$\sigma$  : Constante de Stefan Boltzmann ( $5,670 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ).

$T_{sk}$  : Température du ciel.

La température équivalente du rayonnement du ciel dépend de la densité d'air et de son contenu d'humidité, quand l'humidité relative est haute où qu'on soit au niveau de la mer, on peut supposer que la température du ciel est identique à la température de l'air ambiant.

Cependant pour la basse humidité relative ou aux altitudes élevées, la température du rayonnement du ciel peut être inférieure de 6 °C que la température ambiante.

Habituellement on prend [12].

$$T_{sk} = T_a = 6 \text{ °C} \quad (2.29)$$

On peut écrire l'équation (2.30) sous la forme suivante [12]:

$$Q_{pg} = A_r h_r (T_r - T_a) \quad (2.30)$$

$$h_r = \varepsilon \sigma \frac{T_r^4 - T_a^4}{T_r - T_a} = 4 \varepsilon \sigma T^3 \left[ 1 - \left( \frac{\Delta T}{2T} \right)^2 \right] \quad (2.31)$$

Ou :

$$T = \frac{T_r - T_a}{2} \quad (2.32)$$

### 2.7.3.3 Pertes par conduction

Liées à la nature du matériel utilisé [12].

$$Q_{p.cd} = K \Delta x (T_r - T_a) \quad (2.33)$$

$K$  : Conductivité de l'absorbeur.

$\Delta x$  : Epaisseur de l'absorbeur.

Les pertes par conduction sont habituellement petites comparées aux pertes par convection ou par rayonnement, on peut les combiner avec les pertes par convection dans la plupart des cas.

On calcule la température d'ouverture du récepteur à partir de l'équation (2.34), Après les calculs précédents, l'équation (2.34) devient [12,22].

$$Q_u = \eta_{op} I_b A_a - A_r (h_{cv} (T_r - T_a) + \varepsilon \sigma (T_r^4 - T_{sk}^4)) \quad (2.34)$$

$$Q_u = \eta_{op} I_b A_a - A_r (h_{cv} (T_r - T_a) + h_r (T_r - T_a)) \quad (2.35)$$

$$Q_u = A_r \left( \eta_{op} I_b \frac{A_a}{A_r} - (h_{cv} + h_r) (T_r - T_a) \right) \quad (2.36)$$

Pour simplifier les calculs, on peut définir un coefficient  $K_{v,r}$  tel que [12] :

$$Q_u = A_r (p_a - K_{vr} (T_r - T_a)) \quad (2.37)$$

Où  $K_{v,r}$  est le coefficient global des pertes donnés par  $K_{vr} = h_{cv} + h_r$

$$p_a = \eta_{op} I_b C_g \quad (2.38)$$

On écrit

$$CM = C_w M_w + C_r M_r \quad (2.39)$$

L'équation (2.40) devient [12] :

$$M C dT_r = A_r (P_a - K_{vr}(T_r - T_a)) dt \quad (2.40)$$

Après intégration depuis  $t_0$  jusqu'à  $t$ , on obtient l'expression de la température en fonction du temps [12,22] :

$$T_r(t) = T_a + (p_a/K_{vr} - T_r(t_0) + T_a) \exp(-K_{vr} A_r (t - t_0)/MC) \quad (2.41)$$

## 2.8 Rendement du concentrateur

La mesure des performances d'un capteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système. Ce rendement se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur [12].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_a A_a} \quad (2.42)$$

$$\eta = \frac{\eta_{op} I_b A_a - A_r K_{vr} (T_r - T_a)}{I_a A_a} \quad (2.43)$$

En fonction de la concentration géométrique [12] :

$$\eta = \eta_{op} - \frac{A_r K_{vr} (T_r - T_a)}{I_a A_a} \quad (2.44)$$

Le rendement atteint par le concentrateur dépend de l'intensité du rayonnement et de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant [12].

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une explication théorique du concepts de base des concentrateurs cylindro-parabolique, tels que la forme géométrique et optique, les composants de base et les propriétés en plus de l'énergie reçue et de l'énergie perdue en raison de la perte thermique, etc... Nous avons également clarifié la plupart des relations mathématiques liées à ces concepts.

---

# **Chapitre 3**

## **Description du band d'essai expérimental**

---

### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes de la mise au point du concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel. A noter que l'étude de la structure et la mise en place de l'installation a été réalisée par des étudiants des années antérieures. Dans ce mémoire, le travail a été consacré à l'orientation de l'ensemble des miroirs réflecteurs vers le foyer, d'une part, et concevoir la forme du foyer. Le modèle du CCP réalisé rassemble deux technologies de concentration des rayons solaires celle des concentrateurs cylindro-parabolique et celle des concentrateurs à base des miroirs plans dites 'Fresnel'. Cette solution a été adoptée pour deux raisons majeurs : 1. La difficultés et le cout élevée de l'obtention de surface de miroirs sous la forme parabolique adéquates, 2. Les miroirs de Fresnel donne un meilleur rendement optique et une facilité dans leurs orientations.

Notre expérience a été réalisée au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique, université Mohamed khider de Biskra. La figure (3.1) représente une vue de face réelle du concentrateur solaire cylindro-parabolique, CCP, à base de miroirs plans.



**Figure 3.1.** Réflecteur cylindro-parabolique.

## 3.2 Description des différentes parties du CCP

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique étudié se compose de quatre parties (figure 3.1) :

1. Le réflecteur.
2. Le foyer.
3. Système de poursuite du soleil.
4. Assise de fixation du CCP au sol.

Les tableaux 1 et 2 décrivent les spécifications de notre CCP.

Diamètre d'ouverture	$d = 4 \text{ m}$
La Taille	$h = 0.58 \text{ m}$
L'angle d'ouverture	$\Psi = 49.4^\circ$
La Distance focale	$f = 2.37 \text{ m}$
La Surface d'ouverture	$A_o = 24.16 \text{ m}^2$
La Longueur	$L = 6.04 \text{ m}$

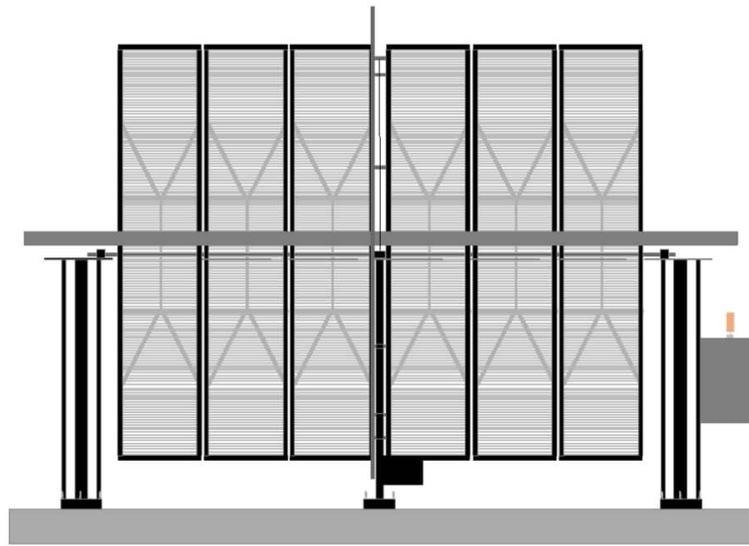
**Tableau 3.1** Caractéristiques géométriques du réflecteur.

### 3.2.1 Le réflecteur

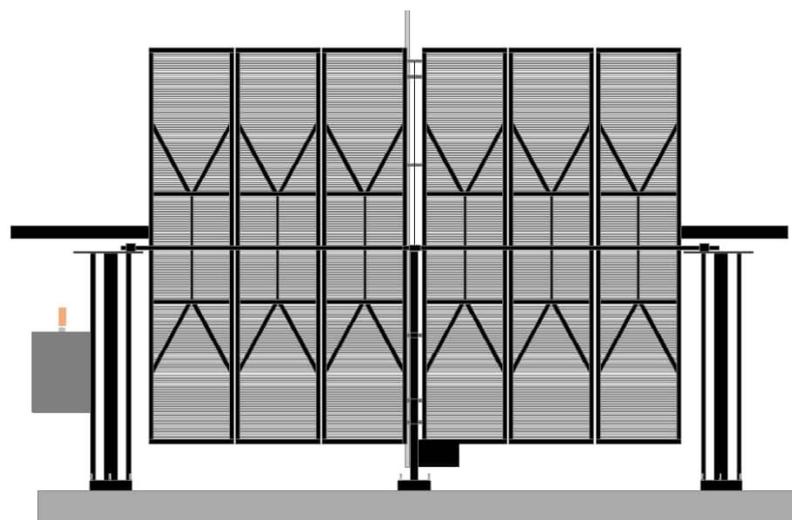
Le réflecteur est une structure métallique en forme de treillis supportée par trois poutres ; les deux poutres des extrémités sont identiques et une poutre différente au centre. Cette structure est composée de six sections identiques assemblées en deux parties (3 sections pour chaque partie) ; ces deux parties sont supportées par un axe de rotation, ce dernier supporté sur les trois poutres. Chaque section est divisée en trois groupes de miroirs formant un angle de  $163^\circ$  entre le groupe du centre et ceux des deux côtés (forme semi-hexagonale). Cette forme (semi-hexagonale) ressemble beaucoup à la forme cylindro-parabolique. Les concepts de concentration parabolique et de concentration des miroirs de Fresnel ont également été intégrés dans l'idée de la conception, qui signifie qu'au lieu de placer des miroirs paraboliques, nous les avons remplacés par de petits miroirs. Est-il possible que forme soit une bonne alternative ?

Chaque section contient des ensembles de petits miroirs rectangulaires (d'une longueur de 1 mètre et une largeur de 0,03 mètre) disposés parallèlement au sol les uns sur les autres. Chaque section se compose de 103 miroirs divisés en trois groupes. La collection centrale contient 25 miroirs, alors que les deux autres groupes ont 39 miroirs par groupe. L'ensemble des miroirs du CCP sont au nombre de 618 miroirs.

Il convient de noter que ces miroirs, malgré les avantages de leur utilisation, mais sont difficiles à orienter en raison du nombre et du fait que chacun est séparé l'un de l'autre, se qui conduira à la recherche de moyens afin d'assurer une bonne orientation.



Vue avant.



Activer

Vue arrière.

**Figure 3.2.** Interface avant et arrière du CCP.

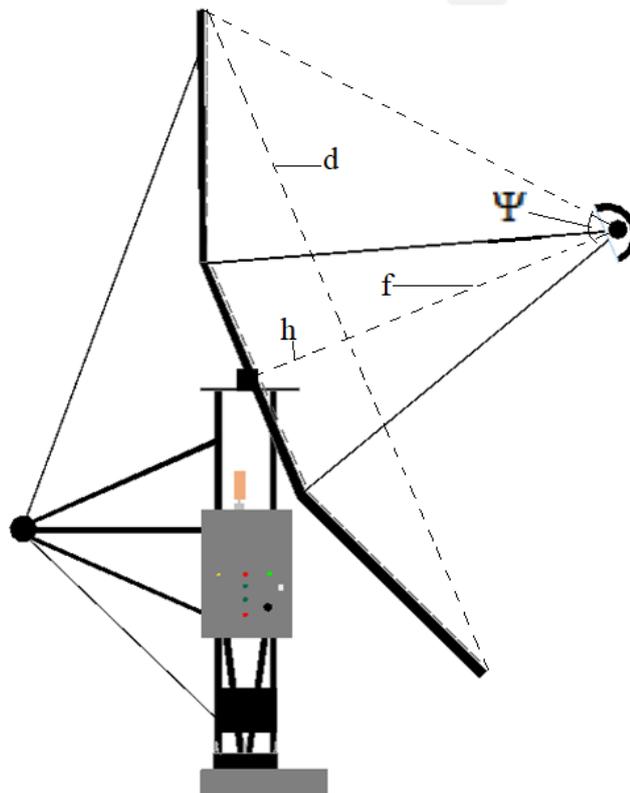


Figure 3.3. Dimensions du réflecteur.



Figure 3.4. Installation de miroirs.

Après le nettoyage et l'installation, on commence la phase de correction du miroir. Pour cette étape, trois méthodes de correction du point de réflexion ont été essayées.

La première méthode consiste à utiliser une barre verticale fixe devant les miroirs comme un chemin de lumière. Un laser simule le rayon solaire, de sorte que le laser se déplace dans le trajet vertical et est installé au même niveau des miroirs jusqu'à ce que la direction de la réflexion soit ajustée au foyer.

Cependant, cette méthode a un inconvénient de précision dû au point lumineux assez petit. Il est difficile de diriger le point lumineux de réflexion sur un foyer relativement petit et éloigné. La trajectoire d'inversion n'est pas visible et avec une toute légère déviation dans la direction de la lumière qui entraîne une perte de lumière loin du foyer.



**Figure 3.5.** Première Méthode de correction de l'orientation des miroirs.

La deuxième méthode consiste à utiliser une lampe enveloppée par un volume presque fermé, à l'exception d'un orifice de forme rectangulaire. L'objectif de cette forme étant créer un faisceau lumineux de forme rectangulaire.

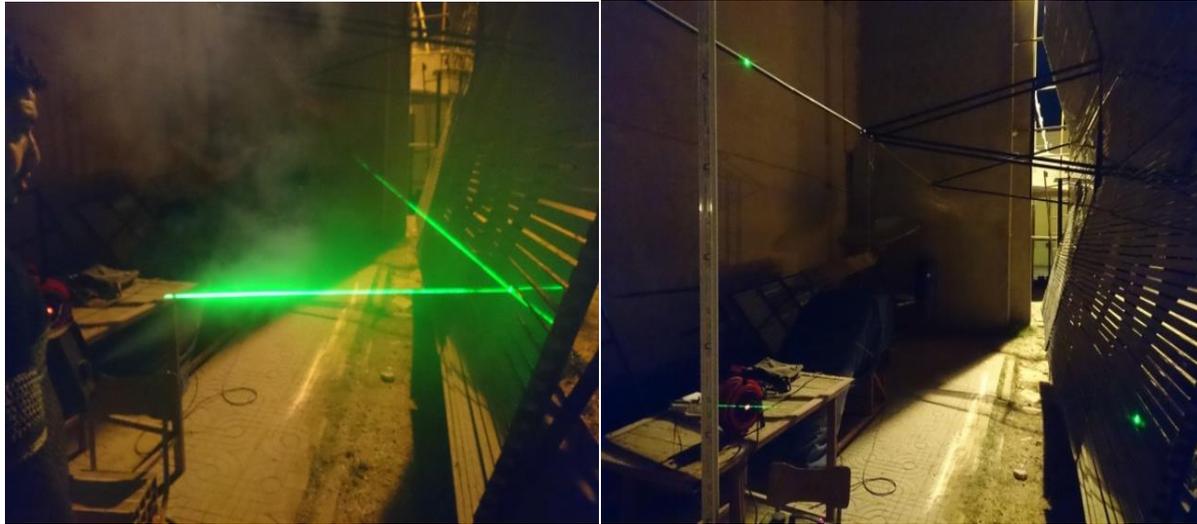
Cependant, cette méthode est très médiocre car il est difficile d'obtenir la précision requise car elle présente un faisceau lumineux de forme rectangulaire dont la surface de réflecteur est plus grande que la surface de lumière en dehors de la taille optique. Il est difficile de diriger cette réflexion vers un petit foyer éloigné, le chemin de réflexion n'est pas visible et avec une toute légère déviation dans la direction de la lumière entraînant une perte de lumière au foyer.



**Figure 3.6.** Deuxième Méthode de correction de l'orientation des miroirs.

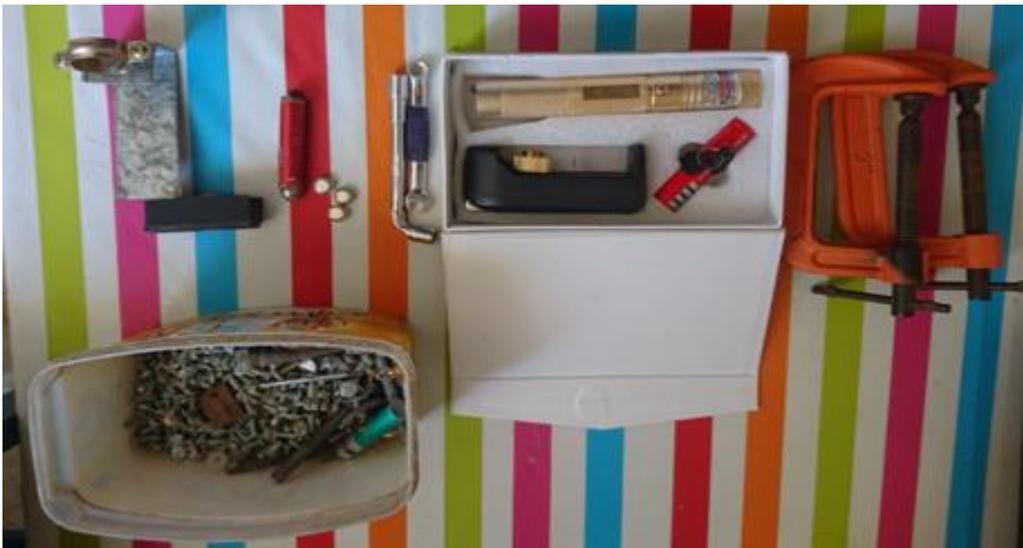
❖ **Remarque :** ce volume a été produit manuellement dans le hall de technologie.

La troisième méthode consiste à utiliser un laser linéaire, les faisceaux optiques seront forts. C'est une bonne méthode car la précision requise dans le travail est meilleure que les autres méthodes. Cette réflexion est facile à diriger sur un foyer petit et relativement éloigné en raison d'un chemin de réflexion visible et avec une toute légère déviation de la direction de la lumière facile à connaître et à corriger.



**Figure 3.7.** Troisième méthode de corriger la direction des miroirs.

- ❖ **Remarque :** Un générateur de fumée a été utilisé pour mieux éclairer le trajet de la lumière.



**Figure 3.8.** Outils utilisés pour installer et corriger les miroirs.

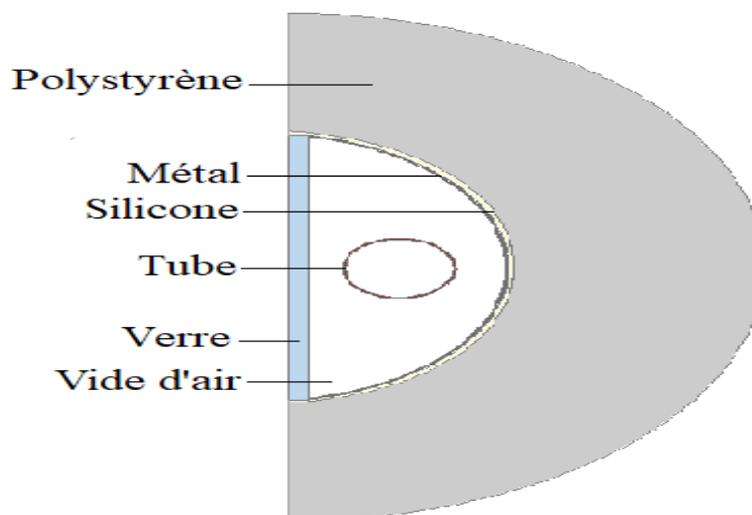
### 3.2.2 Le foyer

Le métal du récepteur devant avoir une bonne conductivité, nous avons choisi le cuivre (dont sa conductivité thermique est de l'ordre de  $360 \text{ W/}^\circ\text{k.m}^2$ ) comme un dispositif absorbant. Le tube est de 28 mm de diamètre et 8 m de longueur. L'absorbeur recouvert d'une mince couche de peinture noire mat pour diminuer la réflexion des rayons solaires, placé dans la zone focale du concentrateur.

Le tube est situé à l'intérieur d'une couverture semi-cylindrique en acier inoxydable et d'une couverture en verre rectangulaire transparente pour l'isoler de l'environnement, réduire les pertes de chaleur et augmenter la zone de réception. Recouvert d'une fine couche de peinture noire dans la partie intérieure de cette couverture pour réduire le reflet du soleil et recouvert d'une couche de polystyrène de l'extérieur pour l'isolation thermique. Comme le montre les figures (3.9 et 3.10).

Diamètre tube	$d_2 = 28 \text{ mm}$
Longueur	$L_2 = 6 \text{ m}$
Largeur du verre	$L_v = 0.11 \text{ m}$
Surface de captation	$A_t = 0.168 \text{ m}^2$
L'épaisseur du verre	$e_v = 5 \text{ mm}$
L'épaisseur du métal	$e_m = 0.3 \text{ mm}$
Espace à l'intérieur de la couverture	$S_i = 0.004 \text{ m}^2$
L'espace d'air	$S_a = 3.38 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Le coefficient d'absorption	0.94

**Tableau 3.2** Les caractéristiques du foyer.



**Figure 3.9.** Coupe transversale du tube d'absorption et de la couverture.



**Figure 3.10.** Tube d'absorption et la couverture.

Les étapes de fabrication de couverture isolante étaient comme suit :

1. Couper des pièces de métal résistant à la rouille sous la forme d'un rectangle la longueur est de 0,8 mètre et la largeur est de 0,175 mètre et le nombre de ces pièces est de 10 pièces, figure (3.11.a).
2. Courbés les bords de ces pièces sont à un angle d'environ 60 degrés et permettent au verre d'être installé dans les pièces, figure (3.11.b).
3. Changer la forme des pièces pour devenir semi-cylindrique, figure (3.12.a).
4. Percez trois trous aux extrémités de ces pièces pour les rassembler à l'aide des vis, figure (3.12.b).
5. Assembler les pièces et utilisez une couche de peinture noire dans la partie intérieure, figure (3.13.a).
6. Insérer les pièces de verre dans la forme semi-cylindrique, figure (3.13.b).
7. Couvrir les vides avec silicone et attacher les pièces de polystyrène à l'extérieur du semi-cylindre. La silicone résiste aux hautes températures, figure (3.14).



(a) (b)

**Figure 3.11.** La première et la deuxième étape.



(a) (b)

**Figure 3.12.** La troisième et quatrième étape.



(a) (b)

**Figure 3.13.** La Cinquième et sixième étape.



Figure 3.14. La septième étape.

❖ **Remarque :** cette couverture a été produite manuellement dans le hall de technologie.

### 3.2.3 Système de poursuite du soleil

Le concentrateur cylindro-parabolique nécessite un système de poursuite du mouvement du soleil pour atteindre le maximum de concentration. Nous avons adopté un mécanisme de poursuite très simple, Il est composé d'une corde métallique de 8 mm de diamètre qui relie l'extrémité supérieure du concentrateur et un moteur avec un réducteur en rotation situé au bas du concentrateur et qui passe au milieu de la distance qui les sépare à travers une poulie métallique. Parce que cette vitesse est élevée, il est intégré dans un réducteur de vitesse capable de réduire la vitesse 50 fois pour assurer un peu de vitesse afin de faciliter le suivi. Pour contrôler le mouvement, le moteur est connecté à un tableau de commande électrique.



Figure 3.15. La partie électrique.

❖ **Remarque :** L'armoire électrique a été réalisée par l'ingénieur MERABTI Yousef.

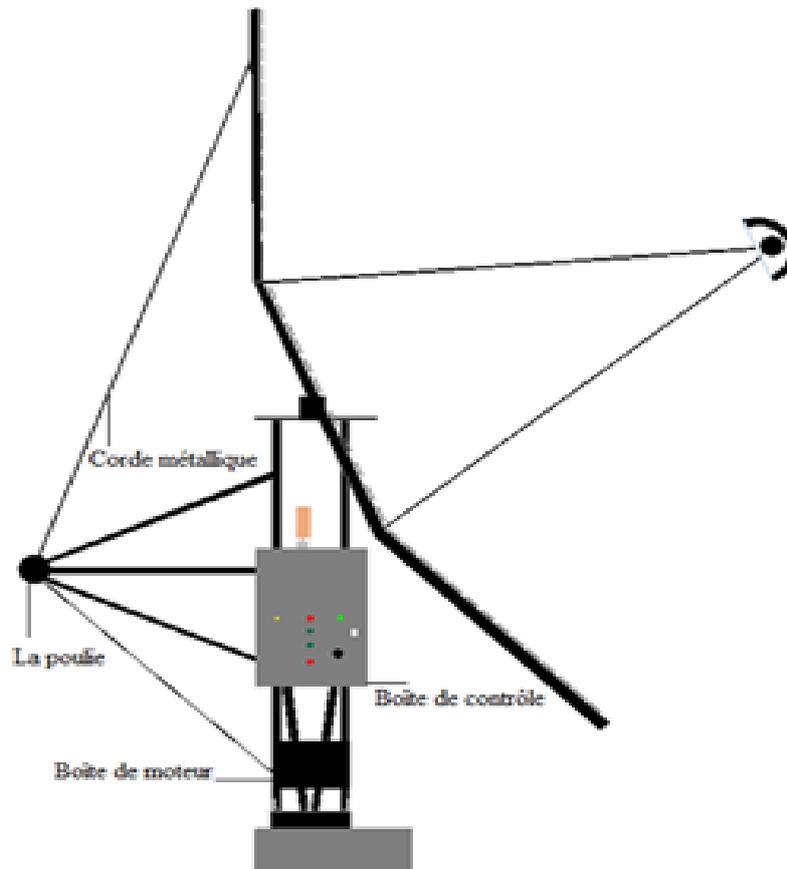


Figure 3.16. Système de poursuite du soleil.

### 3.2.4 Assise de fixation du CCP au sol

Le système architectural utilisé dans cette étude, est le système poteaux poutres, pour avoir plus de stabilité et fixation. On a utilisé des semelles de fondation de dimensions : 1,70 x 1,40 x 0,40 m. Des poteaux de 0,60 x 0,50 x 1,70m. Les poutres de longueur de 7,30m et de largeur de 0,50m. La poutre apparente de 0,30 m au niveau de sol. Comme le montre la figure (3.17).

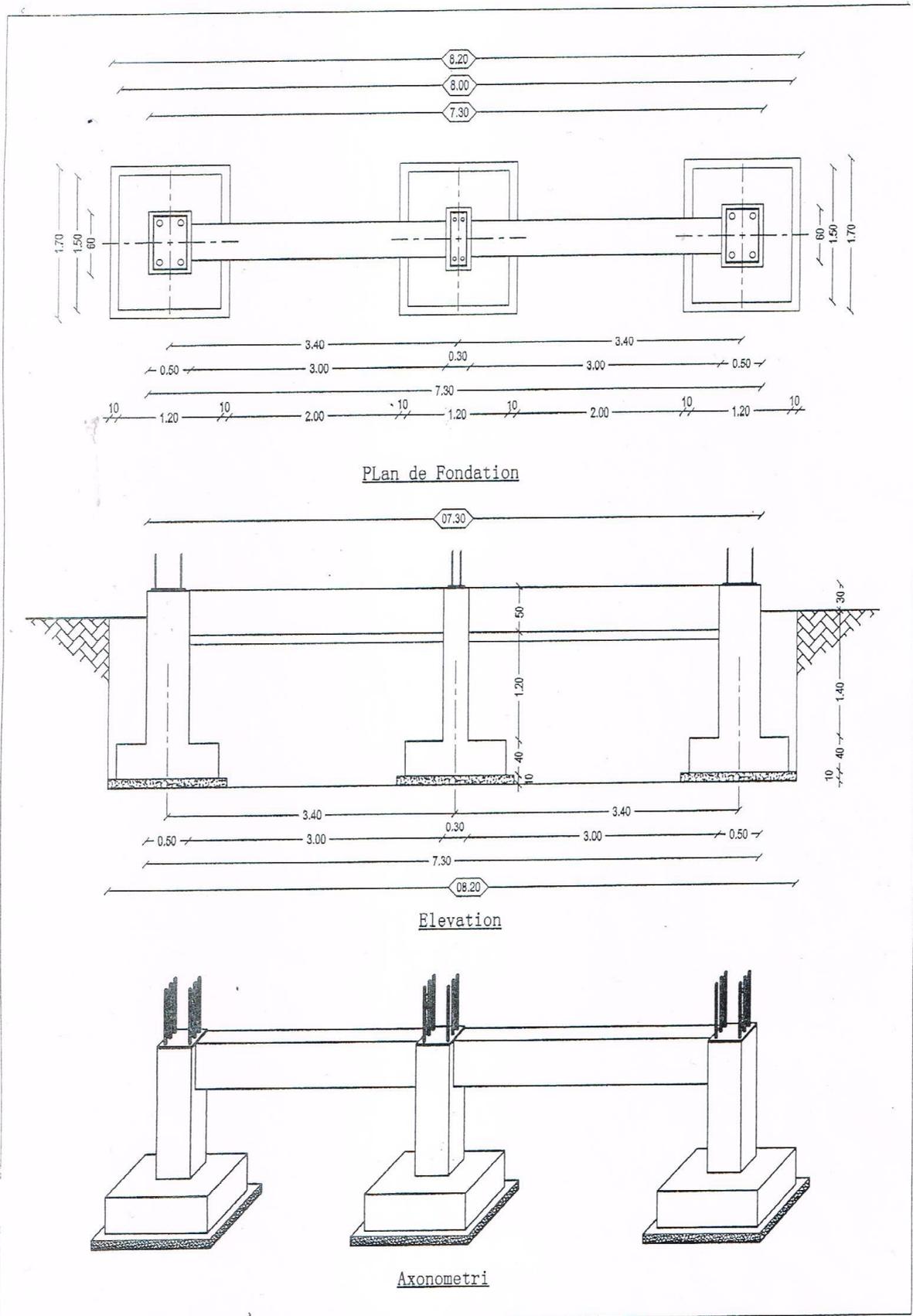


Figure 3.17. Dessin de définition de l'assise en béton armé du CCP.

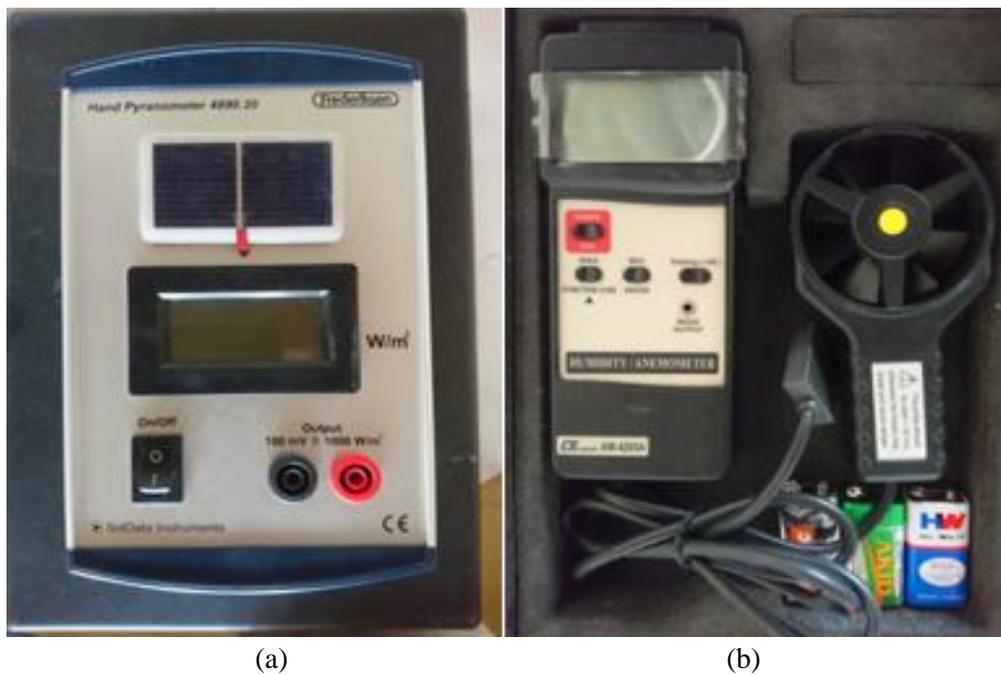
### 3.3 Appareils et méthodes de mesure

Pour déterminer la température atteinte sur les surfaces d'absorption, un thermocouple a été placé dans la paroi extérieure du tube d'absorption. La figure (3.18) montre la position du thermocouple.



**Figure 3.18.** Position du thermocouple.

Les mesures de rayonnement solaire sont effectuées à l'aide d'une échelle à pyranomètre, figure (3.19.a) et la mesure correcte est effectuée au même niveau que les miroirs centraux. La vitesse du vent et la température ambiante ( $T_a$ ) sont mesurées à l'aide d'un anémomètre, comme représente la figure (3.19.b).



(a)

(b)

**Figure 3.19.** Pyranomètre et Anémomètre.

### 3.4 Problèmes rencontrés

Les problèmes rencontrés lors de la réalisation du concentrateur cylindro-parabolique se résument comme suit :

- Difficulté du relevé de la température car sa valeur varie rapidement sous l'influence de la vitesse du vent.
- Orientation des miroirs durant la nuit, pour éviter la lumière du jour qui réduit la visibilité du faisceau laser.
- Incapacité du marché local à fournir le matériel et les outils nécessaires.
- Nécessité d'un automate qui gère la précision du système de suivi.

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni une explication détaillée de la méthode d'installation des composants du concentrateur et des étapes de préparation de l'expérience, en plus de mentionner les dimensions et les matériaux et outils utilisés lors du travail, ainsi que les problèmes rencontrés lors de la réalisation et la préparation des expériences.

---

# **Chapitre 4**

## **Résultats et discussions**

---

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons décrire les caractéristiques de concentrations du modèle du concentrateur cylindro-parabolique proposé et réalisé. Nous avons aussi mené une série de tests durant des journées. Les résultats enregistrés, nous ont permis de déterminer la capacité thermique de ce concentrateur.

## 4.2 Données du lieu

Les essais expérimentaux ont été menés au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique, à l'université Mohamed KHIDER, Biskra. Dans les caractéristiques suivantes:

- Latitude : 34° 51' 0'' N.
- Longitude : 5° 43' 59'' E.

## 4.3 Position du concentrateur

Le mouvement du soleil est suivi par un système de suivi manuel à axe monoculaire où le concentrateur est déplacé vers le soleil par observation des rayons collectés dans le tube.

## 4.4 Résultats et discussions

### 4.4.1 La concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un capteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

On peut calculer la concentration géométrique :

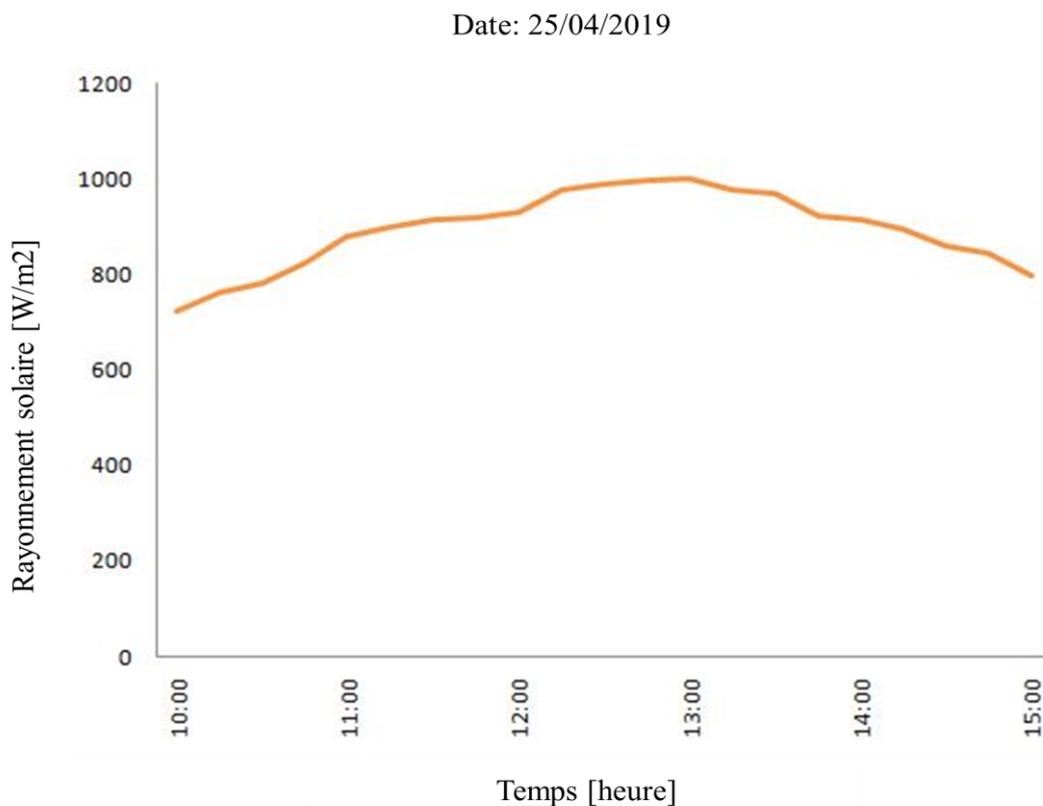
$$C_g = \frac{A_o}{A_t} = \frac{24.16}{0.168} = 143.81$$

On peut calculer la concentration optique Par l'équation suivante :

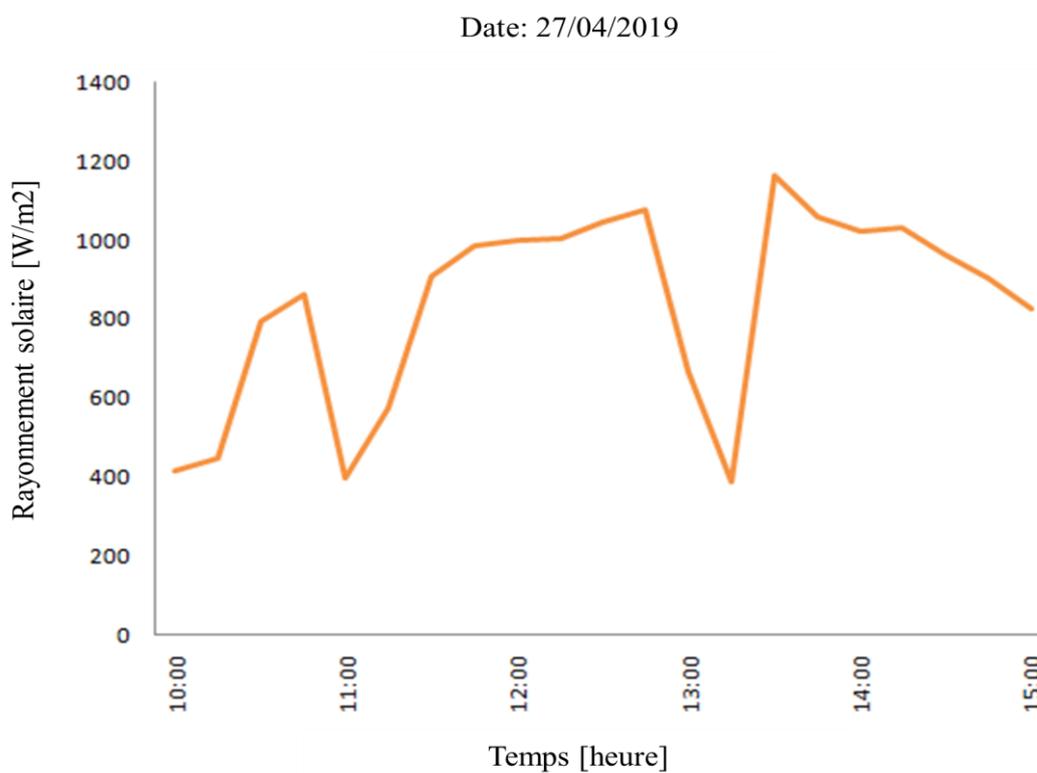
$$C_o = 4 \frac{\sin^2 \Psi}{\theta_s^2} = 26661.71$$

$\theta_s = 9,3 \times 10^{-3}$  L'angle apparent du soleil.

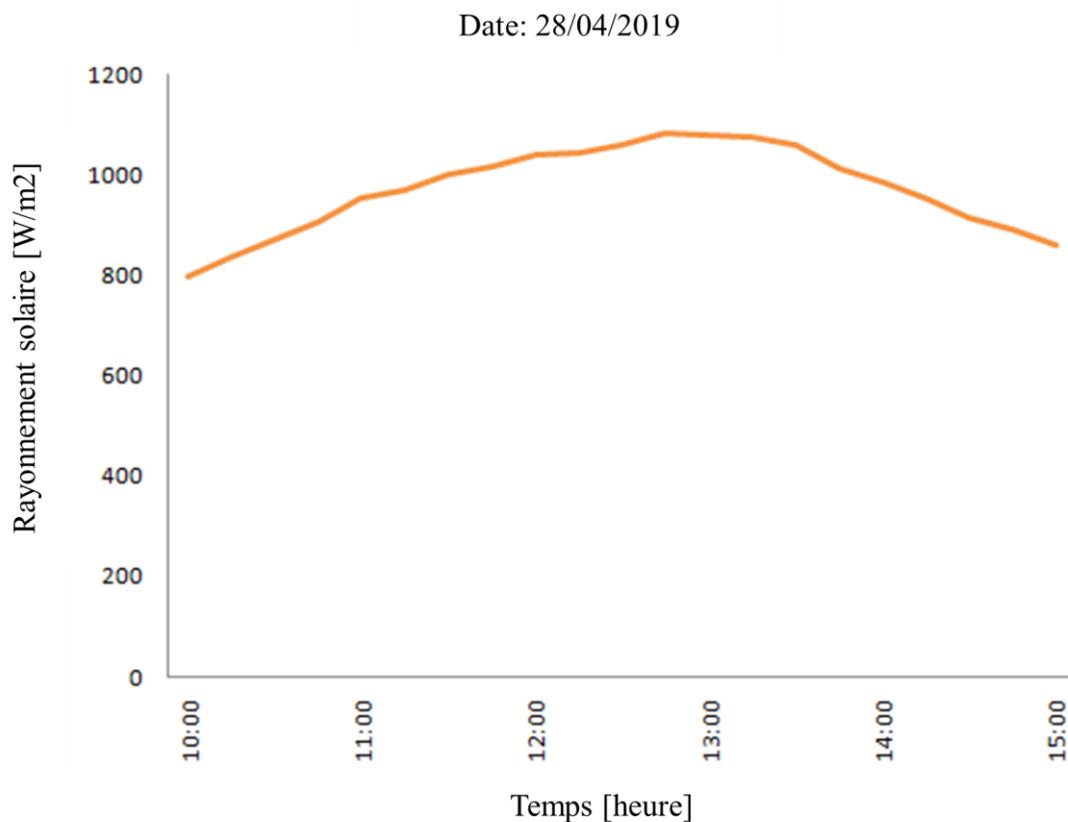
#### 4.4.2 Evolution de l'éclairement solaire direct



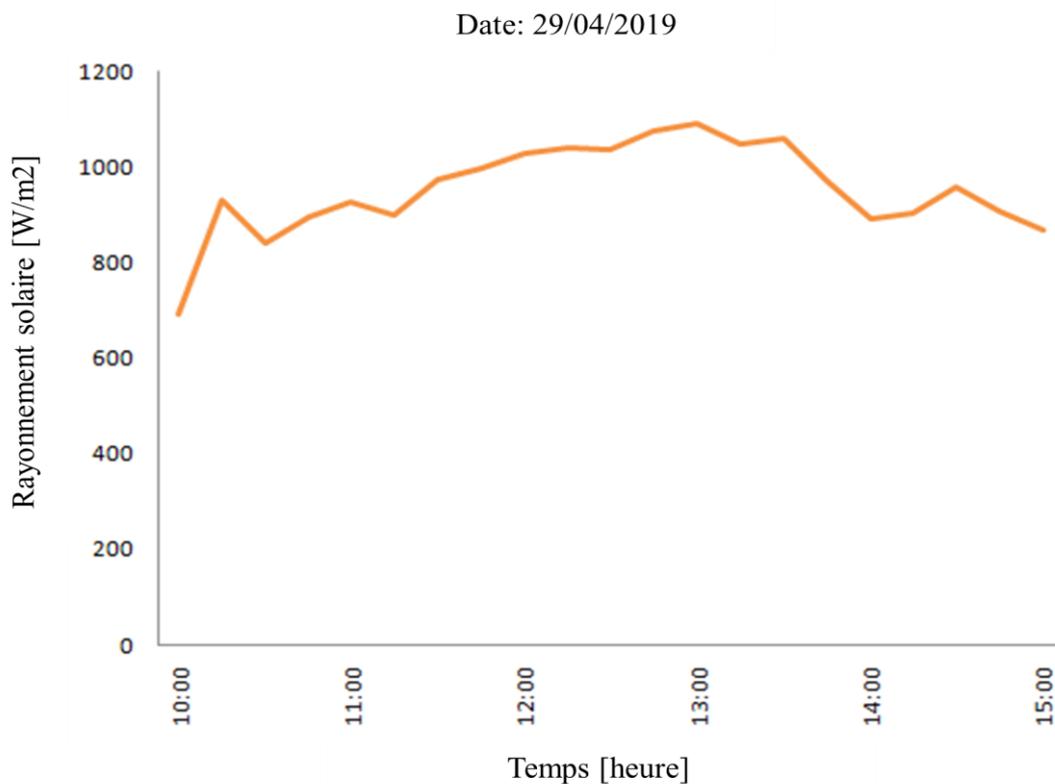
**Figure 4.1.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 25/04/2019.



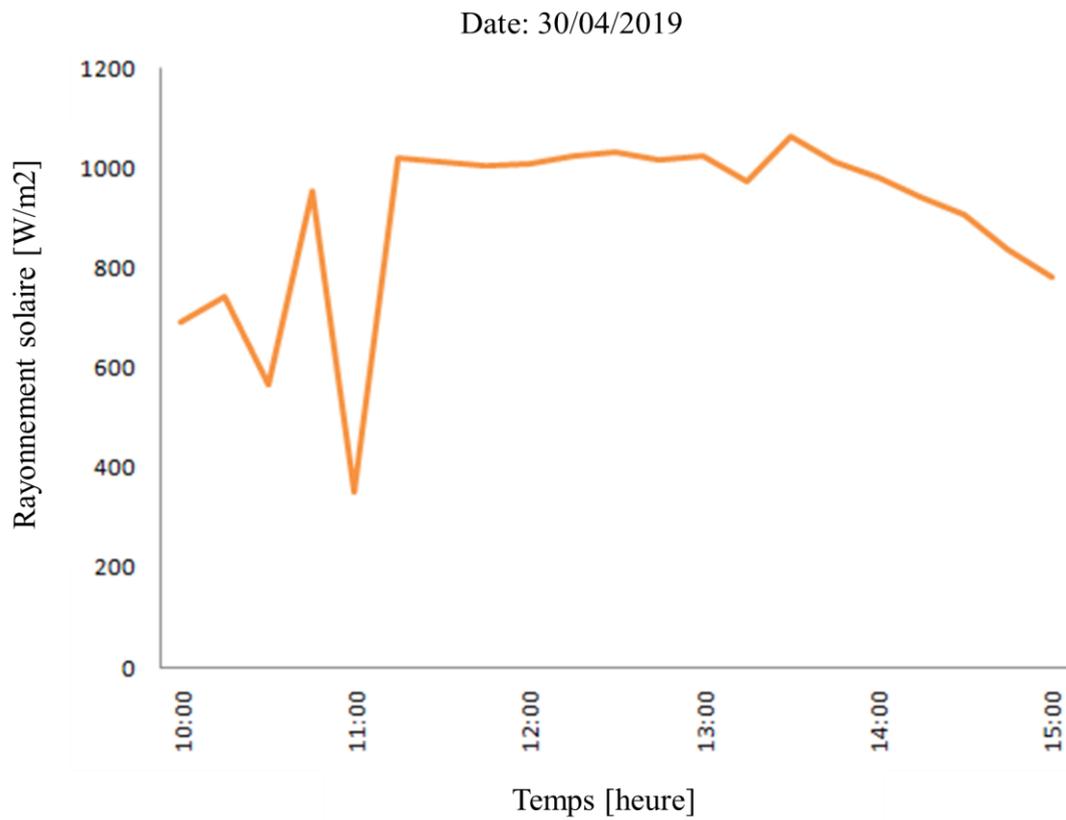
**Figure 4.2.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 27/04/2019.



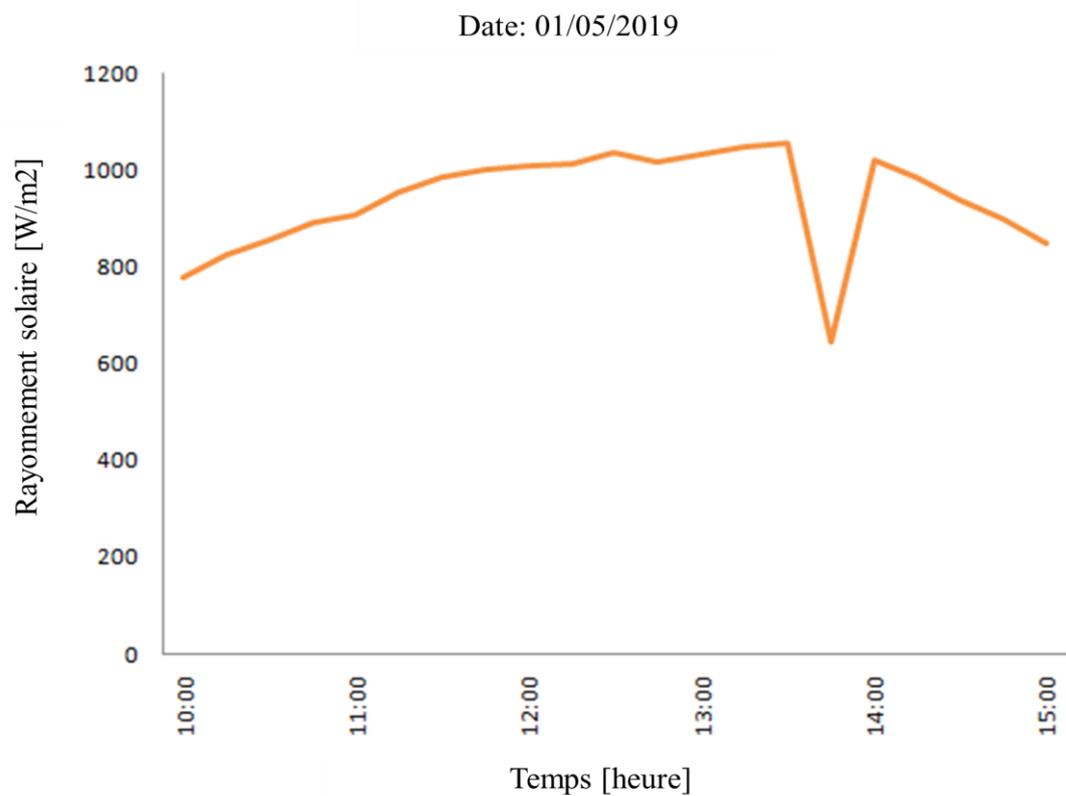
**Figure 4.3.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 28/04/2019.



**Figure 4.4.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 29/04/2019.



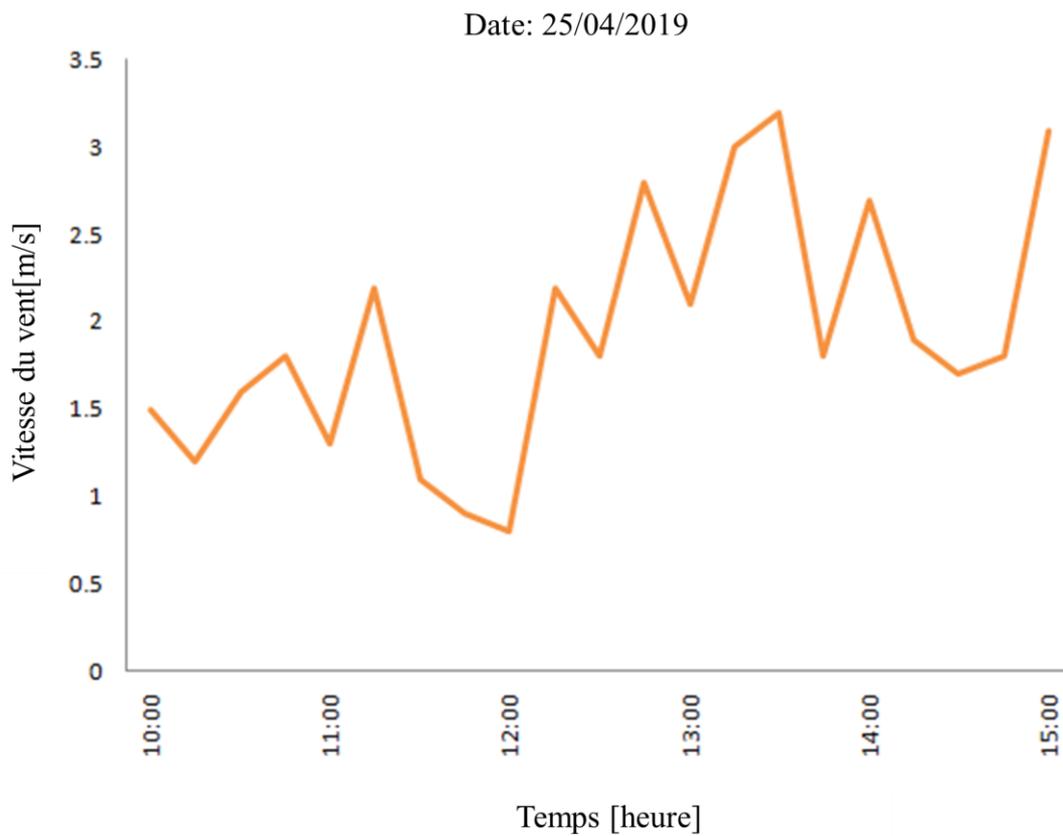
**Figure 4.5.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 30/04/2019.



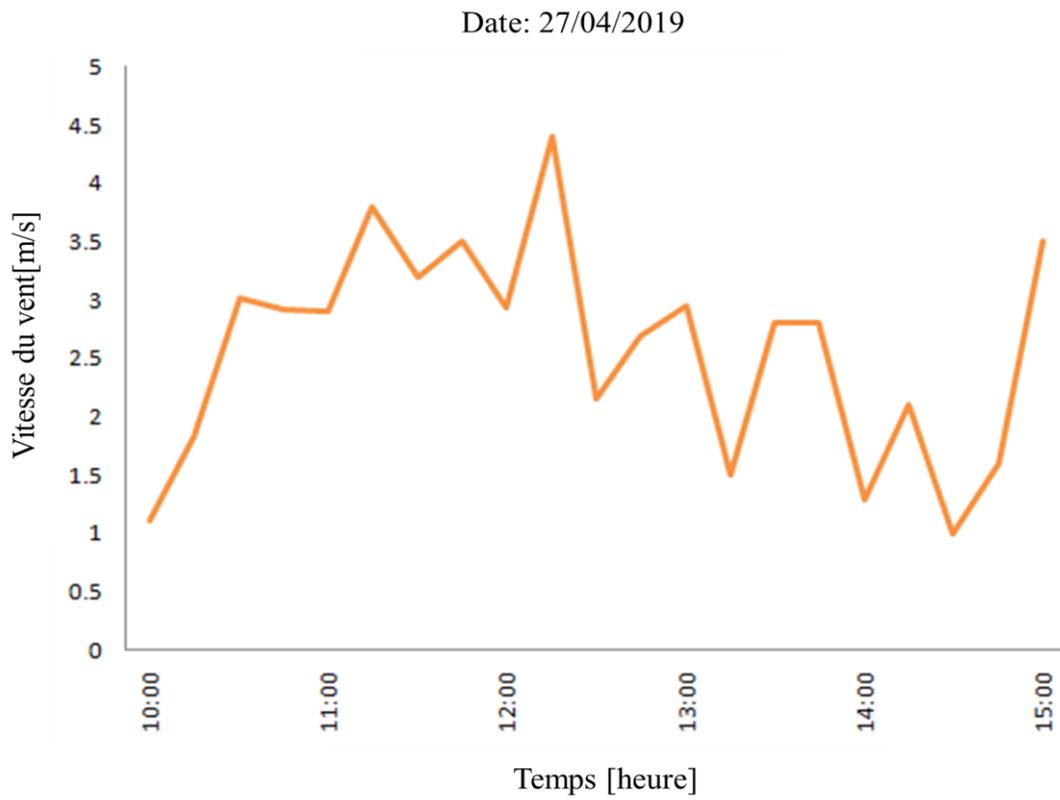
**Figure 4.6.** Evolution du rayonnement solaire le long de la journée du 01/05/2019.

Les figures (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5) et (4.6) représentent la variation du rayonnement solaire le long des journées du 25 au 30/04/2019 et 01/05/2019. On a enregistré les valeurs maximales du flux solaires vers midi qui sont respectivement, 1002, 1163, 1084, 1093, 1063, 1056  $W/m^2$ . Nous remarquons des variations brusques du flux solaire dû au passage de nuages.

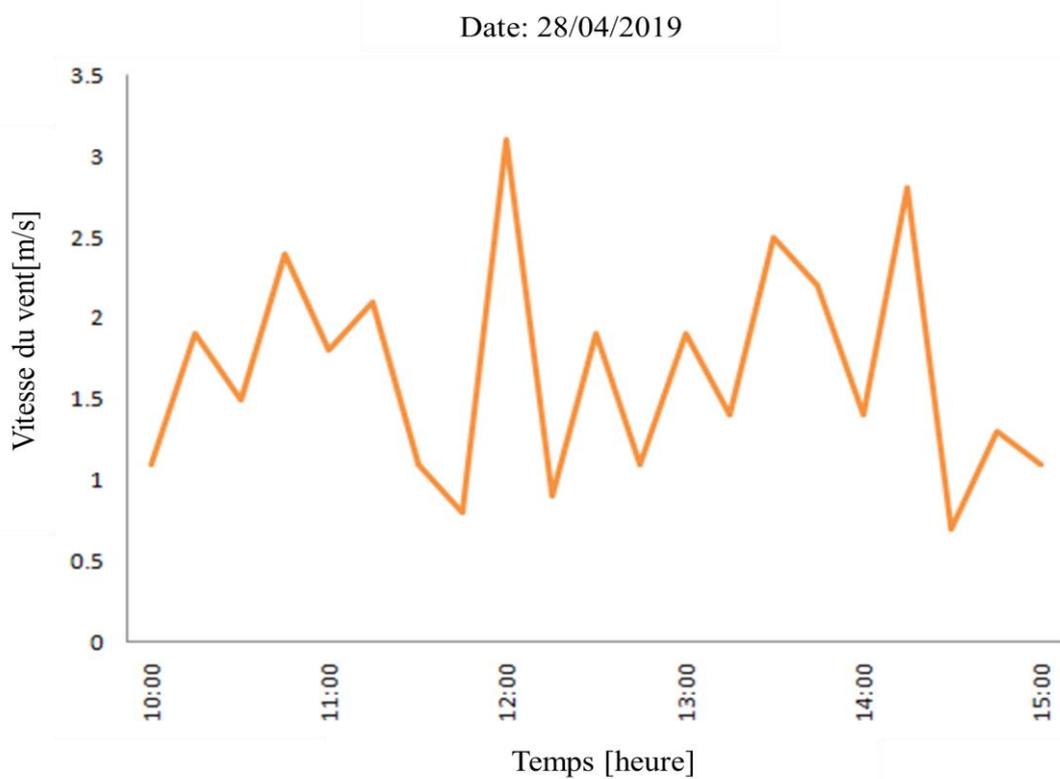
#### 4.4.3 Evolution de la vitesse du vent



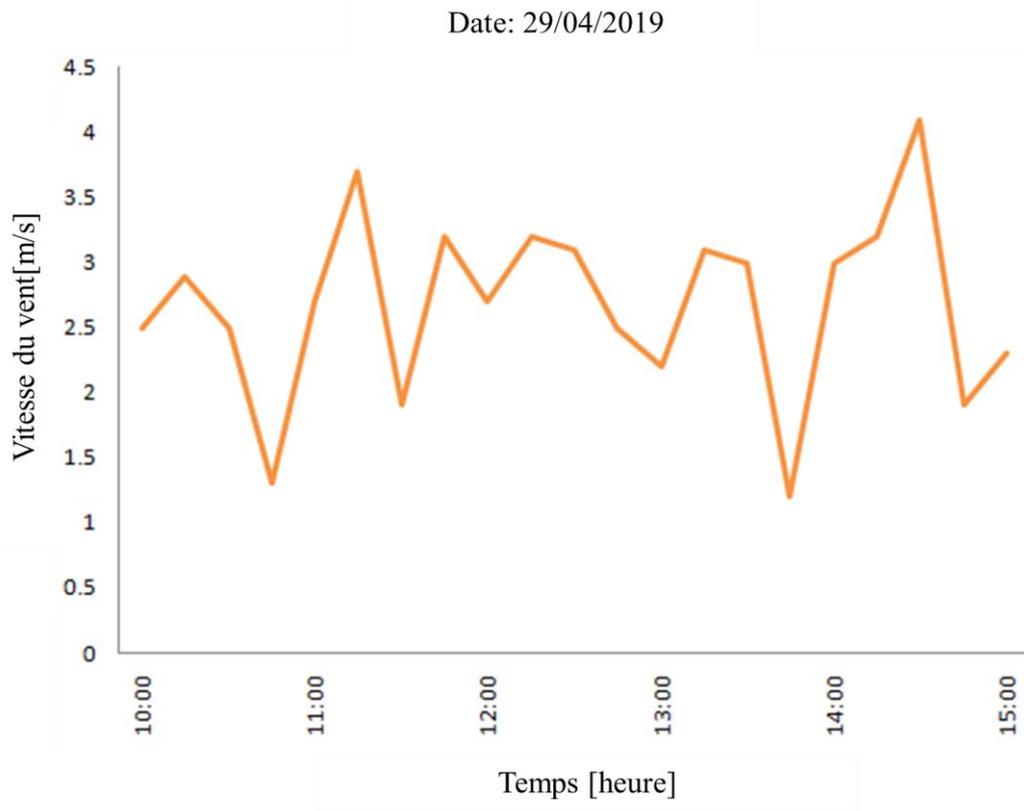
**Figure 4.7.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 25/04/2019.



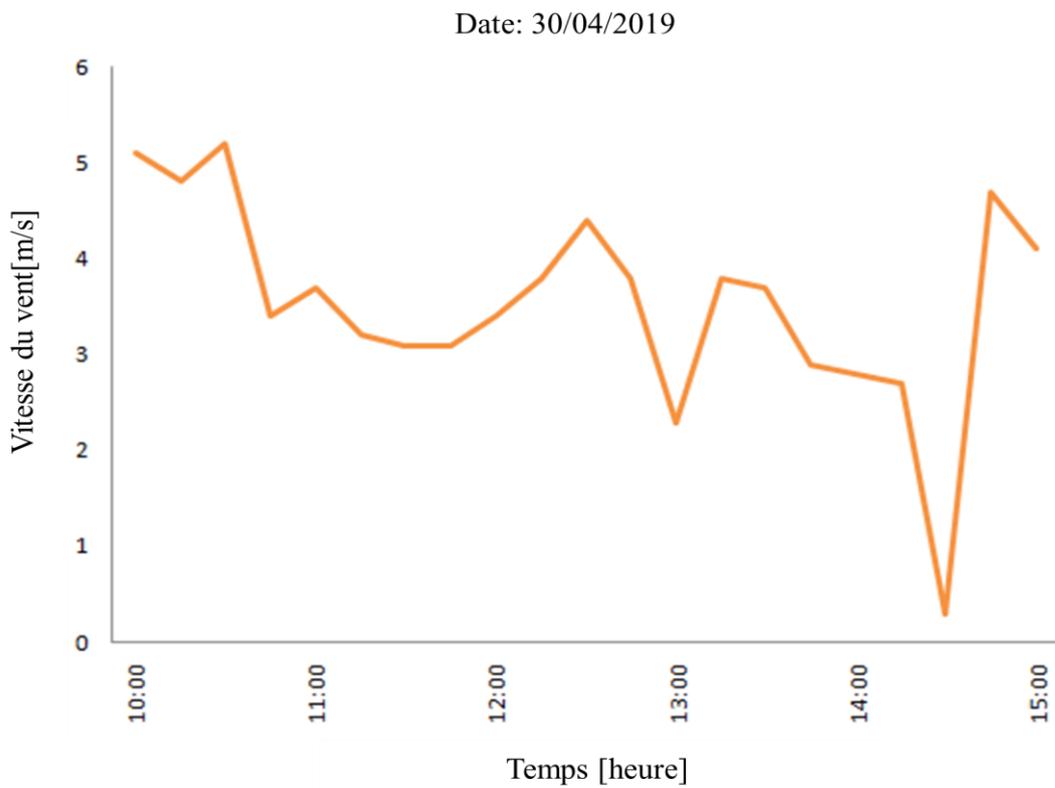
**Figure 4.8.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 27/04/2019.



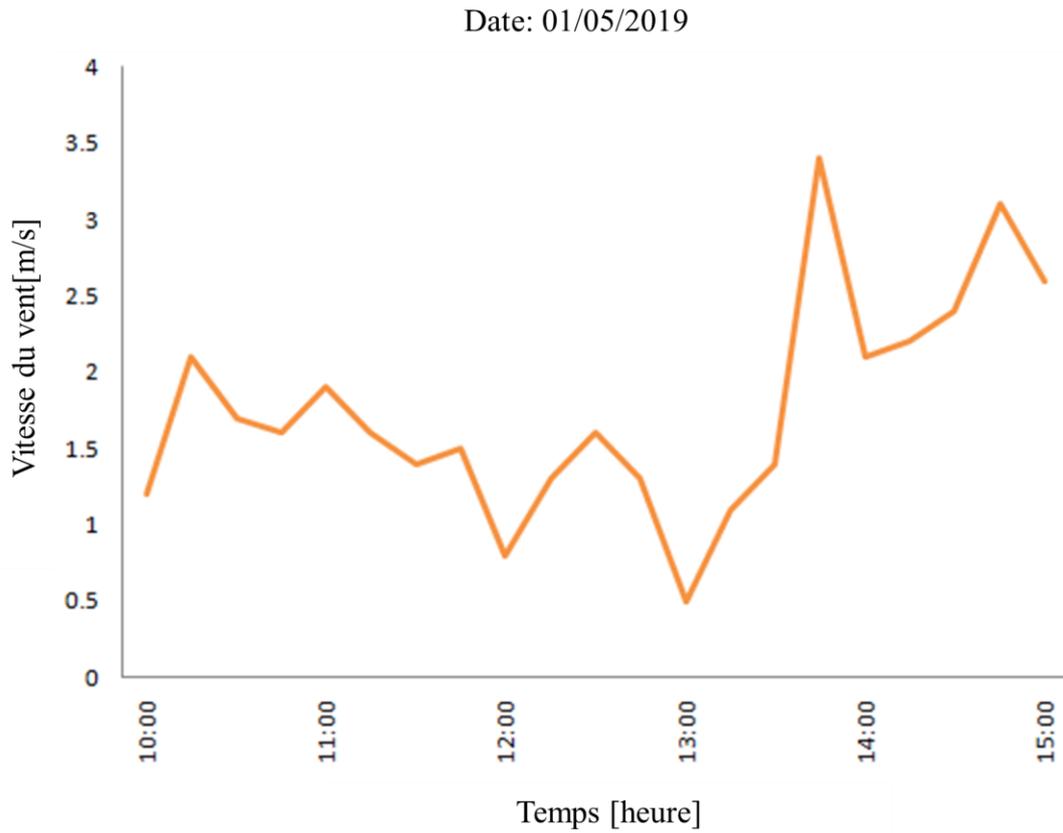
**Figure 4.9.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 28/04/2019.



**Figure 4.10.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 29/04/2019.



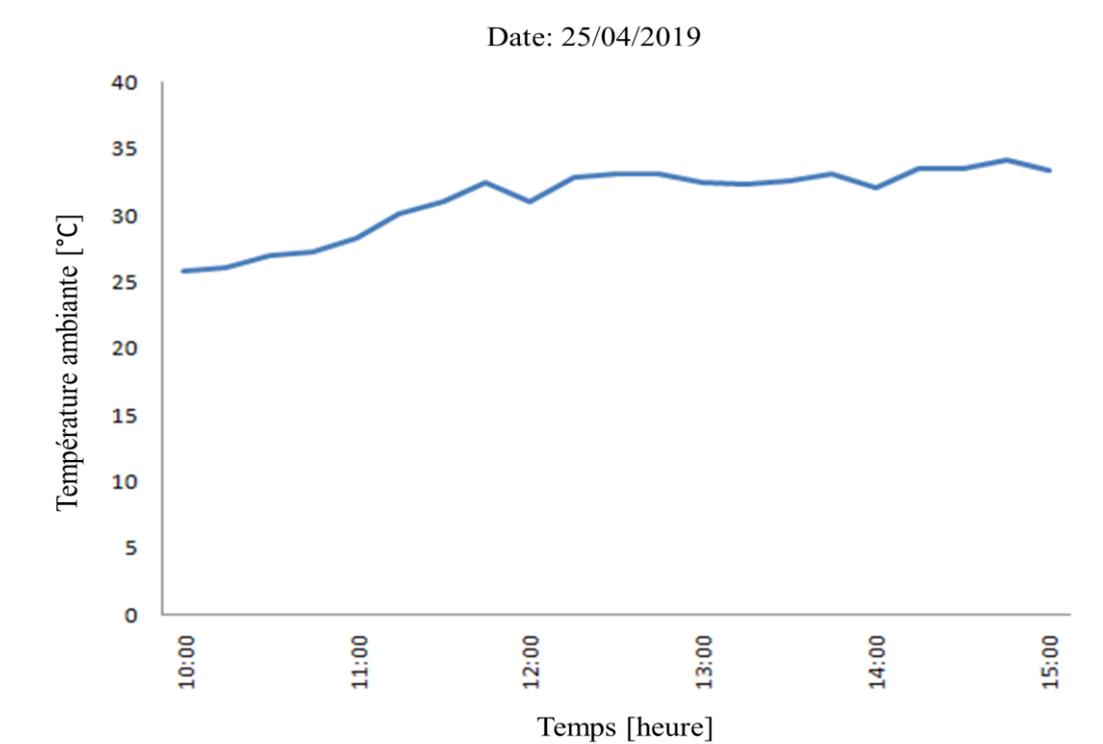
**Figure 4.11.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 30/04/2019.



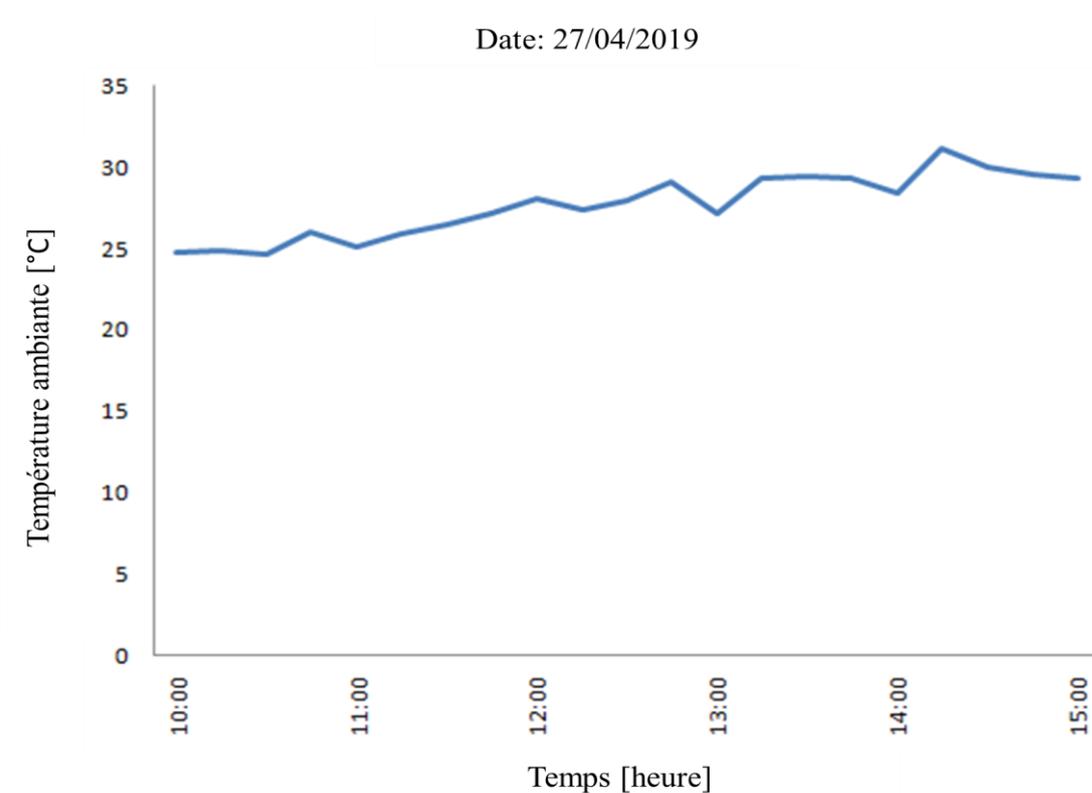
**Figure 4.12.** Evolution de la vitesse du vent le long de la journée du 01/05/2019.

Les figures (4.7), (4.8), (4.9), (4.10), (4.11) et (4.12) représentent la vitesse du vent le long des journées du 25 au 30/04/2019 et 01/05/2019. Nous avons enregistré les valeurs maximales de la vitesse du vent qui sont respectivement, 3.2, 4.4, 3.1, 4.1, 5.2, 3.4 m/s.

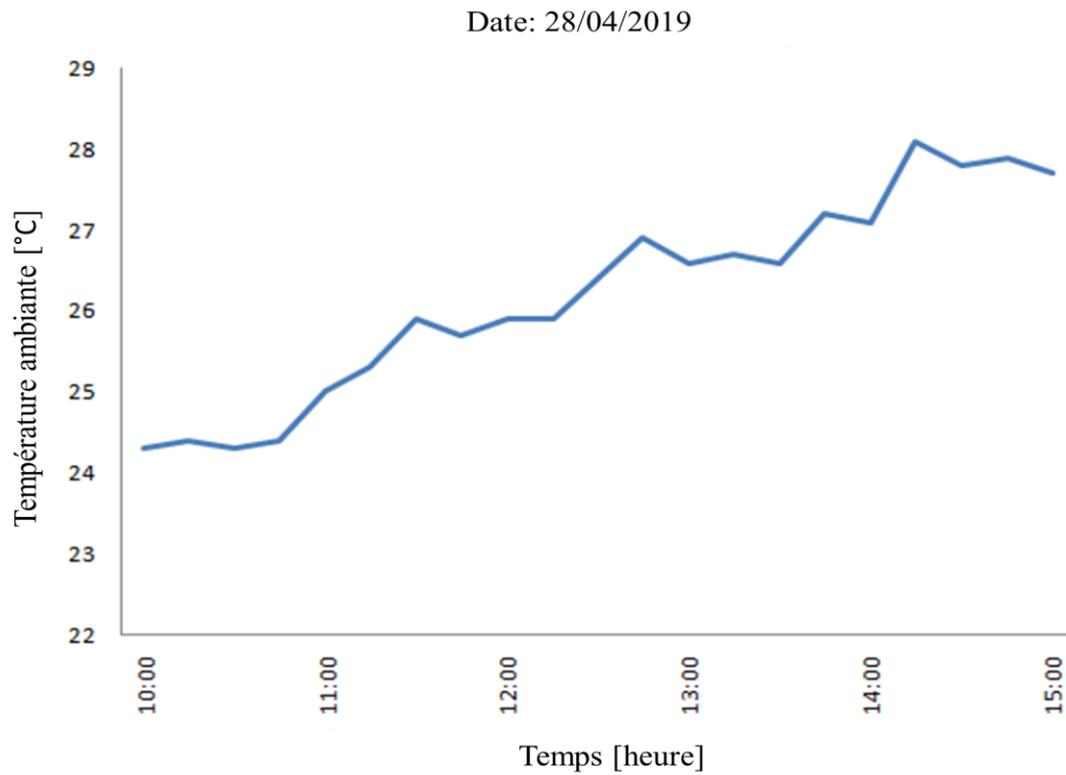
#### 4.4.4 Evolution de la température ambiante



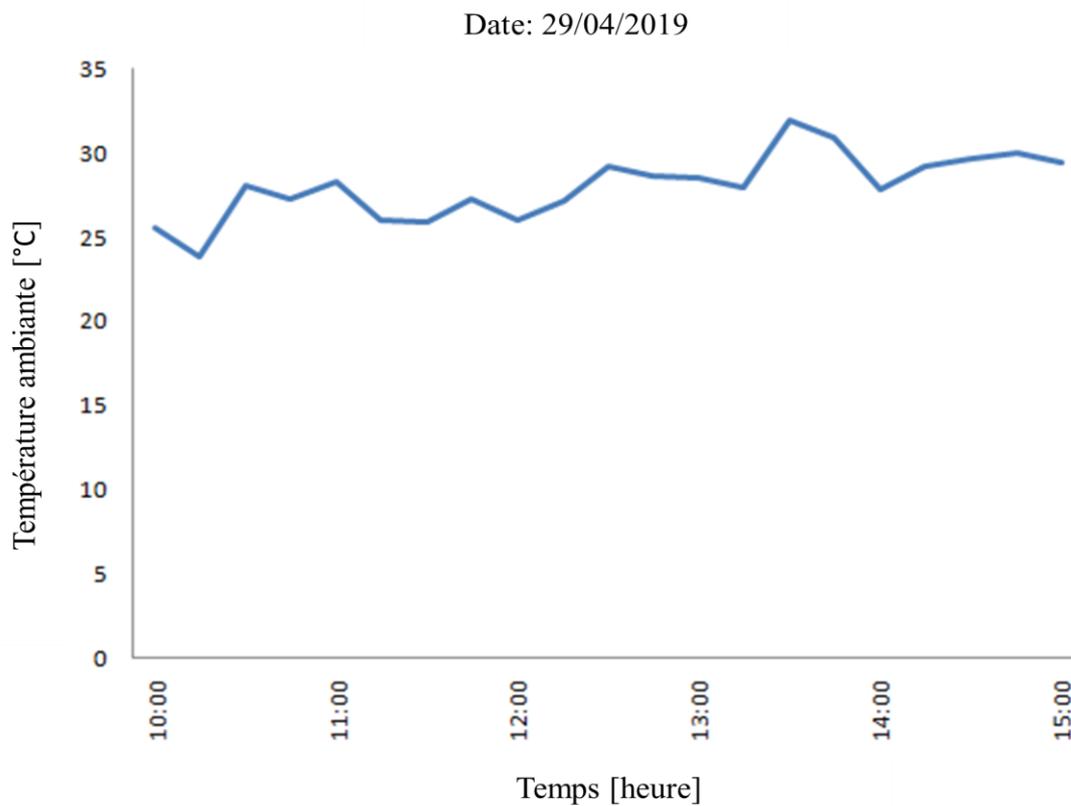
**Figure 4.13.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 25/04/2019.



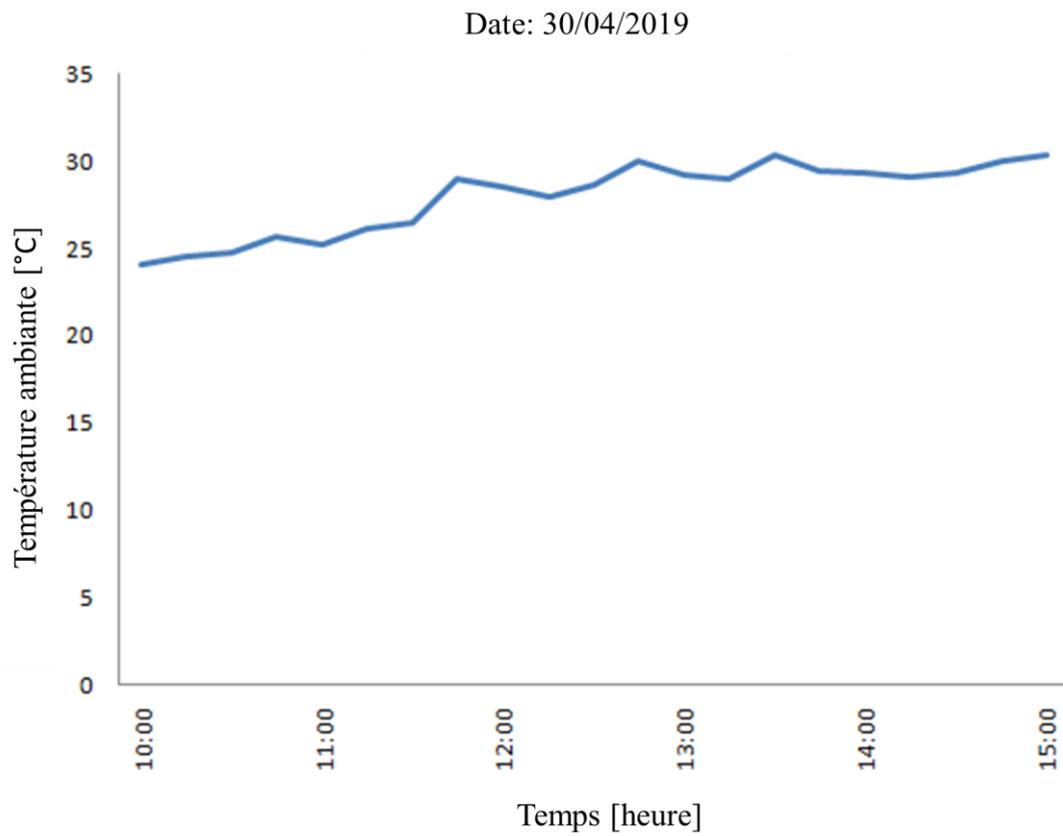
**Figure 4.14.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 27/04/2019.



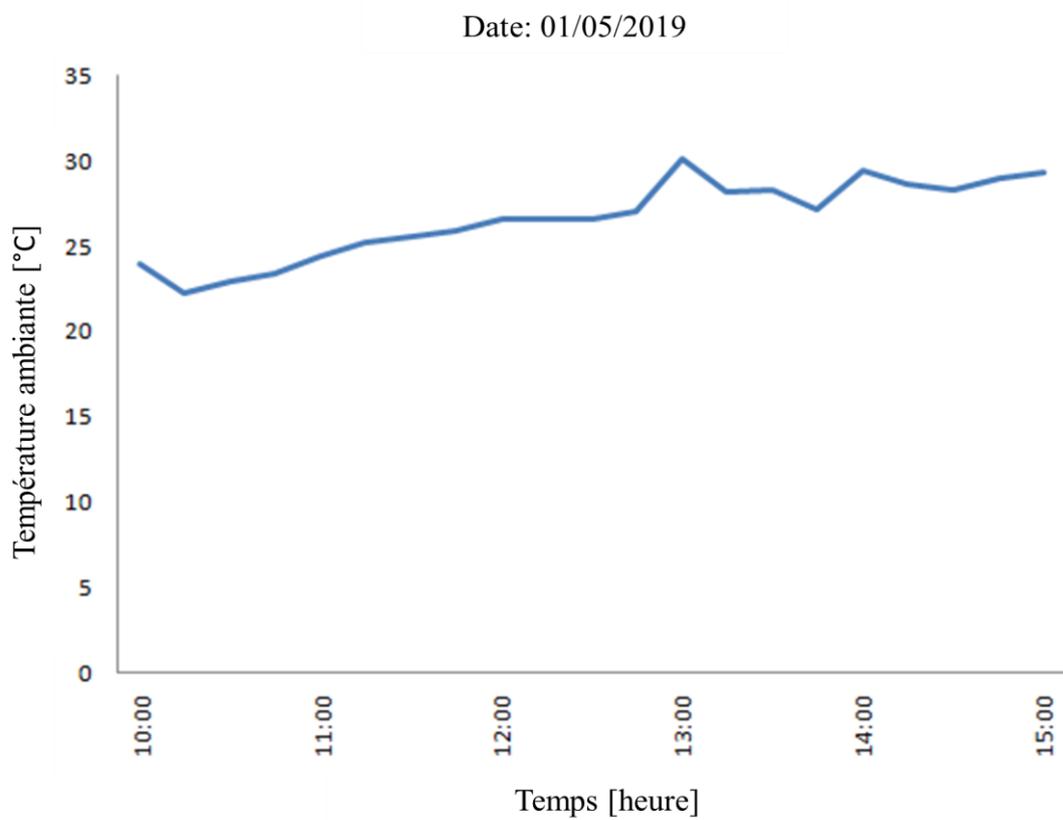
**Figure 4.15.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 28/04/2019.



**Figure 4.16.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 29/04/2019.



**Figure 4.17.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 30/04/2019.

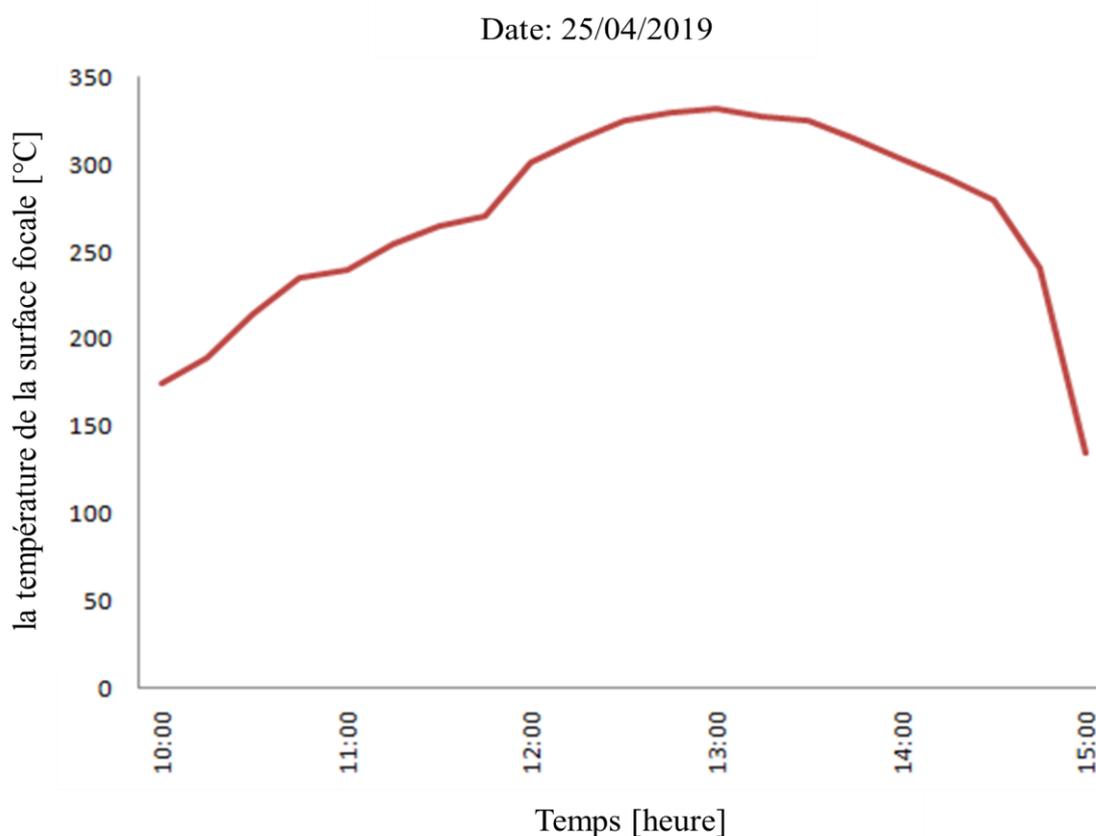


**Figure 4.18.** Evolution de la température ambiante le long de la journée du 01/05/2019.

Les figures (4.13), (4.14), (4.15), (4.16), (4.17) et (4.18) représentent la variation de la température ambiante le long des journées du 25 au 30/04/2019 et 01/05/2019. Nous avons enregistré les valeurs maximales des températures ambiantes de l'ordre de 34.2, 31.2, 28.1, 32, 30.4, 30.1 °C. Nous remarquons des variations brusques de la température ambiante dû aux nuages et le vent.

#### 4.4.5 Evolution du chauffage du récepteur

Pour étudier l'évolution de la température de la surface du foyer et qui nous permet de connaître les différents changements qui se produisent au cours du chauffage, on a chauffé l'absorbeur avec le rayonnement solaire concentré d'une façon continue, dans les six jours.



**Figure 4.19.** Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 25/04/2019.

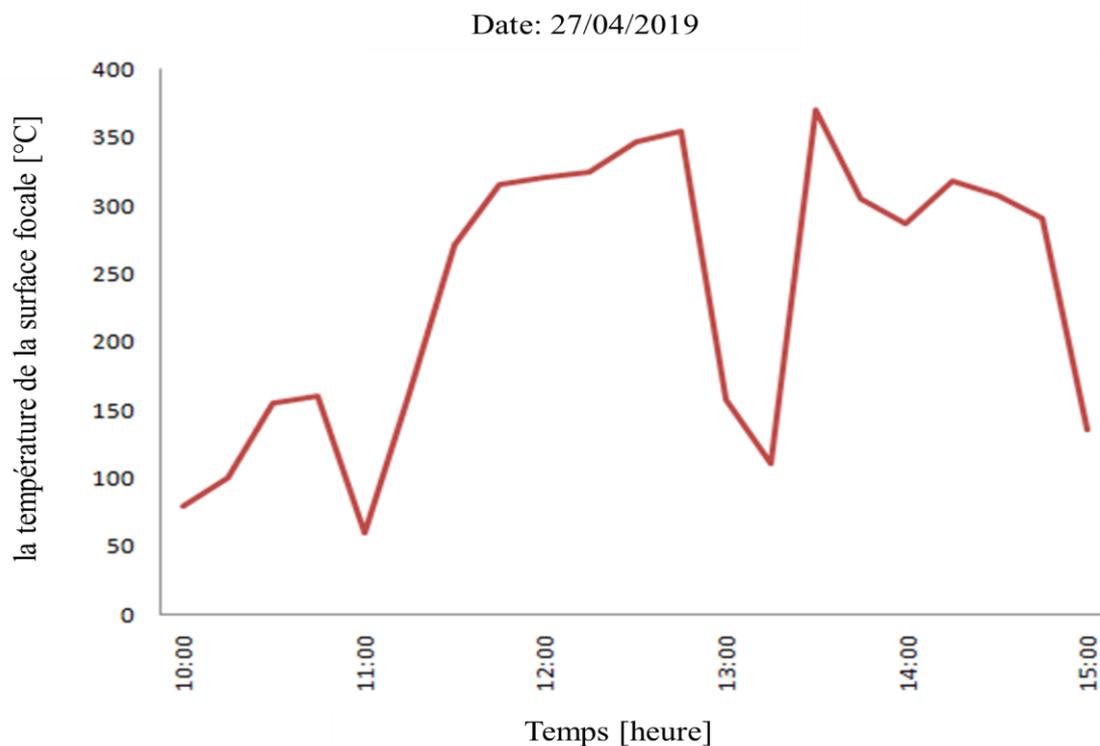


Figure 4.20. Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 27/04/2019.

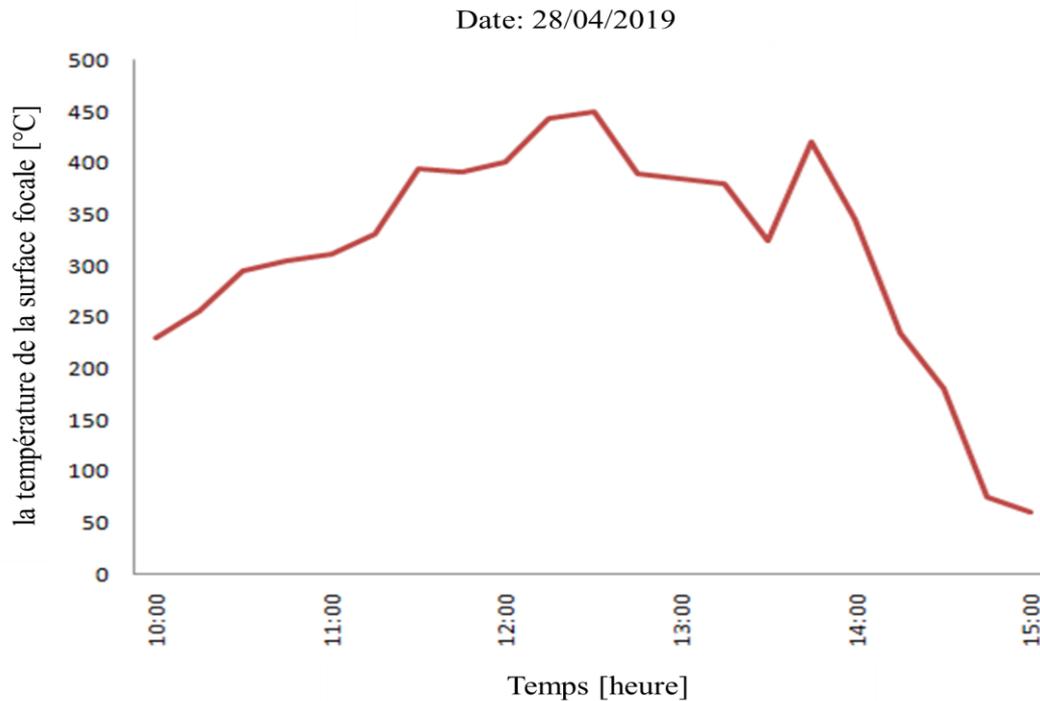
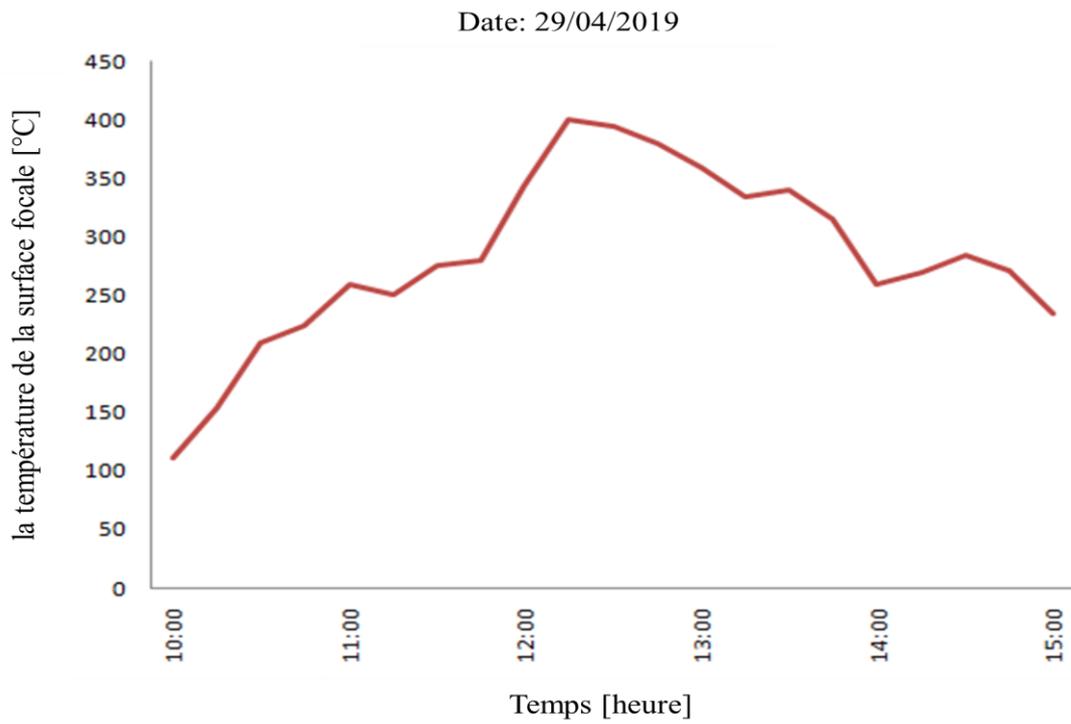
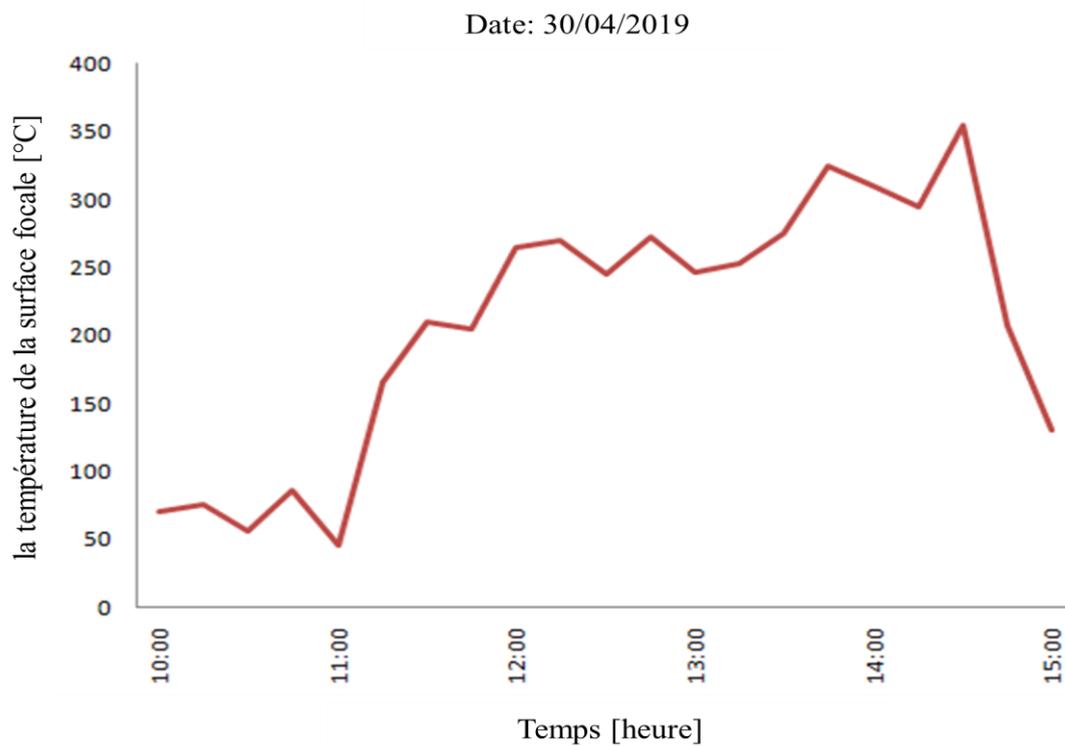


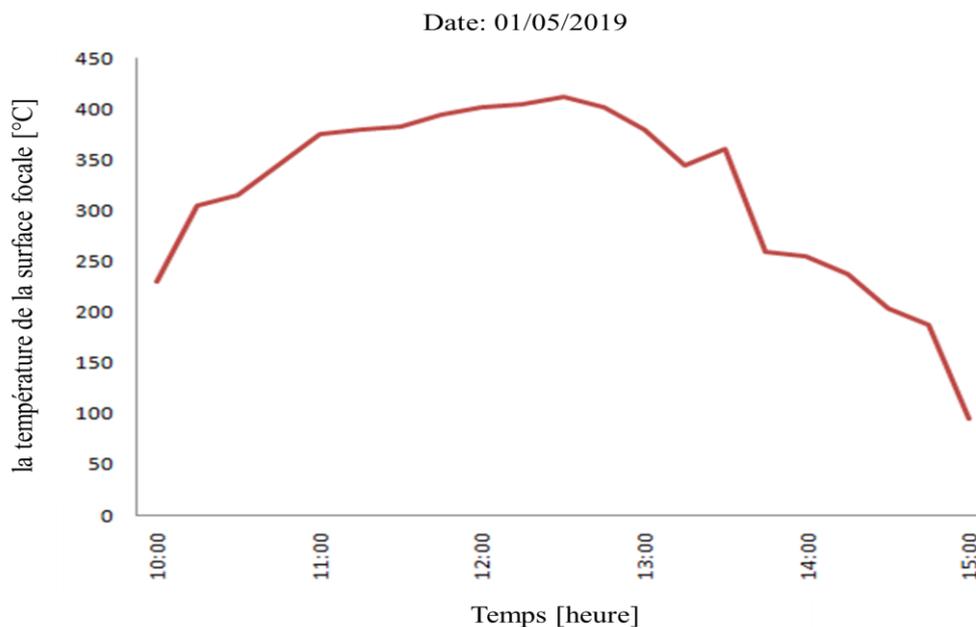
Figure 4.21. Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 28/04/2019.



**Figure 4.22.** Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 29/04/2019.



**Figure 4.23.** Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 30/04/2019.



**Figure 4.24.** Evolution de la température de la surface focale le long de la journée du 01/05/2019.

Les figures (4.19), (4.20), (4.21), (4.22), (4.23) et (4.24) représentent la variation de la température de la surface focale en fonction du temps pour les journées des tests. Au début du chauffage, après cinq minutes de chauffage, cette température croît en fonction du rayonnement solaire concentré à la surface focale de l'absorbeur. Elle continue à augmenter où sa valeur maximal de la température est atteinte entre 12h00 et 13h00 heures, quand le rayonnement solaire est à son maximum.

Des variations remarquées brusques de la température de la surface focale due aux nuages et le vent. Nous remarquons que la température du récepteur peut atteindre des températures de l'ordre de 332, 370, 450, 401, 355, 412 °C respectivement, les journées du 25 au 30/04/2019 et 01/05/2019.

Il convient de noter que le polystyrène a commencé à s'évaporer à des températures supérieures à 300 °C. Le verre à des températures supérieures à 400 °C a commencé à s'effondrer, après il a été observé que la silicone résiste à de très hautes températures pendant de longues périodes.

À notre arrivée pour le quatrième jour, la couche de silicone s'est presque complètement évaporée, ce qui a entraîné une augmentation plus importante des variations de température, c'est-à-dire une augmentation des pertes de chaleur dû au vent (perte par convection) d'où l'incapacité d'atteindre une température supérieure à celle du troisième jour 450°C.

---

# Conclusion et Perspectives

---

### Conclusion et Perspectives

On a entamé une étude expérimentale sur un concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel réalisé au niveau du hall technologique du département de Génie Mécanique. Ce qui nous a permis de connaître la température que nous pouvons atteindre au récepteur.

Pour réaliser notre concentrateur cylindro-parabolique, nous avons utilisé une structure métallique semi-hexagonale qui ressemble beaucoup à la forme cylindro-parabolique afin de rester à l'écart de ce modèle en raison de la difficulté et du coût de production. La surface recouverte de centaines de petits miroirs.

Nous avons pu constater que la température du foyer du concentrateur cylindro-parabolique dépend de plusieurs facteurs dans les plus importants sont la variation de l'éclairement solaire, la géométrie du réflecteur, la nature et les dimensions de l'absorbeur et les qualités optiques de sa surface ainsi qu'aux conditions climatiques (vitesse du vent, température ambiante).

L'utilisation de matériaux ordinaires comme les miroirs en verre disponible sur le marché local ont donné des températures élevées de l'ordre de 450 °C pour une surface de réflexion égale à 24.16 m<sup>2</sup> ce qui traduit l'atteinte de l'objectif fixé.

Nous projetons d'étendre ce travail par des travaux complémentaires qui valorisent les températures élevées (de l'ordre de 450 °C) atteintes par le concentrateur cylindro-parabolique à base de miroir de Fresnel réalisé. Parmi ces perspectives nous citons :

- Proposer et Optimiser la forme et les matériaux utilisés dans la construction du foyer pour réduire les pertes de chaleur et augmenter la concentration.
- Modification des dimensions du tube d'absorption et la distance entre le tube et les miroirs.
- Achever la mise au point du système de poursuit qui s'avère d'une grande influence sur l'efficacité du concentrateur solaire.

## Références Bibliographiques

- [1] Abid, S. H., & Zorgani, Y. A. (2017). Concentrateur cylindro-parabolique avec un suiveur sans capteur de position.
- [2] Gama, A., Haddadi, M., & Malek, A. (2008). Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro parabolique avec poursuite solaire aveugle. *Revue des énergies renouvelables*, 11(3), 437-451.
- [3] Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., & Nousia, T. H. (2000). Solar collectors with colored absorbers. *Solar energy*, 68(4), 343-356.
- [4] Marif, Y. (2015). Caractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla.
- [5] Winston, R. (1974). Principles of solar concentrators of a novel design. *Solar Energy*, 16(2), 89-95.
- [6] Sylvain, Q. (2007). Les centrales solaires a concentration. *Faculté des sciences appliquées, Université de Liège*.
- [7] Skouri, S. (2016). Contribution à l'Étude des Concentrateurs Solaires.
- [8] Malykoff, A. M., & Aparissi, R. R. (1980). Commande automatique du système d'orientation des héliostats d'une centrale solaire à tour. *Revue de Physique Appliquée*, 15(3), 377-382.
- [9] Benidir A. (2013). Calcul énergétique de l'installation hybride thermique pour la production d'électricité.
- [10] Adel, L. E., & Mohammed, D. D. (2017). Mise au point et analyse thermique d'un récepteur solaire linéaire équipant un concentrateur cylindro-parabolique.
- [11] Moussaoui, A., & Derbal, S. (2016). Réalisation et étude d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique. Utilisation de matériaux récupérés.
- [12] Zeghib, I. (2005). Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique.
- [13] Stine, W. B., & Geyer, M. (2001). *Power from the Sun*. Power from the sun. net.
- [14] Kurzweg, U. H., & Benson, J. P. (1982). Iso-intensity absorber configurations for parabolic concentrators. *Solar energy*, 29(3), 195-199.

- [15] Dye, D., & Wood, B. (2003). Non-Imaging Devices for Uniform Irradiance on Planar Surfaces of Parabolic Concentrators. In *PROCEEDINGS OF THE SOLAR CONFERENCE* (pp. 11-16). AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY; AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS.
- [16] Ghodbane, M., Boumeddane, B., Largot, S., & Heniat, N. (2015). Simulation numérique d'un concentrateur cylindro-parabolique en El Oued, Algérie. *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)*, 3(2), 68-74.
- [17] Bezian, J. J. (2004). L'Energie Solaire.
- [18] Hamani, N., Moummi, A., Moummi, N., Saadi, A., & Mokhtari, Z. (2007). Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra. *Revue des Energies renouvelables*, 10(2), 215-224.
- [19] Rachidiou, L., Hamroun, A., & Mebarki, Y. (2017). «*Etude et réalisation d'un concentrateur parabolique avec une poursuite automatique* (Doctoral dissertation, Université de bejaia).
- [20] Marif, Y., Moussa, H. B., Bouguettaia, H., Belhadj, M., Zerrouki, M., & Hammou, M. B. (2011). Simulation numérique d'un concentrateur cylindro-parabolique dans le site d'Adrar.
- [21] Steinfeld, A., & Palumbo, R. (2001). Solar thermochemical process technology. *Encyclopedia of physical science and technology*, 15(1), 237-56.
- [22] Jørgensen, O. C. (1982). Collector heat capacity effect on solar system performance. *Solar Energy*, 29, 175-176.
- [23] Bonnet, S., Alaphilippe, M., & Stouffs, P. (2003). Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de Moyenne Puissance: réflexions sur le Choix du Meilleur Degré de concentration. *Rev. Energ. Ren.: presented at*, 11, 73-80.
- [24] Edwards, D.K., Marlot, L. (1979). *Capteurs Solaires*, Edition S C M, Paris.

## Résumé

Le travail effectué porte sur une étude expérimentale de conversion d'énergie solaire en énergie thermique en utilisant un concentrateur solaire cylindro-parabolique, CCP, orienté à l'aide d'un système de poursuite du soleil. L'expérience a été effectuée sur un CCP. Le foyer est 6 m de longueur et un appareil de mesure de la température, situé au plan focal de Le foyer afin de mesurer la température. Le CCP développé fait intervenir un certain nombre de paramètres tel que le rayonnement solaire moyen mensuel qui nous permet d'estimer le rayonnement direct au niveau du réflecteur, la concentration géométrique et l'échange de chaleur entre l'ouverture de la cylindro-parabolique et l'ouverture du foyer, permettant l'évaluation la température au niveau de cette dernière. Ce modèle de concentration conduit à des niveaux de températures compris entre 350°C et 450°C.

**Mots clés :** Rayonnement solaire, Transfert de chaleur, Concentrateur cylindro-parabolique (CCP), Le foyer, Réflecteur, Plan focal.

## Abstract

This work carried out concerns an experimental study of conversion of solar energy into thermal energy using a solar cylindro-parabolic concentrator oriented by means of a sun tracking system. The experiment was performed on a cylindro-parabolic concentrator. The focus is 6 m in length and a temperature measuring device, located at the focal plane of the focus in order to measure the temperature. The developed cylindro-parabolic concentrator uses a number of parameters such as the average monthly solar radiation that allows us to estimate the direct radiation at the reflector, the geometric concentration and the heat exchange between the opening of the cylindro-parabolic trough and opening the focus, allowing the evaluation of the temperature at the end. This concentration model leads to temperature levels of between 350 ° C and 450 ° C.

**Key words:** Solar radiation, Heat transfer, Cylindro-parabolic concentrator, Focus, Reflector, Focal plane.

## ملخص

يتعلق هذا العمل بإجراء دراسة تجريبية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية باستخدام مُركز أسطواني مكافئ موجه بواسطة نظام تتبع أشعة الشمس. تم إجراء التجربة على مُركز أسطواني مكافئ. يبلغ طول البؤرة (أنبوب الامتصاص) 6 أمتار وجهاز قياس درجة الحرارة، يقع في المستوى البؤري للتركيز من أجل قياس درجة الحرارة. يستخدم المركز الاسطواني المكافئ عددًا من المعالم مثل متوسط الإشعاع الشمسي الشهري الذي يسمح لنا بتقدير الإشعاع المباشر عند العاكس والتركيز الهندسي والتبادل الحراري بين فتحة الاسطواني المكافئ وفتحة التركيز، مما يسمح بتقييم درجة الحرارة في النهاية. نموذج التركيز هذا يؤدي إلى مستويات حرارة تتراوح بين 350 درجة مئوية و 450 درجة مئوية.

**الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسي ، نقل الحرارة ، مُركز أسطواني مكافئ ، التركيز ، العاكس ، المستوى البؤري.