

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة سعد دحلب البليدة  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



كلية التكنولوجيا - دائرة الميكانيك  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN MECANIQUE ENERGETIQUE

OPTION : INGINIEURIE THERMIQUE ET SOLAIRE.

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN STERILISATEUR  
SOLAIRE DE TYPE AUTOCLAVE**

PROPOSE ET ENCADRE PAR:

*Mr. SAID Noureddine*

ETUDIE PAR :

*ABADOU Aziz  
BENBAZIZ Redouane*

Promo : 2014 / 2015

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- *Ma très chère mère, et mon très cher père, à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.*
- *Mes frères et ma sœur, ma tante et son mari, mes cousins et toute ma famille.*
- *A mes amis et toute personne qui m'a aidée de loin ou de près.*

*BENBAZIZ Redouane*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- *Ma très chère mère, et mon très cher père, à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.*
- *Mes frères et toute ma famille.*
- *A mes amis et toute personne qui m'a aidée de loin ou de près.*

*ABADOU Aziz.*

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous remercions profondément notre promoteur Mr SAID NOUREDDINE, pour avoir proposé un sujet de recherche passionnant, pour son aide, ses encouragements, ses remarques, ses conseils, et ses critiques pertinentes et constructives. Qu'il trouve ici l'expression de nos profondes gratitude.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à maintenant.

Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

**SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA STERILISATION.....</b>	<b>3</b>
I.1- Introduction .....	3
I.2.-Définition .....	3
I.3- Conditions de contrôle de revue et de conservation record.....	3
I.3.1-Bases principales de procédé de stérilisation .....	4
I.3.2-Méthodes et paramètres de stérilisation .....	4
I.3.2.1- Oxyde d'éthylène .....	5
I.3.2.1.1-Paramètres d'oxyde d'éthylène .....	5
I.3.2.2- Plasma de gaz de peroxyde d'hydrogène .....	6
I.3.2.2.1- Paramètres de plasma de gaz de peroxyde d'hydrogène .....	7
I.3.2.3 - Stérilisation chimique liquide .....	7
I.3.2.3.1 - Paramètres de stérilisation chimiques liquides .....	8
I.3.2.4 - La chaleur sèche .....	8
I.3.2.4.1- Paramètres de la chaleur secs .....	9
I.3.2.5- L'ozone .....	9
I.3.2.5.1- Paramètres de l'ozone.....	9
I.3.2.6 - Vapeur d'eau (autoclave) .....	10
I.3.2.6.1 - Qualité de la vapeur d'eau .....	10
I.3.2.6.2 - Thermodynamique de la vapeur .....	12
I.3.2.6.3 - Un cycle de stérilisation.....	13
I.3.2.6.4 - Phase de préchauffage d'un stérilisateur .....	11
I.4 - Etat de l'art .....	17
I.4.1 - Les différents stérilisateurs solaires réalisés .....	17
I.5- Conclusion .....	20

<b>CHAPITRE II : LE GISEMENT SOLAIRE .....</b>	<b>21</b>
II .1 - Introduction .....	21
II .2 - Energie solaire.....	21
II .3 - Le rayonnement solaire .....	22
II .4 - Le mouvement Terre-Soleil .....	22
II .5 - La sphère céleste .....	23
II .6- Les coordonnées célestes .....	24
II .6-1 Les coordonnées géographiques .....	24
II .6-2 Les coordonnées horaires .....	25
II .6.2.1- La déclinaison solaire.....	25
II .6.2.2- Angle horaire ( $\omega$ ).....	25
II .6.3- Les coordonnées horizontales .....	26
II .6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (h).....	26
II .6.3.2- Azimut.....	26
II .7- Angle horaire de coucher du soleil.....	26
II .8 - Le rayonnement solaire .....	27
II .8.1- Types de rayonnements.....	27
II .8.1.1- Rayonnement direct.....	27
II .8.1.2 - Rayonnement diffus .....	27
II .8.1.3- Rayonnement global.....	27
II .8.2- Rayonnement extraterrestre.....	27

II .8.2.1- Coefficient de clarté .....	28
II .9- Temps solaire moyen et temps universel .....	28
II .9.1-Temps solaire vrai et angle horaire du soleil .....	28
II .9.2-Mouvement apparent du soleil .....	29
II .9.3 - Heures et temps .....	30
II .9.3.1- Durée du jour .....	30
II .10- Rayonnement en Algérie.....	31
II.11 - Conclusion.....	32
<b>CHAPITRE III : LES CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES .....</b>	<b>33</b>
III.1 - Principe.....	33
III.2 - Différents types de capteurs.....	33
III.2.1 - Concentrateurs solaires thermiques.....	33
III.2.2 - Les différentes technologies de concentration solaire.....	33
III.2.3 - Avantages et inconvénients de la concentration.....	34
III.3 - Concentrateur parabolique.....	35
III.3.1 - La géométrie parabolique.....	35
III.3.2 - Angle d'ouverture d'une parabole .....	36
III.3.3 - Taille d'une parabole.....	37
III.3.4 - Surface d'une parabole.....	38
III.3.5 - Longueur d'une parabole.....	38
III.3.6 - Système optique d'une surface parabolique .....	38
III.3.7 - Cas d'une parabole de type offset .....	39

III.3.8 - Dimension du récepteur .....	40
III.4- La concentration .....	41
III.4.1- Concentration géométrique.....	41
III.4.2- Concentration optique.....	42
III.5.1 - Température de l'ouverture du récepteur.....	42
III.5.2 - Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur.....	43
III.5.3 - Puissance correspondant aux pertes thermiques .....	43
III.5.3.1 - Pertes par convection .....	44
III.5.3.2 - Pertes par rayonnement.....	44
III.5.3.3- Pertes par conduction .....	45
III.6 - Efficacité du concentrateur.....	46
<b>Chapitre IV : la conception et la réalisation du concentrateur .....</b>	<b>47</b>
IV.1- Introduction .....	47
IV.2- Description des différentes parties du prototype.....	48
IV.2.1- Le réflecteur.....	48
IV.2.2- Description du récepteur .....	49
IV.3- Les expériences .....	50
IV.3.1- L'emplacement des thermocouples .....	51
IV.3.2- L'expérience de stérilisation .....	52
IV.3.3- Installation du concentrateur.....	52
IV.3.4- Réglage du concentrateur .....	52
IV.3.5- La disposition des thermocouples sur le système .....	53
IV.3.6- Les mesure .....	53

IV.4 - Instrument de mesure.....	55
IV.4.1- Les thermocouples .....	55
IV.4.1.2 - Techniques de mesure et raccordements .....	55
IV.4.1.3- Thermocouples les plus courants .....	55
IV.4.1.4- Raccordement des thermocouples.....	56
IV.4.1.5 - Tolérance des thermocouples les plus courants .....	57
IV.4.1.6 - Erreurs de mesure des thermocouples .....	58
IV.4.2 - Les instruments de mesure de l'éclairage .....	58
<b>CHAPITRE V : Résultats et interprétation .....</b>	<b>61</b>
V.1 - Distribution de la température au niveau du foyer .....	61
V.2 - Les expériences de stérilisation .....	63
V.2 – Les erreurs de mesure .....	74
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXE A .....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE B .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERENCES BEBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>84</b>



Liste des figures

Figure I.1 : le diagramme de Mollier (h-s) .....	12
Figure I.2 : le diagramme de Mollier (T-S) .....	13
Figure I.3 : cycle classique de la stérilisation .....	14
Figure I.4 : cycle de stérilisation sur le diagramme de Mollier.....	15
Figure II 1 Puissance solaire pour différents ciels .....	22
Figure II 2 Mouvement terre-soleil .....	23
Figure II 3 La sphère céleste .....	23
Figure II 4 Les coordonnées géographiques .....	24
Figure II 5 les coordonnées horaires .....	25
Figure II 6 Les coordonnées horizontales .....	26
Figure II.7 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L .....	30
Figure II.8 la puissance solaire en Algérie.....	31
Figure III 1:principale technologie solaire .....	34
Figure III 2 Propriétés géométriques de la parabole. ....	35
Figure III 3 Section d'une parabole possédant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture d. ....	37
Figure III 4 Système optique d'une surface parabolique .....	38
Figure III 5 parabole de type offset .....	39
Figure III 6 Les deux façons de définir une offset dans un paraboloïde (vue de profil).....	39
Figure III 7 dimensions d'un réflecteur offset. ....	39
Figure III 8 L'image ellipse .....	41

Figure III 9 Bilan énergétique .....	43
Figure IV.1: Shéma explicatif du système .....	47
Figure IV 2 un thermocouple .....	55
Figure V.1 - le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer en fonction de temps .....	62
Figure V.2 - le rayonnement solaire au niveau de site de BOUZARIA en fonction de temps	63
Figure V.3 : le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer et à la surface de la cocotte en fonction de temps .....	64
Figures V.4 - variation de différentes températures du système en fonction de temps.....	65
Figure V.5 - le cycle de stérilisation pour la journée de 03/06/2015 .....	66
Figure V.6 - variation de l'éclairement direct et les différentes températures en fonction de temps .....	67
Figure V.7 - variation de différentes températures en fonction de temps Le 07/06/2015.....	68
Figure V.8 - Cycle de stérilisation correspond à l'essai de 07/06/2015.....	69
Figure V.9 - variation de rayonnement direct et des différents températures du prototype en fonction de temps Le 15/06/2015 .....	70
Figure V. 10 - variation des différentes températures en fonction de temps Le 15/06/2015 ...	70
Figure V.11 - les cycles des stérilisations dans la journée 15/06/2015.....	72
Figure V.12 - le cycle de la première stérilisation du 15/06/2015 .....	73
Figure V.13 - le cycle de la deuxième stérilisation du 15/06/2015.....	73
Figure V.14 - le cycle de la troisième stérilisation du 15/06/2015 .....	74

---

**Liste des photos**

<b>Photo I.1 : Autoclave solaire à deux cylindres coaxiaux .....</b>	<b>17</b>
<b>Photo I.2 : Autoclave hybride dans l'exécution solaire. Configuration inférieure d'élévation du soleil, réflecteurs arrière verticaux, réflecteur avant horizontal. Élément articulé vers le soleil .....</b>	<b>18</b>
<b>Photo I.3 : photo d'un autoclave solaire .....</b>	<b>19</b>
<b>Photo I.4 : Photo de dispositif SolarClave en fonctionnement .....</b>	<b>20</b>
<b>Photo IV 1 : les étapes de réalisation du réflecteur .....</b>	<b>48</b>
<b>Photo IV 2 : Photo de support de parabole .....</b>	<b>49</b>
<b>Photo IV 3 : la cocotte-minute recouverte par la mousse polyuréthane .....</b>	<b>49</b>
<b>Photo IV 4 : Vue générale du prototype du concentrateur parabolique .....</b>	<b>50</b>
<b>Photo IV 5 : schéma explicatif de disposition des thermocouples .....</b>	<b>50</b>
<b>Photo IV 6 : L'emplacement des thermocouples .....</b>	<b>51</b>
<b>Photo IV 7 : installation de parabole et diriger vers le soleil .....</b>	<b>52</b>
<b>Photo IV 8 : La tache focale sur le récepteur .....</b>	<b>52</b>
<b>Photo IV 9 : l'emplacement des thermocouples dans la zone focal.....</b>	<b>53</b>
<b>Photo IV 10 : Appareille de mesure de température ambiante et de la vitesse de vent ..</b>	<b>54</b>
<b>Photo IV 11 : Les deux pyranomètres sont fixé sur un support attaché à l'axe de la parabole .....</b>	<b>54</b>
<b>Photo V.1- la tache focale de réflecteur parabolique offset.....</b>	<b>61</b>
<b>Photo V.2- les conditions de stérilisation.....</b>	<b>74</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau I.1 : la température des différents cycles de stérilisation et leur temps minimum correspond .....11**

**Tableau IV.1- Spécification du réflecteur .....47**

**Tableau IV.2- Spécification du récepteur .....48**

**Tableau IV.3 - Tableau synthétique des thermocouples .....56**

**Tableau IV.4 - Tolérance des thermocouples.....57**

## NOMENCLATUR

NOTATION	UNITES
H : Hauteur angulaire du soleil	[degré]
T <sub>s</sub> : Temps solaire	[S]
H <sub>0</sub> : Rayonnement extraterrestre	[W/ m <sup>2</sup> ]
N : Nombre du jour	
G : Constante solaire	[W/m <sup>2</sup> ]
ε: facteur émissivité de l'absorbeur	
$\bar{K}_T$ : Coefficient de clarté	
$\bar{H}$ : Rayonnement moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale	[W/m <sup>2</sup> ]
$\bar{H}_0$ : Rayonnement moyen, mensuel hors de l'atmosphère	[W/m <sup>2</sup> ]
f : Distance focale	[m]
p : Rayon parabolique	[m]
ψ : Angle mesure a partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P)	[degré]
ψ <sub>p</sub> : Angle d'ouverture de la parabole	[degré]
h : Taille de parabole	[m]
A <sub>x</sub> : Surface parabole	[m <sup>2</sup> ]
S : Longueur de parabole	[m]
A <sub>a</sub> : Surface d'ouverture du paraboloïde	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>r</sub> : Surface d'ouverture du récepteur	[m <sup>2</sup> ]
r <sub>f</sub> : Diamètre de l'image circulaire	[m]
C <sub>g</sub> : Concentration géométrique.	
C <sub>o</sub> : Concentration optique.	
Q <sub>u</sub> : Puissance utile	[W]
Q <sub>a</sub> : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur	[W]
Q <sub>p</sub> : Puissance correspondant aux pertes thermiques	[W]
I <sub>a</sub> : Puissance reçue à l'ouverture de paraboloïde	[W/m <sup>2</sup> ]
Q <sub>p.cv</sub> : Pertes par convection	[W]

$Q_{p.r}$ : Pertes par rayonnement	[W]
$Q_{p.cd}$ : Pertes par conduction	[W]
$T_r$ : Température de la surface du récepteur	[K]
$T_a$ : Température ambiante	[K]
$T_1$ : Température extérieure du récepteur	[K]
$h_r$ : Coefficient de transfert par rayonnement	[W/m <sup>2</sup> ]
$h_{cv}$ : Coefficient de transfert par convection	[W/m <sup>2</sup> ]
$t$ : Temps	[S]
$M_e$ : Masse de l'eau	[Kg]
$M_r$ : Masse du récepteur	[Kg]
$C_e$ : Chaleur massique de l'eau	[J/Kg. k]
$C_r$ : Chaleur massique du récepteur	[J/Kg. k]
$L_{vap}$ : Chaleur latente de vaporisation de l'eau.	[J/Kg]
$\delta$ : Déclinaison solaire	[degré]
$\lambda$ : Longitude	[degré]
$\Phi$ : Latitude	[degré]
$\omega_s$ : Angle horaire de couché du soleil	[degré]
$\omega$ : Angle horaire	[degré]
$\sigma$ : Constante de Stefan –Boltzmann	[W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> ]
$\rho$ : Coefficient de réflexion de la parabole	
$\tau$ : Coefficient de transmission du récepteur	
$\alpha$ : Coefficient d'absorption du récepteur	
$\eta_{op}$ : Rendement optique du concentrateur	
$\xi$ : Efficacité du concentrateur	

## **Introduction générale**

Le soleil, une énergie renouvelable énorme et inépuisable, rayonne sur la terre avec une puissance de  $16 \times 10^{15}$  KWh/m<sup>2</sup> par an dans toutes les longueurs d'ondes du spectre de la lumière visible. Cette énergie renouvelable est une préoccupation mondiale et d'actualité surtout si elle est exploitée dans la conversion de énergie solaire en électricité, qui est l'un des enjeux de la politique énergétique de notre siècle.

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important compte tenu des valeurs de la durée d'insolation enregistrées sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et pouvant atteindre même les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara.

Par conséquent la quantité d'énergie reçue au sol quotidiennement est de 5 KW/m<sup>2</sup> [26], soit près de 700 KhW/m<sup>2</sup> par an au nord et de 2263 KhW/m<sup>2</sup> au sud, ce qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire dans différents domaines tel que la production de l'électricité, le séchage agroalimentaire, etc. La connaissance de ce gisement solaire est d'un intérêt majeur pour concevoir et dimensionner les systèmes énergétiques solaires. Ainsi, un bon dimensionnement n'est possible que si les mesures sont disponibles d'une manière continue dans l'espace et dans le temps.

Cette énergie peut être transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans, utilisant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage, ces capteurs ne permettent pas en général de dépasser la température de 100°C [27].

Pour travailler à température élevée, il faut accroître le flux optique incident qui pourrait être réalisé par concentration de rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires. Parmi ce type de concentrateurs, il y a les concentrateurs solaires paraboliques (paraboloïde de révolution).

Ces systèmes comportent en général une surface réfléchissante sous forme parabolique destinée à concentrer l'énergie solaire sur une surface absorbante, ce qui permet d'avoir une forte augmentation de chaleur. L'avantage d'une telle méthode est

de pouvoir atteindre des températures élevées bien adaptées pour le chauffage d'eau (production d'eau stérilisée et de vapeur d'eau), pour les cuisines solaires et production d'électricité par les moteurs Stirling [28].

Dans notre travail, il s'agit de dimensionner et réaliser un stérilisateur médical formé par le couplage d'un concentrateur paraboloidal de type télécom et d'un autocuiseur placé au foyer ou près du foyer du réflecteur.

Les appareils de stérilisation doivent donc supprimer toute bactérie vivante, toute molécule de toxine mais aussi toute spore de cette espèce.

On sait que bactéries vivantes et toxines sont détruites à plus de 80°C mais que les spores résistent jusqu'à 120°C. Avec un autoclave ou une cocotte-minute, la pression est augmentée à plus de 2 bars, soit le double de la pression atmosphérique. La température dépasse les 120°C (121°C pour être précis) et un seul traitement suffit à détruire les trois formes toxiques.

Afin d'évaluer l'efficacité énergétique du système de stérilisation, il est nécessaire d'établir le bilan énergétique complet par cycle. Une campagne de tests est réalisée afin de valider le bilan et de s'assurer de la bonne fonctionnalité du dispositif proposé conformément aux règles de stérilisation médicale en vigueur.

Ce mémoire comporte cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur la stérilisation.

Dans le deuxième chapitre, on s'intéresse à l'estimation du rayonnement solaire.

Le troisième chapitre est consacré aux généralités sur les capteurs solaires thermiques.

L'étude expérimentale sur le prototype est présentée au chapitre quatre. La surface absorbante du concentrateur parabolique est soumise à un flux solaire variable.

Les résultats expérimentaux sont discutés dans le chapitre cinq.

Enfin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale.



## **Chapitre I : Généralités sur la stérilisation**

### **I.1- Introduction**

La stérilisation appropriée des appareils médicaux, des instruments chirurgicaux, des approvisionnements et du matériel utilisés dans le soin patient et la chirurgie directs est un aspect critique du système de distribution moderne de soins de santé et effectue directement la sécurité patiente.

### **I.2 - Définition**

L'association pour l'avancement de l'instrumentation médicale AAMI (The Association for the Advancement of Medical Instrumentation) définit la stérilisation comme : Un procédé a conçu pour retirer ou détruire toutes les formes viables de durée microbienne, y compris les spores bactériennes, pour réaliser un niveau acceptable d'assurance de stérilité.

La stérilité est mesurée par la probabilité exprimée comme le niveau d'assurance de stérilité (SAL). Il est courant qu'un niveau d'assurance de stérilité (SAL) de  $10^{-6}$  soit approprié pour des organes destinés pour entrer en contact avec le tissu compromis, qui a détruit l'intégrité des barrières naturelles de fuselage. Ceci comprendrait les cavités du corps stériles, les tissus et le système vasculaire. [1]

Un niveau d'assurance de stérilité (SAL) de  $10^{-6}$  signifie qu'il y a inférieur ou égal à une chance dans un million qu'un point particulier est souillé ou non stérilisé suivant un procédé de stérilisation.

### **I.3- Conditions de contrôle de revue et de conservation record**

Les appareils médicaux réutilisables, y compris les instruments chirurgicaux qui entrent dans le tissu normalement stérile ou le système vasculaire exigent la stérilisation avant chaque utilisation.

Le soin incorrect stérilisé ou souillé d'hospitalisé utilisé par matériels médicaux peut contribuer à l'infection chirurgicale de site et poser un risque grave à la sécurité et au bien-être du patient et peut avoir comme conséquence une infection ou même une mort représentant un danger pour la vie sérieuse.

La stérilisation est un procédé complexe. Il est impérieux que les membres du personnel soignant et les techniciens concernés dans le retraitement et la stérilisation des appareils médicaux aient une connaissance et une compréhension complètes des principes et des méthodes scientifiques de stérilisation utilisés dans les réglages d'aujourd'hui de soins de santé.

Les mêmes normes et principes s'appliquent et sont un élément indispensable de contrôle d'infection indépendamment d'où le soin patient est fourni, que ce soit un hôpital aigu de soin, un centre chirurgical ambulatoire, à l'extérieur un bureau patient d'installation, dentaire ou de médecin.

### **I.3.1-Bases principales de procédé de stérilisation**

L'efficacité de n'importe quel procédé de stérilisation est à condition que sur les trois bases suivantes :

1) Les conditions doivent être présentes pour détruire effectivement la matière organique. En d'autres termes, le stérilisant et le matériel de stérilisation doivent être validés et s'appropriés dans le modèle et l'exécution pour réaliser la combinaison correcte de la température et de la combinaison de stérilisant pour être mortels aux micro-organismes.

2) Des dispositifs à stériliser doivent être complètement nettoyés pour réduire la saleté afin d'assurer l'efficacité du procédé de stérilisation. Plus la saleté est élevée plus l'enjeu au procédé de stérilisation est grand.

Si la saleté est trop grande les paramètres établis de stérilisation ne peut pas être rendu adéquat le procédé de stérilisation inutile.

3) Il doit y avoir contact intime et adéquat entre le stérilisant et toutes les surfaces et crevasses du dispositif à stériliser [2].

### **I.3.2-Méthodes et paramètres de stérilisation**

La stérilisation comporte le recours à une marche à suivre physique ou chimique de détruire toute la durée microbienne, y compris les spores bactériens de haute résistance. Les agents de stérilisation principaux utilisés généralement dans des dispensaires aujourd'hui sont :

- gaz d'oxyde d'éthylène,
- plasma de gaz de peroxyde d'hydrogène,
- produits chimiques de liquide,
- La chaleur sèche,
- L'ozone,
- vapeur saturée.

### **I.3.2.1- Oxyde d'éthylène**

L'oxyde d'éthylène (OE) est une méthode de stérilisation de basse température qui a été employée pendant beaucoup d'années. Le procédé de basse température le rend approprié à la stérilisation des matériels médicaux sensibles de la chaleur et d'humidité qui ne peuvent pas tolérer les températures et l'humidité liées à la stérilisation de vapeur. L'oxyde d'éthylène est un gaz sans couleur, qui détruit des micro-organismes par une alkylation appelée de processus.

L'oxyde d'éthylène pénètre la membrane de cellules et la réagit avec le rendu de matériau nucléaire impossible de se métaboliser et se reproduire.

L'oxyde d'éthylène a désavantageux comprenant un cycle relativement long de stérilisation et le besoin d'aération pour un nombre d'heures spécifique. L'oxyde d'éthylène est toxique et les matériaux poreux exposés à l'ordre technique absorberont le gaz toxique exigeant l'aération suivant le procédé de stérilisation pour permettre au résidu de s'échapper des appareils médicaux avant qu'ils soient traités et employés.

L'oxyde d'éthylène est extrêmement inflammable sous sa forme pure et exige que des précautions particulières soient rentrées sa mémoire et utilisation. En outre, (L'oxyde d'éthylène) est également un carcinogène connu.

#### **I.3.2.1.1-Paramètres d'oxyde d'éthylène**

Il y a quatre conditions :

- Conditions primaires de stériliser effectivement avec (OE),
- humidité de la concentration en gaz,
- la température,
- le temps.

Un changement de n'importe quelles de ces conditions exigera un réglage d'autres conditions. Par exemple si la température est diminuée la durée d'exposition doit être étendue.

En raison des vastes différences dans la configuration, la densité, le modèle et la perméabilité des produits par habitude stérilisés dans l'hôpital plaçant des paramètres normaux de cycle ont été établis pour faciliter le plus provocant des circonstances. Les stérilisateur (OE) sont conçus et programmés pour fonctionner aux niveaux requis de concentration et d'humidité pour les paramètres courants établis de cycles d'hôpital.

- Hygrométrie 50 - 75% (des organes devraient être complètement séchés avant d'empaqueter et être mis dans le stérilisateur)
- Température ambiante de 29-63°C selon le cycle choisi, la taille de chambre, et les mélanges de gaz (instructions de constructeurs doit être suivi)
- La durée d'exposition est habituellement de 2 heures ou plus long selon la capacité de charge, la densité et la porosité
- Temps et températures d'aération ; 8 heures à 60°C et 12 heures à 50°C. [3]

### **I.3.2.2- Plasma de gaz de peroxyde d'hydrogène**

Le plasma de gaz est une alternative de stérilisation de basse température qui a été disponible pendant plusieurs années et convient à beaucoup de sensibles à la chaleur et à l'humidité sensibles ou aux appareils médicaux de gamme de produits d'humidité. À la différence de la stérilisation (OE), la stérilisation de plasma de gaz est exempte des soucis professionnels, environnementaux et patients de sécurité. Le plasma de gaz est également moins cher et les temps de cycle totaux sont de manière significative moins que (OE). Les dispositifs médicaux sont prêts à l'emploi après la stérilisation, sans la nécessité pour l'aération. Cette méthode disperse une solution de peroxyde d'hydrogène dans un puits à dépression, produisant un nuage de plasma, les espèces réactives sont produites du peroxyde d'hydrogène qui est réactives avec des micro-organismes. Le plasma de gaz stérilise en oxydant les éléments cellulaires principaux des micro-organismes, qui les inactivent et détruit. Il y a quelques restrictions aux dispositifs de lumen validés pour la stérilisation par cette méthode basée sur la jauge et la longueur du dispositif. Le plasma de gaz n'est pas compatible

avec les amortisseurs hautement poreux, tels que la cellulose, et les produits de papier et ne peut pas être utilisé pour traiter des liquides.

### **I.3.2.2.1- Paramètres de plasma de gaz de peroxyde d'hydrogène**

- La plage de températures varie mais est mise à jour entre 40-55°C
- Le temps de cycle total s'échelonne entre 28 - 75 min selon le modèle et la taille de stérilisateur. [4]

### **I.3.2.3 - Stérilisation chimique liquide**

La stérilisation chimique liquide est utilisée pour la stérilisation des dispositifs sensibles à la chaleur qui peuvent être submergés.

Cette méthode utilise une solution germicide et exige de la submersion complète des organes dans la solution pendant un laps de temps prescrit de détruire des micro-organismes.

L'acide peracétique est un stérilisant chimique liquide utilisé conjointement avec un processeur automatisé indépendant conçu pour cette méthode de stérilisation. Il est utilisé généralement pour les endoscopes et les composants flexibles. Des dispositifs qui sont stérilisés par cette méthode sont destinés et utiliser pour « juste à temps » n'ont aucune durée de conservation.

Le glutaraldéhyde est également un stérilisant chimique liquide une fois utilisé selon les sens du constructeur pour la stérilisation ; cependant, il est habituellement employé comme désinfectant à niveau élevé.

Il y a plusieurs désavantages d'employer le glutaraldéhyde comme stérilisant.

Ceux-ci comprennent les vapeurs toxiques, la longue durée d'exposition, le potentiel pour la contamination des dispositifs stériles pendant le rinçage et le transfert au domaine de l'utilisation, et aucune méthode ne contrôlent biologiquement le procédé de stérilisation.

Un milieu de travail bien ventilé est exigé et les équipements de protection individuelle tels que des gants, des lunettes, des masques, des tabliers et des robes sont nécessaires pour protéger le personnel exécutant le procédé.

Les stérilisants chimiques peuvent poser un risque aux membres du personnel soignant et aux patients, s'ils contactent le tissu, la peau, la muqueuse ou les yeux. [4]

### **I.3.2.3.1 - Paramètres de stérilisation chimiques liquides**

- Des organes doivent être totalement immergés dans le chimique, permettant au contact direct sur toutes les surfaces pendant un laps de temps prescrit de réaliser la stérilisation.
- L'acide peracétique vient dans un conteneur à usage unique et scellé à une concentration précise.
- L'acide peracétique a besoin de 12 minutes d'exposition et la plage de températures est entre 50°C à 55°C.
- Le glutaraldéhyde est activé une fois qu'un conteneur est ouvert, en ajoutant le produit chimique de commande pré mesuré, qui vient avec chaque bouteille.
- Le glutaraldéhyde a besoin de 10 heures d'exposition [4].

### **I.3.2.4 - La chaleur sèche**

La stérilisation par la chaleur sèche devrait être employée pour stériliser les organes (sans eau) anhydres qui peuvent supporter des températures élevées. Des stérilisateur secs de la chaleur ne sont pas couramment trouvés dans des dispensaires aujourd'hui. Si utilisé, il est généralement de stériliser la poudre de talc pour des opérations.

La stérilisation par la chaleur sèche peut être employée pour stériliser les instruments pointus, tels que les instruments dentaires, les bavures, et les pointeaux réutilisables qui seraient endommagés par l'humidité de la vapeur.

La stérilisation par la chaleur sèche est accomplie par la conduction où la chaleur est transférée à partir de la molécule à la molécule ou à partir de la surface extérieure d'un organe à ses pièces internes.

La destruction des organismes se produit par l'oxydation, qui est un brûlant lent vers le haut du procédé de coaguler la protéine des cellules. C'est un long procédé de stérilisation dû à la durée où elle prend pour que les objets atteignent les températures

requis ; à la différence de stérilisation de vapeur il n'y a aucun présent d'humidité, qui accélère la pénétration de la chaleur. [5]

#### **I.3.2.4.1- Paramètres de la chaleur secs**

Il y a des variations grandes des périodes et des températures basées sur l'appareillage de volume, de densité, d'emballage et de stérilisation. Il est essentiel de suivre les instructions du constructeur pour les organes étant stérilisés et le stérilisateur étant utilisé.

- Les réglages s'échelonnent de l'exposition 30 mn à 180° C à l'exposition de six heures à 121°C. Ce sont les durées d'exposition seulement et ne comprennent pas le temps requis pour que toutes les pièces atteignent la température désirée. [5]

#### **I.3.2.5- L'ozone**

La stérilisation d'ozone est la méthode de stérilisation à basse température la plus neuve récemment introduite aux USA et convient à beaucoup de sensibles à la chaleur et à l'humidité sensibles ou aux appareils médicaux de gamme de produits d'humidité. L'ozone est un comburant intense et est produit dans le stérilisateur utilisant l'oxygène, l'eau et l'électricité de pente médicale.

L'ozone est peu coûteux, non-toxique et favorable à l'environnement.

La stérilisation de l'ozone est compatible avec des instruments d'acier inoxydable, toutefois il y a quelques restrictions de lumen. Actuellement, la stérilisation de l'ozone n'est pas effacée pour traiter les endoscopes, les ampoules en verre ou de plastique, les liquides ou les implants flexibles.

L'information concernant la compatibilité de dispositif devrait être obtenue à partir du constructeur du dispositif et du constructeur de stérilisateur.

Le matériau d'emballage qui peut être employé pour la stérilisation de l'ozone comprend les conteneurs en aluminium anodisés utilisant des filtres remplaçables de non cellulosique, les poches de polyéthylène et l'enveloppe non-tissés non-enduites.

#### **I.3.2.5.1- Paramètres de l'ozone**

Le temps de cycle est approximativement 4.5 heures, à une température de 29 °C – 34°C.

### **I.3.2.6 - Vapeur d'eau (autoclave)**

La vapeur saturée sous pression est la plus vieille méthode et la plus employée couramment, la plus économique, pertinente et fiable de stérilisation disponible aux dispensaires. Le stérilisateur de vapeur se compose d'une chambre pressurisée, augmentant la pression et la température dans la chambre.

La chambre de stérilisateur et tout le contenu doivent être exempts de n'importe quelle occlusion d'air pour assurer le contact direct de la vapeur de la chambre pendant la phase de révision dans le cycle de stérilisation. La vapeur est l'eau vaporisée et sert de conduit pour imprégner rapidement l'emballage fournissant la chaleur moite de température élevée à tout le contenu et détruisant des micro-organismes. La vapeur détruit des micro-organismes en coagulant et en dénaturant la protéine de cellules. En raison des températures et de l'humidité mêmes liées à la stérilisation de vapeur elle peut seulement être employée avec les appareils médicaux stables de la chaleur et d'humidité, les instruments et les matériaux compatibles [6].

#### **I.3.2.6.1 - Qualité de la vapeur d'eau**

La stérilisation signifie la destruction totale de tous les micro-organismes présents dans la charge à stériliser tels que les spores, les bactéries, les virus, ... Les micro-organismes les plus difficiles à combattre sont les bactéries sous forme de spores (cellule bactérienne au repos). La destruction complète des spores demande qu'ils deviennent humides et chauds (au-dessus de 115°C).

On peut obtenir une stérilisation très efficace et bon marché en utilisant la chaleur humide de la **vapeur saturée sèche**. C'est la nature de la charge (caoutchouc, linge, plastique, instruments métalliques, ...) qui détermine les valeurs :

- de la température,
- de la pression,
- du temps de contact entre la vapeur et la charge à stériliser.



Le temps de stérilisation dépend de la température maintenue pendant la phase :

**Tableau I.1 : la température des différents cycles de stérilisation et leur temps minimum correspond [7].**

Température [°C]	temps [min]
<b>Temps théoriques</b>	
121	15
126	10
134	3
<b>Temps minimums dans la pratique</b>	
121	20
126	15
134	10

Pendant cette phase, les paramètres de la vapeur doivent rester rigoureusement constants. Il y a donc lieu de contrôler la température et la pression en permanence selon la table de Regnault qui garantit le maintien de la qualité de la vapeur dans son état de vapeur saturée sèche pour autant qu'il n'y ait pas d'air dans la charge:

- 1 bar correspond à 120.42°C,
- 2 bars correspondent à 133.69°C.

Enfin, on notera que sans une qualité d'eau exceptionnelle, il n'est pas garanti d'obtenir une vapeur idéale pour la stérilisation [6].

### I.3.2.6.2 - Thermodynamique de la vapeur

L'utilisation de la vapeur saturée comme agent stérilisant reste la principale référence dans le monde hospitalier.

Pour bien comprendre les enjeux de la stérilisation à la vapeur d'eau, il est nécessaire de rappeler certaines notions de thermodynamique:

Les **diagrammes de Mollier (h-s) et (T-s)** de la vapeur d'eau ou la table internationale de l'eau à saturation et de la vapeur d'eau saturante sèche sont souvent utilisés pour pouvoir déterminer l'état de l'eau ou de la vapeur.

Le diagramme (h-s) permet de déterminer rapidement les quantités de chaleur dégagées ou absorbées lors d'un changement d'état ou de phase.

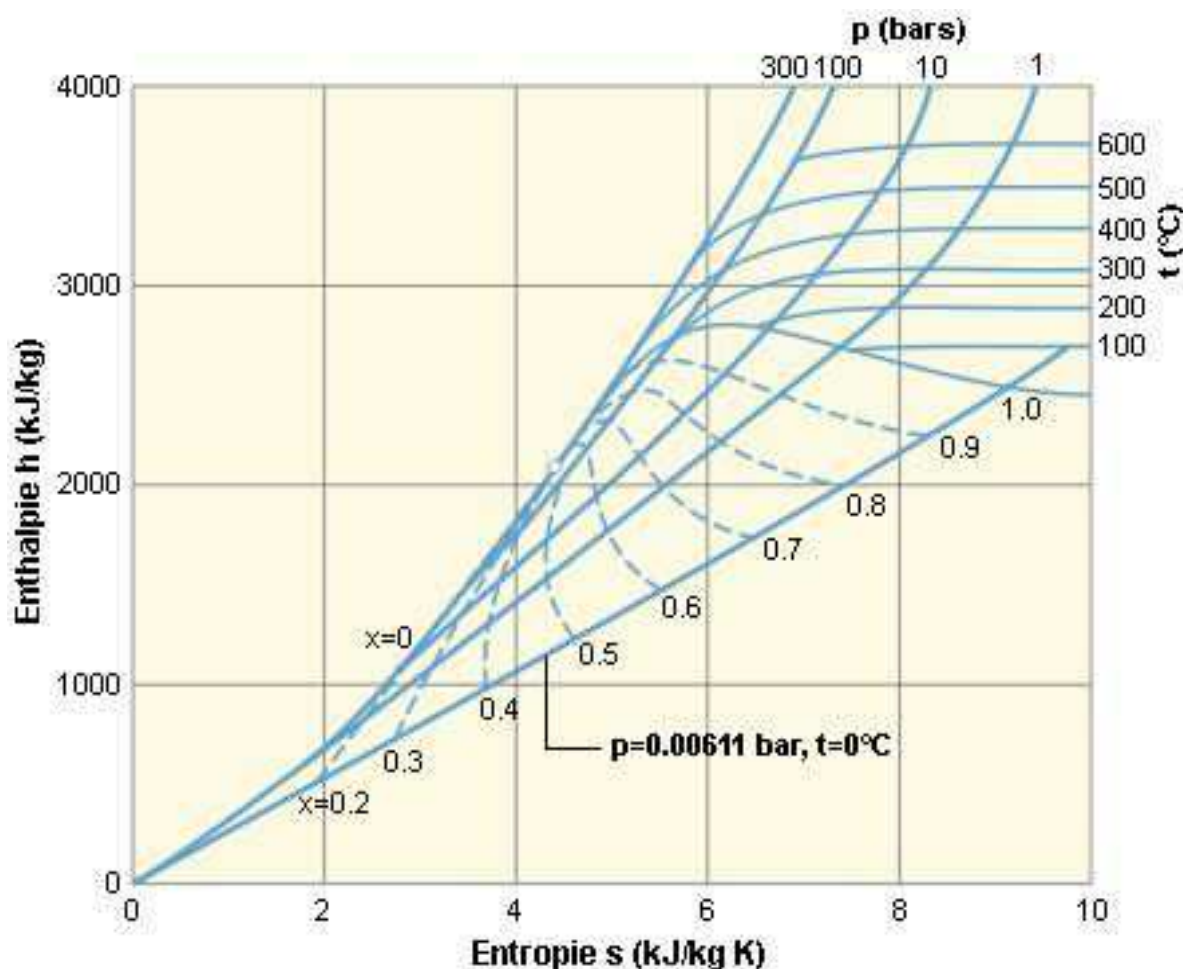


Figure I.1 : le diagramme de Mollier (h-s) [6].

Le diagramme (T-S) est très souvent utilisé car, d'une part, on visualise mieux les phénomènes de changement de phase et, d'autre part, il permet de mettre en évidence les énergies mises jeu sous forme d'une aire; par définition l'entropie  $s$  étant égale à  $\int \frac{dq}{T}$ . [6]

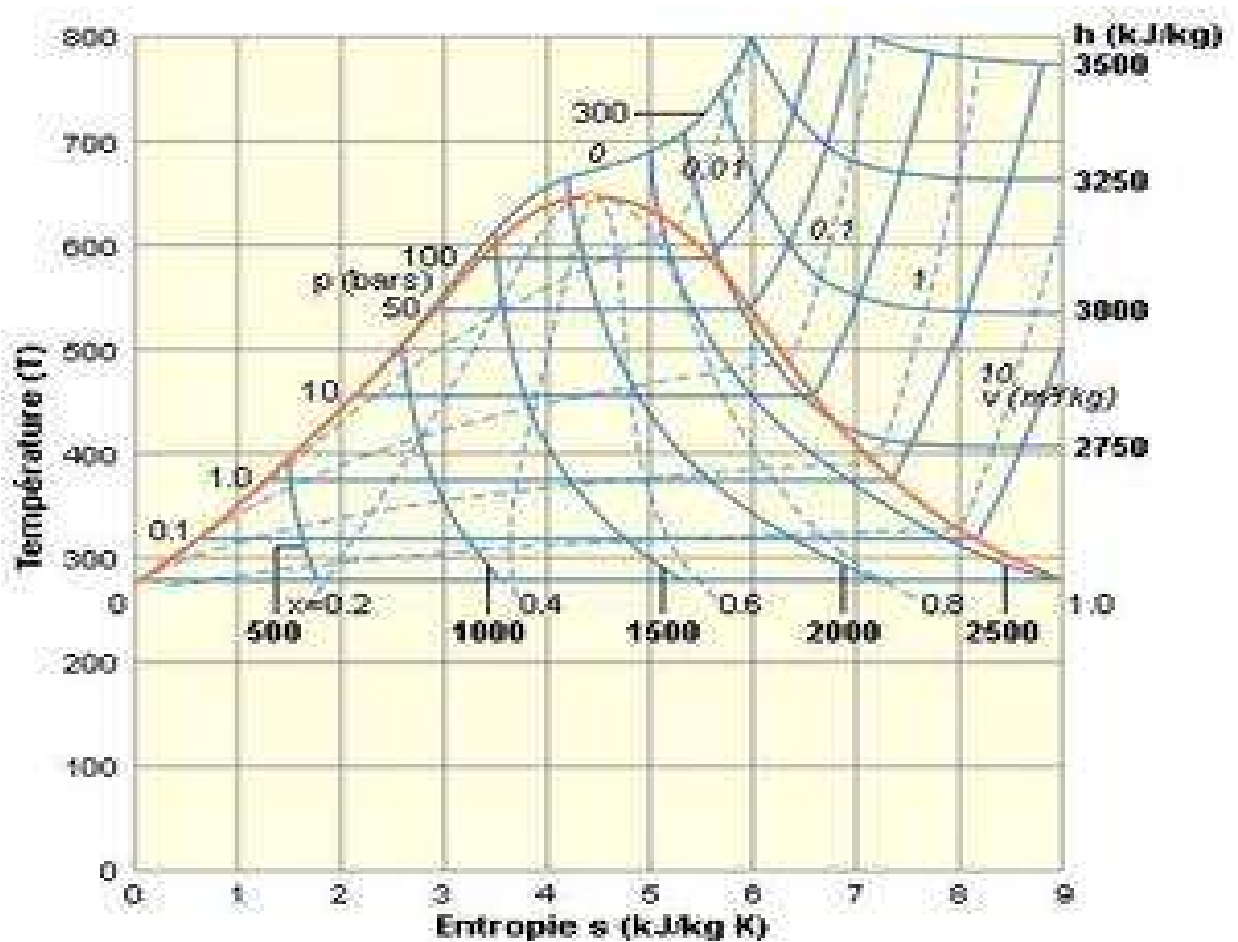


Figure I.2 : le diagramme de Mollier (T-S) [6].

### I.3.2.6.3 - Un cycle de stérilisation

Les cycles de stérilisation sont nombreux. Néanmoins, le cycle repris dans le diagramme ci-dessous est celui que l'on rencontre le plus souvent en stérilisation de matériel hospitalier. Il se décompose principalement en 3 phases distinctes :

- Le prétraitement où, par une succession de vide poussé et d'injection de vapeur, on enlève l'air de la chambre de stérilisation et on réchauffe petit à petit la charge à stériliser.
- La stérilisation proprement dite.
- Le séchage de la charge par une mise sous vide prolongée [6].

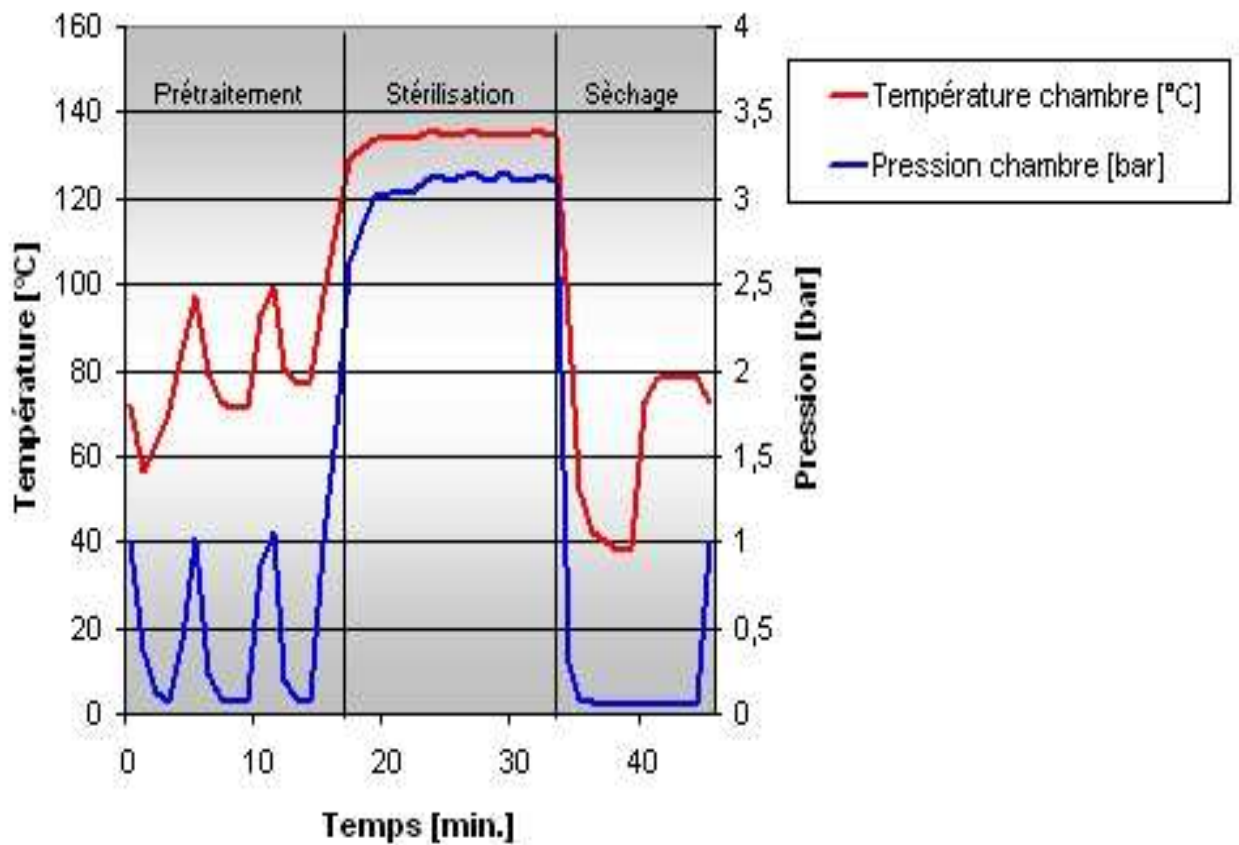


Figure I.3 : cycle classique de la stérilisation [6]

I.3.2.6.4 - Phase de préchauffage d'un stérilisateur

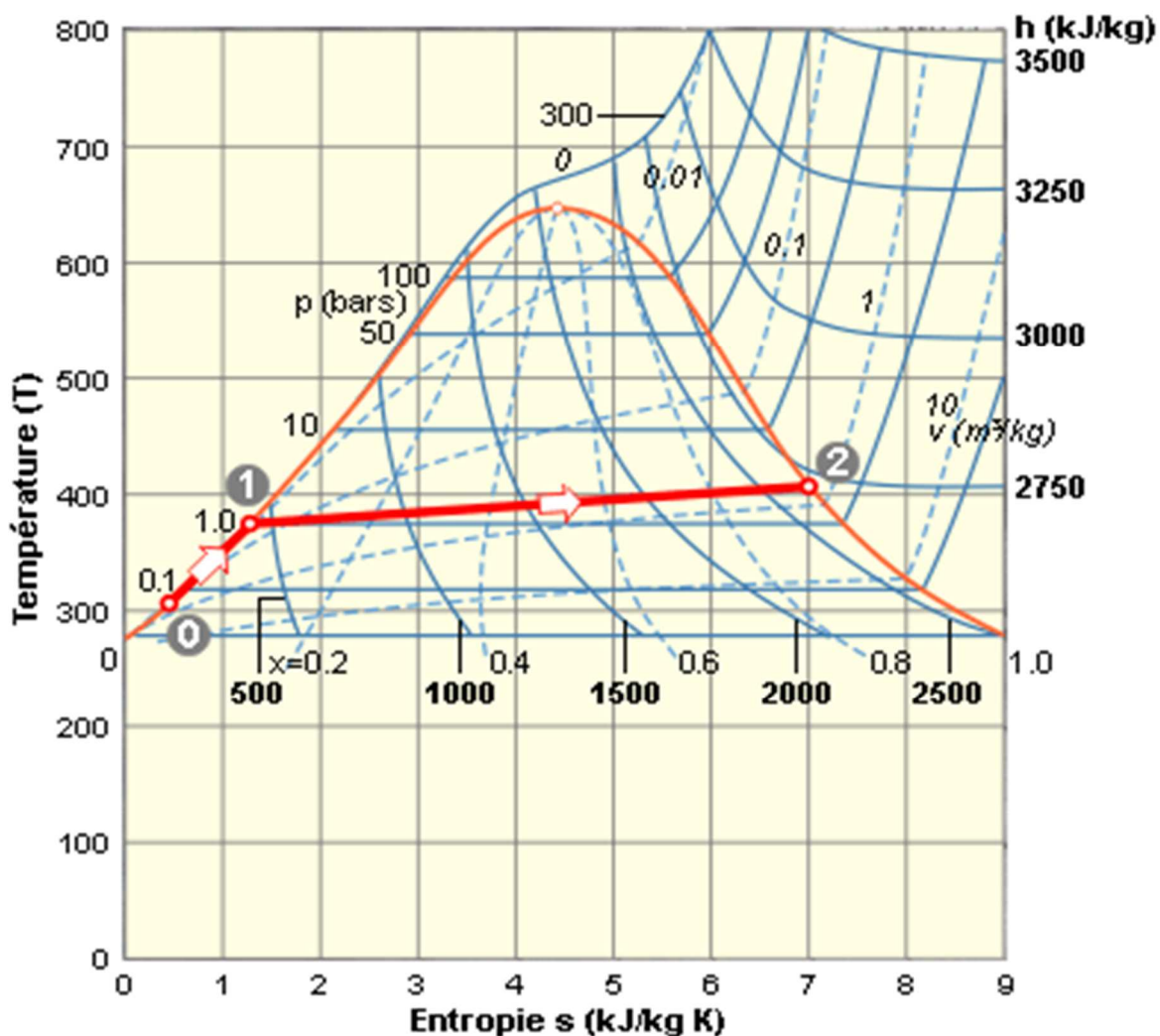


Figure I.4 : cycle de stérilisation sur le diagramme de Mollier (T-S) [6].

Dans le cas de la stérilisation, lors de la mise en route du système avant le premier cycle, l'obtention de la vapeur d'eau saturée stérilisante ( $T_{vap} = 134^{\circ}C$ ,  $P_{vap} = 3$  bars, titre  $x = 1$ ) à partir d'eau à la température de l'eau de ville (conseillé  $15^{\circ}C$ ) doit être décomposée en trois phases:

***1<sup>ère</sup> étape : l'eau froide (15°C) est portée à ébullition et arrive à saturation***

Lorsqu'on chauffe de l'eau à une pression constante de 1 bar jusqu'à l'ébullition, la chaleur fournie sert uniquement à élever la température de l'eau. A la température de 100°C, les premières bulles de vapeur apparaissent; on est en présence de la phase liquide et d'un début de phase gazeuse. A ce moment, on introduit la notion de titre  $x$  en vapeur comme étant le rapport des quantités en masse de vapeur d'eau et d'eau liquide ( $x = 0$  quand il n'y a que de l'eau et, à l'inverse,  $x = 1$  quand l'eau a complètement cédé sa place à la vapeur).

La quantité de chaleur fournie à l'eau correspond à la variation d'enthalpie déterminée soit dans les tables internationales de la vapeur d'eau ou sur le diagramme de Mollier ci-dessus.

***2<sup>ème</sup> étape : l'eau saturée passe à l'état de vapeur saturée humide***

Un apport de chaleur supplémentaire fait passer l'eau à saturation ( $x = 0$ ) à une vapeur saturée sèche ( $x = 1$ ). Théoriquement, la transformation se fait à température constante mais dans le cas d'une installation de stérilisation (l'autoclave) on peut considérer que le volume est constant dans la phase de préchauffage du système; ce qui équivaut à dire qu'au fur et à mesure que le volume du système se remplit de vapeur, la pression monte et agit sur la phase liquide en augmentant la température de vaporisation de 100 à 134°C pour une pression de 3 bar.

***3<sup>ème</sup> étape : le système s'équilibre à une température de 134°C pour une pression de 3 bars***

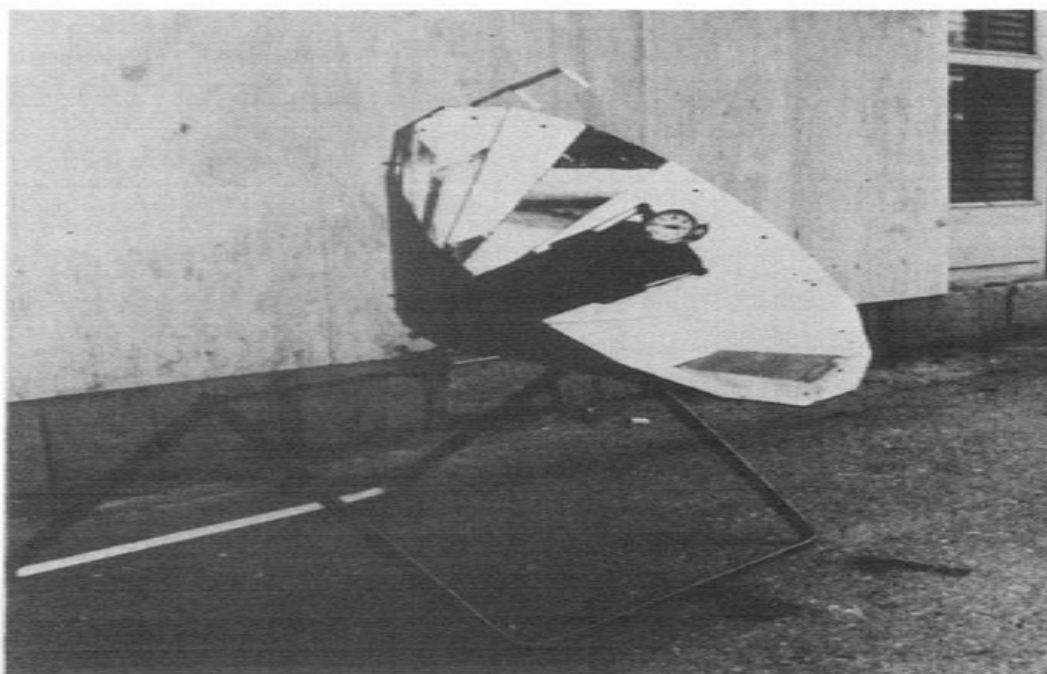
A ce stade, le faible apport de chaleur ne sert qu'à compenser les chutes conjuguées de la pression et de la température dues aux pertes de chaleur au travers des parois du système [6].

#### I.4 - Etat de l'art

##### ➤ Les différents stérilisateur solaires réalisés

❖ **MEHDI N. BAHADOR [Iran, 1975]** a réalisé un autoclave solaire portatif qui a été conçu et essayé pour la stérilisation de plus de 7,5 kg d'instruments médicaux. L'appareil consistait en deux cylindres coaxiaux, le cylindre intérieur enfermant les instruments, le cylindre extérieur recevant l'énergie solaire réfléchiée par des miroirs segmentés recouvrant la surface intérieure d'un tronc de cône. L'intervalle entre les bicylindres était rempli d'eau, et l'ensemble dirigé vers le soleil.

L'énergie solaire utile évaporait l'eau, qu'était ainsi condensée sur les instruments, fournissant un environnement chaud et humide convenable pour la destruction des virus. L'autoclave était conçu pour produire de la vapeur humide 121°C, pour un fonctionnement à 9 H du matin, en Décembre, à Shiraz, sous un vent d'une vitesse de 12 km/h. Il a produit des températures plus élevées dans des conditions plus favorables.



**Photo I.1 : Autoclave solaire à deux cylindres coaxiaux [8]**

❖ **Ms. Barbara Prosser Kerr et Mr. James Scott [USA]** ont décrit un appareil hybride intègre le propane pour le recul au cas où la lumière du soleil disponible serait insuffisante ils ont présentés les résultats de tester de l'unité de prototype comportant un grand cuiseur de panneau assimilé dans le modèle à l'International solaire « *CooKit de cuiseurs.* » L'unité comporte un brûleur de sauvegarde à propane immédiatement disponible pour n'assurer aucun passage de stérilisation doit être interrompue en raison des contraintes de temps, du chargement excessif, de la faible lumière du soleil ou des conditions atmosphériques changeantes.



**Photo I.2 : Autoclave hybride dans l'exécution solaire. Configuration inférieure d'élévation du soleil, réflecteurs arrière verticaux, réflecteur avant horizontal. Élément articulé vers le soleil [9].**

❖ **Dr. Ajay Chandak, Dhule et maharashtra [Inde, 2012]** ont fabriqué un concentrateur solaire qui a été employé pour chauffer un autoclave portatif par l'énergie solaire. Le concentrateur a un fuselage en acier, une surface concave (pour concentrer la lumière du soleil) fait de feuilles en aluminium ionisées, et une boucle en métal au centre de la surface concave.

Des milieux de culture ont été stérilisés utilisant trois cycles : 115°C pour 30 min, 121°C pour 20min, et 134°C pendant 3min.





**Photo I.3 : photo d'un autoclave solaire [10].**

❖ **AnnaYoung [Nicaragua, 2013]** explique une amélioration d'un dispositif de stérilisation solaire à concentration qui s'appelle Solarclave, il s'agit d'une casserole à pression normale, suspendue directement au-dessus du réflecteur, pour contenir les outils et les matériaux étant stérilisés. Le réflecteur est maintenant un choix de petits miroirs empochés. Le système fournit la chaleur et la pression qui répond à des normes de stérilisation fixées par les centres des États-Unis pour des Contrôles-normes de la maladie largement adoptées par des agences de santé autour du monde, indique Young. Sous un ciel clair, le système prend 45 à 60 mn pour chauffer la casserole à pression nécessaire au température  $121^{\circ}\text{C}$  puis 20 mn pour effectuer la stérilisation.



**Photo I.4 : Photo de dispositif SolarClave en fonctionnement [11].**

## **I.5 - Conclusion**

L'autoclave est l'une des méthodes de stérilisation médicale la plus couramment utilisée et la plus efficace, alors l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter un autoclave est une solution de problème de stérilisation pour les cliniques des soins aux régions rurales.

**Chapitre II : Le gisement solaire****II .1 - Introduction**

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de 1,4 kW/m<sup>2</sup> [12].

Pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année. Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

**II .2 - Energie solaire**

L'énergie solaire provient des rayons du soleil qui atteignent la Terre. Le premier point important à noter est que cette énergie est présente dès le lever du soleil. De même, bien qu'elle soit plus puissante par beau temps, elle est également présente et utilisable par temps nuageux. En effet, l'énergie solaire tire à la fois partie des rayons directs du soleil mais aussi des rayons diffus à travers l'atmosphère.

Le dernier point intéressant à noter est que chaque année, les rayons du soleil arrivant jusqu'à nous permettent de produire assez d'énergie pour combler les besoins énergétiques de tous les habitants de la Terre. En théorie, il suffit donc d'installer des matériaux qui captent cette énergie et la transforment en électricité, chauffage etc. pour arriver à une énergie propre et renouvelable.

L'énergie solaire peut être exploitée sous deux formes principales: la conversion photo-thermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité.

Nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la première voie de conversion.

### II .3 - Le rayonnement solaire

Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la Terre et son atmosphère sont **réfléchis** vers l'espace. Une partie du rayonnement qui atteint la Terre a été **diffusée** dans toutes les directions au cours de la traversée de l'atmosphère, en rencontrant des molécules d'air, des aérosols et des particules de poussière (c'est ce rayonnement diffus, appartenant notamment à la frange bleue du spectre visible qui est responsable de la couleur bleue du ciel clair). D'autre part, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10 à 15 % du rayonnement solaire. Le reste du rayonnement atteint directement la surface.

Outre composition de l'atmosphère, le facteur le plus important pour évaluer la quantité du rayonnement solaire qui atteint la surface de la Terre est l'épaisseur d'atmosphère que le rayonnement doit traverser. Le rayonnement solaire reçu sur une surface varie donc au cours du temps en fonction de la position du Soleil et de la couverture nuageuse. La puissance solaire maximale à la surface de la Terre est d'environ  $1\,000\text{ W/m}^2$  pour une surface perpendiculaire aux rayons. [13]

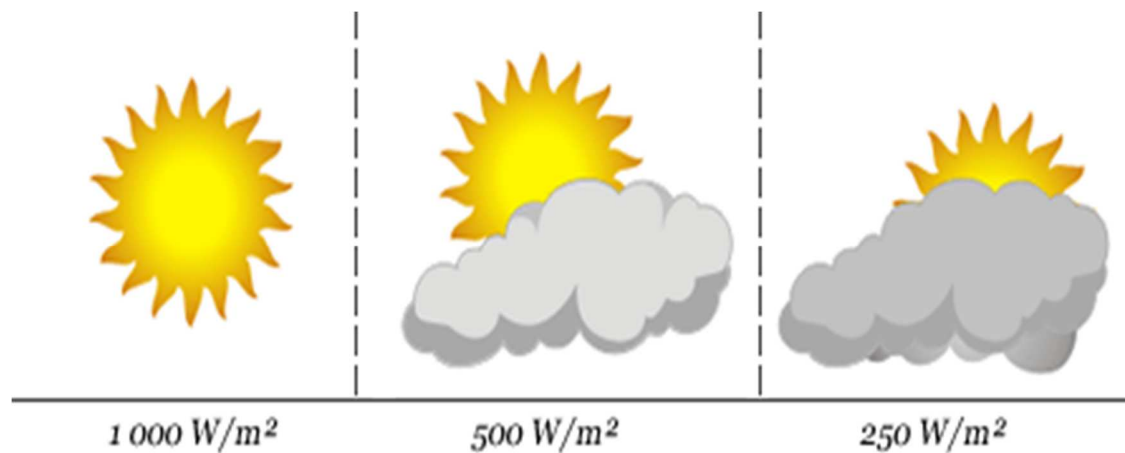


Figure II 1 Puissance solaire pour différents ciels.

### II .4 - Le mouvement Terre-Soleil

La course de la Terre autour du Soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du Soleil, la Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord - sud fait **un angle de  $23^{\circ}27'$**  avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil.

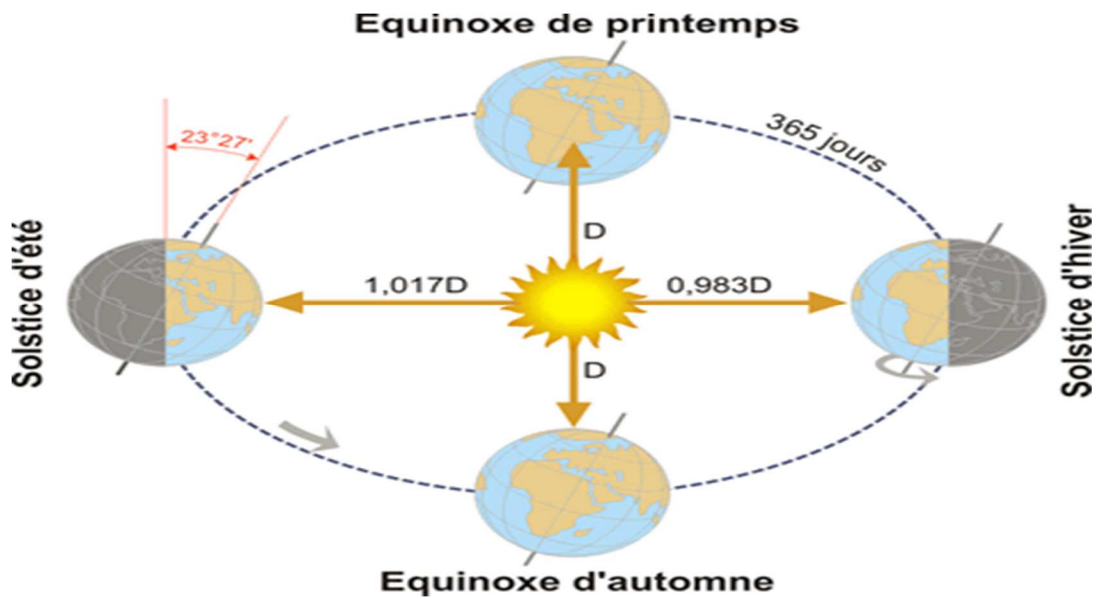


Figure II 2 Mouvement terre-soleil

### II .5 - La sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère dans la figure

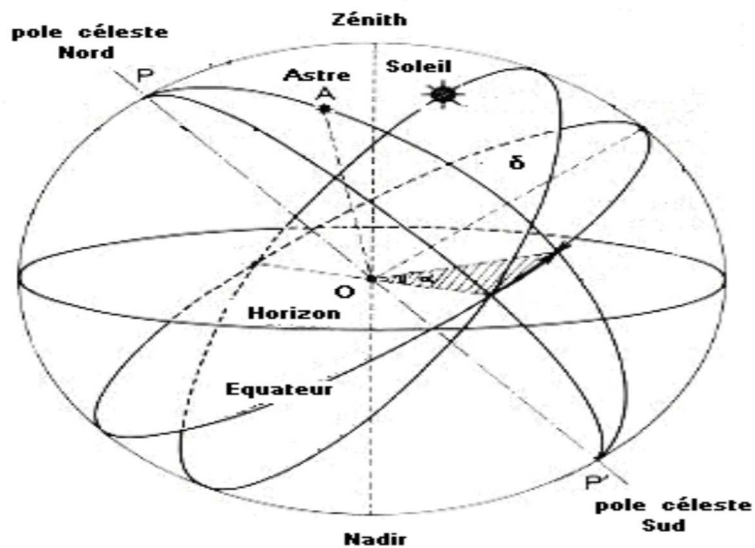


Figure II 3 La sphère céleste

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

## II .6- Les coordonnées célestes

### II .6-1 Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

#### ➤ *Longitude*

La longitude d'un lieu  $\lambda$  correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine  $0^\circ$ ) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest.

#### ➤ *Latitude*

La latitude d'un lieu  $\phi$  correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$ . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [12].

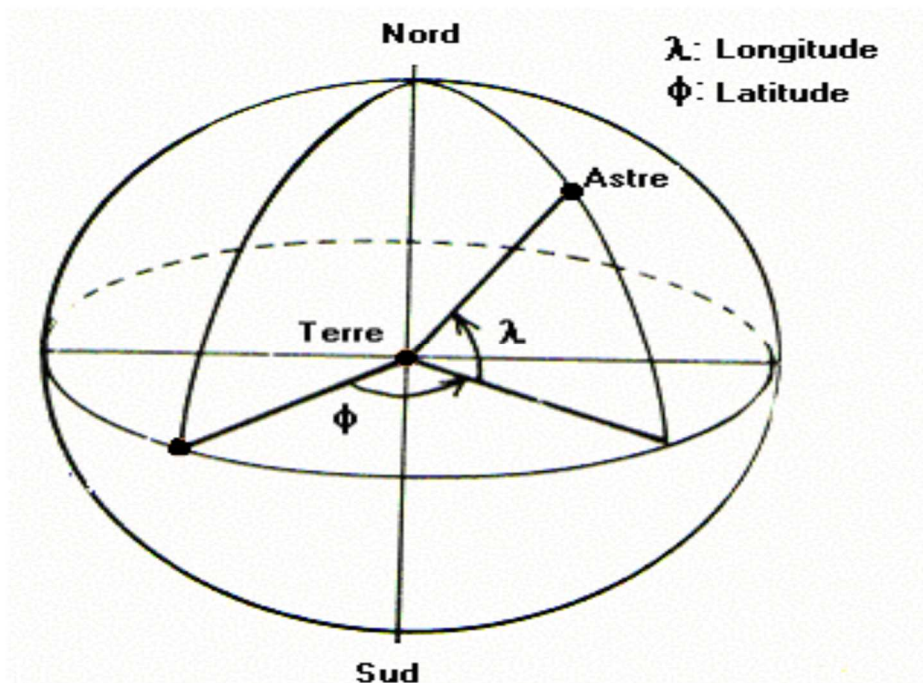


Figure II 4 Les coordonnées géographiques

## II .6-2 Les coordonnées horaires

### II .6.2.1- La déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes :(-23°27'et +23°27' environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule [12] :

$$\delta = 23.45 \sin (360 \times (284 + n) / 365) \quad (\text{II-1})$$

n : numéro du jour dans l'année

### II .6.2.2- Angle horaire ( $\omega$ )

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après midi et augmente de 15° par heure, [12].

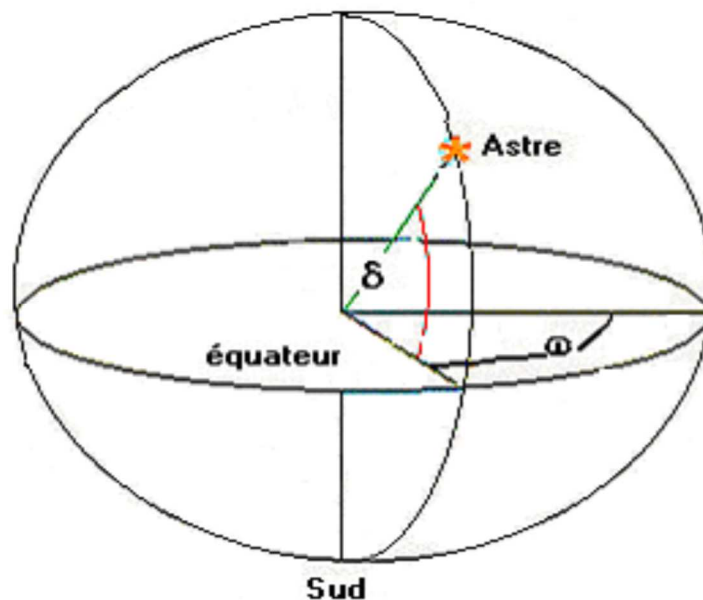


Figure II 5 les coordonnées horaires

### II .6.3- Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

#### II .6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (h)

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0 (soleil à l'horizon) à 90 (soleil au zénith).

#### II .6.3.2- Azimut

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [12].

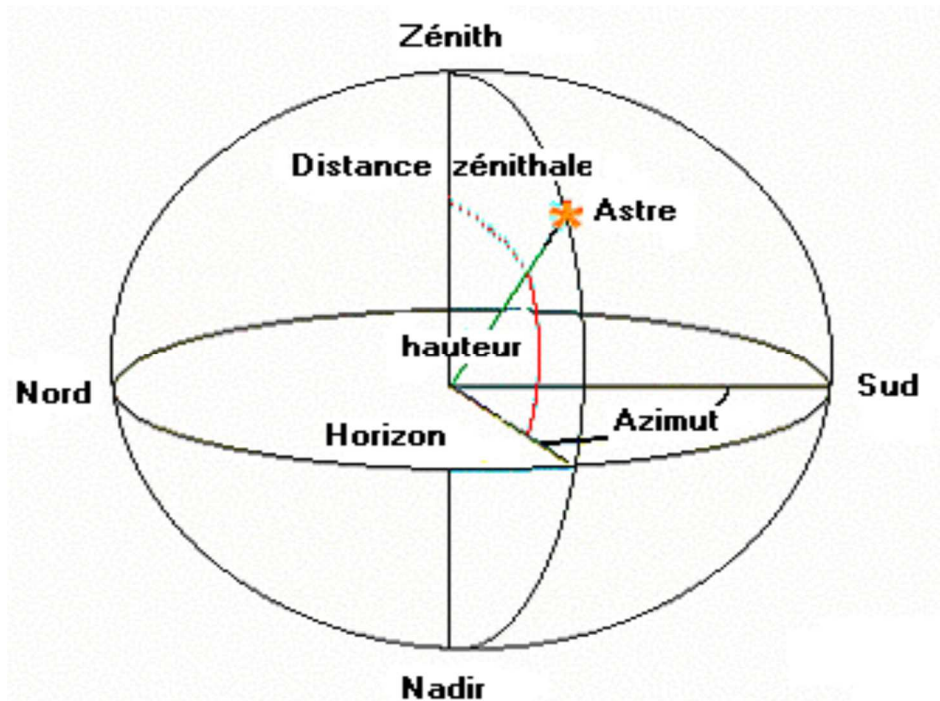


Figure II 6 Les coordonnées horizontales

### II .7- Angle horaire de coucher du soleil

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [13] :

$$\omega_s = \text{arc cos}(-\tan(\Phi) \tan(\delta)) \quad (\text{II-2})$$

$\delta$  : Déclinaison solaire

$\Phi$ : latitude



## II .8 - Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égale à 1367w/m<sup>2</sup>, appelé de ce fait constante solaire.

### II .8.1- Types de rayonnements

#### II .8.1.1- Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

#### II .8.1.2 - Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

#### II .8.1.3- Rayonnement global

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus.

### II .8.2- Rayonnement extraterrestre

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère.

Pour un point donné, Il est formulé comme suit [13]:

$$H_0 = \frac{86400G}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \left( 2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \Phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \Phi \sin \delta) \quad (\text{II-3})$$

N : nombre de jours dans l'année.

G : constante solaire. (G =1367) (w/m<sup>2</sup>)

$\delta$ : La déclinaison solaire

$\Phi$ : Latitude

### II .8.2.1- Coefficient de clarté

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé coefficient de transmission, il est définie par [13]:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (\text{II-4})$$

$\bar{H}$  : Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

$\bar{H}_0$  : Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

### II .9- Temps solaire moyen et temps universel

La rotation régulière de la terre sur elle-même, autour de l'axe des pôles, détermine la succession des jours et des nuits. Une rotation complète de la terre ( $360^\circ$ ) correspondant à 24 heures, en moyenne : c'est la définition même de l'heure.

Compte tenu du sens de rotation de la terre, et en affectant du signe + les longitudes à l'est de la méridien origine, et du signe – les longitudes à l'ouest de ce même méridien, l'heure du passage du soleil au méridien correspondant à la longitude  $\lambda$ .

Ainsi, le soleil passe au méridien de tous les lieux de même longitude  $\lambda$  à l'heure TSM telle que :

$$\text{TSM} = 12 - \left( \frac{\lambda}{15} \right) \quad (\text{II.5})$$

### II .9.1-Temps solaire vrai et angle horaire du soleil

A la notion de temps solaire vrai TSV se rattache celle d'angle horaire du soleil  $\omega$ , qui est l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Puisque cette trajectoire est uniformément décrite ( $360^\circ$ ) en 24 heures, l'angle horaire du soleil augmente de  $15^\circ$  par heure. La valeur  $0^\circ$  étant donnée au passage du soleil dans le plan méridien (midi solaire vrai = 12h TSV) ; l'angle horaire est compté négativement avant midi TSV, et positivement après midi.

Pour un lieu de longitude  $\lambda$  donnée, il existe une correspondance directe entre le TSV et l'angle horaire  $\omega$  du soleil [13]:

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (\text{II.6})$$

Où  $\omega$  est mesure en degrés et TSV en heures.

$\omega$  et  $\lambda$  sont exprimés en degrés.

## II .9.2-Mouvement apparent du soleil

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude  $L$  au nord de l'équateur est représenté sur la (figure II.7). Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à  $(L - d)$ . La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.

Un jour a été divisé en 24h et l'heure solaire TS a été définie en fixant  $\text{TS}=12$  h lorsque la hauteur du Soleil est maximale (le Soleil est à son « zénith »). La hauteur  $h$  du Soleil peut alors se déduire de la relation [14]:

$$\text{Sin}(h) = \text{Sin}(L) \text{Sin}(\delta) + \text{Cos}(L) \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\omega) \quad (\text{II.7})$$

Et l'azimut  $a$  par la relation :

$$\text{Sin}(a) = \text{Cos}(\delta) \text{Sin}(\omega) / \text{Cos}(h) \quad (\text{II.8})$$

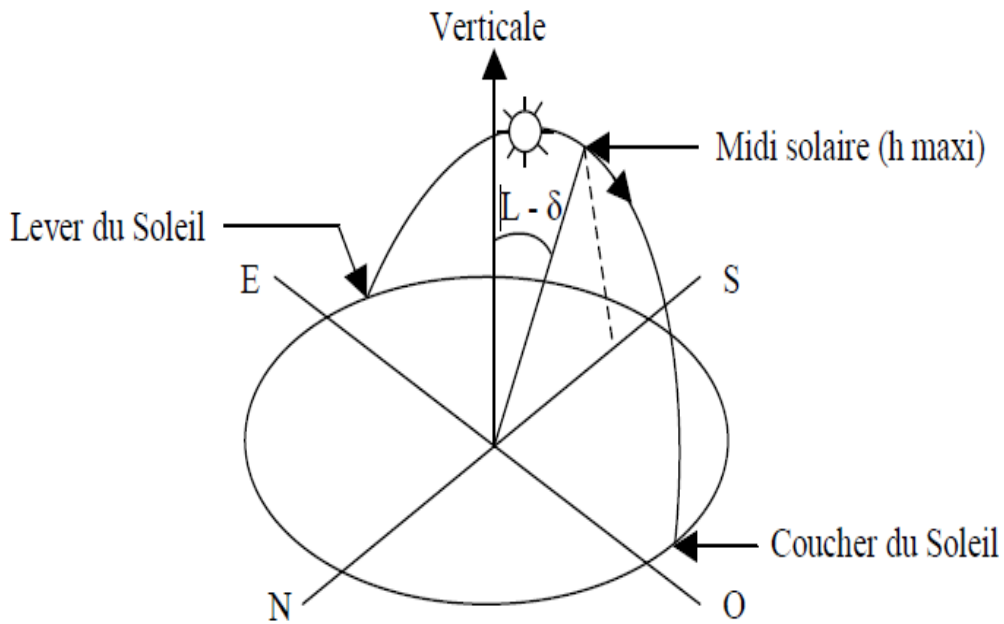


Figure II.7 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

## II .9.3 - Heures et temps

### II .9.3.1- Durée du jour

Le module  $\omega_1$  de l'angle horaire au lever du Soleil s'obtient en écrivant,  $\sin(h)=0$  ce qui conduit à :

$$\text{Cos} (\omega_1) = - \tan(L) \tan (\delta) \quad (\text{II.9})$$

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

$$(\text{TSV}) = 12 - \frac{\omega_1}{15} \quad (\text{II.10})$$

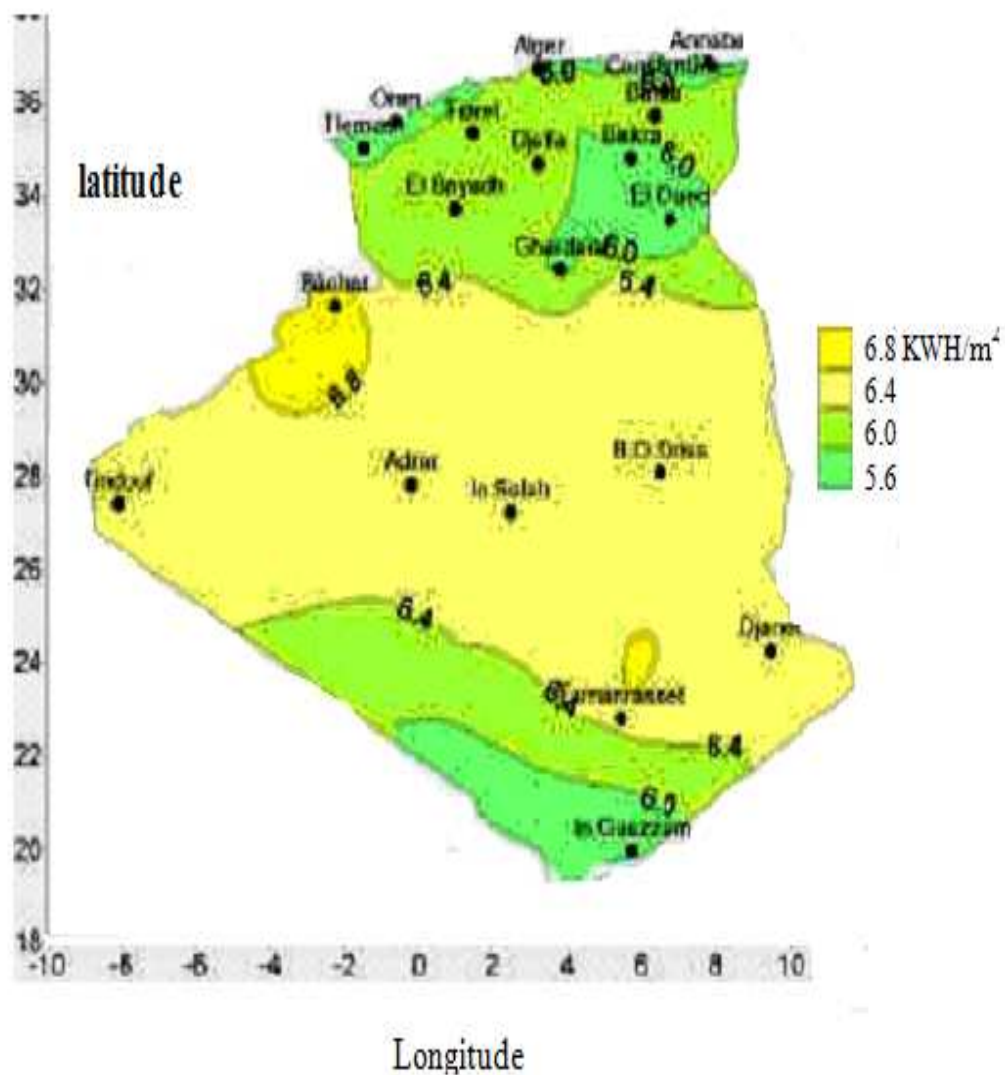
L'angle horaire  $\omega_c$  au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc  $\omega_1 = - \omega_c$  et la durée du jour vaut :

$$D = 2 \frac{\omega_1}{15} \quad (\text{II.11})$$

**II .10- Rayonnement en Algérie**

L’Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d’environ  $1\text{Kw}/\text{m}^2$ . L’énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les  $6\text{Kw}/\text{m}^2$  et l’énergie annuelle maximale en Algérie est de l’ordre de  $2500\text{ Kw}/\text{m}^2$ [15].

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l’Algérie.



**Figure II.8 la puissance solaire en Algérie.**

## **II.11 – Conclusion**

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire.

Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil.

Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu. Par exemple les capteurs installés à Blida sont inclinés de 36 °).

Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil.

## **Chapitre III : Les capteurs solaires thermiques**

### **III.1- Principe**

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...).

L'énergie solaire thermique est captée par la surface absorbante du capteur solaire. Dans de nombreux types de capteurs, les revêtements sélectifs sont appliqués sur les surfaces absorbantes pour augmenter l'efficacité. Un fluide caloporteur absorbe et véhicule une partie de l'énergie captée par l'absorbeur.

### **III.2 - Différents types de capteurs**

Il existe des différents types de capteurs solaires pour chauffer les liquides. Leur choix dépend de la température désirée, de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Les technologies les plus courantes sont :

- Les capteurs à liquide plans sans vitrage,
- Les capteurs à liquide plans vitrés,
- Les capteurs à concentration,
- Les capteurs solaires à tubes sous vide.

Notre étude sera basée sur les capteurs à concentration.

#### **III.2.1- Concentrateurs solaires thermiques**

#### **III.2.2- Les différentes technologies de concentration solaire**

La production d'électricité à partir du rayonnement solaire est un processus direct. L'énergie solaire étant peu dense, il est nécessaire de la concentrer pour obtenir des températures exploitables. Comme nous présente la figure 3, cette production fait appel à des capteurs à concentration qui se présentent sous plusieurs technologies, regroupées en deux principaux systèmes à concentration :

- **Les systèmes à concentration en ligne :**

Capteurs cylindro-parabolique et capteurs linéaire de Fresnel

- **Les concentrateurs points:**

Les tours à héliostats et capteurs paraboliques.

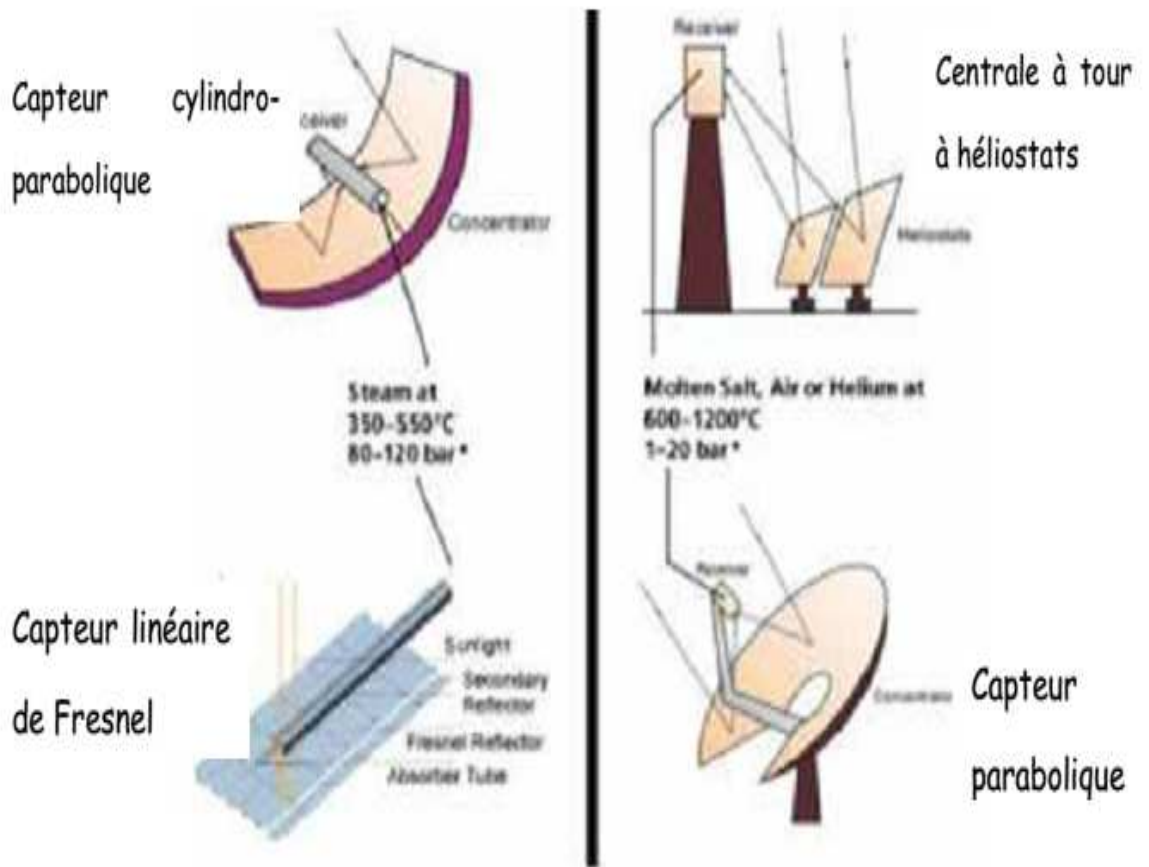


Figure III 1: principale technologie solaire [16].

La majorité des systèmes utilise des miroirs de verre pour réfléchir la radiation solaire et peu d'entre eux des feuilles d'aluminium. Un aspect très important des systèmes à concentration est que seule l'irradiation directe peut être mise à profit, la radiation diffuse ne pouvant pas être focalisée par le concentrateur car elle n'a pas de direction. La centrale solaire ne peut donc fonctionner que si le ciel est dégagé.

Nous allons par la suite dans notre étude se baser sur le capteur parabolique

### III.2.3 - Avantages et inconvénients de la concentration

Les avantages que présentent les systèmes à concentration sont :

- Réduction des surfaces absorbantes ;
- La densité d'énergie au niveau de l'absorbeur est grande donc le fluide caloporteur peut travailler à température plus élevée pour la même surface de captation d'énergie.



Comme tous systèmes ont des avantages et des inconvénients, ces systèmes présentent aussi un certain nombre d'inconvénients :

- Les pertes optiques peuvent être importantes. Elles sont dues aux phénomènes de réflexion et de réfraction et aux caractéristiques géométriques du système ;
- Le rayonnement diffus est très mal utilisé dans les systèmes à forte concentration, seul le rayonnement direct est concentré ;
- Les systèmes à forte concentration nécessitent des montages optiques précis et par conséquent relativement chers ;
- Dans la plus part des cas, le flux n'est pas distribué de façon uniforme sur l'absorbeur ;
- L'absorbeur est soumise à de grandes variations de température lors du passage nuageux ;
- Les systèmes à forte concentration ont un champ étroit. Il est donc nécessaire de pointer pour capter le rayonnement direct et ceci demande des mécanismes d'orientation [17].

Cette étude nous permet d'avoir un aperçu sur la conception et le fonctionnement d'un concentrateur solaire parabolique.

### III.3 - Concentrateur parabolique

#### III.3.1 - La géométrie parabolique

##### - Définition

Une parabole est l'ensemble des points situés à égale distance d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (V) qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice [18].

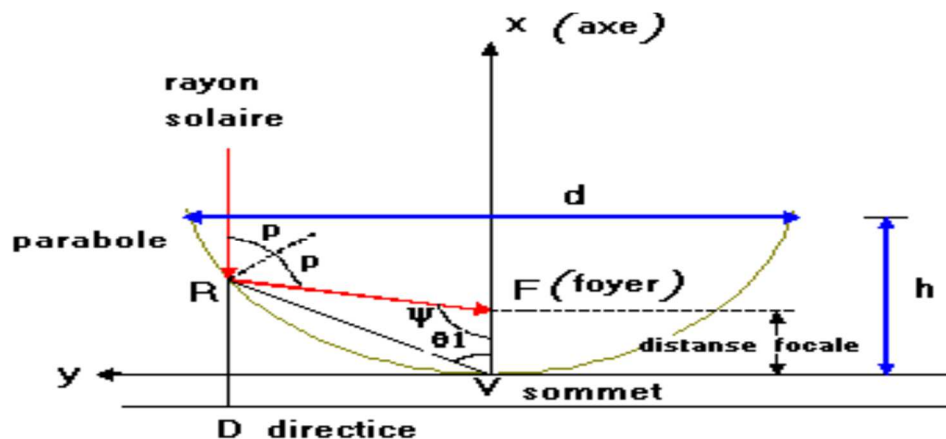


Figure III 2 Propriétés géométriques de la parabole.

L'équation de la parabole est [19] :

$$Y^2 = 4. f. x \quad (\text{III-1})$$

f : la distance focale FV

$$P = \frac{2.f}{1+\cos \psi} \quad (\text{III-2})$$

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).

### III.3.2- Angle d'ouverture d'une parabole

$$\tan \psi_p = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \quad (\text{III-3})$$

f: distance focale

d: diamètre de l'ouverture de la parabole [20].

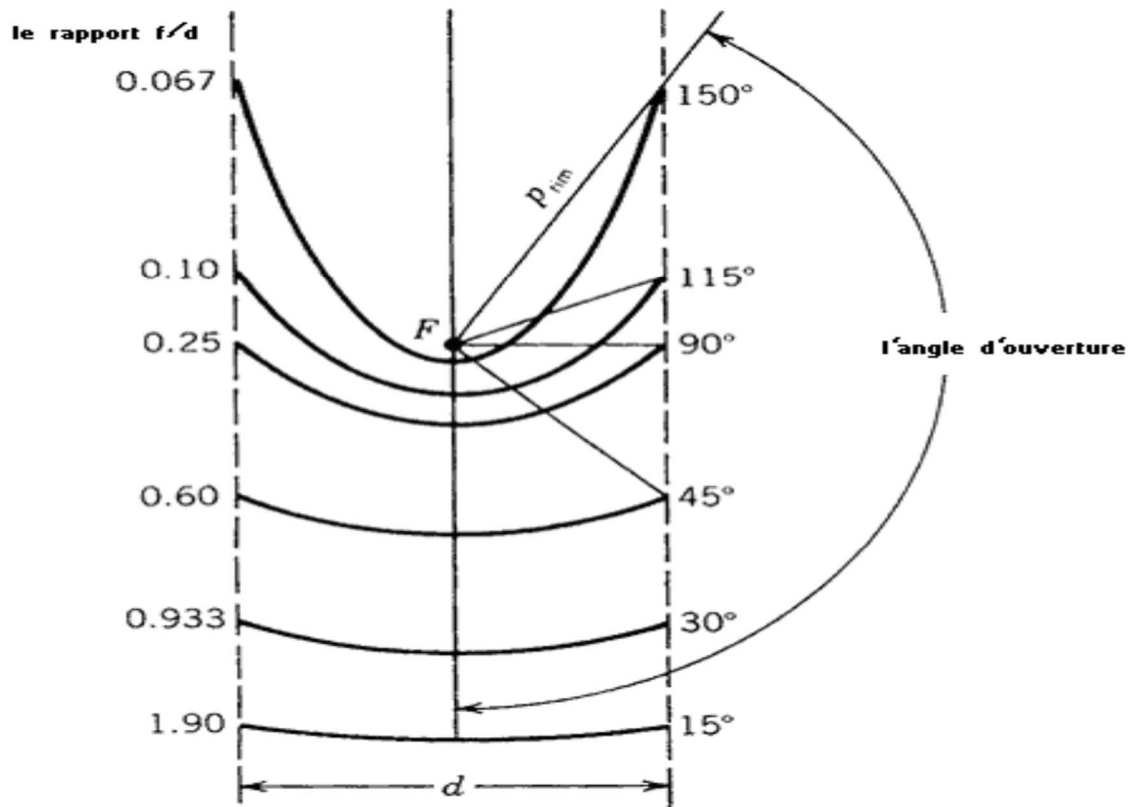


Figure III 3 Section d'une parabole possédant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture d.

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.

### III.3.3 - Taille d'une parabole

La taille de la courbe parabolique  $h$  peut être définie comme la distance maximale du sommet à une ligne tracée à travers l'ouverture de la parabole, elle est définie par [22]:

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad \text{(III-4)}$$

De façon semblable, l'angle d'ouverture peut être trouvé en fonction des dimensions d'une parabole :

$$\tan \psi_p = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h}\right) - 2h/d} \quad \text{(III-5)}$$

### III.3.4- Surface d'une parabole

C'est l'espace incluse entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est indiquée par [20] :

$$A_x = \frac{2}{3} \cdot d \cdot h \quad (\text{III-6})$$

La surface d'ouverture d'un parabolöide est :

$$A_a = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{III-7})$$

### III.3.5- Longueur d'une parabole

La longueur d'arc d'une parabole peut être trouvée en intégrant une surface différentielle de cette courbe (l'équation II-1), en appliquant les limites  $X=h$  et  $Y=d/2$  comme décrit sur l'équation (III-1), on trouve [23] :

$$S = \left[ \frac{d}{2} \sqrt{\left[ \frac{4h}{d} \right]^2 + 1} \right] + 2f \ln \left[ \frac{4h}{d} + \sqrt{\left[ \frac{4h}{d} \right]^2 + 1} \right] \quad (\text{III-8})$$

### III.3.6 - Système optique d'une surface parabolique

L'idée d'utiliser une surface parabolique vient du fait qu'elle est stigmatique pour les points à l'infini situé sur son axe. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchis en un point appelé <foyer > [18].

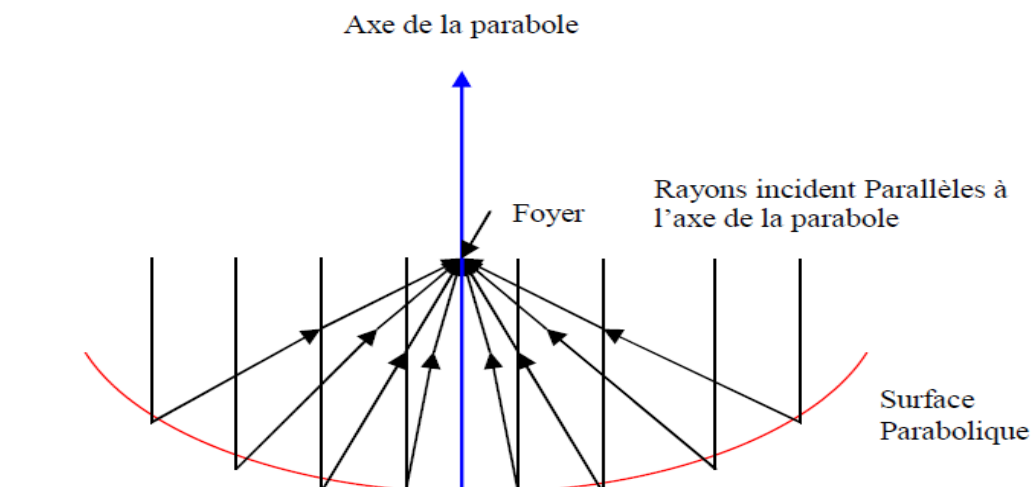


Figure III 4 Système optique d'une surface parabolique

III.3.7 - Cas d'une parabole de type offset

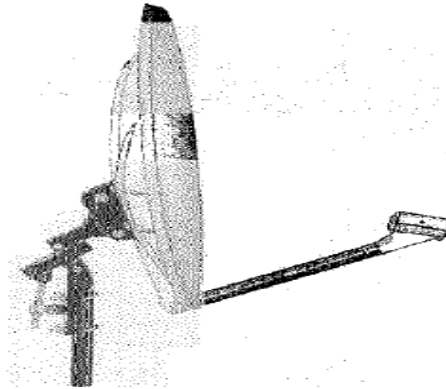


Figure III 5 parabole de type offset

➤ La géométrie de la parabole offset [32]

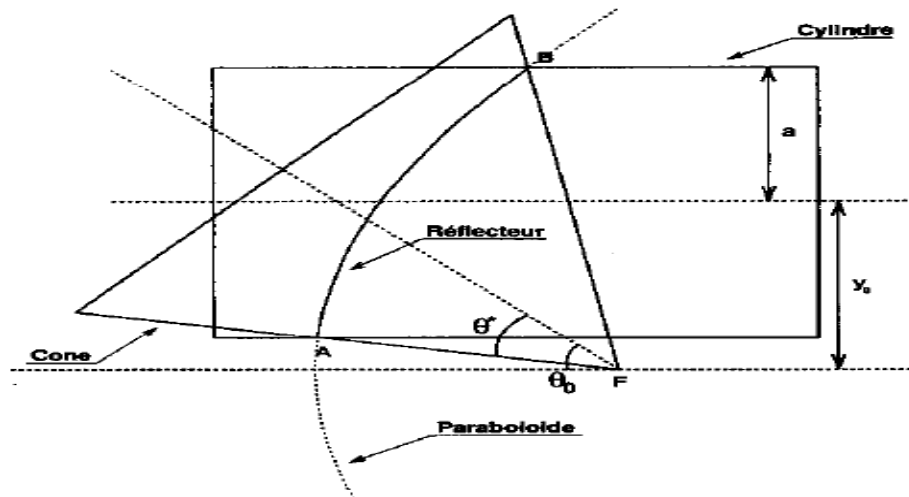


Figure III 6 Les deux façons de définir une offset dans un paraboloïde (vue de profil).

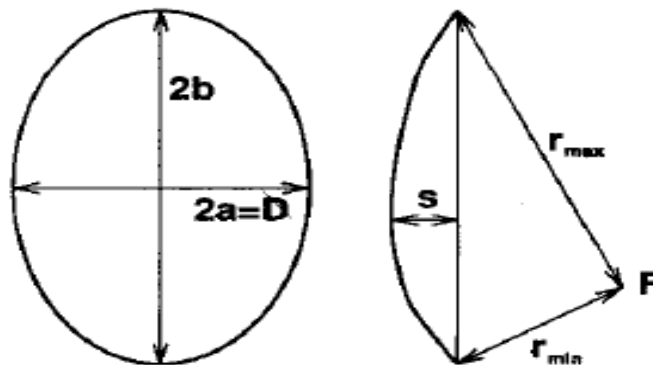


Figure III 7 dimensions d'un réflecteur offset.

La distance focale de parabole elle égale à :

$$f = \frac{a^2}{4s} * \left(\frac{a}{b}\right) = \frac{D^2}{16s} * \left(\frac{D}{2b}\right) \quad (\text{III-9})$$

$$r_{max} = f + \frac{(y_0+a)^2}{4f} \quad (\text{III-10})$$

$$r_{min} = f + \frac{(y_0-a)^2}{4f} \quad (\text{III-11})$$

$$y_0 = 2f \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 1} \quad (\text{III-12})$$

Dans le cas d'une prime-focus on a  $y_0 = 0$ ,  $\Rightarrow r_{max} = r_{min} = f + s$

La surface d'ouverture d'un paraboloïde offset est :

$$A_a = a * b * \pi \quad (\text{III-13})$$

#### ➤ **Avantage et inconvénient de ce type**

D'une part, la source ne fait pas d'ombre au réflecteur en réception,

Mais le rendement optique de réflecteur elle faible.

Le concentrateur solaire parabolique est composé des : **Réflecteur (Paraboloïde)**  
**et de Récepteur (absorbeur)**

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible, et le convertir en énergie thermique, cette chaleur est transférée dans un fluide d'un certain type (liquide ou gaz).

### **III.3.8 - Dimension du récepteur**

Nous avons vu que la parabole réfléchit tous les rayons lumineux parallèle à son axe en un point foyer, cela ne vaut pas pour des applications solaires, et en raison de la taille angulaire finie du disque solaire, on peut assumer que le diamètre apparent du disque solaire  $\theta_s$  égale à 0.0093 m rad [22].

Quand l'angle d'ouverture d'une parabole en parfait état est aligné vers le soleil, la réflexion des rayons forme une image circulaire (tache solaire) centrée au point focal sous forme d'ellipse. Le petit rayon  $S_f$  et le grand rayon  $r_f$  de l'ellipse sont indiqués comme [22] :

$$S_f = \frac{f \cdot \theta_s}{1 + \cos \psi} \quad \text{(III-14)}$$

$$r_f = \frac{f \cdot \theta_s}{(1 + \cos \psi) \cos \psi} \quad \text{(III-15)}$$

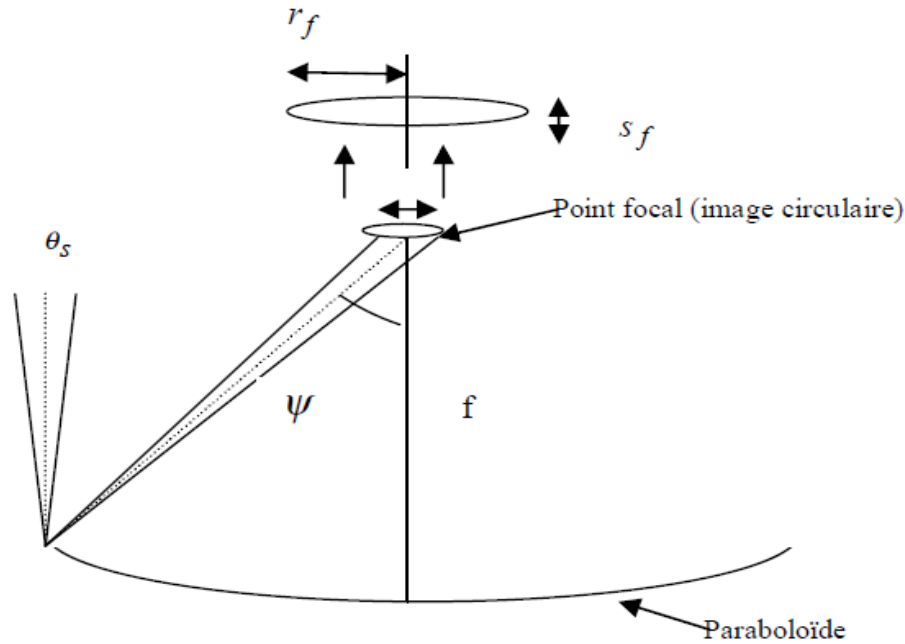


Figure III 8 L'image ellipse

$r_f$ : Diamètre minimum de l'image circulaire centrée au point focal en négligeant l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du l'absorbeur.

### III.4- La concentration

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

#### III.4.1- Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du collecteur  $A_a$  à celle du récepteur  $A_r$ .

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \quad \text{(III-16)}$$

### III.4.2- Concentration optique

Est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture.

$$C_0 = \frac{I_r}{I_a} \quad (\text{III-17})$$

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

$I_a$ : L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde.

### III.5.1 - 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:

$$(M_e C_e + M_r C_r) \frac{dT}{dt} = Q_u \quad (\text{III-18})$$

$M_e$ : Masse de l'eau.

$C_e$ : Chaleur massique de l'eau.

$M_r$ : Masse du récepteur.

$C_r$ : Chaleur massique du récepteur.

$Q_u$  : Puissance utile.

Où :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (\text{III-19})$$

$Q_a$  : Puissance solaire absorbée par le récepteur.

$Q_p$ : Puissance correspondant aux pertes thermiques.



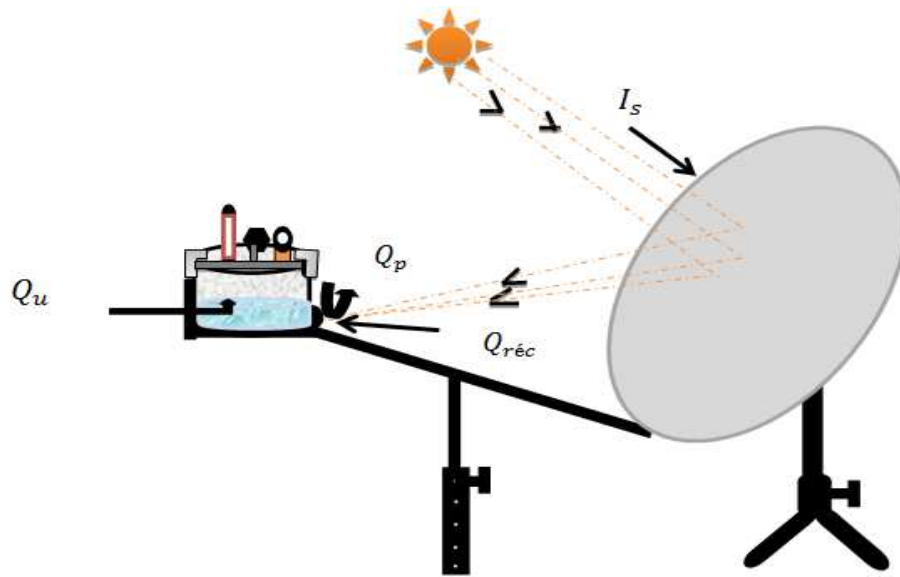


Figure III 9- Bilan énergétique

### III.5.2- 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 [23] :

$$Q_a = I_a A_a \rho \alpha \tau \quad (\text{III-20})$$

Où :  $\eta_{op} = \rho \cdot \alpha \cdot \tau$

L'équation devient :  $Q_a = I_a \cdot A_a \cdot \eta_{op} \quad (\text{III-21})$

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

$\eta_{op}$ : Rendement optique du concentrateur.

### III.5.3- Puissance correspondant aux pertes thermiques

Une fois que l'énergie solaire passe vers la surface d'ouverture du récepteur, elle relève sa température au-dessus de la température ambiante, cette variation de température provoque un processus des pertes de chaleur, ce sont des pertes par convection, par rayonnement et par conduction.

La puissance correspondant aux pertes thermiques est donnée par l'expression suivante :

$$Q_p = Q_{pcv} + Q_{pcd} + Q_{pr} \quad (\text{III-22})$$

$Q_p$ : Puissance correspondant à la perte thermique

$Q_{pcv}$ : Pertes par convection

$Q_{pr}$ : Pertes par rayonnement

$Q_{pcd}$ : Pertes par conduction

### III.5.3.1- 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].

$$Q_{pcv} = h_{cv} A_r (T_r - T_a) \quad (\text{III-23})$$

$A_r$ : Surface d'ouverture du récepteur

$T_r$ : Température du récepteur

$T_a$ : Température ambiante

$h_{cv}$ : Coefficient de transfert par convection est donne par [24] :

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0 v \quad (\text{III-24})$$

$v$  : vitesse de vent.

### III.5.3.2- 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 [25].

$$Q_{pr} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_r (T_r^4 - T_a^4) \quad (\text{III-25})$$

$\varepsilon$ : facteur émissivité de l'absorbeur

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

On peut écrire l'équation (III-25) sous la forme suivante :

$$Q_{pr} = h_r A_r (T_r - T_a) \quad (\text{III-26})$$

$$h_r = \varepsilon \cdot \sigma \frac{T_r^4 - T_a^4}{T_r - T_a} = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^3 \left[ 1 - \left( \frac{\Delta T}{2T} \right)^2 \right] \quad (\text{III-27})$$

Où : 
$$T = \frac{T_r - T_a}{2} \quad (\text{III-28})$$

### III.5.3.3- Pertes par conduction

Liées à la nature du matériel utilisé.

$$Q_{pcd} = K \Delta x (T_r - T_a) \quad (\text{III-29})$$

$K$  : Conductivité de l'absorbeur.

$\Delta x$  : épaisseur 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.

$$Q_u = \eta_{op} I_a A_a - A_r \left( h_{cv} (T_r - T_a) + \varepsilon \sigma (T_r^4 - T_a^4) \right) - A_l h_{cv} (T_l - T_a) \quad (\text{III-30})$$

$$Q_u = A_r \left( \left( \eta_{op} I_a \frac{A_a}{A_r} \right) - (h_{cv} + h_r) (T_r - T_a) \right) - A_l h_{cv} (T_l - T_a) \quad (\text{III-31})$$

$$Q_u = [M_e C_e \Delta T + M_{vap} L_{vap}] / t \quad (\text{III-32})$$

$$\Delta T = T_{fe} - T_{ie}$$

$T_{ie}$  : température initiale de l'eau

$T_{fe}$  : température finale de l'eau

$A_r$  : Surface latérale du récepteur

$T_l$  : Température extérieure du récepteur

$L_{vap}$  : Chaleur latente de vaporisation de l'eau.

### III.6- Efficacité du concentrateur

La mesure des performances d'un collecteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système.

Cette efficacité se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur.

$$\xi = \frac{Q_u}{I_a A_a} \quad (\text{III-33})$$

$$\xi = \eta_{op} - \frac{A_r(h_{cv}+h_r)(T_r-T_a)}{I_a A_a} \quad (\text{III-34})$$

$$\xi = \eta_{op} - \frac{(h_{cv}+h_r)(T_r-T_a)}{C_g I_a} \quad (\text{III-35})$$

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 et dépende de la surface de réflecteur comme aussi dépende de type de parabole a utilisé.

## Chapitre IV : La conception et la réalisation du concentrateur

### IV.1- Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes de réalisation du concentrateur solaire parabolique de type offset. Nous avons choisi ce type parce qu'il est disponible et aussi il évite l'effet d'ombre de la cocotte-minute sur le réflecteur. Notre prototype a été réalisé au niveau de l'atelier et placé dans un terrain au niveau du département de Génie mécanique de l'université de Blida, la figure IV.1 montre l'installation du prototype dont les spécifications sont représentées dans les tableaux 1 et 2.

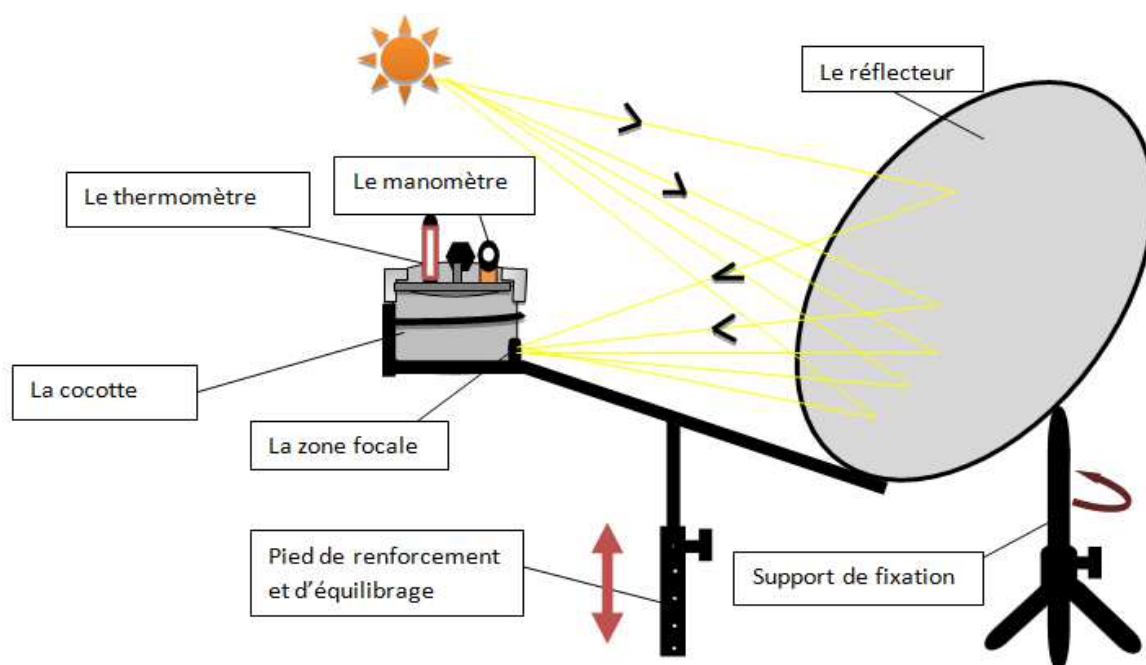


Figure IV.1: Schéma explicatif du système

Tableau IV.1- Spécification du réflecteur

Diamètre	$D = 2a = 0.9 \text{ m}$ et $2b = 1 \text{ m}$
Les rayones $r_{min}$ et $r_{max}$	$r_{max} = 1 \text{ m}$ $r_{min} = 0.6 \text{ m}$
La distance focale	$f = 0.6 \text{ m}$
La surface d'ouverture	$A_a = 0.7 \text{ m}^2$
Taille	$h = 0.077 \text{ m}$
Distance entre le point F et le centre de cylindre	$y_0 = 0.55 \text{ m}$

**Tableau IV.2- Spécification du récepteur**

Diamètre	$d_r = 0.24 \text{ m}$
Le volume	$V = 7 \text{ L}$
La hauteur	$H = 0.17 \text{ m}$
L'épaisseur	$E = 0.003 \text{ m}$
Surface de cavité (zone absorbante)	$A_r = 0.0056 \text{ m}^2$

**IV.2- Description des différentes parties du prototype**

**IV.2.1- Le réflecteur**

Il s'agit d'une ancienne parabole de type récepteur satellitaire couverte en première couche d'un papier glacé afin de lisser l'état de sa surface (supprimer la rugosité de surface), ensuite un film réflecteur auto collant en aluminium couvre la surface de la parabole formant ainsi un réflecteur. Le film aluminium devrait avoir son côté brillant face au soleil.

Pour éviter les zigzags sur la surface brillant on a coupé le film en petits triangles avant la pose. Les photos ci-dessous montrent étapes de réalisation:



**Photo IV 1 : les étapes de réalisation du réflecteur**

Le réflecteur aluminium est de type Mylar avec un coefficient de réflexion égal à 0.75.

La parabole est reposée sur un support rigide, attachée au sol.



**Photo IV 2 : Photo de support de parabole**

#### **IV.2.2- Description du récepteur**

Il s'agit d'une cocotte-minute isolée par une couche mousse polyuréthane afin de minimiser les pertes thermique, un manomètre avec une soupape d'expansion pour la sécurité, réglé à 3 baret un thermomètre digitale sont fixé sur le couvercle de la cocotte -minute pour mesurer : la pression et la température à l'intérieur de la cocotte-minute (chambre de stérilisation), La zone basse de la cocotte n'est pas isolée et peinte en noir mat pour maximiser l'absorption des rayons concentrés sert de récepteur.



**Photo IV 3 : la cocotte-minute recouverte par la mousse polyuréthane**

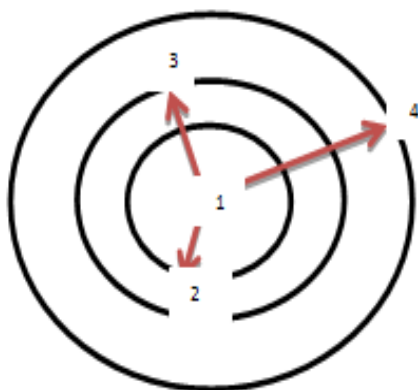
❖ *Assemblage des éléments de système*

**Photo IV 4 : Vue générale du prototype du concentrateur parabolique**

### IV.3- Les expériences

Le premier essai est de savoir comment est-ce que la température se distribue dans la tache focale.

Pour cela on a soudé deux plaques métalliques de 2mm d'épaisseur pour garder la sonde de thermocouple fixe (la sonde ne touche pas la plaque) et on a tracé trois cercles sur la plaque sachant qu' au périmètre de chaque cercle on a percé un trou de 3mm afin de pouvoir faire entrer la sonde de thermocouple pour mesurer la température .



**Photo IV 5 : schéma explicatif de disposition des thermocouples**

1 : Z=0mm 2 : Z=7mm 3 : Z=16mm 4 : Z=25mm



### **IV.3.1- L'emplacement des thermocouples**



**Photo IV 6 : L'emplacement des thermocouples**

### **IV.3.2- L'expérience de stérilisation**

Notre expérience s'est déroulée durant la journée du 15/ 06/ 2015, de 9 h 15 min à 15 h 30 min. Le teste a été déroulé de la manière suivante :

### **IV.3.3- Installation du concentrateur**

Nous savons que le concentrateur parabolique fonctionne quand les rayons solaires sont parallèles à son axe. Donc il faut le placer dans un environnement clair et bien aéré, avec le ciel dégagé en évitant les zones d'ombres autour de l'équipement.

Le système est diriger vers le soleil et ont installe les appareils de mesures (les pyranomètres et les thermocouples) pour mesurer l'éclairement et la température au niveau du récepteur.

La poursuit du soleil est réalisée manuellement afin d'obtenir à chaque instant une bonne tâche focale.



**Photo IV 7 : installation de parabole et diriger vers le soleil**

#### **IV.3.4- Réglage du concentrateur**

Au début, le concentrateur est dirigé vers le soleil. Les rayons du soleil seront réfléchis au foyer du paraboloïde et forme la tache solaire qui devrait apparaître sur l'absorbeur.



**Photo IV 8 : La tache focale sur le récepteur**

### **IV.3.5- La disposition des thermocouples sur le système**

On a placé deux thermocouples aux niveaux de la cavité pour mesurer la température de l'absorbeur et la température du flux radiatif. Et deux autres thermocouples sur la surface latérale de la cocotte et son couvercle.



**Photo IV 9 : L'emplacement des thermocouples dans la zone focale**

### **IV.3.6- Les mesure :**

Les mesures concernent les températures sur la cocotte, l'ensoleillement et la vitesse vent du site d'expérimentation.

Pour les températures nous utilisons quatre thermocouples à affichage numérique de type K.

Thermocouple T1 : mesure la température de foyer;

Thermocouple T2 : mesure la température du couvercle;

Thermocouple T3 : mesure la température de surface de l'absorbeur ;

Thermocouple T4 : mesure la température de la surface latérale ;

La température ambiante et la vitesse de vent sont mesurées par un appareil qui s'appelle KESTREL.



**Photo IV 10 : Appareil de mesure de la température ambiante et de la vitesse de vent**

Pour l'irradiation solaire comme nous ne disposons d'un pyrhéliomètre, nous avons mesuré les éclairements globale et le diffus et déterminer l'éclairement direct par différence.

L'éclairement global est mesuré à l'aide d'un pyranomètre et l'éclairement diffus est mesuré par le même type d'équipement en occultant sa la partie sensible (la thermopile).



**Photo IV 11 : Les deux pyranomètres sont fixé sur un support attaché à l'axe de la parabole.**

## IV.4 - Instrument de mesure

### IV.4.1- Les thermocouples

#### ❖ Définition

Un thermocouple est constitué de deux conducteurs de matériau différent soudés ensemble à un bout et soumis à un gradient de température génère à leurs extrémités, une tension dépendante de la température et du choix des deux matériaux [29]est alors délivrée.

#### IV.4.1.2 - Techniques de mesure et raccordements

#### ❖ Principe

Si un écart de température est présent le long d'un fil métallique, il se produit un transfert de charge dépendant des caractéristiques du matériau. La conversion d'énergie génère à l'intérieur de ce conducteur une f.e.m. dont l'importance et le sens dépendent du matériau, de la direction et du gradient de température.

C'est pour cela que l'on utilise l'effet thermoélectrique avec 2 conducteurs soudés ensemble à l'une de leur extrémité. On obtient alors une tension mesurable aux extrémités libres en présence d'un gradient de température.

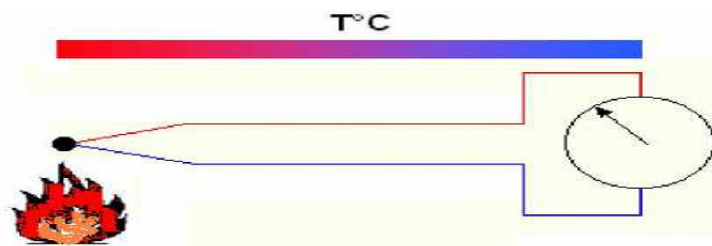


Figure IV 2 : un thermocouple [29]

#### IV.4.1.3- Thermocouples les plus courants

Un certain nombre de conducteurs peuvent être associés pour former des thermocouples. Au fil du temps, une sélection de combinaisons s'est imposée formant les gammes de thermocouples utilisés actuellement et identifiés par un symbole. Une des normalisations, la CEI 584.1, est une table de référence de 8 produits classés dans deux catégories, ceux à base de métaux précieux, habituellement plus stables et couvrant une plage

de mesure plus étendue, et ceux à base de métaux plus communs qui ont par contre une f.e.m. plus élevé.

**Tableau IV.3 - Tableau synthétique des thermocouples [29]**

METAUX COMMUNS					
Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	Domaine* de T°C des conducteurs
J	Fe	+	Noir	Noir	-210 / +1200
	Cu-Ni	-		Blanc	
K	Ni-Cr	+	Vert	Vert	-270 / +1370
	Ni-Al	-		Blanc	
T	Cu	+	Marron	Marron	-270 / +400
	Cu-Ni	-		Blanc	
E	Ni-Cr	+	Violet	Violet	-270 / +1000
	Cu-Ni	-		Blanc	
N	Ni-Cr-Si	+	Mauve	Mauve	-270 / +1300
	Ni-Si	-		Blanc	
METAUX PRECIEUX A BASE DE PLATINE					
Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	Domaine* de T°C des conducteurs
S	Pt10%Rh	+	Orange	Orange	-50 / +1760
	Pt	-		Blanc	
R	Pt13%Rh	+	Orange	Orange	-50 / +1760
	Pt	-		Blanc	
B	Pt30%Rh	+	Gris	Gris	0 / +1820
	Pt6%Rh	-		Blanc	

Les températures indiquées sont des valeurs de domaine et ne peuvent pas être considérées comme des limites réelles.

**IV.4.1.4- Raccordement des thermocouples**

Afin de prolonger un thermocouple jusqu’au dispositif de mesure il est important d’utiliser un câble (et des connecteurs) ayant des propriétés identique aux câbles du thermocouple. Il est possible d’utiliser : - un câble d’extension. - un câble de compensation.

❖ Câble d'extension ou câble de compensation?


Le câble d'extension (même matériau que le thermocouple) limite le risque d'erreur. Il offre également deux classes de tolérance possible.

Le câble de compensation est bien moins cher et a des caractéristiques identiques au thermocouple exclusivement dans une certaine plage de température.

**IV.4.1.5 - Tolérance des thermocouples les plus courants**

La norme CEI 584.2 donne l'écart maximum admissible en °C dans des plages de température.

Tableau IV.4 - Tolérance des thermocouples


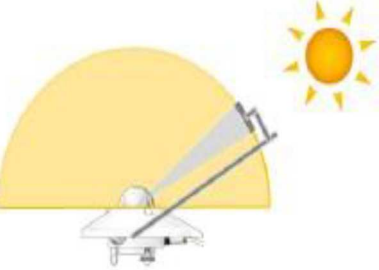
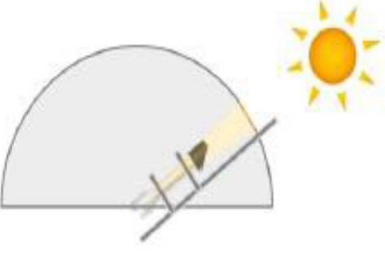
THERMOCOUPLE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
J 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 750°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 750°C	
K 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
T 	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 125 °C $\pm 0.004 \times t$ de 125°C à 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de -40 à 133 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 133°C à 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de -67 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -67°C
E 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 800°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 900°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
N 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
S 	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de 0 à 1100 °C $\pm (1+0.003 \times (t-1100))$ °C de 1100°C à 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de 0 à 600 °C $\pm 0.0025 \times t$ °C de 600°C à 1600°C	
R 	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de 0 à 1100 °C $\pm (1+0.003 \times (t-1100))$ °C de 1100°C à 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de 0 à 600 °C $\pm 0.0025 \times t$ °C de 600°C à 1600°C	
B 		$\pm 0.0025 \times t$ °C de 600°C à 1700°C	$\pm 4^{\circ}\text{C}$ de 600 à 800 °C $\pm 0.005 \times t$ °C de 800°C à 1700°C

### IV.4.1.6 - Erreurs de mesure des thermocouples

Les erreurs de mesure des thermocouples peuvent être liées à différents paramètres. On peut notamment citer :

- Le vieillissement du thermocouple lui-même (stabilité).
- Une modification de la composition chimique
- Des cycles de température fréquents
- Des diffusions de vapeurs métalliques
- Un mauvais choix de câble de liaison
- Un raccordement non compensé
- Un court-circuit
- Un défaut d'isolement des fils entre eux
- Une inadéquation entre le thermocouple et l'appareil de mesure.

### IV.4.2 - Les instruments de mesure de l'éclairement

		
<p>Pyranomètre : mesure de l'éclairement total global (<math>W m^{-2}</math>) par intégration sur tout l'hémisphère.</p>	<p>Pyranomètre ombré : mesure de l'éclairement total diffus (<math>W m^{-2}</math>) par intégration de tout l'hémisphère à l'exception d'un angle solide autour du Soleil.</p>	<p>Pyrhéliomètre pointé vers le soleil : mesure de l'éclairement total direct en incidence normale (<math>W m^{-2}</math>) par intégration uniquement d'un angle solide autour du Soleil.</p>

Source : « La ressource solaire : importance et moyens de caractérisation » in L'énergie à découvert [30].



**➤ Méthodes de mesure de l'irradiation**

- **Le pyranomètre** : Ce dernier contient une thermopile qui délivre une tension proportionnelle à l'irradiation. La partie supérieure de la pile s'échauffe lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire, tandis que la partie inférieure est protégée du rayonnement et sert de référence.
- **Le pyranomètre ombré** est équipé d'un anneau métallique qui masque le soleil, supprimant la composante directe du rayonnement incident.
- **Le pyréliomètre** est équipé d'un système de suivi du soleil, ainsi il ne mesure que le rayonnement direct.

**❖ Objectifs :**

Le passage de l'eau à la vapeur se fait par un apport de chaleur. C'est un phénomène endothermique. D'abord l'eau reçoit une quantité d'énergie solaire à l'aide d'un concentrateur parabolique, cette quantité de chaleur qui permet d'élever sa température à 100°C ensuite celle qui contribue à sa vaporisation.

Selon le modèle expérimental, nos objectifs consiste à:

- L'évaluation, en fonction de l'ensoleillement du lieu de mesure et du temps, de la quantité d'énergie absorbée par l'eau,
- L'évaluation des quantités d'énergies perdues par convection et rayonnement,
- Estimation de temps nécessaire pour un cycle de stérilisation,
- Estimation de nombre de cycle de stérilisation par jour.

**❖ Protocole de mesures**

- Au début, bien nettoyer la parabole avec de l'eau,
- Peser la quantité d'eau à analyser (0,5Kg),
- Placer le récepteur (cocotte-minute) au foyer et y mettre de l'eau,

- Câbler les sondes du thermocouple comme c'est indiqué précédemment,
- Relever les températures de la vapeur, de l'ambiance, de la cocotte et l'absorbeur et la pression de la chambre de stérilisation au début de l'expérience puis toutes les dix (10) minutes,
- Placer la parabole au soleil et l'orienter suivant les deux axes de sorte que le maximum de rayonnement soit concentré sur la surface de l'absorbeur,
- Orienter la parabole chaque dix (10) minutes en suivant la tache sur le foyer,
- Peser la quantité d'eau à la fin de l'expérience.

## **Chapitre V : Résultats et interprétation**

Nous présentons dans cette partie les profils de températures et ceux de l'ensoleillement direct mesurés lors de nos manipulations ainsi que les cycles de stérilisation obtenus. Ceci pour bien comprendre la variation brutale de différentes températures que nous avons enregistrée au cours de ces mesures. Ensuite nous allons présenter les résultats des grandeurs.

### **V.1 - Distribution de la température au niveau du foyer**

L'objectif de cette première expérience est de vérifier la validité du concentrateur pour notre prototype.

La tâche du soleil au réflecteur offset n'est pas ronde.



**Photo V.1- la tache focale du réflecteur parabolique offset.**

La première expérience du 19/05/2015

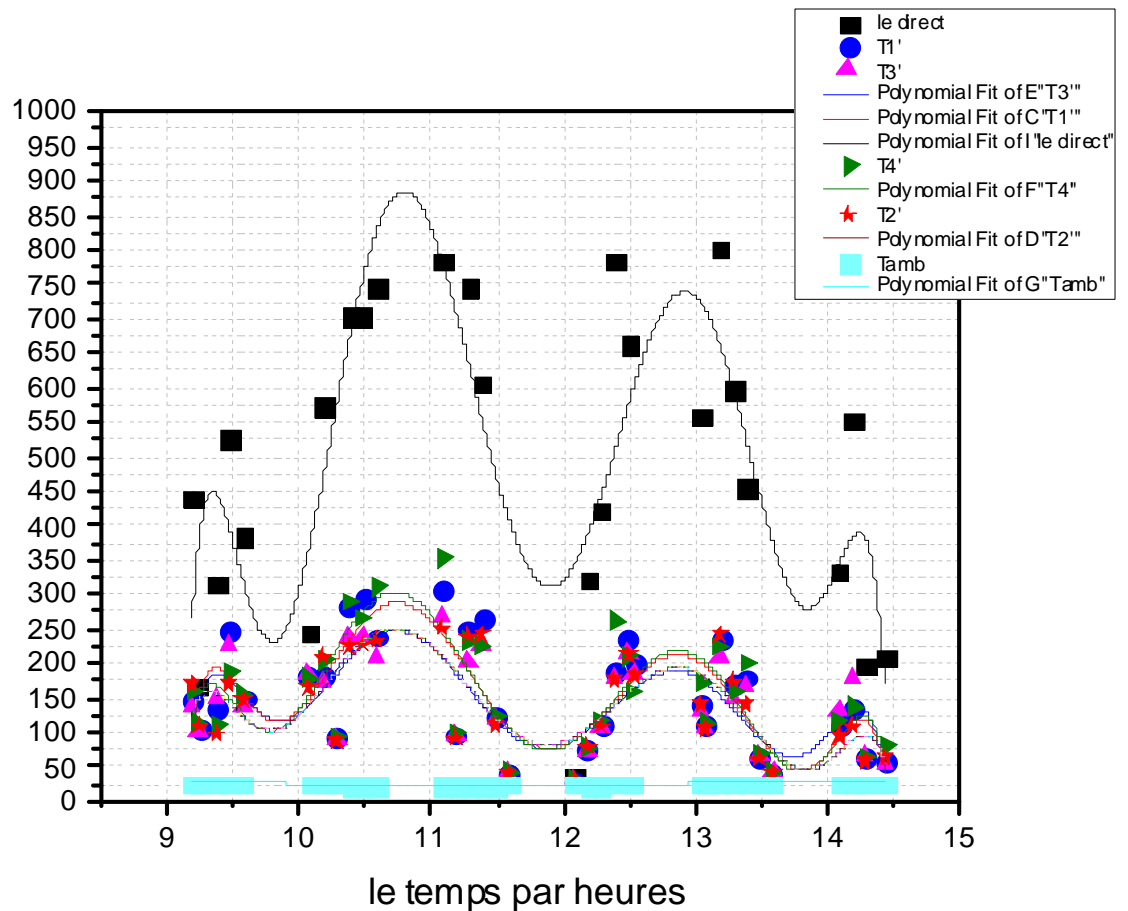
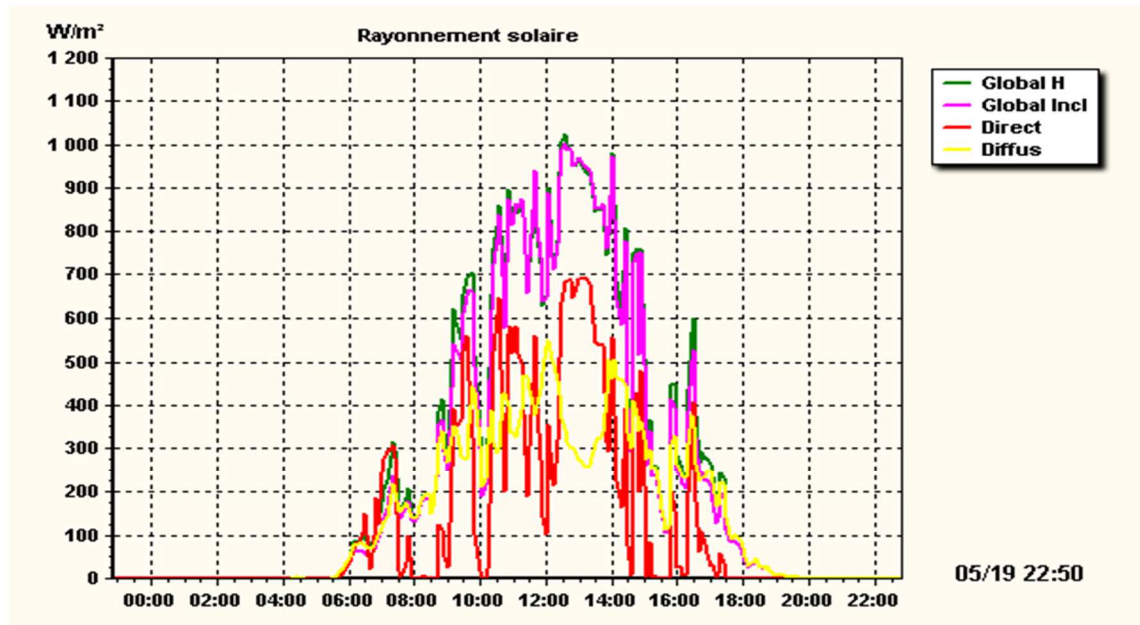


Figure V.1 - le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer en fonction de temps

Cette figure montre la perturbation de l'éclairement direct à cause du passage nuageux et elle nous montre aussi malgré que le diamètre de la tâche est de 5 cm la température varie d'un point à un autre dans la zone focale avec un écart de température arrivant à jusqu'à 50°C, on constate que la distribution de température dans la zone focal n'est pas uniforme ce qui dû au type de concentrateur (parabole offset) utilisé.

On conclue aussi que malgré que la journée est nuageuse, on a atteint des températures acceptable pour notre projet de stérilisation ce qui implique que notre réflecteur ou bien notre concentrateur est capable d'alimenter notre stérilisateur autoclave.



**Figure V.2 - le rayonnement solaire au niveau de site de BOUZAREAH en fonction de temps [31]**

Cette figure nous indique que le rayonnement solaire direct à BOUZAREAH est perturbé ce qu'il montre que notre mesure et les données de cette figure sont presque pareilles à nos mesures.

## V.2 - Les expériences de stérilisation

Dans ces expériences nous représentons la variation de l'éclairement direct et celle des températures ainsi que les cycles de stérilisation obtenus:

On note que la masse d'eau utilisée est de 0.5kg

T1 : température de l'absorbeur (surface de la paroi),

T2 : température d'isolant couvercle,

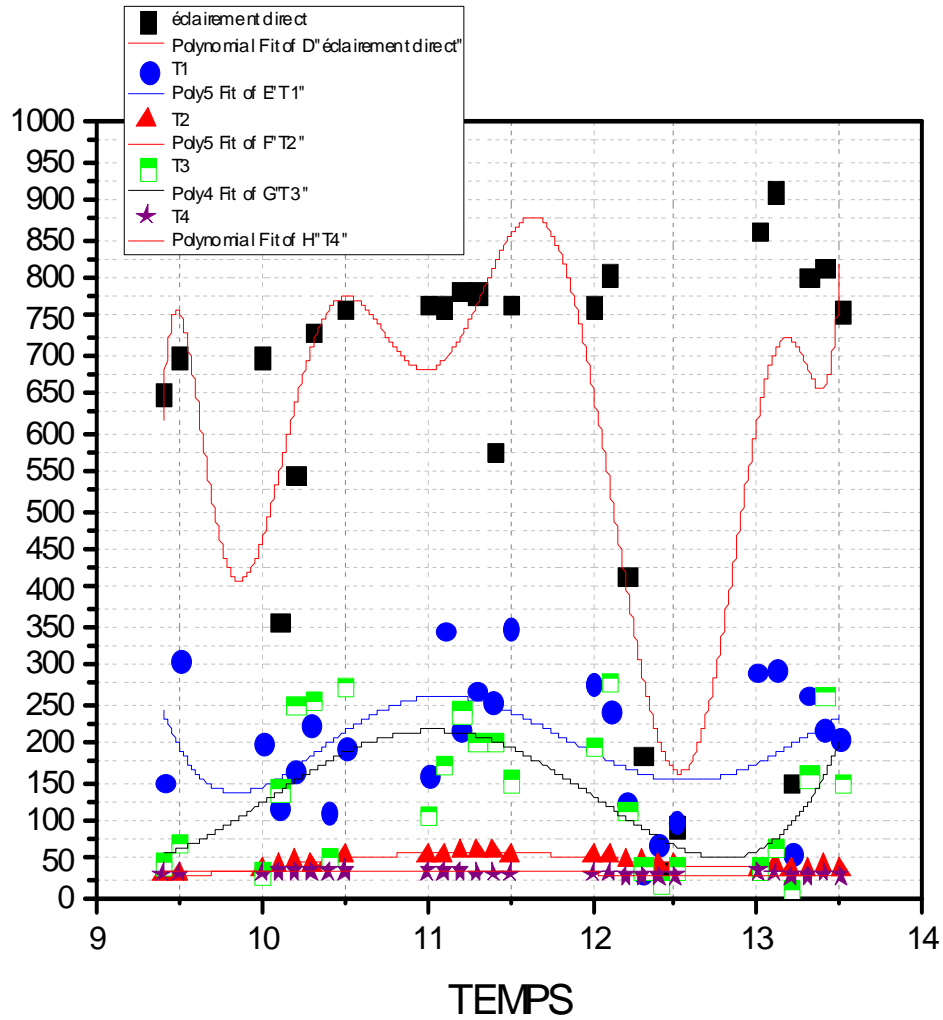
T3 : température de l'absorbeur (air de la cavité),

T4 : température d'isolant latéral,

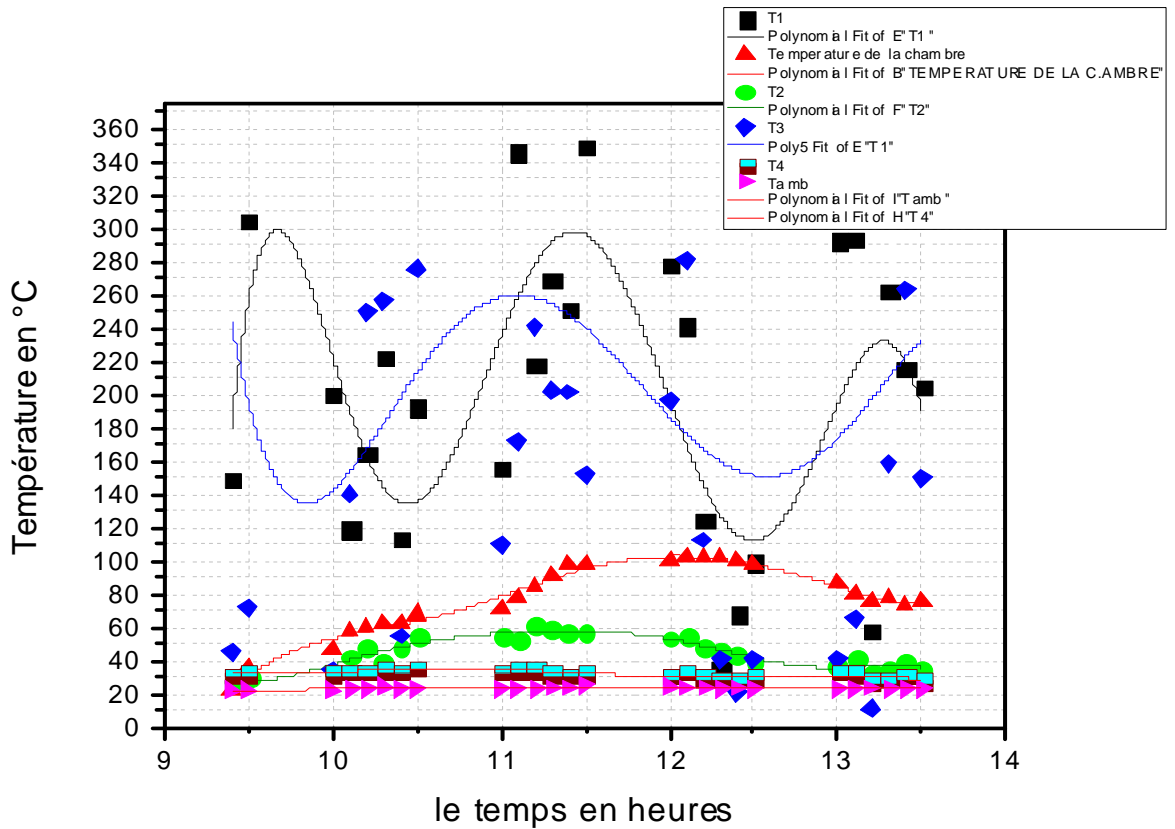
Tamb : température ambiante.

**Expérience du 03/06/2015**

Cette expérience est le premier essai de stérilisation sachant que le couvercle de la cocotte n'est isolé par contre la surface latérale de la cocotte est isolée par une couche de la laine de verre:

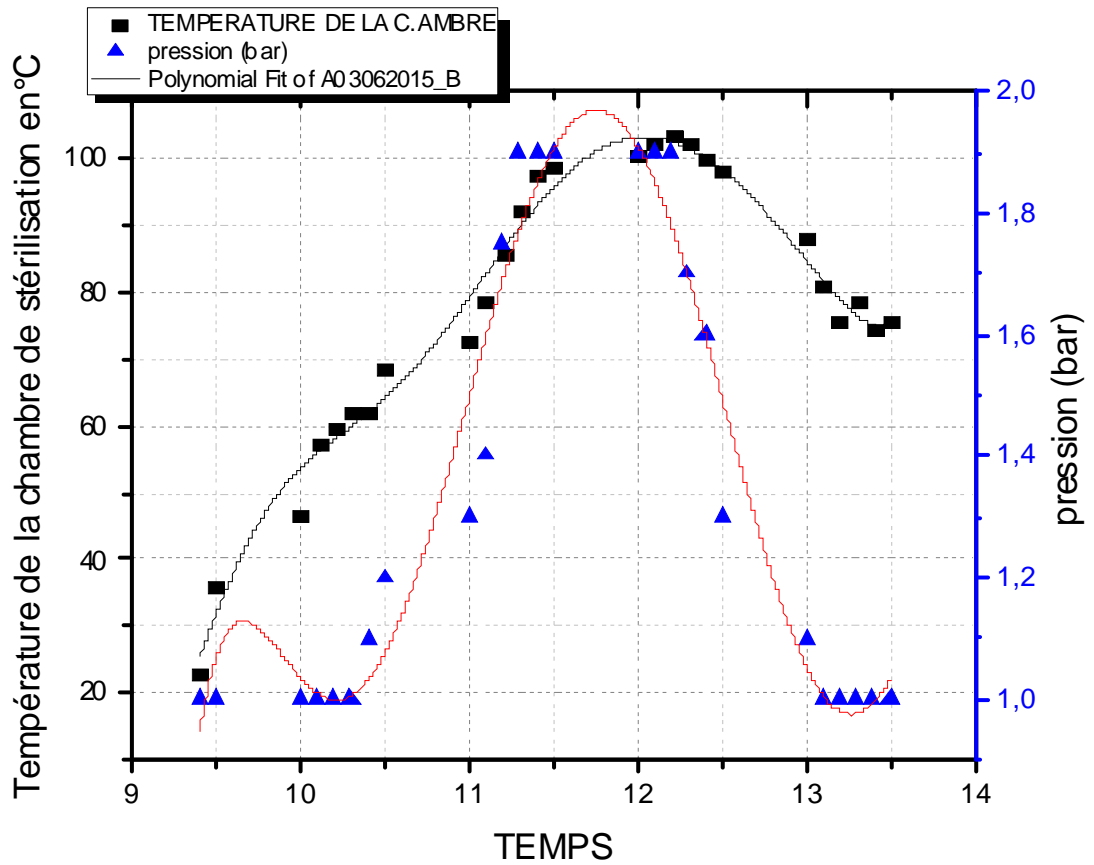


**Figure V.3 : le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer et à la surface de la cocotte en fonction du temps.**



**Figures V.4 - variation de différentes températures du système en fonction de temps.**

La figure nous permet de voir que l'éclairement direct est perturbé pendant toute la durée de l'essai à cause des passages nuageux telle qu'il atteint plus de  $900 \text{ W/m}^2$  et il descend jusqu'à moins de  $200 \text{ W/m}^2$  ce qui laisse la température instable au niveau de l'absorbeur et la température de l'eau croit lentement jusqu'elle dépasse les  $100^\circ\text{C}$  de quelques degrés puis elle se stabilise pendant un temps et puis elle décroît. La température du couvercle arrive jusqu'à  $60^\circ\text{C}$  par contre la température de la cocotte ne dépasse pas les  $36^\circ\text{C}$ , alors on constate que pour la réussite de la stérilisation on est obligé de mieux isoler le couvercle.



**Figure V.5 - le cycle de stérilisation pour la journée du 03/06/2015**

Dans cette figure, on voit clairement comment la température et la pression de la chambre de stérilisation croit jusqu'à une valeur max à 12H20 de 100 °C et 1,9 bar respectivement pendant une demi-heure puis la température chute lentement et la pression chute rapidement à cause de la perturbation de l'éclairage, des pertes thermiques et des pertes de pression ce qui n'est pas suffisant pour la stérilisation.



Expérience du 07/06/2015

Isolation du la cocotte par une seul couche de la laine de verre à travers le couvercle

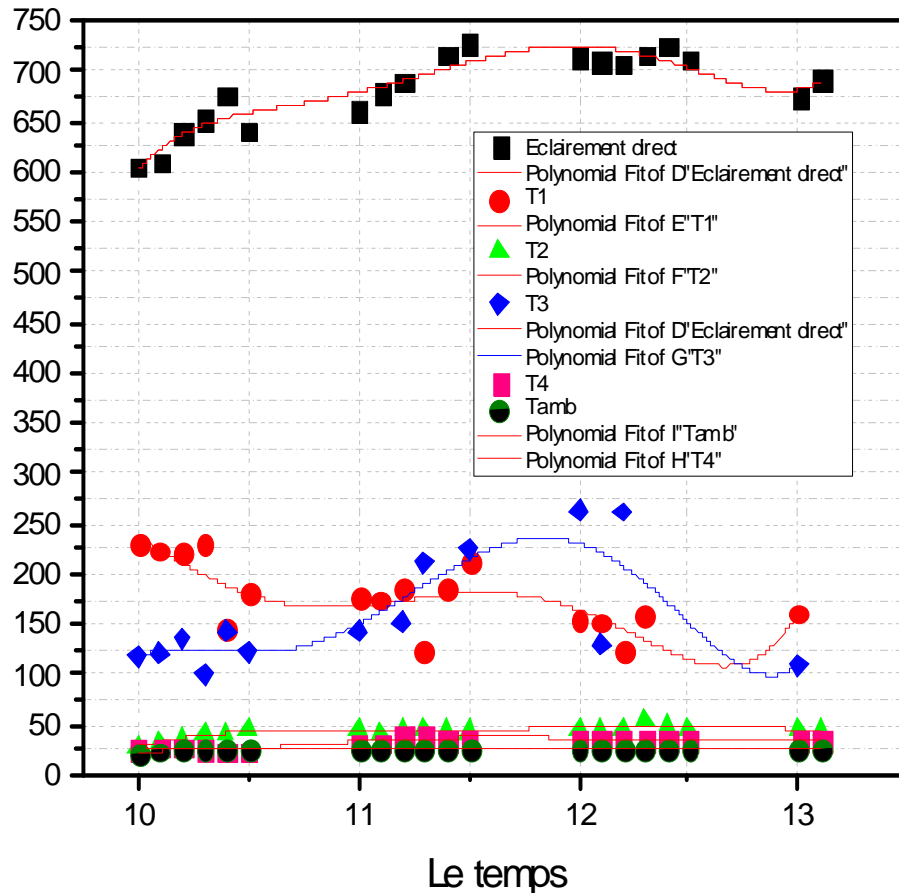
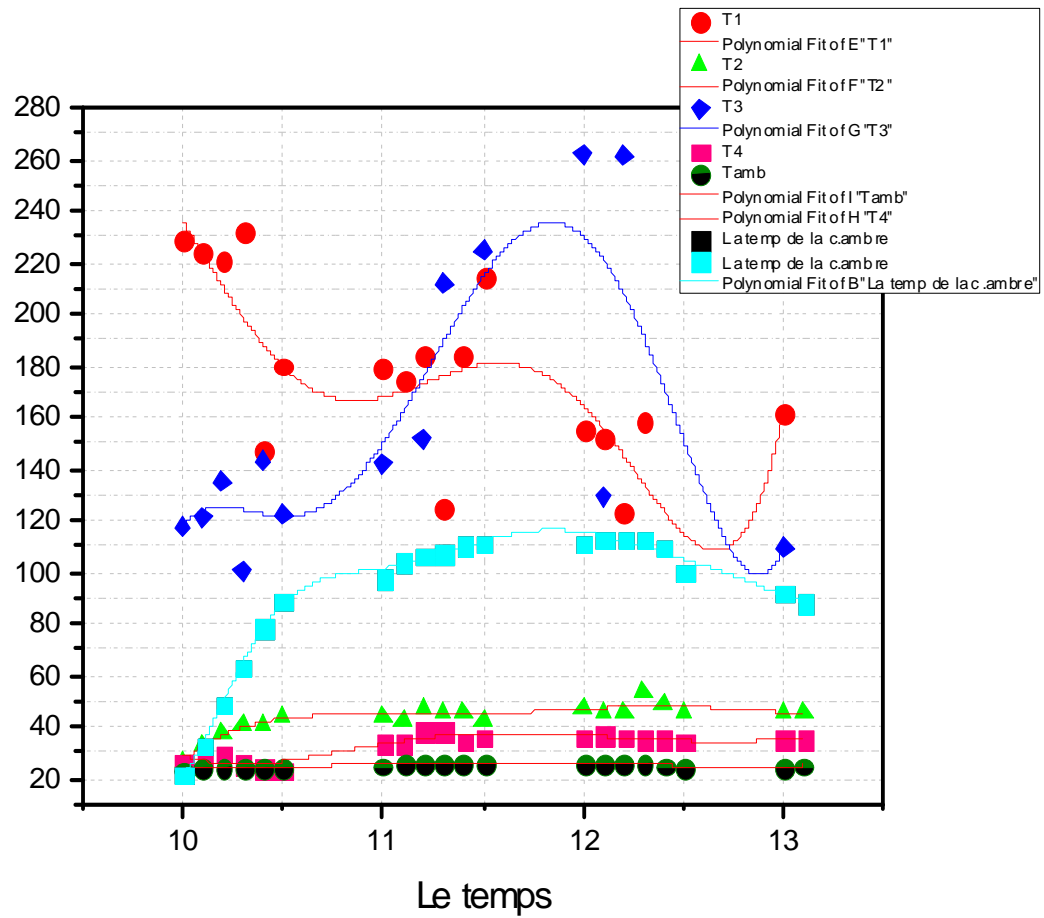


Figure V.6 - variation de l'éclairement direct et les différentes températures en fonction du temps.

Dans cette figure on voit que l'éclairement direct croit de  $600 \text{ W/m}^2$  jusqu'à  $725 \text{ W/m}^2$  respectivement de 10H00 à 11H40 puis il se stabilise pendant tout la période de l'essai ce qui empêche la température de l'air au point focal telle que celle de l'absorbeur d'augmenter alors que la température de la vapeur croit lentement jusqu'à atteindre les  $113 \text{ }^\circ\text{C}$  et puis elle se stabilise pendant une demi-heure puis elle chute aussi lentement que l'éclairement décroît.



**Figure V.7 - variation des différentes températures en fonction du temps le 07/06/2015**

On voit clairement dans cette figure la fluctuation de la température de l'absorbeur qui a est dû à la mauvaise poursuite solaire, ce qui ne peut pas valider la stérilisation. On remarque aussi que la température du couvercle est diminuée de 7°C (53°C au maximum) et la température latérale de la cocotte est de 38 °C sachant que la température ambiante n'a pas dépassée les 27°C .

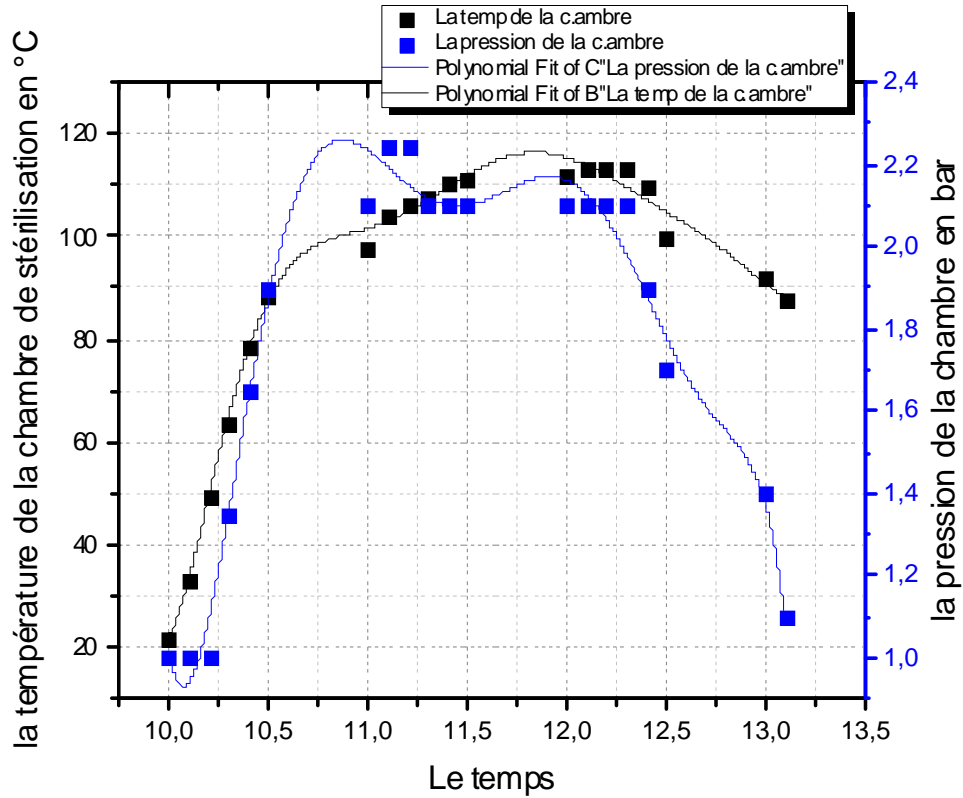


Figure V.8 - Cycle de stérilisation correspond à l'essai du 07/06/2015

Dans ce cycle il est claire que la température de la vapeur croit lentement jusqu'à elle arrive à une valeur max qu'est égale à 113 °C pendant 20 min et après elle chute, par contre la pression augmente un peu plus vite jusqu'à elle dépasse les 2,2 bars puis elle se stabilise à 2 bars pendant une heure et puis elle décroît ce qui n'est pas encore suffisant pour la stérilisation.

Expérience du 15/06/2015

Isolation de la cocotte par une couche de mousse polyuréthane plus une autre couche de laine de verre alors que le couvercle est isolé par une couche de la mousse polyuréthane seulement.

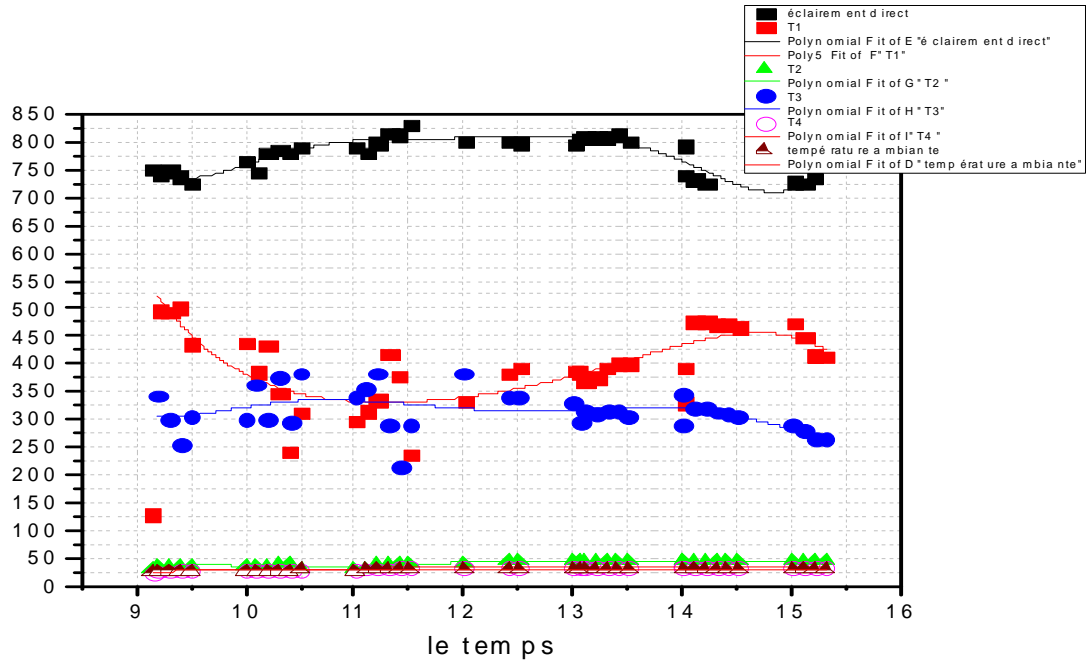


Figure V.9 - variation du rayonnement direct et des différentes températures du prototype en fonction du temps. Journée du 15/06/2015

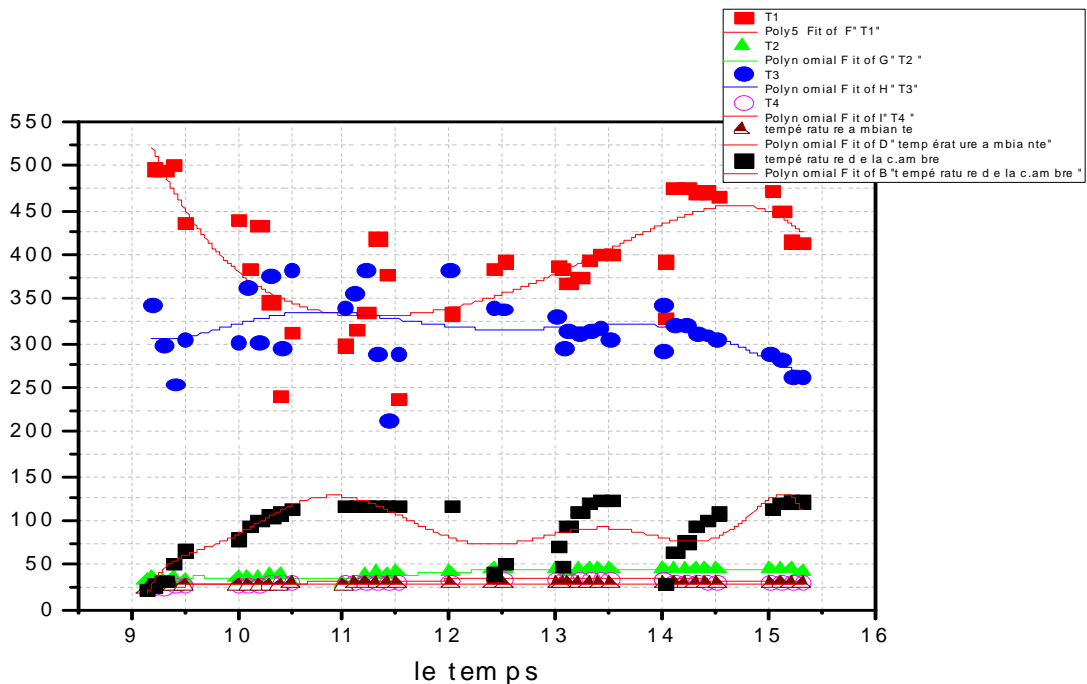
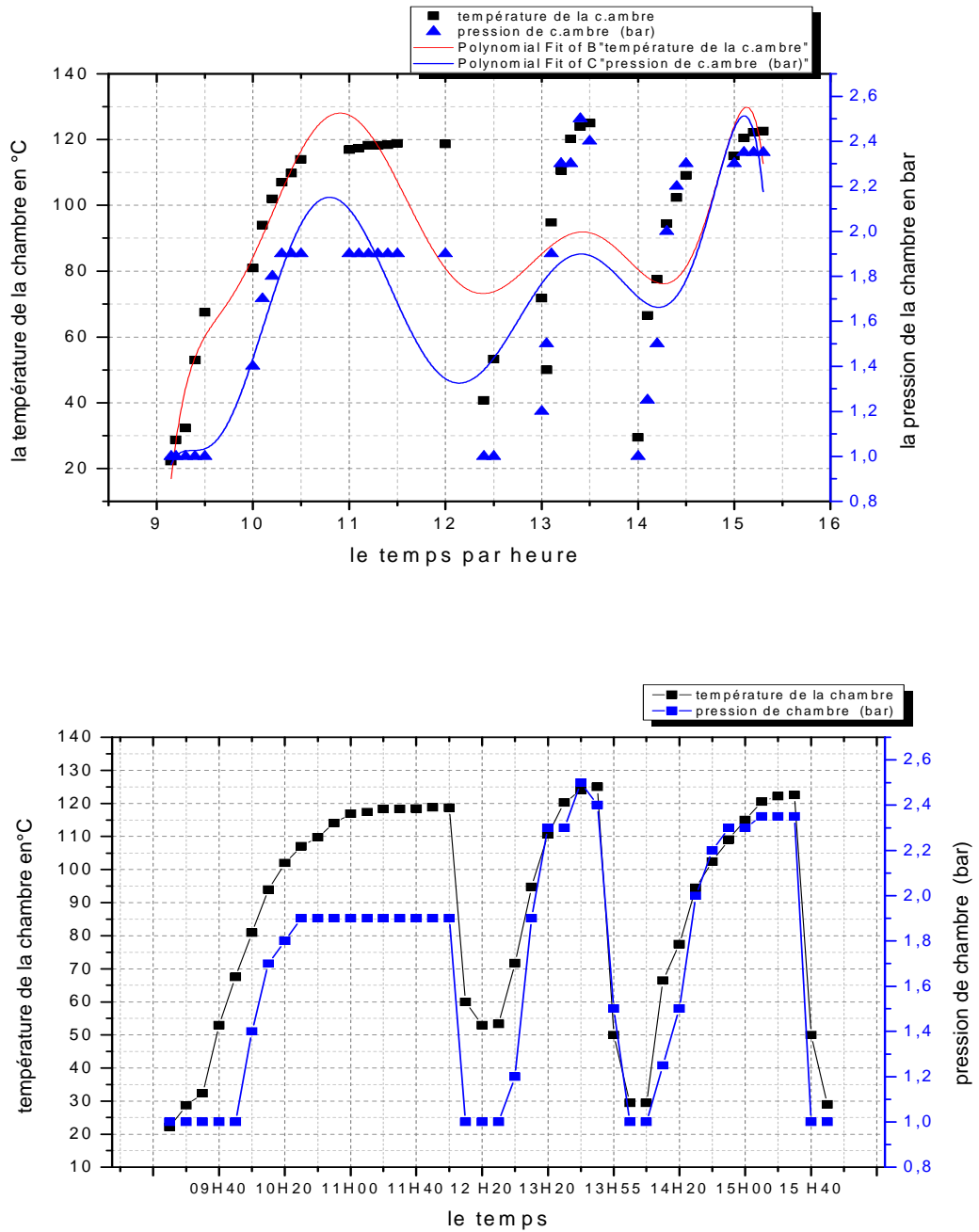


Figure V.10 - variation des différentes températures en fonction de temps. Journée du 15/06/2015

Les figures 9 et 10 nous montrent que le rayonnement direct croit de  $750 \text{ W/m}^2$  jusqu'à plus de  $825 \text{ W/m}^2$  pendant la période allant de 9H10 à 12H00 (la première stérilisation). Au début on a atteint une température à la zone focale égale à  $500^\circ\text{C}$  et celle de l'absorbeur est de  $350^\circ\text{C}$  et puis on remarque la fluctuation de la température durant la première stérilisation qui est due aux erreurs de poursuite (l'angle azimutal et la hauteur solaire varie rapidement et la zone d'absorption est petite) et la température de la vapeur augmente lentement jusqu'à  $118^\circ\text{C}$ . On note que dans cette première stérilisation on a eu une fuite de pression dans la cocotte (pertes de pression), dans la deuxième stérilisation, on a constaté que l'éclairement direct est constant à  $800 \text{ W/m}^2$  ce qui a permis la stérilisation (une heure) et on constate aussi que la température de l'absorbeur est de l'ordre de  $325^\circ\text{C}$  et la température de l'air à la zone focale est de l'ordre de  $400^\circ\text{C}$  sachant que la température de la vapeur atteint les  $125^\circ\text{C}$  ce valide les conditions de stérilisation. Pendant la troisième stérilisation on voit que l'éclairement direct décroît de  $750 \text{ W/m}^2$  à  $700 \text{ W/m}^2$  et la température de l'air au récepteur est importante aussi, elle est de  $475^\circ\text{C}$  puis elle décroît à  $400^\circ\text{C}$  mais la température de l'absorbeur descend de  $350^\circ\text{C}$  à  $250^\circ\text{C}$ . Cette différence de température est causée par le vent qui était présent l'après-midi. La température de la vapeur croît jusqu'à  $122.6^\circ\text{C}$  pendant une période d'une heure et demi et on note ici que l'eau est renouvelé.

On remarque que la température latérale de la cocotte n'a pas dépassé les  $35^\circ\text{C}$ , celle du couvercle n'a pas augmenté dessus de  $47^\circ\text{C}$ , et la température ambiante est de l'ordre de  $28^\circ\text{C}$  pendant toute la période d'essai.



**Figure V.11 - les cycles des stérilisations dans la journée du 15/06/2015**

Cette figure nous montre les trois cycles de stérilisation qu'on a obtenue dans lesquelles le premier cycle n'est pas correct car il ne vérifie pas les conditions nécessaires (121°C et 2 bars pendant 20 min).

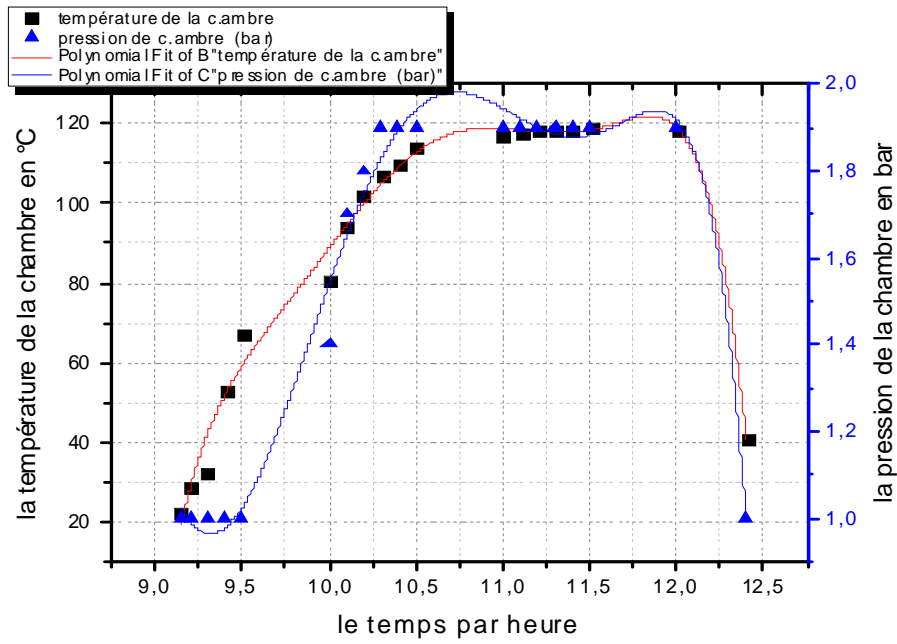


Figure V.12 - le cycle de la première stérilisation du 15/06/2015

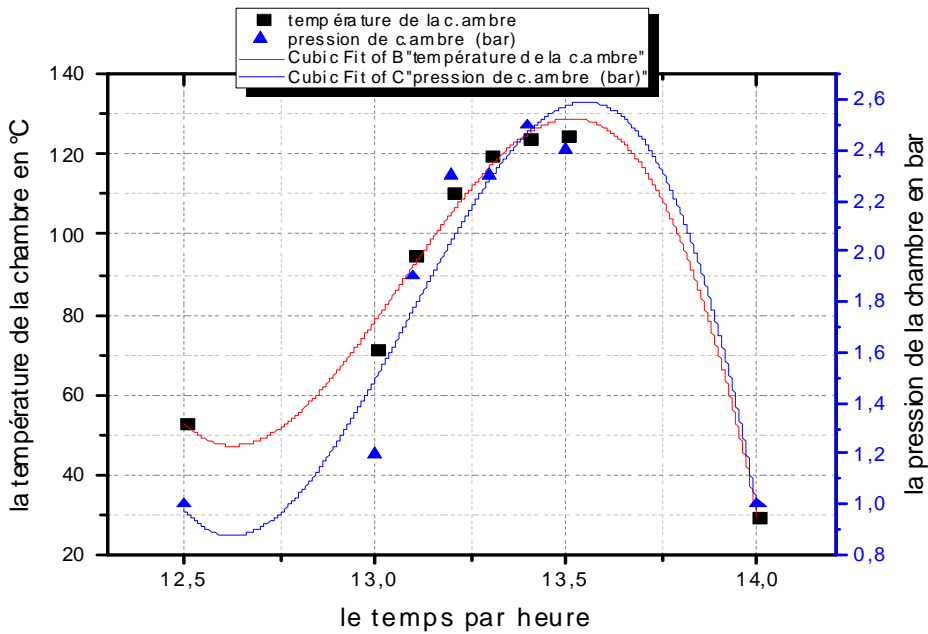


Figure V.13 - le cycle de la deuxième stérilisation du 15/06/2015

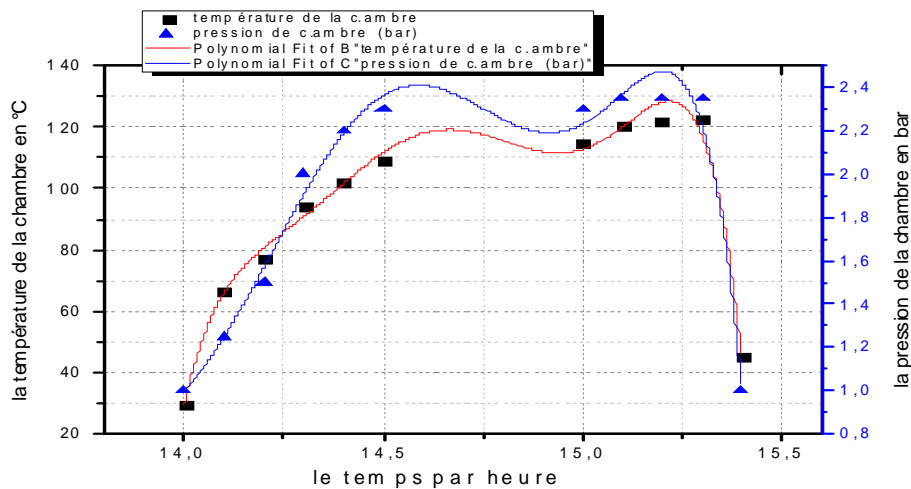


Figure V.14 - le cycle de la troisième stérilisation du 15/06/2015

## V.2 – Les erreurs de mesure

Comme dans tous les domaines des sciences technologiques, les mesures toujours contiennent des erreurs absolues et relatives, parmi les erreurs que nous rencontrée, on cite les :

- Erreurs des appareils de mesure,
- Erreurs de lecteur et d'emplacement d'appareils de mesure,



Photo V.2- les conditions de stérilisation.



## **Conclusion générale**

L'étude que nous avons réalisée porte sur un prototype de concentrateur parabolique. Elle nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et de prévoir la température que nous pouvons atteindre à l'ouverture du récepteur. Nous avons montré que cette température dépend de plusieurs facteurs dont 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 réfléchissante.

L'absence d'appareillage pour mesurer le rayonnement direct " le pyréliomètre " ne nous a pas permis d'établir théoriquement et avec une grande précision la température au niveau du récepteur.

L'utilisation de ce concentrateur pour le chauffage d'eau avec un fluide stationnaire au niveau du récepteur est peu intéressante à cause de la température de stagnation atteinte au bout d'un temps très court. Le rendement du concentrateur devenant nul après un certain temps de chauffage, il faut procéder au changement du contenu du récepteur, ce qui nous permet de conclure que ce type de modèle ne peut être utilisé de façon continue toute la journée. Le temps d'utilisation de ce modèle dépend de la nature de l'application qu'on veut réaliser.

Enfin, le système réalisé a permis de vérifier les conditions de stérilisation de type autoclave. Nous avons ainsi pu réaliser trois stérilisations avec succès dans la journée où les conditions météorologiques étaient quasiment moyennes et prouver que ce système est fonctionnel et s'adapte parfaitement à notre environnement.

Nous recommandant à travers cette étude la généralisation de ce type d'appareil tant utile qu'indispensable dans les centres de santé situés dans les zones enclavées du pays.

## REFERENCES

- [1] American Society for Healthcare Central Service Professionals, Training Manual for Central Service Technicians, Fifth Edition, 2006, Chapter 7.
- [2] Central Service Technical Manual, Sixth Edition, Edited by J. D. Ninemeier, published by International Association of Healthcare Central Service Materiel Management, 2003 Chapters 9 and 10.
- [3] Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Guidelines for the selection and use of reusable rigid sterilization container systems for ethylene oxide sterilization in health care facilities, ANSI/AAMI ST33:1996.
- [4] Perkins, John J., Principles and Methods of Sterilization in Health Sciences, 2 Ed., Charles C. Thomas, 1983.
- [5] Association of periOperative Registered Nurses, Standards, Recommended Practices, and Guidelines. Recommended Practices Sterilization, 2006.
- [6] Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Steam sterilization and sterility assurance in health care facilities, ANSI/AAMI ST46:2002.
- [7] <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11335>
- [8] MEHDI N. BAHADOR, Design of a solar autoclave, college of engineering Pahlavi university, Shiraz, Iran, 1975.
- [9] Ms. Barbara Prosser Kerr and Mr. James Scott, Use of the solar panel cooker for medical pressure steam sterilization, USA
- [10] M.N. Dravid et al. / Journal of Hospital Infection 80 (2012) 345-347, India
- [11] <http://phys.org/news/2013-02-sterilizing-sun-solar-fuel-powered-electric.html>
- [12] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz**, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, 1979
- [13] **J.M. Chassériaux**, Conversion thermique du rayonnement solaire, Bordas Paris. 1984

[14] <http://www.france-energie-solaire.info/energie-solaire.html>

[15] **C.Zidani ,F.Benyarou**, Simulation de la position apparente du soleil et estimation des Energies Solaires incidentes sur un Capteur Plan pour la Ville de Tlemcen en Algérie. *Rev.Energ.Ren, Vol.6, pp69-76,2003.*

[16] **F.G.Acién Fernandez, F.Garcia Camacho**, Modeling of Biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal Cultures, Effects of Dilution Rate ,tube diameter and solar irradiation, *Biotechnology and bioengineering. Vol 58, N: 6pp605-616 (1998)*

[17] **Retscreen** ,Photovoltaic Background, International Renewable energy decision support centre, Resources Canada 2001-2002. [www.retsceeren.net](http://www.retsceeren.net).

[18] **B.Stine, Michael Geyer**, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.

[19] **U.H.Kurzweg ,J.P.Benson** ,'Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators ', *Solar energy .Vol.29,No.2,pp167-174,1982.*

[20] **Dan dye, Byard Wood**,''Non-imaging devices for uniform irradiation on Planar Surface For parabolic Concentrators "', *Semi-Annual Technical Progress Report August 2002-April 2003. Nevada. Report 41164R03.*

[21] **M.Srinivasan, L.V.Kulkarni**, A simple technique of fabrication of parabolic concentrators. *Solar energy, volume 22, pp 463-465.Novembre 1978*

[22] **A.Steinfeld et R.Palumbo** , Solar thermochemical process technology. *Encyclopedia of physical science et technology .vol.15.pp.237-256.2001*

[23] **S.Bonned. et A.Alaphilippe**, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance. *Energ. ren :11<sup>eme</sup> journées internationals de thermique. pp.73-80. 2003.*

[24] McFarland, R.D, "PASOLE: A General Simulation Program for Passive solar Energy", LASL Report LA -7433-MS, Los Alamos, 1978.

[25] **D.Kedwards, L.Marlot**, Capteurs Solaires, *Edition S C M, Paris 1979.*

[26] [www.asal-dz.org](http://www.asal-dz.org), 'Apport de la Télédétection pour la Production d'un Atlas du Gisement solaire'

[27] A.BEN JAMAA et C.DELORME, 'Détermination quotidienne, en tous les points d'une région, de l'évolution de l'éclairement solaire utilisable à partir d'images de météosat', J.Phys. III France 2, 847-858, 1992.

[28] A.ZEROUAL, 'Contribution à l'étude statistique et stochastique des données solaires au site de Marrakech',

Diplôme d'étude supérieur de 3<sup>ème</sup> cycle sciences physiques, spécialité traitement du signal, Université CADI AYYAD, 1988.

[29] [www.titec-gmbh.de](http://www.titec-gmbh.de)

[30] « *La ressource solaire : importance et moyens de caractérisation* », **P.Blanc, B.Espinar, L.Wald dans L'énergie à découvert, CNRS Editions**

[31] <http://portail.cder.dz/station/radiometrique.png>

[32] <http://www.ers.fr/hyper.htm> par Patrick F5ORF

Le tableau de rayonnement et la distribution de température au niveau du foyer.

Le temps	T1'	T2'	T3'	T4'	Tam	le direct
19/05/2015 09:19	146,4	171,6	138,6	158,7	26,5	440,13335
19/05/2015 09:24	104	108,9	101,8	113	26,1	168,49198
19/05/2015 09:38	137	98,4	146,7	110,1	26,8	315,60505
19/05/2015 09:47	247,2	170,6	228,4	186,3	26,6	526,85487
19/05/2015 09:58	150,1	148,9	139,3	156	25,7	384,49425
19/05/2015 10:07	181,3	166,2	184	178,4	26,2	246,70166
19/05/2015 10:18	184,7	210,9	171,7	205,3	27	575,16669
19/05/2015 10:28	92,9	87,6	91,9	93,8	24,4	175,06739
19/05/2015 10:38	281,6	224,3	236,7	289,5	23,4	704,36232
19/05/2015 10:48	295,2	226,7	239,2	266,8	22,6	705,27734
19/05/2015 10:58	238,8	232,9	206,1	311,7	22,7	746,75841
19/05/2015 11:08	305,7	252,1	265,7	352,6	22,8	784,61484
19/05/2015 11:18	96,9	92,1	96,3	98,7	23	178,93318
19/05/2015 11:28	251,3	238,8	205	232,4	22,7	746,90027
19/05/2015 11:38	265,1	243,1	229,4	226	22,8	607,34147
19/05/2015 11:48	121,4	113,2	120,2	122,6	23,3	153,56079
19/05/2015 11:58	41,7	40,3	42,2	43	24,3	19,194212
19/05/2015 12:08	30,6	30,6	30,8	31,1	24,1	38,24656
19/05/2015 12:18	75,2	78,9	72,5	78,8	21,8	320,4639
19/05/2015 12:28	112,4	109,2	110	117,4	23,3	423,40758
19/05/2015 12:38	187,6	178	179,8	261,6	26,3	785,69301
19/05/2015 12:49	237,1	212,9	212	210,6	25,2	662,03008
19/05/2015 12:53	202,7	183,7	183	159,7	26,2	150,76607
19/05/2015 13:03	139,1	142,2	130,4	173,7	26,6	560,27096
19/05/2015 13:07	113	106	104,9	113,7	26,6	427,23081
19/05/2015 13:18	237,7	242	211,4	223,5	26,1	802,64577
19/05/2015 13:28	168,9	173,4	149,1	158,7	26,3	598,91474
19/05/2015 13:38	179,9	141,2	165,1	200,8	25,3	455,44758
19/05/2015 13:48	64,4	61,5	64,1	68,8	25,5	110,98028
19/05/2015 13:58	41,2	40,8	41,3	41,8	25,9	119,48503
19/05/2015 14:08	112,9	95,8	129,8	115,5	26,4	335,57951
19/05/2015 14:18	137,8	109	178,6	137,1	26,2	552,63158
19/05/2015 14:28	62,9	59	67,6	64,6	27,2	198,56008
19/05/2015 14:43	57,2	63,9	53,5	79,5	26,7	211,03703

## Les tableaux de stérilisation

3/06/2015 0,5L eau					Vitesse de vent m/s					
TEMPS	TEMPERATURE DE LA CHAMBRE	pression (bar)	éclairage direct			T1	T2	T3	T4	Tamb
09:40	23	1	651,4		0	150,2	29	45,9	32,1	22,5
09:50	35,7	1	697,6		0	304,9	30,1	72,6	33,1	22,6
10:00	46,5	1	697,69		0	201,1	34,2	34,9	32,9	22,9
10:10	57,3	1	357,24		0,5	119,6	42,9	140,4	34	23,3
10:20	59,5	1	548,87		0	164,8	48,1	250,3	34	23,2
10:30	61,9	1	732,78		0,5	223,6	40,3	256,5	35,4	25,2
10:40	62,1	1,1	209,05		1,2	113,7	47,8	55,3	34,7	23,5
10:50	68,3	1,2	760,29		0	192,6	55,3	275,9	36,5	23,4
11:00	72,5	1,3	765,88		0,7	157	55,7	110,2	34,6	23,5
11:10	78,5	1,4	764,91		1,3	346,3	52,7	172,9	35,2	23,7
11:20	85,4	1,75	785,71		1	219,2	61,8	241,8	35,2	23,7
11:30	92,3	1,9	780,99		0,6	269,3	59,6	202,8	32,9	24,3
11:40	97,4	1,9	576,22		0,5	251,6	58,3	202	32	24,1
11:50	98,3	1,9	765,8		0	349,4	57	152,6	33	25,8
12:00	100,1	1,9	764,86		0,8	278,7	54,2	197,2	31,6	24,5
12:10	102	1,9	804,5		1,2	242,2	54,3	281,7	33,5	24,2
12:20	103,3	1,9	417,57		2,6	125,6	48,1	113,2	30,4	23,9
12:30	102	1,7	184,42		1,5	36,2	46,3	41,1	29,8	23,6
12:40	100	1,6	38,296		1,1	68,6	44,5	21,4	29,5	23,9
12:50	97,8	1,3	94,063		1,8	100,1	40,4	41,6	30,4	23,7
13:00	88	1,1	860,05		1,8	292,8	36,8	41,6	33,6	23,6
13:10	81	1	912,96		2,5	294,9	41	65,6	33,3	23,6
13:20	75,6	1	150,44		1,8	58,1	34	11,9	28,6	24,1

## L'annexe A

13:30	78,6	1	802,55	0,8	263,1	35,5	159,2	29,2	23,7
13:40	74	1	813,75	2,5	216,4	39,9	264,1	31,3	23,7
13:50	75,6	1	757,11	2	204,7	35,7	150,6	28,7	23,4

le 07/06/2015									
Le temps	La temp de la chambre	La pression de la chambre	Eclairage direct	T1	Vitesse de vent en m/s	T2	T3	T4	Tamb
10:00	22	1	605,299	229	0	26	117,3	26,7	23,4
10:10	33	1	610,03	224	1	32	121,5	28,7	23,9
10:20	49,2	1	639,268	220,4	0,5	38	135,4	29,6	24,1
10:30	63,5	1,35	652,483	231,7	0,7	40	100,3	25,6	24,4
10:40	78,5	1,65	676,053	146,9	0,4	40	143	23,9	24,5
10:50	88,8	1,9	643,084	180,2	0,6	44	122	23,7	24,7
11:00	97,6	2,1	661,959	179	0,5	44	142,5	33,9	25
11:10	104	2,25	678,869	174,7	0,8	42	73,7	33,6	25,5
11:20	106,5	2,25	690,233	184,4	0,4	47	151,9	38,8	25,8
11:30	107,5	2,1	655,377	125,3	0	45	212,1	38,7	26,2
11:40	110,5	2,1	718,563	184,8	1,9	46	93,6	34,7	25,8
11:50	111,5	2,1	729,054	214,6	0,9	43	224,6	36	25,7
12:00	111,7	2,1	715,804	155,9	0,5	47	262,6	36,1	25,9
12:10	113,5	2,1	710,087	152,8	0,5	46	129,7	36,7	25,4
12:20	113,5	2,1	708,086	123,2	0,8	45	261,6	36,4	25,7
12:30	113,5	2,1	716,655	158,9	0,6	53	99,3	35,1	25,5
12:40	110	1,9	726,032	55,2	0,6	49	71,2	35,2	25
12:50	100	1,7	711,909	38	0,5	45	52,4	34,3	24,8
13:00	92	1,4	675,16	161,5	0,6	46	109,2	35,6	24,8

## L'annexe A

13:10	88	1,1	693,084	51	0,5	45	70,2	35,1	25
-------	----	-----	---------	----	-----	----	------	------	----

0.5 Kg d'eau	15/06/2015								
le temps	température de la chambre	pression de chambre (bar)	Tamb	Vitesse De vent m/s	éclairage direct	T1	T2	T3	T4
09:15	22,2	1	23	0	752,763	129	31,3	61,6	23
09:20	28,7	1	26	0	741,543	497,5	35,8	343,1	26
09:30	32,3	1	26	0	749,933	495,9	32,6	299	26
09:40	53	1	26	0,4	738,578	502	36,4	254,8	27
09:50	67,5	1	27,5	0,4	725,64	437,5	33,8	305,7	28
10:00	80,9	1,4	27,5	0,7	765,97	440,3	35,7	300,8	28
10:10	94	1,7	27,5	0,5	745,687	385,7	34,3	363,5	28
10:20	102	1,8	27,5	0,7	780,41	433,7	34,3	300,9	29
10:30	107	1,9	27,5	0,7	785,546	347,5	39,3	378,2	30
10:40	109,8	1,9	27,5	0,7	782,682	241,7	40,6	294,4	30
10:50	114	1,9	29	1,9	791,611	312,9	29,9	383,9	30
11:00	116,9	1,9	27	0,8	792,756	299,1	29	341,2	30
11:10	117,4	1,9	29,8	2,8	780,795	316,1	27,7	357	31
11:20	118,3	1,9	29	1	799,259	336,1	37,8	383,5	31
11:30	118,3	1,9	29	1,3	817,116	420	40,9	289,7	31,1
11:40	118,4	1,9	29	1	814,185	379	40,3	215,2	31,5
11:50	118,8	1,9	29	0	831,132	237,6	40,8	288,9	31,7
12:00	118,7	1,9	29	0	802,392	334,6	42,3	383,4	33,2
12 :10	51	1	29	0					
12 :20	30	1	29	0,4					
fin de la première stérilisation									



Le temps	Temp de la chambre	Pression de la chambre	Tamb	Eclairage direct	T1	T2	T3	T4
12:40	40,7	1	29	803,235	384,7	44,6	341,4	35
12:50	53,3	1	29	799,764	393,9	44,4	339,5	34,5
13:00	71,7	1,2	29	797,877	388,9	44,7	331,3	34,2
13:10	94,8	1,9	29	810,377	369,1	43,7	313,8	34,1
13:20	110,6	2,3	29	810,377	376	44	312,1	33,8
13:30	120,2	2,3	29	810,377	394,2	44,7	314,9	34,1
13:40	124	2,5	29	815,633	401,7	45,4	317,4	34,6
13:50	125	2,4	29	802,291	401,9	45,7	305,4	34,4
13:55	50	1,5	28					
14:00	29,5	1	29	794,205	393,6	47	292,2	34,7

masse de vapeur =0,15Kg

Le temps	Température de la chambre	Pression de la chambre	Tamb	Eclairage direct	T1	T2	T3	T4
14:01	29,5	1	29	742,08	329,8	47,2	345,4	35,6
14:10	66,5	1,25	29	733,76	476,5	45,4	321,9	33
14:20	77,5	1,5	29	725,91	477,5	45,6	321	32,8
14:30	94,5	2	29	706,67	471,5	45,6	313,1	33,2
14:40	102,4	2,2	29	429,75	471,1	45,3	310,1	32,5
14:50	109,1	2,3	28	711,49	467	45,1	305,2	32,6
15:00	115	2,3	28	728,81	473,6	45,1	288,6	32,4
15:10	120,5	2,35	29	727,32	449,7	44,5	281,9	32,7
15:20	122,2	2,35	28	735,92	416,2	44,2	263,4	32,5
15:30	122,6	2,35	29	303,37	413,7	43,7	263,8	32,5
15 :40	50	1,5						
15 :50	29	1						

Calcule des grandeurs globales

La quantité de chaleur absorbée :

$$Q_a = I_a \cdot A_a \cdot \eta_{op}$$

**Si on prend un éclairement direct moyen de 750 w/m<sup>2</sup> et le rendement optique est de 63% :**

On obtient

Application numérique :

$$Q_a = 750 \cdot 0.63 \cdot 0.7 = 330.75 \text{ W}$$

Calcule des pertes :

$$Q_p = Q_{p_{cv}} + Q_{p_r}$$

**- Pertes par convection**

$$Q_{p_{cv}} = h_{cv} A_r (T_r - T_a) + A_l h_{cv} (T_l - T_a)$$

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0V$$

vitesse de vent est de 2 M/S

La température moyen de récepteur, température de l'isolant moyen et celle de l'ambiance son respectivement: 350°C 40°C et 29°C.

Application numérique :

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0 \cdot 2 = 7.8 \text{ W/M}^2\text{K}$$

$$Q_{p_{cv}} = 7.8 \cdot 0.0056(350 - 29) + 7.8 \cdot 0.193 \cdot (40 - 29) = 30.58 \text{ W/M}$$

**- Pertes par rayonnement :**

$$Q_{p r} = \varepsilon \cdot \delta \cdot A_r (T_r^4 - T_a^4)$$

$\varepsilon$ : facteur émissivité de l'absorbeur soit égal à 0.4

$\delta$  : constante de Stefan –Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}^4$ )

Application numérique :

$$Q_{p r} = 0.0056 * 0.8 * 5.67 * 10^{-8} * (623^4 - 302^4) = 36 \text{ W}$$

$$Q_{p r} = h_r A_r (T_r - T_a)$$

Application numérique :

$$h_r = \frac{Q_{p r}}{A_r (T_r - T_a)} = 20 \text{ W/M}^2$$

$$Q_p \approx 67 \text{ W}$$

$$Q_u = Q_a - Q_p = 264 \text{ W}$$

$$Q_u = [M_e * C_e * \Delta T + M_{al} * C_{al} + M_{vap} * L_{vap}] / t$$

$T_{ie}$  : température initiale de l'eau

$T_{fe}$  : température finale de l'eau

$$\Delta T = T_{fe} - T_{ie}$$

$L_{vap}$  : Chaleur latente de vaporisation de l'eau

$M_{al}$  : Masse de la cocotte

$C_{al}$  : Capacité calorifique de la cocotte

$T$  : temps de chauffage

En moyen environ 50 min =3000 s

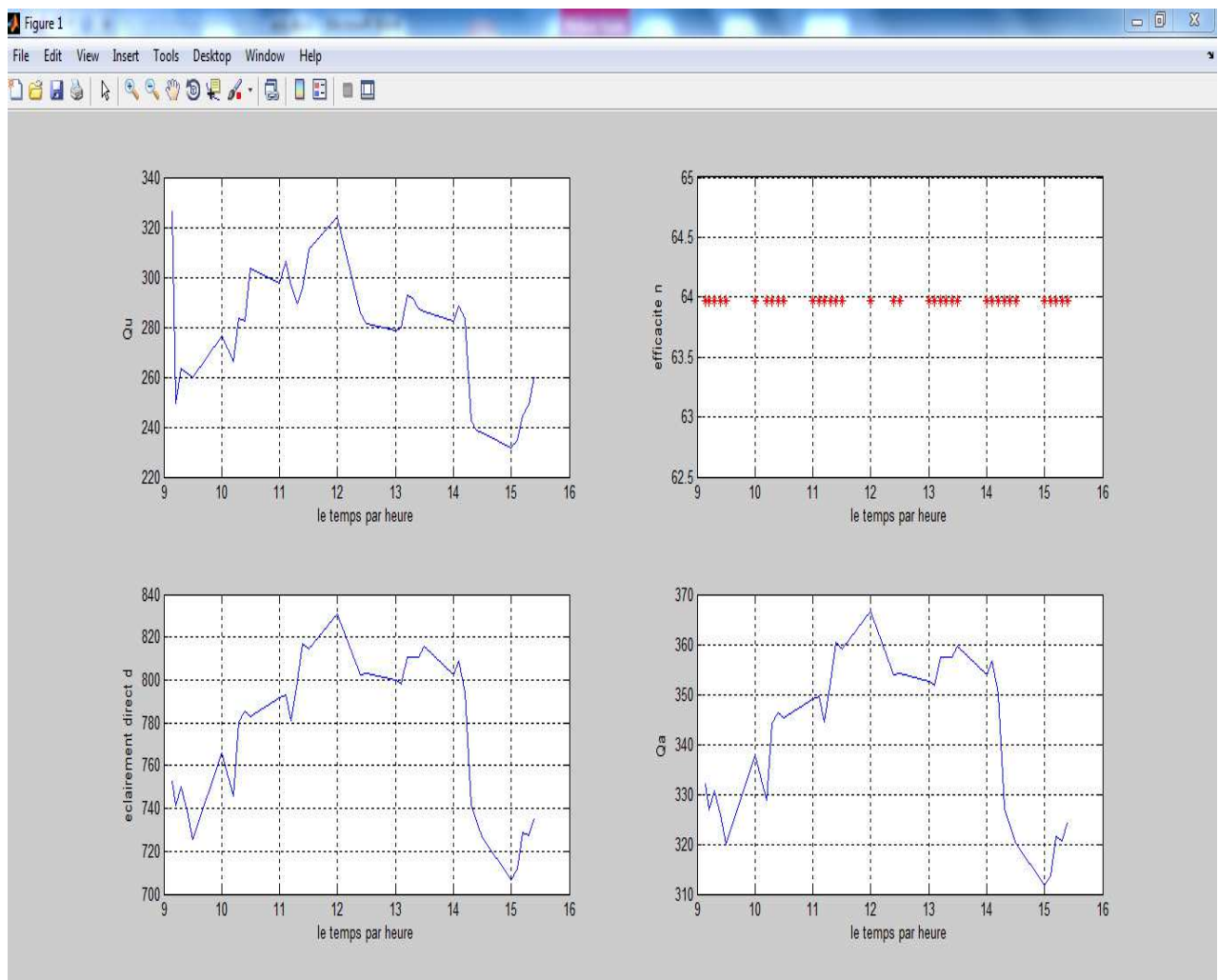
Application numérique :

$$Q_u = [0.5 * 4.18 * (120 - 25) + 0.15 * 2200 + (2.6 * 0.902) * (120 - 25) + ] / 3000 = 250 \text{ W}$$

**Efficacité du concentrateur**

$$\xi = \frac{Q_u}{I_a A_a} = \frac{264}{750 * 0.0056} = 62.8 \%$$

Présentation de bilan énergétique graphiquement de l'expérience du 15/06/2015



Le tableau de comparaison entre le cycle classique de stérilisation autoclave et celui que on a obtenue pendant nos expériences

le temps par min	température théorique	pression théorique	température expérimenta l	pression expérimenta l	L'erreur relative de temp %	L'erreur relative de pression %
0	71,07368421	1	66,5	1,25	6,43513	25
10	101,9421053	1,260526316	94,5	1,5	7,300325	18,99791232
20	110,2631579	2,085526316	102,4	2	7,131265	4,100946372
30	115,9	2,1	109,1	2,2	5,867127	4,761904762
40	118,5842105	2,1	115	2,3	3,022502	9,523809524
50	120,1947368	2,1	120,5	2,3	0,253974	9,523809524
60	120,4631579	2,1	122,2	2,35	1,441804	11,9047619
70	120,1947368	2,114473684	122,6	2,35	2,001139	11,13876789
80	105,7	2,1	50	1	52,69631	52,38095238
<b>L'erreur relative globale %</b>					<b>8,614958</b>	<b>14,73328647</b>

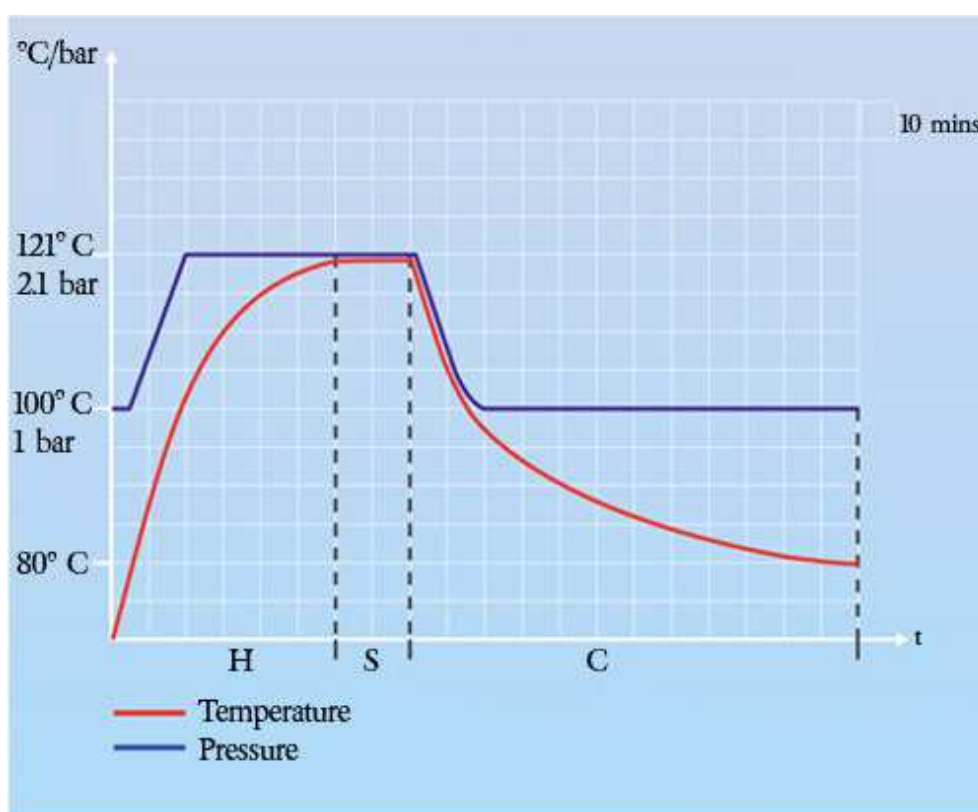


Figure :cycle de stérilisation d'un autoclave [\*].

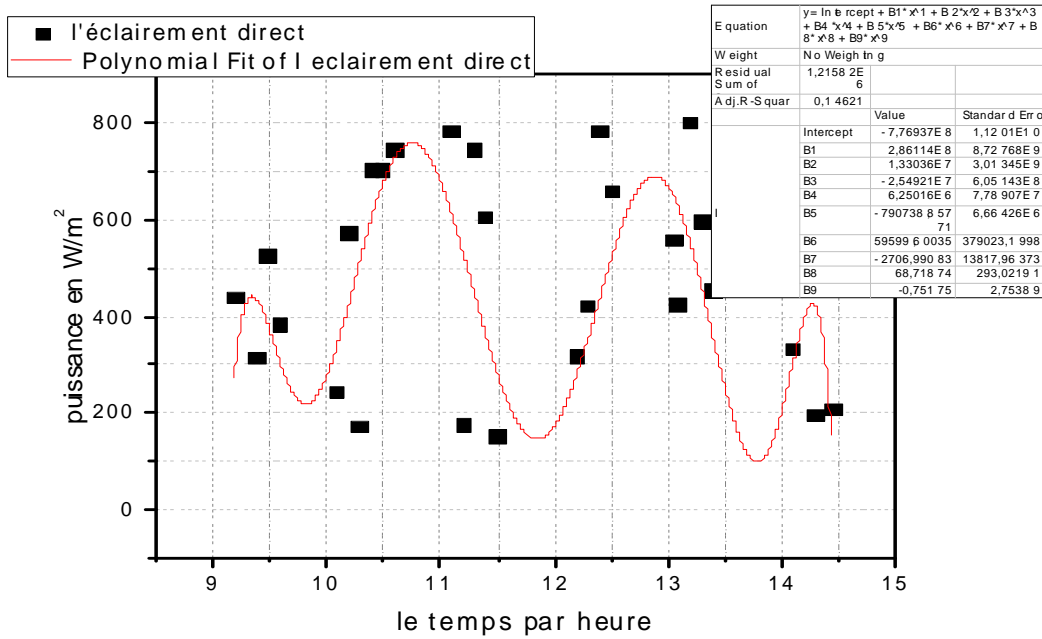


Figure : données le lissage de l'essai du 19/05/2015

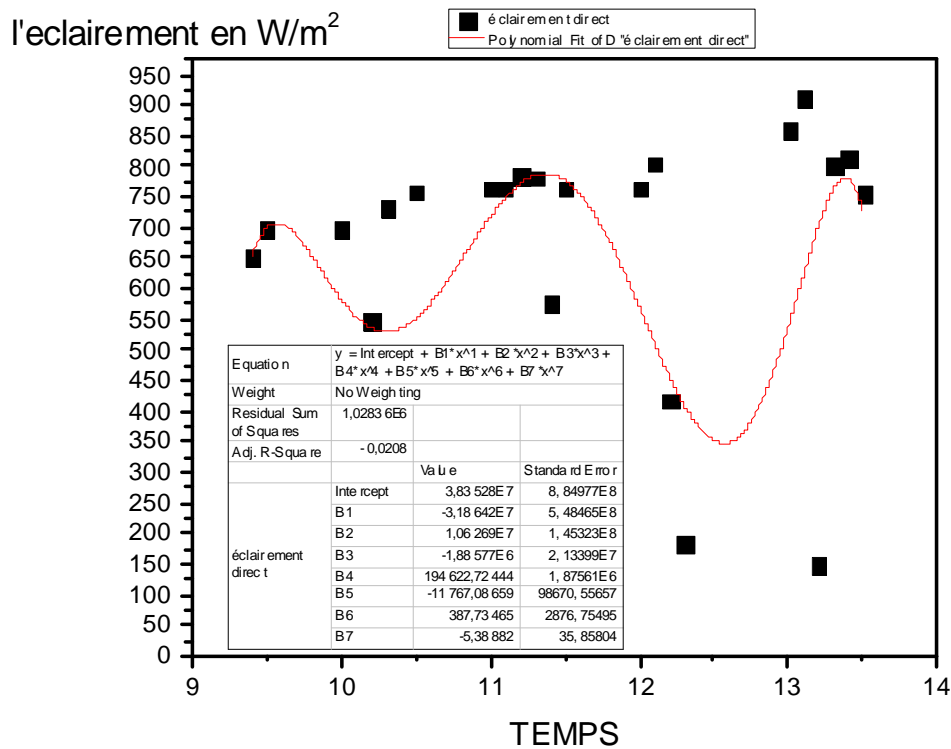


Figure : données le lissage de l'essai du 03/06/2015

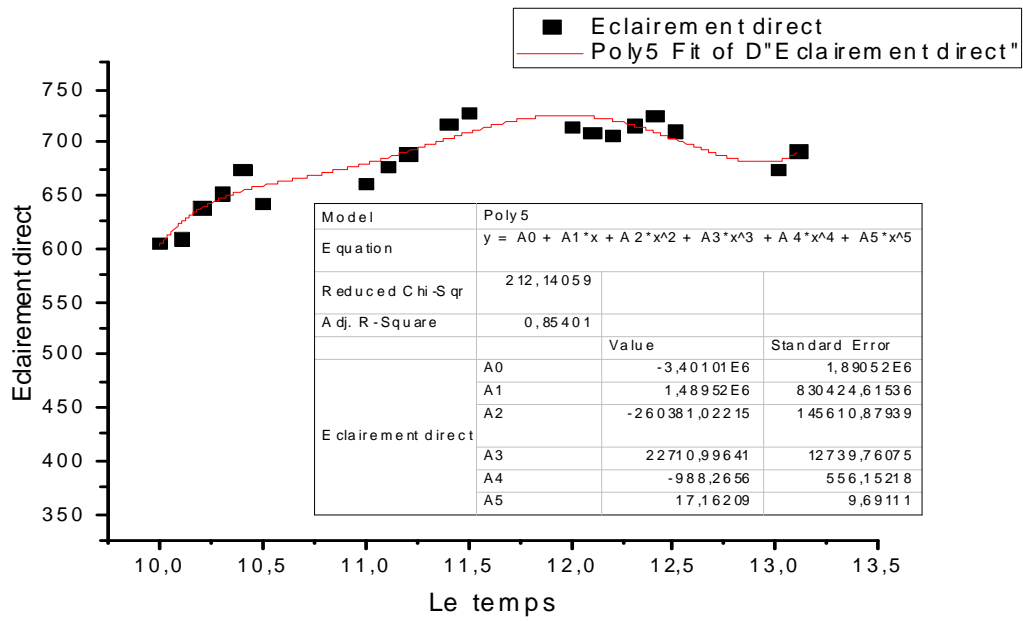


Figure : données le lissage de l'essai du 07/06/2015

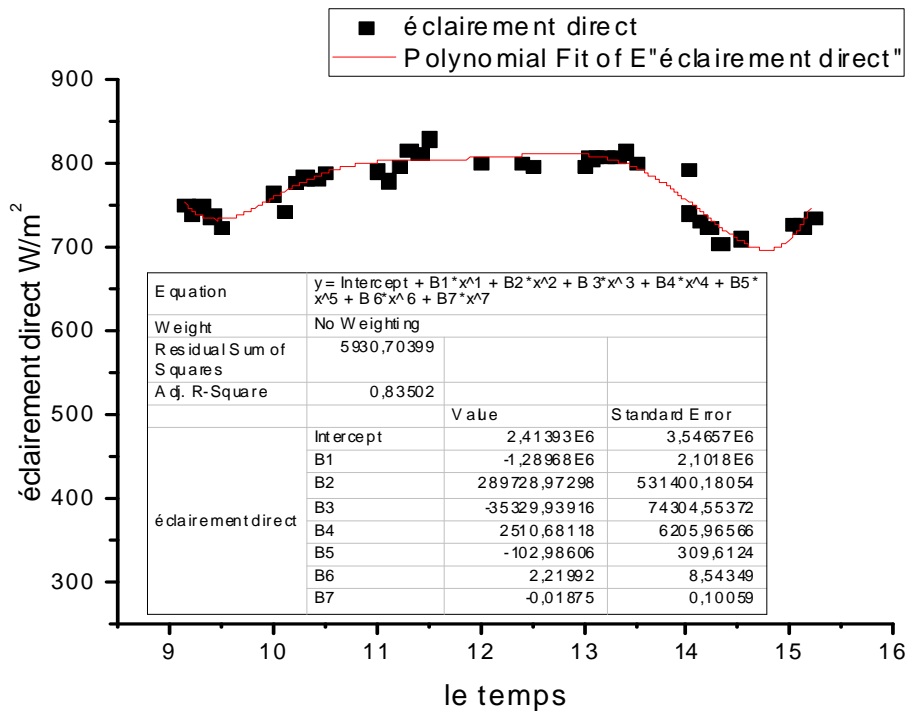


Figure : données le lissage de l'essai du 15/06/2015

## L'erreur absolue et relative pour l'essai de 15/06/2015 :

le temps	L'erreur absolue				L'erreur relative			
	l'erreur en $\pm^{\circ}\text{C}$ de la temp T1	l'erreur en $\pm^{\circ}\text{C}$ de la temp T2	l'erreur en $\pm^{\circ}\text{C}$ de la temp T3	l'erreur en $\pm^{\circ}\text{C}$ de la temp T4	l'erreur en $\pm\%$ de la temp T1	l'erreur en $\pm\%$ de la temp T2	l'erreur en $\pm\%$ de la temp T3	l'erreur en $\pm\%$ de la temp T4
09H15	1,516	1,5	1,5	1,5	1,175194	4,792332	2,435065	6,521739
09H20	1,99	1,5	1,5	1,5	0,4	4,189944	0,43719	5,769231
09H30	1,9836	1,5	1,5	1,5	0,4	4,601227	0,501672	5,769231
09H40	2,008	1,5	1,5	1,5	0,4	4,120879	0,588697	5,555556
09H50	1,75	1,5	1,5	1,5	0,4	4,43787	0,490677	5,357143
10H00	1,7612	1,5	1,5	1,5	0,4	4,201681	0,49867	5,357143
10H10	1,5428	1,5	1,5	1,5	0,4	4,373178	0,412655	5,357143
10H20	1,7348	1,5	1,5	1,5	0,4	4,373178	0,498504	5,172414
10H30	1,5	1,5	1,5	1,5	0,431655	3,816794	0,396616	5
10H40	1,5	1,5	1,5	1,5	0,620604	3,694581	0,509511	5
10H50	1,5	1,5	1,5	1,5	0,479386	5,016722	0,390727	5
11H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,501505	5,172414	0,439625	5
11H10	1,5	1,5	1,5	1,5	0,474533	5,415162	0,420168	4,83871
11H20	1,5	1,5	1,5	1,5	0,446296	3,968254	0,391134	4,83871
11H30	1,68	1,5	1,5	1,5	0,4	3,667482	0,517777	4,823151
11H40	1,516	1,5	1,5	1,5	0,4	3,722084	0,697026	4,761905
11H50	15	1,5	1,5	1,5	6,313131	3,676471	0,519211	4,731861
12H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,448296	3,546099	0,391236	4,518072
12H40	1,5	1,5	1,5	1,5	0,389914	3,363229	0,439367	4,411765
12H50	1,5	1,5	1,5	1,5	0,380807	3,378378	0,441826	4,411765
13H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,385703	3,355705	0,452762	4,411765
13H10	1,5	1,5	1,5	1,5	0,406394	3,432494	0,478011	4,398827
13H20	1,5	1,5	1,5	1,5	0,398936	3,409091	0,480615	4,43787
13H30	1,5	1,5	1,5	1,5	0,380518	3,355705	0,476342	4,398827
13H40	1,5	1,5	1,5	1,5	0,373413	3,303965	0,47259	4,33526
13H50	1,5	1,5	1,5	1,5	0,373227	3,282276	0,491159	4,360465
13H05	1,5	1,5	1,5	1,5	0,389105	3,218884	0,507099	4,398827
14H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,381098	3,191489	0,513347	4,322767
14H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,314795	3,303965	0,465983	4,545455
14H10	1,5	1,5	1,5	1,5	0,314136	3,289474	0,46729	4,573171
14H20	1,5	1,5	1,5	1,5	0,318134	3,289474	0,47908	4,518072
14H30	1,5	1,5	1,5	1,5	0,318404	3,311258	0,483715	4,615385
14H40	1,5	1,5	1,5	1,5	0,321199	3,325942	0,491481	4,601227
14H50	1,5	1,5	1,5	1,5	0,316723	3,325942	0,519751	4,62963
15H00	1,5	1,5	1,5	1,5	0,333556	3,370787	0,532104	4,587156
15H10	1,5	1,5	1,5	1,5	0,360404	3,393665	0,569476	4,615385



L'erreur relative globale des hautes températures (T1 température du flux radiatif et T3 température d'absorbeur) est de l'ordre de  $\pm 0,4\%$  par contre celle des basses températures (T2 température du couvercle et T4 température de la surface latérale de la cocotte) est de l'ordre de  $\pm 4\%$ .

**الملخص:**

تم تصميم الأوتوكلاف الشمسي المحمول واختباره لتعقيم الأدوات الطبية. يتألف الجهاز من طنجرة الضغط التي تحوي الأدوات المراد تعقيمها. يتم وضع طنجرة الضغط في محور العاكس المكافئ حيث إنها معزولة تماما باستثناء منطقة ملونة باللون الأسود الداكن لامتصاص الأشعة التي يعكسها المركز المكافئ. توجه الجمعية نحو الشمس. الطاقة الشمسية تساهم في تبخر الماء الذي ينكثف على الأجهزة الطبية، وتوفر بيئة حارة ورطبة سئمة لتدمير الفيروسات. الأوتوكلاف مصمم لإنتاج بخار رطب ذو درجة حرارة 121 درجة مئوية و ضغط 2 بار، ومن اجل تشغيل لأوتوكلاف من 9:00 صباحا ليوم 15 يونيو 2015، في البليدة تحصلنا على درجات حرارة عالية حيث وصلت إلى 125 درجة مئوية و 2.4 بار لمدة ساعة وسمح لشثة عمليات تعقيم أثناء ذاك النهار

**كلمات البحث**

تعقيم، الأوتوكلاف، المكثف، الطاقة الشمسية، طنجرة ضغط

**Résumés:**

Un autoclave solaire portable a été conçu et essayé pour la stérilisation des instruments médicaux. L'appareil consistait en une cocotte-minute enferment les instruments à stériliser. L'autocuiseur est placé au foyer du réflecteur parabolique et est isolé complètement sauf la zone peinte en noir mat pour absorber le rayonnement réfléchi par le concentrateur parabolique. L'ensemble est dirigé vers le soleil. L'énergie solaire utile évapore l'eau qui se condense sur les instruments médicaux, fournissant un environnement chaud et humide convenable pour la destruction des virus. L'autoclave est conçu pour produire de la vapeur humide à 121°C et 2 bars et pour un fonctionnement à partir de 9 h du matin le 15 juin 2015, à Blida. Il a produit des températures élevées atteignant les 125 °C et 2,4 bars pendant une heure et a permis trois stérilisations pendant cette journée.

**Mots clé:**

Stérilisation, autoclave, concentrateur, énergie solaire, cocotte-minute.

**Abstract:**

A portable solar autoclave was designed and tested for the sterilization of medical instruments. The apparatus consisted of a pressure cooker to sterilize instruments enclosed in them. The pressure cooker is placed at the focus of the parabolic reflector and is completely isolated except the painted area in flat black to absorb the radiation reflected by the parabolic concentrator. The assembly is directed toward the sun. The useful solar energy evaporates the water that condenses on medical devices, providing a convenient hot and humid environment for the destruction of the virus. The autoclave is designed to produce wet steam at 121 °C and 2 bars and for operation from 9 am June 15, 2015, in Blida. It produces high temperatures reaching 125 °C and 2.4 bars for an hour and allowed three sterilizations during the day.

**Keywords:** Sterilization, autoclave, concentrator, solar energy, pressure cooker.