

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de technologie

DEPARTEMENT de Génie Mécanique

N° : .....



DOMAINE :SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE :GENIE MECANIQUE

OPTION : ENERGETIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : HAMOUMA Abdelhak**

**KHERROUBI Abderachid**

**Intitulé**

**la réalisation d'un four solaire parabolique ,**

**Soutenu le 18-06-2018**

**Soutenu devant le jury composé de:**

Ihaddedene N

Farsi Ch

Amirat B

Boudilmi A

Université M'SILA

Université M'SILA

Université M'SILA

Université M'SILA

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

**Année universitaire : 2017/2018**

## ***Remerciements***

*Je tiens d'abord à exprimer toute mon remerciements et gratitude à Dieu Le Tout puissant qui grâce à son aide je terminé ce modeste travail.*

*Je tiens aussi à remercier chaleureusement mon promoteur **Mr : Farsi C**, pour son aide et son encadrement, ses encouragements et ses orientations continu lors de ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.*

*Je voudrais également adresser mes sincères remerciements à mes professeurs qui m'a enrichi de connaissances et tout le département de génie mécanique.*

*Enfin, je tiens à remercier ma mère, mon père et toute ma famille hamouma et kherroubi pour leur soutien constant.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce projet de fin d'étude en premier lieu à mes parents  
qui m'ont aidé et soutenu durant toutes ces longues années  
d'étude.*

*A mes frères (Djamel, Tahar, abd al wahab) et mes sœurs  
(Djawhara, ibtessam, oula, malak) et tous mes amis (soufien,  
hamza, rabeah, nassir, adel, khalil, salah, bilal, mabrouk,  
hicham).*

*A tous mes tantes et oncles et la famille HAMOUMA.*

*Et à tous ceux qui l'ont connu au cours de mon carrière  
scolaire.*

# Sommaire

---

## *Sommaire :*

### **Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire**

I.1 Définition de l'énergie renouvelable .....	1
I.2 Les grandes familles d'énergies renouvelables .....	1
I.2.1 L'énergie solaire .....	1
I.2.2 L'énergie éolienne .....	1
I.2.3. L'énergie hydraulique.....	1
I.2.4. Biomasse et déchets.....	1
I.2.5. L'énergie géothermique.....	2
I.3 L'histoire de l'énergie solaire.....	2
I.4 Définition de l'énergie solaire.....	3
I.5 L'énergie provenant du Soleil .....	3
I.5.1 Le solaire passif .....	3
I.5.2 Le solaire actif .....	4
I.5.3 Le solaire photovoltaïque.....	5
I.6 Les avantages de l'énergie solaire.....	6
I.7 Les inconvénients de l'énergie solaire.....	7
I.8 Les avantages du côté économique .....	7
I.9 Les inconvénients du côté économique .....	7
I.10 Les avantages du côté social .....	7
I.11 Les inconvénients du côté social .....	7

### **Chapitre II : Généralité sur le four solaire**

II.1 Généralités .....	9
II.2 Historique .....	9
II.3 Le four solaire dans le monde .....	10
II.4 Les trois grands types de fours solaires .....	11

## Sommaire

---

II.4.1 Les fours à caisson .....	11
II.4.2 Les fours à panneaux .....	11
II.4.3 Les fours paraboliques .....	12
II.5 Choisir son four solaire .....	12
II.6 Choisir le bon ustensile de cuisine.....	14
:	
II.7 Les plaques noires .....	15
II.8 La vitre .....	17

### Chapitre III : Four solaire parabolique

III.1 Construction d'un four solaire parabolique.....	18
III.1.1 Construire la parabole solaire .....	18
III.1.2 Construire le four .....	18
III.1.3 Chauffer des aliments .....	19
III.2 Réflexion sur un miroir parabolique.....	19
III.2.1 Principe de la réflexion.....	19
III.2.1.1 Réflexion sur une surface plane.....	19
III.2.1.2 Réflexion sur une surface courbe .....	20
III.3 Caractéristiques d'un miroir parabolique .....	20
III.3.1 Rappels sur la parabole .....	21
III.3.2 Caractéristiques du miroir parabolique .....	21
III.4 Choix du métal de la casserole .....	21
III.5 Le four solaire à entonnoir .....	22
III.5.1 Généralité .....	22
III.5.2 Comment ça marche.....	23
III.5.3 Comment fabriquer votre propre four solaire à entonnoir .....	24
III.5.3.1 Ce dont vous avez besoin pour le four à entonnoir .....	24

## Sommaire

---

III.5.4 Les étapes de la fabrication .....	25
III.5.4.1 Coupez un demi-cercle sur le bord du carton.....	25
III.5.4.2 Collez la feuille d'aluminium sur le carton.....	26
III.5.4.3 Joignez le côté A au côté B pour assembler l'entonnoir.....	27
III.5.4.4 Fixez du ruban adhésif ou collez un morceau de papier d'aluminium en travers le trou au fond de l'entonnoir, le côté brillant dessus.....	28
III.5.4.5 Étapes finales.....	28
 <b>Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique</b>	
IV.1 Réalisation .....	30
IV.1.1 En première étape .....	30
IV.1.2 La deuxième étape.....	31
IV.1.3 La troisième étape .....	31
IV.1.4 La quatrième étape.....	32
IV.2 Résultats obtenus sous forme de tableau .....	35
IV.3 Conclusion .....	41

## *Liste se tableaux*

Tableau IV.1 : les températures pour la couleur blanche du céramique.

Tableau IV.2 : les températures pour la couleur crème du céramique.

Tableau IV.3 : les températures pour le céramique noire.

Tableau IV.4 : les températures pour céramique orange.

## *Liste de figure*

Figure I.1 : Résidence utilisant l'énergie solaire passive pour le chauffage .

Figure I.2 : Four solaire.

Figure I.3 : Centrale solaire thermique pour production d'électricité (150 MW) (Boutarfa, Algérie).

Figure I.4 : Centrale solaire thermique PS20 (20 MW) (Espagne).

Figure I.5 : Centrale photovoltaïque Nellis (États-Unis).

Figure II.1 : Le four solaire d'Odeillo. A gauche, le miroir parabolique qui concentre les rayons du soleil. A droite, les 63 héliostats qui réfléchissent les rayons vers le miroir parabolique.

Figure II.2 fours à caisson.

Figure II.3 fours à panneaux

Figure II.4 cuiseur Devos .

Figure II.5 Une marmite noire

Figure II.6 le couvercle vitré

Figure II.7 la plaque noire.

Figure II.8 les plaque noire pour un four à 45°.

Figure III.1 : Construction d'un four solaire parabolique

Figure III. 2 : Réflexion sur une surface plane (d'après Cyberscol. Regard sur la physique. le rayon réfléchi.

Figure III.3: Réflexion sur surface courbe

Figure III.4 : conductivité thermique de certains matériaux en fonction de la température.

Figure IV. 1 le miroir divisé en plusieurs formes géométriques.

Figure IV. 2 Couverture et collage des miroir sur surface de la parabole .

Figure IV. 3 l'effet des rayons solaire sur la caserole .

Figure IV. 4 Représentation de la plaque en céramique avec la zone de forme ovale de concentration des rayons solaires et divisée en cadran de mesure.

Figure IV. 5 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique blanche

Figure IV. 6 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique noir

Figure IV. 7 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique orange

Figure IV. 8 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique crème.

Figure IV. 9 quatre céramique de forme carré et de couleurs différentes.

Figure IV. 10 Numérotation de chaque carreau de 1 jusqu'à 40.

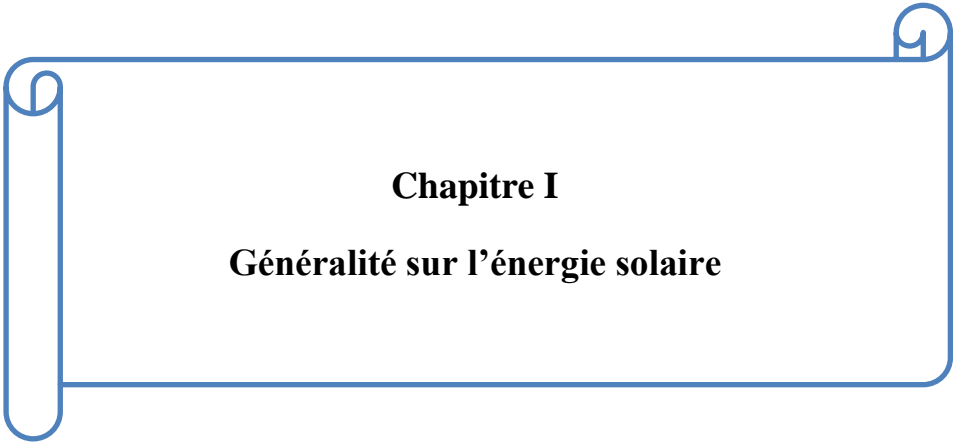
Figure IV. 11 Mesure de température à l'aide Thermomètre de type Raytek PM Plus

Figure IV.12 Mesure de température à l'aide d'un Thermomètre de type Raytek PM Plus.

Figure IV.13 Des axe verticale et horizontale.

Figure IV. 14 : le car de la parabole en soleillée.

Figure IV.15 : les points qui se trouve à l'intérieur du cadran symétrique gauche en haut



**Chapitre I**  
**Généralité sur l'énergie solaire**

**I.1 Définition de l'énergie renouvelable :**

Une énergie renouvelable c'est par définition une énergie exploitable par l'homme disponible en grande quantité dont l'utilisation n'est pas préjudiciable à l'environnement. On compte 5 familles d'énergies renouvelables [4].

**I.2 Les grandes familles d'énergies renouvelables [4] :****I.2.1 L'énergie solaire :**

Se chauffer grâce au soleil n'est pas un rêve, les techniques autour de l'énergie solaire ne cessent de s'améliorer et de se développer, augmentant sans cesse leur rendement et leurs fiabilités. Pour canaliser cette énergie, il faut un capteur qui absorbe et transforme les photons émit par le soleil. Cette énergie est ensuite transmise à un liquide ou à un fluide caloporteur. Un réservoir permet de stocker cette énergie. Un exemple d'application, le chauffe-eau solaire.

Il est aussi possible de produire de l'électricité, c'est l'énergie photovoltaïque, en gros on convertit l'énergie solaire en électricité via des capteurs composés de semi-conducteur (silicium cristallin et amorphe), on produit en fait un courant continu que l'on peut stocker dans des batteries et qui est transformé en courant alternatif utilisable dans le réseau.

**I.2.2 L'énergie éolienne :**

Depuis de nombreuses générations, l'énergie éolienne est utilisée, souvenez-vous des moulins à vent servant à moudre le grain. De nos jours, le vent ne sert plus beaucoup à moudre le grain, mais bien à produire de l'électricité. L'énergie cinétique du vent est transformée en énergie électrique comme le ferait une dynamo sur la roue d'un vélo. Il existe de nombreuses sortes d'éoliennes, des plus grandes que l'on peut voir sur le bord des autoroutes, à celles beaucoup plus petites implantées dans les jardins des particuliers.

**I.2.3. L'énergie hydraulique**

Depuis pas loin de 2000 ans, l'Homme utilise l'eau pour transformer sa force en énergie. Pendant un temps, cette force était elle aussi utilisée pour moudre le grain, ensuite elle fut utilisée pour les besoins mécaniques comme les forges, les presses dans l'industrie, et enfin, mis à l'honneur pour produire de l'électricité. Les barrages hydrauliques, les centrales marémotrices utilisent le même procédé une turbine est mise en mouvement par l'énergie cinétique de l'eau, sur lequel est fixé un alternateur produisant du courant. Les produits et systèmes se sont tellement développés ces dernières années qu'il est possible d'implanter n'importe quelle centrale hydraulique dès qu'il y a un cours d'eau.

**I.2.4. Biomasse et déchets**

Cette famille d'énergie renouvelable n'est pas la plus ancienne, elle utilise la biomasse et les déchets en vue de créer de l'énergie thermique. Les ordures et autres déchets, les restes, les gaz inutilisés, tous sont recyclés à travers différents systèmes parfois complexes pour canaliser l'énergie et la restituée sous forme de chaleur. Production de chauffage pour certains grands bâtiments par exemple. L'utilisation du méthane pour produire le biogaz (fermentation

de matières organiques) servant à alimenter les chaudières, ou même liquéfié pour être utilisé sous forme d'alcool ou de carburant.

### **I.2.5. L'énergie géothermique**

Ici on utilise l'énergie du sol ou des nappes de vapeur d'eau souterraines, cette énergie est constamment renouvelée par la chaleur du magma sous la croûte terrestre et la radioactivité des roches.

On distingue trois types d'énergies géothermiques :

- la géothermie haute et de moyennes énergies, on exploite les nappes de vapeur d'eau souterraine sous pression pour produire de l'électricité.
- la géothermie basse énergie on utilise directement l'eau chaude pour le chauffage urbain et le thermalisme.
- la géothermie très basse énergie, ici on utilise l'énergie stockée dans le sol pour la transférer dans un réseau de chauffage via une pompe à chaleur.

### **I.3 L'histoire de l'énergie solaire [3] :**

La source utilisée très récemment est l'énergie solaire. En réalité cette énergie telle que l'utilisation de la lumière ou du soleil est beaucoup plus ancienne. Il y a des milliers d'années des civilisations différentes ont honoré le soleil comme un vrai dieu. En 212 avant JC, Archimède a utilisé le soleil pour arrêter la flotte romaine en se servant des miroirs en bronze poli. Avec ces miroirs il a réussi à mettre le feu à la flotte à distance. L'humanité connaît la force du soleil depuis toujours et il est intéressant d'observer comment l'utilisation d'énergie provenant du soleil a évolué.

La transformation de la lumière du soleil en courant électrique date de 1839. Elle a été découverte par Antoine-César Becquerel<sup>2</sup>. Au XIXe siècle, quelques moteurs à miroirs ont été construits. Mais même malgré la découverte de l'effet du sélénium photovoltaïque en 1877 il faudra attendre jusqu'en 1955 que les chercheurs de Bell Telephone Laboratories (aux Etats-Unis) soient capables de produire la cellule qui avait le rendement de conversion énergétique au moins 6% (ratio entre l'énergie utilisée pendant la fabrication et l'énergie que le système est capable de produire). Enfin pour pouvoir annoncer la naissance de la photopile solaire. Cet effet a surtout été utilisé pendant les exploitations dans l'univers qui elles aussi commençaient à se développer. Mais en exploitant toujours de plus en plus le charbon, le pétrole et développant l'énergie nucléaire les industriels ne se sont pas sérieusement intéressés aux possibilités de l'énergie solaire avant la crise pétrolière de 1973. Les années 70 peuvent être considérées comme le berceau de l'énergie solaire (photovoltaïque).

La notion « photovoltaïque » provient du mot grec [phos] = lumière et du nom d'un physicien italien Alessandro Volta.

Ensuite, c'est l'augmentation de la consommation mondiale de l'énergie et la diminution des réserves mondiales de pétrole et de charbon qui a amené de nouveau à développer et utiliser des sources renouvelables pour fournir de l'énergie. Cette augmentation de besoins et d'exigences énergétiques est dû aux changements démographiques, à la croissance industrielle

et au développement du commerce. Nous pouvons constater que l'évolution de la consommation d'énergie est directement proportionnelle à l'évolution économique.

La répartition de la consommation de l'énergie est non proportionnelle dans le monde. Plus de la moitié est consommée par seulement six états : les Etats-Unis, la Chine, la Russie, l'Inde, le Japon et l'Allemagne. Par exemple les Etats-Unis absorbent 1/5 de l'énergie mondiale pour seulement 1/20 de la population mondiale.

En 2000, les statistiques ont annoncé que 83% de la consommation mondiale de l'énergie est représentée par les combustibles fossiles, seulement 6% provient des centrales hydrauliques et nucléaires et 10% de la biomasse (l'ensemble des matières organiques qui peuvent servir de source d'énergie). Les autres sources renouvelables étaient au-dessous de 1%. Mais au cours du 21<sup>ème</sup> siècle les sources renouvelables montrent un accroissement qui, pour l'instant, ne cesse d'augmenter.

En effet nous utilisons les sources renouvelables plus que nous pensons, il s'agit de la lumière, du soleil, du vent ... Par exemple, une pièce de la maison est chauffée par les rayons de soleil qui traversent la fenêtre, les voiliers sur l'océan sont poussés par le vent etc.

## **I.4 Définition de l'énergie solaire**

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Grâce à divers procédés, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière [1].

Les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique [1].

## **I.5 L'énergie provenant du Soleil :**

On peut distinguer trois formes d'utilisation ou de transformation de l'énergie en provenance du Soleil :

- Le solaire passif (solaire thermique)
- Le solaire actif (solaire thermodynamique)
- Le solaire photovoltaïque.

### **I.5.1 Le solaire passif**

Comme son nom l'indique, le solaire passif consiste à utiliser l'énergie provenant du Soleil sous une forme passive, c'est-à-dire sans transformation de cette source d'énergie vers une autre forme d'énergie [2].

Par exemple, lorsque l'on positionne la fenestration d'une résidence pour qu'elle soit dirigée vers le sud, on capte l'énergie en provenance du Soleil (rayons infrarouges, ultraviolets...) pendant une bonne partie de la journée, et celle-ci sert à réchauffer l'air ambiant à l'intérieur de ces résidences comme montre la figure 1. Cette pratique est connue depuis fort longtemps, et de nombreuses habitations situées dans les zones nordiques, au Canada ou dans d'autres pays, utilisent ce principe pour diminuer les coûts de chauffage. C'est également ce type de procédé que l'on trouve dans les serres servant à produire des fruits et des légumes durant la période hivernale [2].

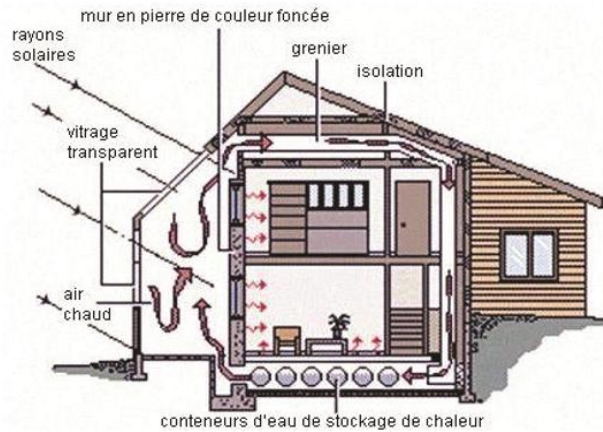


Figure I.1 : Résidence utilisant l'énergie solaire passive pour le chauffage [2].

Un autre type d'usage du solaire passif consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire pour assurer la cuisson des aliments, comme illustré dans la figure 2 [2].



Figure I.2 : Four solaire [2].

En résumé, le solaire passif est une source d'énergie intéressante peu dispendieuse à utiliser, puisqu'elle ne requiert qu'un investissement initial pour construire et mettre en place le système. L'énergie de fonctionnement est nulle puisque l'on utilise directement l'énergie solaire, sans aucune transformation [2].

### I.5.2 Le solaire actif

La technique du solaire actif consiste à utiliser la chaleur contenue dans le rayonnement solaire en la transformant afin de produire de l'électricité ou encore une force mécanique qui sert à alimenter de la machinerie [2].

Par exemple, en concentrant, au moyen de miroirs, les rayons solaires sur un réceptacle qui contient de l'eau, on est en mesure d'atteindre des températures très élevées qui amènent l'eau au point d'ébullition. La vapeur qui en résulte peut servir à produire de l'électricité, par une turbine qui entraîne un alternateur, ou encore à actionner un piston mécanique, comme le faisaient jadis les locomotives à vapeur. Les figure 3 et 4 illustrent la production d'électricité au moyen de centrales thermiques faisant appel au solaire actif [2].



Figure I.3 : Centrale solaire thermique pour production d'électricité (150 MW) (Boutarfa, Algérie) [2].



Figure I.4 : Centrale solaire thermique PS20 (20 MW) (Espagne) [2].

En résumé, le solaire actif est une source d'énergie intéressante, puisqu'il sert à la production d'électricité pour répondre aux besoins domestiques et industriels courants, ce que ne saurait faire la filière du solaire passif [2].

### **I.5.3 Le solaire photovoltaïque**

Une centrale solaire photovoltaïque est constituée d'un ensemble de modules photovoltaïques reliés entre eux et connectés à un ou plusieurs onduleurs, de façon à produire du courant alternatif. Dans ce cas, le rayonnement solaire est directement converti en électricité comme montre dans la figure 5 [2].



Figure I.5 : Centrale photovoltaïque Nellis (États-Unis) [2].

Les modules (ou panneaux solaires) photovoltaïques, quant à eux, sont des générateurs électriques de courant continu constitués d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles. Ces modules servent d'éléments de base pour les installations photovoltaïques et, notamment, les centrales solaires photovoltaïques. Le processus de conversion du rayonnement solaire en énergie électrique a été découvert par le physicien Edmond Becquerel en 1839 [2].

Tout comme le solaire actif, le solaire photovoltaïque est une source d'énergie intéressante, puisqu'il sert à la production d'électricité à des fins domestiques et industrielles. Cependant, le développement de centrales et de systèmes utilisant l'énergie solaire sous forme photovoltaïque requiert des investissements très importants, qui réduisent leur rentabilité économique [2].

En dépit de la profusion de l'énergie d'origine solaire et en raison de ses coûts d'investissements lourds, l'énergie solaire est aujourd'hui une énergie peu compétitive, sauf situations particulières, et qui ne se développe que grâce à l'aide de l'État [2].

## I.6 Les avantages de l'énergie solaire [2] :

L'énergie solaire est renouvelable, disponible gratuitement et en quantités colossales à l'échelle planétaire.

Contrairement à sa variante thermodynamique, l'énergie solaire passive peut être utilisée dans les régions d'ensoleillement moyen.

En phase d'exploitation, l'utilisation de l'énergie solaire thermique n'a pas d'impact sur l'environnement. Il n'y a pas de rejets polluants ou de déchets.

Il est possible de stocker temporairement la chaleur créée et de la restituer plus tard, pendant la nuit par exemple.

La multiplication de centrales solaires actives et photovoltaïques évitera la construction de centrales hydroélectriques, tout en préservant les habitats fauniques qui, autrement, seraient altérés.

La multiplication de centrales solaires actives et photovoltaïques amènera la fermeture des centrales nucléaires et de celles qui produisent de l'électricité à partir des énergies fossiles.

**I.7 Les inconvénients de l'énergie solaire [2] :**

L'installation en grand nombre de centrales thermodynamiques de grande capacité amènera la destruction de certains habitats, puisque les surfaces requises pour de telles installations sont grandes.

L'élimination des panneaux solaires d'ancienne génération et leur remplacement par des panneaux solaires plus performants pourraient amener la contamination des sites d'enfouissement, puisque ces panneaux contiennent des composés chimiques nocifs pour l'environnement.

**I.8 Les avantages du côté économique [2] :**

Les technologies associées au solaire passif et actif sont simples et relativement peu coûteuses. Ce sont des technologies matures d'ores et déjà disponibles sur le marché.

Les installations thermiques passives sont adaptées à la majorité des contextes domestiques, c'est-à-dire qu'il est possible de valoriser la chaleur du rayonnement solaire dans tous les lieux, même isolés, à partir du moment où celui-ci est suffisant.

Lorsque les technologies du solaire photovoltaïque permettront la fabrication de modules performants à faible coût, le Québec pourra devenir autosuffisant pour la production de son électricité, ce qui améliorera la balance commerciale du Québec, en évitant l'importation de matériaux radioactifs et de pétrole, ainsi que du gaz naturel.

Ce nouveau secteur d'activité engendrera de nombreux emplois nouveaux, et une expertise pourra être développée localement.

**I.9 Les inconvénients du côté économique [2] :**

La production de chaleur et d'électricité est tributaire des saisons et des climats. Dans ce cas, des capacités de chauffage d'appoint demeurent nécessaires.

Les technologies thermiques passives ne produisent pas d'électricité et ne peuvent pas, par conséquent, répondre à nos besoins en électricité.

Les emplois reliés à la construction de nouvelles centrales hydroélectriques vont disparaître, et le niveau d'activité économique au Québec en souffrira.

**I.10 Les avantages du côté social [2] :**

Le déploiement à grande échelle de l'énergie solaire passive pour le réchauffement de nos résidences permettra une plus grande autonomie dans nos habitations et des besoins « extérieurs » en énergie moindres.

**I.11 Les inconvénients du côté social [2] :**

La conception de nos résidences et bâtiments ainsi que l'aménagement urbain devront être repensés afin d'intégrer l'installation d'éléments de chauffage solaire passif dans les résidences.

L'aménagement urbain devra également être repensé afin de permettre l'installation éventuelle de panneaux solaires photovoltaïques aux abords et sur les toits de nos résidences et bâtiments.



**Chapitre II : Généralité sur  
le four solaire**

**II.1 Généralités :**

Un four solaire est un système de chauffage qui utilise l'énergie provenant du rayonnement solaire. Il existe deux types de four solaire suivant leur fonctionnement : les fours à concentration et les fours à effet de serre [5].

Le four solaire à concentration est basé sur la concentration des rayons du soleil sur une petite surface, d'où la possibilité d'obtenir des températures élevées. Les miroirs convecteurs peuvent être soit simplement des miroirs plans bien orientés, soit un miroir parabolique qui converge les rayons du soleil en son foyer. Le four solaire à effet de serre est basé sur le même principe qu'une serre (voir page 14). Il permet de garder la chaleur provenant des rayons du soleil grâce à l'effet de serre provoqué par une vitre [5].

Un four solaire peut être utilisé en France entre 3 et 4 mois par an, et tout au long de l'année dans les zones tropicales. Cela vous paraît peu? Demandez-vous combien de fois par an vous utilisez votre service à raclette ou vos chaussures de ski...?

La cuisson de la nourriture prend traditionnellement environ deux fois plus de temps que dans un four classique, il faut donc prévoir un temps de préparation plus long [8].

Il est primordial de ne pas utiliser de produits toxiques pour la fabrication de votre four, éviter ainsi colle, peintures et autres adhésifs [8].

Comme dans les fours traditionnels, il est conseillé de placer la nourriture dans des plats ou des pots de couleur sombre qui absorbent bien la chaleur. Les plats en aluminium chauffent également plus vite [8].

Un four solaire atteint généralement une température de 100 à 120°C, ce qui est largement suffisant pour tous les aliments contenant de l'eau qui ne peuvent dépasser les 100°C (température de bouillonnement) [8].

Les fours traditionnels, en allant au-delà de 100°C ne font que réduire le temps de cuisson et permettent de brunir plus rapidement les aliments mais le résultat est le même [8].

**II.2 Historique :**

Selon Plutarque, Archimède aurait construit des miroirs concaves, des « miroirs ardents » qui auraient permis, lors de l'invasion de Syracuse par les Romains (215-212 av JC) de concentrer les rayons du soleil sur les navires ennemis, y mettant ainsi le feu [5].

Beaucoup plus tard, en 1747, Buffon expérimenta un miroir composé de petits miroirs plans. Ce miroir permit à Buffon de brûler une branche d'arbre et, en augmentant le nombre de miroirs, de faire fondre un morceau d'argent. Durant le même siècle, le chimiste Antoine Laurent de Lavoisier inventa un four solaire composé de lentilles convergentes afin de faire fondre des métaux sans la pollution des combustibles et En 1767, le naturaliste suisse Horace de Saussure construisit une « boîte chaude » pour démontrer l'effet de serre. Ce four pouvait atteindre une température de 160°C [5].

Aujourd'hui, le plus grand four solaire du monde est situé à Odeillo dans les Pyrénées-Orientales (France). Ce four solaire, mis en service en 1970, concentre les rayons du soleil grâce à un grand miroir parabolique composé de 9500 miroirs plans de 45 cm de côté. La lumière du soleil arrive sur ce miroir après avoir été réfléchi par 63 miroirs plans, les héliostats, qui ont chacun une surface de 45 m<sup>2</sup>. Les héliostats s'orientent vers le soleil grâce à un dispositif optique et électronique. Le four solaire d'Odeillo (Figure II.1), qui peut atteindre une température de 3800°C à son foyer, a été construit pour permettre la réalisation d'expériences nécessitant des températures élevées et un environnement non pollué [5].



Figure II.1 : Le four solaire d'Odeillo. A gauche, le miroir parabolique qui concentre les rayons du soleil. A droite, les 63 héliostats qui réfléchissent les rayons vers le miroir parabolique [5].

### **II.3 Le four solaire dans le monde :**

Le four solaire a de nombreux avantages. Il ne provoque aucune pollution puisqu'il utilise exclusivement l'énergie (gratuite) provenant du soleil. De plus, la réalisation d'un four solaire à usage domestique est tout à fait abordable, que ce soit au niveau du prix ou de la difficulté. C'est pourquoi l'ONU prône actuellement l'utilisation de four solaire dans les pays en voie de développement, ceci pour enrayer la déforestation massive [5].

### **II.4 Les trois grands types de fours solaires :**

#### **II.4.1 Les fours à caisson**

Ce type de four de cuire de façon lente et uniforme de grandes quantités de nourriture. Plusieurs variations sont possibles : entre autres incliner la surface vers le sol ou changer le nombre de réflecteurs [8].

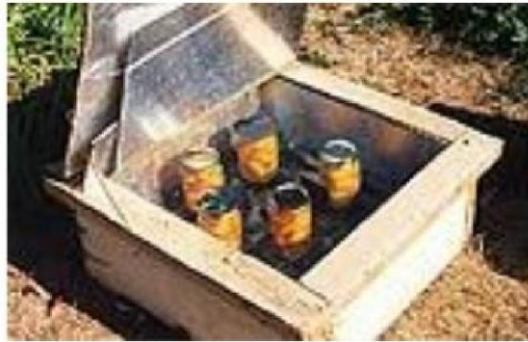


Figure II.2 fours à caisson [8].

#### II.4.2 Les fours a panneaux

Ce développement récent a été lancé par Roger Bernard en France. Ce modèle consiste en différents panneaux plats qui concentrent les rayons du soleil sur un pot dans un sac en plastique ou sous un bol en verre. L'avantage de ce modèle est qu'il peut être construit en à peu près une heure et qu'il ne coûte pratiquement rien. Au Kenya, il est fabriqué pour le projet du Camp de Réfugiés de Kakuma pour deux dollars US [8].

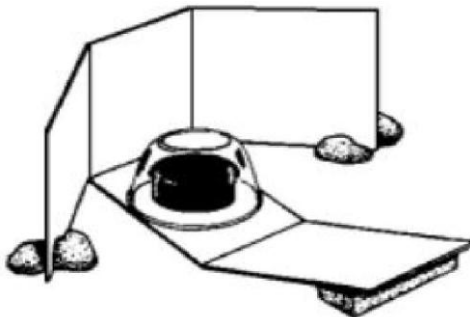


Figure II.3 fours à panneaux [8].

#### II.4.3 Les fours paraboliques

D'habitude ils consistent en des disques concaves qui focalisent la lumière sur le fond du pot. L'avantage est que la nourriture est cuite à peu près aussi vite que sur un feu habituel. L'inconvénient est qu'ils sont compliqués à fabriquer, demandent à être déplacés souvent pour rester dans l'axe du soleil, et peuvent provoquer des brûlures et abîmer les yeux s'ils ne sont pas employés correctement [8].

Un autre cuiseur solaire à concentration existe, et sans danger. Constitué d'un concentrateur de forme particulière et d'une table, ce cuiseur solaire protège complètement la personne qui cuisine. Il évite aussi que de l'ombre soit projetée sur le concentrateur. (ci-contre: cuiseur Devos) [8].



Figure II.4 cuiseur Devos [8].

### II.5 Choisir son four solaire :

Le premier paramètre à prendre en considération avant de vous lancer est la latitude du lieu où votre four solaire sera utilisé. En effet, si vous vous trouvez au tropique au solstice d'été, le soleil monte rapidement pour être à la verticale au moment du zénith de la journée. Si l'on est au tropique au solstice d'hiver, le soleil monte beaucoup moins vite pour être à 44° environ au moment du zénith de la journée [9].

À Nantes, par exemple le soleil va culminer à 68° environ, au zénith du solstice d'été, et à 22° environ au zénith du solstice hiver [9].

Voilà quelques autres exemples par ville.

Tableaux II.1 Hauteur au zénith du solstice d'été et d'hiver [9].

Ville	Hauteur au zénith du solstice d'été	Hauteur au zénith du solstice d'hiver
Lille	63	16
Paris	65	18
Lyon	68	21
Bordeaux	69	22
Marseille	70	23
Ajaccio	71	25

C'est pourquoi, suivant la latitude du lieu et la saison, le four solaire aura un fonctionnement différent. L'inclinaison de la vitre étant fixe, vous trouverez donc dans ce guide trois types de

fours. Il s'agira pour vous en tant qu'utilisateur de vous placer dans la moyenne la plus favorable à la fois en été et en hiver [9].

Pour les latitudes équatoriales ou tropicales, un four avec une vitre inclinée à 30° par rapport à l'horizontale sera idéal. Pour les latitudes méditerranéennes et analogues, choisissez plutôt un four à 45°. Quant aux latitudes anglo-saxonnes et analogues, optez pour un four à 60°[9].

Jusqu'à une variation de + ou - 10° par rapport à la verticale de la vitre, il y a peu de perte de pénétration de lumière.

- 10 à 20 °, la perte est encore tout à fait acceptable.
- 20 et 30°, la perte devient un peu plus conséquente.
- Au-delà de 30°, la perte devient très importante. Ainsi,
- le four qui aura une vitre inclinée à 60° aura un bon fonctionnement pour des inclinaisons de soleil allant de 5 à 55°.
- le four qui aura une vitre inclinée à 45° aura un bon fonctionnement pour des inclinaisons de soleil allant de 20 à 70°.
- le four qui aura une vitre inclinée à 30° aura un bon fonctionnement pour des inclinaisons de soleil allant de 45 à 90°.

S'il est difficile de faire un four à vitre variable, il est plus aisé de faire un four avec des réflecteurs variables qui apportent des corrections très substantielles. Et c'est la solution que j'ai retenue [9].

## **II.6 Choisir le bon ustensile de cuisine :**

Avant de commencer la fabrication de votre four, vous devrez d'abord chercher le meilleur ustensile de cuisine. En effet, toutes les marmites n'ont pas la même efficacité de chauffe dans un four solaire [9].

Une marmite noire, en tôle émaillée, du style friteuse, (à mettre sur une cuisinière à gaz), sera un très bon investissement. Pour plus ou moins 10 euros, vous aurez ainsi une marmite qui va bien fonctionner parce qu'elle sera [9] :

- une bonne transformatrice de lumière en chaleur par sa couleur noire
- une bonne conductrice de cette chaleur vers l'aliment qu'elle contiendra parce qu'elle est en métal.



Figure II.5 Une marmite noire

De plus, le couvercle vitré aura deux avantages : le confort et l'effet de serre. En effet, ce type de couvercle permettra au cuisinier de surveiller sa cuisson contrairement à un couvercle opaque, très frustrant et contraignant lorsque que l'on a besoin d'accéder à la marmite. Pour un utilisateur habitué à « touiller » sa cuisine, ce n'est pas supportable. Par ailleurs, ce couvercle vitré permettra un deuxième effet de serre dans la marmite augmentant davantage la température dans celle-ci, où il fera entre 20 et 50° plus chaud que dans le four [9].



Figure II.6 le couvercle vitré

En fonction de la taille de votre marmite, commencez à faire le traçage du four solaire. Si toutes les tailles de four sont possibles, veillez cependant à ce que la profondeur de celui-ci soit inférieure à sa largeur : ainsi, l'ouverture à la lumière solaire aura un bon rendement [9].

Plus le four est large, meilleur sera le rendement. A contrario, trop de profondeur au four augmente à la fois le volume et les possibilités d'ombre, et donc, diminue son rendement [9].

## II.7 Les plaques noires :

Le rôle des plaques noires est déterminant dans le four solaire. Pour donner une explication rapide de ce phénomène, je dirai que la couleur noire est le transformateur qui fera passer la vibration lumineuse (très rapide) en vibration infrarouge (vibration beaucoup plus lente). C'est là toute la magie de la couleur noire [9].

Il ne faut pas peindre les parois d'aluminium en noir pour faire office de plaque noire, car une partie de cette chaleur va se perdre dans les parois. Il est donc important que cette paroi garde sa fonction « réfléchissante » de la chaleur et que la plaque noire soit mise dans la fonction « productrice » de la chaleur [9].

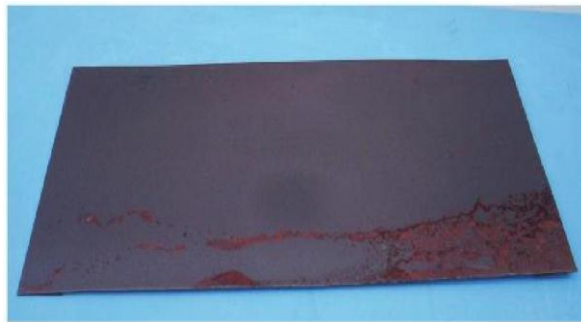


Figure II.7 la plaque noire [9].

S'il existe plusieurs manières de fabriquer une plaque noire vous devrez dans tous les cas prendre une tôle métallique (acier, aluminium, zinc) et éviter les matériaux en pierre foncée, de type ardoise ou galets, qui auront une fonction accumulatrice de la chaleur et provoqueront donc un retard de transmission de cette chaleur vers la casserole. Si dans les pays très ensoleillés, cela ne pose pas de problème, dans les pays moins ensoleillés, c'est un inconvénient [9].

Mais le meilleur choix la solution la plus simple sera de prendre une tôle d'acier dite noire de 1 ou 2 mm d'épaisseur et de la laisser bien rouiller. La couleur rouille est un très bon transformateur de lumière en chaleur. On peut la laver et la graisser avec une huile végétale. On peut aussi peindre en noir une tôle d'aluminium, de zinc. Attention alors aux toxicités de la peinture ! On peut aussi utiliser une tôle de cuivre oxydé, l'idéal en termes de rendement calorique, et en termes de prix également [9].

C'est pourquoi, dans tous les fours, vous devrez placer deux plaques noires :

- une sur la porte
- l'autre sur le fond.

C'est avec le jeu de ces deux plaques noires (porte et fond), positionnées sur deux petits tasseaux, que votre four montera rapidement en température. Lors des soleils bas, la plaque noire de la porte est nettement plus chaude que celle du fond. Au fur et à mesure que le soleil monte, la plaque du fond prend le relais [9].



Figure II.8 les plaque noire pour un four à 45° [9].

## II.8 La vitre

Sur tous les fours solaires à effet de serre vous trouverez une vitre jouant un rôle fondamental.

Une vitre basculée, a contrario, aura toujours des fuites importantes ; de plus ce basculement n'est pas sans risque. Voilà pourquoi j'ai préféré une porte arrière, beaucoup plus pratique. Si sa fabrication demande une grande application, les fuites de la porte sont peu conséquentes sur la perte de chaleur du four ; et il est beaucoup plus facile de basculer une porte sans fracas que de basculer une vitre. Aussi, la position « scotchée » de la vitre permet d'avoir un jeu de réflecteurs qui ne gênent en rien l'ouverture du four.

La qualité de la vitre tient à sa transparence. Une vitre simple (ou dite blanche) est moins onéreuse et donne de bons résultats. L'épaisseur pourra varier de 3 à 5 mm (4 mm étant la plus courante). La double vitre n'est pas nécessaire; elle peut présenter quelques avantages mais aussi de nombreux inconvénients.

Pour s'en expliquer, il faut d'abord dire que toute vitre a un effet transparent et un effet miroir. Un double vitrage diminue la transparence, augmente l'effet miroir, mais augmente aussi l'effet de serre. Si, en plus, la lumière arrive sur un double vitrage, avec une inclinaison importante, les rejets de lumière seront conséquents ; et c'est ce qui se passe lorsque l'on met le four au soleil en début de journée.

Comparativement à un four à simple vitrage atteignant les 100° en un quart d'heure, un four à double vitrage monte en température deux fois moins vite. Certes, il chauffera alors un peu plus mais cela représente un intérêt tout relatif, le simple vitrage permettant une cuisson suffisante.

Par ailleurs, il est fortement conseillé de mettre un couvercle vitré sur la marmite. En effet, c'est cette deuxième vitre qui va permettre un deuxième effet de serre dans la casserole dont la température sera augmentée alors de 20 à 50° par rapport au four. Pour conclure, nous retiendrons donc que :

- le premier effet de serre se fait entre les plaques noires et la vitre,
- le deuxième effet de serre entre la casserole noire et le couvercle vitré.

Cependant, il y a parfois d'autres précautions à prendre suivant les aliments... Si l'on cuit des pommes de terre, par exemple, par un soleil faible, il se peut qu'elles verdissent avant de cuire, ce qui donne un mauvais goût à l'aliment. Il vaudra mieux dans ce cas mettre un couvercle noir. Soyez donc vigilant au type d'aliments à cuire...

Enfin d'une manière générale, vous devez éviter le double vitrage et ce pour plusieurs raisons :

- il a un coût plus onéreux,
- l'une des 2 vitres éclate lors de la chauffe,
- les chauffe-eau solaires sont toujours équipés d'une simple vitre uniquement.



**Chapitre III : Four solaire  
parabolique**

**III.1 Construction d'un four solaire parabolique [6] :**

*Matériels nécessaire :*

- Un vieux parapluie non déformé
- De la colle vinylique blanche (ou colle à bois)
- Un pinceau
- Un rouleau de feuille d'aluminium ménager (de bonne qualité : plus épais, il sera plus facile à manipuler)
- Un grand bocal à conserve en verre avec couvercle, mais sans le joint en caoutchouc
- Une boîte à conserve métallique assez petite pour entrer dans le bocal en verre
- De la peinture noire
- Du fil de fer ou des serre-câbles (colliers « Colson »)

**III.1.1 Construire la parabole solaire :**

1. Déroule la feuille d'aluminium et coupe un morceau carré de la largeur de la feuille.
2. Avec le pinceau, enduit de colle l'intérieur du parapluie (commence par le centre), sur une surface égale à ta feuille d'alu. Si la colle est trop épaisse, tu peux la diluer légèrement à l'eau. Ne te préoccupe pas des taches de colle : elles deviennent transparentes en séchant.
3. Applique la feuille d'alu sur la colle, une des pointes de la feuille dirigée vers le centre du parapluie.
4. Les premiers morceaux sont plus difficiles à coller car tu dois les faire passer sous les baleines du parapluie. Pour cet endroit, des morceaux triangulaires seront plus faciles à manipuler.
5. Recouvre toute la surface intérieure du parapluie en faisant se chevaucher légèrement les feuilles d'alu. S'il reste des zones non recouvertes, tu compléteras à la fin en collant ici et là des petits bouts d'alu.

**III.1.2 Construire le four**

1. Attache le bocal en verre avec du fil de fer à la canne du parapluie, avec l'ouverture dirigée vers la poignée du parapluie.
2. Peins l'extérieur de la boîte de conserve en noir et laisse bien sécher.



Figure III.1 : Construction d'un four solaire parabolique [6].

### III.1.3 Chauffer des aliments

1. Place les aliments à réchauffer dans la boîte de conserve, et dépose celle-ci dans le bocal. Ferme le couvercle mais enlève le joint en caoutchouc car il ne faut pas que le bocal soit étanche. En effet si de la vapeur d'eau se dégage, la pression pourrait monter dangereusement dans le bocal.
2. Expose le four vers le soleil en plein midi pendant une heure (déplace le four de temps en temps, au fur et à mesure que le soleil tourne).

Les aliments vont se réchauffer sous l'effet des rayons solaires concentrés vers le milieu de ton four parabolique. De plus, la surface noire accélère l'absorption d'énergie et le bocal en verre crée un effet de serre localisé qui augmente encore l'accumulation de chaleur.

## III.2 Réflexion sur un miroir parabolique [5]

### III.2.1 Principe de la réflexion

La réflexion d'un rayon lumineux sur une surface est depuis l'Antiquité un phénomène connu et appliqué.

#### III.2.1.1 Réflexion sur une surface plane

Considérons d'abord le cas de la réflexion d'un rayon sur une surface plane (Figure 2). Deux lois permettent de décrire géométriquement (donc sans tenir compte de la nature ondulatoire de la lumière) ce que devient un rayon après réflexion sur une surface plane.

**Première loi:** le rayon incident et la normale à la surface (droite perpendiculaire à la surface passant par le point de contact du rayon incident sur la surface) définissent un plan : le plan incident. Le rayon réfléchi appartient à ce même plan.

**Deuxième loi :** l'angle (appelé angle incident) entre le rayon incident et la normale est égal à l'angle (appelé angle de réflexion) entre la normale et le rayon réfléchi.

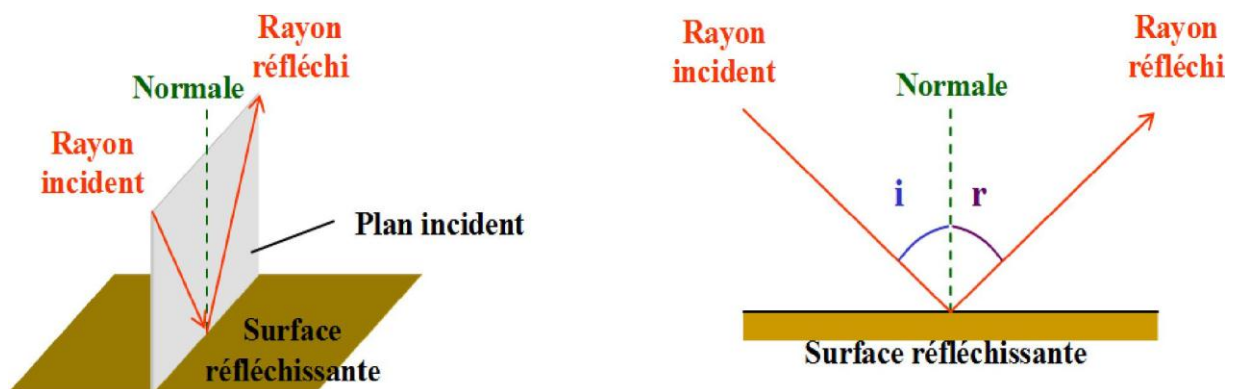


Figure III. 2 : Réflexion sur une surface plane (d'après Cyberscol. Regard sur la physique. le rayon réfléchi.

### III.2.1.2 Réflexion sur une surface courbe

Si la surface réfléchissante est courbe (Figure 3), celle-ci peut être décomposée en une multitude de plans infiniment petits. Ainsi, au point d'impact du rayon incident sur la surface réfléchissante, il faut considérer le plan tangent en ce point. On obtient ainsi la normale du plan tangent au point d'impact, et les deux lois de la réflexion sont alors d'application pour déterminer le rayon réfléchi. Il existe deux types de miroirs courbes : les miroirs concaves et les miroirs convexes [5].

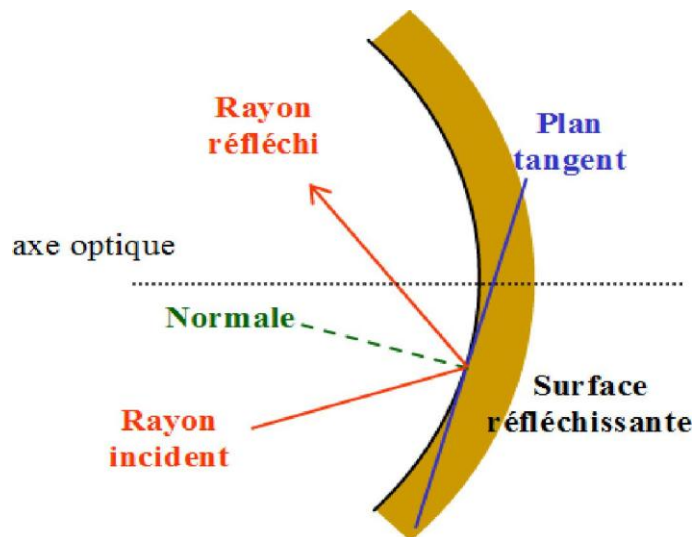


Figure III.3: Réflexion sur surface courbe [5]

Les miroirs concaves sont des miroirs dont la courbure est orientée dans le sens opposé des rayons incidents. Les miroirs concaves ont la propriété de faire converger les rayons incidents parallèles à l'axe optique approximativement (exactement si le miroir est parabolique) en un point, le foyer [5].

Les miroirs convexes ont leur courbure orientée dans le même sens que les rayons incidents et font diverger ces rayons. Si les rayons réfléchis sont prolongés au-delà du miroir, ils se coupent approximativement en un point virtuel, le foyer [5].

Les miroirs courbes les plus utilisés sont ceux obtenus par la rotation d'une conique (parabole, ellipse) autour d'un axe, l'axe optique du miroir. Les miroirs courbes les plus répandus sont les miroirs sphériques, beaucoup plus faciles à réaliser que les autres [5].

### III.3 Caractéristiques d'un miroir parabolique [5] :

Pour notre projet, le type de miroir le plus intéressant du point de vue de ses propriétés est le miroir parabolique concave.

Un miroir parabolique est une partie de paraboloïde de révolution, obtenue par la rotation autour d'un axe, qui devient ainsi l'axe optique, d'une parabole d'équation  $2py = x^2$

### III.3.1 Rappels sur la parabole :

- Une parabole est par définition le lieu des points équidistants d'une droite et d'un point. La droite est la directrice de la parabole, le point le foyer
- Si la directrice d'une parabole a pour équation  $y = -p/2$  et son foyer pour coordonnée  $(0, p/2)$ , alors la parabole aura pour équation :  $y = (1/2p)x^2$
- Le sommet d'une parabole est le point de la parabole situé à mi-distance entre le foyer et la directrice.
- L'axe d'une parabole est la droite perpendiculaire à sa directrice et passant par le foyer. Cet axe est l'axe de symétrie de la parabole.

### III.3.2 Caractéristiques du miroir parabolique :

Deux paramètres permettent de décrire complètement un miroir parabolique (Figure 4) :

- Le coefficient **p** qui intervient dans l'équation de la parabole génératrice du paraboloïde. Lorsque **p** augmente, la parabole devient plus « plate », et inversement, lorsque **p** diminue, la parabole devient plus profonde. Ce paramètre règle donc la profondeur du miroir parabolique.
- Le diamètre **D** permet, une fois **p** déterminé, de fixer les dimensions de la parabole. Vu de haut, le miroir parabolique présente une ouverture circulaire dont le diamètre est **D**.

Il faut donc déterminer ces deux paramètres de manière à avoir un miroir parabolique optimal pour notre four solaire.

Les autres caractéristiques du miroir parabolique peuvent s'exprimer en fonction de **p** et **D**.

- L'axe optique du miroir est l'axe de symétrie du paraboloïde.
- Le sommet est à l'intersection de l'axe optique avec le paraboloïde.
- Le foyer est le point situé sur l'axe optique à une distance  $p/2$  (distance focale) du sommet du miroir.
- Le plan focal est le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par le foyer.

### III.4 Choix du métal de la casserole :

Le matériau de la casserole est un paramètre important à prendre en compte car il va influencer le temps d'ébullition de l'eau [5].

Pour la casserole, nous avons besoin d'un matériau qui conduit bien la chaleur et qui transmet le plus rapidement possible le flux de chaleur à l'eau contenue dans la casserole. Le paramètre qui caractérise cette propriété est la conductivité thermique.

Les quatre matériaux les plus conducteurs sont le diamant (990 W/mK), l'argent (429 W/mK), l'or (417 W/mK) et le cuivre (387 W/mK). Bien évidemment, une casserole en diamant est impensable [5].

De même, le budget ne nous permet pas d'avoir une casserole en argent ou en or.

Notre choix s'est donc porté sur le cuivre dont le prix, même s'il augmente considérablement à l'heure actuelle, reste tout à fait abordable [5].

On peut également se demander si la conductivité thermique varie en fonction de la température. Le graphique ci-contre (Figure 5) nous indique que celle du cuivre varie très peu entre 0 et 100°C [5].

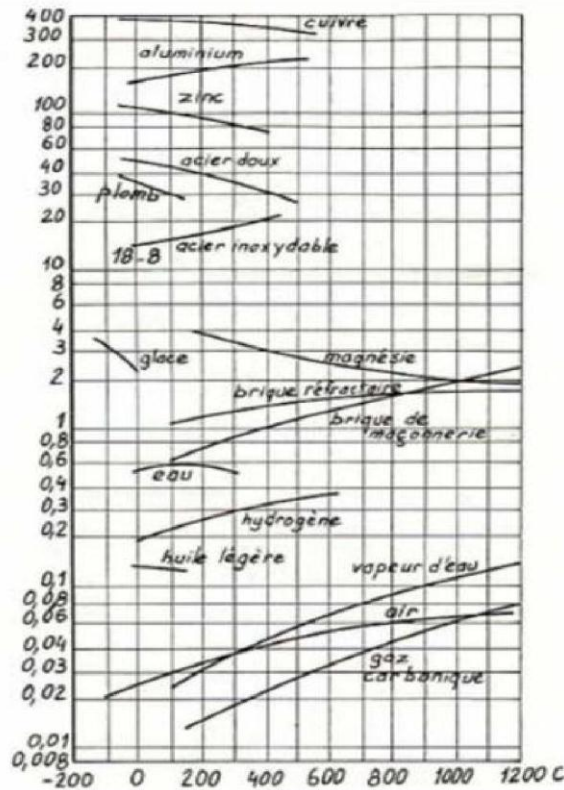


Figure III. 5 : conductivité thermique de certains matériaux en fonction de la température [5].

### III.5 Le four solaire à entonnoir [7] :

#### III.5.1 Généralité :

Le four parabolique implique un plat réfléchissant qui concentre la lumière du soleil en un point où cuire la nourriture. Cette approche est très dangereuse puisque l'énergie du soleil est focalisée en un point très chaud, mais invisible. (les étudiants de BYU et moi avons construit un four qui brûla du papier en environ 3 secondes !) J'ai appris qu'un groupe altruiste avait offert des paraboles réfléchissantes aux personnes vivant sur le haut plateau de l'Altiplano en Bolivie. Les paraboles ont été stockées plus d'une fois en plein soleil à côté de hangars - et ont mis le feu à ces hangars ! Le peuple n'a pas voulu ces appareils dangereux et chers, quoique la région d'Altiplano soit dépourvue du bois de chauffage.

Le coffret four : en fait, une boîte isolée avec un couvercle en verre ou en plastique, souvent avec un couvercle réfléchissant pour renvoyer la lumière du soleil dans la boîte. La lumière entre par le verre supérieur (ou le plastique), pour réchauffer lentement la boîte. Problèmes : l'énergie entre seulement par le dessus, alors que la chaleur s'échappe par tous les autres côtés, qui ont une tendance à éloigner la chaleur de la nourriture. Quand on met de la

nourriture dedans ou quand on l'enlève, la boîte ouverte laisse échapper et se perdre de la chaleur. En outre, les coffrets fours efficaces tendent à être plus compliqués à construire que le four solaire à entonnoir.

En étudiant ce problème, j'ai pensé à plusieurs reprises au grand besoin d'un four *solaire sûr, peu coûteux* pourtant *efficace*. Au moment de Noël il y a quelques années, j'ai finalement songé à une sorte d'hybride entre la parabole et le coffret four. Il ressemble à un grand et profond entonnoir, et incorpore ce que je crois être le meilleur dispositif du cuiseur parabolique et du coffret four.

Le premier réflecteur a été conçu chez moi à partir de papier d'aluminium collé sur du carton, lequel a été courbé pour former un entonnoir réfléchissant. Mes enfants et moi avons réfléchi à la manière de créer facilement un grand entonnoir en carton. (je vous dirai exactement comment procéder plus tard.)

Le four solaire à entonnoir est sûr et peu coûteux, facile à réaliser et pourtant très efficace à capturer l'énergie du soleil pour cuire et pour pasteuriser l'eau.

Par la suite, j'ai fait les essais élargis avec des étudiants (y compris des essais de réflectivité) et j'ai constaté que le Mylar aluminisé était également bon, mais relativement cher et plutôt difficile à acquérir en grandes feuilles. En outre, on trouve du carton dans le monde entier à moindre prix, et il est également facile de trouver du papier d'aluminium. Et chacun peut facilement construire son propre four solaire, ou démarrer une petite industrie pour les fabriquer pour les autres.

Des prototypes du four solaire à entonnoir ont été testés en Bolivie, et ont surpassé "un Cookit solaire" et un coffret four solaire onéreux - tout en coûtant beaucoup moins. L'université de Brigham Young a posé une demande de brevet, pour s'assurer principalement qu'aucune compagnie n'empêcherait la large distribution du four solaire à entonnoir. BYU ne réalise aucun bénéfice sur cette invention. (j'ai appris plus tard que des gens avaient eu une idée semblable, mais avec des méthodes différentes de celles développées et montrées ici.) Aussi maintenant j'essaie de déposer le nom pour que l'invention puisse être employée à capturer l'énergie libre du soleil - en camping et pour les urgences, certes, mais également pour cuisiner quotidiennement quand l'électricité n'est pas disponible et que le bois de chauffage devient rare.

### **III.5.2 Comment ça marche**

Le réflecteur a la forme d'un entonnoir géant, garni du papier d'aluminium. (facile de suivre les instructions bientôt données.) Cet entonnoir est quelque peu semblable au four parabolique, sauf que la lumière du soleil est concentrée sur une ligne (et non un point) au fond de l'entonnoir. Vous pouvez poser votre main au fond de l'entonnoir et sentir la chaleur du soleil, mais vous ne serez pas brûlé.

Après, nous peignons l'extérieur d'un récipient en noir, pour concentrer la chaleur, et le plaçons au fond de l'entonnoir. On peut également utiliser un pot noir, avec un couvercle. L'ustensile noir devient rapidement chaud. Pas tout à fait, cependant pour cuire... Nous avons besoin d'une certaine manière d'accumuler la chaleur sans laisser passer l'air frais. Ainsi, j'ai mis un sachet en plastique bon marché autour du récipient -- et voilà, le four solaire à

entonnoir était né ! Le sachet en plastique, disponible en magasin alimentaire vendu sous l'appellation "sac à volaille", remplace le couvercle en verre, encombrant et cher, de boîte et en verre des coffrets fours solaires. Vous pouvez utiliser les sacs de caisse en plastique employés pour emballer les denrées alimentaires, tant qu'ils laissent beaucoup passer la lumière du soleil. (les sacs colorés foncés ne fonctionneront pas.)

J'ai récemment testé un sac utilisé pour les fruits et légumes, pratiquement transparent et gratuit venant d'épicerie américaines, et qui a très bien fonctionné. Il est estampillé « HDPE » (Polyéthylène de haute densité). Ordinairement, le polyéthylène fond très facilement. Un morceau de bois est placé sous le récipient pour faciliter sa chauffe. (N'importe quel isolant, comme un bout de tissu, une corde ou même des bouts de bois font l'affaire)

Un de mes amis, également professeur de physique ne croyait pas que je puisse faire bouillir de l'eau avec l'engin. Aussi, je lui fis une démonstration avec avec ce nouveau four solaire à entonnoir. Je fus capable de faire bouillir de l'eau en Utah en plein hiver ! J'ai penché l'entonnoir sur le côté puisqu'on était en hiver et je l'ai dirigé plein sud vers le soleil. J'ai dû également suspendre le récipient noir – au lieu de le placer sur un socle en bois, pour permettre aux rayons plus faibles de frapper la surface entière de l'ustensile.

Naturellement, le four solaire à entonnoir fonctionne mieux en dehors des jours d'hiver (quand l'index des UV est de 7 ou plus). De nombreux autres fours solaires ne cuisent pas en hiver dans les régions septentrionales (ni à environ 35° Sud)

J'ai pensé qu'une chaudière à pression pourrait être grandiose. Mais les prix pratiqués en magasins dépassaient mes moyens. Attendez, que diriez-vous d'un bocal de conserve ? Ces petites beautés sont conçues pour laisser la pression s'échapper par le couvercle -- une chaudière à pression intéressante. Et le temps de cuisson est divisé de moitié pour chaque 10° C d'élévation en température (le professeur Lee Hansen me l'a confié en privé). J'ai utilisé un des bocaux de mon épouse, l'extérieur peint en noir (à la bombe d'appartement) et cela a fonctionné formidablement. La nourriture cuit plus rapidement quand vous utilisez un simple bocal comme chaudière à pression. Cependant, vous pouvez également mettre un pot noir dans le sachet en plastique à la place si vous le désirez. Mais n'utilisez pas un récipient fermé sans dégagement de pression, comme un pot de mayonnaise par exemple-- il peut se casser sous l'accumulation de la vapeur

### **III.5.3 Comment fabriquer votre propre four solaire à entonnoir**

#### ***III.5.3.1 Ce dont vous avez besoin pour le four à entonnoir :***

1. Un morceau de carton plat d'environ 60 x 120 cm (la longueur doit être juste le double de la largeur. Plus le grand, c'est mieux.)
2. Du papier d'aluminium ordinaire
3. De la colle, telle que de la colle blanche, mélangée à 50% d'eau. Un pinceau, également, pour appliquer la colle sur le carton ( un chiffon ou du papier toilette font également l'affaire). Certains pourront également préférer utiliser un spray adhésif bon marché prêt à l'usage sous forme de bombe. Vous pouvez également utiliser de la colle de farine de blé
4. Trois fils de fer – éléments de base , ou de la ficelle pour retenir l'entonnoir

5. Pour le récipient, je recommande un bocal de conserve (un quatre-quarts fait bien l'affaire, je me suis aperçu que le joint en caoutchouc du couvercle fond moins que celui d'autres récipients. Un demi convient à de plus grandes quantités de nourriture, bien que la cuisson soit plus lente).
6. L'extérieur du récipient devrait être peint au spray noir. J'ai constaté qu'une peinture noire et bon marché au spray convient. Éraflez cette peinture d'une raie verticale pour créer un « hublot » vous permettant d'examiner la nourriture ou vous assurer que l'eau est en ébullition.
7. On utilise un morceau de bois pour isoler le pied du bocal. J'utilise une pièce carrée de 10 x 10 cm et d'environ 5 cm de haut. Un morceau de bois carré fait un très bon isolateur.
8. On utilise un sac de plastique autour du bocal et du bloc de bois pour créer un effet de serre. Suggestions :
  - Les sacs de cuisson au four Reynolds<sup>TM</sup>, taille standard, conviennent parfaitement : transparents, ils ne fondent pas. (coût environ 25 cents pièce en supermarché aux ETATS-UNIS.)
  - N'importe quel sac transparent HDPE ( Polyéthylène à haute densité). Cherchez l'estampille « HDPE » sur le sac. J'ai testé des sacs HDPE destinés à l'emballage des fruits et légumes et que j'ai choppé chez mon épicier. Ils sont fins et très bon marché. Testé simultanément avec un sac de cuisson, dans deux fours à entonnoir, le sachet HPDE a fonctionné aussi bien. (Attention : certains sacs HPDE fondent quand ils rentrent en contact avec le récipient chaud. Pour cette raison, nous recommandons l'utilisation d'un sac de cuisson destiné au four, chaque fois que possible).
  - Une idée attribuée à Roger Bernard et maintenant appliquée au four à entonnoir BYU: placez un récipient (dont le fond et les côtés ont été noircis) dans une cocotte en Pyrex et couvrez avec un couvercle. Essayez d'obtenir le meilleur ajustement possible pour que l'air soit emprisonné entre les deux ustensiles. Le pot ou le bol en métal devra être seulement soutenu, avec un espace au fond (là où la lumière du soleil le frappe). Mettez un couvercle noirci sur le pot. Placez alors simplement ces éléments au fond de l'entonnoir - aucun sachet en plastique n'est nécessaire !

### **III.5.4 Les étapes de la fabrication :**

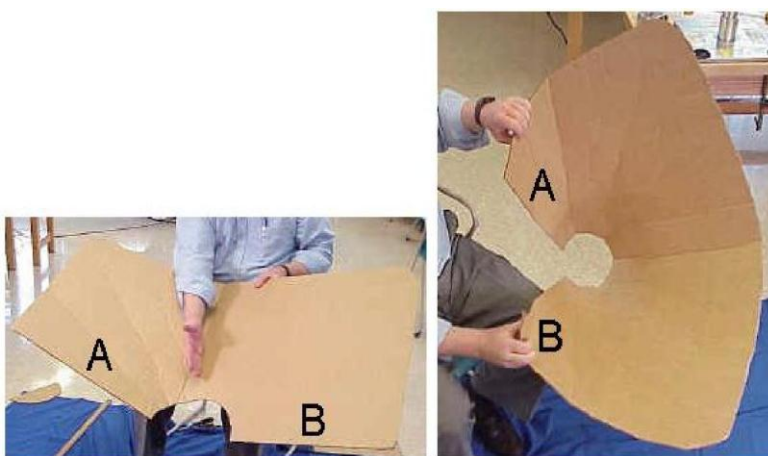
#### ***III.5.4.1 Coupez un demi-cercle sur le bord du carton***

Coupez un demi-cercle sur le bord du carton comme montré sur la photo. Un fois l'entonnoir formé, cela devient un cercle complet assez large pour y poser l'ustensile de cuisine. Pour un récipient de 20 cm de diamètre, le rayon du demi-cercle sera de 20 cm. Pour un bocal comme j'en emploie, j'ai coupé un demi-cercle de rayon de 12,5 cm sur le bord du carton.



### III.5 Coupez un demi-cercle

Pour fabriquer l'entonnoir, vous rapprocherez le côté A du côté B, comme montré sur la photo. La feuille d'aluminium doit être posée à l'INTÉRIEUR de l'entonnoir. Prenez votre temps, donnant au carton la forme d'un entonnoir en s'aidant du tranchant de la main pour former les plis qui rayonnent du demi-cercle. Travaillez autour de l'entonnoir, le pliant par étapes pour lui donner sa forme, jusqu'à ce que les deux côtés se rejoignent et que le demi-cercle forme un cercle complet. Le papier d'aluminium ira à l'INTÉRIEUR de l'entonnoir. Ouvrez l'entonnoir et posez-le à plat, "intérieur sur le dessus", en vue de la prochaine étape.



### III.6 Coupez un demi-cercle sur le carton

#### III.5.4.2 Collez la feuille d'aluminium sur le carton

Appliquez la colle ou l'adhésif sur la surface du carton puis rapidement, posez la feuille d'aluminium sur la couche de colle pour la fixer au carton. Assurez-vous que le côté brillant de l'aluminium est sur le dessus, formant la surface réfléchissante de l'entonnoir. Pour que la colle puisse s'étendre au moment j'applique la feuille d'aluminium, j'aime en mettre juste assez pour une largeur de feuille. Je fais chevaucher les bandes d'aluminium (sur environ 1 ou 2 centimètres). Essayez de lisser le papier d'aluminium le plus possible, en faisant attention de ne pas le déchirer, les petits plis ne faisant pas vraiment beaucoup de différence.



### III.7 Collez la feuille d'aluminium le

#### III.5.4.3 Joignez le côté A au côté B pour assembler l'entonnoir

La façon la plus facile de procéder est de percer ensemble les bords A et B du carton de trois trous (voir la photo), puis de mettre une attache-rapide dont vous rabattrez les pattes. Vous pouvez également utiliser un petit écrou et un boulon pour assurer la fixation des deux bords de carton.

Soyez créatif autant que possible. Vous pouvez, par exemple, percer deux trous de la taille d'un doigt, y passer une ficelle, une cordelette, du fil de fer, un cordon... pour attacher les deux côtés.

Quand les deux côtés seront reliés, vous obtiendrez un entonnoir à deux ailes. Vous pourriez les couper mais je les ai laissées car elles augmentent la portée des rayons de soleil



***III.5.5.4 Fixez du ruban adhésif ou collez un morceau de papier d'aluminium en travers le trou au fond de l'entonnoir, le côté brillant dessus.***

Cela achève l'assemblage de votre four solaire à entonnoir.

Pour le stabiliser, placez l'entonnoir dans un carton ou tout autre caisse qui fournira le support. Pour une utilisation à long terme, il est possible de creuser un trou dans le sol, ce qui maintiendra l'entonnoir les jours de grand vent

***III.5.4.5 Étapes finales***

A ce stade, vous êtes prêt à placer la nourriture ou l'eau dans le bocal ou le récipient, en vissant le couvercle (Voir instructions pour temps de cuisson, plus bas)

Placez un bloc de bois DANS le sac de cuisson. J'utilise un morceau de planche de 5 x 10 dans laquelle j'ai taillé un carré de 10 x 10 sur 5 d'épaisseur. Puis placez le récipient contenant la nourriture ou l'eau sur le bloc de bois, à l'intérieur du sac.

Ensuite, serrez le haut du sac et gonflez-le en soufflant de l'air dedans. Cela créera un petit effet de serre autour du récipient, afin d'augmenter la chaleur à l'intérieur. Refermez le sac et en employant un lien ou un bout de fil de fer. Important : le sac ne doit pas toucher les bords ni le couvercle du récipient. On peut appeler ce sac « bouclier de convection » car il ralentit le refroidissement de la convection grâce aux courants d'air.

Placez le sac plein et son contenu dans le pied du four comme il est montré sur les photos.

Placez le four solaire à entonnoir face au soleil.

Rappelez-vous: les rayons du soleil peuvent blesser les yeux. SVP, portez des lunettes de soleil quand vous utilisez les four solaire ! Le four solaire à entonnoir est conçu de sorte que la région chaude descende profondément dans l'entonnoir, hors de portée.

Positionnez le four solaire à entonnoir pointé vers le soleil de telle manière qu'il capture autant de rayons que possible. Le concept de l'entonnoir permet de collecter l'énergie solaire

pendant à peu près une heure sans avoir besoin de le repositionner. Pour de plus longs temps de cuisson, réajustez la position en suivant le tracé du soleil.



Cela aide de mettre le four solaire en face d'un mur ou d'une fenêtre plein sud (dans l'hémisphère nord) qui réfléchissent des rayons additionnels dans l'entonnoir. Un mur réfléchissant est plus important dans les régions éloignées de l'équateur et en hiver. Dans l'hémisphère sud, placez le four solaire à entonnoir en face d'un mur qui fait face au nord afin d'augmenter la réflexion des rayons dans votre four.



## **Chapitre IV : résultant et discussion**

### VI.1 Réalisation :

#### IV.1.1 En première étape :

On a commencé à prendre les dimensions de la parabole qui sont :

- Diamètre  
D163= -
- Profondeur  
b10= - La
- Diamètre  $D_L$   
67=

Ces dimensions nous aide à trouver la surface totale du miroir qu'on va coller.

Après le découpage des miroirs sous former de petit triangle, on les a collés de façons à recouvrir toute la surface interne de la parabole.

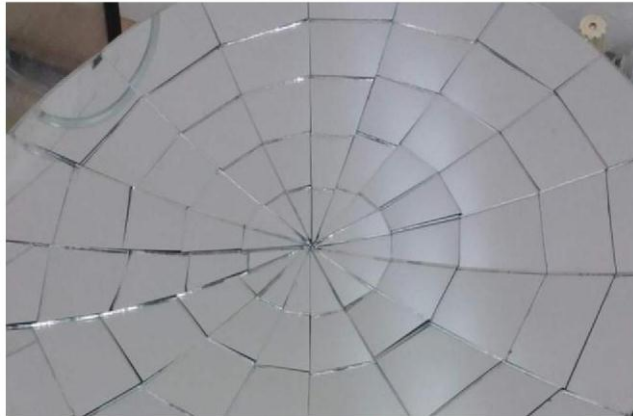


Figure IV. 1 le miroir divisé en plusieurs formes géométriques.



Figure IV. 2 Couverture et collage des miroir sur surface de la parabole .

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

### IV.1.2 La deuxième étape

La deuxième étape a été consacrée à l'emplacement d'une casserole voir Figure 2 sur la partie où se trouve une grande activité de température, cette zone c'est l'intersection presque de tous les rayons solaires reflétés par la parabole, c'est avéré que la couleur de la casserole joue un grand rôle pour l'absorption et le maintien de la chaleur, donc on a traité la surface de la casserole par un mélange de carbone de couleurs noire résistante à la chaleur pour augmenter la quantité de chaleur sur la surface de travail.



Figure IV. 3 l'effet des rayons solaires sur la casserole .

La température maximale de l'eau qui se trouve dans la casserole a dépassé les 80°C (au mois de février à 11 heures du matin où l'air froid circulait à petite vitesse .)

Les valeurs des températures sont relevées à l'aide d'un thermomètre à rayon laser qui est montré sur la photo ci-dessous.

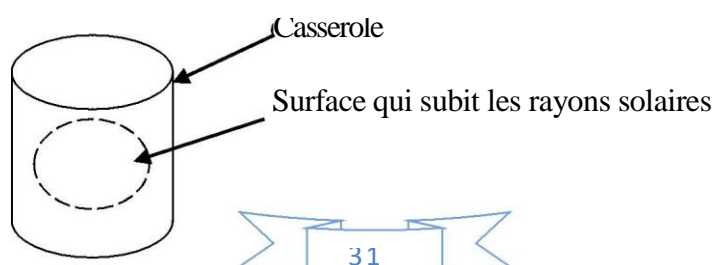
Ce thermomètre travaille sous une tension de courant continu de 12 volts d'une batterie se trouvant à l'intérieur de l'appareil. Les valeurs des températures sont montrées sur un écran indicateur lumineux .

### IV.1.3 La troisième étape :

Vu la dispersion des rayons solaires sur la surface de la casserole (voir la figure 2)

Nous avons concentré nos travaux vers l'étude de l'action de ces rayons sur la surface de quelque plaque de céramique pour localiser la zone exacte d'incidence des rayons solaires

Ici on a fait une étude expérimentale sur la forme courviligne de la surface de travail de la casserole qui est exactement l'intégrale de surface de la zone de chauffage



## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

Après plusieurs tentatives de réglage de la surface de travail ,on est arrivé a localiser la surface de travail qu'on a pus développer plus tard par des pratiques de recherche sur le gradients de chaleur dans la zone de travail.

Pour ces recherches on a commencé a changer la casserole par des plaques en céramiques qu'on fixe a la place de la casserole.

Pour mesurer les températures instantanées des points de toute la surface parabolique intégrées on a proposé des plaques de céramique en les divisant par des grilles métalliques où on a pris les valeurs de chaque cadran, comme le montre la figure pour voir le gradient de température.

Nous avons obtenu le nombre de 40 cadrans pour chaque plaque.

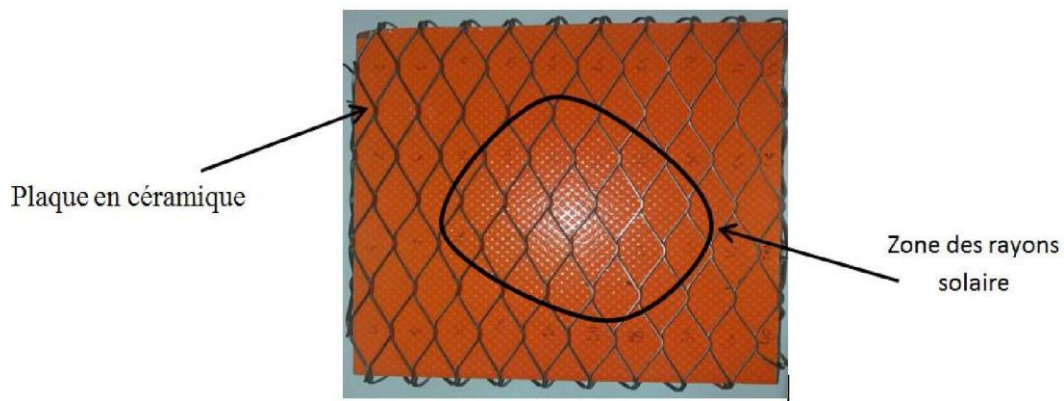


Figure IV. 4 Représentation de la plaque en céramique avec la zone de forme ovale de concentration des rayons solaires et divisée en cadran de mesure.

On a choisi d'utiliser la dimensions des plaques de (20×20) cm.

### IV.1.4 La quatrième étape :

La quatrième étape est consacré au changement de couleurs de ces plaque de céramiques. On a choisi les couleurs : blanche, orange, noir, crémé.

Après la mesure de température sur chaque point de la zone on a trouvé les graphes suivant de dispersion des températures :

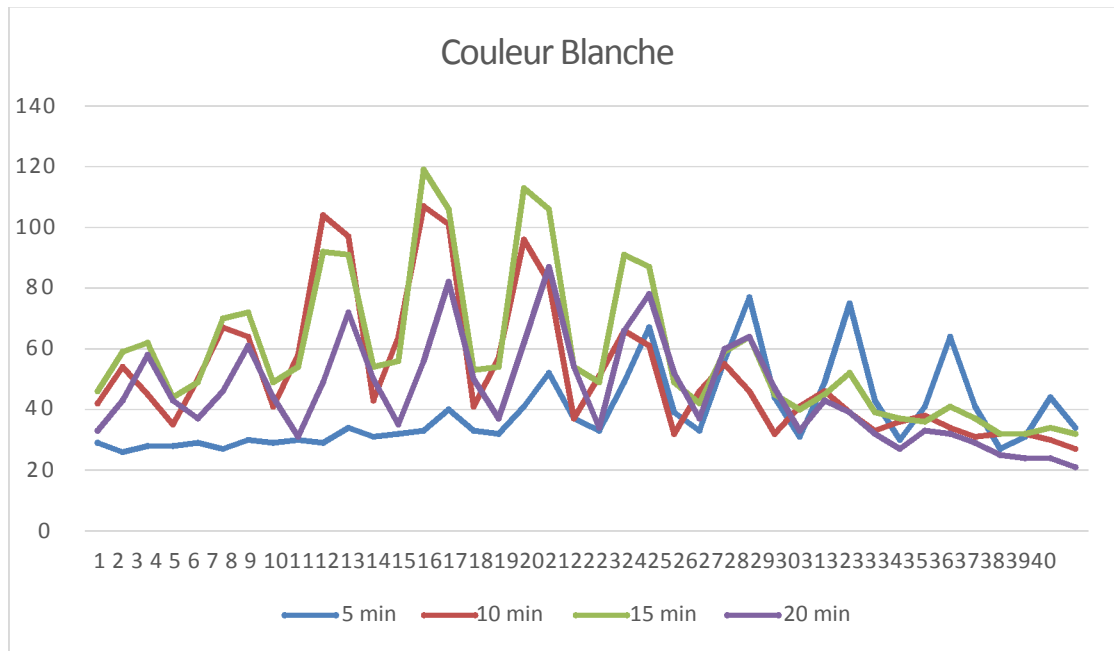


Figure IV. 5 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique blanche

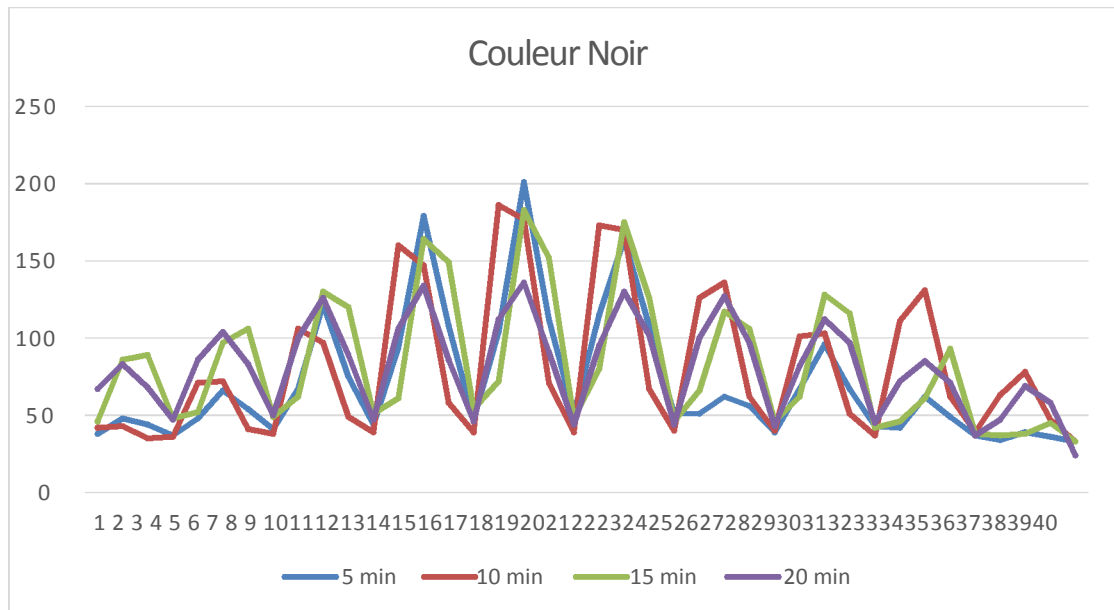


Figure IV. 6 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique noir

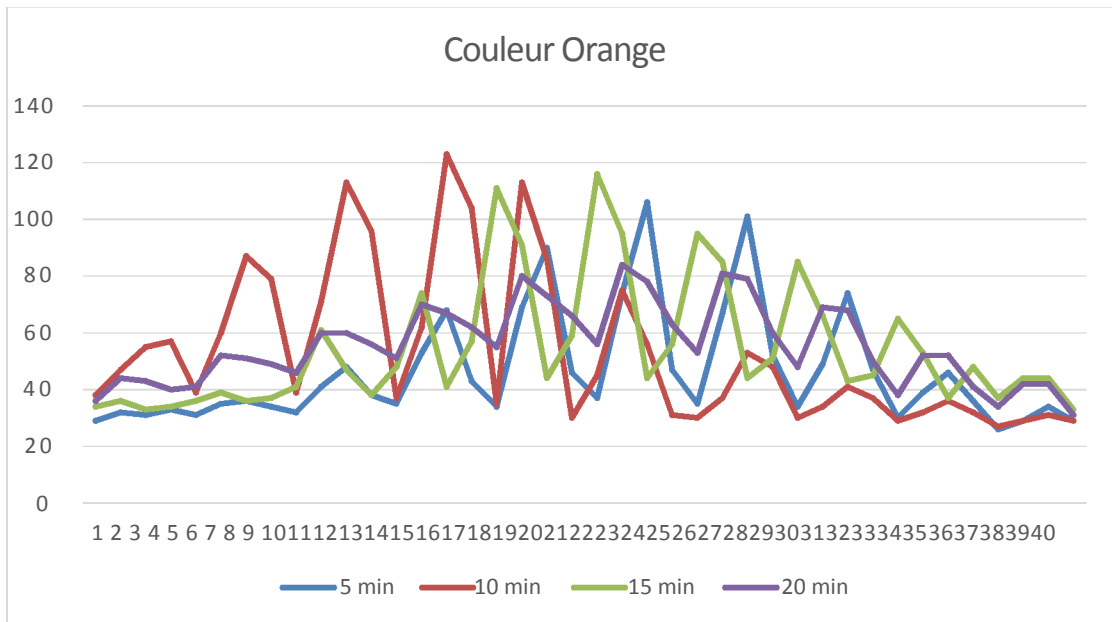


Figure IV. 7 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique orange

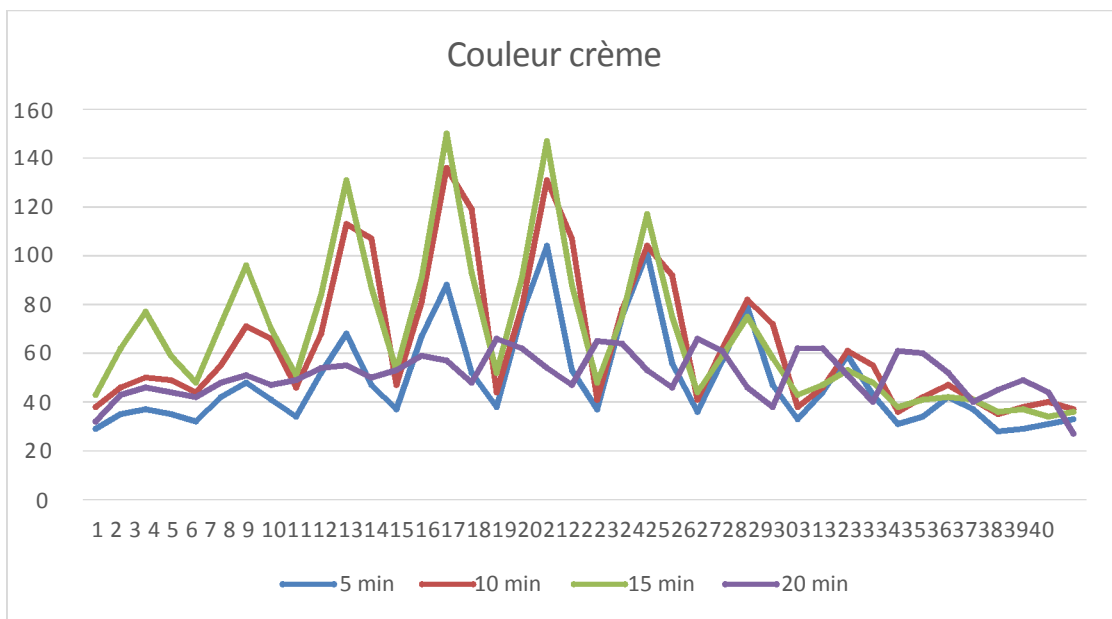


Figure IV. 8 Représentation des valeurs de températures en fonction du temps l'exposition aux rayonnements solaires de la plaque de couleur du céramique crème.

D'après ces graphes on distingue que la plus haute température 200°C est obtenue sur la surface de la plaque noire après 5 minutes.

La plus basse température c'est-à-dire 27°C est obtenue sur la surface blanche après 5 minutes de temps.

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

Notre idée été de trouver la quantité de chaleur et essayer de tracer les lignes équipotentielles de la température sur ces surfaces données des quatres plaques.

### IV.2 Résultats obtenus sous forme de tableau :

Les tableaux et les courbe de température correspondant à chaque couleur sont relevés sur les tableaux si dessus.

#### *Couleur blanche:*

Tableau IV.1 : les températures pour la couleur blanche du céramique.

Les températures T en °C

Les points de mesure	T après 5min	T après 10min	T après 15min	T après 20min
1	42	64	64	33
4	44	96	92	63
3	45	69	44	95
6	45	39	66	63
9	42	95	62	33
4	43	43	35	64
3	35	46	34	41
5	42	61	62	66
2	35	95	96	31
15	42	156	24	62
11	36	23	21	34
14	31	63	96	95
13	34	46	94	39
16	33	153	112	94
19	65	151	154	54
14	33	61	93	95
13	34	93	96	33
15	61	24	113	44
12	94	54	154	53
45	33	33	96	96
41	33	91	62	36
44	62	44	21	44
43	43	41	53	35
46	32	34	62	94
49	33	64	64	33
44	94	99	92	45
43	33	64	46	46
45	66	34	69	63
42	31	61	65	33
35	62	64	69	63
31	39	32	94	32
34	63	33	32	34
33	35	34	33	43
36	61	35	34	33

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

39	46	36	61	34
34	61	31	33	42
33	43	34	34	49
35	31	34	34	46
32	66	35	36	46
65	36	43	34	41

*couleur crème :*

Tableau IV.2 : les températures pour la couleur crème du céramique.

Les Températures				
Les points	T=5min	T=10min	T=15min	T=20min
1	42	35	63	34
4	39	64	44	63
3	33	95	33	64
6	39	62	92	66
9	34	66	65	64
4	64	99	34	65
3	65	31	24	91
5	61	44	35	63
2	36	64	91	62
15	94	45	56	96
11	45	113	131	99
14	63	153	53	95
13	33	63	93	93
16	43	51	21	92
19	55	134	195	93
14	94	112	23	65
13	35	66	94	44
15	34	32	21	44
12	156	131	163	96
45	93	153	55	63
41	33	61	65	49
44	39	35	39	46
43	151	156	113	93
46	94	24	39	64
49	34	61	66	44
44	93	44	92	41
43	32	54	39	64
45	63	34	95	35
42	33	35	63	44
35	66	64	63	44
31	92	41	93	91
34	63	99	65	65
33	31	34	35	41

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

36	36	64	61	45
39	64	63	64	94
34	33	61	61	65
33	45	39	34	69
35	42	35	33	62
32	31	65	36	66
65	33	33	34	43

### Carrelage noire :

Tableau IV.3 : les températures pour le céramique noire.

Les températures				
Les point	T=5min	T=10min	T=15min	T=20min
1	35	64	64	43
4	65	63	54	53
3	66	39	52	45
6	33	34	65	63
9	65	31	94	54
4	44	34	23	156
3	96	61	154	53
5	61	35	62	95
2	43	154	44	155
15	144	23	135	144
11	39	62	145	52
14	66	32	91	63
13	26	145	41	154
16	132	163	146	136
19	155	95	162	54
14	63	32	96	64
13	156	154	34	114
15	451	133	153	134
12	114	31	194	21
45	91	32	65	66
41	119	133	55	29
44	146	135	139	135
43	155	43	144	154
46	91	65	64	66
49	91	144	44	155
44	44	134	113	143
43	94	44	154	23
45	32	65	64	63
42	43	151	44	54
35	24	153	145	114
31	43	91	114	23
34	63	33	64	69
33	64	111	64	34
36	44	131	41	59

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

39	62	44	23	31
34	33	32	35	33
33	36	43	33	63
35	32	35	35	42
32	34	63	69	95
65	33	33	33	46

### Couleur orange :

Tableau IV.4 : les températures pour céramique orange.

Les Températures				
Les points	T=5min	T=10min	T=15min	T=20min
1	42	35	36	34
4	34	63	34	66
3	31	99	33	63
6	33	93	36	65
9	31	32	34	61
4	39	45	32	94
3	34	53	34	91
5	36	32	33	62
2	34	32	61	64
15	61	31	41	45
11	65	113	63	45
14	35	24	35	94
13	39	33	65	91
16	93	44	36	35
19	45	143	61	43
14	63	156	93	44
13	36	39	111	99
15	42	113	21	55
12	25	54	66	33
45	64	35	92	44
41	33	69	114	94
44	36	39	29	56
43	154	94	66	35
46	63	31	94	43
49	39	35	29	93
44	43	33	59	51
43	151	93	66	32
45	94	65	91	45
42	36	35	59	65
35	62	36	44	42
31	36	61	63	45
34	63	33	69	95

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

33	35	42	49	35
36	32	34	93	94
39	64	34	33	94
34	34	34	65	61
33	44	43	33	36
35	42	42	66	64
32	36	31	66	64
65	42	42	33	31



Figure IV. 9 quatre céramique de forme carré et de couleurs différentes.

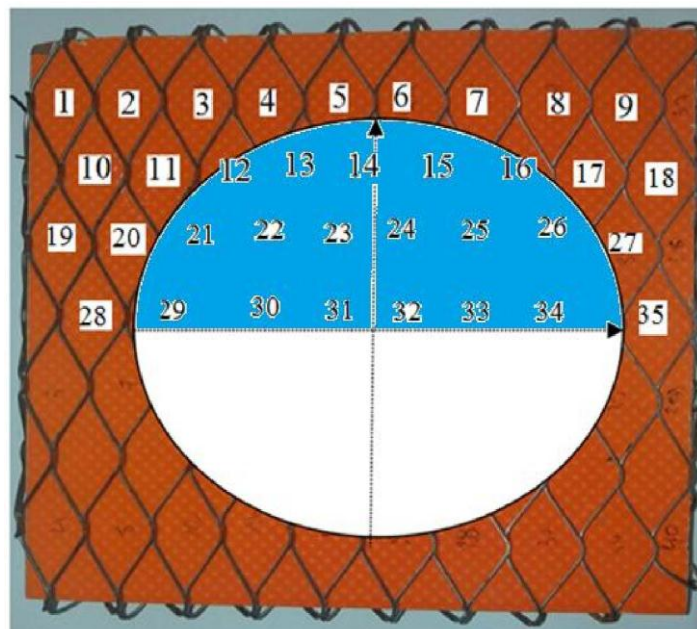


Figure IV. 10 Numérotation de chaque carreau de 1 jusqu'à 40.

On fixe la plaque blanche sur le colonne de fer de la parabole pour une période de cinq minutes afin de distinguer dans chaque carreau la variation de température et

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

---

de son gradient d'une période jusqu'à 20 minutes en utilisant le dispositif Thermomètre de type Raytek PM Plus



Figure IV. 11 Mesure de température à l'aide Thermomètre de type Raytek PM Plus  
Puis on répété le même travail avec les autre plaques de céramique.



Figure IV.12 Mesure de température à l'aide d'un Thermomètre de type Raytek PM Plus.

### IV.3 Conclusion :

D'après les courbes obtenues après la mesure des températures sur chaque point de la zone après 5 min, 10 min, 15 min et 20 min nous avons remarqué que, pour toutes les plaques de céramique, les valeurs des températures sont en fonction de temps. Telle que ils sont augmenté puis diminué.

Nous avons remarqué aussi que, la plus haute température  $200^{\circ}\text{C}$  est obtenue sur la surface de la plaque noire après 5 minutes.

D'après les graphes obtenus de la répartition des températures élevées sur les plaques en céramiques, on peut dire que la parabole de la surfaces des rayons solaire possède des surfaces symétriques si on la compare par des axes centraux verticale et horizontale.



Figure IV.13 Des axe verticale et horizontale.

Donc on peut prendre uniquement les valeurs du demi axe verticale et les valeurs du demi axe horizontale.

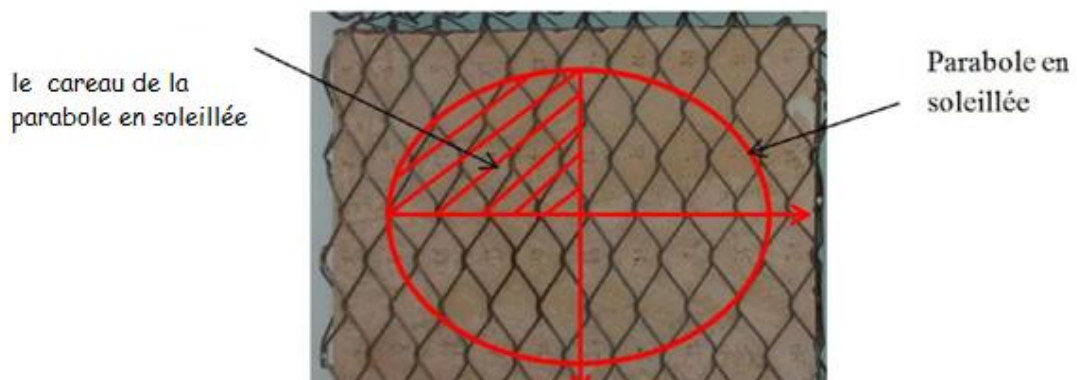


Figure IV. 14 : le car de la parabolique en soleillée.

## Chapitre IV : Réalisation d'un four solaire parabolique

Donc pour comparer les valeurs de température on peut examiner uniquement le un car de la parabole (voir la figure IV.14) de la surface de travail.

Les points qui se trouve à l'intérieur du cadran symétrique gauche en haut sont représenté dans la figure IV

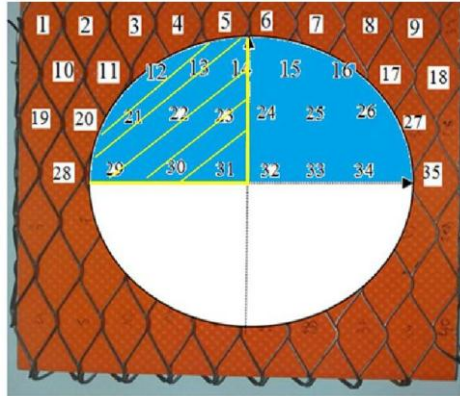


Figure IV.15 : les points qui se trouve à l'intérieur du cadran symétrique gauche en haut

12 → 50	21 → 50	29 → 40
13 → 55	22 → 90	30 → 48
14 → 140	23 → 88	31 → 50

Donc on peut dire que la température max (110-90) le céramique blanc est obtenue au point 14 et 22 et la température basse (40 et 48) sont obtenus sur les points 29 et 30 du car de la surface éclairée de la plaque.

Le décalage de température est cause du bras de la parabole.

## *Références bibliographiques*

[1] : Energie renouvelable, Zeitler AG l'expert de - l'aiguillage et tirage câble, 4 février 2010, Article sur le site <http://www.energies-renouvelable.fr/energie-solaire/>

[2] : À L'HEURE DES CHOIX ÉNERGÉTIQUES, Jean-Marc Pelletier, MCN21

[3] : L'énergie solaire, thèse de magister, Bc. Monika Kokrdová ,2011

[4] : Quelles sont les 5 familles d'énergies renouvelables ?, Article sur le site <https://www.abcclim.net/types-energies-renouvelables.html>

[5] : Projet de Deuxième Bachelier Elaboration et construction d'un four solaire, Sophie DA ROCHA, 2006 – 2007.

[6] : trimestriel d'information de la région wallonne destiné aux ménages. Juin n2009. n° 10

[7] : Le four solaire à entonnoir, Article sur le site <http://solarcooking.org/francais/funnel-fr.htm>.

[8] : Un four solaire pour l'été, à vos outils DOSSIER THEMATIQUE /Courrier ES n°25 /Juin 2008/ [www.energies-solidaires.org](http://www.energies-solidaires.org)

[9] : Les fours solaires Concevoir – Réaliser – Installer/article Dominique Loquais/ Groupe Eyrolles, 2012