

*Projet de Physique P6-3  
STPI/P6-3/2011 - groupe36*



## CONCENTRATEURS SOLAIRES ET REALISATION D'UN MINI CONCENTRATEUR SOLAIRE

Etudiants :

*Alban MAHON*

*Antoine MARTIN*

*Camille HUGUIN*

*Lucie BAILLIEUX*

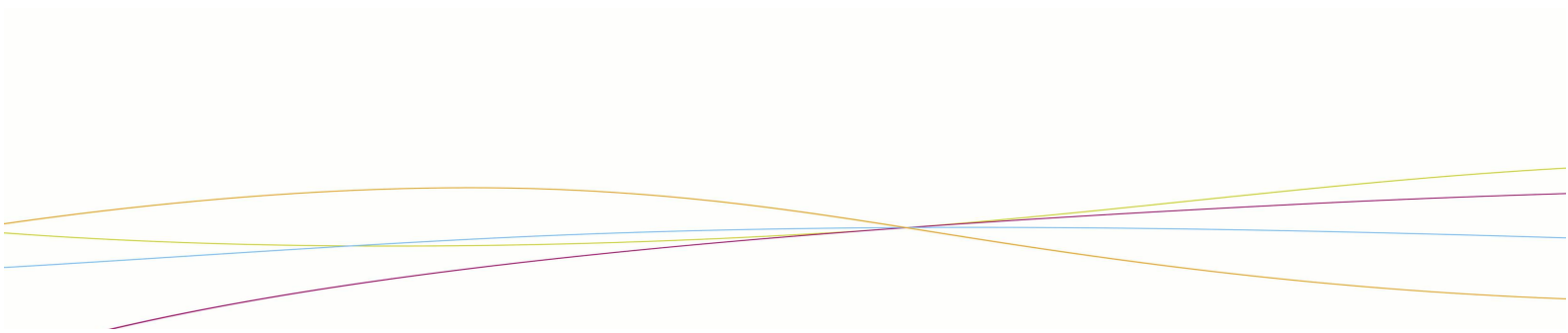
*Lucille BARBULEE*

*Priscilla BARBU*

*William BOISSELEAU*

Enseignant-responsable du projet :

**Jamil ABDUL AZIZ**



Date de remise du rapport : **18/06/11**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011–036**

Intitulé du projet : **Concentrateurs solaires et réalisation  
d'un mini concentrateur solaire**

Type de projet : **Expérimental et recherches bibliographiques**

Objectifs du projet :

Le but de ce projet est de nous donner des connaissances, les plus complètes possibles sur les différents types de concentration solaire pour la production électrique. Les différentes étapes sont :

- Recherche sur les gisements solaires
- Découverte et approfondissement des différents types de concentration solaire.
- Aspects socio-économique et environnemental de l'énergie solaire
- Réalisation d'un mini concentrateur solaire qui pourra, dans le futur, être couplé avec un petit moteur Stirling.

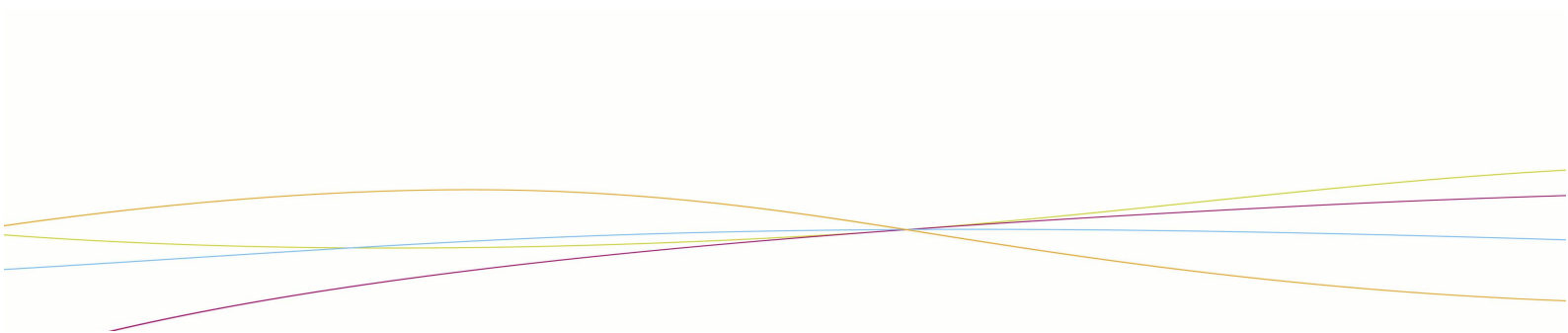
Mais encore, ce projet va poursuivre notre apprentissage du travail en groupe et de la séparation des tâches au sein d'un groupe.

Mots-clef du projet :

- Solaire
- Ecologique
- Entente

## Table des matières

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>6</b>
<b>2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL .....</b>	<b>7</b>
<b>3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Historique et présentation.....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Historique .....	8
3.1.2 Les gisements solaires .....	9
3.1.3 Les différents types de concentrateur solaire .....	10
<b>3.2 Les aspects socio-économique et environnemental.....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Aspect socio-économique.....	11
3.2.2 Aspect environnemental .....	12
<b>3.3 Etude des différents types de concentrateurs. Passage de l'énergie thermique à l'énergie électrique .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Réflecteurs cylindro-paraboliques.....	13
3.3.2 Concentrateur parabolique.....	16
3.3.3 Centrale à tour .....	20
3.3.4 Capteurs solaires fixes à concentration.....	22
3.3.5 Perspectives d'avenir (4 projets).....	23
<b>3.4 Réalisation, étude et résultats de notre kit .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Réalisation et observation de notre « mini concentrateur solaire » .....	25
3.4.2 Expériences réalisées.....	27
3.4.3 Améliorations possibles .....	29
<b>4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>30</b>
<b>5. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>31</b>
<b>6. CREDITS D'ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE (Bilan de projet).....</b>	<b>33</b>



## NOTATIONS, ACRONYMES, LEXIQUE

**Chaleur latente** : Énergie échangée lors d'un changement de phase d'un corps pur.

**Fluide caloporteur** : Fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température.

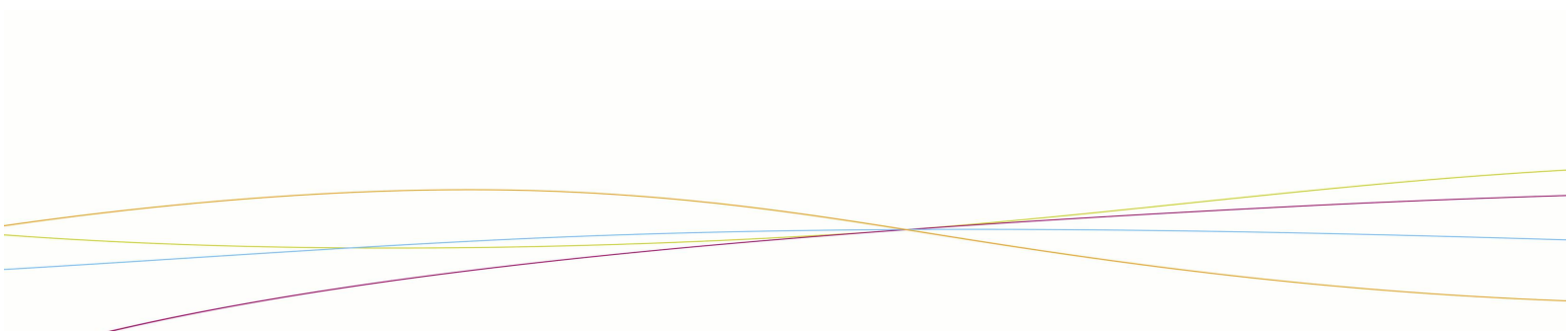
**Héliostats** : Dispositifs permettant de suivre la course du soleil, généralement pour orienter toute la journée les rayons solaires vers un point ou une petite surface fixe, à l'aide d'un miroir.

**Midi solaire** : Le midi solaire correspond au moment de la journée où le soleil est au zénith.

**Système de pointeur solaire** : système permettant de pointer le soleil et donc de repérer le déplacement de celui-ci pour ensuite réajuster la position d'une installation solaire.

**Solaire direct** : rayonnement du soleil perçu directement par l'œil ou tout autre appareil tel qu'un concentrateur solaire. Ce type de rayonnement est fortement lié à la géométrie de l'ensoleillement et dépend de la trajectoire journalière et saisonnière du soleil pour un site donné ainsi qu'à la nébulosité.

**Solaire diffus** : Le rayonnement diffus concerne tout le rayonnement, dont la trajectoire entre le soleil et le point d'observation n'est pas géométriquement rectiligne, et qui est dispersé ou réfléchi par des composants de l'atmosphère.



## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur INSA, nous avons souvent l'opportunité de travailler en groupe que cela soit lors de recherches, exposés, présentations ou encore projets. En effet un ingénieur doit être capable de mener des travaux en équipe dans des domaines variés. Ainsi, lors de notre quatrième semestre, nous avons mené un projet de P6-3.

Plusieurs sujets nous ont été proposés. Le notre porte l'intitulé « Concentrateurs solaires et réalisation d'un mini concentrateur solaire ». La recherche de dispositifs propres, rentables et produisant de l'énergie est de nos jours une préoccupation majeure.

Notre projet s'est déroulé sur une période de 14 semaines sous la supervision de Mr Jamil Abdul Aziz qui nous a tout d'abord présenté ce qu'il attendait de ce projet. Par la suite, il s'est enquis de façon hebdomadaire de l'évolution de notre travail en recadrant parfois notre travail ou en clarifiant certains points. Notre projet s'est divisé principalement en 3 phases. La première a été de mener des recherches et de s'informer sur ce sujet qui nous était plus ou moins inconnu. Ensuite, nous avons toute la partie rédactionnelle qui s'est étalée tout au long du projet. Enfin, nous avons pu réunir tout le matériel dont nous avons besoin à la réalisation du mini concentrateur solaire et nous avons procédé à des expérimentations lorsque le temps normand nous le permettait.

Ce dossier se compose de 3 parties. La première concerne notre méthodologie et l'organisation de notre travail. La seconde regroupe une partie de nos vastes recherches que nous avons jugées important de mentionner. Enfin, vous trouverez la partie qui traite de l'aspect pratique de notre projet, à savoir la réalisation, l'expérimentation et l'analyse de nos résultats.

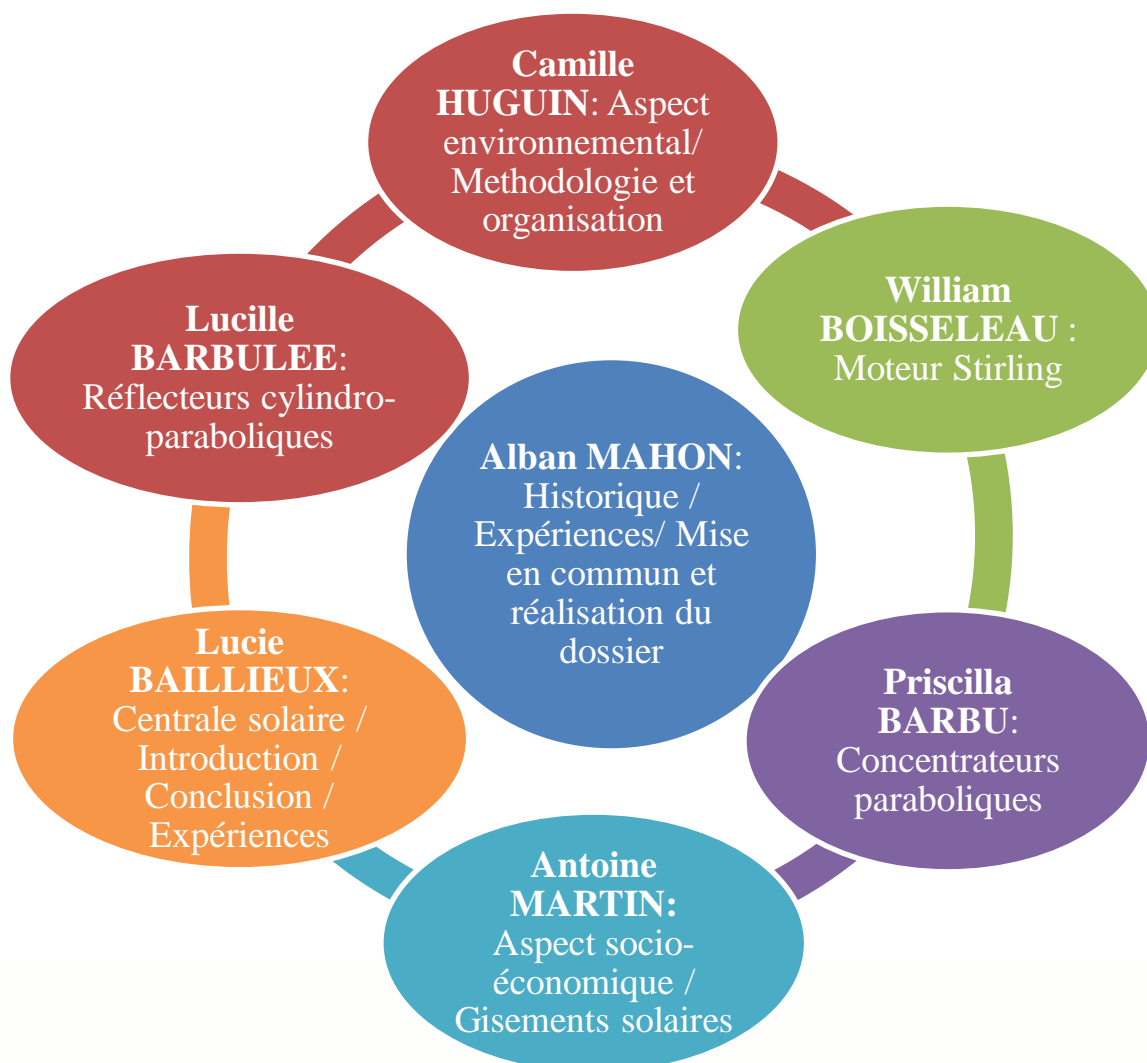
## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Lors de ce projet, nous avons dû nous organiser afin de pouvoir fournir un travail complet. Tout d'abord, nous avons décidé de ne pas désigner de chef de projet et de tous travailler de la même façon. Puisque notre projet était à la fois bibliographique et expérimental, nous avons choisi, pour des raisons pratiques, de commencer par la partie bibliographique. En effet, puisque nous devons réaliser un concentrateur solaire, il nous a d'abord fallu attendre d'avoir le matériel nécessaire et aussi attendre le plus tard possible dans cette année scolaire afin d'avoir un soleil assez puissant pour avoir des résultats exploitables.

Ainsi, pendant les 5 premières séances nous avons rédigé chacun une partie du dossier auparavant répartie. Ensuite, à partir du moment où nous avons eu la parabole, nous avons d'abord passé une séance à la rendre apte à faire les expériences et nous sommes ensuite allés dehors pour commencer nos expérimentations.

Pendant la partie pratique, chacun a pu participer puisque nous nous sommes servis d'un thermomètre, de papier journal et bien sûr de la parabole. Il a aussi fallu prendre des photographies pour le rapport.

**Voici la répartition des tâches lors de la rédaction du dossier écrit :**



## 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

### 3.1 Historique et présentation

#### 3.1.1 Historique

Tout d'abord, l'énergie solaire est l'énergie du soleil qui est transmise sur Terre par rayonnement. Elle est à l'origine de la vie sur Terre car elle permet, par exemple, le cycle de l'eau, la photosynthèse (d'où la présence des végétaux) et les chaînes alimentaires.

Depuis plus de deux mille ans, les hommes connaissent les propriétés du soleil et essayent de les exploiter au mieux pour des usages le plus souvent matériels. En effet, l'appropriation de la lumière et du chauffage a toujours été au cœur des préoccupations humaines. Peu après, l'idée de transformer l'énergie solaire en d'autres énergies émerge avec l'idée d'une pompe solaire.

Ce n'est ensuite qu'en 1615 que la première pompe solaire de qualité fut réalisée. La force motrice de celle-ci était fournie par de l'air chauffé grâce au soleil. A partir de cette date, de nombreux dispositifs solaires furent réalisés afin de tenter d'utiliser le rayonnement solaire pour les tâches de la vie quotidienne comme par exemple la cuisine.

Il faut ensuite attendre le 20<sup>e</sup> siècle pour voir se développer, dans les pays industrialisés, une série de travaux et de réalisations sur l'énergie solaire. En 1954, la première cellule photovoltaïque est créée par les laboratoires américains Bell Telephone.

La plus grande avancée concernant l'énergie solaire s'est effectuée lors de la course vers l'espace. En effet, les satellites ayant des besoins en électricité, il a fallu trouver des dispositifs transformant le rayonnement solaire en énergie électrique. C'est à ce moment que l'idée des concentrateurs solaires fait son apparition mais la solution choisie pour les satellites fut la photopile du fait de sa taille et de sa durée de vie.

Puis, en 1973, la crise pétrolière de l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole) a permis d'initier une prise de conscience par les autorités à la rareté du pétrole et donc d'amplifier le recours à l'énergie solaire et plus particulièrement aux capteurs solaires à concentration. Enfin, la première centrale électrique solaire est apparue en 1980 en Californie et a engendré un développement de l'utilisation du solaires dans une dizaine de pays.

Aujourd'hui, du fait du réchauffement climatique, les projets de développement solaire reviennent parmi les plus fréquents et semble être la solution idéale pour la production électrique de demain.

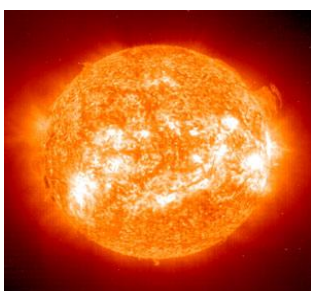


Illustration 1 : Énergie solaire



Illustration 2 : Cellule photovoltaïque



### 3.1.2 Les gisements solaires

Les zones désertiques, situées sous des latitudes proches de l'équateur sont les plus favorables à l'énergie solaire. Certains pays développés proches de ces zones d'ensoleillement commencent à exploiter cette énergie, grâce à différents procédés, dont les concentrateurs solaires. Les zones dans lesquelles le rayonnement solaire est particulièrement important vont permettre la création de site de production électrique à grande échelle, c'est par exemple le cas en Californie où se trouve actuellement une centrale solaire d'une puissance de 354 MW.

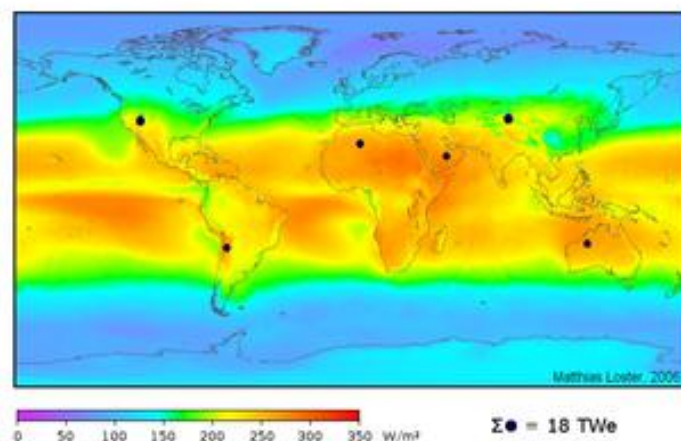


Illustration 3 : Rayonnement solaire annuel dans le monde

En France les gisements solaires sont moins importants et principalement localisés dans le sud, ils sont cependant suffisants pour être exploités. Différents projets de centrale solaire sont actuellement réalisés, c'est le cas en lorraine où l'entreprise EDF construit actuellement la plus grande centrale solaire de France. Cette centrale s'étendra sur 140 hectares.

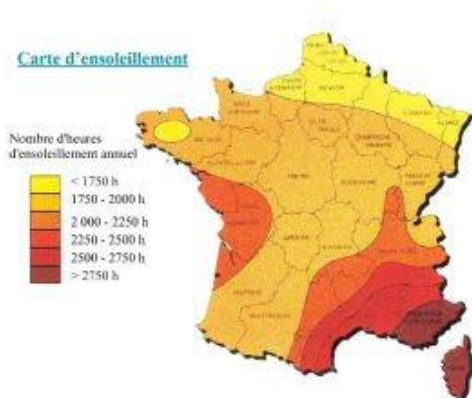


Illustration 4 : Durée d'ensoleillement moyenne en heures par an

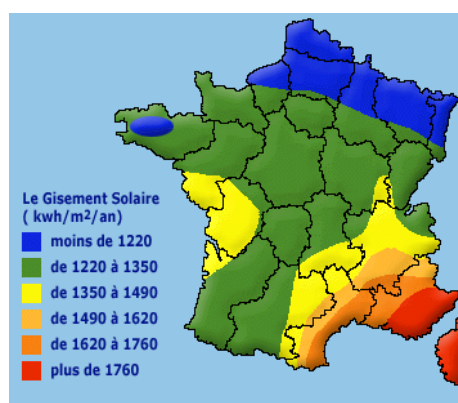


Illustration 5 : Potentiel énergétique moyen en kwh thermique par an et par m².

### 3.1.3 Les différents types de concentrateur solaire

Il existe différentes façons de faire un concentrateur solaire. Il faut tout d'abord des collecteurs solaires. Nous en avons trouvé quatre qui vont être présentés et développés plus loin :

- réflecteur cylindro-parabolique
- réflecteur parabolique
- centrale à tour
- capteur solaire fixe à concentration

Ces principes permettent de transformer les rayons solaires en énergie thermique. On conçoit, alors, facilement, quelques applications pratiques telles que le chauffage domestique ou les cuisines solaires avec notamment les fours solaires (ci-dessous à gauche). On peut aussi envisager une utilisation dans le domaine de l'industrie lorsque certains procédés nécessitent de la chaleur. Il existe enfin la possibilité des transformer, en passant par de l'énergie mécanique, l'énergie thermique en énergie électrique (un exemple de dispositif se trouve ci-dessous à droite).



Illustration 6: Four solaire

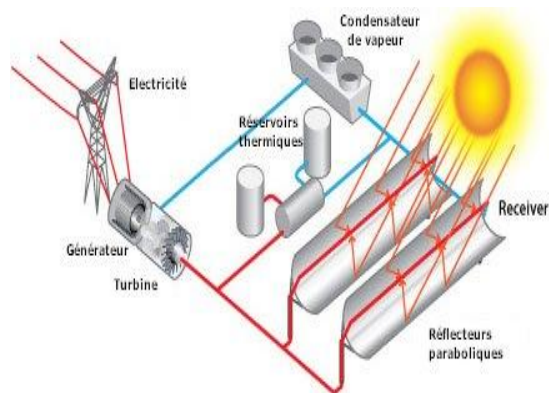


Illustration 7: Dispositif fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique

Compte tenu du contexte environnemental actuel, l'Humanité prend conscience des nouveaux enjeux socio-économiques et environnementaux. Nous allons les développer.

## 3.2 Les aspects socio-économique et environnemental

### 3.2.1 Aspect socio-économique

Dans les années à venir, les ressources fossiles telles que le gaz et le pétrole, se feront de plus en plus rares. Par conséquent, le prix de ces ressources deviendra de plus en plus important. Le solaire est une ressource inépuisable en énergie et ne consomme aucune matière première c'est pourquoi les systèmes de production d'énergie solaire ont un coût proportionnel quasi nul. Une fois le dispositif solaire installé les frais d'entretien sont très faibles. Actuellement, seuls les coûts d'investissement sont importants, ils sont en effet bien plus élevés que pour les techniques fossiles ou les autres énergies renouvelables. Afin d'encourager le développement de cette énergie, le gouvernement de nombreux pays offre des aides financières ou fiscales lors de l'installation de système solaire. C'est par exemple le cas en France:

- Certaines régions proposent des crédits à taux 0 afin de favoriser l'installation de dispositifs solaires.
- Les particuliers peuvent revendre l'électricité produite par leurs installations solaires à des entreprises comme EDF. Cette énergie est vendue à un prix fixé par le gouvernement.

Cette énergie n'est donc, pour le moment, qu'anecdotique. Cependant elle est promise à une forte croissance dans les 10 prochaines années. En effet la commission européenne a fixé à 23% la part que devront représenter en 2020 les énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de l'hexagone. Les objectifs principaux de cette loi étant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et obtenir une alternative aux ressources fossiles.

### 3.2.2 Aspect environnemental

Tout d'abord, nous pensons important de rappeler que les concentrateurs solaires utilisent uniquement l'énergie solaire pour fonctionner. Ainsi, nous pouvons sans aucun doute les classer dans la catégorie des énergies renouvelables. De plus, ils semblent être réellement avantageux puisqu'ils sont, selon le site espace écologie, sans impact sur l'environnement. De plus, d'après AE3000, ils sont aussi non polluants, silencieux et ne consomment pas de ressource limitée. Cette source est donc l'une des plus faciles à mettre en place (plus facile et moins coûteuse que le photovoltaïque par exemple) puisqu'elle n'est pas soumise aux contraintes géothermiques ce qui la fait devenir rentable et facilement exploitable.

D'autre part, en plus d'être une « énergie propre », le solaire thermique semble promettre de nombreuses avancées pour la production écologique d'électricité. En effet, selon le réseau *Sortir du Nucléaire*, il sera possible dans un futur proche de substituer celui-ci à de nombreuses autres sources d'énergie telles que :

- Les chaudières à condensation et les chaudières basse température fonctionnant au gaz ou même au fioul dans l'habitat individuel comme collectif.
- Les raccordements à des réseaux de chaleur alimentés par la production au gaz.
- Le développement de l'ensemble des filières de la biomasse : bois, déchets, biogaz.
- Des installations solaires thermiques de type « plancher solaire direct ».

Ceci nous amène donc à penser que le solaire thermique a forcément un impact bénéfique sur l'environnement comme nous le montre un article sur le site internet ekopedia qui explique que dans le nord de la France, une installation typique permet d'économiser environ 50% des besoins énergétiques nécessaires au chauffage de l'eau sanitaire d'une habitation.

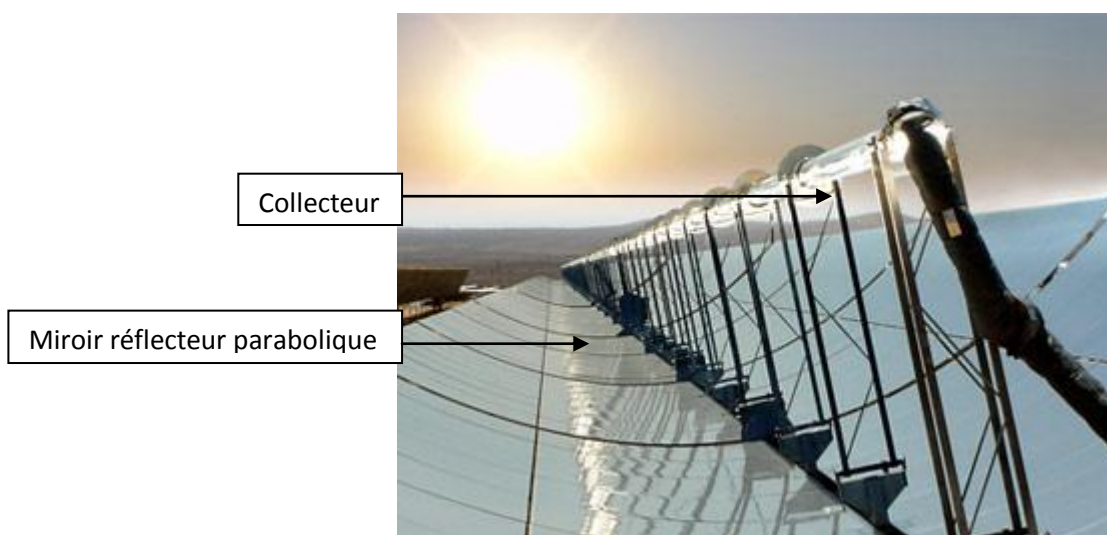
Pour finir sur l'environnement, il ne faut pas oublier que cette énergie, bien que « propre » une fois installée, pollue indirectement lors de sa fabrication et de son transport.

## 3.3 Etude des différents types de concentrateurs. Passage de l'énergie thermique à l'énergie électrique

### 3.3.1 Réflecteurs cylindro-paraboliques

Les centrales à réflecteur cylindro-parabolique:

Le réflecteur cylindro-parabolique est un capteur solaire à concentration à foyer linéaire qui utilise un réflecteur cylindrique de section parabolique : c'est le concentrateur le moins récent et le plus utilisé. En effet, de nombreuses installations ont déjà vu le jour et ont déjà été commercialisées depuis 1980 dans le monde.



*Illustration 8 : Capteur cylindro-parabolique de la centrale de Nevada Solar One*

Dans ce type de centrale, les miroirs réflecteurs sont alignés parallèlement et tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil et collecter le plus de rayon possible. Ces rayons sont ensuite concentrés sur un tube horizontal, dans lequel circule un fluide colporteur qui peut atteindre une température de 500°C. Ce fluide servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. L'énergie récoltée par ce fluide est transféré à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Comme nous venons de la voir, ce type de centrale est généralement composé de trois parties principales: le champ solaire, le système de transfert de la chaleur et le système de génération électrique.

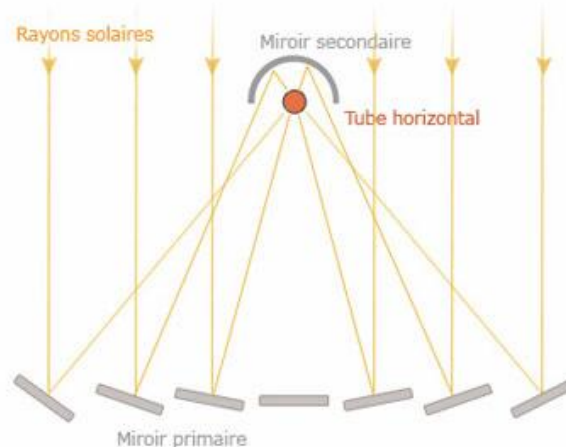
Le champ solaire :

Le champ solaire transforme le rayonnement solaire en énergie thermique. Selon la puissance et la température voulue, la taille du champ solaire va varier. Il est composé de collecteurs reliés en série qui, à leur tour, sont connectés en parallèle.

Ainsi, ces différents collecteurs, comme leur nom l'indique, collectent les rayons du soleil. Leur rôle est de transmettre le plus de chaleur possible au fluide. Le collecteur est donc

un composant indispensable du champ solaire. Il est fait d'un miroir (réflecteur parabolique), d'une structure métallique, d'un tube récepteur et d'un système de poursuite solaire.

Les miroirs des collecteurs sont généralement constitués de verre pauvre en fer, recouvert d'aluminium poli ou d'argent et protégé par un enduit isolant. Si ceux-ci sont de bonne qualité, ils peuvent réfléchir jusqu'à 97% du rayonnement incident. Cependant, mettre un verre sous forme parabolique coute cher. C'est pourquoi, une succession de miroirs plan de Fresnel est souvent utilisé pour approximer la forme parabolique. Ce système, moins chers, est utilisé depuis une dizaine d'années. De plus, les miroirs de Fresnel résistent mieux face au vent puisqu'ils sont plans.



*Illustration 9 : Principe de fonctionnement des centrales avec miroirs de Fresnel  
(Les rayons réfléchis par les miroirs vont vers le tube récepteur)*

En effet, ce tube est situé au foyer du système parabolique, c'est-à-dire à l'endroit où tous les rayons se croisent. Cela permet de chauffer le fluide colporteur, qui circule dans le tube, au maximum. Le tube récepteur doit présenter une bonne absorption pour empêcher au rayonnement de se refléter et les pertes thermiques doivent être limitées afin d'avoir un rendement maximum. Pour le fluide colporteur, il faut choisir un fluide en fonction de la température maximale admissible: les huiles (400°C), les sels fondus (650°C) sont les plus utilisés.

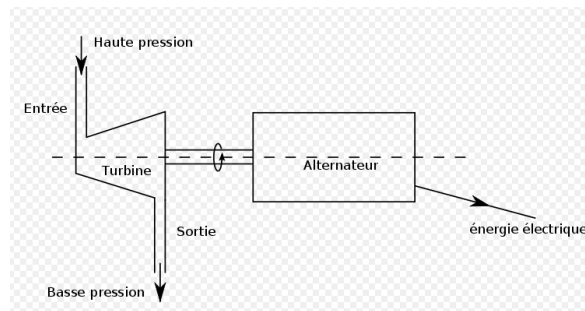
Les collecteurs sont également équipés d'un mécanisme de poursuite. C'est le système qui permet de suivre le rayonnement solaire: il adapte en permanence le capteur solaire de façon à ce que le rayonnement reçu soit toujours perpendiculaire au réflecteur. Ainsi, le rayonnement est réfléchi, au foyer de la parabole formé par les miroirs, et concentré dans un tube collecteur. La structure métallique permet de relier ces différents composés entre eux et de résister aux contraintes climatiques (vent...). Néanmoins, collecter les rayons du soleil et transformer le rayonnement en énergie thermique ne suffit pas, il faut également relier le champ solaire à un système de transfert de chaleur et de génération électrique.

#### Système de transfert de chaleur et de génération électrique :

La turbine à vapeur est le principal système utilisé: c'est un moteur thermique à combustion externe qui fonctionne selon le cycle de Rankine. Ce cycle se caractérise par un changement d'état.

Ainsi, le fluide qui circule dans le tube récepteur est chauffé par les rayons du soleil et mis sous pression par une pompe. Ensuite, la chaleur est envoyée vers une chaudière dans laquelle l'eau est évaporée. Cette vapeur passe ensuite dans une turbine où elle est détendue et refroidit afin de fournir de l'énergie mécanique. Enfin, la vapeur est condensée au contact de

la source froide sous vide partiel. L'énergie mécanique créée est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur selon le schéma suivant:



*Illustration 10 : Schéma de principe d'une turbine*

avantages/inconvénients :

Les principaux avantages des centrales cylindro-parabolique sont, d'une part, qu'ils peuvent aujourd'hui fonctionner 24h/24h grâce à un système de stockage de chaleur. D'autre part, le soleil est une source d'énergie inépuisable et gratuite, et il n'y a pas d'émission polluante. Néanmoins, il faut un fort ensoleillement et une zone chaude donc on ne peut pas créer ce type de centrale partout dans le monde. De plus, il faut disposer d'une surface importante au sol comme le montre l'image ci-dessous.



*Illustration 11 : Centrale solaire Andasol 1 en Andalousie(Espagne)*

Cette centrale, située dans un climat semi-aride, produit une puissance de 50 MW, contient 652 collecteurs. Elle occupe 195 hectares et fournit de l'énergie à 200000 habitants.

### 3.3.2 Concentrateur parabolique

#### Historique :

Depuis 30 ans de nombreux prototypes (vu ci dessous) ont vu le jour, l'objet principal a été d'augmenter les performances et de diminuer les coûts.



Illustration 12 : Nombreux prototypes de concentrateurs paraboliques

#### Description :

Les concentrateurs solaires paraboliques sont formés par un ensemble de miroirs incurvés dont l'assemblage entraine la réalisation d'une parabole. Ressemblant à des paraboles de réception satellite, les concentrateurs paraboliques sont en 3 dimensions. En effet, ils forment une courbe de la même manière sur toute leur longueur et la largeur. Les concentrateurs sont bordés de miroirs ou recouverts d'un revêtement réfléchissant tel que l'aluminium. Bien entendu, l'utilisation de certains revêtements entrainera des résultats plus élevés dans la réflectivité. Plus la réflectivité sera grande, plus les concentrateurs solaires seront puissants.

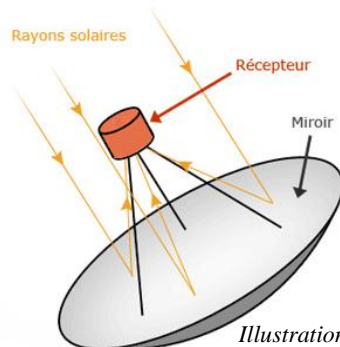


Illustration 13 : Exemples de Concentrateurs paraboliques



#### Principe :

Par principe, lorsque la lumière frappe une surface réfléchissante, elle rebondit sur le même angle. Le concentrateur solaire parabolique à été conçu avec des miroirs incurvés de sorte que toute la lumière reflète en un seul point, peu importe où elle frappe la surface du concentrateur. La distance entre la surface du concentrateur et le point où la lumière se concentre est la distance focale. Le capteur solaire réfléchit les rayons du soleil sur un point appelé point de convergence. Un concentrateur parabolique solaire correspond donc à un ensemble de miroirs incurvés qui concentrent tous les rayons du soleil incidents en un seul point correspondant au foyer ponctuel.



- 1 : Récepteur aérien
- 2 et 3 : Rayons lumineux
- 4 : Miroir de film (Mylar)

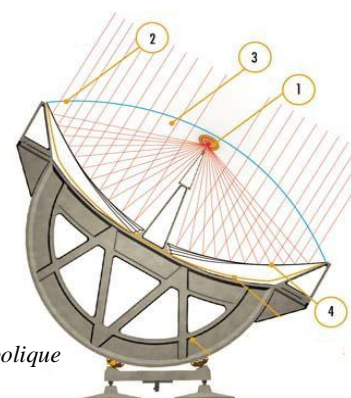


Illustration 14 : Schéma de principe d'un concentrateur parabolique



Le miroir parabolique intercepte le rayonnement solaire. Les rayons arrivant sur le concentrateur parabolique sont réfléchis vers le point de convergence où un récepteur a été mis en place. Le rayonnement solaire se concentre sur le récepteur sur lequel la température monte. L'énergie thermique reçue est ensuite transmise au moteur Stirling. Si un moteur Stirling est placé au foyer de la parabole, la chaleur du soleil va dilater un fluide comprimé afin de générer de l'électricité. En effet, en ce point, le moteur Stirling récupère la totalité de la chaleur fournie par le soleil au réflecteur. Il fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Le moteur Stirling permet de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique. Un générateur directement couplé au vilebrequin du moteur, appelé génératrice de courant alternatif, transforme l'énergie mécanique en courant alternatif (énergie électrique).

#### Rendements :

Les progrès réalisés lors de ces dernières années concernant les réflecteurs paraboloidaux ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermo-solaires. Il faut souligner que la performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling. Plus la surface du concentrateur est grande, plus sa puissance augmente. Dans les concentrateurs paraboliques, on peut obtenir des températures élevées (jusqu'à 1500 °C). La température obtenue par les dish-Stirling est plus importante que celle de leurs pairs ne possédant pas de moteur Stirling. En effet, le rendement du dispositif en est nettement amélioré puisqu'il y a une différence de près de 1 000°C. Le laboratoire PROMES du CNRS possède deux paraboles. La première a une surface collectrice de 56,7m<sup>2</sup> et possède un rendement moyen de 14,7% pouvant aller jusqu'à 18%. La seconde parabole ayant une surface de 42m<sup>2</sup> et un récepteur solaire amélioré sur le moteur Stirling atteint un rendement moyen de 19% (rendement de pointe 23%).

#### Avantages/Inconvénients :

Le principal avantage de ce type d'installations réside dans le fait qu'il représente une source d'énergie inépuisable et gratuite. En effet, il ne produit aucunes émissions polluantes. De plus, le concentrateur solaire parabolique permet souvent d'avoir un bon rendement. Le rendement est généralement du même ordre que pour des panneaux photovoltaïques, mais ce type de système a atteint des rendements supérieurs à 30% dans la conversion du rayonnement solaire en électricité. Cependant, il faut savoir que ce concentrateur fonctionne par intermittence. Ce système étant alimenté par le soleil, il connaît une production soumise aux aléas météorologiques. Lors des jours nuageux ou les jours de pluie, le rendement de cet appareil est considérablement diminué. Pour pallier cette discontinuité, un système d'appoint ou un système de stockage peut être mis en place pour assurer l'autonomie de ce type d'appareil.

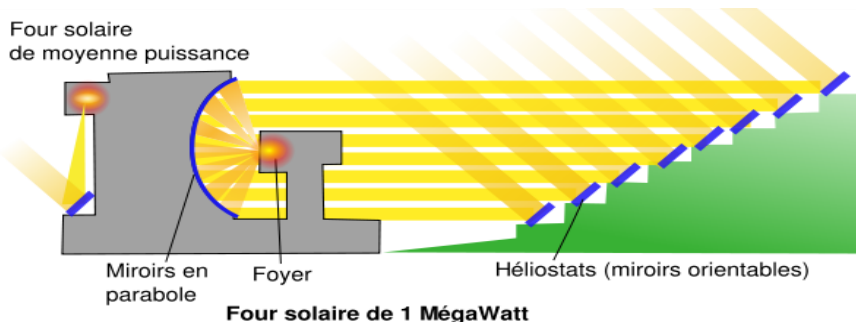
#### Exemples d'installations de type industriel :

##### *Maricopa*

Quand on dispose sur son territoire de déserts ensoleillés, quand on a investi dans le domaine de la recherche et développement, en particulier pour mettre au point des moteurs Stirling de puissance, comme les américains, on peut envisager la construction d'une centrale solaire telle que celle de Maricopa en Arizona. Celle-ci est composée de 60 ensembles parabole-moteur Stirling appelés «Sun Catcher» développant chacun 25 kW, soit un total de 1,5 MW. Chaque parabole a un diamètre d'environ 12 m. La chaleur captée par les moteurs Stirling sert à chauffer un volume d'hydrogène qui se dilate et se contracte afin de faire fonctionner le générateur électrique. En février 2008, un de ces capteurs de SES a battu le record mondial de rendement énergétique à partir d'un moteur Stirling alimenté à l'énergie solaire, soit 31,25%.

### *Four d'Odeillo : four solaire à miroirs paraboliques*

Le site PROMES d'Odeillo est situé au Four Solaire d'Odeillo, dans la commune de Font Romeu, célèbre pour son ensoleillement exceptionnel. C'est le premier type de grand dispositif solaire exploité en France. Ce four solaire de 1 mégawatt se compose d'un miroir parabolique tronqué à facettes, de 1830m<sup>2</sup> et de 18 m de distance focale, éclairé par un champ de 63 héliostats mobiles. Le four focalise l'énergie sur une zone d'environ 80 centimètres de diamètre avec un maximum de 10 MW/m<sup>2</sup>; au foyer. Le site d'Odeillo a été choisi tant pour la durée et la qualité de son ensoleillement en lumière directe (plus de 2400 h/an) que pour la pureté de son atmosphère (faible humidité moyenne). Le principe correspond exactement au principe employé aujourd'hui avec les concentrateurs paraboliques. Premièrement, les rayons du Soleil sont captés par une première série de miroirs orientables, appelés héliostats, situés sur la pente, puis envoyés vers le four où d'autres miroirs sont disposés en parabole. Ensuite, les rayons convergent vers le foyer du four solaire se trouvant au sommet d'une tour centrale ayant à peine 40 cm de diamètre. Le rayonnement solaire est focalisé sur cette surface limitée pouvant atteindre jusqu'à 4000°C.



*Illustration 16 : Schéma de principe du four solaire d'Odeillo*



*Illustration 15 : Four solaire (Odeillo)*

### **Le moteur Stirling :**

S'il est vrai qu'un concentrateur solaire parabolique permet de concentrer l'énergie solaire en un point précis atteignant alors une température considérable, utiliser cette énergie est aussi un des enjeux de notre projet. Une production électrique est en effet possible via, entre autres, des turbines à vapeur ou des moteurs thermiques. Par extension, et dans un cadre davantage industriel, nous aurions probablement privilégié un système chauffant un fluide caloporteur (système à réflecteur cylindro-parabolique), circulant lui-même dans des tuyaux placés au niveau de leur foyer géométrique. Il s'agit à ce jour de la solution la plus économique et la plus facilement réalisable à cette échelle.

Notre projet s'effectuant à l'ordre du mètre, un petit moteur thermique correspond davantage à son échelle qu'un système chauffant un fluide. Le moteur Stirling s'avère être celui qui convient le plus pour un concentrateur parabolique. Il est réalisable à notre niveau : il a en effet été étudié et conçu l'année dernière en projet par des élèves de l'INSA.



*Illustration 17 : Moteur Stirling*

L'intérêt du moteur Stirling :

Le moteur Stirling (du nom de son inventeur anglais Robert Stirling) est un moteur à combustion externe, c'est à dire que la source de chaleur est en dehors du moteur et peut être de différentes nature : gaz, bois, ...ou la concentration des rayons solaires par exemple. Il n'y a pas d'explosions dans ce moteur, il s'agit simplement de la compression et la détente d'un simple gaz enfermé à l'intérieur du moteur Stirling. Ces avantages sont multiples : il est silencieux, possède le meilleur rendement de tous les autres types de moteurs existants, ne nécessite aucun entretien, est très économe en énergie, possède une durée de vie exceptionnelle et n'est pas polluant (ici, il fonctionnera à l'énergie solaire tout simplement).

Principe du moteur :

Le principe du moteur Stirling est simple, à haute température un gaz se dilate ; tandis qu'à faible température, il se contracte. On peut décrire un moteur Stirling comme un cylindre renfermant du gaz, avec un piston récupérant de l'énergie mécanique. Ainsi, le gaz qui est enfermé, lorsqu'il sera chauffé, se dilatera et va donc faire augmenter la pression, ce qui va pousser le piston. Et inversement, lorsqu'il va se refroidir, il se contractera, ce qui va produire une dépression et attirer le piston dans l'autre sens.

Le cycle thermodynamique du moteur Stirling est relativement simple : il comprend 4 phases élémentaires pendant lesquelles le gaz utilisé subit les transformations suivantes :

- Chauffage isochore à volume constant : La source chaude cède de l'énergie. Par conséquent, la pression et la température du gaz dans le piston augmentent durant cette phase.
- Détente isotherme à température constante : La pression du gaz ayant augmentée, elle devient supérieure à la pression extérieure qui reste constante. Le volume va ainsi augmenter afin de permettre à la pression de diminuer. L'énergie motrice est produite par le piston durant cette transformation.
- Refroidissement isochore à volume constant : La source froide récupère de l'énergie thermique. Pendant cette phase, la pression et la température diminuent.
- Compression iso-thermique : La pression augmente, au fur et à mesure que son volume diminue. Pour ce faire, de l'énergie mécanique est fournie au gaz (par "l'élan" du piston).

Le diagramme de Clapeyron nous permet de visualiser l'évolution théorique de la pression dans le moteur en fonction du volume du gaz. Il permet aussi d'illustrer les 4 transformations du gaz :

- 2->3 : Chauffage isochore
- 3->4 : Détente isotherme
- 4->1 : Refroidissement isochore
- 1->2 : Compression isotherme

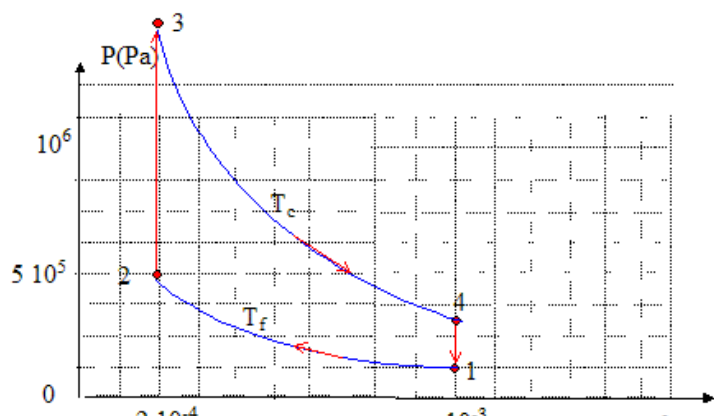


Illustration 18: cycle de clapeyron

Nous pouvons remarquer que ce diagramme reste relativement théorique, et qu'en réalité, le cycle est davantage arrondi.

Etude de 3 types de moteur Stirling :

Il existe différents types de moteurs Stirling à savoir : le moteur Stirling de type Alpha, le Bêta, le Gamma mais aussi des machines non conventionnelles, moins diffusées ou restant au stade du prototype telles que le Martini, le Ringbom, le free piston Sterling engine, le moteur à double effet, le moteur rotatif et le générateur thermodynamique.

Choix du moteur et application au système parabolique :

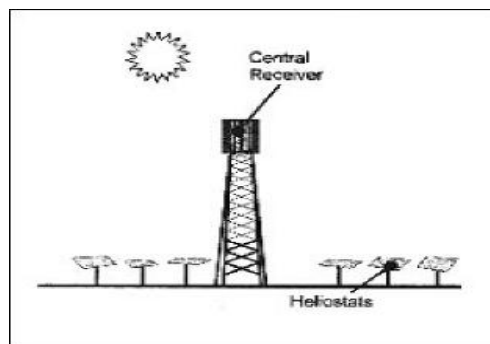
Il est important de différencier une étude à une échelle industrielle et une étude à l'échelle de notre projet. Dans le cadre d'un projet industriel, il eut été judicieux de choisir un moteur de type alpha en complément d'un concentrateur parabolique. En effet, ce type de moteur possède un ratio puissance-volume très élevé et est pour cette raison d'ores et déjà utilisé par des entreprises pour ce type d'utilisation. Mais à l'échelle de notre projet, nous avons choisi de construire un moteur Stirling de type Gamma, car il est relativement simple à réaliser de part ses matériaux et plus principalement sa construction (autrement appelé moteur "Nivéa"). Toutefois, La puissance mécanique développée est très faible, elle est juste suffisante pour compenser les pertes par frottements. Des mesures ont permis d'estimer à 1 mW la puissance excédentaire fournie par ce dispositif. En admettant que l'on convertisse cette énergie mécanique en énergie électrique, avec un rendement proche de 1, et que l'on puisse la stocker sans perte pendant 1 mois, on pourrait alors alimenter une ampoule électrique basse consommation de 20W pendant 2 minutes.

Malheureusement, le moteur Stirling réalisé ne fonctionnait pas, sûrement à cause de frottements trop importants, malgré nos réglages précis, ainsi qu'un problème de déphasage pourtant corrigé. Dans un projet futur, il faudrait utiliser le moteur Stirling réalisé par un autre groupe de projet de P6-3 qui serait, sans aucun doute de meilleure qualité.

**3.3.3 Centrale à tour**

Principe :

Une centrale solaire thermodynamique est une centrale présentant un dispositif de concentrateur solaire (ci-dessous). Ce dispositif est composé des miroirs plans et d'une tour comportant un fluide caloporteur. A l'aide de miroirs plans appelés héliostats, les rayons solaires seront regroupés en une zone appelé foyer avec une grande précision. Cette zone est située en haut d'une grand tour pouvant dépassée les 100 mètres de haut. La température y régnant, y est alors largement augmentée puisqu'elle peut dépasser les 1000°C. On trouve, également, dans cette zone, un fluide caloporteur qui permettra, par la suite, de produire de l'énergie électrique. Dans l'absolu, un ordinateur positionne les miroirs de façon à ce que les rayons captés soient toujours redirigés vers la tour, ainsi les miroirs tournent.



*Illustration 19 : Dispositif général d'une centrale solaire thermodynamique*

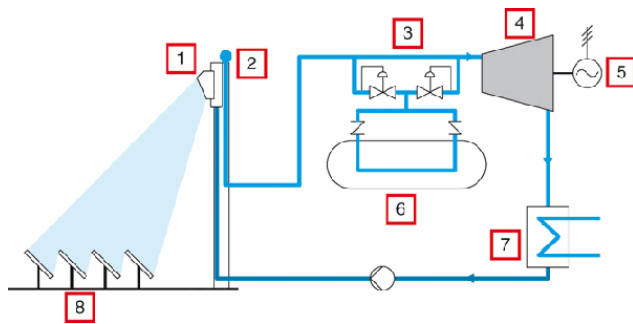


Illustration 20 : Exemple dispositif d'une centrale

- 1-Récepteur solaire
- 2-Bac tampon
- 3-Vapeur 40 bar, à 250°C
- 4-Turbine
- 5-Générateur 11 MW
- 6-Système de stockage d'eau sous pression
- 7-Condenseur 0,006bar, 50°C
- 8-Champ d'héliostats

On note des différences avec les dispositifs présentés précédemment. Un inconvénient des centrales à tour est qu'elles doivent être grandes (tour haute et dispositif au sol important) pour avoir une rentabilité acceptable. Elles nécessitent aussi un fort ensoleillement. Elles sont cependant toujours au stade d'expérimentation concernant le développement industriel. Un avantage de ces centrales réside au niveau des déperditions d'énergie. Elles sont en effet minimisées lors du transfert de chaleur. De plus, ces centrales utilisent une source d'énergie inépuisable et gratuite sans produire d'émissions polluantes.

#### Stockage d'énergie :

Le stockage peut s'effectuer de deux façons. La plus évidente et la plus connue se fait dans des batteries situées après le générateur. La seconde se fait avec un accumulateur à sel de nitrate développé au centre de recherche aérospatial allemand (DLR) par l'institut de thermodynamique technique. Elle s'opère en amont du générateur sous forme de chaleur latente dans des cuves de sels de nitrate fondus (photo ci-dessous). L'accumulateur à sels de nitrate est constitué de plusieurs couches de graphite et de matériaux caractérisés par un changement de phase qui permet un stockage thermique par chaleur latente. Ce stockage permet à la centrale de fonctionner la nuit ou par temps nuageux. Ainsi dans la centrale Solar 3 à Almería en Espagne, les cuves permettent un stockage de 16 heures et le fonctionnement d'une turbine de 15 MW jusqu'à 24 heures. On obtient donc des centrales à tour avec héliostat et à cuves de sels fondus.



Illustration 21 : Deux cuves de sels fondus se trouvant à la centrale Solar 2 en Californie (USA)

### 3.3.4 Capteurs solaires fixes à concentration

Les capteurs solaires fixes à concentration utilisent deux types de réflecteurs dans le but d'orienter le rayonnement solaire : des réflecteurs à composés paraboliques et des réflecteurs plans. Ces réflecteurs permettent l'orientation du rayonnement solaire vers une fente ou un absorbeur d'accompagnement à travers un important angle d'admission. En d'autres mots, ce type de capteur solaire combine deux types de réflecteurs afin de pouvoir capter le rayonnement solaire quelque soit la position du soleil dans le ciel. Pour cela, il est généralement couplé à un absorbeur d'accompagnement qui, lui, « accompagne le soleil » pour que la concentration des rayons s'effectue toujours sur l'absorbeur. De plus, l'angle d'admission relativement important sur ce type de capteur élimine la nécessité de se munir d'un système de pointeur solaire. En effet, l'absorbeur « accompagnant » le soleil, permet à l'installation toute entière, le capteur solaire à concentration, de rester fixe sur son emplacement.

Ce type de capteur comprend des capteurs plans à réflecteurs cylindro-paraboliques, des capteurs plans, avec des réflecteurs paraboliques de surpression.



Illustration 22 : système de pointeur solaire

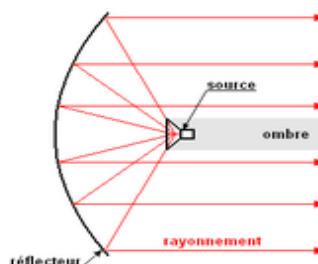
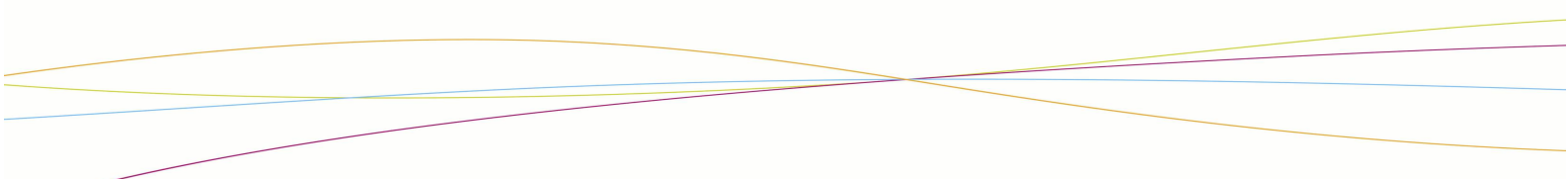


Illustration 23 : Réflecteur parabolique



### 3.3.5 Perspectives d'avenir (4 projets)

#### ➤ PS10 et PS20:

Près de Séville (Espagne) PS10 produit près de 23 GW d'électricité par an, grâce aux 624 héliostats, permettant ainsi d'éviter le rejet dans l'atmosphère d'environ 16 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. L'objectif, pour 2013, est de construire 8 autres centrales de cet type dans la même zone de façon à totaliser plus 300MW et ainsi alimenter en électricité 180 000 foyer ce qui correspond à une ville comme Séville. On parle maintenant de PS20 dans la mesure où une seconde centrale solaire a été construite. Elle a une capacité de 20MW (le double de PS10) avec ses 1255 héliostats.



*Illustration 24 : PS10 et PS20 près de Séville (Espagne)*

#### ➤ Projet Ivanpah :

Une compagnie californienne a lancé la construction de 3 centrales thermiques solaires dans le désert du Mojave (sud-ouest des USA). La capacité solaire s'élève à 400MW. Deux de ces particularités consistent à ne pas réaliser de terrassement en béton et à utiliser un système de refroidissement à sec de façon à consommer 25 fois moins d'eau que les projets actuels.



*Illustration 25 : Simulation du projet Ivanpah finalisé (USA)*

➤ Central solaire à air comprimé en Australie :

La construction a débuté en mai 2010 et le champ des 450 héliostats est opérationnel depuis mars 2011. Cette centrale fonctionne en cycle Brayton qui ne nécessite pas d'eau, adapté au climat australien. En effet, elle fonctionne avec un système de compression d'air. La concentration d'énergie solaire est utilisée pour chauffer et comprimer l'air qui ensuite se dilate à travers une turbine pour produire de l'énergie mécanique puis de l'électricité.



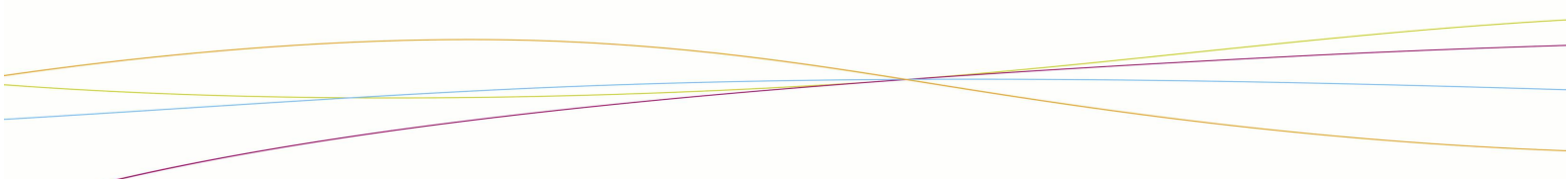
*Illustration 26 : Simulation de la centrale solaire à air comprimé (Australie)*

➤ La variante « flottante » :

L'Emirat de Ras-al-Khaimah finance le projet « îles thermo-solaires » (plus de 5 millions de francs suisses). Il s'agit d'un disque de 3Km de diamètre, flottant et orientable qui utilise les mêmes dispositifs que la centrale à tour tel que la concentration des rayons solaires vers un fluide caloporteur pour produire de l'électricité. Afin de résoudre certains problèmes liés à la houle, ou au sel marin par exemple un test, sur de l'eau amené par un canal, dans le désert, a été effectué.



*Illustration 27 : Îles thermo-solaires*





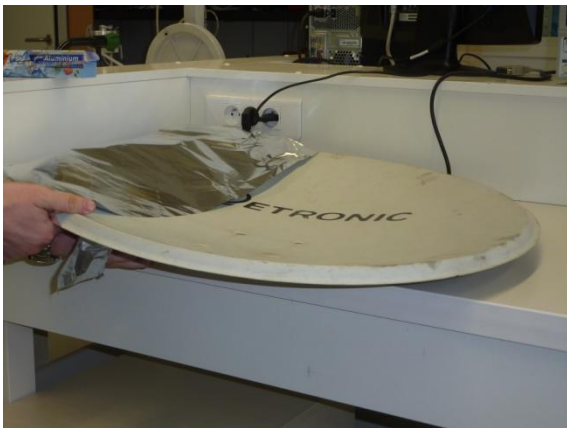
## 3.4 Réalisation, étude et résultats de notre kit

### 3.4.1 Réalisation et observation de notre « mini concentrateur solaire »

Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé un kit de concentration solaire ou « mini concentrateur solaire ». La réalisation d'un concentrateur solaire est simple mais peut se présenter sous différentes formes en fonction de l'utilisation du concentrateur. Nous avons opté pour un concentrateur parabolique. Pour cela, nous avons eu besoin du matériel suivant :

- une parabole
- du papier aluminium
- de la colle

La conception du concentrateur solaire s'est effectuée en trois temps. D'abord, nous avons étalé la colle sur la parabole. Après, nous avons étalé le papier aluminium sur la surface collante de la parabole. Enfin, nous avons essayé d'avoir le moins de plis possibles ce qui s'est avéré plus compliqué que prévu puis nous avons laissé sécher.



*Illustration 28 : Réalisation du kit*

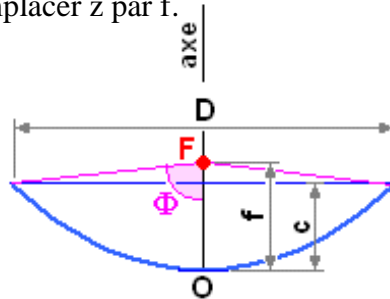
Concernant l'utilisation, il ne restait plus qu'à positionner notre kit en direction du soleil et de faire nos expérimentations et nos observations.



## Calcul de la distance focale

### **Théoriquement :**

Une surface parabolique d'axe  $z$  admet une équation du type  $z = r^2/(4f)$  où  $r$  représente la distance à l'axe  $z$  et donc le rayon.  $f$  correspond à la distance entre le foyer et le creux de la surface parabolique. Or pour la cote  $z = f$ , les rayons verticaux arrivant sur la pente à  $45^\circ$  sont renvoyés horizontalement vers le foyer. De ce fait, pour trouver le foyer il suffit de reprendre l'équation précédente et de remplacer  $z$  par  $f$ .



La distance focale  $f$  d'une parabole est le segment  $OF$  reliant le "fond" du réflecteur au foyer  $F$ . Elle peut être facilement retrouvée à l'aide de la formule :

$$f = \frac{D^2}{16 \cdot c}$$

avec  $D$  : diamètre du paraboloïde  
 $c$  : profondeur

Pour calculer le diamètre de la parabole, nous avons pris une corde que nous avons tenu de façon rectiligne sur notre parabole puis nous avons mesuré simplement avec une règle la distance  $D$  en prenant bien soin de faire passer notre corde par l'axe de la parabole. Nous avons trouvé  $d = 65$  cm et  $73$  cm.

Pour calculer la profondeur du paraboloïde, nous avons utilisé une corde que nous avons placée de façon à ce qu'elle soit rectiligne. Puis, nous avons mesuré  $c$  en posant une règle sur le réflecteur et en mesurant la distance entre le point  $O$ , centre du réflecteur, et la corde. Nous avons trouvé deux profondeurs différentes étant donné que notre parabole n'était pas tout à fait paraboloïde. Nous avons trouvé  $c = 8,5$  et  $8$  cm. Pour le calcul, nous avons posé  $c = 8,25$  cm.

Par un calcul théorique, nous avons donc trouvé que la distance focale était d'environ  $35$  cm.

### **Expérimentalement :**

Lorsque la lumière frappe les miroirs incurvés, la lumière reflète en un seul point correspondant au foyer ponctuel. La distance entre la surface du concentrateur et le point où la lumière se concentre est la distance focale. De ce fait, nous avons placé une feuille de papier journal et nous avons essayé de trouver le foyer ponctuel. Nous avons pour cela cherché à avoir le point le plus lumineux sur notre papier puisque le foyer correspond au point où la lumière se concentre entièrement. Nous avons pu observer que ce foyer changeait en fonction de l'inclinaison de notre parabole. Expérimentalement, nous avons trouvé une distance focale de  $32$  cm.

Notre parabole n'étant pas ronde et symétrique, nous avons élaboré le calcul en tenant compte de cela. Cependant, nous pouvons noter qu'il existe une différence entre le calcul théorique et le calcul expérimental.

### 3.4.2 Expériences réalisées

Après avoir réalisé notre mini « concentrateur solaire », nous avons effectué plusieurs expériences lorsque le temps nous le permettait.

#### Expérience 1: lundi 9 mai 2011 (10h-11h)

Tout juste une semaine après avoir réalisé notre kit de concentration solaire, le soleil était au rendez-vous. Il nous a donc paru évident d'essayer notre concentrateur solaire. La température extérieure était de 24°C, un léger vent intermittent se faisait sentir et quelques nuages étaient visibles. Nous avons tout d'abord cherché grossièrement le foyer de notre parabole à l'aide d'une feuille blanche puis nous avons placé du papier journal à cet endroit tout en utilisant une sonde thermique pour observer les variations de température. Après plusieurs essais non-concluants du fait de la présence de nuage, nous avons réussi à atteindre une température de 135°C sur le papier journal. Celui-ci s'est même mis à fumer!



Illustration 29 : Test du kit



Illustration 30 : Température atteinte

Après cette première expérience, nous avons été surpris de la température atteinte mais avons décidé de réitérer l'expérience entre 12h et 14h par un temps beaucoup plus ensoleillé afin d'obtenir de meilleur résultat. En effet, nous avons la formule suivante:

$$G = \text{direct} + \text{diffus}$$

avec G: ensoleillement global  
 direct: ensoleillement direct (celui que nous utilisons lors de la concentration)  
 diffus: ensoleillement diffus

De plus, lorsque le soleil est au zénith soit le midi solaire, la distance à parcourir pour les rayons est minimale donc le rayonnement solaire est maximal.

#### Expérience 2: lundi 23 mai 10h-11h et 12h-13h

Ce jour-ci le temps était à nouveau propice aux expériences. Le test matinal ne fût pas concluant en raison du faible rayonnement solaire. Nous nous sommes alors retrouvés à 12h pour un nouvel essai. La température extérieure était de 24°C et la température atteinte sur le journal fut de 134°C. Le papier n'a pas brûlé mais contrairement à la dernière fois, celui-ci a noirci. Pour la prochaine expérience, nous avons prévu de ramener de l'eau pour pouvoir mesurer l'élévation de la température au cours du temps.



Illustration 31 : expérience 2



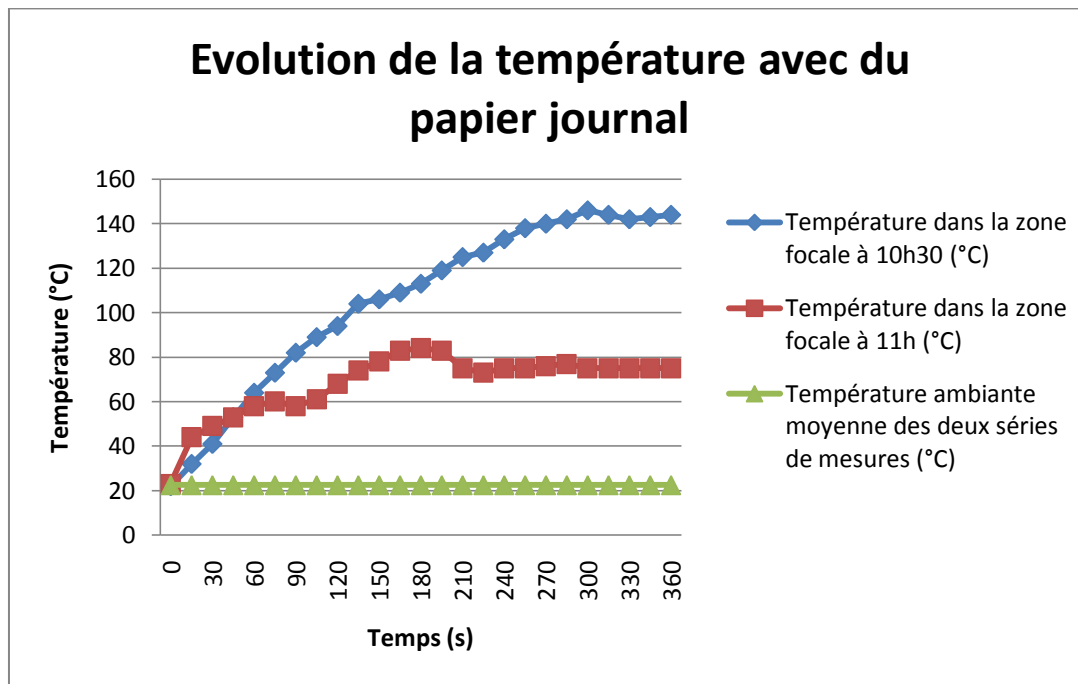
**Expérience 3 : lundi 30 mai 10h 11h**

Nous avons essayé de faire bouillir de l'eau mais cela s'est révélé être un échec notamment à cause du matériel utilisé. Par la suite nous avons décidé de faire régulièrement, toutes les heures, des relevés afin d'évaluer l'évolution de la température au cours du temps. Malheureusement, la météo n'a pas été favorable. Nous n'avons donc pu qu'obtenir deux relevés de mesures, une à 10h et l'autre à 11h.

**Tableau de données :**

Temps (s)	Température au niveau De la zone de la focale (°C)	Température au niveau De la zone de la focale (°C)	Température ambiante moyenne (°C)
0	22	23	22,5
15	32	44	22,5
30	41	49	22,5
45	53	53	22,5
60	64	58	22,5
75	73	60	22,5
90	82	58	22,5
105	89	61	22,5
120	94	68	22,5
135	104	74	22,5
150	106	78	22,5
165	109	83	22,5
180	113	84	22,5
195	119	83	22,5
210	125	75	22,5
225	127	73	22,5
240	133	75	22,5
255	138	75	22,5
270	140	76	22,5
285	142	77	22,5
300	146	75	22,5
315	144	75	22,5
330	142	75	22,5
345	143	75	22,5
360	144	75	22,5

Graphe obtenu :



On constate que la température est moins élevée à 11h qu'à 10h. Ceci s'explique par l'apparition de nuages faussant les résultats.

**3.4.3 Améliorations possibles**

Tout d'abord, il ne faut pas oublier qu'effectuer un projet en seulement environ douze ou treize semaines ne permet pas forcément d'aller dans les moindres détails. C'est donc du fait de ce manque de temps que nous n'avons pas pu améliorer notre concentrateur solaire ce qui aurait permis de meilleurs résultats ainsi que la réalisation d'expériences plus « intéressantes ». Nous aurions en effet pu construire un support pivotant contrôlé par un système simplifié de pointeur solaire pour être toujours sûr de placer notre mini concentrateur solaire exactement dans l'axe du soleil et ainsi avoir des résultats les meilleurs possibles.

Ensuite, une autre amélioration possible consisterait à fabriquer un support se situant exactement au foyer de notre parabole. Effectivement, grâce à celui-ci il aurait été possible de rendre nos expériences plus « visuels » : nous aurions pu faire cuire quelque chose ou bien prendre la température d'un fluide au cours d'une expérience dans le but de tracer l'évolution de la température au cours de la concentration par exemple.

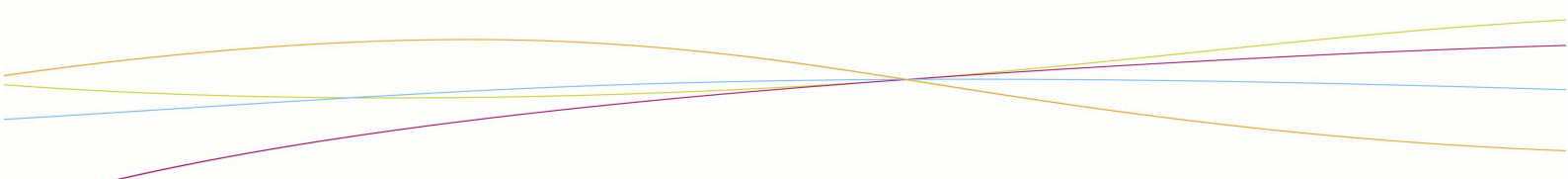
Finalement, avec du temps supplémentaire, nous aurions eu la possibilité de construire nous-mêmes différents objets adaptable sur notre kit pour rendre celui-ci plus performant.

## 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce projet, qui consistait en l'étude des différents types de concentrateurs solaires pouvant être utilisés pour la production électrique, nous a permis d'explorer de nombreuses alternatives aux systèmes de production électrique actuels. En effet, nous avons étudiés en détail les concentrateurs cylindro-paraboliques souvent associés à des cycles thermodynamiques, les concentrateurs paraboliques pouvant être couplés à des moteurs Stirling et les centrales solaires thermodynamiques. Ensuite, nous avons du réaliser un « mini-concentrateur solaire » avec lequel nous avons effectué quelques expériences comme par exemple la mesure de la distance focale ou bien encore la mesure de la température maximale atteinte.

De plus, ce projet de physique nous a apporté de nombreuses connaissances sur l'énergie solaire, son utilisation et ses grandes capacités thermiques pouvant être liés à une production électrique. Tous ces nouveaux concepts pourront nous être particulièrement utiles si nous souhaitons poursuivre nos études dans cette voie, c'est-à-dire dans la production électrique réalisée grâce aux énergies renouvelables. Effectivement, le fait d'avoir réalisé des expériences concrètes grâce à notre « mini-concentrateur parabolique » nous à permis de bien comprendre le rayonnement solaire, en particulier son intensité changeante au cours de la journée.

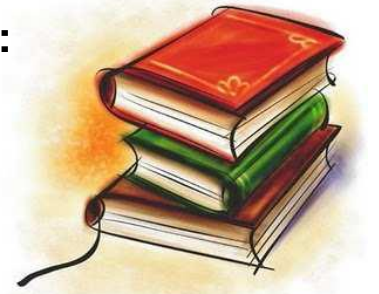
Enfin, nous souhaitons tout particulièrement remercier une nouvelle fois notre professeur responsable de projet M. ABDUL AZIZ qui nous a permis d'acquérir toutes ces connaissances sur ce sujet mais qui nous a aussi aidé tout au long de ce semestre. Pour conclure, nous trouvons très intéressant le fait de travailler en groupe sur un projet de physique ce qui nous permet de sortir du cadre habituel de notre enseignement. En effet, nous réalisons l'ensemble de notre projet nous-mêmes ce qui nous donne un avant goût de notre futur métier.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

Liens internet valides à la date du 10/06/2011 :

- [1] <http://www.sortirdunucleaire.org>
- [2] <http://www.espaceecologie.com>
- [3] <http://mon-energie-solaire.com/?s=environnement>
- [4] <http://www.ae3000.com/energia-renovable-termosolar.php>
- [5] [http://www.raee.org/docs/FORMATION\\_SOLAIRE\\_CNFPT/RAEE\\_gisement.pdf](http://www.raee.org/docs/FORMATION_SOLAIRE_CNFPT/RAEE_gisement.pdf)
- [6] [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire)
- [8] [http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/developpement-durable-1/d/la-france-construit-sa-plus-grande-centrale-solaire\\_22895/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/developpement-durable-1/d/la-france-construit-sa-plus-grande-centrale-solaire_22895/)
- [9] <http://membres.multimania.fr/antit/r/concentrateursolaire.pdf>
- [10] <http://www.yopdf.eu/cnrs-concentrateur-solaire-parabolique-pdf.html#a8>
- [11] <http://www.outilssolaires.com/pv/prin-centraleB.htm>
- [12] [http://www.solarpaces.org/CSP\\_Technology/csp\\_technology.htm](http://www.solarpaces.org/CSP_Technology/csp_technology.htm)
- [13] [http://www.ecosources.info/dossiers/Tour\\_solaire\\_thermodynamique\\_centrale\\_a\\_concentration](http://www.ecosources.info/dossiers/Tour_solaire_thermodynamique_centrale_a_concentration)
- [14] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur\\_Stirling#Types\\_de\\_moteur\\_Stirling](http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling#Types_de_moteur_Stirling)
- [15] [https://moodle.insarouen.fr/file.php/165/Archives\\_annees\\_precedentes/2009/Rapport\\_P6-3\\_2010\\_11.pdf](https://moodle.insarouen.fr/file.php/165/Archives_annees_precedentes/2009/Rapport_P6-3_2010_11.pdf)



## 6. CREDITS D'ILLUSTRATIONS



- [1] [http://www.zone-ecolo.com/revue2009\\_2.php](http://www.zone-ecolo.com/revue2009_2.php)
- [2] <http://www.eco-conscient.com/art-53-centrale-solaire-thermique-de-kramer-junction-californie.html>
- [3] <http://www.assemblee-nationale.fr/rap-ocst/energies/r3415-2.asp>
- [4] <http://www.outilssolaires.com/pv/prin-centraleB.htm>
- [5] <http://www.techniques-ingenieur.fr/lexique/centrale-ps10-pres-de-seville-espagne-4431.html>
- [6] <http://google.earth.fan.free.fr/reperes.php?repere=296>
- [7] <http://mon-energie-solaire.com/page/14/>
- [8] <http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=7053>
- [9] <http://www.greenunivers.com/2010/10/la-super-centrale-de-brightsource-financee-le-projet-mondial-blythe-autorise-premium-45416/>
- [10] <http://www.fedre.org/content/le-csiro-constitue-une-centrale-solaire-cycle-brayton>
- [11] [http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/83/Stirling\\_Cycle.png](http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/83/Stirling_Cycle.png)
- [12] img3 : <http://fadisel.eu/imgs/C-7001-0.jpg>





## ANNEXE (Bilan de projet)

**Camille HUGUIN :** Avant de commencer ce projet, je n'avais que de faibles connaissances en énergie solaire. En effet, ne m'y étant pas intéressée de près je n'avais que quelques bases concernant le photovoltaïque. Ce projet fut donc pour un moi un enrichissement au niveau de la culture scientifique et, dans le cadre de notre formation, un nouvel entraînement pour le travail en groupe si indispensable à un ingénieur. De plus, il m'a permis de passer une nouvelle étape dans mon apprentissage puisque nous avons dû nous organiser par nous même et donc gérer sans l'avis d'une personne extérieure notre groupe.

**Lucie BAILLIEUX :** Au début de ce projet, je ne connaissais que ce que pouvait connoter l'intitulé de notre sujet. En effet, je savais qu'il était possible de concentrer des rayons solaires venant de l'infini en un point appelé foyer. J'ai ensuite imaginé que ce phénomène pouvait être utilisé pour faire de l'électricité. Je ne connaissais pas les différents types de concentrateurs, ni ce qui attire au stockage ou au rendement. En ce qui concerne le travail de groupe, nous en avons déjà eu. Cependant c'est le premier où nous avons été si autonomes. J'estime que le bilan de ce projet est positif d'un point de vue personnel, humain, travail d'équipe et connaissances.

**Alban MAHON :** En lisant l'intitulé de notre sujet, je ne savais pas bien à quoi m'attendre mais l'idée de réaliser quelque chose de concret, ici un mini concentrateur solaire, m'a tout de suite plu. Je n'ai pas été déçu et j'ai été surpris de toutes les applications possibles des concentrateurs solaires pour la production d'électricité. J'ai donc découvert des alternatives aux sources d'énergies actuelles. Enfin, effectuer un projet comme celui-ci est très intéressant car il nous permet d'apprendre encore un plus à travailler en groupe ce qui nous est utile pour notre futur métier.

**Antoine MARTIN :** A la suite de ce projet, je peux affirmer que celui-ci m'aura été bénéfique. En effet il m'a évidemment renseigné sur une énergie d'actualité, le solaire, et sur une possible exploitation future. Mais il m'aura également apporté une expérience supplémentaire pour ce qui est du travail en groupe, c'est-à-dire la répartition des tâches, le suivi d'un programme, et l'entente au sein d'un groupe de travail. Le travail en équipe étant une notion importante du travail d'un ingénieur, ce projet m'aura, je pense, apporté une expérience utile tout au long de ma vie professionnelle.

**Lucille BARBULEE :** Le projet m'a permis d'enrichir mes connaissances sur l'énergie solaire et plus particulièrement les concentrateurs solaires. Ainsi, j'ai compris comment on transforme le rayonnement solaire en électricité. Tout au long de ce projet, j'ai travaillé en équipe, ce qui permet d'être plus efficace, mais aussi de façon autonome pour la rédaction d'une partie du rapport.

**William BOISSELEAU :** Cette étude portait son intérêt dans le fait qu'elle répond à une demande actuelle, voire un enjeu certain pour ces prochaines années. Le projet nous a tout d'abord permis d'en apprendre davantage sur les concentrateurs et d'explorer toutes les méthodes utilisées aujourd'hui, mais nous avons pu également constater l'efficacité du système, malgré la faible échelle à laquelle nous avons effectué nos expériences.

**Priscilla BARBU :** Personnellement, ce projet a été très enrichissant puisque les concentrateurs représentent l'une des principales alternatives dans le domaine des énergies renouvelables pour les prochaines années. Ce projet m'a permis d'accroître mes connaissances dans ce domaine. De plus, ayant choisie la thématique EP, ce projet m'a permis d'aborder un domaine étudié dans le département EP en 5ème année. Il a été bénéfique au niveau humain. En effet, nous avons du mener ce projet au sein d'un groupe où la communication est de rigueur, et correspond à une caractéristique essentiel pour notre futur travail d'ingénieur. En effet, nous avons du planifier et nous mettre en accord sur les thèmes à aborder. Ce projet a été l'occasion de développer mon autonomie ainsi que mon initiative quant à l'utilisation de notre concentrateur solaire.