



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



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

Filière : Energies renouvelables
Module : Ressources renouvelable -II
2^eme Anne'e Licence

COURS N : 1

L'énergie Solaire Thermique

Chargé du cours :

Dr. Aicha SAADI

Année universitaire

2020/2021

Chapitre 1

L'énergie Solaire thermique

1.1 Introduction

La transition énergétique, la baisse du coût des énergies renouvelables et l'appétence pour une maîtrise locale de la production d'énergie font aujourd'hui envisager une modification profonde de notre système électrique.

1.2 Système centralisé et décentralisé

L'électricité joue un rôle croissant dans les consommations d'énergie, que deux solutions se présentent pour la production :

- la solution centralisée : l'électricité étant produite dans des centrales souvent puissantes (les centrales thermiques, à base de combustibles, utilisant des turbines, centrales hydrauliques, centrales nucléaires, centrales éoliennes, productions solaires, ...),
- la solution décentralisée, qui consiste à produire l'électricité sur les lieux mêmes d'utilisation.

1.2.1 Les productions centralisées

Les productions classiques d'électricité reposent, pour l'essentiel, sur trois types de centrales :

- les centrales thermiques, à base de combustibles, utilisant des turbines
 - les centrales hydrauliques
 - les centrales nucléaires
- auxquelles il faut aujourd'hui ajouter (outre des techniques plus subalternes) :
- les centrales éoliennes
 - et les productions solaires photovoltaïque
- les productions photovoltaïques étant très voisines, que la génération soit centralisée

ou non.

1.2.2 Les productions décentralisées

Surtout vantées par les publications et manifestations récentes, les solutions décentralisées sont :

- les microcentrales thermiques,
- l'hydraulique locale,
- l'éolien local,
- le photovoltaïque local,
- les piles à combustibles.

1.3 solaire thermodynamique

On désigne par « solaire thermodynamique » l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, puis celle-ci en énergie mécanique (et électrique) à travers un cycle thermodynamique.

1.4 Les systèmes de concentration

L'énergie solaire étant peu dense, il est nécessaire de la concentrer, via des miroirs réflecteurs, pour obtenir des températures exploitables pour la production d'électricité. Le rayonnement peut être concentré sur un récepteur linéaire ou ponctuel. Le récepteur absorbe l'énergie réfléchi par le miroir et la transfère au fluide thermodynamique. Les systèmes à concentration en ligne ont généralement un facteur de concentration inférieur à celui des concentrateurs ponctuels.

Le facteur de concentration

Une caractéristique du système est son facteur de concentration. Ce coefficient permet d'évaluer l'intensité de la concentration solaire :

plus le facteur de concentration est élevé, plus la température atteinte sera importante.

$$\text{Facteur de concentration} = \frac{\text{surfacedumiroir}}{\text{surfacedurcepteur}}$$

1.5 Les fluides caloporteurs et thermodynamiques

L'énergie thermique provenant du rayonnement solaire collecté est convertie grâce à un fluide caloporteur puis un fluide thermodynamique. Dans certains cas, le fluide caloporteur est utilisé directement comme fluide thermodynamique. Le choix du fluide caloporteur

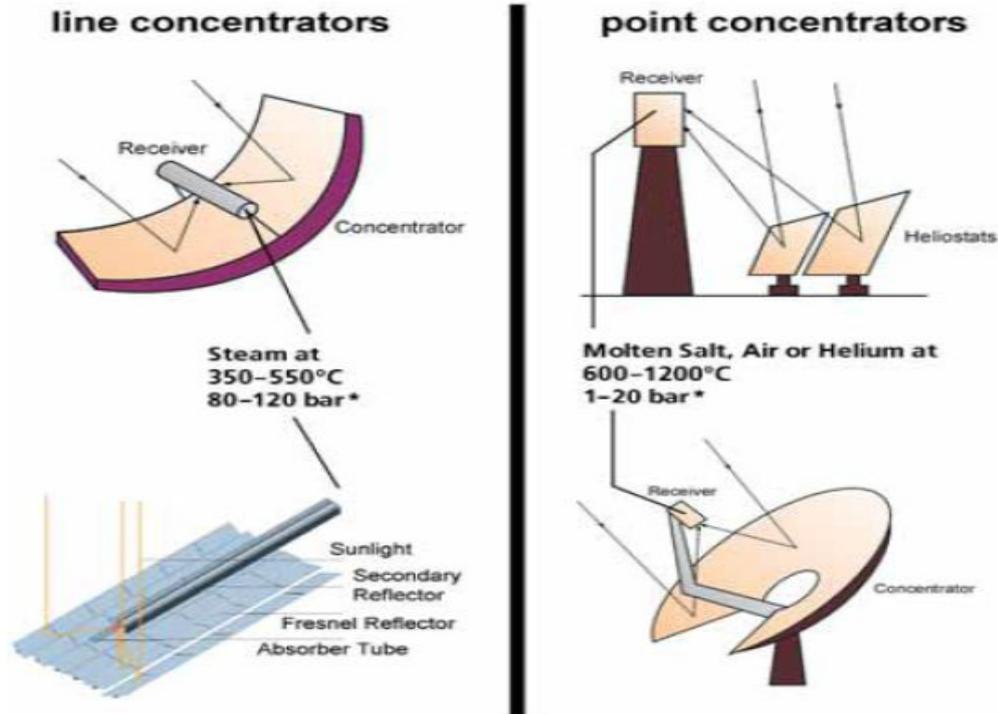


FIGURE 1.1 – Principales technologies de concentration solaire.

détermine la température maximale admissible, oriente le choix de la technologie et des matériaux du récepteur et conditionne la possibilité et la commodité du stockage.

1.5.1 L'eau liquide

L'eau liquide est, a priori, un fluide de transfert idéal. Elle offre un excellent coefficient d'échange et possède une forte capacité thermique. En outre, elle peut être utilisée directement comme fluide thermodynamique. Cependant son utilisation implique de travailler à des pressions très élevées dans les récepteurs en raison des hautes températures atteintes, ce qui pose problème pour les technologies cylindro-paraboliques.

1.5.2 Les huiles

Les huiles sont des fluides monophasiques qui présentent un bon coefficient d'échange. Leur gamme de température est limitée à environ **400 °C**. C'est le fluide le plus couramment employé dans les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques.

1.5.3 Les sels fondus

Les sels fondus à base de nitrates de sodium et de potassium offrent un bon coefficient d'échange et possèdent une densité élevée. Ils sont donc également de très bons fluides de stockage. Leur température de sortie peut atteindre **650 °C**. Leur association avec un

concentrateur à tour et un cycle de Rankine constitue une combinaison déjà éprouvée.

1.5.4 Les gaz

Les gaz tels l'hydrogène ou l'hélium peuvent être utilisés comme fluides thermodynamiques et entraîner les moteurs Stirling qui sont associés aux collecteurs paraboliques.

1.5.5 Les fluides organiques

Les fluides organiques (butane, propane, etc.) possèdent une température d'évaporation relativement basse et sont utilisés comme fluide thermodynamique.

1.5.6 L'air

L'air peut être utilisé comme fluide caloporteur ou comme fluide thermodynamique dans les turbines à gaz.

1.6 Les centrales solaires thermodynamiques

Le solaire thermodynamique est l'une des valorisations du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels.

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent une grande variété de systèmes disponibles tant au niveau de la concentration du rayonnement, du choix des fluides caloporteur et thermodynamique ou du mode de stockage.

1.6.1 Les tours solaires

D'une superficie pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de mètres carrés, les centrales solaires à tour sont une filière du solaire thermodynamique.

L'énergie rayonnée par le soleil est transformée en chaleur à température élevée, puis en énergie mécanique (et électrique) à travers un cycle thermodynamique.

Avantages (+) :

- Source d'énergie inépuisable et gratuite,
- Pas d'émission polluante,
- Permet de valoriser des zones désertiques.

Inconvénients (-) :

- Nécessite un fort ensoleillement,
- Surface au sol importante.

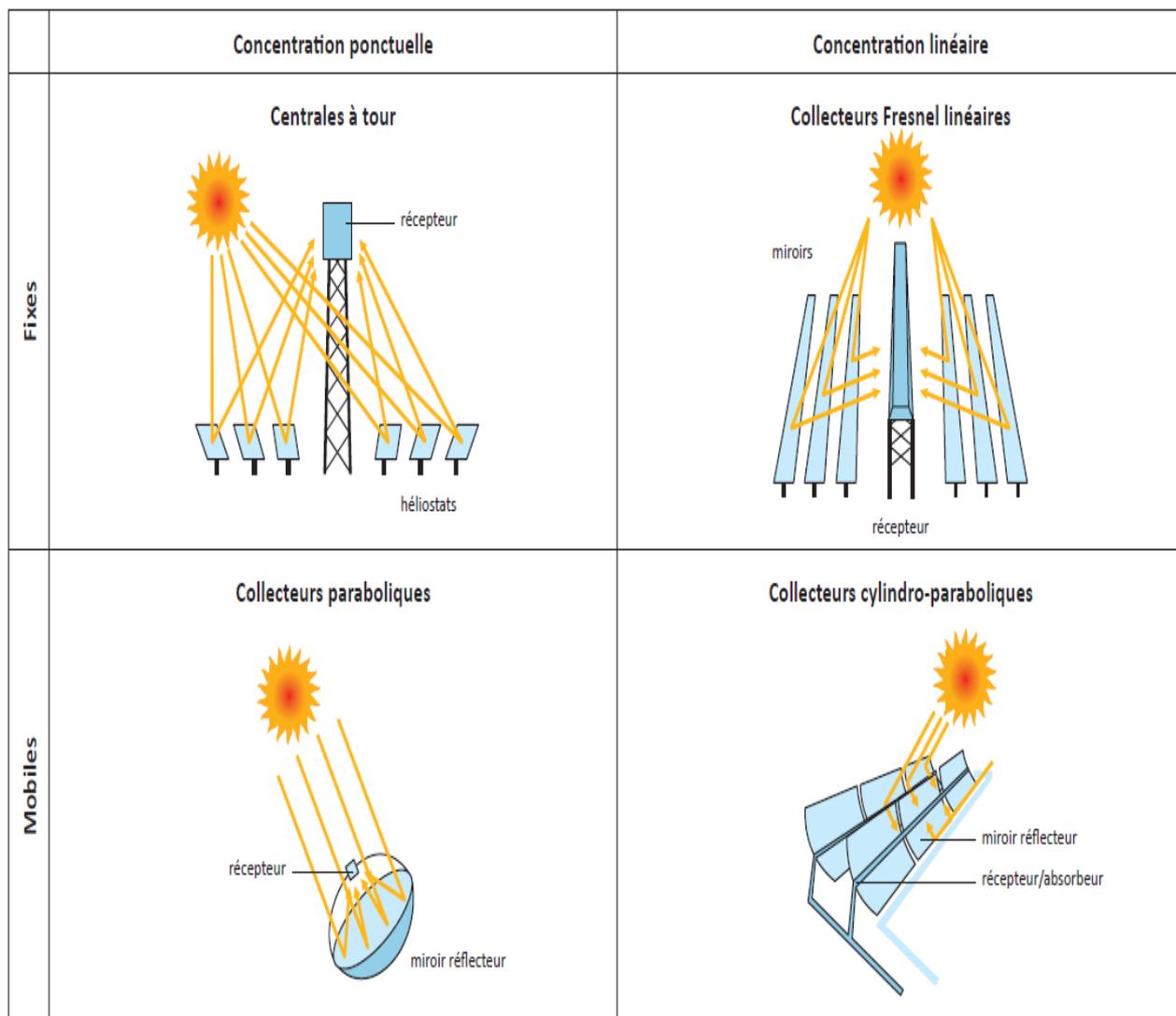


FIGURE 1.2 – Les systèmes de concentration.

1.6.1.1 Principe de fonctionnement d'une tour solaire

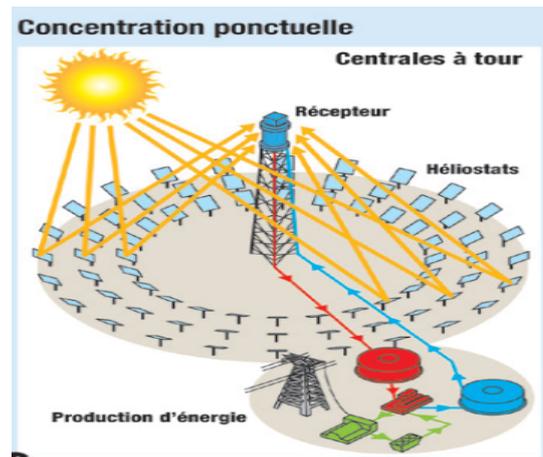
Plusieurs centaines ou milliers de miroirs sont positionnés autour d'une tour. On appelle ces miroirs « héliostats » (en grec : qui fixe le soleil). Situés au sol, ces héliostats sont orientables. Les rayons du soleil sont ainsi en permanence réfléchis en direction d'un point unique au sommet de la tour. Le rayonnement solaire est directement concentré sur un absorbeur qui transforme le rayonnement en chaleur à haute température. Le facteur de concentration peut dépasser **1000** ; ce qui permet d'atteindre des températures importantes allant de **600°C** à **1000°C**. L'énergie concentrée sur le récepteur est ensuite soit directement transféré au fluide thermodynamique (génération directe de vapeur entraînant une turbine ou chauffage d'air alimentant une turbine à gaz), soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire. Ce dernier est ensuite envoyé dans une chaudière et la vapeur générée actionne des turbines. Dans tous les cas, les turbines entraînent des alternateurs pour produire de l'électricité.

Généralement, un fluide caloporteur (des sels fondus) circule au sommet de la tour. Chauffé par les rayons, celui-ci transfère son énergie à un circuit d'eau. La vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité.

Les tours solaires est la technologie la plus souple d'utilisation. Des baisses de coûts importantes sont attendues. Le rendement maximal des centrales à tour à cycle de Rankine est de l'ordre de (**22%**).



(a) Sommet de la tour.



(b) Système fixe : Concentration ponctuelle

FIGURE 1.3 – Centrale à tour.

1.6.2 Les centrales Fresnel

LA filière Fresnel est simple et peu coûteuse. Les collecteurs sont des miroirs en bandes parallèles disposés à plat et près du sol concentrant les rayons sur des tubes récepteurs fixes. L'eau, portée à **100 bars** et à **500°C**, est utilisée comme fluide caloporteur et comme fluide de travail. Cette technologie est encore au stade de la démonstration.

Son principe est similaire à celui de la filière cylindro-parabolique mais elle utilise des miroirs plans ou légèrement incurvés moins chers que les réflecteurs paraboliques.

Cette filière possède les plus faibles performances optiques et le plus faible rendement solaire-électrique annuel net (10%)

1.6.3 Les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques

Ce type de centrale se compose de rangées parallèles de longs miroirs cylindro-paraboliques qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube récepteur horizontal, dans lequel circule un fluide caloporteur dont la température atteint en général **400 °C**. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs afin de produire de la vapeur surchauffée qui actionne une turbine ou un générateur électrique.

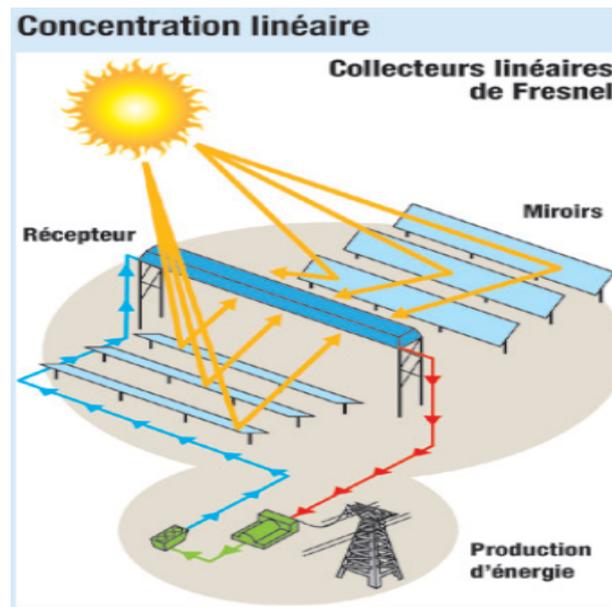


FIGURE 1.4 – Système fixe : Concentration linéaire, collecteurs linéaires de Fresnel.

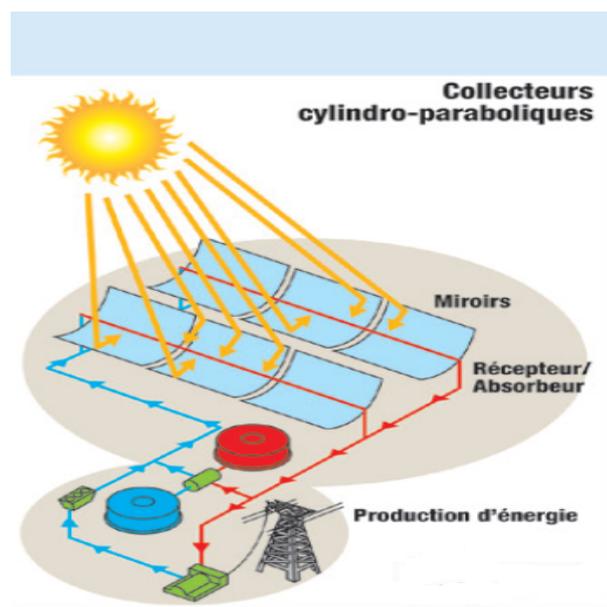


FIGURE 1.5 – Système mobile : collecteurs cylindro-paraboliques.

1.6.4 Les centrales à capteurs paraboliques, Stirling

Ayant la même forme que les paraboles de réception satellite, les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil sur deux axes afin de réfléchir et de concentrer les rayons du soleil vers un point de convergence appelé foyer. Ce foyer est le récepteur du système. Il s'agit le plus souvent d'une enceinte fermée contenant du gaz qui est monté en température sous l'effet de la concentration. Cela entraîne un moteur Stirling qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique puis en électricité.

Le rapport de concentration de ce système est souvent supérieur à 2000 et le récepteur

peut atteindre une température de 1000 °C.

Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Pour ce type de système, le stockage n'est pas possible.

les systèmes parabole/Stirling sont confrontés à un cout d'investissement élevé. Ce coût élevé et le manque d'industrie réelle pour la fabrication du moteur Stirling constituent le frein principal pour l'évolution de cette technologie.



FIGURE 1.6 – système Parabole/Stirling.

1.6.4.1 Moteur Stirling

Découvert en 1816 par le pasteur et ingénieur Robert Stirling, ce moteur pourrait remplacer le traditionnel moteur à explosion, source de bruit et de pollution importants. Le moteur Stirling est un moteur à combustion externe et à fluide de travail en cycle fermé. Le fluide est un gaz soumis à un cycle comprenant quatre phases : chauffage isochore (à volume constant), détente isotherme (à température constante), refroidissement isochore, enfin compression isotherme.

Le fluide principal qui produit un travail est un gaz (air, hydrogène ou hélium) soumis à un cycle comprenant quatre phases.

Le but est de produire de l'énergie mécanique à partir d'énergie thermique. Au début du cycle, le gaz à l'intérieur du moteur est placé dans la chambre chaude, chauffée par une certaine source d'énergie : sa température et sa pression augmentent, ce qui produit une dilatation du gaz (phase 1).

Le piston de la chambre chaude étant en butée, le gaz se détend vers la chambre froide en repoussant le piston de celle-ci. L'énergie thermique est ainsi transformée en énergie mécanique qui est transmise à la roue (phase 2).

Ce mouvement de la roue est transmis au piston de la chambre chaude qui repousse presque tout le gaz dans la chambre froide. Lorsque c'est fait, le gaz arrivé dans la chambre froide se refroidit (phase 3) et son volume diminue, entraînant le piston froid dans l'autre sens (phase 4).

De nouveau, ce mouvement est transmis, via la roue, au piston de la chambre chaude qui recule alors vers sa butée. Presque tout le volume de gaz se retrouve alors aspiré vers la chambre chaude et le cycle recommence. On nomme ce cycle thermodynamique le cycle de Stirling (bien que ce ne soit pas Stirling qui l'ait décrit).

La source chaude du moteur (le piston rouge ci-dessus) est alimentée par une source externe quelconque : combustion externe de dérivés du pétrole, gaz naturel, charbon, mais aussi énergies renouvelables comme l'énergie solaire, le bois ou l'énergie géothermique.

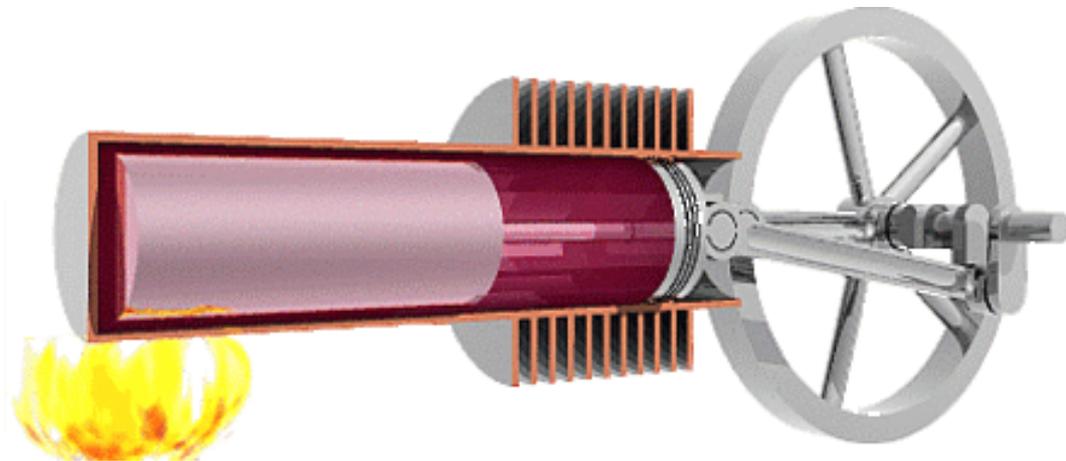


FIGURE 1.7 – Moteur Stirling de type bêta.