



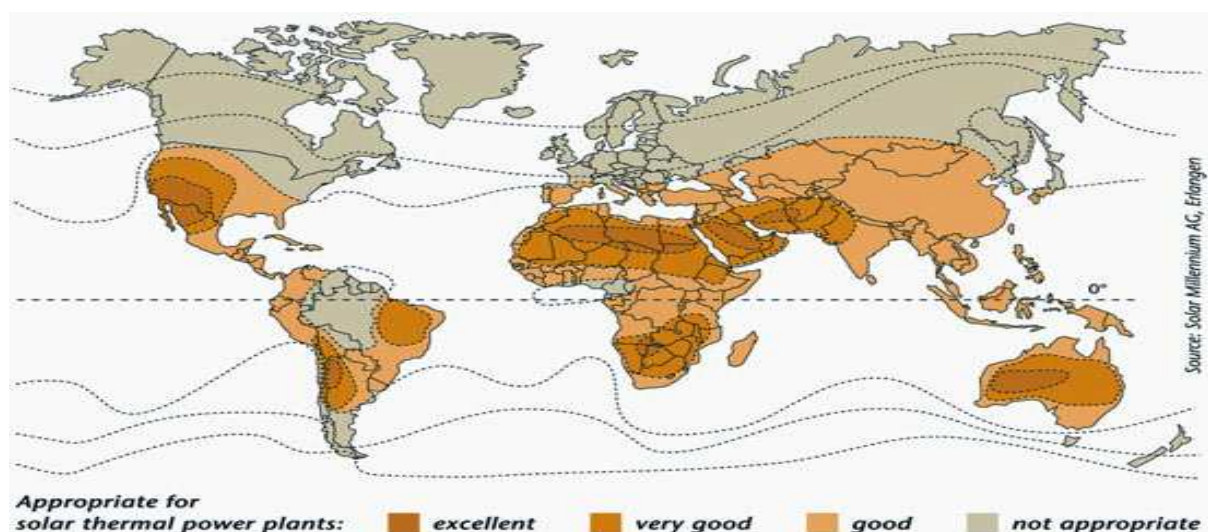
## LE SOLAIRE THERMIQUE Point sur les technologies



En dépit d'un sommet de Copenhague aux résultats peu glorieux, le momentum législatif mondial en faveur des énergies renouvelables s'accélère : plus de 700 lois ont été adoptées par différents pays de part le monde sur les quatre dernières années.

Le développement des énergies renouvelables montre en particulier un engouement pour le solaire thermique à concentration (Concentrating Solar Thermal Power ou encore CSP), la technologie la plus avancée du solaire thermique.

Les projets de centrales solaires thermiques à concentration se multiplient dans de nombreux pays, des Etats-Unis à l'Inde, en passant par l'Espagne, la Chine et même la France, pionnière en la matière.



L'expérience de la centrale Thémis dans les Pyrénées-Orientales, a démarré en 1975, autour d'une équipe mixte EDF – CNRS. La centrale a été livrée pour des essais d'exploitation en 1983 et abandonnée en septembre 1986. Aujourd'hui, Thémis semble renaître de ses cendres avec plusieurs projets de recherche.

Relancées par le Grenelle de l'Environnement, les centrales solaires ont été identifiées comme des technologies prometteuses.

Les Espagnols et les Allemands ont investi beaucoup plus sur cette technologie et ont, aujourd'hui, des entreprises en pointe, comme Abengoa, Acciona ou Iberdrola pour les premiers ou Solar Millennium et Schott pour les seconds. Pour l'Allemagne, c'est déjà un marché d'export. En France, nous sommes plus en retrait mais avons malgré tout des industriels présents sur différents composants, comme Saint-Gobain pour les miroirs ou Alstom pour les turbines, ainsi que des projets pilotes en cours de développement.



Le solaire à concentration nécessite un très fort ensoleillement et un faible taux d'humidité : il est particulièrement adapté au sud-ouest américain, au Moyen-Orient, au pourtour méditerranéen, aux déserts d'Australie ou du Chili. Les Etats-Unis et l'Espagne sont actuellement les deux marchés les plus importants et les plus attractifs. Ils bénéficient aussi d'un contexte réglementaire très favorable. Aux Etats-Unis, plusieurs Etats comme la Californie et le Nevada, ont poussé les « utilities » à développer les énergies renouvelables dont le solaire (Renewable energy portfolio standards) et les mesures fiscales favorables ont été étendues. En Espagne, il existe un tarif d'achat obligatoire pour le solaire (thermique) à concentration, de 27 centimes le kWh, qui pousse les entreprises et les investisseurs. Mais d'autres pays misent aussi sur cette technologie, comme l'Inde ou l'Italie.

## LES TECHNOLOGIES du SOLAIRE THERMIQUE

Il y a quatre grandes familles de technologie, dont deux sont beaucoup plus développées. Les centrales **cylindro-paraboliques**, où la concentration du rayonnement sur un seul foyer, permet d'obtenir une haute température, dominant clairement le marché. On trouve ensuite les **centrales à tour**, équipées d'une multitude de miroirs orientables. Viennent ensuite les **concentrateurs paraboliques**. Ils sont plus adaptés à des installations décentralisées qu'à des centrales de grande puissance. Enfin, les plus novateurs, les **centrales solaires à effet cheminée**.

### Les centrales cylindro-paraboliques (SEGS : Solar Electric Generating Systems).



Le système SEGS utilise de nombreuses rangées de capteurs cylindro-paraboliques réfléchissants, orientées est-ouest, d'une centaine de mètres de long. Les capteurs suivent le mouvement apparent du soleil dans le sens de la hauteur et concentrent le soleil, de 30 à 100 fois, au point focal du miroir parabolique. L'énergie thermique reçue en ce point est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique) qui circule à l'intérieur du tuyau, est chauffé à 400°C. Ce fluide caloporteur est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de la vapeur surchauffée qui fait

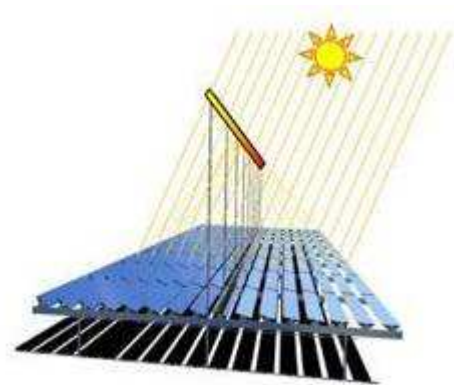
fonctionner une turbine/générateur électrique. Le cycle recommence quand le fluide refroidi dans les échangeurs, retourne au circuit des capteurs.

Cette technologie est utilisée dans la plus grande centrale thermique solaire au monde à Kramer Junction en Californie, où 5 "SEGS" de 30 MW, soit 150 MW de capacité électrique solaire sont raccordées au réseau californien. Les centrales thermiques solaires en Californie ont une puissance total de 354 MW.



La centrale est conçue pour fonctionner principalement avec l'énergie solaire. Cependant, un appoint gaz est utilisé pendant les périodes nuageuses ou en fin de journée afin d'assurer une production contractuelle. La production électrique est raccordée directement au réseau du distributeur (Southern California Edison).

Plus proche de nous, en France, la société Solar Euromed a lancé le projet Alba Nova 1 sur la technologie proche du cylindro-parabolique, celle des réflecteurs de Fresnel avec génération directe de vapeur. C'est une centrale solaire thermodynamique à concentration de 12MW avec stockage. Elle est située sur la commune de Ghisonaccia, en Corse et couvre environ 50 hectares. Elle produira l'équivalent de la consommation de 10 000 personnes environ et évitera l'émission de 15 000 tonnes de CO<sub>2</sub>. La mise en service est prévue mi-2011.



### Les centrales à tour.

Dans ce type de centrale, on utilise de nombreux miroirs qui concentrent le rayonnement solaire sur une chaudière placée en haut d'une tour. Les miroirs ou "héliostats", sont conçus pour tourner avec le soleil et ainsi, réfléchir les rayons du soleil sur le foyer de la chaudière. Le rayonnement solaire doit être dirigé vers le foyer en haut de la tour avec une grande précision afin de concentrer l'énergie thermique pour assurer des températures près de 600°C.



A la différence d'une centrale cylindro-parabolique, les déperditions d'énergie dans le transfert de chaleur sont minimisées. Cependant, les centrales à tour doivent être de grande taille pour trouver une rentabilité.

L'expérimentation a commencé en France en 1975 avec la centrale Thémis, l'unique essai français de production d'électricité au moyen d'une centrale solaire "à tour". Aux Etats-Unis, le laboratoire de SANDRIA à Albuquerque a débuté en 1976. La centrale américaine, avec une tour de 63 mètres et 222 héliostats contrôlés par ordinateur a permis de fournir une puissance thermique de 5 MW.

Depuis, la recherche a continué aux États-Unis, en France et en Espagne avec la participation active des laboratoires allemands.



Les centrales expérimentales ont continué avec SOLAR 1, construite à Barstow en Californie, opérationnelle de 1982 à 1988. Elle était caractérisée par ces 1800 héliostats et une puissance thermique de 10 MW. L'eau dans la chaudière était transformée directement en vapeur et utilisée dans une turbine. SOLAR 2, est le résultat d'une rénovation complète de Solar 1 et l'introduction de la technologie de sel fondu comme caloporteur. Cette



centrale expérimentale du Département d'Énergie et de l'entreprise Edison de Californie du Sud, a démarré en 1996. Les recherches sur ce site ont démontré que le système de stockage de la chaleur avec du sel



de nitrate fondu est opérationnel. Ainsi, une partie de l'énergie thermique peut servir pour produire de l'électricité pendant les périodes nuageuses ou pendant la nuit. C'était une étape essentielle pour la commercialisation de la technologie.

Cette technique de stockage fut ensuite développée et installée sur la plateforme de recherche solaire d'Almeria en Espagne. L'appareil délivre une puissance de 100 kW avec des températures de vapeur d'eau dépassant les 200 °C. Il est capable de stocker la chaleur pendant 10 heures et d'en restituer jusqu'à 90 %. Les chercheurs allemands du projet souhaitent appliquer leur concept de stockage à une installation de 1 MW et atteindre des températures de stockage de plus de 300 °C.

#### PS 10 - La première centrale solaire à tour commerciale



L'Espagne a démarré la production du plus grand complexe de centrales solaires thermo-électriques d'Europe sur le site de Sanlúcar La Mayor, près de Séville. PS 10 a été construite par la société Abengoa et représente un investissement de 35 millions d'euros. Elle se



présente sous la forme d'un champ de près de 70 hectares, planté de 624 héliostats (miroirs orientables), d'une surface de 121 mètres carrés chacun, fixés sur des piliers de métal et disposés au pied d'une tour de 115 mètres. Ces miroirs permettent de concentrer les rayons du soleil sur une chaudière en haut de la tour, afin d'obtenir une température entre 600°C et 1 000°C pour chauffer un fluide et produire de la vapeur qui actionne un système de turbines générant de l'électricité.

La première centrale d'une capacité de 11 MW a été inaugurée en mars 2007, elle doit produire 23 GWh d'électricité par an. Mais d'ici 2013, il est prévu de construire huit centrales à Sanlúcar La Mayor, pour porter la capacité du complexe à 302 MW. A terme, cet ensemble sera capable d'approvisionner en électricité 180 000 foyers, l'équivalent d'une ville comme Séville.

## Les centrales à capteurs paraboliques



Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C.

Si un moteur "Stirling" est placé au foyer de la parabole, la chaleur du soleil peut faire travailler un fluide comprimé afin de générer de l'électricité.

Robert Stirling (1790-1878) a imaginé un moteur utilisant un fluide liquide ou gazeux, contenu

dans une enceinte fermée, chauffée par une source de chaleur extérieure à l'enceinte, et soumis à de fortes pressions : le " moteur Stirling ". Il convertit de l'énergie thermique en énergie mécanique.

Chaque capteur est une mini centrale, qui produit de l'électricité et en associant plusieurs capteurs, on peut augmenter la puissance.

Le capteur parabolique "Dish-stirling" développé par Stirling Energy Systems (SES) à Phoenix, Arizona, est une centrale solaire d'une puissance de 25 kW. C'est l'aboutissement d'une vingtaine d'années de recherche et de développement.

En 2005, SES a communiqué la signature d'un contrat avec l'entreprise "San Diego Gas & Electric (SDG&E)" dans le sud de la Californie pour la construction d'une centrale de 300 à 900 MW de puissance, soit de 12.000 à 36.000 capteurs paraboliques.

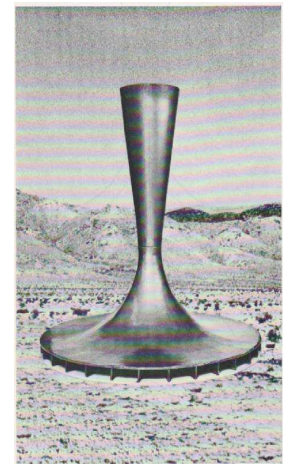
Un autre contrat avec "Southern California Edison" prévoit la construction d'une centrale solaire de 500 MW (avec option d'augmentation à 850 MW) sur un terrain de 1850 hectares, à 110 km au nord-est de Los Angeles. En février 2008, un des capteurs de SES a battu le record mondial de rendement énergétique à partir d'un moteur Stirling alimenté à l'énergie solaire, soit 31,25%.



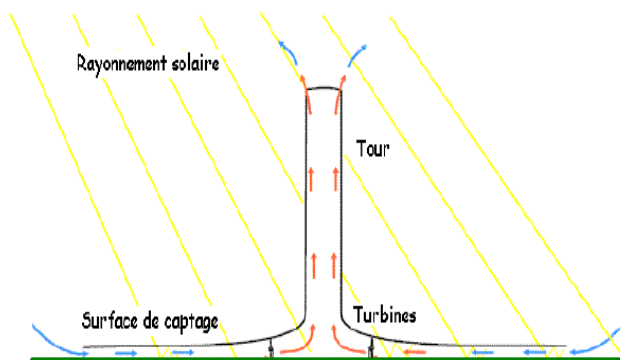
## Les centrales à effets cheminées

### Le Principe

Imaginée par le professeur français Edgard NAZARE, (ingénieur aéronautique, spécialisé en mécanique des fluides), la centrale aérothermique expérimentale en forme de venturi a une hauteur et un diamètre de base de 300 m, un diamètre au col du venturi de 30 m et génère, (pour une différence de température, ou  $\Delta t^\circ$ , de  $30^\circ\text{C}$ , entre les hautes couches de l'atmosphère et la base de la colonne), une puissance électrique de 200 MW (mégawatts) environ.



Les projets récents, reprenant le concept de Nazare, virent la surface de captage solaire formée d'une couverture transparente tenue à une certaine hauteur du sol, créant une serre ouverte à la périphérie mais attachée à une



cheminée au centre. L'air, dans la serre chauffé par le soleil, devient plus léger et monte vers la cheminée. Le tirage thermique ou "effet de cheminée" induit une dépression et aspire l'air de l'extérieur à travers la surface de captage.

La vitesse du mouvement de l'air est déterminée par la différence de température entre la partie basse et la partie haute de la cheminée et par la hauteur de la cheminée.

L'effet de cheminée peut fonctionner 24 heures sur 24, grâce à la chaleur dans la serre due au rayonnement solaire pendant la journée, mais aussi avec la chaleur emmagasinée dans le sol pendant la nuit.

L'électricité est produite quand l'air montant passe à travers des turbines des générateurs à l'entrée de la cheminée.

### La cheminée solaire de Manzanares

Un prototype expérimental d'une centrale à effet de cheminée a été conçu par le bureau d'études Schlaich Bergermann und Partner de Stuttgart. Le distributeur d'électricité espagnol Union Electrica Fenosa a proposé le site de Manzanares à 150 km au sud de Madrid, financé par le ministère de recherche allemand (BMFT). Le prototype a été terminé en 1982 et a fonctionné correctement pendant sept ans.

Dimensions :

- Puissance maximum = 50 kW
- Hauteur de la cheminée en acier = 195 m
- Diamètre de la cheminée = 5 m
- Surface de la serre = 6.000 m<sup>2</sup> de couverture en verre et 40.000 m<sup>2</sup> de couverture transparente en plastique.



Vues de la turbine dans la tour et sous la serre



### La centrale à tour d'EnviroMission

L'entreprise EnviroMission Limited a une licence pour construire cinq centrales à effet de cheminée en Australie. La première devrait être construite à Mildura (350 km au Nord-ouest de Melbourne).

Ces centrales conçues par Schlaich Bergermann und Partner pour EnviroMission tiennent compte des expériences de Manzaranes.



Images de synthèse de Schlaich Bergermann und Partner

Dimensions :

- Puissance maximale = 200 MW, la centrale doit fonctionner jour et nuit,
- Hauteur de la cheminée en béton armé = 1.000 m
- Diamètre de la cheminée = 38 m
- Surface de la serre = couverture d'un diamètre de 6 à 7 km, soit 3.300 hectares.

## La tour solaire de Ciudad Real

Les travaux ont débuté en 2008 pour construire une centrale solaire à effet de cheminée à Fuente el Fresno, dans la province de Ciudad Real.

La puissance générée par cette installation devrait atteindre 40 MW et couvrir la demande en électricité de 120 000 personnes. Chaque année, elle permettra une économie de 250 000 barils de pétrole et évitera l'émission dans l'atmosphère de 145 000 tonnes de dioxyde de carbone.



Dimensions :

- Puissance maximale = 40 MW, la centrale doit fonctionner jour et nuit,
- Hauteur de la cheminée en béton armé = 750 m
- Diamètre de la cheminée = 70 m

## LES ATOUTS DE CES TECHNOLOGIES

Par rapport à la technologie concurrente directe, le photovoltaïque, le solaire thermique possède un atout important qu'est la capacité de stockage. Il est possible de produire le matin, par exemple, et de stocker l'énergie thermique pour produire de l'électricité l'après-midi aux heures de pointe. Ou encore de produire la journée, pour alimenter le réseau la nuit.

Cette technologie est également très prometteuse pour des centrales de grande puissance qui peuvent bénéficier d'économies d'échelle importante. Ces dernières ne sont pas aussi grandes pour le photovoltaïque, plus adapté à la production d'énergie décentralisée.

Il est aussi possible de coupler les centrales à concentration avec des centrales à gaz ou à des usines de désalinisation pour valoriser au mieux la chaleur produite et accroître le rendement des installations. Des projets pilotes de ce type existent au Maroc et dans les pays du Golfe. Du côté des barrières, il y a bien sûr le problème de la disponibilité de l'eau (pour les besoins du refroidissement) dans les zones arides.

Des projets plus récents souhaitent coupler la technologie de centrales solaires à concentration avec un relais bio masse pour accroître la production en période de forte couverture nuageuse, ou encore la nuit

## LES COÛTS

Ils diminuent peu à peu, mais la courbe est moins spectaculaire que pour le photovoltaïque. On se situe aujourd'hui entre 15 et 30 centimes le Kwh, selon le niveau de rayonnement. Le plancher se situe à 20 centimes il y a peu de temps. Les coûts de production deviennent ainsi plus acceptables dans les pays dépourvus de tarifs de rachat garantis.

Franck Missera

Achévé de rédiger le 8 janvier 2010

## **Les références sur les différents sujets :**

<http://www.ingenieriacampo3.com/>

<http://www.elioth.com>

<http://www.enviromission.com.au>

<http://quanthomme.free.fr>

<http://www.econologie.com>

<http://www.solareuromed.com>

<http://www.greenunivers.com>