

COMMENTAIRES SUR L'ENERGIE SOLAIRE A CONCENTRATION.

1. Introduction.

Il existe trois modes industriels principaux d'utilisation de l'énergie du soleil :

-le solaire thermique, utilisé directement pour le chauffage et l'eau chaude ;

-le solaire photovoltaïque, qui transforme directement l'énergie solaire en électricité ;

-le solaire dit « thermodynamique » ou « à concentration », qui comme son nom l'indique consiste à concentrer le rayonnement du soleil vers une zone focale (ponctuelle ou linéaire) où l'on a disposé un réservoir de liquide. Par ce moyen, le liquide dit « caloporteur » est chauffé à très haute température et constitue en quelque sorte une source d'énergie thermodynamique secondaire. Celle-ci est alors utilisée pour produire de l'électricité, selon des procédés analogues à ceux des centrales thermodynamiques classiques (avec lesquelles le solaire à concentration peut d'ailleurs être couplé).

C'est cette troisième technique qui sera traitée ici.

Les indications et les chiffres qui suivent sont issus de deux sources principales : EurObserv'ER (baromètre solaire, mai 2014) et CSP World (Concentrated solar power), ainsi qu'Eurostat et diverses sources industrielles¹.

On mentionnera les termes anglo-saxons à la suite des termes français.

2. Technologies actuelles.

On distingue en général quatre types de centrales solaires à concentration (définitions sommaires) :

-centrales à collecteurs cylindro-paraboliques (parabolic trough, trough signifie auge) ; un miroir parabolique de forme allongée renvoie le rayonnement vers un tube parallèle au miroir ;

-centrales à tour (central receiver, power tower) : des miroirs renvoient le rayonnement vers un point focal situé en haut d'une tour ;

-centrales à réflecteurs à miroirs de Fresnel linéaires (CLFR) : les miroirs sont en général du type cylindro-paraboliques, mais avec des courbures plus faibles ; leur orientation peut éventuellement varier ;

-centrales à capteurs paraboliques (dish Stirling, du nom de l'inventeur d'un moteur) : un miroir parabolique renvoie le rayonnement vers un moteur à combustion externe ;

¹ L'inconvénient de la documentation existante sur ce sujet, d'où qu'elle vienne, est qu'elle sacrifie souvent l'exposition des faits à la propagande, loi du genre dans de nombreux domaines ; il suffit de le garder à l'esprit et de s'en tenir aux faits et aux chiffres, qui peuvent être aisément vérifiés.

Le couplage avec d'autres procédés thermodynamiques (centrales hybrides) est connu sous la dénomination ISCC (Integrated solar combined cycle).

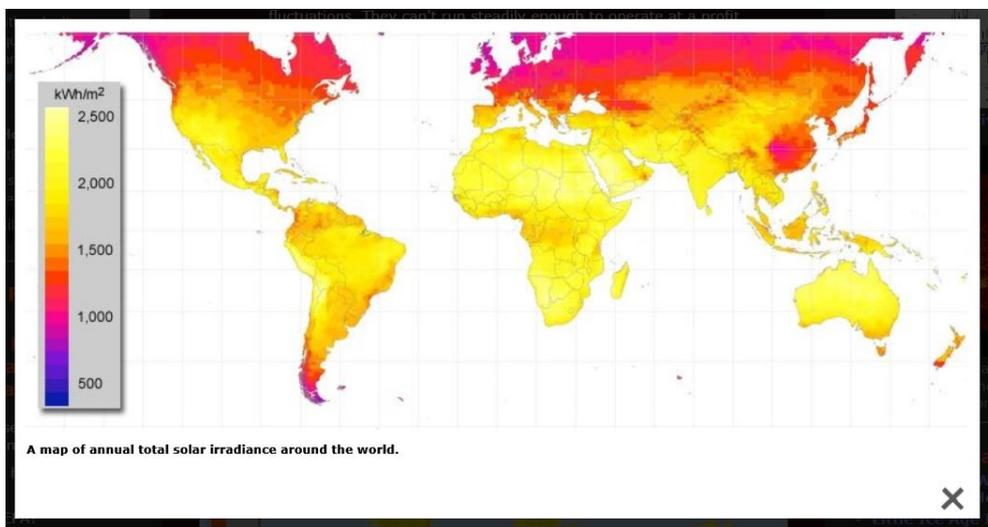
Les liquides caloporteurs peuvent être des huiles ou des sels fondus.

On ne détaillera pas les aspects techniques de ces différents procédés, qui sont d'ailleurs en évolution.

3. Avantages et limitations.

L'avantage principal de cette technique est l'interposition d'un circuit de chaleur entre le rayonnement solaire et la production d'électricité. De ce fait, la chaleur peut être emmagasinée et on atténue ainsi le caractère intermittent du solaire, en prolongeant l'efficacité de quelques heures après le coucher du soleil (les nombres d'heures annoncés par les sites spécialisés sont à prendre avec circonspection).

Cela étant, les promoteurs de la technique reconnaissent eux-mêmes que ces procédés ne sont viables que dans les régions du monde les plus ensoleillées, recevant au moins 1 900 kWh par m² et par an, c'est-à-dire les zones teintées en jaune de la carte ci-dessous, qui se situent exclusivement au sud du 40^{ème} parallèle.



On reconnaîtra sans peine les principaux déserts de la planète, ce qui n'est pas un hasard.

Compte tenu des surfaces importantes que nécessitent ces installations pour obtenir des puissances installées significatives, les sites possibles se limitent précisément aux zones désertiques ou semi-désertiques, ou en tous cas peu peuplées. En outre, ces zones doivent si possible éviter la présence proche de massifs montagneux qui porteraient ombre en début et en fin de journée.

En Union européenne, les seules zones répondant à ces critères se trouvent dans le sud de l'Espagne et les îles de la Méditerranée.

4. Implantations et puissances installées, actuelles et futures.

Actuellement, on compte dans le monde 118 centrales en service, totalisant 3 820 MW installés, dont :

-82 centrales commerciales (3 780 MW installés, soit en moyenne 46 MW/centrale ²)

-12 centrales de démonstration (quelques MW/centrale)

-24 centrales de recherche et développement (quelques MW/centrale)

² Rappelons qu'une grosse centrale thermodynamique classique déploie 800 MW et un réacteur nucléaire entre 900 et 1 400 MW.

Centrales commerciales en service : le tableau ci-dessous en donne le détail à fin 2013 (source CSP).

CENTRALES COMMERCIALES EN SERVICE								
	Monde		dont Espagne		dont USA		dont autres	
TYPE	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance
Parabolique	72	3 286	46	2 273	15 (**)	776	11	237
Tour	5	457	3	51	2 (***)	406		
Fresnel	5	38	2	31			3 (****)	6
Stirling	0 (*)							
Total	82	3 781	51	2 355	17	1 182		244
(*) 1 en démonstration en Chine					(***) dont Solana (280 MW)		****) Australie, Afrique	
					(***) dont Ivanpah SEGS (377 MW)		du sud, Inde	

Sur les 72 centrales cylindro-paraboliques, 6 sont couplées (système ISCC) avec des centrales thermodynamiques utilisant des combustibles divers (180 MW au total).

Les puissances installées se trouvent pour 62% en Espagne (dont les 51 centrales ont été mises en service pour l'essentiel entre 2009 et 2013) et 31% aux Etats-Unis. Le reste est partagé entre une douzaine de pays qui ne disposent en général que d'une seule centrale (mais 2 aux Emirats Arabes Unis et 2 en Inde).

Centrales commerciales en construction : le tableau ci-dessous en donne le détail en 2014 (source CSP). Les dates de mises en service ne sont pas précisées.

CENTRALES COMMERCIALES EN CONSTRUCTION (les puissances ne sont pas toutes connues)								
	Monde		dont Espagne		dont USA		dont autres	
TYPE	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance	Nombre	Puissance
Parabolique	19	1 362			3	> 500 (*)	16	# 800
Tour	4	320			1	110	3	210
Fresnel	3	156					3 (**)	156
Stirling	1	2			1	2		
Total	27	1 840				> 650		>1 000
					(*) dont Genesis (250 MW) et Mojave (250 MW)		(**) dont 1 en Corse (Alba Nova 1 (12 MW)	

Les centrales cylindro-paraboliques sont nettement prépondérantes, qu'il s'agisse des centrales en service ou en construction.

Centrales commerciales à l'étude : CSP fait état de projets réputés « en développement » : 19 projets pour une puissance totale de 4 800 MW installés. Parmi ceux-ci, 2 centrales de 500 MW aux USA et 2 000 MW pour le projet tunisien « TuNur », et aucun en Espagne. Il s'agit majoritairement de centrales à tour. Ces projets semblent être à moyen ou long terme, si toutefois ils voient le jour.

Centrales commerciales abandonnées : 7 projets de centrales (1 000 MW) ont été abandonnés.

Perspectives plus lointaines : annoncées par des organismes officiels, nationaux, européens ou internationaux, ou encore par des industriels, elles devraient inspirer la plus grande méfiance³. On a vu que l'Espagne, pays pionnier, n'a plus aucun projet en construction ni à l'étude, la raison principale étant la remise en cause des subventions qui avaient permis l'édification de son parc solaire.

³ Rappelons la faillite de Solar Millenium (Allemagne) et l'abandon de la filière par Siemens. En outre, s'agissant de l'Union européenne, selon EurObserv'ER, « la feuille de route solaire thermodynamique des Plans d'action nationaux énergies renouvelables (...). Du fait du contexte économique et politique actuel (elle) semble aujourd'hui hors de portée ». Le graphique présenté dans le « baromètre » montre en effet une quasi-stagnation des puissances installées entre 2013 et 2015.

En supposant que tous les projets « en développement » voient le jour dans les dix ans, ce qui est très optimiste, et qu'aucune centrale existante ne ferme d'ici là, on aboutirait en 2025 à environ 130 centrales pour une puissance installée de 10 500 MW, soit (avec un facteur de charge de 27%, voir ci-après) une production annuelle de 25 TWh pour le monde entier. A titre de comparaison, cette production équivaut à 4,5% de la production totale d'électricité en France (550 TWh).

5. Facteur de charge.

On rappelle que le facteur de charge est défini comme le rapport (généralement exprimé en pourcentages) entre la production réelle sur l'année et la production théorique calculée à partir de la puissance installée supposée produire pendant les 8 760 heures de l'année.

On prendra le cas de l'Espagne qui dispose du premier parc du monde, et qui a déjà quelques années d'expérience - sachant toutefois que ses installations sont relativement récentes et n'ont pas encore affronté l'épreuve du temps, de l'usure et des dégradations.

Le tableau ci-après permet de comparer les performances du solaire thermodynamique à celles du solaire photovoltaïque. La puissance installée annuelle de l'année n est calculée en faisant la moyenne des puissances installées en fin d'années n-1 et n, elle est donc approximative, de même que les facteurs de charge.

ESPAGNE électricité solaire	Source		Eurostat				
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Solaire thermodynamique à concentration	-	-	-	-	-	-	-
Puissance installée fin année MW	11	61	282	732	1 149	2 000	2 304
Puissance installée moyenne année MW		36	172	507	941	1 575	2 152
Production GWh		16	103	761	1 959	3 775	4 422
Facteur de charge		ns	ns	17,1%	23,8%	27,4%	23,5%
Solaire photovoltaïque	-	-	-	-	-	-	-
Puissance installée fin année MW	169	739	3 389	3 488	3 921	4 352	4 603
Puissance installée moyenne année MW		454	2 064	3 439	3 705	4 137	4 478
Production GWh		2 562	5 961	6 425	7 441	8 193	8 289
Facteur de charge		ns	ns	21,3%	22,9%	22,6%	21,1%

Par conséquent, à climat égal le facteur de charge du thermodynamique est supérieur à celui du photovoltaïque, ce qui est normal, mais ceci dans des proportions relativement modestes.

Certaines données américaines font état de facteurs de charge supérieurs (plus de 30%) ; toutefois, l'exemple de l'Espagne est significatif de la situation géographique et climatique du sud de l'Europe et par conséquent du potentiel éventuel de cette technique de production dans l'Union européenne.

Il faut enfin rappeler que la production solaire espagnole représente, par rapport à sa production brute d'électricité, respectivement 2,8% pour le photovoltaïque et 1,5% pour le solaire thermodynamique.

6. Coûts et subventions.

Les données suivantes sont empruntées à EurObserv'ER qui cite lui-même Irena (International Renewable Energy Agency) quant aux coûts de production en 2012.

Le facteur de charge est supposé compris entre 27% (régions les plus ensoleillées) et 20% (les moins ensoleillées).

- cylindro-parabolique : 290 à 380 €/MWh ;
- cylindro-parabolique avec système de stockage : 170 à 370 €/MWh.

- centrales à tour avec système de stockage ; 200 à 290 €/MWh

Pour les pays européens, ce sont les hauts de fourchettes de coûts qu'il faut retenir (les bas de fourchettes correspondent à des pays hors OCDE en général très ensoleillés).

Ces ordres de grandeur suffisent pour se faire une idée de ce qu'est ou serait actuellement le coût de production en Europe du solaire thermodynamique, soit entre 290 et 380 €/MWh.

En France le dernier appel d'offres lancé par le CRE a abouti à un tarif d'achat garanti de 349 €/MWh, ce qui confirme les chiffres précédents.

Par rapport au prix moyen de l'électricité sur le marché européen (environ 50 €/MWh), le solaire thermodynamique serait donc actuellement 7 fois plus cher.

7. Conclusions.

Pour avoir une idée de l'avenir de ce type de production électrique, il est bon de rappeler un certain nombre de faits.

-Il s'agit d'une énergie intermittente. Les dispositifs qu'on lui adjoindrait pour remédier à ce grave inconvénient ne peuvent que renchérir le coût de l'investissement et donc de la production, sans annuler son caractère intermittent.

-Cette énergie est très coûteuse, même dans des endroits privilégiés par le climat. Elle ne peut se développer qu'au prix de subventions considérables.

-A regarder la carte mondiale des ensoleillements, on peut penser au premier abord que l'espace ne manque pas pour implanter ces centrales, qui exigent des surfaces importantes. Toutefois, et ceci n'est pas un hasard, les régions privilégiées par les forts ensoleillements sont le plus souvent des régions arides, inhospitalières, inhabitées ou presque, et par conséquent éloignées des gros centres de consommation électrique. Or l'électricité ne peut être transportée sur de longues distances sans importantes pertes de charge.

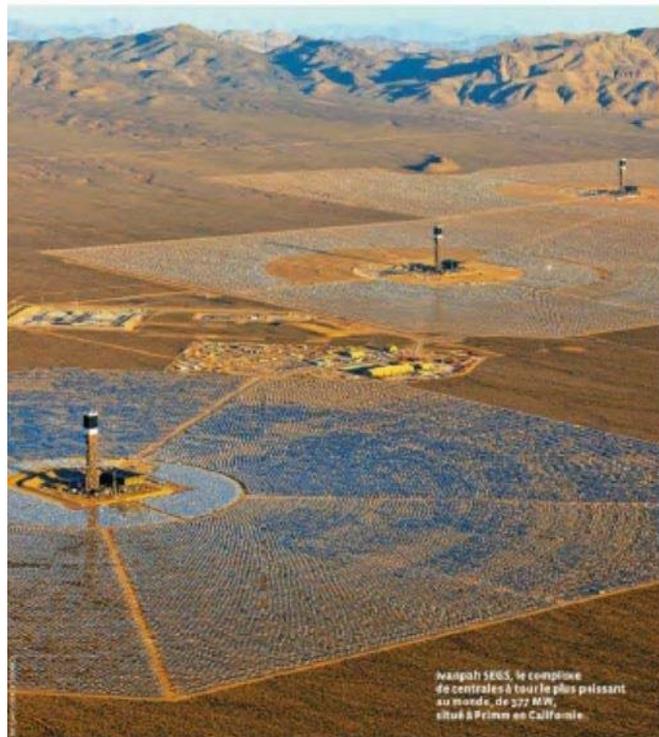
-Il est séduisant pour les pays qui manquent de place ou de soleil d'imaginer sur le papier des installations énormes dans les déserts des pays du sud. L'application sur le terrain serait tout autre chose : ces régions sont souvent caractérisées par des frontières incertaines et disputées, des conflits ethniques et des incursions violentes qui ne vont pas s'interrompre comme par enchantement. Ces violences (dont on a vu quelques exemples récents) seraient évidemment exacerbées du fait des intérêts économiques et financiers liés à des installations industrielles de cette importance. La menace sera donc permanente aussi bien au stade de la construction qu'à celui de l'exploitation.

-La mise sur pied de telles opérations ne peut se faire par la contrainte. Elle nécessitera inmanquablement des négociations pluripartites, avec des Etats ou des groupes organisés dont on connaît la propension aux surenchères et aux discussions interminables, et qui attendent au tournant les nations réputées riches. La longueur des procédures ne constitue pas un obstacle rédhibitoire, mais il serait imprudent de s'engager financièrement et techniquement sans garanties suffisantes et surtout en tablant sur des délais irréalistes.

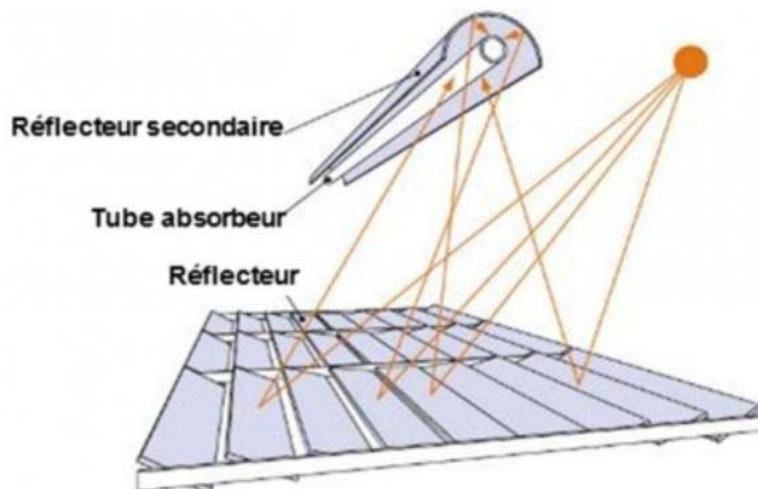
La solution la plus raisonnable serait de laisser les choses en l'état, c'est-à-dire de terminer les constructions entreprises, éventuellement de donner suite à quelques projets modestes de centrales commerciales et à des installations de démonstration et de recherche et développement pour faire évoluer la technologie, et d'observer comment tout cet ensemble fonctionnera et vieillira.

En tout état de cause, on a vu que même dans une perspective moins raisonnable, la production solaire thermodynamique à concentration - et donc son coût global pour la collectivité – n'occuperait qu'une part extrêmement modeste dans la production électrique.

Mais on sait que la raison n'est pas toujours ce qui caractérise la politique énergétique.



Centrale à tour Ivanpah (Californie) Source EurObserv'ER



Principe de la centrale cylindro-parabolique