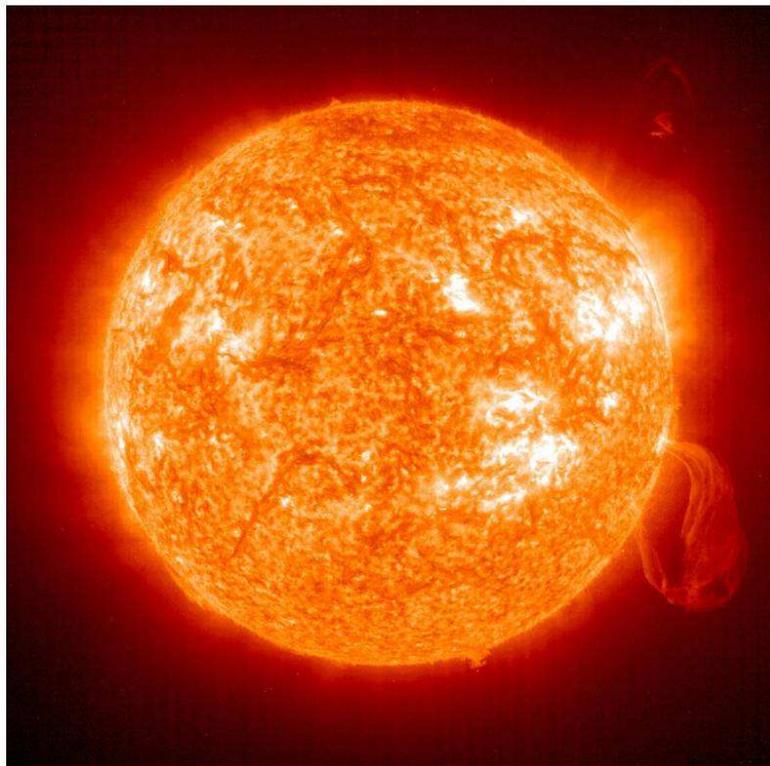




L'énergie solaire: Thermique et Photovoltaïque

Par

Loïck Nossent et Loïck Hamel



<http://www.borel-sa.com/pompes-solaire/energie-solaire.jpg>

Tables des matières

1. Introduction.....	- 4 -
1.1 Son origine.....	- 4 -
1.2 Utilisation dans notre société	- 4 -
2. Energie solaire thermique.....	- 5 -
2.1 Qu'est ce que c'est ?.....	- 5 -
2.2 Fonctionnement	- 6 -
2.3 Rendement	- 7 -
2.4 Coût	- 8 -
3. Energie solaire photovoltaïque	- 9 -
3.1 Qu'est-ce que c'est ?	- 9 -
3.2 Fonctionnement	- 10 -
3.3 Rendement	- 10 -
3.4 Coût	- 11 -
4. Conclusion.....	- 13 -
5. Bibliographie.....	- 14 -

1. Introduction

1.1 Son origine

Le rayonnement solaire provient, comme son nom l'indique, du Soleil. Celui-ci étant le lieu de fusion nucléaire en son cœur. L'énergie découlant de ces réactions nucléaires traverse les différentes couches (d'abord par rayonnement puis par convection) du Soleil et l'espace sous forme de rayonnement de deux types. Le premier étant le rayonnement visible, dans lequel les cellules photovoltaïques puisent l'énergie afin de la transformer en électricité. Le deuxième rayonnement est celui des infrarouges, qui font fonctionner les panneaux solaires thermiques en compagnie du rayonnement visible.

1.2 Utilisation dans notre société

Il y a une trentaine d'années apparaissait la calculatrice de poche solaire. Aujourd'hui, des magasins dédiés à l'écologie, mais aussi des enseignes plus grand public, proposent de nombreux objets fonctionnant à l'énergie solaire : torches, lampes de jardin, radioreveils, mobiles animés, montres... Preuve que l'énergie solaire séduit les consommateurs par l'image "verte" qu'elle véhicule. Son autre atout est son côté nomade : des chargeurs solaires permettent désormais d'alimenter en électricité, où que l'on se trouve, un téléphone mobile, un GPS ou un ordinateur portable. Pour les voyageurs au long cours, il existe même des sacs à dos équipés de capteurs solaires. Certains imaginent des vêtements également dotés de cellules photovoltaïques, pour y brancher directement son baladeur MP3. Voilà une petite synthèse que ce que peut apporter le photovoltaïque.

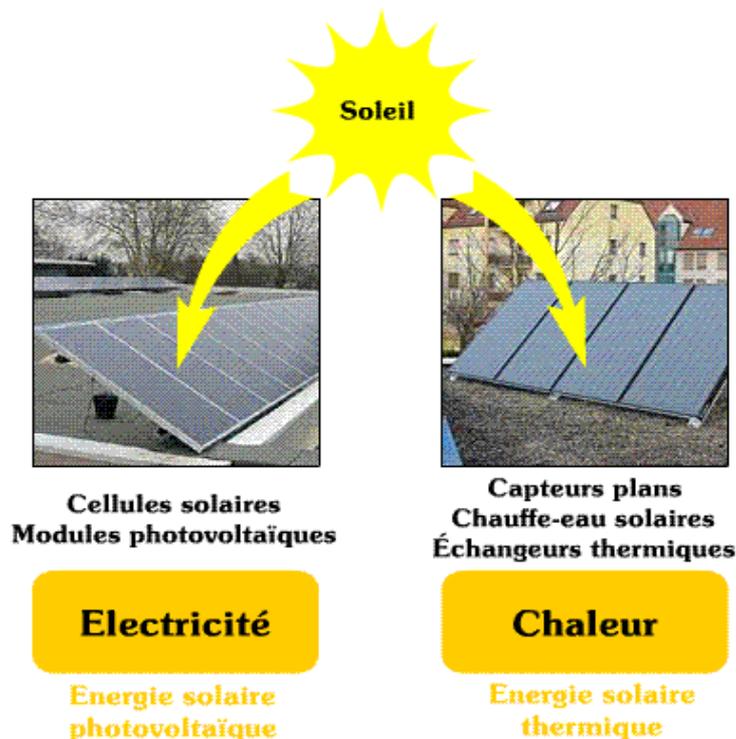
Le thermique est quant à lui utilisé en majeure partie chez le particulier afin de chauffer l'eau destinée à l'usage quotidien (hygiène, ...).

La centrale photovoltaïque la plus puissante au monde (350'000 panneaux solaires sur 114 ha) est en cours de construction au Portugal. Elle pourra produire jusqu'à 62 MW. Après la centrale de Chambéry, inaugurée en 2005, la France a battu son propre record avec une nouvelle installation à la Réunion, en 2006. Avec plus de 6'000 panneaux répartis sur une surface de 10'000 m² et bénéficiant d'un ensoleillement annuel moyen de 1350 heures, la nouvelle centrale Réunionnaise produira 1350 MWh par an. En Allemagne, les 57'000 panneaux du Bavaria solarpark fonctionnent depuis 2005. La Suisse s'est elle aussi lancée dans la course au solaire comme le prouve le toit du stade de football à Berne recouvert entièrement de panneaux solaires. Mais l'EPFL à Lausanne fera mieux d'ici à 2011. En effet, en partenariat avec Romande Energie, l'Ecole polytechnique accueillera sur ses toits le plus grand parc photovoltaïque de Suisse recouvrant au total 20'000 m². Cet investissement coûtera quelques 20 millions de francs mais rapportera plus de 2 millions de kWh par an.

En Suisse, selon l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), la consommation suisse d'électricité (consommation finale) en 2005 était de 57,3 milliards de kWh.

Malheureusement, l'énergie solaire n'occupait qu'une infime partie de ce chiffres. En effet, 63% du volume d'électricité fourni a été produit en Suisse, et sur ce pourcentage que 0.5 % ne proviennent des énergies renouvelables (solaire, éolienne, ...).

Compte tenu de ces chiffres, on peut remarquer qu'ils sont bien loin de la demande de la population. En effet, les énergies renouvelables comme l'énergie solaire, sont très demandés par la population. Une étude menée sur 1002 ménages révèle le grand potentiel de séduction envers les gens des énergies dites propres. L'enquête montre que les clients privés souhaitent avant tout du courant issu des énergies renouvelables (40%) et de l'énergie hydraulique (38%). Les autres sources d'énergie sont nettement moins populaires (énergie nucléaire 5%, déchets 5%, agents énergétiques fossiles 2%).

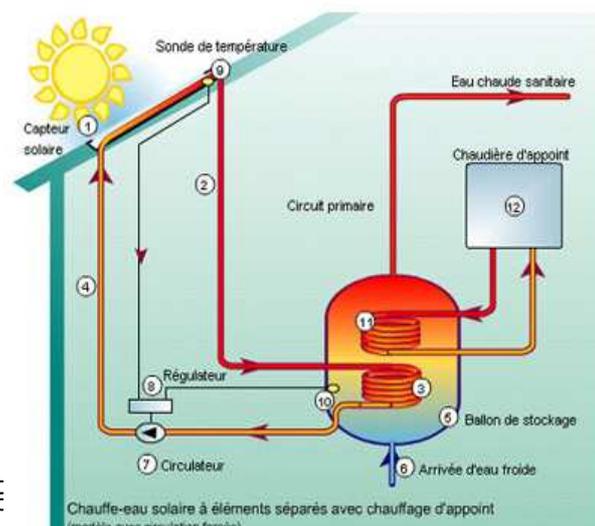


Utilisation du rayonnement solaire
<http://lamaisonecolo.l.a.pic.centerblog.net>

2. Energie solaire thermique

2.1 Qu'est ce que c'est ?

Le solaire thermique consiste à utiliser des capteurs solaires afin de capter l'énergie du rayonnement solaire à l'intérieur d'un liquide, parfois de l'air mais le plus souvent dans de l'eau.



Grâce à cela, nous pouvons utiliser l'énergie récupérée dans la production d'ECS (eau chaude sanitaire), chauffage de piscines et d'habitations ainsi que le séchage de céréales.

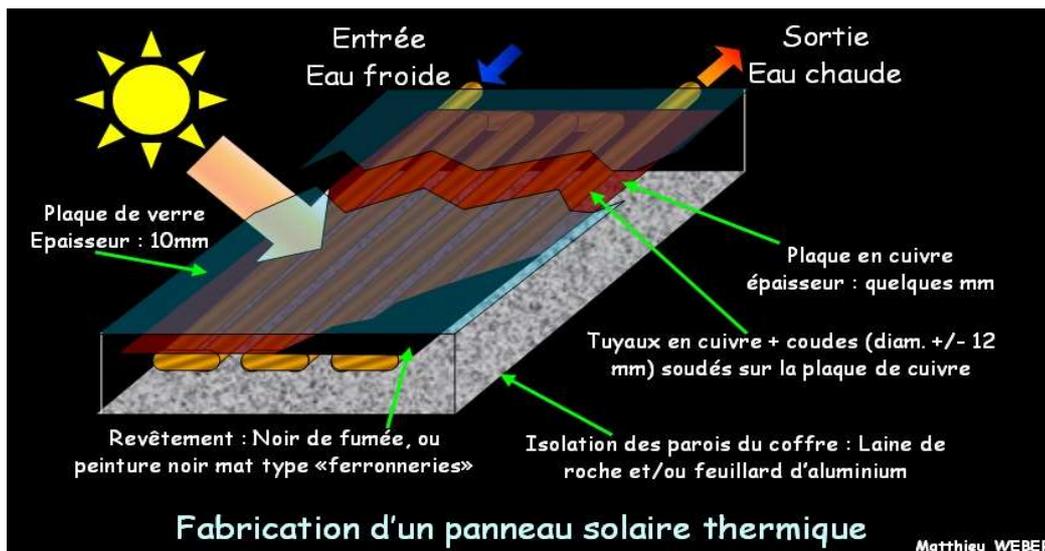
domo7.com/

<http://www.provence-des-eaux->

2.2 Fonctionnement

Tout d'abord, un capteur solaire est composé des éléments suivants :

- Un **corps opaque** qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant
- Un **système de refroidissement** par le fluide caloporteur (transportant l'énergie)
- Un **isolant thermique** situé sur les faces non exposées au rayonnement
- Une **couverture transparente** sur la face exposée, destinée à assurer l'effet de serre à l'intérieur du capteur



http://matthieu.weber.free.fr/ecologie/panneau_solaire/panneau_solaire_1.JPG

Les capteurs plans utilisent de l'eau ou plus souvent un liquide caloporteur, (cf chauffe-eau solaire) qui circule dans des tubes munis d'ailettes en circuit fermé. Pour obtenir un meilleur rendement, l'ensemble est placé dans une boîte vitrée isolante afin d'obtenir un effet de serre. Avec un ensoleillement important, et si les besoins en eau chaude sont modérés, un simple réseau de tubes à ailettes peut suffire. Les ailettes, qui forment ce qu'on appelle l'absorbeur, sont chauffées par le rayonnement solaire et transmettent leur chaleur au liquide caloporteur qui circule dans les tubes. Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour produire de l'eau chaude sanitaire dans un chauffe eau solaire individuel.

Il existe deux types de capteurs solaires thermiques: les capteurs qui utilisent un liquide (eau ou antigel) comme fluide caloporteur, et ceux à air, qui utilisent l'air comme fluide caloporteur.

Dans ces deux catégories, il y a deux familles:

- **les capteurs plans:** le fluide passe dans un serpentin sous une vitre; ils sont peu coûteux, fonctionnent avec un bon rendement, surtout pendant l'été.
- **les capteurs à concentration :** ces derniers sont très peu utilisés, ayant en effet besoin du rayonnement solaire direct (lorsque le soleil est visible). Un désavantage conséquent puisque l'on estime l'ensoleillement par an à 1500-1700 heures en moyenne.

Les capteurs peuvent être mis sous vide également, cela augmente encore le rendement, vu que le vide est un parfait isolant.

Les capteurs à concentration fonctionnent à peu près comme les capteurs plans à la différence qu'on y ajoute des miroirs paraboliques ou cylindro-paraboliques, afin de concentrer le rayon lumineux vers le foyer où se trouve le liquide caloporteur.

2.3 Rendement

Les capteurs solaires thermiques atteignent aujourd'hui (2008) des rendements de l'ordre de 80%.

Dans les capteurs thermiques à eau, l'eau circule dans des tubes munis d'ailettes. Pour obtenir un meilleur rendement, l'ensemble est placé dans une boîte vitrée isolante afin d'obtenir un effet de serre. Avec un ensoleillement important, et si les besoins en énergie sont modérés, un simple réseau de tubes à ailettes peut suffire. Les ailettes, qui forment ce qu'on appelle l'absorbeur, sont chauffées par le rayonnement solaire et transmettent leur chaleur à l'eau qui circule dans les tubes.

Les premiers absorbeurs étaient peints en noir afin de capter un maximum d'énergie lumineuse. Mais le noir a l'inconvénient d'avoir un rayonnement important, ce qui finit par échauffer la vitre et provoquer des pertes à travers celle-ci. C'est pourquoi on préfère utiliser des absorbeurs traités au chrome, ce qui donne un corps noir dont le rayonnement est beaucoup plus faible. On parle de surfaces sélectives, elles absorbent bien le rayonnement solaire visible (où se situe la grande partie de l'énergie provenant du Soleil, corps noir à haute température : $T=5735\text{K}$) mais réémettent peu dans l'infrarouge (rayonnement de l'absorbeur, corps noir à relativement basse température).

De nombreuses autres innovations techniques ont permis d'augmenter le rendement des panneaux thermiques, telles que :

- des vitres traitées qui laissent passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer
- des tubes transparents "sous vide" pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur

- des assemblages tubes-ailettes parfaitement solidaires réalisés par soudure aux ultra-sons...

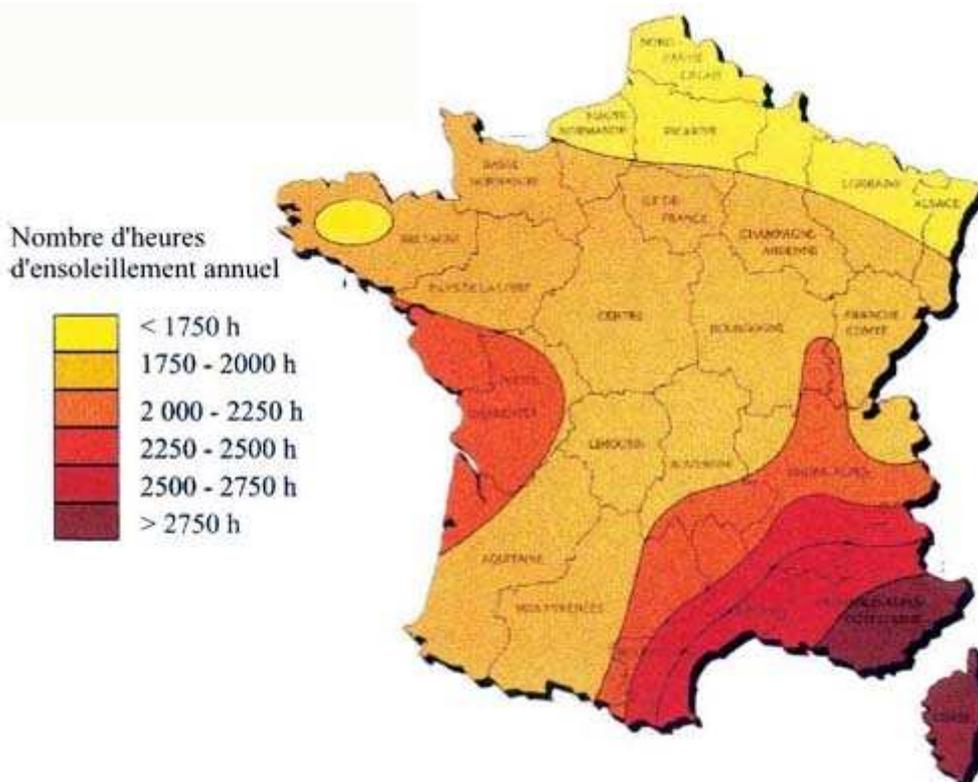
Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour le chauffage et/ou pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS) dans un chauffe-eau solaire.

Dans les capteurs thermiques à air, c'est de l'air qui circule et qui s'échauffe au contact des absorbeurs. L'air ainsi chauffé est ensuite ventilé dans les habitats pour le chauffage ou dans des hangars agricoles pour le séchage des productions.

2.4 Coût

L'eau chaude sanitaire représente ~20 % des dépenses énergétiques d'un foyer. Pourquoi ne pas installer un panneau solaire thermique qui se chargerait de chauffer cette eau ?

Mais il est évident que l'ensoleillement annuel n'est pas le même partout dans le monde. Pour la France par exemple entre Marseille et Lille la différence est radicale :



Cependant, les panneaux solaires thermiques ne sont pas forcément plus rentables à Marseille.

Explication : Prenons le cas d'une maison chauffée par l'eau chaude fournie par les panneaux.

A Lille, le solaire thermique permet une économie de 30% du chauffage et les besoins énergétiques sont d'environ 20'000 kWh par an.

$$20\ 000 - 30/100 \times 20\ 000 = \mathbf{6\ 000\ kWh\ économisés}$$

Maintenant, à Marseille, le solaire thermique permet une économie de 60% du chauffage

Cependant, les besoins énergétiques ne sont que de 10 000 kWh par an environ car il fait plus chaud.

$$10\ 000 - 60/100 \times 10\ 000 = \mathbf{6\ 000\ kWh\ également}$$

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire, jusqu'à 80% de l'énergie nécessaire à chauffer l'eau peut être fournie par les panneaux solaires thermiques. Seuls 20% sont pris en charge par la chaudière d'appoint et sont à payer.

Le prix des panneaux solaires thermiques et de leur installation est d'environ 20'000 CHF. Si l'on fait une économie de 6'000 kWh par an, l'économie budgétaire sera donc :

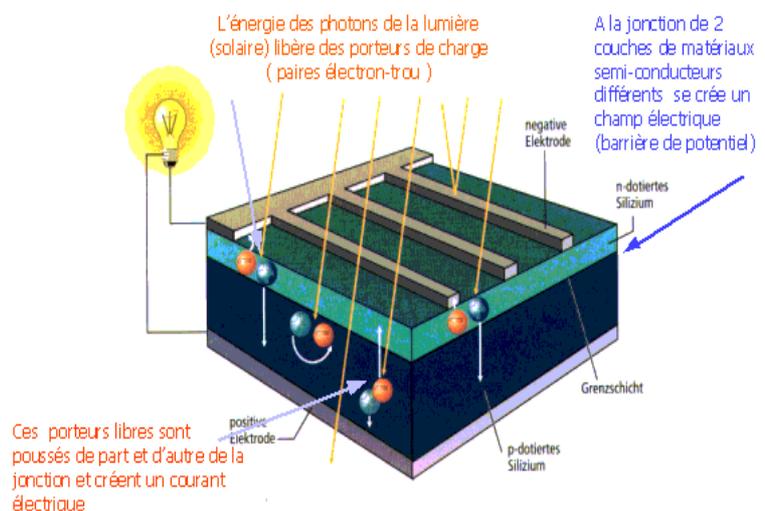
$$6000 \times 0.2 = 1'200\ CHF\ par\ an$$

Il faudrait donc un peu moins de 2 ans pour récupérer l'argent investi pour l'achat d'une installation. Le seul inconvénient est que la plupart de l'ensoleillement a lieu pendant l'été. Malheureusement, la demande en eau chaude en été est plus faible qu'en hiver et dans ce cas l'énergie ne peut pas être stockée facilement car il s'agit d'énergie thermique et non d'électricité.

3. Energie solaire photovoltaïque

3.1 Qu'est-ce que c'est ?

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable qui produit de l'électricité par la transformation du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque. Plusieurs de ces cellules sont reliées entre-elles sur un panneau photovoltaïque. Ces panneaux peuvent être



utilisés individuellement pour charger une batterie et pour répondre aux besoins en électricité des particuliers, ou à plus grande

<http://www.alterenergies.fr/photo/cellulesolaire.gif>

échelle, dans des centrales photovoltaïques pour alimenter le réseau de distribution publique.

Il existe deux technologies différentes de fabrication des modules solaires photovoltaïques :

- Les modules solaires monocristallins : ils possèdent un meilleur rendement entre 12 et 16%, sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Son coût plus élevé que les autres installations de même puissance, l'empêche de se développer.
- Les modules solaire polycristallins : actuellement c'est le meilleur rapport qualité prix et les plus utilisés. Ils ont un bon rendement entre 10 et 13% et une bonne durée de vie (plus de 35ans), et en plus ils peuvent être fabriqués, en partie, à partir de déchets électroniques.

3.2 Fonctionnement

L'effet photovoltaïque a été découvert par Antoine Becquerel en 1839. Il est le produit du choc des photons de la lumière sur un matériau semi-conducteur qui transmet leur énergie aux électrons qui génèrent une tension électrique.

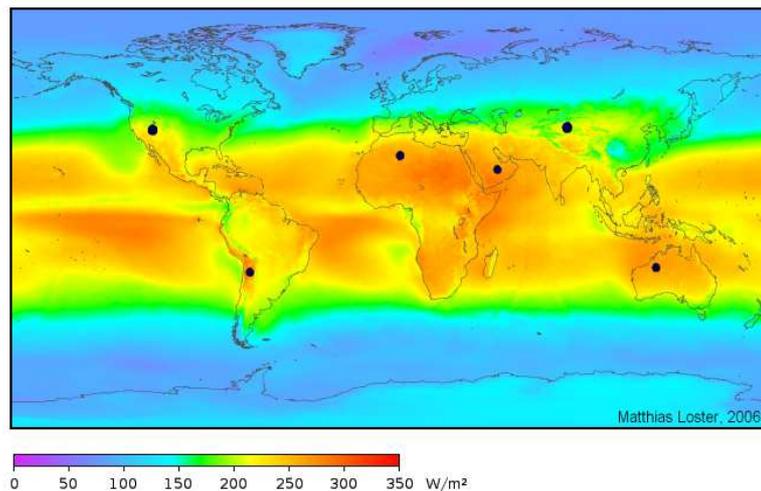
Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie. De nombreuses calculatrices de poche utilisent l'énergie photovoltaïque.

Dans un premier temps, cette énergie était utilisée pour alimenter des satellites en orbite. Par la suite, son utilisation s'est répandue pour des équipements électriques dans des sites isolés, puis sur des bateaux ou des véhicules. Une baisse des coûts de production a ensuite élargi le champ d'application de l'énergie photovoltaïque à la production d'électricité sur le réseau électrique. L'application de l'énergie photovoltaïque nécessite, cependant, d'être transformée en courant alternatif à l'aide d'un onduleur.

3.3 Rendement

Le rendement des panneaux solaire photovoltaïques varie selon l'inclinaison de ce dernier, la latitude du site où il se trouve, la météo et la saison.

L'effet de la latitude du site où se trouve le panneau solaire est illustré ci-dessous :



Répartition de l'énergie solaire reçue au sol.

Les panneaux solaires ont un meilleur rendement dans les zones rouges. On peut voir sur cette carte que le rendement d'un panneau solaire est trois fois plus grand au Sahara qu'en Europe du Nord

De plus, chaque type de panneaux solaire a un rendement différent :

- Les cellules monocristallines ont un rendement élevé, entre 12 et 16%.
- Les cellules polycristallines ont un rendement un peu inférieur, entre 10 et 13%.

Comment obtenir le meilleur rendement possible ?

Pour avoir le meilleur rendement possible il faudrait se trouver le plus proche de l'équateur possible, avec un climat chaud et sec et incliner le panneau solaire de telle manière que les rayons de soleil arrivent perpendiculairement à la surface de ce dernier

Pour des régions moins proches de l'équateur. Les panneaux peuvent être installés sur des supports appelés des trackers qui poursuivent le soleil le long de sa trajectoire, dans ce cas la production électrique augmente de 30% par rapport à une installation fixe.

Imaginons une irradiance solaire de 1000W/m^2 de surface plane, orientation sud, dont l'angle d'inclinaison est égal à la latitude du site. Un panneau solaire de 1m^2 exposé perpendiculairement aux rayons solaires et ayant un rendement de 10% fournira une puissance de 100W.

3.4 Coût

Le prix du kWh produit par un équipement solaire, actualisé sur la durée de vie de l'équipement, peut s'estimer à partir de trois paramètres :

- Le prix d'achat de l'équipement, en CHF par W de puissance crête (W_c).

- La productivité (en kWh produit par Wc par an), en fonction de l'insolation du lieu.
- La dépréciation annuelle du capital. Pour ce paramètre, on utilisera 10% (correspondant, par exemple, à des frais de fonctionnement et maintenance de 1%, une actualisation financière de 4%, et un amortissement du matériel sur 20 ans soit 5%).

Nous allons comparer l'énergie solaire avec les autres types d'énergies

Comparaison avec les énergies fossiles

Le prix du kWh d'origine fossile (gaz, pétrole ou charbon) était d'environ 40c / kWh en mars 2009. Les études sur le phénomène du pic de production montrent que lorsque la demande devient supérieure à l'offre, le prix du pétrole va fortement augmenter. Il est raisonnable de compter sur une augmentation de 8 % par an pour les trente prochaines années. Dans trente ans le prix du kWh d'origine fossile vaudra donc environ 335 c.

Le soleil n'envoyant pas de facture et la quantité d'énergie envoyée par le soleil étant illimitée, le prix du kWh d'origine photovoltaïque ne dépend que du prix de l'investissement de départ. Il est donc fixe et vaut environ 65 c aujourd'hui.

En moyenne sur les trente prochaines années, le prix du kWh photovoltaïque est environ deux fois moins cher que le prix du kWh d'origine fossile.

Comparaison avec le nucléaire

Les études sur le prix de revient du nucléaire ne prennent pas en compte le coût du retraitement des déchets, puisque rappelons le, nous ne savons pas retraiter les déchets.

Comparaison avec les piles

L'électricité photovoltaïque est moins chère que celle des piles (qui est la plus chère de toutes les électricités) : c'est la raison pour laquelle les modules sont si répandus dans les calculatrices, montres, gadgets, etc.

La technologie photovoltaïque présente des possibilités de réduction de coûts beaucoup plus grandes que toutes les autres. De plus, il faut tenir compte des économies si elle remplit une seconde fonction (toiture, brise soleil, ...), et des économies sur le réseau électrique qui pourraient être permises par une installation décentralisée. Ces facteurs donne une chance à cette technique.

Mais le tout est de savoir au bout de combien de temps d'utilisation l'argent utilisée à l'achat du panneau est remboursé par l'énergie obtenue ?

- L'installation de 1 m² de panneaux solaires photovoltaïques coûte environ 1500 CHF (coût du panneau + coût de la pose)

Il faut donc compter 1500 CHF pour avoir 1 m² de panneaux solaires photovoltaïques chez soi.

En Suisse, 1 m² de panneaux photovoltaïques correctement orientés produit en moyenne 100 kWh par an.

Soit on utilise directement l'énergie produite : Etant donné que le prix du kWh acheté est 0.20 CHF.

$$100 \times 0.2 = 20 \text{ CHF}$$

Cela représente une économie de 20 CHF par an. Cependant, pour cette méthode, il faut également investir dans un moyen de stockage de l'énergie car l'énergie produite par les panneaux n'est pas forcément consommée instantanément par les besoins de la maison. Et les moyens de stockage d'énergie sont chers.

Soit on la revend au réseau urbain: L'Etat est d'accord de racheter l'énergie produite par nos panneaux solaires à environ 0.80 CHF le kWh.

$$100 \times 0.80 = 80 \text{ CHF}$$

Cela représente une économie de 80 CHF par an. Nous choisirons donc cette méthode car l'économie est supérieure, d'autant plus qu'il n'est pas nécessaire d'acheter des moyens de stockage d'énergie car elle est directement intégrée au réseau urbain

- La durée de vie d'un panneau solaire photovoltaïque est de 25 ans environ :

$$25 \times 80 = 2000 \text{ CHF}$$

1 m² de panneaux solaires photovoltaïques nous fait économiser 2000 CHF, auquel on soustrait le coût d'installation.

$$2000 - 1500 = 500 \text{ CHF}$$

Mais ces chiffres sont à prendre avec délicatesse car ils ne tiennent pas compte de la dépréciation annuelle du capital.

1 m² de panneaux solaires photovoltaïques nous fera donc gagner 500 CHF nets en 25 ans.

- Cependant, pour une maison de taille moyenne, on peut mettre facilement 20 m² de panneaux solaires sur le toit. Mais il faut, à nouveau, tenir compte de la dépréciation annuelle du capital qui augmente aussi car il faut entretenir plus de panneaux.

$$20 \times 500 = 10'000 \text{ CHF}$$

4. Conclusion

L'énergie solaire possède un potentiel formidable !! Elle est illimitée, nous pourrons toujours l'utiliser. Elle ne pollue que par la fabrication des installations nécessaires à sa production. Si l'on exploitait au maximum cette source d'énergie, elle pourrait couvrir près de 20% des besoins actuels.

Il existe aussi des centrales solaires thermiques qui sont une façon de rentabiliser l'énergie envoyée par le Soleil, mais elle n'est rentable qu'au niveau de l'équateur. Pour la Suisse, de telles centrales ne sont rentables que sur une très longue durée.

Mais l'énergie solaire pourrait subvenir à elle seule au monde entier. Par exemple : 1% de la surface du Sahara en centrale solaire est suffisante pour répondre à la demande mondiale totale en électricité. Mais ce chiffre est à prendre avec délicatesse car les pertes engendrées par son transport ne sont pas négligeables. Le transport de cette énergie jusqu'au Canada ne serait pas aussi rentable que pour l'Europe.

5. Bibliographie

1. <http://www.bfe.admin.ch>
2. <http://fr.wikipedia.org>
3. <http://www.actu-environnement.com>
4. <http://www.notre-planete.info>
5. <http://www.inti.be/ecotopie/solact.html>
6. <http://www.tpepanneauxsolaires.fr/rentabilite.html>