

ENERGIE SOLAIRE

1. GENERALITES

Le soleil est une gigantesque source d'énergie disponible en permanence : c'est un énorme « four » qui « brûle » de l'hydrogène depuis 4,6 milliards d'années. Quand les atomes d'hydrogène fusionnent, des atomes plus lourds se forment en libérant beaucoup d'énergie sous forme de chaleur et de rayonnement : c'est la fusion nucléaire. Le soleil est donc un immense réacteur nucléaire.

2. FILIERES D'EXPLOITATION DE L'ENERGIE SOLAIRE

Actuellement il existe 2 voies d'utilisation directe de l'énergie solaire :

- la transformation du rayonnement en chaleur
- la transformation du rayonnement en électricité

Ces transformations ont permis le développement de 3 filières d'exploitation :

- pour la chaleur : l'énergie solaire thermique
- pour l'électricité : l'électricité solaire thermodynamique
- pour l'électricité : l'électricité solaire photovoltaïque

2.1. ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE

Dans cette filière il y a plusieurs applications : le chauffage de l'eau sanitaire, le chauffage des locaux, le chauffage des piscines.

L'objectif est ici de transformer en énergie calorifique les photons solaires. Pour cela on utilise des « capteurs thermiques » constitués de matériaux fortement absorbants. Ces capteurs absorbent les photons solaires et les transforment en chaleur qui est ensuite transportée vers un réservoir de stockage au moyen d'un liquide ou d'un gaz (appelé « caloporteur »). De manière pratique le fonctionnement est le suivant : le rayonnement traverse une vitre qui laisse pénétrer la lumière et retient la chaleur (effet de serre) et est capté par une surface absorbante. La chaleur ainsi absorbée est ensuite récupérée grâce à un fluide caloporteur circulant sous la surface absorbante. La température du fluide peut alors atteindre 80°C, voire 100°C ; un matériau isolant thermiquement est placé à l'arrière de la surface absorbante pour limiter les pertes calorifiques. Le caloporteur transmet la chaleur à un ballon d'eau chaude ou à un hydro-accumulateur pour la production d'eau chaude sanitaire ou à un plancher solaire (le fluide caloporteur est alors injecté directement dans le plancher des bâtiments entre 25 et 30°C) pour le chauffage de la maison. Les développements technologiques en cours semblent ouvrir une voie prometteuse en associant trois fonctions dans le même capteur (en toit en face sud) : couverture, production thermique et production électrique.

Quelques valeurs : Une surface de capteur de 4 m² suffit pour satisfaire les besoins en eau chaude de 4 personnes et 10 m² permettent le chauffage d'une maison sous nos climats. Cependant les appareillages actuellement disponibles sur le marché restent encore onéreux. Il faut espérer que le développement de cette technique conduise rapidement à un retour sur investissement de 2 à 3 ans.

Avantages

L'énergie solaire thermique est une énergie propre, abondante et gratuite.

Inconvénients :

C'est une énergie intermittente. On peut l'obtenir uniquement s'il y a du soleil et en journée. Il faut pouvoir la stocker et l'appoint d'une autre forme d'énergie est nécessaire pour les périodes climatiques les plus défavorables.

2.2. ELECTRICITE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE

L'énergie thermique du soleil permet aussi de produire de l'électricité par voie thermodynamique. Dans ce cas, la conversion de l'énergie solaire en électricité n'est pas directe mais passe par l'intermédiaire de centrales thermiques solaires de différents types.

Le principe de base utilisé, connu depuis l'antiquité, est l'obtention de température élevée par la concentration du rayonnement solaire en un seul foyer. Cela rend possible le réchauffement de fluides caloporteurs à des températures allant de 250 à 1000°C ; ces fluides transportent la chaleur vers un réservoir d'eau, il y a alors production de vapeur d'eau qui entraînera un turboalternateur pour produire de l'électricité comme dans les centrales thermiques conventionnelles.

Des recherches intensives menées sur ce domaine dans les années 1975 à 1990 ont permis de vérifier la pertinence de ce concept pour 3 types de procédés : les centrales à capteurs cylindro-paraboliques, les paraboles autonomes, les centrales à tour.

A titre d'exemple citons :

- Dans le cas des centrales à capteurs cylindro-paraboliques, le rayonnement solaire est concentré sur un axe où le fluide caloporteur est chauffé à plusieurs centaines de degrés. Ainsi, les 3 centrales réalisées par la société LUZ à Los Angeles totalisent une puissance électrique nominale de 350 MW (350 MegaWatts électrique) et fournissent au réseau qui alimente Los Angeles une électricité de pointe durant les après midi d'été.
- Pour les centrales à tour, une multitude de miroirs orientables (héliostats) concentrent l'énergie solaire sur une chaudière unique contenant le fluide caloporteur et située sur une tour. Des prototypes d'une puissance de quelques kW à une dizaine de mégawatts (MW) ont été construits dans le monde.

En particulier dans les Pyrénées, la centrale THEMIS a fonctionné au début des années 1980 en fournissant une puissance de 2 MW.

Des centrales industrielles ont été mises en service ces dernières années : en Espagne (Séville), a été installée une centrale solaire à tour PS10 (115 m de haut), d'une capacité de 11 MW. Elle produit plus de 23 GWh (gigawatts.heure) d'électricité par an et fournit de l'électricité à 5500 foyers ; c'est la première d'une série dans la même région avec un objectif de puissance dépassant les 300 MW d'ici 2013.

Si l'on veut augmenter les rendements énergétiques, des voies sont ouvertes avec les composants des caloporteurs, l'optimisation des miroirs et du revêtement sélectif. On envisage ainsi un potentiel d'amélioration de 20 à 30%.

Le projet le plus ambitieux est celui d'une tour solaire dans le désert d'Australie de New South Wells : le soleil chauffe par effet de serre une plateforme de 7 km de diamètre au centre de laquelle s'élève une tour de 1000 m de haut ; l'air chauffé monte ainsi dans la tour où il active 32 turbines pour produire de l'électricité. On aurait ainsi une centrale pouvant produire 200 MW (soit de l'électricité pour 200.000 personnes) ; ce projet devrait aboutir en 2010. L'avantage de cette réalisation est son fonctionnement continu car la nuit il utilise la chaleur restituée par le sol.

La filière parabolique qui est un peu la filière de référence car elle met en œuvre la meilleure surface de réflexion possible : une parabole de révolution (tous les rayons solaires incidents convergent après réflexion en un seul point le « foyer ») était restée jusqu'à aujourd'hui au stade d'expériences.

Le projet européen DESERTEC qui vient d'être lancé par des industriels Allemands réunis le 13 Juillet 2009 utiliserait cette filière:

Des dizaines de centrales solaires tout autour du Sahara enverraient une partie de leur électricité vers l'Europe ; la technologie sera classique: des séries de miroirs paraboliques capables de suivre la course du soleil concentrent la lumière vers une structure cylindrique échauffant un fluide jusqu'à 400°C. La chaleur est alors transmise à un circuit d'eau transformé en vapeur et faisant tourner des turbines. L'électricité produite serait acheminée par des câbles enfouis dans le sol ou sous-marin pour traverser la Méditerranée.

Avantages

Source d'énergie inépuisable et gratuite, pas d'émission polluante.

Inconvénients

Nécessité de fort ensoleillement, surface de sol occupé importante.

En France par exemple l'ensoleillement direct n'est pas suffisant pour envisager de tels projets sur le territoire national.

La puissance de ces centrales se chiffre en mégawatts. La plus importante (Luz), construite en Californie, atteint 150 mégawatts (à comparer avec les 1000 à 1500 mégawatts d'une centrale nucléaire).

2.3. ELECTRICITE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Dans ce paragraphe, on se bornera à des généralités sur l'électricité solaire photovoltaïque ; ce sujet a fait l'objet d'une fiche plus complète et approfondie : Fiche n°28: Cellules photovoltaïques.

Rappel du principe : les photons incidents (grains de lumière) pénètrent la cellule photovoltaïque et arrachent des électrons aux atomes du matériau qui la compose. Ainsi libérés les électrons sont orientés par un champ électrique interne et leur mouvement génère un courant électrique.

Cette technique permet de convertir l'énergie du soleil directement en électricité. Cette conversion appelée effet photovoltaïque a été découverte en 1839 par Antoine Becquerel. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires que l'on assemble en modules puis en panneaux solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse du rayonnement solaire en électricité par le biais de la production et du transport de charges électriques sous l'effet de la lumière dans un matériau «semi-conducteur».

Il a fallu attendre 1954 pour voir apparaître la première cellule photovoltaïque à haut rendement (6%). Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Le problème est d'augmenter le rendement de conversion (le rendement de conversion de la cellule photovoltaïque est la capacité à récupérer et à transformer le rayonnement en électricité) des cellules photovoltaïques et de développer des processus de fabrication moins onéreux. La filière du silicium couvre actuellement 90% du marché car elle offre le meilleur compromis entre coût de production, rendement et frais d'installation. Le silicium de qualité électronique permet des rendements de 10 à 20% (17% en poly-cristallin, 20% en mono-cristallin), le silicium de qualité métallurgique purifié présente un rendement de 15% pour un coût moitié.

Mais si le véritable enjeu est de réduire le prix du kilowattheure produit, les matériaux organiques plastiques ou polymères faciles à mettre en œuvre peuvent s'imposer à côté du silicium pour la fabrication des cellules solaires. L'utilisation de semi-conducteurs organiques (film polymère) offre des rendements faibles (5%), à coût réduit mais à durée de vie limitée (quelques centaines d'heures).

Enfin, actuellement, une génération de cellules se dessine : celle des cellules nanostructurées qui devraient permettre de dépasser des rendements de 25% : les nanotechnologies ouvrent de nouvelles perspectives pour les capteurs solaires, ainsi on utilise de nouveaux matériaux qui ne se contentent pas d'absorber la lumière visible mais permettent aussi d'exploiter l'infrarouge; le rendement augmenterait alors de 30% par rapport aux cellules photovoltaïques en plastique habituelles, l'intérêt étant alors un fonctionnement même par temps couvert puisque l'infrarouge passe à travers les nuages. Une nouvelle voie a aussi été ouverte avec les cellules nanocristallines recouvertes de colorant (chargé de convertir les photons lumineux), cette voie est très prometteuse (longévité, coût).

Utilisation de l'électricité solaire photovoltaïque

L'électricité solaire photovoltaïque est utilisée de deux manières : pour la fourniture d'électricité en site isolé ou pour l'injection d'électricité dans un réseau électrique.

Fourniture d'électricité en site isolé

C'est l'application la plus ancienne et la plus répandue.

Années 60: dans les satellites,

Années 70: alimentation des stations météorologiques et relais de télécommunication,

Années 80: balisage maritime et aérien, protections cathodiques, et électrification rurale (éclairage domestique, audiovisuel, pompage de l'eau)

Depuis il y a eu une montée en puissance des réalisations, en France 90% des balises maritimes sont ainsi équipées, dans les pays en développement tous les relais hertziens et stations de télécommunication utilisent cette source d'énergie, dans les programmes d'électrification rurale.

Mais cette application nécessite l'emploi de batteries lorsque le besoin d'électricité n'est pas en phase avec la ressource c'est-à-dire le soleil.

Injection d'électricité dans un réseau électrique

Il s'agit dans cette application plus récente de transformer directement le courant continu obtenu dans des modules photovoltaïques en courant alternatif identique à celui des réseaux électriques basse tension. L'électricité est produite par des modules photovoltaïques intégrés dans les toits (toits solaires) et façades de bâtiments et maisons et elle est soit consommée sur place soit injectée dans le réseau et, dans ce cas, vendue à la compagnie de distribution d'électricité. En France le gouvernement impose un prix de rachat de 300 Euros par MWh sur 20 ans.

Des programmes très importants ont été réalisés depuis les années 80 au Japon et en Europe du nord. La France qui était en retard vient de mettre en place depuis 2008 un plan national de l'énergie solaire avec pour objectif la construction d'une grande centrale photovoltaïque par région d'ici 2011 pour une puissance totale de 300 MW.

Le couplage au réseau pourrait se faire un jour de façon centralisé avec des centrales photovoltaïques de quelques Megawatts.

Avantages

pouvoir s'intégrer un peu partout pour fournir sur place de petites puissances (1 à 5000 W),
générateur simple et très fiable, durée de vie supérieure à 25 ans (pas de mécanisme),
intégration facile sans gêne particulière,
potentiel illimité (5% de la surface des déserts suffirait pour alimenter la planète),
en zone rurale se substitue à la création d'un réseau électrique et y est moins cher.

Inconvénients

Le stockage qui est le maillon faible,
Le caractère aléatoire, diurne et saisonnier.

Conclusion

Le solaire thermique est aujourd'hui relativement bien maîtrisé en termes technologiques et économiques. Par contre, la conversion directe du rayonnement solaire en électricité – solaire photovoltaïque – qui constitue potentiellement une option riche de progrès, ne peut être intéressante que si elle est économiquement compétitive. Des recherches importantes visent à mettre au point des technologies permettant d'améliorer la compétitivité des systèmes photovoltaïques.

Pour comprendre l'intérêt du développement de l'énergie photovoltaïque en France il est indispensable de consulter le site www.assemblée-nationale.fr/13/rap-info/i1246.asp où est détaillé le rapport d'information sur l'énergie photovoltaïque et présenté le 16/07/09 par le député S.Poignant. On y trouve les chapitres suivants : principe et industrie de l'énergie photovoltaïque, action publique au soutien du développement de l'énergie photovoltaïque, structuration d'une filière française photovoltaïque, lignes directrices pour un programme national de développement de la filière photovoltaïque.

Comme le précise S.Poignant «l'occasion de se positionner sur le marché mondial et de s'y adjuger un rang de premier ordre reste ouverte. Ce rapport a pour but de convaincre les pouvoirs publics qu'il faut absolument et sans attendre la saisir»

En effet, le soleil constitue une source d'énergie propre et presque inépuisable (la durée de vie du soleil est estimée à environ 5 milliards d'années) que l'on arrivera sans doute un jour à maîtriser mais qui est aujourd'hui encore très coûteuse.

Bibliographie :

Cea de la recherche à l'industrie

Clefs Cea n°49/50/51

Le photovoltaïque : les filières, les marchés, les perspectives - Patrick Jourde CEA/GENEC

Cea jeunes : l'énergie (les docs des incollables)

ADEME

13^e journées internationales de thermiques d'ALBI (Ecole des Mines), août 2007 (*un nouveau concept de centrale solaire thermodynamique basé sur un récepteur à lit fluidisé* :

12^{ème} rencontres scientifiques de la région centre

Les nouvelles piles nanocristallines . Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Desertec.org