

## LE CHAUFFAGE SOLAIRE ACTIF

Pierre Lehmann

Lorsqu'on utilise le rayonnement solaire pour chauffer un fluide qui transporte ensuite la chaleur vers un utilisateur, on parle de chauffage solaire actif. Le chauffage solaire est dit passif lorsque le rayonnement solaire réchauffe directement les locaux (ou autres objets), soit par absorption dans l'enveloppe du bâtiment, soit en pénétrant par les fenêtres.

L'élément de base du chauffage solaire actif est le capteur - ou collecteur - solaire dont le constituant principal est un absorbeur, le plus souvent une surface noire plane, qui est en contact thermique direct avec le fluide à chauffer. L'absorbeur, suivant ses propriétés et le niveau de température que l'on souhaite atteindre, sera ou non recouvert par un vitrage, voire un double vitrage. La chaleur produite dans le capteur est transportée par le fluide caloporteur, lequel est mis en mouvement soit par une pompe, soit par convection naturelle (on parle alors de circulation par thermosiphon). Cette chaleur, si elle n'est pas utilisée directement, est stockée dans un réservoir, en général un volume d'eau. Si ce concept de base se retrouve dans toutes les installations solaires actives, il y a par contre une certaine diversité dans l'exécution. Il existe des capteurs spéciaux haute température (à tubes évacués, à concentration, avec ou sans système suiveur), des stockages en terre, à changement de phase, etc. Mais la très grande majorité des installations aujourd'hui en Suisse est à capteurs plans, vitrés ou non, et servent à chauffer l'eau sanitaire ou l'eau des piscines, en apportant éventuellement un complément au chauffage des locaux. Il y a aussi de nombreuses installations solaires à air chaud pour le séchage du foin.

### Les débuts

Avant la crise pétrolière de 1973, le chauffage solaire actif était inexistant en Suisse et probablement dans la plupart des pays du globe, même si quelques rares capteurs plans étaient visibles sur des toits au Japon.

Les premières installations sont apparues en Suisse dans les années qui suivirent la crise pétrolière et la Société Suisse pour l'Énergie Solaire (SSES) a été créée par Pierre Fornallaz, alors professeurs à l'ETHZ, en 1974. Parmi les pionniers en Suisse romande, on peut citer Claude-A. Roulet, Pierre Bremer, Bernard Matthey, Lucien

Keller. Ces pionniers n'ont pas eu la tâche facile au début, car l'énergie solaire était considérée avec dérision par tous les ténors de l'économie énergétique, y compris l'Office Fédéral de l'Énergie (OFEN). C'était l'époque où l'on voulait nous faire croire que la prospérité ne pouvait se concevoir qu'avec une croissance exponentielle de la consommation d'énergie et où l'on avait décidé de construire au moins 7 grandes centrales nucléaires de 1'000 MW chacune en Suisse, en plus de celles de Beznau (2 x 350 MW) et Mühleberg (320 MW). (Des projets de centrale complets ont été élaborés pour les sites de Gösgen, Leibstadt, Kaiseraugst, Rütli,

Inwil, Graben, Verbois. Seuls les deux premiers se réaliseront). Dans cette course au gigantisme, un panneau solaire pouvant fournir une puissance-chaleur moyenne de quelque  $50 \text{ W/m}^2$  ne pouvait pas retenir l'attention des papes de l'énergie. Pourtant, s'ils s'étaient donnés la peine de multiplier cette puissance par le nombre de  $\text{m}^2$  contenu dans un  $\text{km}^2$ , ils se seraient peut-être gratté la tête. En effet,  $1 \text{ km}^2$  de capteurs peut fournir une puissance moyenne de 50 MW, si bien que les 7'000 MW de leurs 7 grosses centrales sont l'équivalent de la puissance solaire potentiellement disponible sur une surface de  $140 \text{ km}^2$ , soit à peu près le 0,3 % de la surface de la Suisse.

Le débat était complètement faussé. La seule énergie disponible en quantités quasi-illimitées, l'énergie solaire, était présentée officiellement comme dérisoire par rapport à ce que pouvait fournir l'énergie nucléaire non-renouvelable que l'on se proposait en plus d'utiliser en remplacement du pétrole pour chauffer les locaux à grand renfort de chauffages électriques directs. Les raisons profondes de cette distorsion sont bien sûr connues : obsession des décideurs de maintenir leur pouvoir et sauver leurs investissements. Mais cela illustre une fois de plus la difficulté des structures de pouvoir à changer de méthode lorsqu'elles se sont installées dans des habitudes.

Les premières installations ont donc été faites par des bricoleurs. Il y a eu des difficultés, des erreurs et des pépins. Mais les progrès ont été rapides. Une association des spécialistes de l'énergie solaire, la SOFAS (Sonnenenergie Fachverband Schweiz), a été créée en 1982. En 1988, l'énergie solaire a fait son entrée dans la statistique globale suisse de l'énergie publiée par l'OFEN, et en 1993, l'organisation faîtière SwissSolar a vu le jour. Cette organisation regroupe toutes les sociétés de spécialistes du solaire. De son côté, la Confédération a financé la recherche et a mis en place un stand d'essai pour collecteurs et systèmes solaires complets à l'École d'ingénieurs de Rapperswil. Aujourd'hui, le chauffe-eau solaire est disponible sur le marché au même titre que le boiler électrique ou le chauffe-eau à gaz. Il y avait à fin 2000 en Suisse environ  $490'000 \text{ m}^2$  de capteurs solaires installés pour le chauffage de l'eau et  $820'000 \text{ m}^2$  pour le séchage du foin<sup>1</sup>, soit en tout au moins  $1,3 \text{ km}^2$  de panneaux, lesquels auront produit pendant l'année pas loin de 2 PJ de chaleur ( $1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J} = 278 \text{ millions de kWh} \approx 24'000 \text{ tonnes de mazout}$ ). C'est encore peu par rapport aux quelques 460 PJ de chaleur consommés en tout par la Suisse en 2000, mais cela n'est plus négligeable, d'autant plus que l'augmentation de la surface de panneaux est rapide, de l'ordre de  $50'000 \text{ m}^2/\text{an}$  pour les seules installations à eau chaude.

#### Le potentiel du chauffage solaire actif

$1 \text{ km}^2$  de panneau solaire à eau chaude peut produire de 1 à 2 PJ de chaleur par an, suivant son exécution et ses conditions de fonctionnement. On admettra une valeur moyenne de  $1,5 \text{ PJ/km}^2\cdot\text{an}$ . Or, la surface occupée en Suisse par des bâtiments est de  $390 \text{ km}^2$ , celle occupée par les routes de  $710 \text{ km}^2$ , par les

chemins de fer de 76 km<sup>2</sup>, par les aéroports de 16 km<sup>2</sup>. Les terrains attenants aux bâtiments et aux industries ou utilisées par diverses infrastructures représentent en tout environ 1'100 km<sup>2</sup>. Sur ces quelque 2'300 km<sup>2</sup> de territoire (5,6 % de la surface de la Suisse) déjà mobilisés et soustraits à la nature, il y a certainement moyen de mettre en place, dans des conditions favorables, quelque 50 km<sup>2</sup> de capteurs solaires représentant une énergie-chaleur d'environ 75 PJ/an. Si chacune des 7 millions de personnes vivant en Suisse consomme 50 l d'eau chaude à 60° C par jour, cela représente un besoin total en énergie-chaleur pour la Suisse de 27 PJ par an, soit une surface de capteurs d'environ 18 km<sup>2</sup> représentant le 4,6 % de la surface des toitures existantes.

### Installations solaires pour l'eau chaude sanitaire

Si on laisse de côté le séchage du foin, l'application la plus simple de l'énergie solaire active - et la plus courante aujourd'hui - est la préparation de l'eau chaude sanitaire. Une telle installation solaire sera, dans la grande majorité des cas, associée à une chaudière qui assure le chauffage des locaux en hiver. Par ailleurs, pour éviter le surdimensionnement, l'installation solaire peut - mais ne doit pas - comporter un élément chauffant électrique, éventuellement aussi à gaz ou au bois, qui permet de chauffer l'eau sanitaire à une température suffisante (55° C) en cas d'absence de soleil prolongée.

Du fait que les pertes d'un capteur solaire et d'un stock de chaleur sont d'autant plus grandes que les températures atteintes sont élevées, le rendement d'un système de chauffage solaire est meilleur s'il peut se contenter d'atteindre des températures

relativement modestes. C'est le cas, par exemple, pour le chauffage de l'eau d'une piscine. Comme la température de cette eau n'a généralement pas besoin de dépasser

25 °C, les pertes du système solaire restent suffisamment faibles, même si le capteur n'est pas vitré, ce qui en réduit notablement le coût. Mais on peut aussi utiliser

l'énergie solaire pour préchauffer de l'eau à une température intermédiaire entre celle du réseau de distribution d'eau (8-10 °C) et celle d'utilisation (55 °C ou plus), la mise en température finale étant assurée par une autre source (bois, gaz, mazout). Cette manière de faire est également intéressante pour le chauffage des locaux, si celui-ci se fait à température relativement basse (chauffage sol, par exemple).

La technologie du capteur solaire a été beaucoup améliorée. Si, au début, on installait surtout des capteurs à double vitrage, ce qui permettait d'atteindre des températures assez élevées, les capteurs fabriqués aujourd'hui sont à simple vitrage ou sans vitrage du tout (piscines et autres applications à basse température). Des progrès considérables ont été réalisés dans les absorbeurs qui

---

<sup>1</sup> Les capteurs pour le séchage du foin peuvent être des toitures non vitrées. Ils chauffent de l'air et non de l'eau.

exploitent aujourd'hui, en moyenne, le 94 % du rayonnement solaire reçu et n'émettent dans l'infrarouge que le 10-20 % de ce qu'émettaient les absorbeurs des années 70. Par ailleurs, les vitres utilisées sur les collecteurs sont devenues plus transparentes et moins réfléchissantes. Ces progrès ont permis la mise au point de systèmes solaires compacts pour la préparation de l'eau chaude sanitaire d'une famille de 4-5 personnes.

Le Centre SPF de Rapperswil <sup>2</sup> a proposé aux fabricants de mettre au point de tels systèmes compacts dont le coût total, y compris montage et mise en service, soit compris entre Fr. 10'000.-- et 12'000.-- et qui satisfont à un certain nombre de critères de performance. Aujourd'hui, un grand nombre d'entreprises sont à même de les offrir. Une liste de 18 systèmes certifiés a été établie par le SPF en 2001. Des informations très complètes sur les systèmes proposés sont mises à disposition dans un CD-ROM intitulé "SPF Info-CD 2001" que l'on peut obtenir sur demande. Un tel système comprend typiquement une surface brute - hors tout - de 4,5 à 8 m<sup>2</sup> de panneaux (la surface brute est supérieure de 12 % en moyenne à celle de l'absorbeur) et un volume d'eau de 400 à 500 litres pour le stockage de la chaleur. Un dimensionnement plus précis sera établi par le fournisseur en tenant compte du site, de l'inclinaison et de l'orientation des capteurs, des consommations attendues, etc. (logiciel POLYSUN).

Le volume d'eau est en général contenu dans un cylindre vertical qui peut être à charge stratifiée, c'est-à-dire. que la chaleur fournie par les capteurs est introduite dans le stock à un niveau où la température de l'eau est voisine de celle du fluide caloporteur. Cela permet une meilleure utilisation de l'énergie solaire disponible. L'échange de chaleur entre le fluide caloporteur et l'eau sanitaire contenue dans le stock peut se faire à travers la paroi du cylindre (construction en double manteau) ou par un échangeur dans le cylindre. Un autre échangeur permet de chauffer tout ou partie du volume d'eau par une chaudière - si possible à bois - qui sera en général celle qui sert au chauffage des locaux. Une cuisinière à bois peut aussi faire l'affaire. Le système comprend en général un appoint électrique par un corps de chauffe d'une puissance de quelques kW monté dans le haut du stock et chauffant typiquement la moitié du volume d'eau sanitaire. Le recours à l'électricité pour chauffer l'eau devrait être évité le plus possible et ne se justifie guère qu'en été en cas d'absence prolongée de soleil.

Il est intéressant de relever que la puissance électrique requise pour faire fonctionner la partie solaire (à l'exclusion du chauffage électrique de l'eau sanitaire) est très faible, typiquement de l'ordre de 10 à 20 W, et peut être fournie par des panneaux photovoltaïques, soit directement, soit au travers d'un onduleur produisant du courant alternatif 220V à partir de batteries. Les onduleurs modernes ont d'excellents rendements. Leur consommation propre est suffisamment faible pour qu'on puisse les laisser enclenchés en permanence, ce

---

<sup>2</sup> SPF : Solartechnik Prüfung Forschung, Ingenieurschule ITR, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil.

qui simplifie l'installation, puisqu'il n'y a pas besoin d'un système de contrôle pour commander la mise en route et l'arrêt de l'onduleur.

La **Figure 1** donne le schéma de principe d'une installation solaire de production d'eau chaude.

**Figure 1**

Schéma de principe d'une installation solaire pour eau chaude

Selon les spécifications du SPF, si les conditions d'exposition sont bonnes (idéalement : orientation Sud, inclinaison 45°. Mais pour des orientations/inclinaisons un peu différentes, l'énergie solaire récoltée sera presque aussi grande), le système donnera en moyenne 10 kWh/jour sous forme d'eau chaude à 50° C. A titre de comparaison, une douche de 20 l à 40 °C nécessite 0,7 kWh, un bain de 75 l à 40 °C 2,6 kWh. Il est clair que la température de l'eau sanitaire pourra dépasser notablement 50 °C suivant l'ensoleillement et le taux d'utilisation. Il n'est cependant pas désirable de trop monter en température, surtout si l'eau est dure, car cela accélère la déposition de calcaire dans les circuits d'eau chaude. Un système compact permettra, même sans appoint, de satisfaire la quasi-totalité des besoins en eau chaude sanitaire d'une famille "raisonnable" de 4-5 personnes entre avril et septembre. Lorsqu'un tel système remplace une chaudière à mazout pour faire l'eau chaude pendant l'été, l'économie de mazout est très importante, typiquement de 1'000 l de mazout/an. Cela vient du fait que la chaudière à mazout est dimensionnée pour chauffer les locaux et a un très mauvais rendement si elle n'est utilisée que pour faire l'eau chaude.

La préparation de l'eau chaude à plus grande échelle (hôpital, hôtel, piscine couverte ou à l'air libre, centre sportif, etc.) nécessite une installation qu'il faut dimensionner en fonction des besoins et des données météorologiques et solaires du lieu. De telles installations ont vu le jour dès les débuts de l'énergie solaire active et fonctionnent bien.

#### Stockage à long terme et chauffage des locaux

Dans une habitation de qualité moyenne correspondant à la grande majorité des immeubles du parc immobilier suisse, l'énergie nécessaire au chauffage des locaux est beaucoup plus grande que celle nécessaire à la préparation de l'eau chaude sanitaire. Pour ces habitations, le chauffage solaire actif ne pourra guère apporter qu'un appoint modeste au chauffage des locaux. Les apports solaires passifs pourront cependant rester importants.

Mais dès que l'on soigne l'isolation et les échanges d'air avec l'extérieur, le chauffage actif des locaux devient possible. Il s'agit alors d'emmagasiner de la chaleur solaire pour couvrir les besoins sur une durée de plusieurs semaines. Le cas extrême consiste à emmagasiner en été pour restituer pendant toute la saison froide. La Suède a été l'un des principaux pionniers de ce stockage à long terme.

La première maison entièrement chauffée (et alimentée en électricité) par l'énergie solaire a été réalisée à Oberburg bei Burgdorf/BE par J. Jenny en 1989. Il s'agit d'une maison familiale. Le stock de chaleur comprend 3 cuves contenant en tout 118 m<sup>3</sup> d'eau. La surface de collecteurs est de 84 m<sup>2</sup>. L'expérience a montré que ce système était largement surdimensionné, la maison étant bien isolée, avec une demande de chaleur maximale de seulement 2,8 kW. La tendance actuelle est de proposer des maisons dont les besoins de chaleur (chauffage et eau chaude) sont couverts à 70 % par le soleil, le complément étant apporté par un chauffage à bois. Pour atteindre ce but, un stock de 10-20 m<sup>3</sup> suffit et la surface de collecteurs peut être ramenée à 20 m<sup>2</sup>, voire moins. Il ne s'agit plus d'un stockage à long terme, mais plutôt hebdomadaire à mensuel.

Si l'on veut vraiment emmagasiner en été pour restituer en hiver (jusqu'à fin mars dans nos régions), il faut utiliser des volumes de plusieurs centaines de m<sup>3</sup>, voire davantage. Les possibilités envisagées aujourd'hui pour un tel stockage sont :

- Cuve à eau. Une installation de 2'300 m<sup>3</sup> avec 1'100 m<sup>2</sup> de capteurs a été réalisée à Neuchâtel en 1997 (Bâtiment de l'Office fédéral des statistiques) et fonctionne bien, malgré des pertes de transmission plus grandes que prévues. Des volumes de stockage plus grands ont été réalisés, notamment en Allemagne et en Suède.
- Stockage en aquifère. Des essais ont été entrepris en Suisse à Sierre (1'000 m<sup>3</sup>) et à Saillon (7'500 m<sup>3</sup>). Ils n'ont pas donné de résultats définitifs à ce jour (2002) et sont en attente. L'intérêt du stockage en aquifère ne paraît pas très grand en Suisse.
- Stockage en terre à relativement basse température couplé à une pompe à chaleur.
- Stockage en terre profond sans pompe à chaleur.

Le débat sur le stockage long terme reste ouvert. Il n'est pas évident qu'un tel stockage soit une bonne option. Il est probablement préférable d'utiliser au mieux les apports solaires passifs, de bien isoler l'enveloppe des bâtiments et de contrôler les échanges d'air avec l'extérieur. Les besoins résiduels de chaleur peuvent être fournis par un poêle à bois. Ce concept a été mis en oeuvre aux États-Unis par le Rocky Mountain Institute (RMI), dont le bâtiment se trouve à plus de 2'000 m d'altitude dans les Montagnes Rocheuses, avec des températures de -30° C en hiver et qu'il n'est nécessaire de chauffer activement que quelques jours par an.

Le stockage à long terme de l'énergie solaire se fait naturellement dans le bois. Comme indiqué au chapitre .., le potentiel énergétique du bois de chauffage en Suisse est de l'ordre de 25 PJ/an. Cela représente environ un stère de bois par ménage et par an. C'est en principe suffisant pour assurer le chauffage des locaux pour l'ensemble de la population (aujourd'hui 7 millions de personnes), à condition

que les maisons soient de dimensions raisonnables, bien isolées et conçues pour utiliser au mieux le rayonnement solaire qu'elles reçoivent.