



## Impressum

Date: 24 juillet 2009

Auteur: Jean-Christophe Hadorn, BASE Consultants SA, 8 rue du Nant, 1207 Genève  
[jchadorn@baseconsultants.com](mailto:jchadorn@baseconsultants.com)

Co-auteur: Andreas Eckmanns, OFEN, 3003 Berne

Groupe d'accompagnement:

- Louis Schlapbach, parrain CORE, Empa, Dübendorf
- Peter Dransfeld, architecte, Ermatingen
- Jürg Marti, Zürich
- Fritz Schuppisser, Soltop-Schuppisser AG, Elgg
- Urs Wolfer, BFE, responsable marché, Berne

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, CH-3003 Bern, Tel. 031 322 56 11, [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Bezugsort der Publikation:

[www.bfe.admin.ch/recherche/chaleursolaire](http://www.bfe.admin.ch/recherche/chaleursolaire)

[www.bfe.admin.ch/forschung/solarwaerme](http://www.bfe.admin.ch/forschung/solarwaerme)

Photos de couverture (dans le sens des aiguilles d'une montre) issues de projets 2007-2008 : capteurs en couleur réalisés au Leso-EPFL, schéma d'une installation dans Polysun 4.0, fabrication de couches minces par évaporation sous vide au Leso-EPFL, bouteille de matériau à changement de phase dans une cuve solaire au Lesbat d'Yverdon

## TABLE DES MATIERES

Résumé .....	4
Summary .....	5
Zusammenfassung .....	6
1. Introduction.....	7
2. Le domaine et sa délimitation.....	9
3. Chaleur solaire et stockage de chaleur – les bases.....	14
Etat de la technologie au niveau international.....	14
Etat de la technologie au niveau suisse .....	15
Marché mondial .....	16
Marché suisse.....	17
Potentiel en suisse.....	19
4. Acteurs nationaux.....	20
5. Collaboration internationale.....	21
6. Bilan 2004–2007 .....	23
Evolution des capteurs et cibles .....	23
7. Objectifs techniques et scientifiques .....	27
Les segments de marché .....	27
La quantification de la productivité des systèmes .....	27
Les axes de recherche et développement.....	28
Thème clé 1 : Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants .....	29
Thème clé 2 : Nouvelles couches pour les capteurs.....	30
Thème clé 3 : Systèmes et composants standardisés pour la chaleur et le froid .....	31
Thème clé 4 : Solutions d'intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants.....	32
Thème clé 5 : Le stockage long terme .....	33
Thème clé 6 : Les outils de calcul .....	34
Projets pilotes et démonstrations (P+D).....	35
8. Les pouvoirs publics .....	36
9. Industrie privée .....	37
10. Les pôles de compétence solaire et stockage .....	38
Références .....	39

## Résumé

Le présent document:

- présente l'état du marché solaire thermique en 2007
- fait le point sur les principales technologies du solaire thermique pour le bâtiment
- trace les axes du programme de recherche « chaleur solaire et stockage de chaleur » 2008-2011 de l'OFEN.

### Un marché très important

Près de la moitié de l'énergie consommée en Suisse est de la chaleur, que peut produire un capteur solaire thermique. Le marché de la chaleur solaire est donc très important potentiellement. En 2007, il y a environ 20 millions de m<sup>2</sup> de capteurs installés en Europe soit une puissance de 15 GW thermiques ! Et la Chine s'équipe au rythme de 10 à 50 millions de m<sup>2</sup> par an contre 1,7 à 2,5 seulement en Europe, et modestement 60'000 à 100'000 m<sup>2</sup> par an en Suisse. Ce n'est même pas moins de 1 % du potentiel technologique qui est couvert.

Il y a deux difficultés à surmonter : le prix qui est de 1,5 à 2 fois plus élevé que les concurrents fossiles et la nécessité d'avoir toujours une source auxiliaire en cas de mauvais temps.

### Les axes de recherche et développement

Le programme « chaleur solaire et stockage de chaleur » de l'OFEN concerne essentiellement le chauffage et le refroidissement des bâtiments. On s'intéresse donc en priorité aux applications de l'énergie solaire dans une gamme de températures allant de 0 à 150 °C. Les axes de recherche et développement pour le solaire thermique pour le bâtiment sont :

- 1. Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants** – Les éléments de captage (couverture, absorbeurs, isolation, connections), de transport et de stockage doivent être systématiquement testés et améliorés en qualité et longévité. Il convient également de réduire le rapport coût/efficacité. En outre, l'expérience nous a montré que de nouveaux matériaux, de nouvelles fonctions et des idées de nouveaux capteurs naissent de ces tests.
- 2. Nouvelles couches pour les capteurs**, basées sur des nanomatériaux à propriété spécifique permettant de donner la couleur, la sélectivité, et la thermochromie pour lutter contre la surchauffe estivale des installations solaires thermiques. Il s'agit de nouveautés au niveau mondial.
- 3. Systèmes et composants standardisés pour la chaleur et le froid** – Pour une large application des systèmes combinés (solaire + chauffage à mazout, gaz, bois ou pompe à chaleur), la standardisation est nécessaire. Elle réduit les risques de mauvaise installation et autorise une production de masse. La production de froid solaire par voie thermique doit être explorée.
- 4. Intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants** – Le besoin de solutions optimales ou nouvelles pour l'intégration du solaire dans les systèmes de chauffage ou de préparation d'eau chaude sanitaire, ainsi que de composants pour l'intégration aux bâtiments, ne cesse d'augmenter. Les optimums doivent être étudiés.
- 5. Le stockage long terme** reste le grand défi à relever pour atteindre 100 % solaire car le soleil est insuffisant en hiver mais largement abondant en été. Le travail doit porter sur des nouveaux matériaux permettant le stockage de chaleur pour l'habitat. Il s'agit principalement de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et une recherche sur de nouveaux matériaux en partenariat international.
- 6. Les outils de calcul** doivent être maintenus en qualité et à la pointe des technologies. Ceci concerne le rayonnement solaire, la météorologie, la simulation d'installations. Les données des tests de capteurs et de systèmes pratiqués au SPF doivent rester aisément accessibles par le biais d'Internet.

**Projets pilotes et démonstrations (P+D)** – Entre la recherche et le marché, les projets P+D sont des instruments importants de transfert de connaissance d'une part et de tests de nouvelles conceptions d'autre part. Les projets P+D devraient donc se répartir selon les 6 axes.

## Summary

This document:

- presents some aspects of the solar thermal market in 2007
- summarizes the main solar thermal technologies for buildings
- sketches the main topics of the research programme «Solar Heat and Heat Storage» of the 2008–2011 of the Swiss Federal Office of Energy.

### Solar thermal has a great potential

Nearly half of the total energy consumed in Switzerland is low grade heat that can be produced by solar thermal collectors. The market for solar heat is potentially very important. In 2007, there were approximately 20 million m<sup>2</sup> of collectors installed in Europe, which represents a power of 15 GW thermal! And China installs solar collectors at a rate of 10 to 50 million m<sup>2</sup> per year against only 1,7 to 2,5 million m<sup>2</sup> in Europe and a modest 60'000 to 100'000 m<sup>2</sup> per year in Switzerland. However this represents even less than 1 % of the technical potential that is used.

There are two challenges: the cost which is 1,5 to 2 times higher than competitive (fossile) fuels and the need for an additional auxiliary source to be installed.

### Research and development issues

The research programme «Solar Heat and Heat Storage» focuses mainly on heating and cooling of buildings. Therefore the main focus lies on solar energy use in the temperature range of 0 to 150 °C. The research and development issues for solar thermal technologies during 2008–2011 are:

- 1. Improved performance and durability of solar collectors and components** The parts of solar collectors (glass, absorbers, isolation, connections), the elements for heat transport and storage need to be systematically tested and upgraded in quality and lifetime. The ratio cost/efficiency has to be improved. Further, experience has shown that new materials, new functions and ideas of new collectors often arise from testing.
- 2. New layers for solar collectors** based on nanomaterials with specific properties such as color, selectivity, and thermocromic effect to avoid overheating in summer periods. These layers represent a world premiere.
- 3. Simplified and standardised systems for solar heating and cooling** – For combined systems (solar with auxiliary heat source from oil, gas, wood pellets or heat pump) standardization is needed to enable a wide spread use and mass production. Thermal solar cooling shall be investigated.
- 4. Integration into buildings and existing heating systems** – There is an increasing demand for solar systems and components to address integration into buildings and existing heating systems. Best possible solutions should be developed.
- 5. Long-term storage** is a major challenge to achieve 100 % solar heat coverage. Focus will be on new materials for storing heat for residential buildings use. New materials will be investigated in conjunction with IEA-SHC.
- 6. Calculation tools** – Actual data on tested systems and collectors need to be accessible on the web and calculation tools must be kept up to date. This concerns solar irradiation data, meteorological data and system simulation tools.

**Pilot and demonstration projects** are important instruments for knowledge transfer in between research and market and for first use of new technologies under real conditions. Therefore they should cover all of the six main research issues.

## Zusammenfassung

Dieses Dokument enthält:

- einen Überblick über den Stand des Solarthermiemarktes im Jahr 2007
- einen Überblick über die wichtigsten Technologien der Solarenergie für Gebäude
- die Schwerpunkte des Forschungsprogramms «Solarwärme und Wärmespeicherung» des BFE 2008–2011.

### Ein Markt mit riesigem Potenzial

Fast die Hälfte des Energieverbrauchs der Schweiz ist Wärme, wie sie durch thermische Solaranlagen bereitgestellt werden kann. Der Markt für Solarwärme ist daher potenziell sehr wichtig. Im Jahr 2007 sind in Europa rund 20 Millionen m<sup>2</sup> Kollektoren installiert, was einer thermischen Leistung von 15 GW entspricht! In China werden jährlich 10 bis 50 Millionen m<sup>2</sup> installiert, gegenüber nur 1,7 bis 2,5 Millionen m<sup>2</sup> in Europa und bescheidenen 60'000 bis 100'000 m<sup>2</sup> in der Schweiz. Dies entspricht einer Auschöpfung von weniger als 1 % des technischen Potenzials.

Heute bestehen zwei Markthemmnisse: Der Preis, der noch 1,5 bis 2-mal höher ist als die fossilen Konkurrenten und die Notwendigkeit einer zusätzlichen Wärmequelle zur Überbrückung von Schlechtwetterperioden.

### Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte

Das Forschungsprogramm «Solarwärme und Wärmespeicherung» des BFE betrifft hauptsächlich die Beheizung und Kühlung von Gebäuden. Der Hauptfokus liegt deshalb auf Anwendungen im Temperaturbereich von 0 bis 150 °C. Die Schwerpunkte 2008–2011 der Forschung und Entwicklung im Bereich Solarwärme sind:

- 1. Erhöhung der Leistungsfähigkeit und der Lebensdauer von Kollektoren und Komponenten**  
Die Bestandteile von Kollektoren (Abdeckung, Absorber, Isolation, Verbindungen), Elemente für den Wärmetransport und die Wärmespeicherung müssen systematisch geprüft und in ihrer Qualität und Langlebigkeit verbessert werden. Ausserdem zeigt die Erfahrung, dass beim Testen immer wieder neue Forschungsideen zu Materialien, Funktionen und Kollektoren resultieren.
- 2. Neue Beschichtungen für Kollektoren** mit auf Nanomaterialien basierenden spezifischen Eigenschaften wie Farbe, Selektivität und Thermochromatik gegen die sommerliche Überhitzung von thermischen Solaranlagen. Diese stellen einen Weltneuheit dar.
- 3. Vereinfachte und standardisierte Systeme und Komponenten** – Für eine breite Anwendung werden einfache, standardisierte Kombisysteme (Solar + Nachheizung mit Öl, Gas, Holz oder Wärmepumpe) benötigt. Damit wird die Gefahr falscher Installation eingedämmt und eine Massenproduktion ermöglicht. Die solare Erzeugung von Kälte soll ebenfalls untersucht werden.
- 4. Bauliche und systemtechnische Integration** – Der Bedarf an Systemlösungen für die Integration von Solaranlagen in bestehende Heizsysteme sowie Komponenten für die Gebäudeintegration nimmt stetig zu. Dafür sollen die besten Systeme und Technologien entwickelt werden.
- 5. Saisonale Speicherung** bleibt die große Herausforderung, um eine 100-prozentige solare Wärmeversorgung erreichen zu können. Die Arbeiten sollen sich auf neue Materialien für die Speicherung von Wärme in Wohnbauten konzentrieren. Hauptsächlich sollen hier der Natronlaugenspeicher weiter entwickelt sowie im internationalen Kontext neue Materialien erforscht werden.
- 6. Planungswerkzeuge** müssen dem neusten technologischen Stand entsprechen. Dies betrifft die Solarstrahlung, meteorologische Daten und die Simulation von Anlagen und Systemen. Zu diesem Zweck müssen die Testresultate des SPF laufend auf dem Internet zugänglich gemacht werden.

**Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D)** sind wichtige Instrumente des Wissenstransfers zwischen der Forschung und dem Markt und zur Erstanwendung neuer Technologien in realen Objekten. Thematisch erstrecken sich P+D-Projekte deshalb über alle 6 Forschungsschwerpunkte.

## 1. Introduction

La technologie solaire thermique est une technique mature dans ses applications domestiques, 30 ans de développement, notamment en Suisse et en Europe essentiellement, ont permis d'atteindre des systèmes efficaces et durables.

Malgré cette maturité, le solaire thermique ne représente encore qu'une très faible part de la production de chaleur domestique. C'est principalement l'eau chaude sanitaire que le solaire adresse, mais les systèmes dit combinés sont de plus en plus demandés grâce à la standardisation à laquelle nous sommes arrivés.

La principale raison de la faible pénétration du solaire thermique est le prix bas des combustibles fossiles, gaz et mazout, mais aussi de l'électricité, pour la préparation d'eau chaude sanitaire. Les augmentations récentes du prix du pétrole entre 1998 et 2007 ont permis à l'industrie solaire de voir ses ventes petit à petit augmenter, et doubler en 10 ans, mais la tendance était lente !

Le choc pétrolier de 2007/2008 consécutif à la spéculation et à l'approche du « peak oil » et la prise de conscience du changement climatique semblent avoir fait changer les mentalités et les politiques ! Le canton de Vaud a même (enfin) rendu obligatoire le solaire pour les constructions neuves. Depuis 2007, les installateurs solaires sont débordés, la demande en eau chaude solaire est forte et l'industrie allemande prend position dans toute l'Europe.

### La villa

Une installation pour l'eau chaude sanitaire comporte environ 1 m<sup>2</sup> de capteurs par personne et un stock de 75 à 100 l/ m<sup>2</sup> de capteurs, soit pour une villa moyenne suisse 6 m<sup>2</sup> et 500 l de stockage. Un tel système couvre 60 à 75 % des besoins annuels en eau chaude (17 kWh par m<sup>2</sup> de plancher et par an), ou pour une villa où le chauffage est d'environ 70 kWh/ m<sup>2</sup> an, une part de 10 % seulement des besoins globaux en chaleur.

Un système combiné de 12 m<sup>2</sup> et 1000 l permet de fournir sur le Plateau suisse environ 4'500 kWh annuellement, soit pour une villa Minergie de disons 200 m<sup>2</sup>, qui demande 42 kWh/ m<sup>2</sup> pour eau chaude et chauffage, une part de 50 % des besoins totaux.

### Grandes installations

Des installations de plus grande taille (100 à 200 m<sup>2</sup> de capteurs) pour les bâtiments locatifs, hôtels, hôpitaux, restaurants, camping sont encore plus rentables, mais sont encore bien rares en Suisse, a contrario de l'Autriche.

Les très grandes installations sur des réseaux de chauffage basse température, avec ou sans stockage saisonnier, sont quasi inexistantes en Suisse à part le bâtiment de l'OfS à Neuchâtel, alors que les pays du Nord de l'Europe ont quelques réalisations très visibles (Marstal au Danemark a 18'365 m<sup>2</sup> de capteurs installés voir figure 2 !).

### Chaleur industrielle

En matière de chaleur à moyenne température (100 à 250 °C), il n'y a quelques cas de démonstrations en Europe et à notre connaissance un qui date de près de 20 ans en Suisse (400 m<sup>2</sup> de tubes sous vide à Arisdorf). Plusieurs projets de « chaleur solaire industrielle » sont en cours en Europe pour le nettoyage de bouteilles ou de véhicules, qui sont recensés par la tâche IEA SHC Task 33 [8].

### Froid solaire

En ce qui concerne la climatisation solaire, nous manquons de technologie au point. Le marché potentiellement important est le sud de l'Europe, mais on peut penser que même la Suisse peut un jour passer à la climatisation solaire estivale, pour rentabiliser encore plus une installation combinée. Une

installation a été mise en service à Genève en 2007 par la banque Pictet. Au total 364 panneaux solaires à tubes sous vide recouvrent 600 m<sup>2</sup> de son siège, qui peuvent fonctionner en mode chauffage ou climatisation. Le mode chauffage permet de réduire l'utilisation d'énergies fossiles, avec une économie annuelle équivalent à 25 000 litres de mazout, et d'environ 80 tonnes de CO<sub>2</sub>. Cette installation permet également de climatiser environ 4000 m<sup>2</sup> de bureaux durant la période estivale.

### **Le stockage**

Reste le problème du stockage. Nous avons à disposition la chaleur solaire surtout en été (2/3) et peu en hiver. Des solutions de stockage en grand existe, la Suisse a ouvert une voie avec les aquifères et le sol dans les années 80, mais faute de grands projets n'a pas tenu ses espoirs. Il est primordial de développer des solutions compactes adaptées à un habitat individuel qui est la caractéristique sociologique de notre peuplement.

### **Le potentiel**

En 2005, il y avait environ 10'000 MW<sub>th</sub> de capacité installée (par convention on compte 700 W / m<sup>2</sup> de capteurs) et il est prévu que soit atteint le seuil de 200'000 MW en 2030. A cette période, le solaire devrait faire largement les 75 % de la demande d'une villa ou d'un immeuble à basse consommation, et 100 % si les technologies de stockage saisonnier sont développés comme nous le souhaitons.

Le développement du marché passe aussi par des réductions de coût liées au volume de ventes mais aussi aux innovations technologiques.

Faire du solaire une des sources prépondérantes dans l'approvisionnement de la Suisse en 2030 est très ambitieux. Mais c'est possible car la chaleur basse température représente près de 50 % des besoins actuels du pays, comme en Europe. Couplé à des mesures d'économie d'énergie et de conservation de la chaleur pour les bâtiments neufs ou rénovés, cet objectif est réaliste.

A l'avenir il est à prévoir que les pans sud des toitures et les façades bien orientées soient couvertes de capteurs solaires, thermiques ou photovoltaïques, ou plus précisément d'éléments de captage solaire les plus intégrés possibles architecturalement.

Le solaire thermique pourrait jouer un rôle prépondérant dans l'équation énergétique à la fin du siècle. Il en a le potentiel. Les barrières à un large déploiement seront de moins en moins technique, mais de plus en plus esthétiques et légales !

Mais il est aussi nécessaire de développer dans des projets de recherche des technologies permettant une meilleure acceptation « esthétique », par exemple par la couleur, et de diminuer les coûts de production. Ces technologies concernent des composants mais aussi des systèmes complets.

### **Le futur**

On peut penser que dans les plus grandes villes quelques réseaux de chauffage urbain soient développés avec du solaire, mais en Suisse le défi est difficile vu la température des quelques réseaux existants.

La chaleur solaire industrielle pourrait se développer dans notre pays mais sans doute ce sera bien après la chaleur solaire domestique, vu le climat et le genre de tissu industriel.

Le cas de la climatisation solaire peut lui s'appliquer fortement en Suisse si le marché évolue vers une demande de climatisation estivale. Ce qu'il a toutes chances de faire, on l'a vu pour les automobiles, et peut-être grâce aux interdictions ou aux freins pour une climatisation d'origine fossile ou électrique non renouvelable.

Les applications particulières telles le dessalement de l'eau de mer ou la cuisson solaire sont des applications peu utiles en Suisse mais elles peuvent être importantes à l'exportation qui plus est pour des pays qui nécessitent de recourir de plus en plus à l'énergie solaire.

Le solaire thermique a un potentiel très important, en Suisse, à portée de main. L'industrie locale peut jouer un rôle de premier plan, si nous soutenons le développement technologique et la recherche d'innovations.

## 2. Le domaine et sa délimitation

Le programme « Chaleur solaire et stockage de chaleur » de l'OFEN concerne essentiellement le chauffage et le refroidissement des bâtiments. On s'intéresse donc en priorité aux applications de l'énergie solaire dans une gamme de températures allant de 0 à 150 °C. Il s'agit donc de :

- Préparation d'eau chaude sanitaire
- Chauffage de locaux
- Froid solaire industriel
- Climatisation solaire de locaux
- Chaleur à distance
- Séchage de produits alimentaires ou agricoles
- Distillation solaire d'eau potable.

Le stockage de chaleur ne recouvre pas seulement le domaine du solaire. Stocker est nécessaire dans tout type de système thermique pour régulariser les processus de production, par exemple pour l'eau chaude sanitaire, la vapeur dans les hôpitaux, le froid alimentaire, les pompes à chaleur, les processus industriels, etc.

Le programme adresse ses segments de marché selon les besoins et les nouvelles idées à tester ou valider. Sont couverts par d'autres programmes de l'OFEN :

- la chaleur à haute température, provenant de systèmes à concentration (150 à 2000 °C)
- la chimie solaire
- le solaire photovoltaïque (PV).

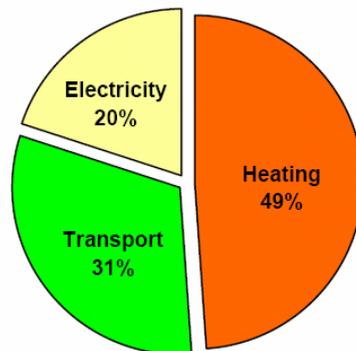
Le programme « Chaleur solaire et stockage de chaleur » est lié de manière très forte par les usages aux programmes :

- bâtiments et utilisation rationnelle de l'énergie
- pompe à chaleur et chaleur de l'environnement
- géothermie.

Un autre programme de l'OFEN traite du solaire à plus haute température. Le stockage de chaleur est, quant à lui, plus large dans son domaine d'investigation et peut concerner des applications à plus haute température.

### Les enjeux mondiaux

Il faut relever que la majeure partie de l'énergie est consommée en Europe dans des processus à moins de 250 °C, ce que le solaire thermique peut faire avec grande efficacité (de 40 à 60 % environ). En 2007, 49 % de la demande finale en énergie de l'Europe est de la chaleur, et 80 % de cette part est demandé à moins de 250 °C.



**Figure 1:** répartition de la consommation d'énergie en Europe en 2007 [1]

Pour utiliser pleinement le potentiel de la technologie solaire thermique, le passé récent nous a montré l'intérêt d'avoir une approche coordonnée entre recherche et marché.

L'énergie solaire thermique ne peut facilement être transportée sur de longues distances. Elle doit être utilisée au mieux sur le lieu de production et donc être intégrée à son « support ».

### **Les chances pour le futur énergétique de la Suisse**

En Suisse, la production indigène de chaleur pour l'habitat pourrait être avantageusement réalisée par la biomasse et le solaire thermique, pratiquement sans faire appel aux ressources fossiles exogènes et polluantes.

Bien que nous soyons à mi-latitude entre le Sud et le Nord, le solaire thermique est une chance pour notre pays, pour faire appel au solaire en été pour l'eau chaude et le rafraîchissement, et en mi-saison pour le chauffage résiduel du solaire passif et en hiver grâce au stockage. Ceci peut nous aider à diminuer fortement notre empreinte carbone (soit nos émissions de CO<sub>2</sub>), notre dépendance de l'extérieur et notre appel à des ressources qui vont devenir de plus en plus rares, de plus en plus chères, de plus en plus disputées !

La Suisse a une tradition en solaire thermique, avec des ingénieurs, des fabricants et des installateurs formés. Une part des capteurs produits en Suisse, grâce au soutien de l'OFEN au cours des 25 dernières années sont désormais exportés. C'est une grande opportunité pour notre pays de jouer à la pointe dans les développements technologiques afin de conserver notre indépendance et des emplois à long terme.

### **Un futur des bâtiments : le bâtiment solaire actif – dépasser 50 % solaire**

Le bâtiment fortement isolé verra sa période de chauffage actif réduite. Il faudra avoir stocker la chaleur pour en délivrer. Les excédents d'été non stockés ou d'hiver pour les plus chanceux pourront être vendus au voisin d'un réseau de quartier.

Les façades, les parois, les toitures, les volets, les fenêtres pourront être autant d'éléments de captage intelligent.

En été, l'eau chaude sanitaire sera 100 % solaire et les appoints pourront se taire. Le refroidissement solaire pourra être installé à faible surcoût pour ceux qui ont une installation combinée (eau chaude – chauffage).

Le stock pourra être dans les éléments d'architecture (1 jour), dans les circuits locaux (1 jour à 1 semaine), dans les locaux techniques (saisonnier si on densifie), ou relié au et dans le réseau de quartier lui-même, tel un « bus énergétique ».

La concurrence avec le solaire passif sera réduite grâce aux éléments de stockage qui déphaseront les apports actifs dans les périodes où les apports passifs sont évanescents.

Pour être vu comme important et être adopté par le plus grand nombre, le solaire thermique doit pouvoir satisfaire plus de 50 % des besoins (eau chaude et chauffage, puis climatisation), de telle sorte que l'appoint devienne vraiment auxiliaire et ne soit pas toujours vu comme le principal.

C'est un défi important à relever, et la technologie de stockage est sur le chemin critique.

## La rénovation en solaire actif

Plus difficile est le 100 % solaire dans des bâtiments à rénover surtout avec des mesures uniquement passives ou de conservation. Là où cette façon de rénovation des bâtiments arrive à son limite économique ou technique, le solaire actif peut jouer un rôle encore plus important pour maximiser la part renouvelable de la couverture des besoins.

Des toitures et façades solaires adaptées doivent être développées et la pratique de la rénovation avec solaire actif doit se généraliser.

Des éléments solaires préfabriqués de grande envergure peuvent être mis en œuvre en remplacement de toiture ancienne, permettant des économies d'échelle et de coûts de pose.

Des éléments hybrides (PV et thermique) à multi-fonctions (captage – stockage – étanchéité – couverture – isolation – déphasage – décoration – affichage – ...) peuvent aussi être imaginés. Le coût et la fiabilité seront cependant les critères. Un bâtiment est peu porté à notre avis à devenir un objet technologique sophistiqué au moins pour son enveloppe.

La combinaison d'éléments opaques et transparents est aussi une voie d'avenir, avec de nouveaux « murs Trombe actifs » plus adaptés à notre climat.

Le développement de nouveaux capteurs, plus légers, plus minces, plus intégrables, moins chers, plus déroulables, plus connectables, avec de nouvelles couleurs, de nouveaux rendus, et de nouveaux matériaux à propriété spécifique (anti-reflet, verre à forte transmission, auto-nettoyant, sélectivité, couleur spectrale ou angulaire, thermochromie ajustable, protection anti-corrosion, auto-diagnostic, etc.), et les composants et circuits y afférents est un axe fort pour le futur.

## Une vision solaire pour d'autres applications ?

### *Chauffage de quartiers – chauffage urbain*

Le solaire thermique peut couvrir une part de base de la demande des réseaux de quartier si ils sont dimensionnés pour la basse température (max 60 °C en plein hiver) contrairement à ce qu'on observe dans certaines grandes villes européennes ou suisses.



**Figure 2** : exemple de champ solaire lié à un réseau à basse température, Marstal au Danemark (photo ville de Marstal 2006, [www.solarmarstal.dk](http://www.solarmarstal.dk))

Des réseaux de quartiers nouveaux conçus pour le solaire, avec des retours en centrale à basse température, sont connectables aisément à un champ de capteurs solaires plans de haute performance.

En Suisse et dans un contexte d'énergie abondante, on peine à imaginer de tels champs vu l'individualisme d'une part et la protection des surfaces agricoles d'autre part. Mais nous avons des

ressources de surfaces non agricoles importantes comme le montre les recensements solaires périodiques.

On peut imaginer que la périphérie de nos villes voient à l'avenir fleurir de tels quartiers où se côtoieront des villas individuelles type Minergie avec une toiture solaire injectant sa chaleur excédentaire dans le réseau de quartier pour les immeubles résidentiels, administratifs ou commerciaux de proximité, alimentés eux par leur propre toiture et des champs de capteurs sur les parkings de mini-véhicules individuels ou sur d'autres surfaces urbanisées. En été le réseau, éventuellement doublé, peut fournir du froid pour le rafraîchissement si celui-ci n'est pas fait de manière décentralisée par des systèmes électro-solaires (photovoltaïques).

### ***Froid solaire***

La demande de froid estival grandit dans nombre de pays. La Suisse résiste par l'effet de lois contraignantes. Pourtant pour la production de froid, le solaire thermique peut jouer un rôle. En concurrence avec le solaire photovoltaïque pour cet usage, le thermique pourrait sur le long terme voir son rôle renforcé si nous développons des systèmes solaires combinés chaud-froid efficaces et abordables. Dans ces systèmes, la réduction de la demande en énergie auxiliaire est une priorité.

### ***Le dessalement solaire***

Le dessalement solaire et le traitement de l'eau peut être fait par le solaire thermique de manière très technologique mais fiable, dans les pays qui ont les ressources solaires et eau de mer. La Suisse pourrait aider par un apport technologique dans ce domaine, mais pour le moment nos moyens sont plutôt concentrés sur la résolution de problèmes domestiques.

### ***Chaleur solaire industrielle***

28 % de la demande finale en énergie provient en Europe du secteur industriel. Le solaire peut jouer un rôle dans les industries alimentaires, le textile, la chimie et le lavage. Le stockage de chaleur et/ou de froid pour ces applications est primordial pour donner de la souplesse à l'exploitant.

Le développement de capteurs à haute efficacité en concentration ou pas, de même que les cycles thermodynamiques à basse température est une clé de ce futur. Un autre programme de l'OFEN traite de ce type de capteurs.

### ***Météorologie solaire et prévision***

La connaissance de la météo solaire est très bonne pour les projets en Suisse. Mais le suivi de l'évolution du climat d'une part et la couverture de la planète d'autre part nécessite que nous nous préoccupions de toujours et mieux mesurer les paramètres climatiques solaires. Et ce en utilisant au mieux les satellites, les réseaux, le stockage et les transferts terrestres d'information.

Le recours à la prédiction généralisée (offre solaire et demande en chaleur) permettra de tirer parti au maximum de la ressource solaire d'un lieu et d'une installation, comme nous l'avons ébauché dans des projets antérieurs.

### ***Outils de projet et qualité des données sur les composants***

La meilleure façon de faire un bon projet c'est de pouvoir le calculer au plus juste avant de le construire. Les outils de calcul du solaire thermique doivent être développés en permanence pour pouvoir simuler les nouveautés. Ils doivent aussi être alimentés en données de base très fiables tels les paramètres de capteurs que nous mesurons de manière précise et comparative au SPF à Rapperswil en conditions réelles et simulées.

Ces outils doivent être fiables donc validés en comparant avec des mesures de systèmes au banc ou in situ.

La liaison des outils du solaire thermique avec le bâtiment doit permettre de mettre à disposition des professions du bâtiment des logiciels simples, intuitifs, mais précis, pouvant combiner les moyens à disposition d'un projeteur : formes, matériaux, isolations, choix constructifs, composants passifs et actifs, et systèmes solaires actifs avec leur appoint fossile.

### **Les chances pour l'industrie et les services dans l'énergie en Suisse**

Nous pouvons exporter des produits, des systèmes et des savoir-faire. Encore faut-il avoir un marché domestique suffisamment fort pour créer le besoin et la réponse, et une tradition d'innovation.

En solaire thermique nous avons la tradition mais le marché est encore un peu hésitant. Nos concurrents l'investissent rapidement avec des produits moins chers, mais en général moins performants.

Nous pouvons adopter un positionnement de niche pour les produits de haute technicité tels les systèmes complets, mais nous devons aussi penser marché de masse en soutenant les initiatives privées pour lancer des production de composants de qualité mais compétitifs (absorbeurs, traitement, capteurs, etc..).

Le logiciel Meteonorm, dont le développement a été entrepris par le programme OFEN il y a presque 20 ans, est la référence mondiale. Le marché a été restreint pendant des années, mais le solaire gagnant du terrain, nos services peuvent aussi envisager de meilleurs ventes. D'autres services dans le solaire thermique peuvent être développés pour le marché mondial (météorologie, comptage à distance, prévision, calcul, suivi, diagnostic, etc..).

### 3. Chaleur solaire et stockage de chaleur – les bases

#### ETAT DE LA TECHNOLOGIE AU NIVEAU INTERNATIONAL

##### Le potentiel d'innovation est sous-estimé

Le solaire thermique est souvent perçu comme une technologie low tech et ne reçoit pas un soutien de recherche notamment en Europe et aux USA à la hauteur de son potentiel et des enjeux.

Les pistes d'innovation sont pourtant très nombreuses et les moyens même en recherche fondamentale (nanocouches par exemple) sont bien faibles.

Les enjeux sont l'amélioration de l'efficacité des composants et des systèmes, la réduction des défauts, la substitution de matières premières chères ou épuisables (cuivre, aluminium, acier), la diminution des coûts initiaux et d'exploitation et la qualité de l'intégration architecturale qui nécessite de nouveaux matériaux, de nouvelles formes, de nouvelles couleurs, de nouvelles idées !

En 20 ans de recherches assez limitées, les progrès ont cependant été importants essentiellement en termes d'efficacité et de fiabilité. Les réductions de coût ont été minimales spécialement en Suisse car surtout une conséquence de volumes de production que notre pays n'avait pas, faute de marché domestique très porteur, comme par exemple en Autriche où le plus grand producteur de capteurs d'Europe a pu voir le jour (1 million de m<sup>2</sup> de production annuelle environ contre 40'000 m<sup>2</sup> pour le plus grand suisse).

Les systèmes combinés sont le résultat de la poussée de l'industrie pour améliorer la fiabilité des solutions proposés aux clients, avec le soutien de la recherche (nationale et IEA), en visant la standardisation pour éviter les erreurs de pose fréquemment observées dans les années 80.

L'intégration des capteurs en toiture avec des abergements adaptés a été aussi une avancée esthétique importante. Le contenu scientifique est faible mais le contenu industriel nécessite des essais et des pilotes que l'industrie peine à faire seule.

Il s'agit désormais de mettre le plus possible d'intelligence dans tous les composants d'une installation, et d'arriver à des composants dédiés au solaire (par exemple une pompe solaire fiable manque toujours !).

De plus le froid solaire nécessite un fort investissement de recherche pour arriver à des solutions individuelles fiables, compactes et abordables. Pour le moment, cet effort n'est pas fait en Europe de manière suffisamment forte pour raccourcir les temps de développement. La problématique commencée il y a 6 ans risque de prendre au rythme actuel encore 10 ans avant la maturité, à moins que des produits japonais ou chinois ne viennent avant comme on peut le pressentir.

Pour les bâtiments neufs, la technologie n'a pas encore réussi à atteindre de manière courante les 50 % solaire voire le 100 % solaire. En Suisse les maisons de Josef Jenni ont montré en 1991 et en 2008 que le 100 % pour une villa ou un immeuble locatif est possible avec les techniques disponibles si l'on conçoit le bâtiment autour du stockage. Ce n'est pas toujours possible ni souhaité.

La technologie permet des productivités annuelles de 300 à 600 kWh/ m<sup>2</sup> en Europe ce qui est remarquable (20 à 50 % d'efficacité annuelle). Mais les hautes productivités sont atteintes dans le cas de dimensionnement faible et donc de fraction solaire faible. Nous pensons que le stockage dense et au niveau individuel est une voie pour améliorer la fraction solaire tout en laissant de la liberté aux architectes.

Les capteurs solaires sont une technologie dans l'ensemble mure, mais on trouve encore sur le marché des capteurs aux qualités plus faibles (le label « solar keymark » a notablement réduit leur nombre). Il est souhaitable d'innover encore dans les matériaux et les possibilités d'intégration.

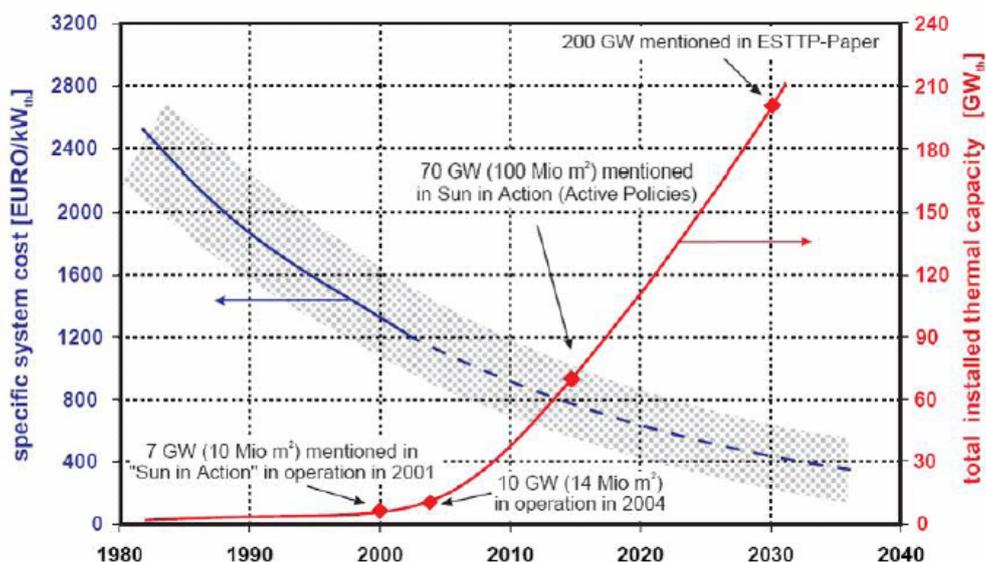
La surchauffe des capteurs est encore un problème important dans tous les pays, qui peut limiter la durabilité des installations. Des progrès en matière de système mieux conçus ou en matière de solutions passives seraient possibles avec des efforts de recherche.

Le stockage est une des clés du futur et un groupe européen a œuvré dans le projet Preheat ([www.preheat.org](http://www.preheat.org)) pour montrer aux décideurs de l'EU combien il était important d'inclure le sujet

dans les agendas de recherche pour toutes les énergies renouvelables thermiques d'ailleurs. Espérons que les « Framework Program » européens du futur intégreront la discipline.

### Des perspectives de réduction de coût

En Europe on a observé une courbe d'apprentissage en solaire thermique lié à la croissance du marché et aux avancées techniques, notamment pour les systèmes de préparation d'eau chaude sanitaire en kit (figure 3). Il s'agit de coûts favorables, en moyenne de différents pays européens. En Suisse les coûts du solaire thermique sont généralement supérieurs.



**Figure 3 :** Evolution des coûts spécifiques et de la capacité installée de petits systèmes en Europe [1]

Dans 20 ans, il est estimé que les coûts d'investissement du solaire thermique pourraient encore être divisés par 2 par rapport à 2008. Le kWh solaire sera alors moins cher que la chaleur fossile dans le Sud de l'Europe et compétitif dans le Nord. Ceci dépendra du marché et du développement technologique que la recherche soutient.

### ETAT DE LA TECHNOLOGIE AU NIVEAU SUISSE

La Suisse suit le train des grands pays du solaire thermique. Parfois elle le précède par exemple dans le contrôle optimal mais faute de marchés et d'industriels d'ampleur la technologie n'éclot pas en masse.

Plusieurs entreprises suisses fabriquent des absorbeurs solaires. En 2007, la production suisse a atteint 130'000 m<sup>2</sup> [2] dont 50 % sont exportés.

La seule toiture solaire au monde non vitrée mais sélective qui résiste aux intempéries est d'origine suisse depuis 20 ans et son développement et sa mise au point ont été soutenus à divers moments de son histoire par l'OFEN. La toiture est commercialisée en Suisse et en Espagne. Le succès vient petit à petit dans ce pays où les conditions d'ensoleillement sont plus favorables qu'en Suisse. Ce sont près de 10 millions de m<sup>2</sup> qui sont déjà vendus chaque année et gageons qu'à l'avenir les ventes vont fortement croître.

La Suisse installe principalement des petits systèmes (4 à 12 m<sup>2</sup>) pour des villas.

La solution compacte de préparation d'eau chaude sanitaire en kit solaire (6 m<sup>2</sup> 450 l) et les systèmes combinés (12 à 18 m<sup>2</sup>, 800 à 1000 l) sont les plus fréquemment posés.

Les matériels sur le marché suisse proviennent de Suisse, d'Allemagne et d'Autriche principalement.

Ils sont de bonne qualité dans l'ensemble, mais les solutions suisses sont de 10 à 20 % plus chères que les concurrentes. Le label « Solar keymark » et les tests de qualité du SPF sont recommandés lors d'un choix. Les systèmes combinés testés au banc du SPF sont aussi préférables à ceux sans données mesurées car il est très difficile de juger de la qualité d'un tel système uniquement sur la base du schéma de principe.

## MARCHE MONDIAL

Le marché mondial des capteurs solaires thermiques est dominé par la Chine avec ses technologies de collecteur à tubes évacués.

La Suisse avec 35 kW<sub>th</sub> pour 1000 habitants se classent 14<sup>ème</sup>, mais dans la statistique se cachent des surfaces de séchage de foin réalisées dans les années 80 et 90 de faible qualité productive.

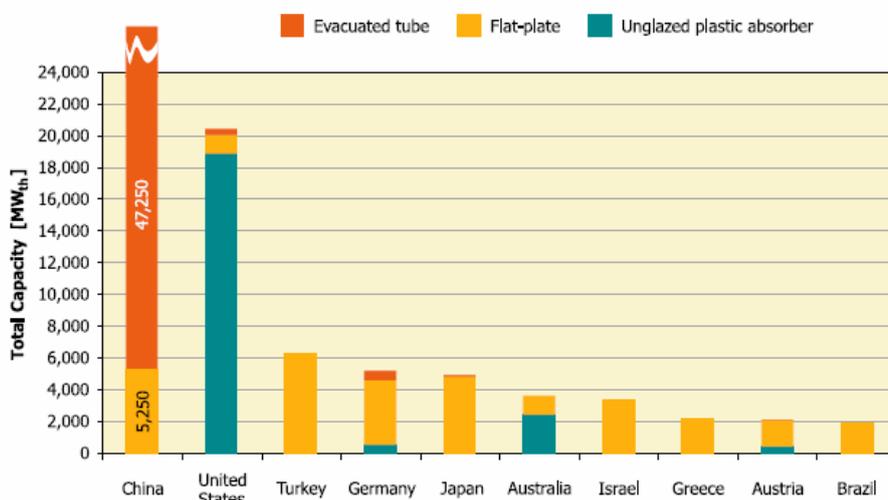
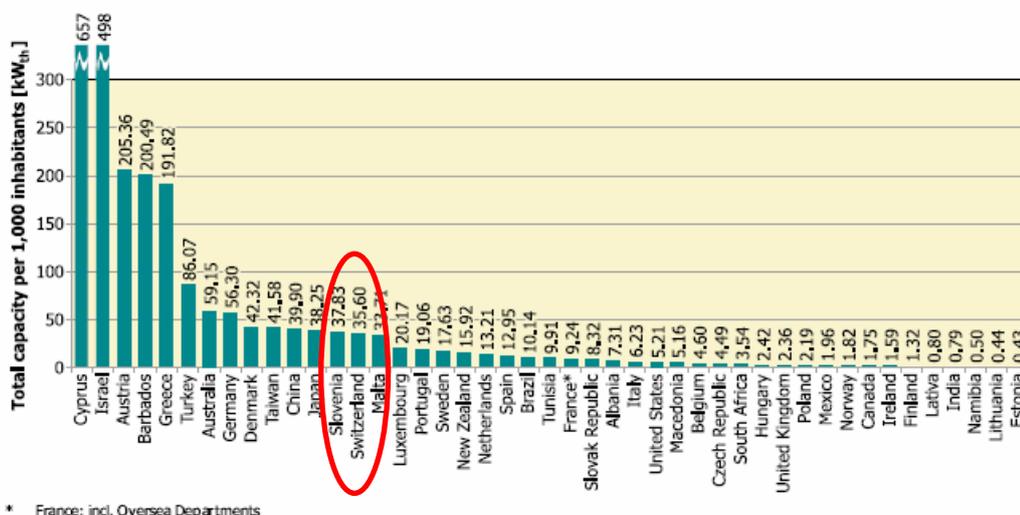


Figure 4a: Données du marché mondial (IEA, 2007) : puissance installée dans les 10 pays leaders en 2005



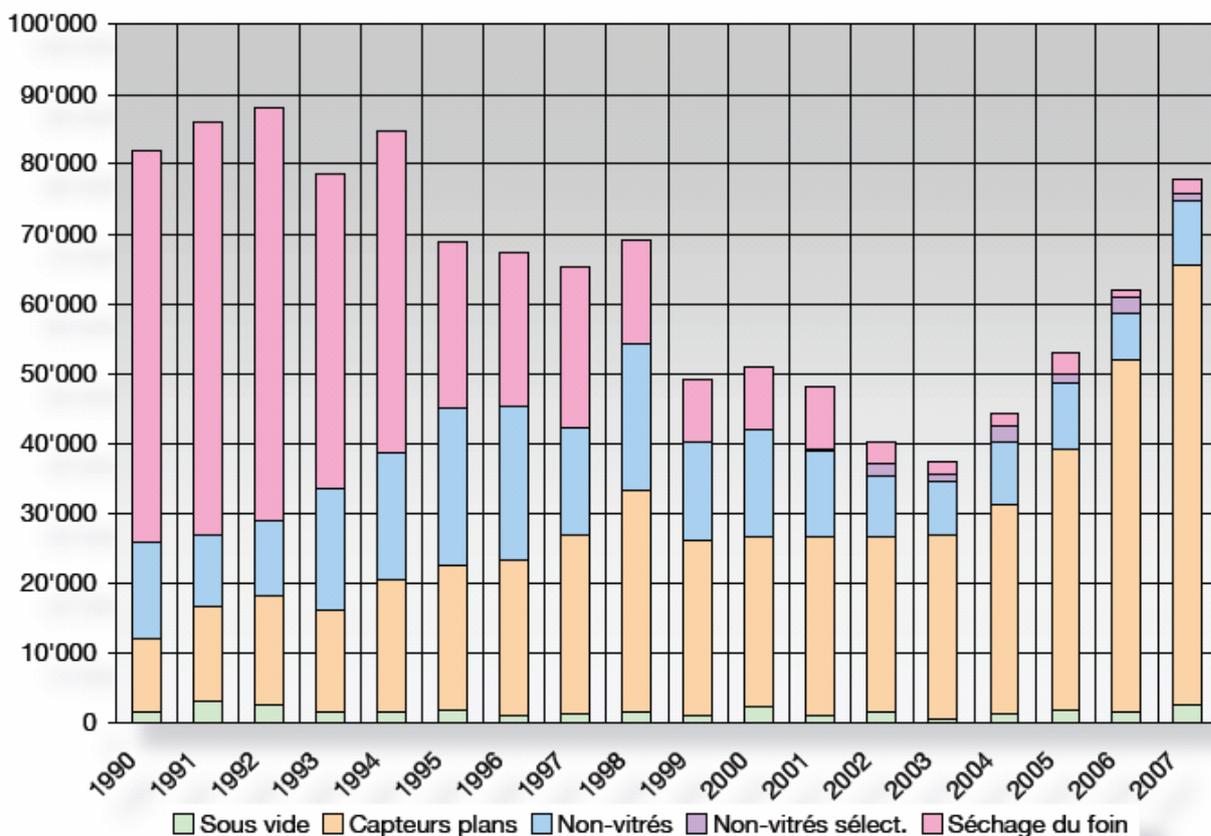
\* France: incl. Oversea Departments

Figure 4b: Données du marché mondial (IEA, 2007) : puissance installée en capteurs plans et à tubes sous vide par pays en kW pour 1000 habitants en 2005

## MARCHE SUISSE

En Europe, les marchés sont surtout en Allemagne (plus de 500'000 m<sup>2</sup> annuels) et en Autriche (plus de 200'000 m<sup>2</sup>). La France longtemps à la traîne installe plus de 120'000 m<sup>2</sup> par an désormais voire plus en 2008. La Suisse installe environ 60'000 m<sup>2</sup> par an. Ce qui est bien comparé aux grands voisins.

Après avoir installé beaucoup de capteurs pour le séchage de foin dans les années 90, il s'agit surtout désormais de capteurs plans vitrés comme le montre les figures suivantes. Le marché croît régulièrement depuis 2003, après avoir stagné entre 1998 et 2003 (figure 5). Il est à noter que les capteurs pour le séchage de foin sont rudimentaires et ne constituent plus une véritable industrie en 2008.



**Figure 5** : évolution du marché solaire thermique suisse de 1990 à 2007 en m<sup>2</sup> par an [2]

La pose de capteurs à tubes sous vide est faible en Suisse (2 à 3'000 m<sup>2</sup>) mais la pression des prix et un marketing plus agressif de la part des importateurs européens de produits qui sont essentiellement chinois pourraient faire changer la tendance à l'avenir. Depuis quelques années un fabricant suisse de tubes exporte sa production surtout en Allemagne et pourrait voir son marché grandir aussi en Suisse si les « habitudes » de pose changeaient en faveur de tubes plutôt que de capteurs plans.

La Suisse dispose aussi d'un marché de niche de toitures solaires non vitrés grâce à une société valaisanne, qui exporte la plus grande partie de sa production vers l'Espagne. Elle peut le faire et donc créer des emplois en Suisse grâce aux recherches et aux pilotes qui sont réalisés en Suisse depuis des années.

Au total, il y a environ 1 million de m<sup>2</sup> de capteurs installés en Suisse, dont 670'000 m<sup>2</sup> de capteurs plans et non vitrés, ce qui équivaut par convention internationale à 490 MW<sub>th</sub>.

Evolution des capteurs de types différents en Suisse de 1990 à 2007 en m<sup>2</sup> par an [2] :

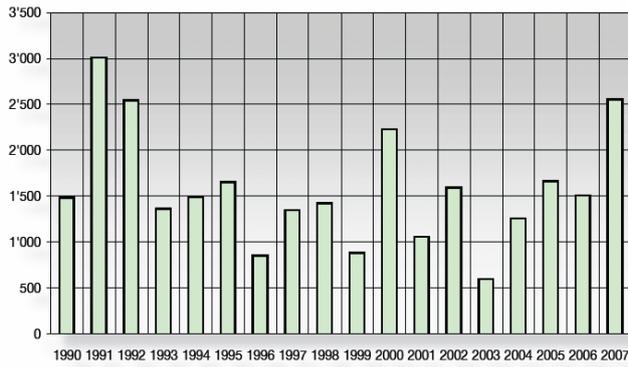


Figure 6a : capteurs à tubes sous vide

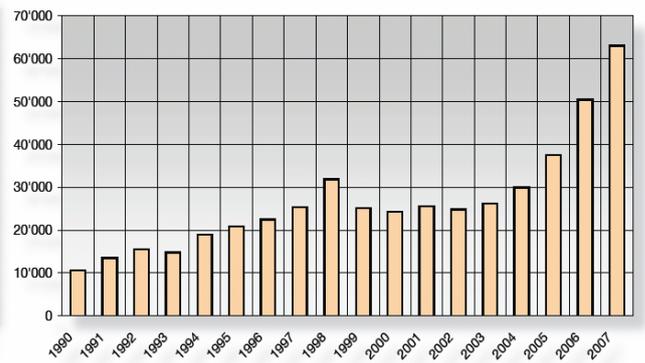


Figure 6b : capteurs plans

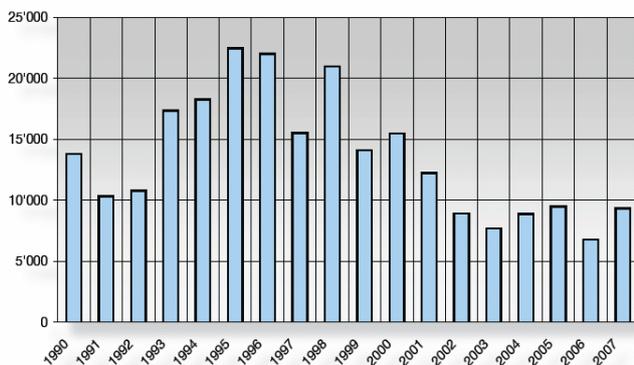


Figure 6c : capteurs non vitrés pour piscines

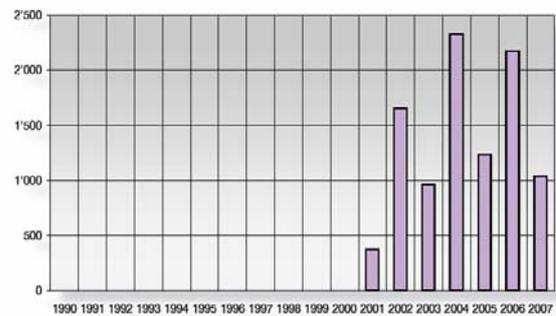


Figure 6d : capteurs non vitrés à couche sélective

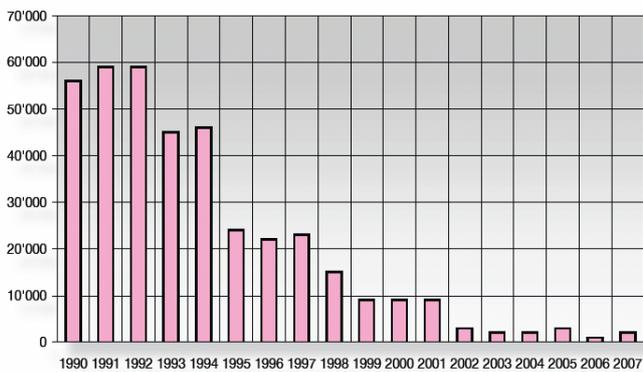
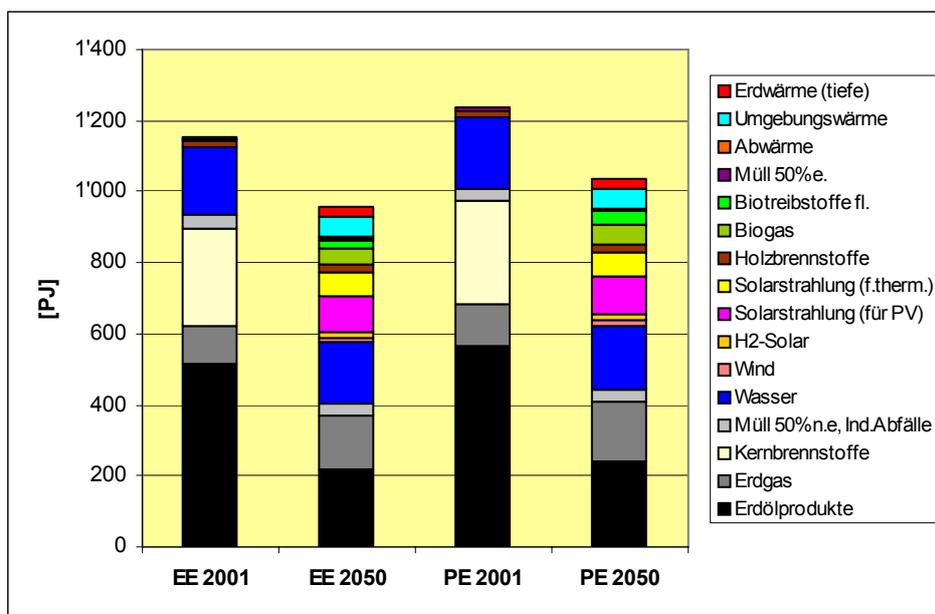


Figure 6e : capteurs à air pour le séchage de foin

## POTENTIEL EN SUISSE

Le potentiel du solaire thermique en Suisse est considérable. Et nous sommes bien loin de le moissonner.

En 2004, la CORE a établi sous la direction de Martin Zogg et avec tous les chefs de programme de recherche, une planification « raisonnée » du futur énergétique suisse. Sachant que la part du chauffage et de la préparation d'eau chaude dans la demande en énergie du pays représente environ 50 % du total des besoins, la part que le solaire pourrait faire en 2050 selon un scénario assez basique et peu volontariste est fournie dans la figure 7 tirée du rapport.



**Figure 7 :** Scénarios CORE pour 2050 selon les sources primaires en énergie utile et primaire (CORE et M. Zogg, CORE Energie vision Road map, 2004)

Dans cette vision du futur énergétique suisse, le solaire thermique fournirait en 2050 11 % de l'énergie finale dans les hypothèses suivantes :

- Efficacité annuelle des installations solaires thermiques avec stockage : 50 %
- Energie électrique auxiliaire : 5 % de l'énergie fournie par le solaire
- Remplacement de 15 % de toutes les chaudières à mazout et à gaz pour le chauffage
- Remplacement de 60 % des boilers électriques pour l'eau sanitaire
- Remplacement de 60 % de toutes les chaudières à mazout et à gaz pour l'eau sanitaire

Ce scénario nécessite environ 1 m<sup>2</sup> de capteurs par personne, soit 7 millions de m<sup>2</sup>, et pour l'accomplir en 2050 soit dans 40 ans, il convient d'atteindre un développement du marché soit 12 % par an à partir de 2007.

La technologie peut aider nous le pensons, le coût de la concurrence aussi, mais il faudra des efforts législatifs et aussi d'acceptation dans les communes très importants pour réaliser ceci. L'article 18a de la loi sur l'aménagement du territoire voté de justesse par le parlement le 1<sup>er</sup> janvier 2008 peut grandement y contribuer, si il entre dans les faits.

En résumé, le potentiel est énorme, et il convient d'avoir des capteurs et des installations durables et efficaces. Il y a encore d'importants points d'amélioration possibles auxquels la Suisse peut apporter une contribution significative, de concert avec les grands pays du solaire, l'Allemagne et l'Autriche, demain la Chine et l'Espagne, pour éviter de réinventer la roue et pour produire de la valeur de différenciation pour notre industrie.

## 4. Acteurs nationaux

En Suisse, les acteurs du solaire thermique sont à notre avis :

### 1. Confédération

L'Office fédéral de l'énergie joue un rôle moteur dans le développement de l'énergie solaire thermique depuis 1978, par les projets de recherche, les projets P+D et le programme de soutien notamment aux associations, tel Swissolar, ou Solar Agentur.

### 2. Cantons

Certains cantons ont par le biais des subventions un rôle – mineur – d'incitation au solaire. Certains cantons ont par la législation un rôle – majeur – dans le développement du solaire thermique par le biais de simplification dans les permis de construire ou même d'obligation du solaire (Berne, Bâle, Vaud).

### 3. Communes et Services industriels

Les communes sont des acteurs peu actifs dans leur immense majorité. Même si il y a quelques grandes communes actives, les milliers de petites communes ne le sont pas et sont souvent des freins par leur timidité à accorder des permis de construire.

Certains services industriels sont plus impliqués dans le solaire thermique que les autres (Zürich, Lausanne, Genève), mais ceci reste assez marginal dans le pays en fin de compte.

### 4. Hautes écoles

Les EPF sont peu impliqués dans le solaire thermique. A Lausanne, nous avons renforcé le rôle du Leso dans le solaire thermique en y favorisant un laboratoire de couches minces.

Les Ecoles d'ingénieurs de Rapperswil et d'Yverdon travaillent sur le solaire thermique depuis 25 et 15 ans.

### 5. Bureaux d'étude

En Suisse, une dizaine de bureaux d'études sont expérimentés en solaire thermique, mais avec peu de grandes installations (plus de 100 m<sup>2</sup>) à leur actif.

### 6. Industrie

C'est la force la plus puissante de notre pays dans le solaire thermique grâce à l'œuvre de pionniers qui a été faite par MM. Ruesch, Schupisser, Schweizer, Jobin, Jenni, Rossy et d'autres. Leur difficulté est de rester compétitif vis-à-vis des industriels allemands principalement.

Depuis 30 ans nous avons une industrie d'artisans du solaire qui sont devenus à force de volonté et d'opiniâtreté des industriels du solaire.

Nous avons des représentants de l'industrie dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche de l'OFEN que nous présentons dans ce document.

### 7. Associations professionnelles

Swissolar est un acteur proche des industriels notamment dans la normalisation. C'est un partenaire important surtout pour des projets P+D, la recherche étant plus confidentielle pour ne pas être toujours partagée.

Solar Agentur s'occupe du prix solaire suisse et européen et le fait bien depuis 1991 !

La Société Suisse pour l'Energie Solaire SSES est une association forte de très nombreux membres qui s'intéresse plutôt aux comportements et au marché qu'à l'innovation et la recherche.

## 5. Collaboration internationale

Les travaux internationaux sont de 3 ordres:

- Tests de matériel provenant de pays étrangers. Le SPF réalise ces tests et procure un service de conseil à des industriels étrangers désireux soit d'importer en Suisse soit une consultation du réputé SPF. Le retour d'information pour le SPF est important car il a accès à des innovations ou de nouvelles idées de recherche.
- Participation d'équipes suisses à des projets EU. La recherche européenne est cependant pauvre en appel d'offres pour le solaire thermique ou le stockage de chaleur. Des instituts allemands, hollandais, français et autrichiens essaient de faire du lobby auprès de Bruxelles.
- Participation d'équipes suisses à des projets IEA (bâtiment et Solar Heating and Cooling programme IEA SHC). La Suisse est un partenaire assez demandée dans ce contexte car fiable et moteur de projets. Nous avons participé à pratiquement toutes les tâches IEA SHC au nombre de 42.

Les 3 niveaux de collaboration (industrie, Union européenne, IEA) sont importants et ont conduit à la création d'un vaste réseau de compétences et de connaissances.

Institut	Nom	Lieu	Pays
ABC	Austrian Bioenergy Centre	Wien / Wieselburg / Graz	Austria
Ademe	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise	Valbonne	France
AEE	AEE-Intec	Gleisdorf	Austria
Arsenal	Arsenal Research	Wien	Austria
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique	Le Bourget du Lac	France
DTU	Danish Technical University	Kopenhagen	Denmark
EMPA	Eidgenössische Material Prüfanstalt	Dübendorf	Switzerland
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	Lausanne	Switzerland
EURAC	EURAC research	Bozen	Italy
FhG-ISE	Fraunhofergesellschaft, Institut für Solare En	Freiburg	Germany
INES	Institut National de l'Energie Solaire	Le Bourget du Lac	France
INES E	Institut National de l'Energie Solaire - Education	Le Bourget du Lac	France
ISFH	Institut für Solarenergieforschung Hameln	Hameln	Germany
ITW	Universität Stuttgart, Inst. F. Thermodynamik	Stuttgart	Germany
Johanneum	Johanneum Research	Graz	Austria
NIC	National Institute of Chemistry	Ljubljana	Slovenia
NREL	Natioanl Renewable Energy Laboratory	Denver	USA
PCCL	Polymer Competence Center Leoben	Leoben	Austria
SERC	Solar Energy Research Center	Borlänge	Sweden
SP	Swedish Nat. Testing and Research Institute	Boras	Sweden
SWT	Solar- und Wärmetechnik Stuttgart	Stuttgart	Germany
TU Graz	Technische Universität Graz	Graz	Austria
Uni Eindhoven	Eindhoven University of Technology	Eindhoven	Netherlands
Uni Kassel	Universität Kassel	Kassel	Germany
Uni Oslo	Universität Osle, Dept. Of Physics	Oslo	Norway
Uni Rom	Sapienza University of Rome	Rom	Italy
ZAE Bayern	ZAE Bayern	München (Garching)	Germany
ZAE Erlangen	ZAE Erlangen	Erlangen	Germany

**Figure 8 :** Liste des institutions internationales en relation avec les instituts de recherche suisses de collaboration en cours dans le cadre du programme de recherche « chaleur solaire et stockage de chaleur » de l'OFEN en 2008

Il est à noter que les collaborations bilatérales, souvent demandées lors de la visite d'un politique dans notre pays, sont fort rares d'autant plus qu'elles sont souhaitées mais sans financement particulier. Elles s'inscrivent donc le plus souvent dans des projets EU ou IEA.

Notre recherche en solaire thermique se situe dans le peloton de tête dans le monde en ce qui concerne les composants, les systèmes et les applications domestiques. Nous sommes plus en retrait faute de marché dans les domaines de la chaleur des processus (concentration) et le refroidissement solaire. Nous essayons de combler notre retard dans ce domaine dans la période sous revue, ceci sera possible pour autant que l'industrie locale manifeste son intérêt.

Notre programme collabore de manière directe avec les programmes concernés de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) notamment dans le programme « Solar Heating and Cooling » et de manière indirecte au niveau européen avec l'ESTTP (European Solar Thermal Technology Platform), qui regroupe les industries solaires et les centres de recherche européens. Les thèmes de recherche recommandés par l'ESTTP sont à titre d'information et de comparaison les suivants [1] :

- Développement de systèmes de stockage thermique à long terme compacts et performants. La technologie de stockage doit permettre d'emmagasiner la chaleur collectée pendant l'été pour la réutiliser en hiver selon un rapport coût/efficacité satisfaisant.
- Mise au point de nouveaux matériaux pour les systèmes solaires. Ces nouveaux matériaux s'avèrent indispensables car les performances techniques des matériaux existants sont limitées. De plus, les matériaux existants pourraient être remplacés par des options meilleur marché.
- Recherche fondamentale pour une amélioration au niveau du rafraîchissement solaire, des capteurs solaires à haute température et du dessalement solaire.

Notre programme couvre pratiquement toutes les recommandations de l'ESTTP, sauf le dessalement solaire (pas d'industrie intéressée en Suisse) et les capteurs à concentration dont un autre programme de recherche suisse s'occupe.

## 6. Bilan 2004–2007

Avant de détailler nos objectifs pour 2008–2011, il nous paraît important de faire le bilan de la période 2004–2007, en comparant les objectifs de cette période, tels que nous les avons énoncés devant la CORE en 2004 et ce qui a été réalisé.

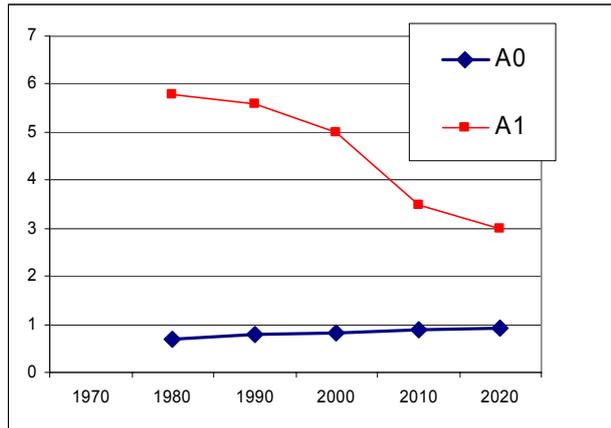
Objectif	Bilan
1. Capteurs solaires à basse et moyenne température (150°C) et matériaux : <i>amélioration A0 = 0,9, A1 = 3,5</i>	A été observé
2. Verres solaires de couleur : <i>prototype divers coloris et g &gt; 95 %</i>	A été réalisé
3. Systèmes pour le bâtiment (chauffage et eau chaude sanitaire) : <i>amélioration productivité 650/320 kWh/m<sup>2</sup></i>	La valeur est difficile à appréhender mais ceci semble probable
4. Stockage de chaleur (court terme et saisonnier) : <i>augmentation de la densité kWh/m<sup>3</sup> : +50 % vs eau</i>	Nous n'avons pas encore réussi. Mais les connaissances scientifiques ont été nettement améliorées.
5. Mise au point du déphaseur thermique diffusif : <i>prototype fonctionnel et lien avec industriel</i>	Le prototype a été réalisé. La commercialisation est difficile faute de repreneur.
6. Outils de projets (logiciels) : <i>sortie de Polysun 4 et vente de 300 licences</i>	Ceci a été réalisé.
7. Outils de communication (CD, Web) : <i>1000 CD 2006 achetés, +10 %/an fréquentation sites solar/solarenergy</i>	Ceci a été accompli.

**Figure 9** : bilan du programme 2004–2007 selon les objectifs annoncés en 2003.

La figure 9 montre que les objectifs 1, 2, 5, 6 et 7 ont été atteints. L'objectif 3 est le plus difficile à mesurer mais nous estimons qu'il est probablement réalisé. L'objectif 4 n'a pas été atteint : le stockage dense est encore difficile à réaliser, mais nous avons énormément appris durant la période grâce à la tâche IEA 32 que nous avons initiée et dirigée.

### EVOLUTION DES CAPTEURS ET CIBLES

Pour mesurer cette qualité, nous utilisons les coefficients A0 (optique) et A1 (pertes thermiques) des capteurs plans, et nous évaluons leurs évolutions depuis le début des mesures au SPF, soit 1980.

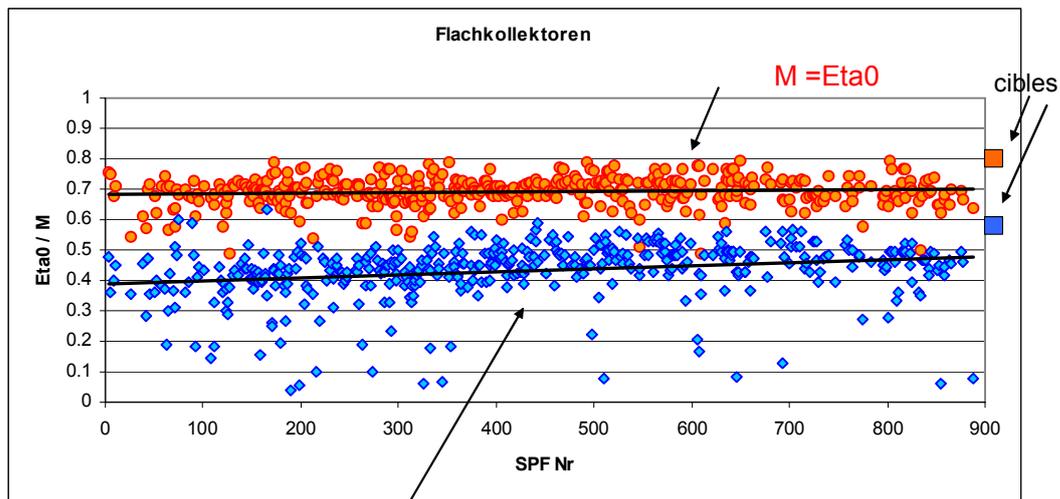


**Figure 10** : évolution des caractéristiques A0 (-) et A1 (W/m<sup>2</sup>K) des capteurs plans mesurés au SPF jusqu'en 2006 et projection attendue jusqu'en 2020 suite à l'amélioration optique et thermique des capteurs.

Dans figure 10 on note une diminution du coefficient de pertes A1 qui devrait même aller en s'accroissant dans la période en cours (il s'agit d'un pronostic !).

Le coefficient optique A0 ou Eta(0) s'améliore petit à petit et pourrait atteindre une asymptote de 0,97 environ dans les années à venir.

De manière plus détaillée, nous avons analysé avec le SPF les données historiques des capteurs testés pour en tirer les figures 11 et 12. Pour ce faire nous définissons comme critère de qualité le rapport  $M = \text{Eta}(0,1) / \text{Eta}(0)$ . Eta est l'efficacité du capteur selon la variable  $\Delta T / G$ . Plus la valeur est élevée, meilleur est le capteur. On constate une évolution positive pour les capteurs plans durant les années. Nous pouvons de plus fixer des cibles à atteindre (voir figure). Cette amélioration ne sera pas uniquement bien sûr du fait du programme. Elle dépend avant tout de l'implication de l'industrie solaire et du marché.



$$M = \text{Eta}(0.1) / \text{Eta}0$$

$$= \text{Eta}(T = T_{amb} + 80C, 800 \text{ W/m}^2) / A0$$

Source: SPF 2007

Si M croît, Eta(0.1) croît, donc A1 (coeff. De pertes) décroît

**Figure 11** : Valeurs Eta et A0 des capteurs plans mesurés depuis 1980 (source : SPF interne)

On remarque que  $\text{Eta}_0$  qui est égal à  $A_0$  a cru mais faiblement: En effet Il y a des limites physiques à l'absorption, la sélectivité, l'échange. Le prix croissant du cuivre impose également de réduire le matériau plutôt que de dimensionner largement les absorbeurs.

Il y a aussi eu plus d'attention à l'augmentation de qualité qu'à celle de la performance avec l'introduction du label « Solar Keymark » en Europe.

Quant aux pertes thermiques, elles ont diminué mais pas fortement. Ceci s'explique par une plus grande attention portée à la qualité, et à la réduction de coût avant les gains de performance. Il a été observé également que les problèmes de surchauffe estivale ont imposé de réduire la nécessité de trop hautes performances.

Nous pensons qu'il est possible que les capteurs plans atteignent la cible suivante à moyen terme:

$$A_0 = \text{Eta}_0 = 0.8$$

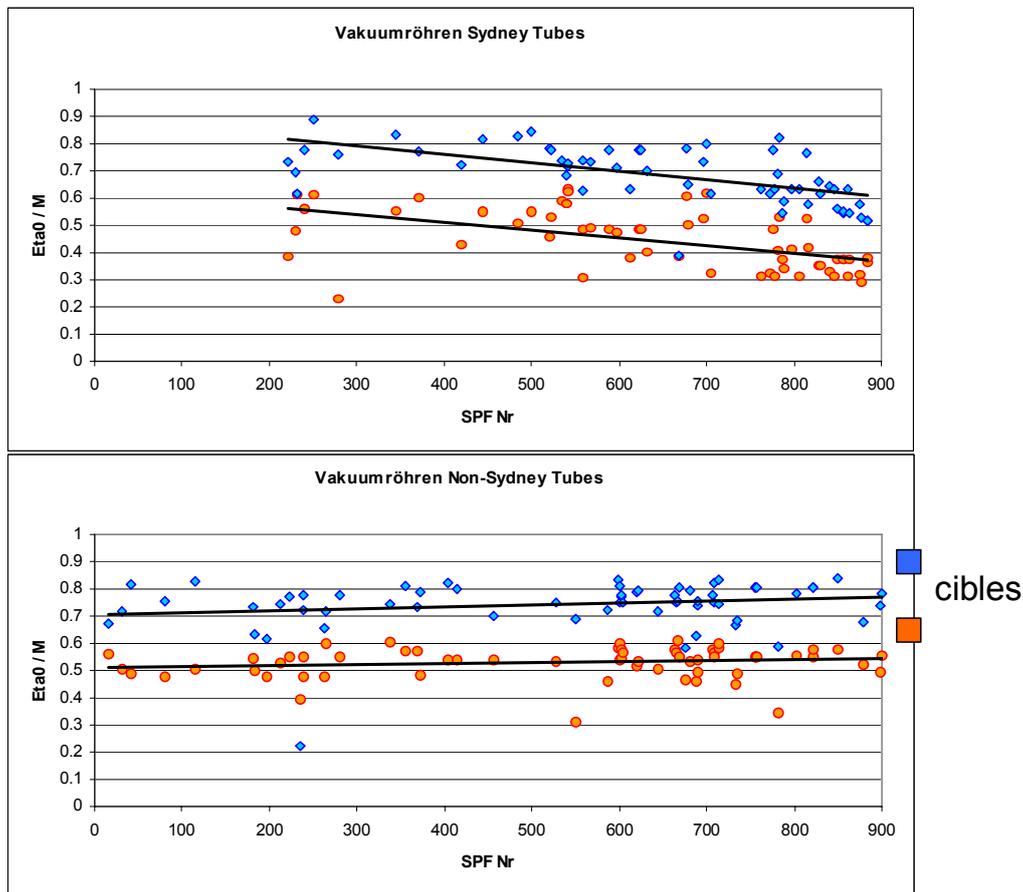
$$\text{Et M} = \text{Eta}_1 / \text{Eta}_0 = 0.6$$

Soit  $\text{Eta}_1 = 0.48$  à  $T_m^* = 0.1$  d'où

$$A_1 = (A_0 - \text{Eta}_1) / T_m = 3.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Nous suivrons ce paramètre à la fin de la période 2008–2011 comme indicateur quantitatif de l'évolution de la qualité des capteurs solaires plans.

Une analyse semblable est fournie par la figure 12 pour les capteurs à tubes évacués.



**Figure 12** : évolution des caractéristiques des capteurs à tubes évacués mesurés au SPF depuis 1980

On constate pour les Tubes Sydney, soit des doubles tubes en verre imbriqués (dans la figure sont également compris les CPC) qu'il y a eu une diminution de la qualité ! L'explication est sans doute

qu'il y a de plus en plus de tubes en provenance de Chine depuis le test SPF No 700. Ces tubes sont moins bons que n'étaient les tubes irlandais.

En outre, les capteurs à  $\eta_{a0} > 0.6$  sont souvent fabriqués en Europe, mais avec des tubes provenant de Chine.

Pour les tubes non Sydney, on observe une amélioration de  $A_0$  et  $A_1$  ! Les températures élevées ne sont pas un problème pour ce genre de capteurs.

Nous pensons raisonnable de fixer la cible à atteindre pour les capteurs tubes sous vide à :

$$A_0 = \eta_{a0} = 0,65$$

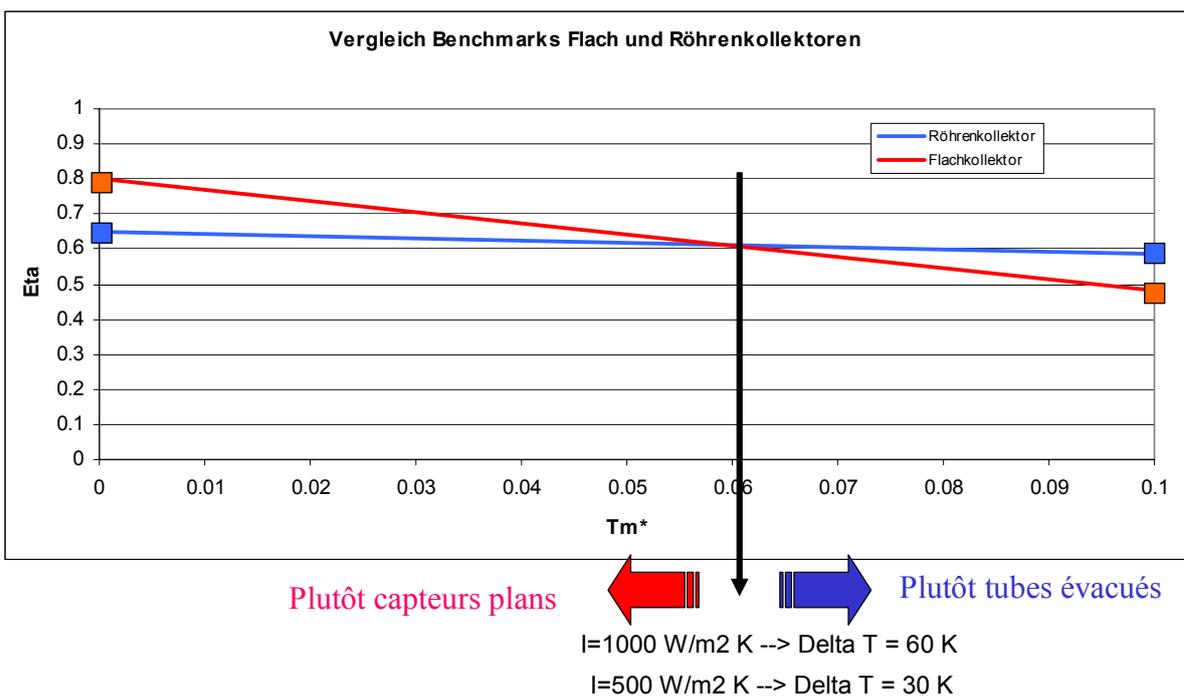
et

$$M = \eta_{a1} / \eta_{a0} = 0,9$$

Soit  $\eta_{a1} = 0,585$  à  $T_m^* = 0,1$  d'où

$$A_1 = (A_0 - \eta_{a1}) / T_m^* = 0,65 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

En prenant les cibles énoncées comme référence, la figure 13 montre que le choix entre capteurs plans et tube sous vide se situe à la valeur de  $T_m^*$  de 0,06, ce qui signifie pour un ensoleillement de  $1000 \text{ W/m}^2$  un  $\Delta T$  de 60 K, et de 30 K pour un ensoleillement de  $500 \text{ W/m}^2$ .

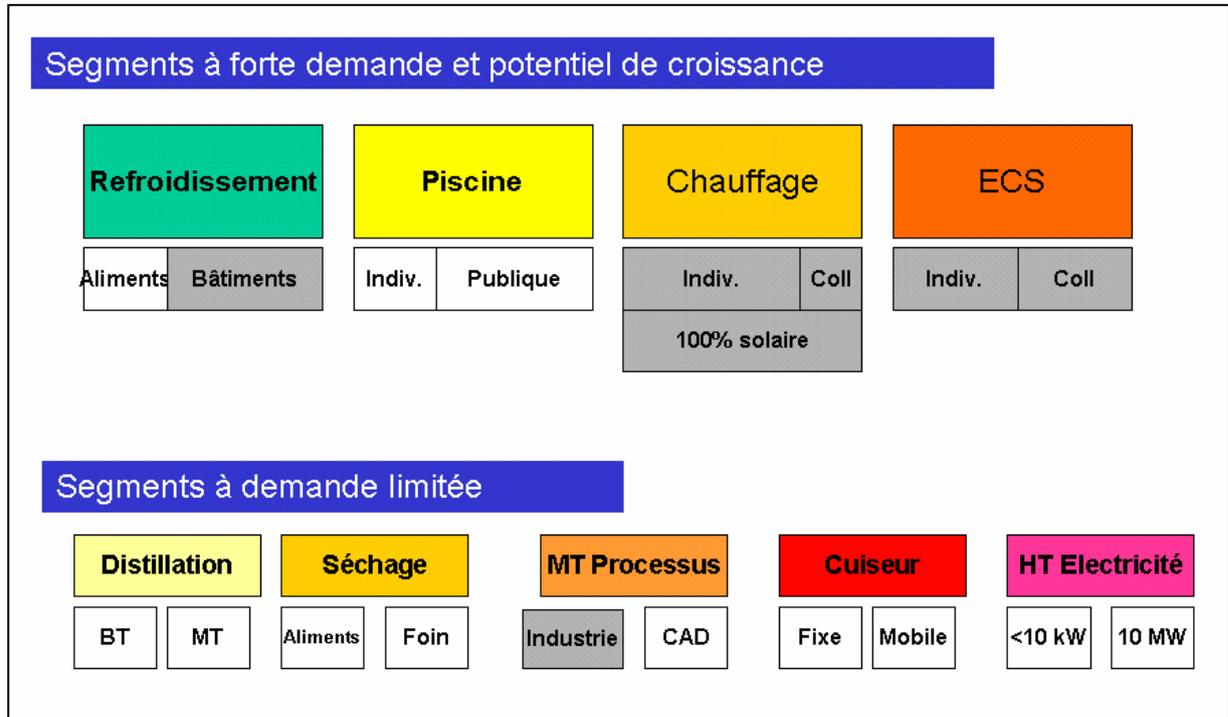


**Figure 13** : comment choisir entre capteurs plans et tubes sous vide ?

## 7. Objectifs techniques et scientifiques

### Les segments de marché

Parmi les usages du solaire thermique, nous privilégions pour la période 2008–2011 les segments de marché indiqués dans la figure 14.



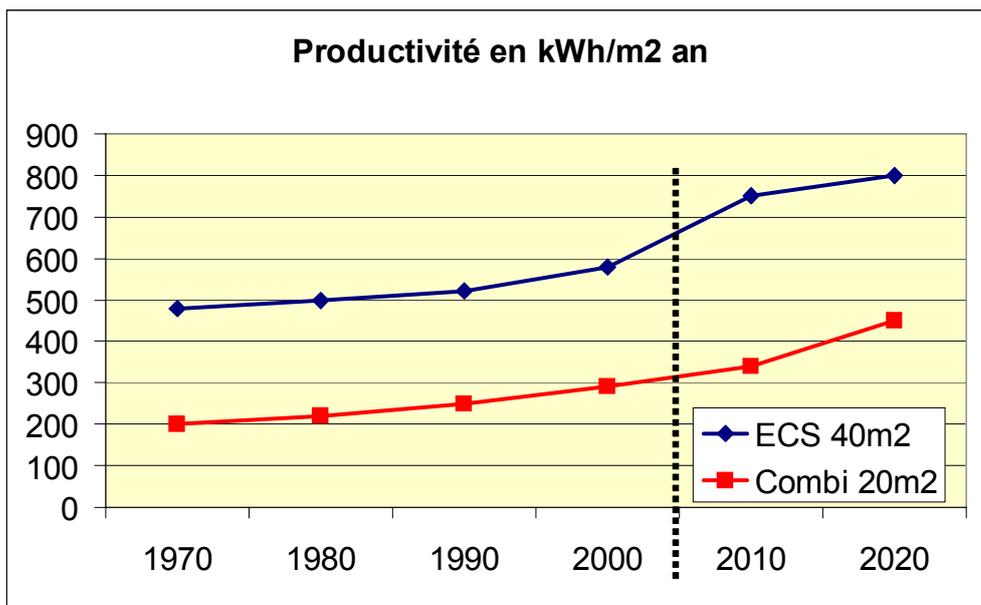
**Figure 14** : segments de marché du solaire thermique et indication de ceux que le programme adresse durant 2008–2011 (cases grisées).

Le programme est orienté vers les segments de marché les plus grands en volume : eau chaude sanitaire, chauffage et refroidissement solaire. Dans les 3 segments, la qualité des capteurs est importante et nous devons y attacher une grande importance pour garder le solaire thermique fiable.

Les systèmes sont ensuite un axe majeur de préoccupation : un composant n'est rien si il n'est pas mis en œuvre dans un système qui en tire le meilleur parti.

### La quantification de la productivité des systèmes

Afin d'essayer de quantifier les progrès dans les systèmes combinés, nous tenterons de suivre la productivité spécifique d'installations de référence selon le principe de la figure 15.



**Figure 15** : évolution souhaitée de la productivité des installations solaires, à l'exemple d'une installation de préparation d'eau chaude sanitaire pour un locatif (40 m<sup>2</sup> de capteurs) et pour un système combiné de villa (20 m<sup>2</sup> de capteurs 1000 l de stock) (bases : calcul effectué avec Polysun 3.0)

Le stockage comme on l'a vu est une nécessité pour le solaire thermique et des progrès doivent être faits.

Enfin les outils de calcul sont un atout pour ne pas freiner le développement de projets par crainte de ne pas savoir les calculer.

Entre la recherche et le marché, les projets P+D sont aussi des instruments importants de transfert de connaissance d'une part et de tests de nouvelles conceptions d'autre part. Les moyens financiers devraient être à l'avenir (ré-)investis dans ces projets. Ce sont notamment dans le solaire thermique, aux fins de tester des nouveaux capteurs ou des nouveaux systèmes combinés ou encore des installations avec des stocks de chaleur de type nouveau ou de grande taille.

### Les axes de recherche et développement

**Les axes de recherche et développement pour le programme « chaleur solaire et stockage » 2008–2011 sont :**

- 1. Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants**
- 2. Nouvelles couches pour les capteurs**
- 3. Systèmes et composants standardisés pour la chaleur et le froid**
- 4. Solutions d'intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants**
- 5. Le stockage long terme**
- 6. Les outils de calcul**

**Projets pilotes et démonstrations (P+D)**

Détaillons chaque thème du programme 2008–2011 dans les pages suivantes.

## Thème clé 1 : Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants

Les éléments de captage (couverture, absorbeurs, isolation, connections), de transport et de stockage doivent être systématiquement testés et améliorés en qualité et longévité. Il convient également de réduire le rapport coût/efficacité. En outre, l'expérience nous a montré que de nouveaux matériaux, de nouvelles fonctions et des idées de nouveaux capteurs naissent de ces tests.

- **Composants solaires et « Indoor solar simulator »**

L'objectif est l'amélioration de la qualité en testant systématiquement les composants du circuit solaire, avec les bancs tests développés au SPF (verres, absorbeurs, isolation, dégazage, raccords, tubes, pompes, capteurs hybrides PV/T, etc..). Il est parfois nécessaire d'imaginer de nouvelles méthodes de tests pour comprendre et améliorer une situation qui pose un problème aux fabricants. Par exemple, le test standard européen de grêle n'est plus adapté à la réalité de la taille des grêlons des dernières années. Nous devons nous adapter.

Les tests surtout comparatifs de capteurs solaires sur le nouveau simulateur solaire intérieur du SPF permettent de travailler toute l'année sans dépendre du climat.

- **Durabilité des capteurs: tests de qualité et modélisation 3D interne du climat**

La qualité des capteurs et leur durabilité peuvent être évaluées par les tests du label « Solar Keymark ». Le SPF est très expérimenté en la matière et les tests permettent souvent de découvrir de nouveaux axes d'amélioration des capteurs solaires. Il est important de convaincre les industriels de pratiquer ces tests en amont, en leur apportant expertise pour des améliorations technologiques lors du test.

Il est possible d'améliorer la compréhension du fonctionnement interne d'un capteur plan en modélisant l'atmosphère intérieure en 3D. Ceci n'a pas encore été fait et est une piste potentielle pour comprendre les mécanismes de pertes thermiques et de dégradation.

- **Développement d'une modélisation des « AGEING TESTS » de couverture transparente au SPF et à Davos**

Les tests de vieillissement des couvertures transparentes réalisés par le SPF durant 20 ans ont fait l'objet d'une publication des résultats en 2007. Les données sont précieuses et il serait intéressant de pouvoir développer un modèle de prédiction de la qualité d'une couverture transparente. Ceci n'est pas une tâche aisée. Une réflexion préliminaire sera menée pour décider du bien fondé de la démarche.

- **Remplacement du cuivre des absorbeurs par d'autres matériaux**

Le problème de la cherté et de la rareté du cuivre conduit à rechercher des alternatives. Les travaux porteront sur les polymères (dans une tâche de l'IEA comme dit plus haut) et l'aluminium qui connaît un regain d'intérêt chez les industriels du solaire. Il s'agira par exemple de réaliser un prototype d'*absorbeur en polymère* extrudé en continu, doté de propriété de transfert de chaleur adapté à la problématique du captage solaire, et dont la surface exposée au soleil pourra résister aux UV et aux températures élevées. Ceci pourrait être fait par la combinaison de deux matériaux, par exemple en déposant sur un polymère plus conducteur, une couche superficielle capable de résister à la surchauffe. L'avantage recherché est le coût sans doute très bas, et la difficulté est évidemment de réaliser un capteur en plastique pouvant durer plus de 20 ans. L'aluminium quant à lui présente l'avantage de pouvoir être travaillé industriellement en roll-bond et a été déjà utilisé dans l'industrie solaire à ses débuts.

## Thème clé 2 : Nouvelles couches pour les capteurs

Ces nouvelles couches, développées dans notre programme par le Leso depuis plusieurs années, sont basées sur des nanomatériaux à propriété spécifique permettant de donner la couleur, la sélectivité, et la thermochromie pour lutter contre la surchauffe estivale des installations solaires thermiques. Il s'agit de nouveautés au niveau mondial.

- **Thermochromie**

Une solution technologique pour limiter la surchauffe des capteurs vitrés, est la thermochromie, grâce à un dépôt sur le verre ou sur l'absorbeur. Le Leso et le SPF ont préparé les conditions nécessaires pour comprendre les directions de travail et nous avons bon espoir que durant la période le Leso aboutisse à des nanocouches thermochromiques d'un type tout à fait nouveau. Un brevet est possible.

Une technique concurrente de la thermochromie pour cet usage, l'électrochromie, est possible et existe déjà pour des vitrages de bâtiment, secteur où elle peine à émerger malgré des produits commerciaux. Cependant elle présente moins d'intérêt car elle est active et non passive, donc elle nécessite un circuit électrique et un déclencheur actif, la transmission en mode normale est insuffisante, et la durabilité de la couche dans les conditions d'un capteur solaire et non d'un vitrage de bâtiment est problématique.

- **Couche sélective**

De même les nanocouches du Leso peuvent permettre de développer la sélectivité dans des conditions de production écologiques et compétitives. Un partenariat avec un industriel dans le domaine sera recherché et la faisabilité étudiée voire la mise en œuvre.

- **Verres ou absorbeurs de couleur pour des capteurs solaires de couleur**

La preuve de la faisabilité a été faite durant la période précédente. Il s'agit maintenant de développer la technologie capable de réaliser des séries de verre de dimension adaptée aux capteurs, grâce aux nanocouches mises au point par le Leso, par le procédé « Dip coating » en laboratoire ou par un procédé « Magnétron Sputtering » si nous pouvons réaliser un partenariat industriel. Nous avons déjà réalisé 3 capteurs en 2007 et le but est maintenant de faire une série de plusieurs capteurs, de tester la solution avec du verre trempé nécessaire pour la mise en façade, et de réaliser un projet pilote de mise en œuvre. La recherche de partenaires industriels est également un thème important et il convient de convaincre les verriers habitués à de grandes quantités du marché potentiel que représente la solution des verres solaires de couleur. Par le passé nous avons dû renoncer au maintien du brevet du fait de cette difficulté.

Pour une large application des systèmes combinés (solaire + chauffage à mazout, gaz, bois ou pompe à chaleur), la standardisation est nécessaire. Elle réduit les risques de mauvaise installation, permet de garantir des prix bas, et autorise une production de masse. La production de froid solaire par voie thermique pour la climatisation estivale de villas, par exemple combinée avec une installation d'eau chaude sanitaire, doit être explorée pour évaluer ses performances énergétiques et économiques.

- **Froid solaire (par voie thermique)**

Deux projets sur la climatisation solaire seront lancés au SPF et à Yverdon : l'un par absorption et l'autre par adsorption, en utilisant des machines existantes qui arrivent sur le marché allemand, les deux liées à un système combiné réel mais en laboratoire. Il s'agit de comprendre comment une boucle solaire produisant du froid fonctionne et de la caractériser. Il y a beaucoup à optimiser tant les installations sont complexes et encore nouvelles, et il convient de faire attention à l'énergie électrique auxiliaire pour les pompes de circulation.

- **Systèmes solaires + pompes à chaleur**

Plus de 60 % des villas neuves sont équipées de pompe à chaleur en Suisse. La combinaison des deux technologies, solaire au moins pour l'eau chaude sanitaire et pompe à chaleur sur sonde ou sur air, permet d'atteindre des parts d'énergie renouvelable dépassant 80 % sur l'année. Ce type de combinaison nécessite des travaux d'optimisation par simulation pour déterminer les meilleures agrégations, et des installations de démonstrations restant simples mais les plus efficaces possibles tout en limitant la maintenance.

Une nouvelle tâche IEA pourrait être lancée en 2010 sur ce thème qui devient d'importance dans toute l'Europe avec le recours aux pompes à chaleur de plus en plus fréquent dans tous les pays du fait de la réduction d'émission de CO<sub>2</sub> que la filière électrique peut dans certains pays procurer par rapport au chauffage par combustibles fossiles.

- **Systèmes sans glycol : Drain back**

De nouveaux systèmes basés sur le concept du drain back, limitant ainsi les conséquences de la surchauffe, pourraient être étudiés au SPF. Le concept est très intéressant et bien connu en Hollande où les systèmes sans glycol sont la règle. Certains fabricants suisses ont des « drain back » mais avec glycol ce qui est plus sûr dans notre climat froid en hiver. Si le principe est favorable à la durabilité d'une installation, il conviendra d'être particulièrement attentif à la consommation d'électricité des auxiliaires (pompes) dans un système drain back. Le problème de trouver une pompe industrielle adaptée à l'usage risque de se poser comme pour les systèmes « low flow ».

- **Contrôle optimal**

L'intérêt du contrôle optimal des systèmes combinés a été démontré dans des périodes précédentes. Une reprise des résultats pour montrer les gains sur des systèmes combinés récents pourrait être faite en partenariat avec un industriel si un intérêt se manifeste.

- **Conditions pour une production de masse (en liaison avec un industriel motivé)**

Une clé de réduction des coûts dans le solaire thermique qui a déjà atteint un certain niveau de maturité est la production en volume. La recherche peut collaborer avec des industriels désireux d'améliorer leur capacité de production, par exemple de capteurs solaires ou de systèmes complets. Ceci passe par le design du capteur et le choix des matériaux, par exemple le choix des polymères et d'une géométrie permettant aisément le recours à l'extrusion. Ce travail ne peut être fait qu'à l'initiative de l'industrie, mais serait supporté dans le principe si une demande d'un industriel suisse se faisait jour.

#### Thème clé 4 : Solutions d'intégration dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants

Le besoin de solutions optimales ou nouvelles pour l'intégration du solaire dans les systèmes de chauffage ou de préparation d'eau chaude sanitaire, ainsi que de composants pour l'intégration aux bâtiments, ne cesse d'augmenter avec la généralisation ou l'obligation du recours au solaire thermique dans certains cantons. Les optimums doivent être étudiés.

- **Optimisation du circuit de préparation d'eau chaude sanitaire (« Frischwassermodul (FWM) »)**

Différentes approches pour préparer de l'eau chaude sanitaire par le solaire, par exemple, avec un échangeur de chaleur interne à la cuve ou externe, avec un circuit externe en thermosiphon, avec un tube inox immergé et enroulé sur toute la hauteur de la cuve ou avec un système de bain-marie dit « tank in tank », ont des avantages et des inconvénients en ce qui concerne les problèmes de légionellose, de mise en œuvre, de coût, de puissance maximale disponible, ou encore de compromis entre confort et efficacité énergétique. En particulier, l'utilisation de « modules d'eau chaude instantanée » (FWM) pour la fourniture d'eau chaude sanitaire a fortement augmenté ces dernières années, et sont souvent présentés par les fabricants comme la solution idéale incontournable. Cependant, il y a dans les solutions des différences d'efficacité importante et des incertitudes quant à leur bon fonctionnement sur le long terme (entartrage) et il est important de procéder systématiquement à une analyse indépendante et précise.

Il y a un grand nombre de « FWM » disponibles sur le marché, tous avec différents paramètres. La comparaison des offres est très difficile simplement en se penchant sur le schéma de principe. Une détermination expérimentale des paramètres pertinents est nécessaire, comme nous l'avons fait par le passé pour les kits solaires puis les systèmes combinés. Pour ce faire un test qualifiant doit être développé, test qui n'existe pas à même à l'échelon européen. Il faudra ensuite faire passer le test à un nombre représentatif de systèmes existants sur le marché habituel d'exemplaires pour obtenir un classement selon une batterie de critères. Ce travail pourrait déboucher sur une norme de test européen, et il devrait être mené de concert avec des instituts internationaux.

- **Capteur ultra plat à haute performance pouvant s'intégrer en façade et toitures aisément**

Le développement de capteurs minces permettrait des intégrations architecturales nouvelles. La technique peut être soit le recours au vide dans l'espace de l'absorbeur soit le recours à des isolations sous vide VIP en face arrière. Des solutions prototypes pourraient être évaluées en partenariat avec un industriel.

- **Intégration dans des installations existantes (en liaison avec des projets P+D)**

Le développement de composants pour la technique solaire tels que verres, absorbeurs, couches minces, capteurs, raccords, pompes, système de drainage, régulation intelligente, etc... nécessite non seulement des études spécifiques pour la fonctionnalité et la durabilité du composant mais aussi des tests approfondis en situation dans une installation complète afin d'optimiser les interactions.

L'intégration d'une installation solaire dans des installations de chauffage – climatisation existante est aussi un thème important. Souvent les installations sont juxtaposées et le solaire ne fonctionne pas faute d'intégration optimisée, par exemple du fait de températures de retour trop élevées. Les études d'intégration en amont (avant la réalisation) doivent être soutenues si elles permettent d'améliorer la connaissance des meilleures manières d'utiliser le solaire thermique en appoint d'une installation existante.

## Thème clé 5 : Le stockage long terme

Le stockage long terme reste le grand défi à relever pour atteindre 100 % solaire car le soleil est insuffisant en hiver mais largement abondant en été. Le travail doit porter sur des nouveaux matériaux permettant le stockage de chaleur pour l'habitat. Il s'agit principalement de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et une recherche sur de nouveaux matériaux en partenariat international (Tâche 4224 de l'IEA SHC).

- **Matériaux de stockage (chaud et froid) à changement de phase en combinaison ou non avec l'eau**

De nouveaux matériaux pour le stockage solaire seront recherchés dans le cadre de la Tâche 42 de l'IEA SHC qui débutera en 2009. Il s'agit soit de procédés chimiques soit de matériaux à capacité d'adsorption. La recherche des capacités de transfert et de stockage de froid des hydrates de CO<sub>2</sub> se poursuivra.

- **Stockage par sorption**

Les caractéristiques de la zéolite ont été étudiées précédemment et on a montré que ce matériau n'était malheureusement pas adapté pour réaliser un stock solaire. Si de nouveaux matériaux sont proposés par des centres de recherche qui y travaillent (Allemagne, Japon), il conviendra de réviser notre position

Par contre, l'hydroxyde de sodium (NaOH) est toujours un candidat pour le stockage saisonnier. Les recherches ont débuté en 2006 à l'Empa et nous les poursuivrons par un prototype de laboratoire.

- **Amélioration de l'exergie délivrable par un stock (stratification, etc..)**

L'étude des circulation de fluide dans des cuves à eau solaires pour obtenir une meilleure compréhension des mécanismes favorables à la stratification sera effectuée au SPF grâce à la méthode « Particle Image Velocimetry ». Elle nécessite un banc d'essai délicat et une cuve en plexiglas que le SPF a installé en début de période.

Amélioration des performances de cuve à eau : Le recours à des matériaux à changement de phase pour augmenter la densité du stockage en cuve a été débuté durant la période précédente. Les résultats ont été décevants car le problème est complexe. Une optimisation du volume nécessaire, de l'échange thermique et surtout de la température de transition optimale sera faite à Yverdon en théorie et au banc d'essai.

Les outils développés depuis des années en Suisse et utiles à la pratique doivent être maintenus en qualité et à la pointe des technologies pour que la pratique ne soit pas freinée par le manque de prévisibilité d'une solution nouvelle. Ceci concerne le rayonnement solaire, la météorologie, la simulation d'installations. Les données des tests de capteurs et de systèmes pratiqués au SPF doivent rester aisément accessibles par le biais d'Internet.

- **Site Web répondant aux besoins des professionnels : [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch)**

Il convient de maintenir la qualité et la fréquentation du site qui est la source principale d'information technologique sur les travaux du SPF. Le site comporte une information objective sur les capteurs et les systèmes présents sur le marché sous forme de fiches de tests très détaillées.

- **Meteonorm 6.0**

La météorologie mondiale et notamment les données d'ensoleillement sur toute la planète peuvent être améliorés par le travail avec les données des satellites et l'extrapolation par des algorithmes complexes des mesures. La Suisse participera aux travaux internationaux dans ce domaine de manière à continuer à proposer aux praticiens le logiciel et la base de données Meteonorm avec les meilleures données.

- **Polysun 5.0 permettant de simuler une installation libre tout en prédisant les résultats des standards (kits ou combi du marché)**

Les extensions se poursuivront. Il est nécessaire de développer une version de Polysun qui suit les évolutions du marché, soutenir la formation des utilisateurs, étendre le logiciel vers le calcul des piscines, des pompes à chaleur, des systèmes combinés avec appoint bois (granulés). Le but est de fournir le meilleur outil de simulation dynamique en phase avec les attentes du marché et les systèmes des constructeurs, qui restent fiables dans ses prévisions et simple d'utilisation.

L'interface utilisateur de Polysun devra être simplifiée car avec l'augmentation de la flexibilité de simulation procurée par la version 4, sont apparues lenteur et complexité dépassant le seuil productif pour les ingénieurs. Le risque est que la pratique se détourne de ces outils et finalement projette des installations sans calculer, donc à risque d'être loin d'un optimum comme c'était le cas il y a plus de 20 ans.

- **Outil d'architectes et liaison avec autres logiciels**

La demande existe de réaliser un outil pour architecte sur la base de Polysun pouvant s'intégrer dans des outils pour architectes et planificateurs à interface convivial et simple. D'autres logiciels du domaine bâtiment pourraient intégrer un moteur Polysun (par exemple en dll) si celui-ci est développé de manière générique et aisément accessible pour évoluer.

## Projets pilotes et démonstrations (P+D)

Entre la recherche et le marché, les projets P+D sont des instruments importants de transfert de connaissance d'une part et de tests de nouvelles conceptions d'autre part. Ils sont un pilier important de la chaîne de l'innovation. Les projets doivent se répartir sur les 6 axes de recherche énoncés dans notre programme. A ce stade, nous avons les projets suivants qui sont souhaitables :

- **Bonne intégration dans le bâtiment**

La mise en adéquation des installations solaires thermiques avec les exigences du bâtiment constitue un défi en terme de qualité architecturale et technique, et d'intégration de systèmes. Dans certains cas, des critères de préservation des sites ou de monument historique sont à observer. Il convient de développer des éléments de captage solaire en intégration architecturale, en ayant recours à des composants innovants ou des combinaisons d'éléments classiques et innovants.

- **Test in situ d'un « maxlean system »**

Un système combiné pour une villa, simplifié dans sa conception pour réduire le coût, a été proposé par le SPF et étudié par simulation dans la Tâche IEA SHC 32. Il serait intéressant de réaliser une installation pilote avec ce système, dont on peut attendre un rapport coût/bénéfice favorable.

- **Déphasseur thermique diffusif**

Un prototype de diffuseur dont le concept a été démontré précédemment devrait être testé dans une installation P+D et aboutir à un produit si un partenaire industriel est trouvé.

- **Projets pilotes de stock saisonnier compact**

Le banc test installé à l'Empa sera utilisé pour prouver la faisabilité du concept stockage saisonnier par NaOH proposé en 2006. Par simulation et optimisation au laboratoire et en cas de réussite du prototype de recherche, il s'agira d'aboutir à un projet réalisable pour une installation P+D.

D'autres projets dans le domaine par exemple des matériaux à changement de phase (PCM) pourraient être lancés suite aux travaux théoriques du Lesbat à Yverdon.

- **Projet pilote de stock saisonnier souterrain diffusif pour des grands ensembles**

Un grand projet de stockage souterrain pourrait voir le jour à Genève basé sur tous les travaux accomplis dans le programme depuis des années. Un soutien pour le dimensionnement par simulation puis au titre de projet P+D serait important pour décider le canton de le faire.

- **Projet pilote de système solaire et pompe à chaleur**

La combinaison solaire et pompe à chaleur est en vogue et nous manquons de données de terrain pour supporter les validations de Polysun. Si les moyens le permettent nous favoriserons des projets pilotes avec mesures sur 2 ans dans ce domaine.

## 8. Les pouvoirs publics

Les moyens du programme solaire thermique et stockage de chaleur ont eu tendance à diminuer depuis l'année 2000 (figure 16). En 2004 les programmes P+D ont été arrêtés et dès 2008 un budget est de nouveau à disposition et a été augmenté pour 2009.

Nous espérons que cette tendance continuera aussi sur le plan du budget de recherche dans les années à venir vu les enjeux énergétiques et le potentiel du solaire thermique.

Dépenses réelles totales (RE et P+D 12)				
	Recherche	P+D	Total	dift. An-1
2000	2'146'076	902'988	3'049'064	
2001	1'569'486	845'518	2'415'004	-21%
2002	1'899'300	876'795	2'776'095	15%
2003	1'642'335	1'089'285	2'731'620	-2%
2004	1'600'000	550'000	2'150'000	-21%
2005	1'526'185	200'000	1'726'185	-20%
2006	1'732'873	239'700	1'972'573	14%
2007	1'711'958	130'093	1'842'051	-7%
2008	1'933'000	81'500	2'014'500	9%
2009B	1'610'000	150'000	1'760'000	-13%

Figure 16 : moyens consacrés par la confédération au programme depuis 2000 (chiffres OFEN)

La distribution des moyens financiers sur les thèmes clé est prévu comme suit :

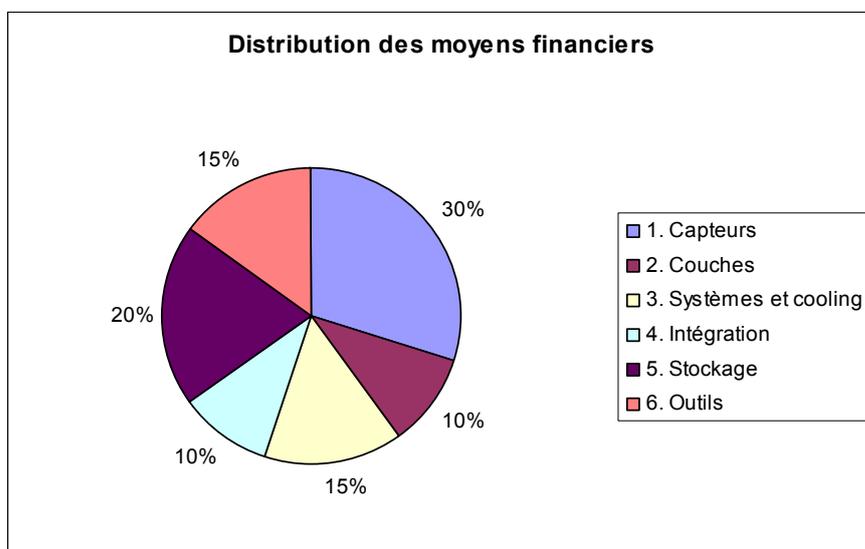


Figure 17 : distribution des moyens financiers sur les thèmes clé

Par le biais du CTI, des projets appliqués peuvent aussi être financés. Il y a eu peu de demandes en solaire thermique, et en moyenne par année environ 100'000 CHF est consacré par les pouvoirs publics dans ce cadre (estimation d'après les données de projets CTI).

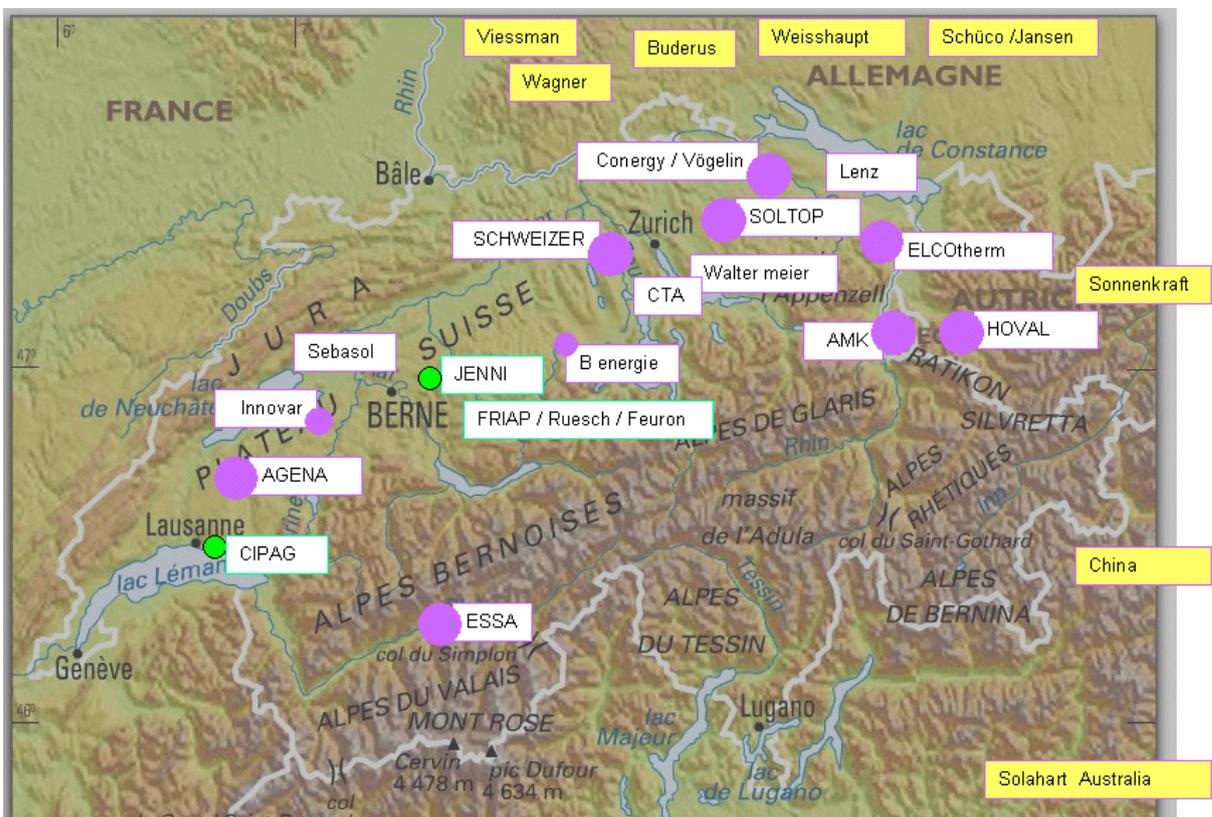
Les cantons et les communes ne font pas de recherche en solaire thermique.

## 9. Industrie privée

Il est difficile de connaître les chiffres d'investissement en R&D de l'industrie solaire privée. Nous estimons que les industriels suisses du solaire mobilisent environ 3 à 4 millions CHF chaque année au total pour le développement de nouveaux produits. Le chiffre d'affaires de la branche est en 2007 d'environ 100 à 200 millions CHF.

Les industries liées au solaire thermique sont cartographiées selon notre connaissance dans la figure 18 ci-dessous. Nous avons distingués :

- les fabricants suisses de matériel solaire (couleur violette sur la carte ci-dessous)
- les fabricants suisses de cuve de stockage (sans capteurs en général) (couleur verte)
- les importations (rectangle jaune)



**Figure 18** : industries solaires thermiques présentes en Suisse (graphique J.C. Hadorn)

## 10. Les pôles de compétence solaire et stockage

Les centres de compétences que nous souhaitons renforcer pour rendre les travaux le plus pérennes possible pour conserver le savoir-faire et bâtir en continuité, sans rupture, sont listés ci-dessous :

### Chaleur solaire

- SPF Rapperswil : capteurs, composants et systèmes
- Leso EPF Lausanne : verres et absorbeurs de couleur, thermochromie, nanotechnologie

### Froid solaire

- SPF Rapperswil : absorption et adsorption
- HEIG Yverdon : stockage PCM, froid solaire

### Stockage de chaleur

- SPF Rapperswil : stockage par sorption et thermochimique
- HEIG Yverdon : stockage PCM
- Empa Dübendorf : NaOH
- Cuepe Genève : déphaseur thermique diffusif
- Supsi LEEE Ticino : simulation du stockage souterrain (Trnsys + DST, Pilesim)

### Outils

- SPF et Vela Solaris : Polysun
- Cuepe Genève et Meteotest Bern : météorologie solaire

Plusieurs de ces acteurs, mais surtout le EPFL ne font de la recherche dans ce domaine à notre connaissance qu'à travers le programme OFEN qui fournit une part de financement des travaux de l'ordre de 50 à 80 %.

## Références

- [1] **ESTTP : Solar Thermal Vision 2030**, Vision of the usage and status of solar thermal energy technology in Europe and the corresponding research topics to make the vision reality, May 2006, revised version 2008, [www.esttp.org](http://www.esttp.org)
- [2] **OFEN 2008 et Swissolar : Le recensement du marché de l'énergie solaire en 2007**, Août 2008
- [3] **IEA SHC : Solar thermal energy markets, 2007**, AEE Intec, Austria.
- [4] **CORE : Plan directeur de la recherche énergétique suisse 2008–2011**
- [5] **OFEN 2008 : Rapport annuel 2007 de la recherche énergétique suisse**
- [6] **Site du SPF** : [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch)
- [7] **Site de IEA SHC Solar Heating and Cooling Programme** : [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)
- [8] **IEA Solar Heating and cooling programme, Task 33, Industrial heat**, [www.iea-shc.org/task33/index.html](http://www.iea-shc.org/task33/index.html)
- [9] **IEA Solar Heating and cooling programme, Task 32, Heat storage**, [www.iea-shc.org/task32/index.html](http://www.iea-shc.org/task32/index.html)