

LES SYSTÈMES SOLAIRES COMBINÉS : QUEL BILAN ET QUEL AVENIR ?

Thomas Letz

INES-Education, Parc Technologique de Savoie Technolac
50 avenue du Léman BP 258
F - 73 375 LE BOURGET DU LAC Cedex

Dès le premier choc pétrolier en 1973, on a assisté en France au démarrage de la filière solaire thermique, avec un grand nombre de constructeurs présents jusqu'au contre-choc pétrolier de 1986. De nombreuses installations ont été réalisées, avec, il faut bien le dire, des matériels de qualité insuffisante. De 1987 à 2000, le parc cumulé est resté relativement stable avec environ 600 000 m², les mises en service compensant à peine l'arrêt des installations les plus anciennes.

En 2000, un plan national de relance (plan Soleil) a mis l'accent sur les trois filières qui semblaient les plus matures :

- le chauffe eau solaire individuel (CESI), quasiment absent en métropole à cette époque, mais se développant de manière importante dans les départements d'outre-mer
- les installations collectives ou centralisées de production d'eau chaude sanitaire, fiabilisées grâce à des procédures de Garantie de Résultats Solaires
- les systèmes solaires combinés (SSC), pour la maison individuelle, assurant une partie de la production d'eau chaude sanitaire et du chauffage de locaux.

Dans cette dernière catégorie, le marché jusqu'à cette date était porté quasiment par un seul constructeur diffusant la technique du Plancher Solaire Direct, inventée en France au début des années 80.

Depuis 2000, le marché s'est ouvert et plusieurs autres constructeurs ont commencé à proposer des systèmes à hydroaccumulation.

En 2005, les nombres d'installations réalisées devrait atteindre 1800, avec une surface de capteurs solaires installées de l'ordre de 24 000 m², soit 60 % de plus que le marché du collectif !

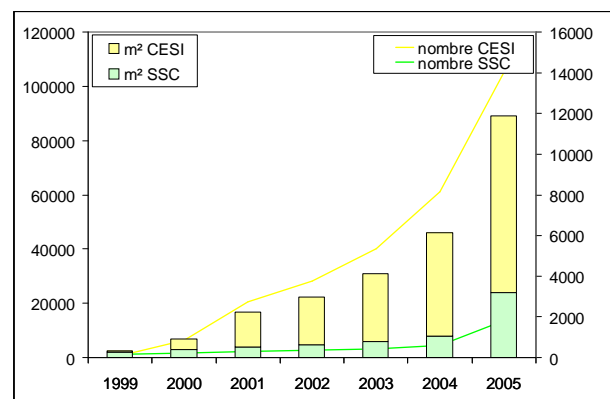


Figure 1 : Evolution du marché des SSC en France

Les deux catégories de SSC

Le développement des SSC aux plans européen et français présente des particularités "historiques" : dans la plupart des pays sauf la France, on trouve des systèmes utilisant un stockage de l'énergie solaire excédentaire à certains moments dans des réservoirs hydrauliques (fig 2).

En France, après le premier choc pétrolier, de nombreux pionniers se sont lancés dans la construction de tels systèmes, avec, il faut bien le dire, plus d'échecs que de succès. Cette situation a conduit, au début des années 80, à une remise en cause radicale du principe de l'hydroaccumulation, et à la simplification des schémas hydrauliques utilisés à cette époque, qui ont débouché sur le développement du Plancher Solaire Direct.

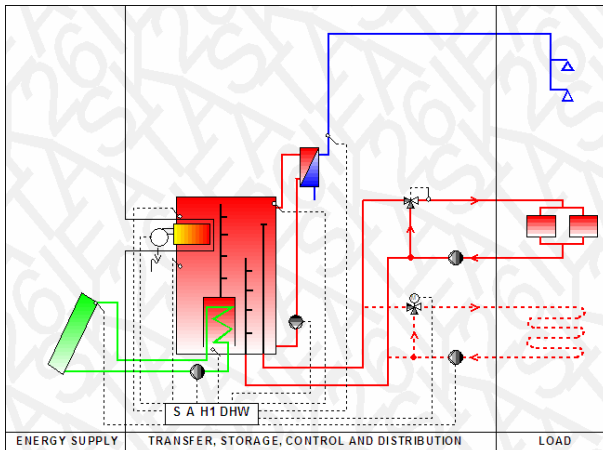


Figure 2 : Exemple de schéma hydraulique d'un SSC à hydroaccumulation

Dans ce système, l'énergie solaire pour le chauffage est transférée directement par le fluide antigel caloporteur depuis les capteurs solaires vers une dalle, sans échangeur de chaleur intermédiaire. L'épaisseur de béton plus importante (12 à 15 cm) que dans un plancher chauffant classique permet d'accumuler cette énergie et de la restituer avec un certain déphasage dans le volume à chauffer.

Deux variantes de PSD existent : la première dans laquelle le plancher chauffant n'est alimenté qu'en énergie solaire, et la deuxième dans laquelle l'énergie d'appoint est également distribuée par le plancher (fig. 3) :

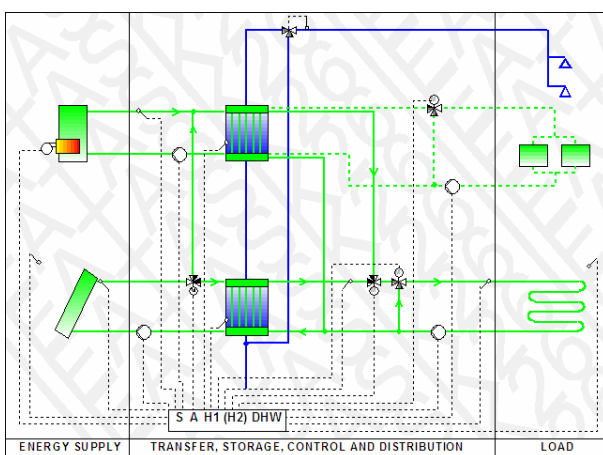


Figure 3 : Schéma hydraulique d'un Plancher Solaire Direct à appoint intégré

Au-delà de cette distinction, on trouve une très grande variété de concepts hydrauliques, qui se différencient par :

- Le nombre de réservoirs de stockage pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Le mode de raccordement de l'appoint
 - Séparé : l'appoint ne passe pas par la cuve solaire.
 - Chaudière couplée : l'appoint fourni de l'énergie en partie haute de la cuve solaire
 - Brûleur intégré : l'appoint est intégré à la cuve solaire.
- Le niveau d'intégration des composants (assemblage à façon sur site, modules pré-fabriqués en usine)
- L'utilisation d'antigel ou la vidange des capteurs en cas de risque de gel

Devant cette explosion du marché accompagné d'une offre de matériels abondante, les utilisateurs potentiels se trouvent un peu démunis pour faire un choix éclairé, car les outils permettant de caractériser ces systèmes de manière un tant soit peu rigoureuse font actuellement cruellement défaut :

- Pas d'étiquetage des performances des SSC
- Pas de tests reconnus au niveau français ou européen. Deux méthodes sont actuellement poussées au niveau de la normalisation européenne :
 - "l'école" allemande privilégie une approche basée sur la caractérisation des composants (capteurs solaires, ballons de stockage, échangeurs) suivie d'une simulation du comportement du système, et en particulier de l'interaction entre la régulation et ces différents composants.
 - "l'école" franco-suisse raisonne "système", et développe des bancs-test du type "boîte noire", dans lesquels une caractérisation globale est recherchée, grâce à une émulation des entrées et sorties du système : capteurs solaires, éventuellement chaudière d'appoint, et circuit de distribution de chauffage et d'ECS.

- Quelques SSC ont été évalués par la procédure des Avis techniques Expérimentaux (ATEX) du CSTB. Mais ces ATEX ne donnent pas d'éléments sur les performances des installations.

Pour avancer néanmoins dans la connaissance des performances réelles des SSC, l'Ademe a lancé en 2003 un programme d'évaluation, basé sur des mesures réalisées sur des installations réelles.

Pour pouvoir comparer utilement les performances de systèmes installés dans des conditions variées de climat, charges de chauffage et d'ECS, et de taille de capteurs solaires, il était nécessaire de concevoir une méthode permettant de s'affranchir de ces paramètres. C'est pour cela que la méthode FSC a été développée, dans le cadre de la tâche 26 Solar Combisystems du programme "Solar Heating and Cooling" de l'Agence Internationale de l'Energie [1].

L'évaluation des performances

Il n'est pas suffisant de connaître la productivité (quantité d'énergie délivrée annuellement par m² de capteur), ou la fraction solaire (part des besoins de chauffage et d'eau chaude couverts par l'énergie solaire), pour caractériser correctement un SSC. En effet, les deux indicateurs précédents ne s'appliquent qu'à la partie solaire du système, et ne donnent aucune indication sur son fonctionnement global.

La vraie question est de connaître l'économie d'énergie d'appoint apportée par le SSC en comparaison avec une installation conventionnelle sans partie solaire, appelée installation de "référence", qui aurait fourni le même service. Dans le projet de normes européennes EN 19277 [2] est définie la grandeur à utiliser pour caractériser un système : il s'agit du taux d'économie d'énergie (F_{sav}), rapport entre cette économie et la consommation de l'installation de "référence".

$$F_{sav} = \frac{Q_{économ}}{Q_{aux,réf}} = \frac{Q_{app,réf} - Q_{app,sol}}{Q_{app,réf}} \quad (1)$$

Définitions des grandeurs :

$Q_{économ}$ = énergie économisée : $Q_{économ} = (Q_{app,réf} - Q_{app,sol})$

$Q_{app,réf}$ = énergie fossile d'appoint (ou électrique) fournie à l'installation de "référence" (sans apport solaire)

$Q_{app,sol}$ = énergie fossile d'appoint (ou électrique) fournie à l'installation solaire

La difficulté dans la définition du taux d'économie d'énergie réside dans le choix de la référence : si la référence est trop exigeante, l'économie sera minorée. Inversement, si la référence est trop laxiste, l'économie apparaît comme plus importante.

Pour pouvoir confronter utilement les taux d'économie pour différents SSC, il faut comparer la valeur de F_{sav} pour le système réel avec la valeur théorique maximale qu'aurait un SSC idéal sans pertes. Cette grandeur est appelée Fraction Solarisable des Consommations (FSC) [3].

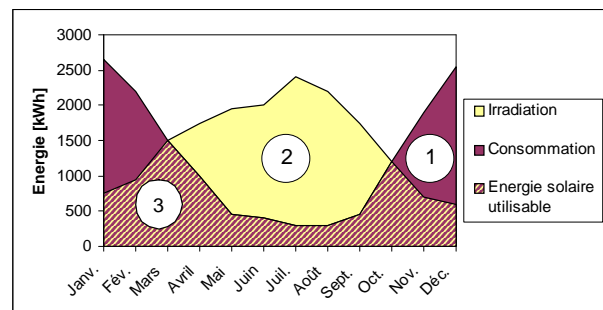


Figure 4 : Définition de la Fraction Solarisable des Consommations

Si on superpose sur un graphique la consommation de l'installation conventionnelle - ou consommation de "référence"¹ ①- avec l'irradiation incidente sur la surface totale des capteurs solaires du SSC ②, il apparaît une troisième zone ③ (intersection entre ① et ②) (fig 4). Elle représente l'irradiation totale utilisable, (en phase avec les consommations),

¹ Calculée à partir des mêmes besoins de chauffage et d'eau chaude que ceux du SSC étudié, des pertes d'un ballon de stockage de l'ECS de "référence", et des pertes d'une chaudière de "référence"

ou également la part des consommations qui peuvent être substituées par l'énergie solaire.

FSC est défini comme le rapport entre l'irradiation totale utilisable et la consommation de référence, soit ③ / ①

Si le SSC était parfait, c'est-à-dire s'il n'avait aucune perte et que toute l'irradiation incidente sur le capteur était convertie en économie d'énergie à l'entrée de la chaudière d'appoint, le taux d'économie d'énergie serait alors égal à FSC. En réalité, différentes pertes se produisent au niveau du capteur, des ballons de stockage, des tuyaux de liaisons et de la chaudière d'appoint. F_{sav} est donc inférieur à FSC. Mais plus l'écart entre les deux est réduit, plus le SSC est efficace.

Si on trace F_{sav} en fonction de FSC pour un SSC choisi, en faisant varier le climat, les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire et la taille des capteurs solaires, les points se répartissent avec très peu de dispersion le long d'une courbe d'allure parabolique, qui peut être considérée comme la courbe caractéristique du SSC considéré. (fig. 5)

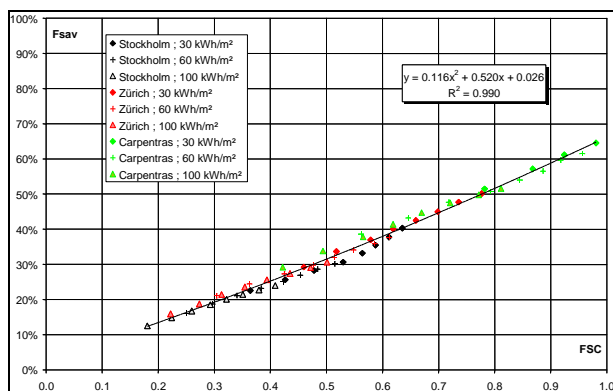


Figure 5 : Relation entre le taux d'économie d'énergie (F_{sav}) et la Fraction Solarisable des Consommations (FSC)

Cette approche a été utilisée par la Tâche 26 pour comparer une dizaine de SSC différents, toutes les simulations étant réalisées avec le même outil (TRNSYS) et des conditions identiques (3 climats : Stockholm, Zürich et Carpentras, 3 maisons avec des niveaux d'isolation différents) [1]. La figure 6 montre les courbes caractéristiques obtenues pour 9 SSC. Pour cette étude, la référence considérée

était constituée d'une chaudière ayant un rendement annuel de 85 % et d'un ballon de production d'ECS avec des pertes annuelles de 644 kWh.

Les différentes courbes ont des allures et des pentes identiques, ce qui signifie que tous les systèmes récupèrent l'énergie solaire avec une efficacité comparable. Par contre, l'ordonnée à l'origine des courbes diffère, ce qui indique des différences de qualité dans les isolations des ballons de stockage et dans les rendements des chaudières d'appoint.

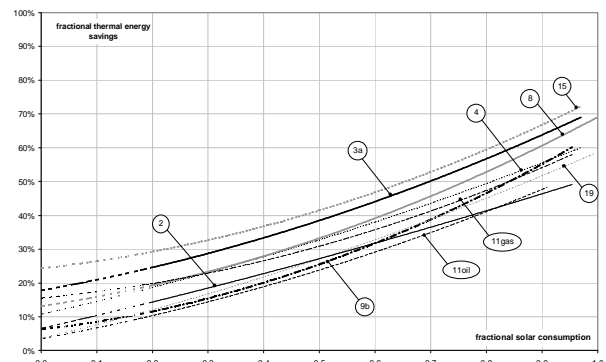


Figure 6 : Courbes caractéristiques des SSC simulés par la Tâche 26, et résultats de mesures du projet Altener combisystems

Dans ce qui suit, les différents résultats seront présentés sur un diagramme $F_{sav} = f(FSC)$, sur lequel est portée la plage enveloppe des résultats de simulation obtenus dans le cadre de la tâche 26. La position d'un point représentatif des performances d'un système permet de voir facilement comment il se situe par rapport aux résultats de simulation. Un point situé entre les deux courbes enveloppes est satisfaisant, par contre un point situé trop nettement sous cette plage révèle un fonctionnement médiocre.

Présentation de résultats sur le diagramme $F_{sav} = f(FSC)$

L'approche présentée précédemment peut être utilisée pour visualiser les résultats de test en laboratoire (fig. 7) ou de campagnes de mesures sur site (fig. 8 et 9).

La laboratoire SPF à Rapperswil est actuellement le seul laboratoire européen à

avoir publié des résultats de mesures pour des SSC. Les résultats disponibles sont synthétisés sur le graphique suivant. La plupart des points sont situés à l'intérieur de la plage tâche 26.

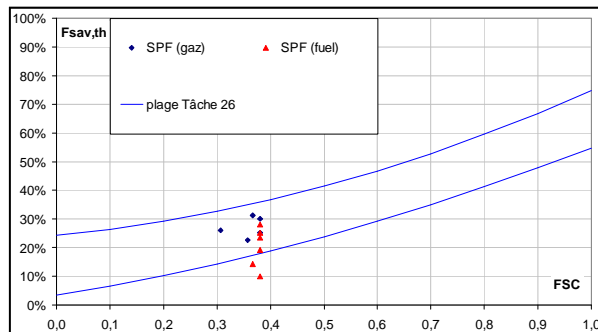


Figure 7 : Résultats de tests effectués au laboratoire SPF à Rapperswil (CH)

Dans le cadre du projet européen Altener combisystems [4], qui s'est déroulé entre 2001 et 2003, des mesures ont été réalisées sur des sites réels dans 5 pays. Les points représentant les résultats obtenus sur 14 SSC sont portés également sur la figure 8.

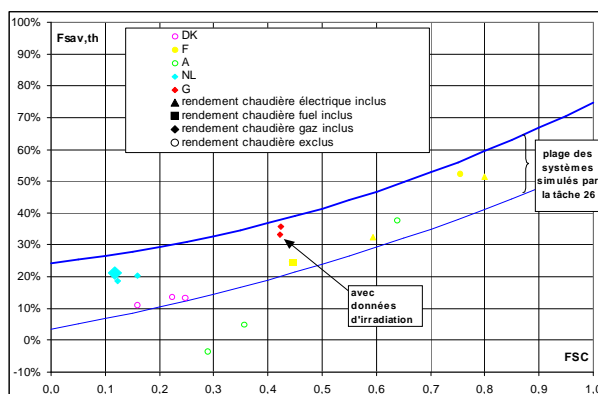


Figure 8 : Résultats du projet Altener Combisystems

Seuls 2 SSC autrichiens présentent de mauvais résultats, mais ceux-ci sont liés à une régulation défectueuse, qui a été améliorée par la suite. Les SSC hollandais, qui utilisent de petites surfaces de capteurs, ont des valeurs de FSC faibles, mais des valeurs de F_{sav} élevées grâce à des chaudières d'appoint à condensation. Les SSC danois, installés sur des systèmes de chauffage existants, ont des résultats conformes à ceux obtenus par les simulations (courbe 2). Les SSC allemands et français ont de bons résultats, sauf pour celui

utilisant un appoint fuel qui est un peu en dessous.

Les résultats du programme d'évaluation français

En France, l'Ademe a mis en place un programme d'évaluation des SSC : 37 systèmes de 5 fabricants différents ont été mesurés entre 2004 et 2006. Ce programme n'est actuellement pas totalement achevé, mais les premiers enseignements peuvent en être tirés [5].

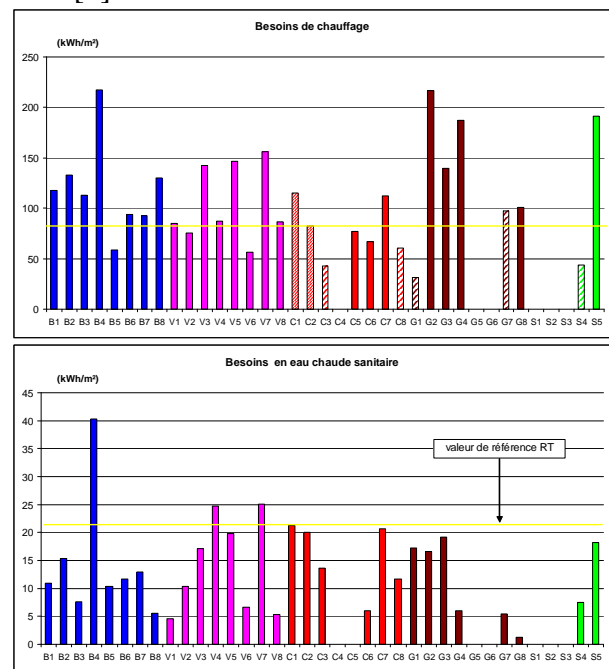


Figure 9 : Besoins spécifiques des projets du programme d'évaluation SSC

Les graphiques de la figure 9 montrent que la plupart des maisons ont des besoins de chauffage relativement élevés alors que les besoins d'ECS sont largement inférieurs au ratio moyen de la réglementation thermique Th-C 88. Cette disparité entre les besoins de chauffage essentiellement concentrés sur l'hiver alors que les besoins d'eau chaude notamment en été sont faibles, se traduit par des taux de couverture qui dépassent rarement 30 % (fig. 10). Pour cette évaluation, les consommations de référence ont été calculées à partir de la définition des installations de référence de la RT 2000 [6].

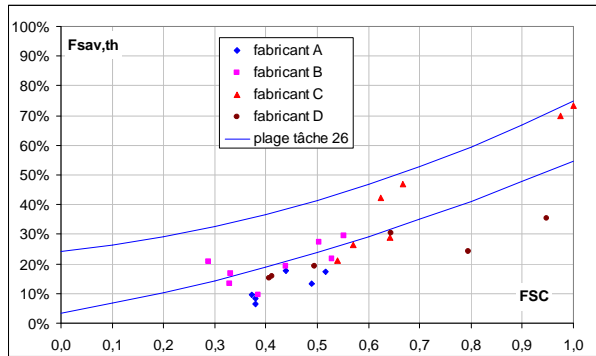


Figure 10 : Résultats du programme d'évaluation SSC pour 4 constructeurs

Pour la plupart des installations, les résultats sont situés en dessous de la plage des simulations de la tâche 26 : cette situation résulte de trois facteurs, dont l'un seul, deux ou trois peuvent être observés sur les installations :

- Conception des systèmes non optimisée (par exemple, schéma hydraulique et régulation donnant priorité au chauffage de l'ECS)
- Installation de mauvaise qualité (défaut d'isolation, schéma hydraulique non conforme aux préconisations du fabricant...)
- Réglages non optimisés

Ces résultats assez décevants montrent qu'un effort soutenu sur la qualité doit être apporté par l'ensemble des acteurs de la filière, aussi bien au niveau des constructeurs que des installateurs. Ceci est d'autant plus important que de nombreux acteurs nouveaux arrivent sur un marché qui s'ouvre rapidement aujourd'hui.

Les perspectives

L'utilisation des systèmes solaires actifs se heurte à un paradoxe : leur productivité et par conséquent leur rentabilité sont d'autant meilleures que les besoins thermiques de base sont importants. Cependant, un SSC doit bien évidemment être préconisé une fois que les mesures permettant une diminution des besoins ont été prises, de manière à ce que la

consommation résiduelle d'énergie d'appoint soit la plus réduite possible.

On peut donc tracer les perspectives suivantes :

- Dans l'existant, une rénovation thermique du bâti peut réduire les besoins de chauffage à des valeurs comprises entre 50 et 100 kWh/m². Dans ce cas, un SSC peut permettre d'économiser de 30 à 50 % des consommations d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. L'exemple de la figure 11 (maison ayant un besoin de chauffage de 80 kWh/m², située à Grenoble) montre que l'économie d'énergie principale se produit pendant les mois de mi-saison (février à avril et octobre).

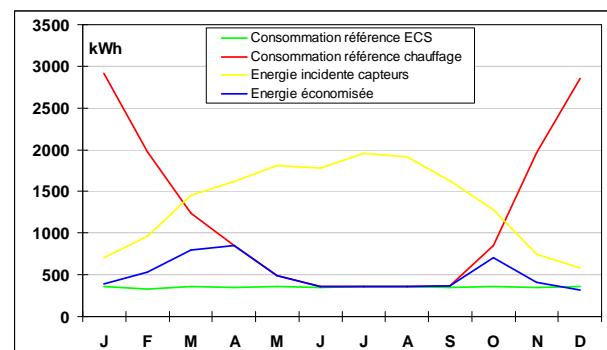


Figure 11 : Diagramme ressource – consommations pour maison existante rénovée

Pour les maisons rénovées déjà équipées d'une distribution hydraulique, un fonctionnement à basse température des émetteurs de chauffage doit être recherché : la rénovation thermique permet alors de baisser les températures de distribution à un niveau compatible avec un rendement correct du capteur solaire. Les planchers solaires directs ne sont possibles qu'en cas de réhabilitation lourde, avec création de dalles chauffantes.

Les 14 millions de maisons individuelles existant en France représentent un potentiel de développement considérable pour les SSC.

- Dans le neuf, les réglementations thermiques successives réduiront progressivement les besoins de chauffage. Les SSC pourront y être utilisés avec

profit, notamment les planchers solaires directs faciles à installer si cela est prévu dès la conception de la maison. Des taux d'économie d'énergie pouvant atteindre 40 à 60 % sont possibles dans ces conditions.

- Dans un futur plus lointain, on assistera à une diffusion de maisons hyper-isolées sans chauffage, (maisons PassivHaus) ou à besoins très faibles, rendues possibles par l'optimisation de l'enveloppe, réduisant les pertes et maximisant les apports passifs. Dans ces conditions, les besoins résiduels sont de plus en plus concentrés sur les mois les plus défavorables (décembre et janvier), peu ensoleillés et froids, où le facteur limitant concernant l'utilisation de l'énergie solaire est de toute façon la ressource (fig. 12). Sur ce type de maison, un SSC ne se justifie plus, et doit être abandonné au profit d'un simple chauffe-eau solaire.

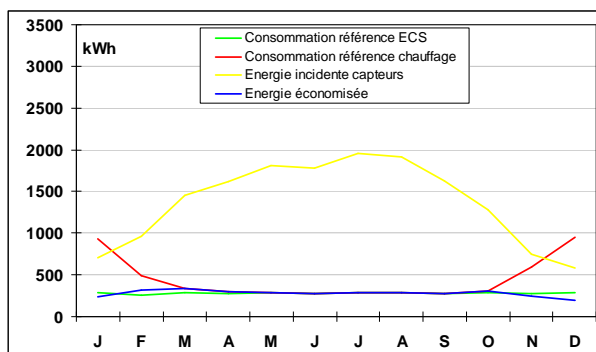


Figure 12 : Diagramme ressource – consommations pour maison hyper-isolée

Conclusion

Amorcée il y a 5 ans, la diffusion des systèmes solaires combinés se trouve aujourd'hui à la croisée des chemins : une demande importante existe au niveau des particuliers, les pouvoirs publics mettent des moyens importants dans les aides à cette filière (crédit d'impôts, subventions directes régionales ou départementales). Profitant de cette dynamique, les professionnels (constructeurs, installateurs) proposent une offre de matériel pour laquelle la qualité n'est pas toujours au rendez-vous alors que les prix le sont. Il faut donc absolument mettre en place les moyens d'encadrer la qualité des réalisations. Cela

se passe par de la formation (séminaires techniques pour fabricants, stages pour installateurs), du travail au niveau de la caractérisation des systèmes (tests en laboratoire, mise au point d'une étiquette énergie, normalisation) et également de l'évaluation systématique des installations réalisées (enquête de satisfaction, mesures sur site).

Références

- [1] : WEISS W. et all., Solar Heating Systems for Houses – A design handbook for solar combisystems, James and James, London, 2003, 314 p.
- [2] : AFNOR, Norme prEN 12977-2., Installations solaires thermiques et leur composants – Installations assemblées à façon – Partie 2 : Méthodes d'essais, 1997, 91 p.
- [3] : LETZ Th. - Validation and background information on the FSC procedure - A Report of IEA SHC - Task 26 Solar Combisystems, Décembre 2002, 22 p.
- [4] : LETZ T., Altener program : SOLAR COMBISYSTEMS, workpackage 6 comparison of monitoring results, avril 2003, 26 p.
- [5] : LETZ Th. et all., Suivi des systèmes combinés solaires - Guide méthodologique, Rapport Ademe, 2001, 85 p.
- [6] : Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, J.O. Numéro 277 du 30 Novembre 2000 page 19049, 18 p.

Liens Internet

1. Agence Internationale de l'énergie – Programme de chauffage et de climatisation solaire : <http://www.iea-shc.org>
2. Tâche 26 : <http://www.iea-shc.org/task26/>
3. Projet Altener Combisystems : [http://www.elle-kilde.dk/altener-combi/\(logiciel Combisun\)](http://www.elle-kilde.dk/altener-combi/(logiciel%20Combisun))