

SUIVI ET ÉVALUATION ÉNERGÉTIQUES DE 10 SYSTEMES SOLAIRES COMBINES (SSC)

Fabricant B

Synthèse du programme

Thomas LETZ
27 août 2010

Avec le soutien de :



RÉSUMÉ

Dans le cadre de ses missions, l'ADEME poursuit la démarche, engagée en 2003, d'évaluation des systèmes solaires combinés (SSC) disponibles sur le marché national. Elle a proposé ainsi aux opérateurs industriels un programme 2007/2009 de mesures sur site des SSC. Ce document présente la synthèse des résultats obtenus par un des deux fabricants ayant participé au programme. Un système a été testé sur dix sites, avec deux variantes correspondant à des émetteurs de chauffage différents (plancher chauffant et/ou radiateurs)

Parmi les principaux résultats, on retiendra les faits marquants suivants :

- Les besoins de chauffage sont globalement cohérents avec ceux estimés dans les études prévisionnelles. Les températures intérieures observées sont dans l'ensemble voisines de 20 °C (hypothèse des études) et donc légèrement supérieures aux 19 °C réglementaires. Par contre, les consommations en eau chaude sanitaire sont inférieures aux ratios habituellement retenus pour les dimensionnements.
- Du fait de cette disproportion marquée entre des besoins de chauffage élevés en hiver et des besoins d'eau chaude faibles en été, il est difficile d'atteindre des taux d'économies élevés, puisque la ressource solaire est présente surtout aux moments où on en a le moins besoin (été).
- Le fonctionnement de la partie solaire du SSC n'est pas optimisé, à cause du volume de stockage dévolu au solaire assez faible, et du transfert peu efficace de cette énergie au chauffage. Par contre, l'utilisation de chaudière à condensation pour la fourniture d'énergie d'appoint permet d'améliorer sensiblement les taux d'économie d'énergie.
- En période estivale, l'appoint est souvent sollicité pour des installations qui ont au minimum 7 m² de capteurs solaires, un stockage d'au moins 400 litres et dont les consommations d'eau chaude sanitaire demeurent modestes. En hiver, la contribution solaire est également faible.
- La productivité en énergie finale économisée se situe entre 400 et 600 kWh/an.m² de capteur solaire pour l'ensemble des installations. Mais ce chiffre élevé découle essentiellement des faibles surfaces de capteurs solaires installées (la plupart du temps moins de 10 m²).

1 INTRODUCTION - OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Dans le cadre de ses missions, l'ADEME poursuit la démarche, engagée en 2003, d'évaluation sérieuse et objective des SSC disponibles sur le marché national. Elle a ainsi proposé aux opérateurs industriels un programme 2007/2009 d'évaluation in situ et de caractérisation des SSC. Celui-ci a été mené dans un cadre scientifique et technique, en collaboration avec les opérateurs volontaires et en liaison directe avec des programmes antérieurs ou en cours, tant au niveau français qu'europpéen (www.combisol.eu).

Ses objectifs sont les suivants :

- constituer un échantillon instrumenté représentatif des principaux systèmes « sur catalogue » constituant l'essentiel (80 %) du marché français sur la période du présent programme
- en tirer des éléments d'appréciation de leur fonctionnement réel et de leurs performances sur une longue période (recouvre résultats thermiques, mais aussi problèmes de mise en œuvre, fiabilité, pannes, robustesse, ...)
- diffuser ces informations vers les professionnels et le grand public

Pour chaque opérateur identifié, l'ADEME (DER) a apporté un soutien financier à l'organisation, la réalisation et l'exploitation d'une campagne de mesures sur site sur 10 opérations SSC en fonctionnement depuis plus de 6 mois, ciblées sur 1 à 3 régions désignées, mesures réalisées selon une méthodologie commune imposée par l'ADEME, le suivi étant assuré par un organisme neutre dans le cadre de cette convention.

Le [cahier des charges](#) de ce programme et les [documents d'accompagnement](#) sont disponibles sur le site de l'ADEME.

2 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

En 2001, un groupe de travail coordonné par l'ASDER a élaboré une méthodologie pour le suivi in situ des SSC à la demande de l'ADEME. Les résultats sont présentés à partir d'indicateurs de performances calculés selon la méthodologie ([méthode FSC](#)) développée dans le [projet 26 Solar Combisystems](#) de l'Agence Internationale de l'Energie.

Entre 2003 et 2005, le projet Evalssc a permis de tester sur site 32 systèmes de 5 fabricants ou distributeurs (BUDERUS, CLIPSOL, GIORDANO, SOLAIRE CONNEXION et VIESSMANN). Les [résultats](#) sont disponibles sur le site de l'ADEME.

Parallèlement à ce programme, un projet européen ([Altener Solar Combisystems](#)) s'est déroulé de 2001 à 2003, en lien avec le projet 26 de l'Agence Internationale de l'Energie consacrée aux systèmes solaires combinés. Au cours de ce projet, 3 installations dans 7 pays ont été instrumentées et sont en cours d'évaluation. La coordination de ces suivis a été faite par l'ASDER. Une méthode similaire à celle développée au niveau national a été adoptée pour la comparaison des résultats obtenus dans les différents pays, avec cependant certaines différences notamment quant à la définition des systèmes de référence et des valeurs numériques de certains paramètres caractéristiques de ces références.

Dans le présent projet, INES Education a eu en charge la fourniture du cahier des charges de la métrologie, la réception de celle-ci une fois la pose effectuée, la réception des mesures et leur analyse, la rédaction des rapports de synthèse.

Le fabricant a proposé une liste de sites potentiels, a commandé les équipements de mesure une fois le choix des sites fait en concertation avec l'ADEME et INES Education, et a supervisé leur pose.

3 PRINCIPE DE LA METHODE D'EVALUATION ET INSTRUMENTATION

Un SSC est un système qui fournit de l'énergie pour deux utilisations (chauffage des locaux, production d'eau chaude sanitaire), en général à partir de deux sources d'énergie (capteur solaire thermique, énergie d'appoint) (figure 1).

Toute installation solaire thermique, et notamment un SSC, est un système qui a certes pour finalité de récupérer de l'énergie solaire de la manière la plus efficace possible, mais surtout d'économiser de l'énergie conventionnelle.

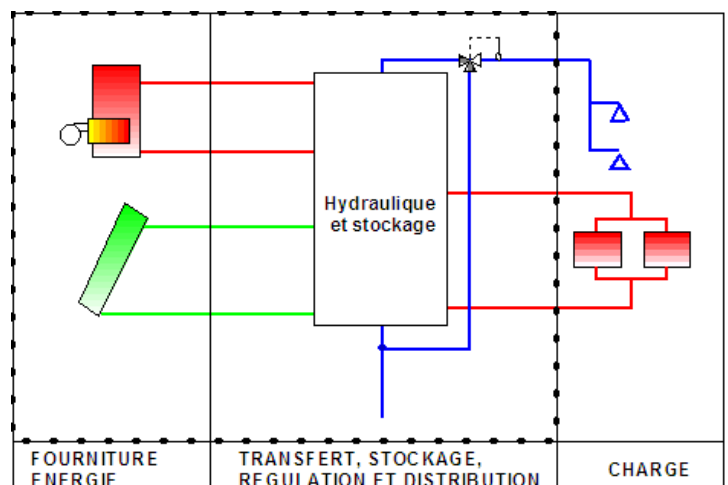


Figure 1 : Schéma de principe d'un SSC (limites du système en pointillés)

L'évaluation (performances thermiques) d'un SSC se fait donc en comparant l'énergie d'appoint consommée par le SSC à celle qu'aurait consommée une installation conventionnelle non solaire fictive (référence) fournissant le même service (besoins de chauffage et d'eau chaude identiques). Pour cela, il faut bien évidemment définir ce système de référence auquel le SSC est comparé, notamment la qualité du générateur d'appoint (rendement) et les pertes liées à la production et au stockage de l'eau chaude sanitaire. Différents systèmes de référence (figure 2) utilisant les différentes sources d'énergie (fioul, gaz naturel, propane, électricité, bois) conforme à la réglementation thermique 2005 ont été définis dans ce but.

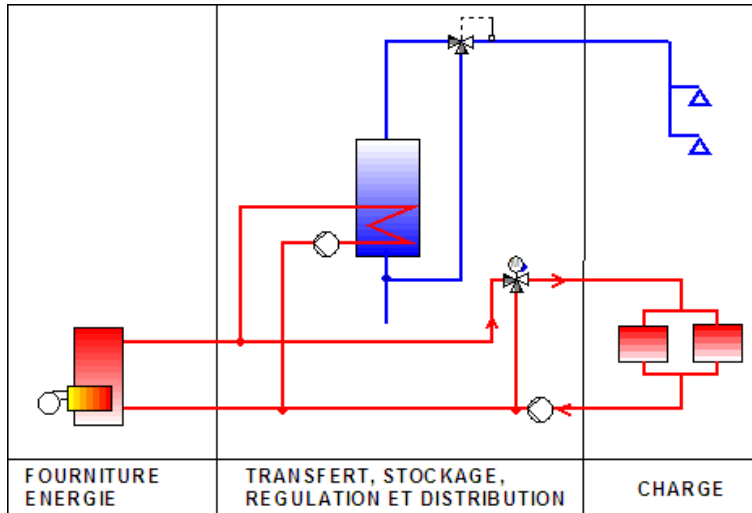


Figure 2 : Schéma du système de référence (cas d'un appoint gaz, fioul ou bois)

Les installations ont été équipées de plusieurs compteurs de chaleur (figure 3) :

- Un sur le circuit de chauffage [C3] (mesure des besoins de chauffage)
- Un sur le circuit d'eau chaude [C2] (mesure des besoins thermiques pour l'eau chaude, pertes de distribution comprises)
- Un sur le circuit appoint (à l'entrée de la chaudière de manière générale [C1], à la sortie [C1'] en cas d'impossibilité comme par exemple dans le cas d'un appoint bois)

- Un sur le circuit solaire [C4], qui n'est pas utilisé pour le calcul du taux d'économie d'énergie thermique, mais qui sert à quantifier les pertes du système (les pertes étant obtenues comme la différence entre l'énergie injectée dans le système et l'énergie fournie par le système : $([C1'] + [C4]) - ([C3] + [C2])$)

Par ailleurs, l'irradiation dans le plan des capteurs a été mesurée dans la plupart des cas ou recalculée à partir des données météorologiques réelles de la station la plus proche en cas d'impossibilité. De même, les températures intérieures et extérieures ont été mesurées.

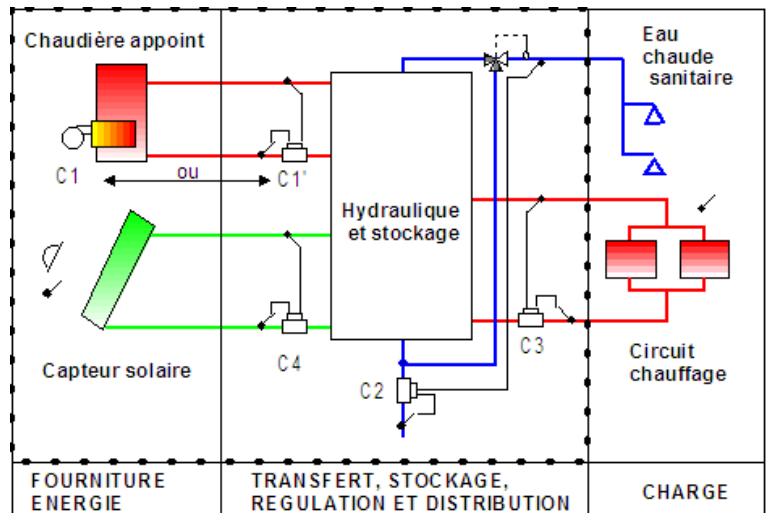


Figure 3 : Schéma de l'instrumentation

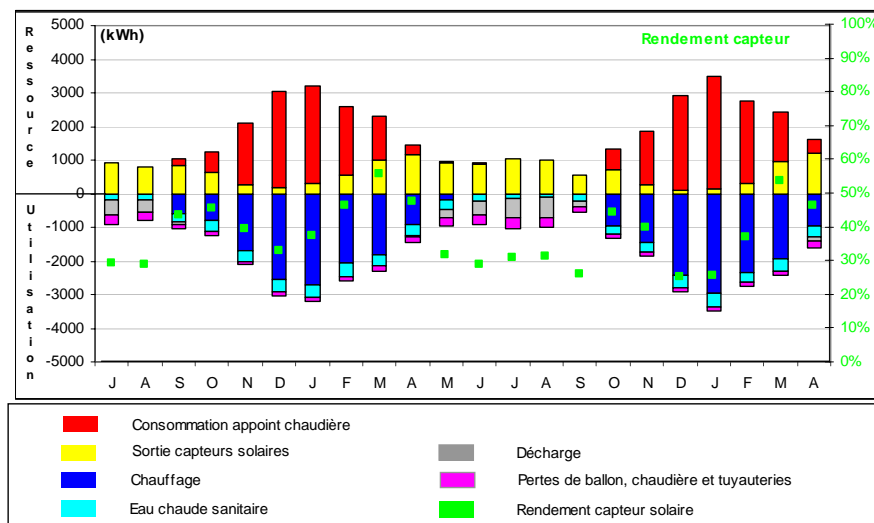


Figure 4 : Bilan thermique d'une installation

Des bilans thermiques mensuels et annuels du système ont été établis (figure 4), et des indicateurs globaux annuels de fonctionnement ont été calculés.

4 DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

La campagne de mesures a débuté fin 2007 et s'est terminée durant le deuxième semestre 2010. Pour les installations dont le suivi a démarré le plus tôt, on dispose de durées de mesures qui dépassent 2 années. L'analyse des résultats annuels glissants permet alors de mettre en évidence l'influence des modifications éventuelles apportées sur l'installation.

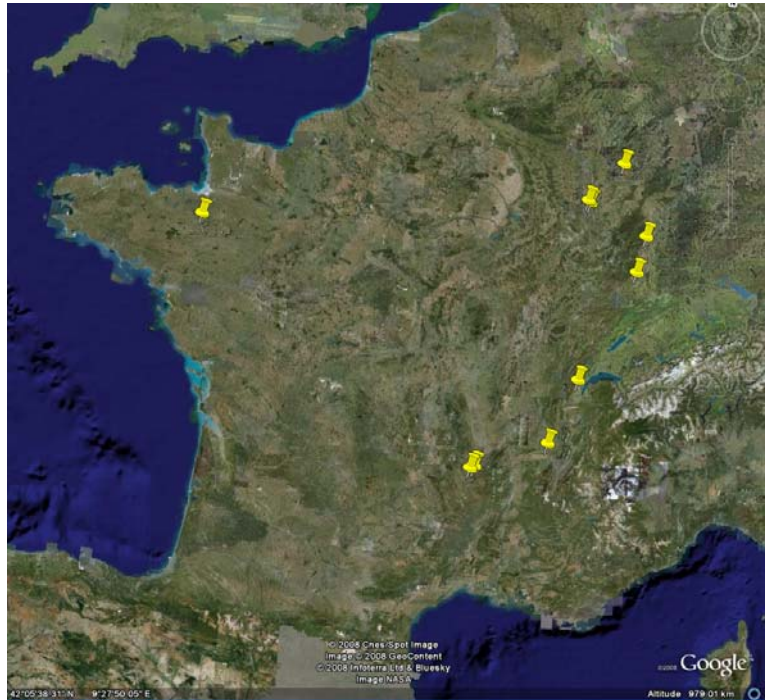


Figure 5 : Localisation des installations instrumentées

N°	Surface de plancher chauffée (m ²)	Energie appoint	Surface de capteurs solaires (m ²)	Inclinaison	Orientation	Date de construction maison	Travaux d'amélioration thermique connus	Plancher chauffant	Radiateurs
B1	131	Gaz naturel	9,4	45	Plein Sud	1970	isolation + DV	X	X
B2	300	Gaz naturel	11,8	45	40 ° Ouest	1975 + agrandissement	isolation agrandissement		X
B4	100	Gaz naturel	9,4	30	24 ° Est	≅ 1980		X	X
B5	130	Gaz naturel	9,4	50	Plein Sud	≅ 1980			X
B6	120	Gaz naturel	7,1	55	45 ° Est	≅ 1980			X
B7	150	Gaz naturel	7,1	45	42 ° Est	≅ 2000			2 zones
B8	140	Gaz naturel	7,1	45	17 ° Ouest	2006		X	
B9	125	Gaz naturel	7,1	40	45 ° Est	≅ 1900	isolation plafond + murs		X
B10	200	Fioul	9,4	45	Plein Sud	1999		X	X
B11	120	Gaz naturel	14,1	45	Plein Sud	1999		X	

Tableau 1 : Caractéristiques principales des installations suivies

Des problèmes de mesures ont été rencontrés sur une installation (B10), ce qui a rendu les résultats inexploitable. Pour la remplacer, une autre installation (B11) a été instrumentée de l'été 2009 à l'été 2010. Une deuxième installation (B8) a été modifiée entre la première et la deuxième année (ajout d'un capteur et d'un réservoir de stockage)

5 METHODE D'EXPLOITATION DES MESURES

Le principe du calcul des indicateurs caractéristiques est le suivant :

1. Relevés des différents compteurs ([C1] à [C4])
2. Calcul de la consommation d'énergie de référence C_{ref} pour un système équivalent non solaire utilisant la même énergie (les résultats sont présentés ici utilisant la référence européenne décrite en détail dans le [guide](#) du projet Combisol. Elle conduit à des résultats en général légèrement majorés par rapport à ceux qui seraient obtenus avec la référence française calée sur la réglementation thermique RT2005) :

$$C_{ref} = ([C3] + [C2] + Q_{ref}) / \eta_{ref}$$

Avec Q_{ref} : pertes du ballon ECS de référence

η_{ref} : rendement de la chaudière de référence

3. Calcul du taux d'économie d'énergie thermique F_{sav} :

$$F_{sav} = (C_{ref} - C1) / C_{ref} = 1 - C1 / C_{ref}$$

4. Calcul de la Fraction Solarisable des Consommations FSC : cette grandeur représente la fraction maximale de la consommation de référence C_{ref} en phase avec l'irradiation incidente sur les capteurs, qui pourrait être économisée grâce aux capteurs solaires installés. Autrement dit, c'est le taux d'économie d'énergie d'un SSC idéal sans pertes, équipé de la même surface de capteur que le SSC étudié, et fournissant le même service. Cette grandeur est indépendante du système étudié, par contre elle est fonction de la consommation de référence C_{ref} , de la surface de capteurs solaires A_c et de l'irradiation I_c :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(C_{refm}, A_c I_{cm})}{\sum_1^{12} C_{refm}}$$

Le calcul du minimum est fait sur une base de temps mensuelle, les grandeurs correspondantes sont indicées par la lettre **m**.

5. Diagramme donnant F_{sav} en fonction de FSC : l'utilisation d'un tel diagramme, pour lesquelles les valeurs en abscisses et en ordonnées sont adimensionnelles, permet de comparer facilement des SSC comportant des surfaces de capteurs solaires variées, placés dans des situations géographiques diverses et sur des maisons ayant des besoins différents.

6. Calcul de la productivité en énergie économisée : $(C_{ref} - C1) / A_c$

6 PRINCIPAUX RESULTATS

6.1 RATIOS DE BESOINS DE CHAUFFAGE ET D'EAU CHAUDE, ET DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS

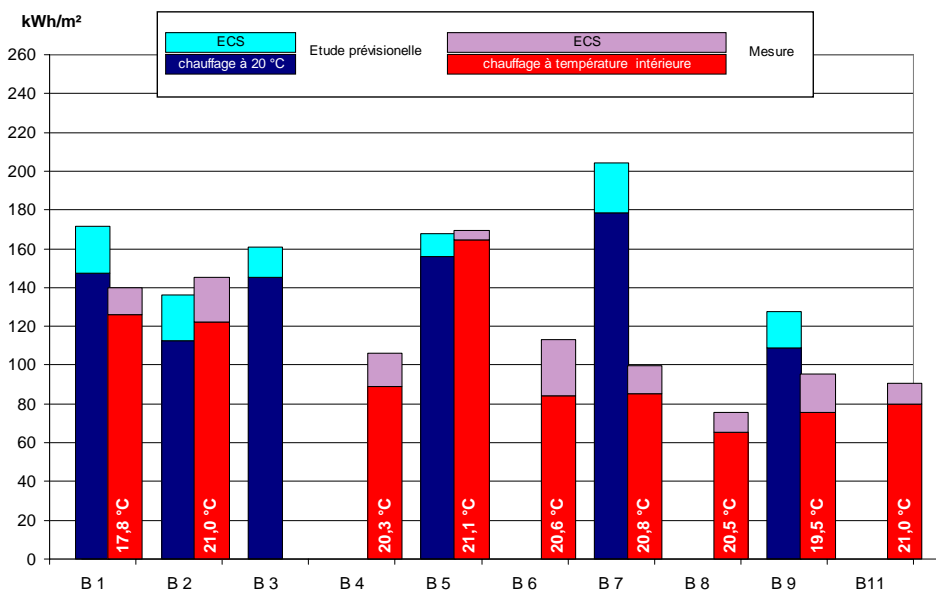


Figure 6 : Besoins spécifiques annuels de chauffage et d'ECS

Sur le graphique de la figure 6 sont portés les besoins spécifiques en chauffage et en eau chaude sanitaire, par m² de surface habitable. Sur 4 installations (n° 1, 2, 5 et 9), le total des besoins est cohérent entre prévisions et mesures. Les besoins de chauffage dans la réalité sont voisins des prévisions, et les températures intérieures mesurées sont proches de celles prises en compte dans le calcul prévisionnel. Pour l'installation n°7, il y a eu manifestement une erreur sur le calcul des besoins prévisionnels, qui ne correspondent pas à ceux d'une maison neuve.

On pourrait penser que pour ces installations, le prévisionnel est correct. Mais si on différencie chauffage et eau chaude, l'analyse montre que les besoins en ECS sont souvent sur estimés dans ces mêmes études (n°1, 5 et 7). Sur deux installations (n°2 et 9), les valeurs prévues sont confirmées par les mesures. En moyenne les mesures sont 40 % inférieures aux prévisions. Elles correspondent à celles déjà observées dans le rapport déjà cité. (18,6 à 21,7 kWh/m².an selon la RT 2005, pour les différentes zones climatiques).

Cette disproportion entre les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire rend délicat le dimensionnement des surfaces de capteurs solaires : en effet, plus cette disproportion est marquée, plus l'écart entre les besoins globaux d'hiver et d'été est prononcé, ce qui va à l'opposé des variations mensuelles d'irradiation. Dans ces conditions, il est difficile d'atteindre des taux d'économie élevés, car pour cela, il faudrait augmenter de manière importante la taille des capteurs solaires, ce qui ne va pas sans poser des problèmes de montée en température excessive en été.

Seule une installation présente un dimensionnement des capteurs solaires cohérent avec les valeurs indiquées dans les formations QualisolCombi (figure 7) : 1 m² de capteur solaire par tranche de 1000 kWh de besoins annuels pour le chauffage et l'eau chaude. La plupart sont dimensionnées avec des ratios nettement plus petits, ce qui explique les taux d'économie relativement faible observés (voir paragraphe 6.2)

Une installation (B11) a un ratio plus élevé : c'est elle qui atteint le taux d'économie le plus élevé.

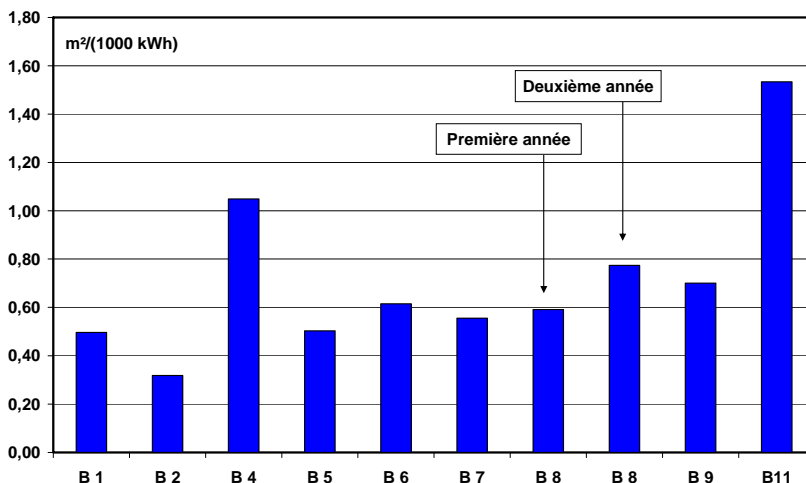


Figure 7 : Ratios surface de capteurs solaires / besoins thermiques

6.2 RESULTATS GLOBAUX

A partir des mesures réalisées, nous avons pu identifier des paramètres caractéristiques des installations :

- le coefficient moyen de pertes du stockage et des tuyauteries de liaisons en local technique.
- le rendement moyen annuel du générateur d'appoint (sur PCI).

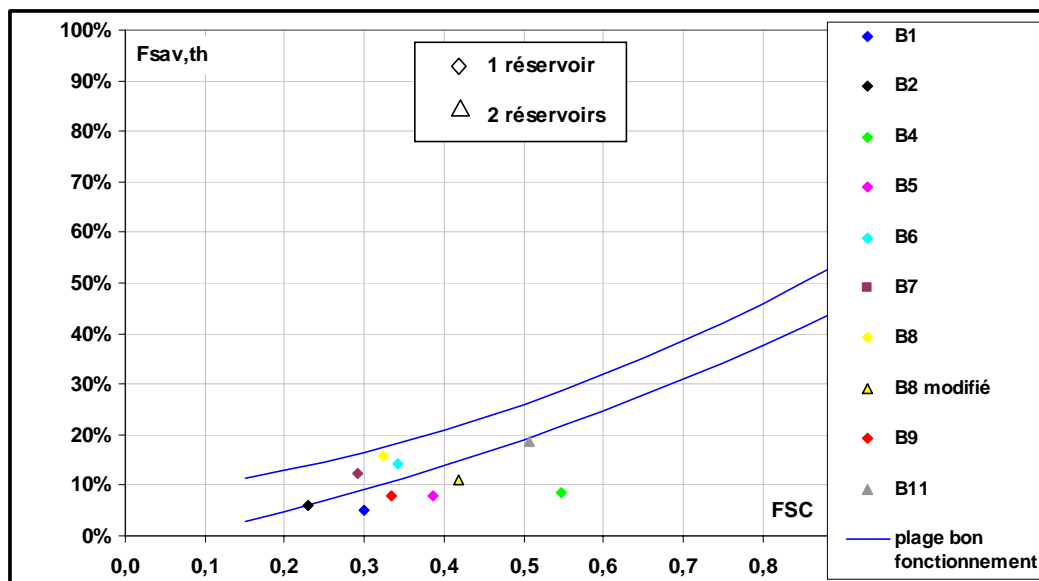


Figure 8 : Résultats en sortie du générateur d'appoint

Ces valeurs identifiées ont été utilisées pour évaluer l'énergie délivrée à la sortie du générateur d'appoint (correspond au compteur C1' de la figure 3). A partir de cette énergie, nous avons calculé les taux d'économie d'énergie et le paramètre FSC.

La figure 8 montre les résultats obtenus pour 10 systèmes. En ordonnée figure le taux d'économie d'énergie thermique annuel, qui donne le pourcentage d'économie d'énergie d'appoint du SSC

quand on le compare à un système de référence non solaire utilisant la même énergie et fournissant le même service (besoin de chauffage, quantité d'eau chaude sanitaire). En abscisse figure la Fraction Solarisable des Consommations, qui correspond au taux d'économie d'énergie idéal d'un SSC qui n'aurait pas de pertes thermiques. Cette représentation permet de visualiser "l'efficacité" d'un système, indépendamment de son dimensionnement, des conditions météorologiques et des besoins de chauffage et d'eau chaude. Pour une installation donnée, plus la valeur du taux réel d'économie d'énergie est proche de la Fraction Solarisable des Consommations, plus le système est efficace.

Les points obtenus sont pour la plupart situés en-dessous de la plage dite de "bon fonctionnement" : il s'agit d'une plage correspondant aux systèmes simulés dans le cadre du projet 26 de l'Agence Internationale de l'Energie consacrée aux systèmes solaires combinés. Ceci indique un fonctionnement très moyen du système (hors appoint), et notamment de la récupération d'énergie solaire, liée essentiellement à une capacité de stockage pour l'énergie solaire faible par rapport à la surface de capteurs solaires. Cela résulte du choix du fabricant qui a conçu son produit en privilégiant la compacité et un faible encombrement.

La dispersion des points observée est liée aux différences de mise en œuvre, de température de fonctionnement notamment au niveau des circuits de distribution de chauffage, de réglages, etc....

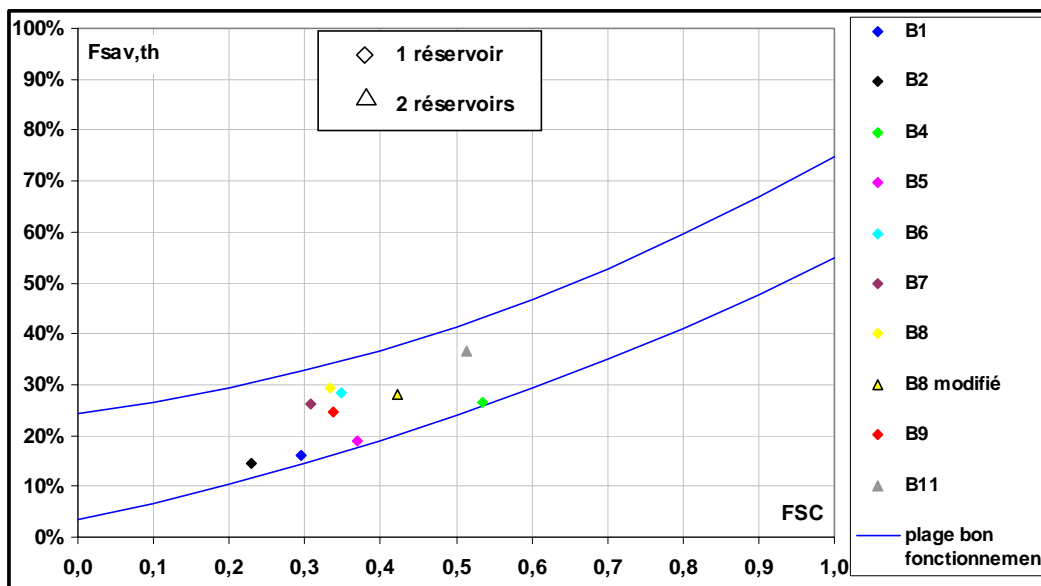


Figure 9 : Résultats en entrée du générateur d'appoint

Dans la figure 9, nous avons utilisé les mêmes indicateurs que pour la figure 8, mais évalués à l'entrée du générateur d'appoint. La référence prise en compte est une chaudière basse température pour le gaz et le fioul.

Les points représentatifs sont positionnés par rapport à une plage qui représente l'enveloppe des résultats obtenus par simulation dans le projet 26 (plage de bon fonctionnement). La courbe supérieure bleue correspond au

système le plus performant simulé dans le projet 26, la courbe inférieure au moins performant.

Le taux d'économie intègre donc maintenant le comportement et la qualité du générateur d'appoint, en comparant avec un système conventionnel de référence.

Si on compare cette figure avec la précédente, on peut faire les observations suivantes :

- Les SSC avec une chaudière gaz condensation en appoint (toutes sauf la B10) ont un taux d'économie nettement amélioré, du fait du gain supplémentaire apporté par ce générateur en comparaison avec la référence. Ce gain va de 6 à 12 points.
- Les installations avec un volume de stockage plus important (B8 modifié et B11) ont les résultats les plus intéressants en termes de taux d'économie (30 à 40 %), surtout si la surface de capteurs solaires est ajustée en conséquence. Ici, l'installation B11 dispose de 14 m² de capteurs, alors que la B8 modifiée n'en a que 9,4. Cette dernière surface un peu trop basse ne permet pas au capteur de "profiter" pleinement de la capacité de stockage disponible, ce qui fait que l'appoint est plus sollicité.

La position des symboles par rapport à la plage projet 26 permet de rendre compte de manière très globale et donc forcément un peu réductrice, des performances atteintes par un SSC, sachant que la position d'un point résulte de l'influence de différents facteurs liés à la conception du système (notamment qualité de l'appoint et du stockage de chaleur), à la qualité de son installation et de ses réglages, sans qu'il soit possible d'identifier très nettement la part de chacun de ces facteurs dans le résultat final.

De manière générale, les éléments suivants sont des facteurs qui tirent les taux d'économie d'énergie vers le haut :

- Utilisation d'une chaudière d'appoint basse température, ou mieux, d'une chaudière à condensation (dans la mesure où le schéma hydraulique permet de valoriser cette condensation (voir point suivant))
- Utilisation de circuits de distribution basse température : de préférence planchers chauffants (ou murs chauffants), radiateurs de grande surface.
- Si deux circuits de distribution fonctionnant à des températures différentes sont utilisés, il faut séparer ces circuits et surtout ne pas réchauffer le retour le plus froid (plancher chauffant) avec le retour du circuit le plus chaud avant raccordement au stockage solaire : un montage commun conduit à une moindre sollicitation du capteur, et donc à une consommation accrue d'appoint.
- La régulation doit piloter le générateur d'appoint, afin de l'arrêter complètement notamment en été lorsque les apports solaires couvrent complètement les besoins en eau chaude sanitaire : on constate sur certains systèmes que la chaudière est maintenue en température en été alors qu'elle ne fournit aucune énergie utile.

6.3 PRODUCTIVITÉ

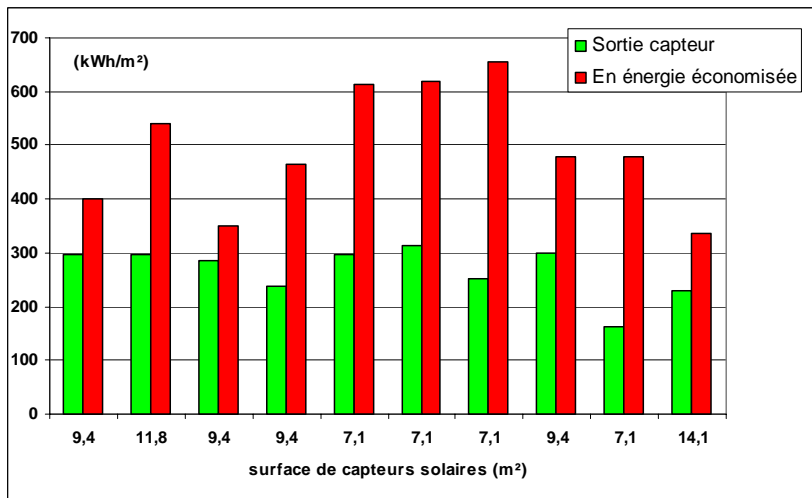


Figure 10 : Productivité en énergie économisée

Il est toujours difficile de donner des chiffres moyens de production solaire pour les systèmes combinés, car ils dépendent à la fois de la "qualité" du système, mais aussi du climat, du dimensionnement de l'installation et des besoins. C'est d'ailleurs pour remédier à cette difficulté que la méthode FSC a été mise au point.

Néanmoins, le graphique 10 donne à titre indicatif les productivités en énergie fournie par le capteur solaire et en énergie finale économisée par m² de surface d'entrée de capteur solaire pour les installations suivies où la mesure de l'énergie d'appoint a été réalisée à l'entrée du générateur d'appoint. (La productivité est le rapport entre l'énergie économisée à l'entrée du générateur d'appoint et la surface des capteurs solaires).

La moyenne des productivités observées est de l'ordre de 490 kWh/m².an (en énergie économisée). Cette valeur élevée découle essentiellement de surfaces de capteurs assez faibles, inférieures à 10 m² pour la plupart des installations, ainsi que du bon rendement des générateurs d'appoint. L'installation B11, qui a une surface qui dépasse 14 m², est celle dont la productivité est la plus basse alors que c'est celle qui atteint le taux d'économie d'énergie le plus élevé.

6.4 CONSOMMATION D'ELECTRICITE DES AUXILIAIRES

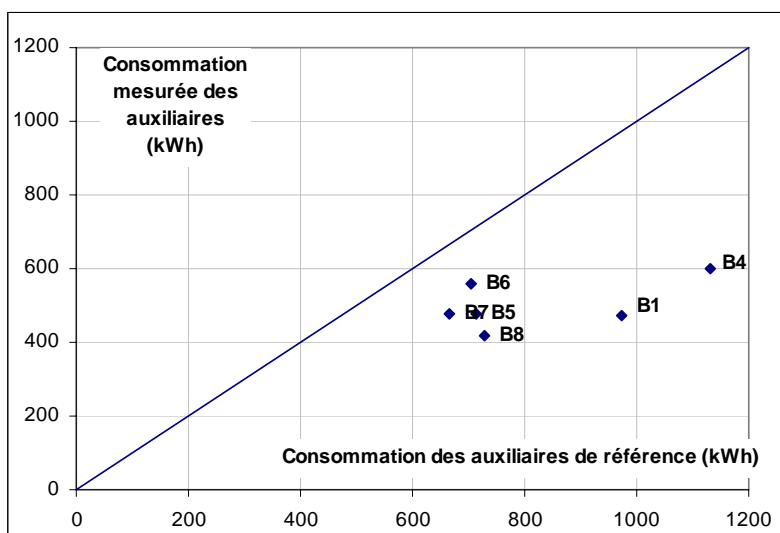


Figure 11 : Comparaison des consommations d'électricité réelle et de référence des auxiliaires

les auxiliaires, puisque malgré la consommation supplémentaire du circulateur du circuit solaire, leur consommation globale reste inférieure à celle du système de référence. C'est le cas pour l'ensemble des installations suivies.

Un SSC consomme de l'électricité pour faire fonctionner tous les auxiliaires : circulateurs, vannes motorisées, régulation. Les constructeurs doivent avoir le souci d'optimiser cette consommation, afin que l'économie d'énergie thermique d'appoint apportée par le système ne se fasse pas au prix d'une consommation d'électricité exagérée.

Pour les installations où cette consommation des auxiliaires a pu être mesurée, le graphique 11 compare les valeurs mesurées avec la consommation des auxiliaires de l'installation de référence. Les points situés sous la diagonale correspondent à des installations gérant correctement

7 CONCLUSION

Besoins thermiques des maisons

Il y a quelques années, le programme d'évaluation des CESI, piloté par l'ADEME, a mis en évidence de manière assez générale des surdimensionnements des capteurs solaires, liés à une consommation d'eau chaude sanitaire inférieure aux ratios habituellement retenus.

Ici, on retrouve des consommations d'eau chaude sanitaire assez faibles. Par contre, les besoins de chauffage des maisons instrumentées sont en général supérieurs aux valeurs requises par la réglementation thermique actuelle (qui s'applique aux maisons neuves), car les SSC sont souvent mis en place dans des maisons existantes et de toute manière avec des conditions de confort (température ambiante) supérieures à celles préconisées par la réglementation (19 °C). Cette situation conduit à un écart important entre les besoins d'hiver et ceux d'été, ce qui, combiné à des surfaces de capteurs solaires assez réduites, fait que les taux d'économie d'énergie thermique mesurés ne dépassent pas 30 % pour la plupart des systèmes mesurés dans cette étude.

Efficacité des systèmes

Le matériel testé a été conçu par le fabricant avec un objectif de compacité et de faible encombrement, et il est généralement installé avec des surfaces de capteurs de l'ordre de 10 m² ou moins. Le petit volume dédié au stockage de l'énergie solaire conduit à des productivités en énergie solaire fournie par les capteurs assez faibles. Mais l'utilisation de chaudières d'appoint performantes à condensation avec un haut niveau d'intégration permet, par une diminution des pertes de liaisons ainsi que des rendements de génération élevés, d'atteindre une efficacité satisfaisante pour le système global.

Performances globales des systèmes

Pour la plupart des installations, le taux d'économie d'énergie se situe entre 15 et 30 %. Les productivités en énergie économisée sont par contre élevées, mais ce résultat est essentiellement lié aux surfaces de capteurs solaires installées assez faibles (souvent moins de 10 m²)

De manière très globale, pour les installations les plus performantes de ce fabricant, on peut retenir les grands ratios suivants :

Une installation qui fonctionne bien et qui est dimensionnée selon les préconisations du fabricant permet d'économiser de l'ordre de 400 à 600 kWh/m².an par rapport à une installation conventionnelle de référence, soit sensiblement plus que les valeurs obtenues pour un CESI. De plus, cette valeur correspond à des surfaces de capteurs notablement plus importantes, ce qui conduit à des économies d'énergies conséquentes. En effet, avec une surface de l'ordre de 9 m², ce sont 3 600 à 5 400 kWh qui peuvent être économisés annuellement par projet soit 3 à 4 fois plus que pour un simple CESI.

Les consommations d'électricité des systèmes, pour faire fonctionner les circulateurs, les vannes, la chaudière d'appoint, la régulation etc.... sont tout à fait raisonnables et bien maîtrisées.