

SYSTEMES SOLAIRES COMBINÉS

Synthèse du programme

Thomas LETZ -04 juillet 2007

(travaux engagés pour le compte de l'ADEME au sein de l'Asder puis d'INES Education)

RÉSUMÉ

Pour pouvoir disposer d'informations objectives et fiables sur les performances énergétiques des systèmes et mieux connaître les matériels faisant l'objet d'une politique de diffusion soutenue par les pouvoirs publics (plan Soleil), 34 installations de 5 constructeurs ont été instrumentées et suivies sur au moins une année dans sept régions. Un SSC est un système qui fournit de l'énergie pour deux usages (chauffage et eau chaude) à partir de deux sources d'énergie : solaire et appoint.

Une 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. De ce point de vue, il importe, avant d'installer un SSC, de réduire la demande énergétique le plus possible, en agissant notamment sur l'isolation de la maison, afin que la consommation d'énergie conventionnelle résiduelle soit la plus réduite possible.

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

- La consommation d'eau chaude moyenne est inférieure aux ratios habituellement retenus, par exemple dans les calculs réglementaires.
- Les besoins de chauffage sont par contre plus élevés que dans des maisons correspondant aux réglementations thermiques récentes.
- Plus la disproportion entre des besoins de chauffage élevés en hiver et des besoins d'eau chaude faibles en été est marquée, plus 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).
- Environ un tiers seulement des installations ont un fonctionnement satisfaisant quand on le compare aux résultats obtenus par simulation dans le projet "Solar combisystems" de l'Agence Internationale de l'Energie, pour des systèmes complètement optimisés, mis en œuvre dans les règles de l'art et dans des bâtiments correspondant aux réglementations thermiques récentes.
- La productivité en énergie finale économisée est d'environ 270 kWh/m² de capteur solaire pour l'ensemble des installations, mais elle atteint 350 kWh/m².an pour la moyenne des installations les plus performantes. Ces chiffres sont sensiblement plus élevés que pour les CESI. Ceci est d'autant plus intéressant que les surfaces unitaires installées par projet sont 2 à 3 fois plus importantes, alors que le coût d'installation ramené au m² de capteur solaire est du même ordre de grandeur.
- Pour la plupart des systèmes étudiés, des progrès doivent être apportés non seulement au niveau de la qualité de la pose et des réglages, mais également au niveau de la conception des systèmes (schéma hydraulique, logique de régulation)

Les performances sont dans l'ensemble largement perfectibles. Un effort important doit être fait à tous les niveaux pour que les SSC prennent réellement la place à laquelle ils peuvent prétendre dans le développement du solaire en France.

1 INTRODUCTION - OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Dans le cadre du Plan Soleil, l'ADEME a attribué des aides financières aux acquéreurs de systèmes solaires combinés (SSC) jusqu'à fin 2004. Ces systèmes, qui couvrent simultanément une partie des besoins de chauffage et d'eau chaude, présentent une variété de schémas hydrauliques plus grande que pour les chauffe-eau solaires individuels, d'où une complexité plus marquée.

Exception faite des "PSD" qui ont été abondamment mesurés, les performances des SSC en usage réel restent encore mal connues, en France comme dans les autres pays européens. A travers ce programme d'évaluation est recherchée une meilleure connaissance du fonctionnement réel des systèmes, qui permette non seulement d'avoir une vision de la qualité des systèmes, mais également de leurs conditions de mise en œuvre et d'utilisation.

Il s'agit d'augmenter les connaissances sur ces systèmes en fonctionnement réel, qui, jusqu'à 2003, ont peu fait l'objet de mesures sur site.

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.

En s'appuyant sur ce document, l'ADEME a mis en place un programme national d'évaluation des SSC sur sites dans l'optique de disposer d'informations fiables et neutres sur les différents types de SSC commercialisés sur le marché français. Dans ce cadre, l'ADEME a chargé des organismes neutres et indépendants des fabricants concernés d'assurer l'instrumentation et le suivi des systèmes proposés par les constructeurs. En 2002 puis 2003, suite à un appel d'offres européen, les organismes de suivis ont été désignés pour les 5 premiers fabricants volontaires pour participer au programme :

- Armines pour CLIPSOL, GIORDANO et SOLAIRE CONNEXION
- Izuba Energies pour BUDERUS
- COSTIC pour VIESSMANN

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 programme national, chaque organisme chargé de suivis était responsable de la sélection des sites, en lien avec l'ADEME et le constructeur concerné, de l'achat et de la mise en place du matériel de mesure, de l'acquisition des données et de leur mise en forme avant traitement par l'ASDER. L'objectif de départ était d'obtenir un bilan le plus neutre possible, sans interférer ni sur les conditions de mise en œuvre du matériel, ni sur les réglages apportés par l'installateur.

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.

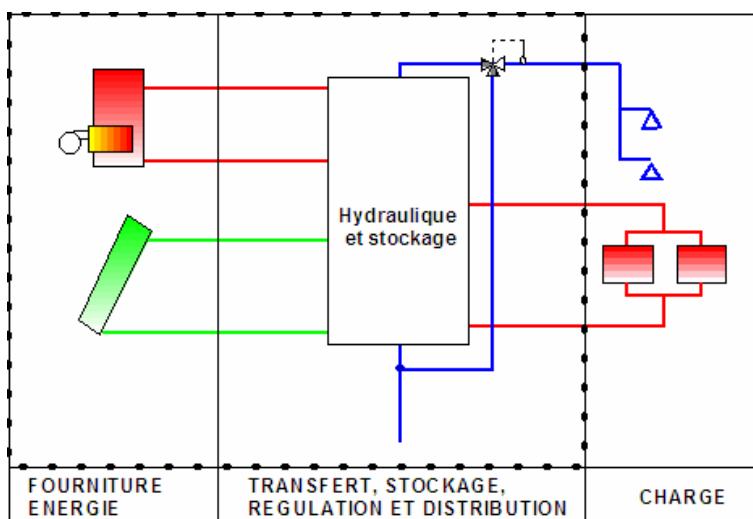
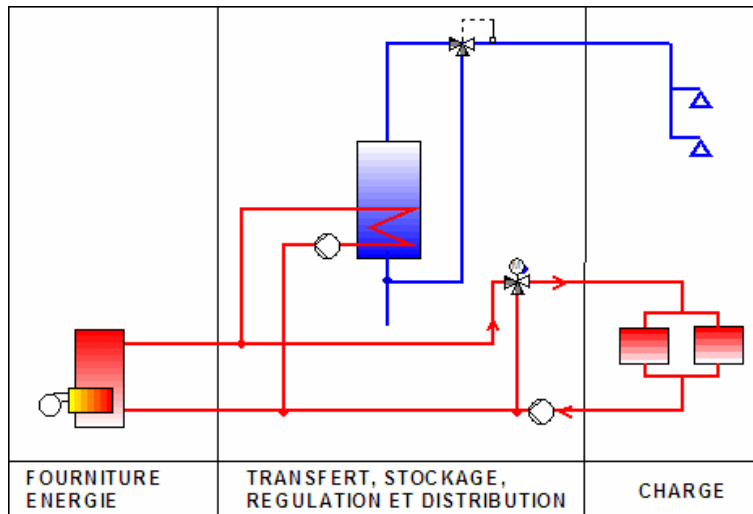


Figure 1 : Schéma de principe d'un SSC (limites du système en pointillés)

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 2000 ont été définis dans ce but.



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)

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

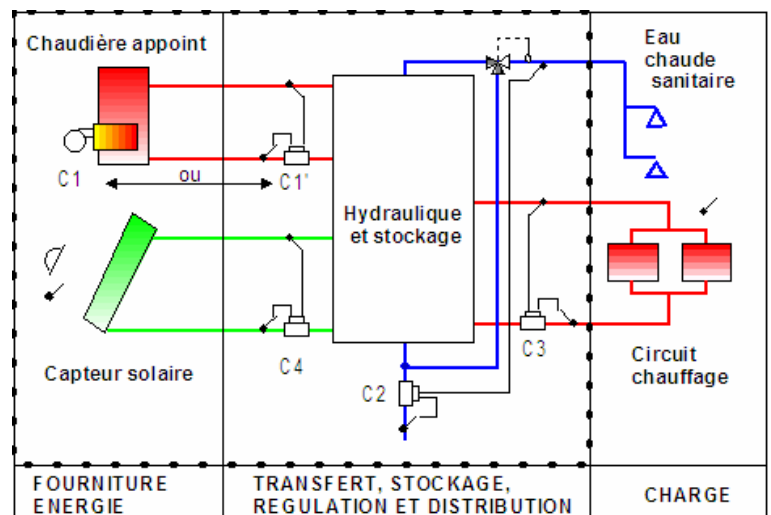
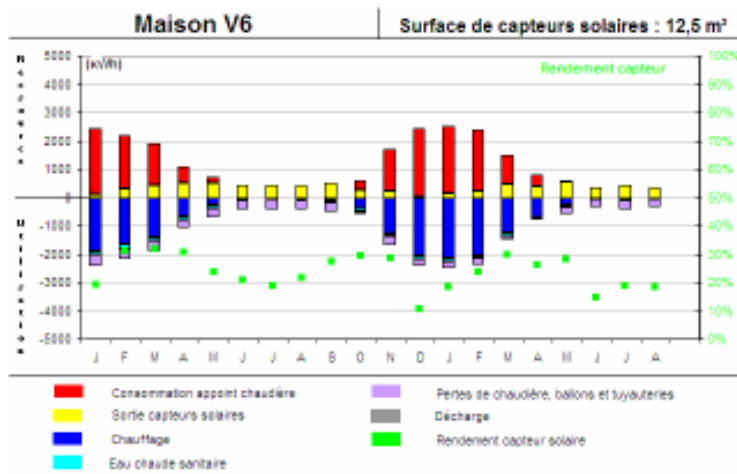


Figure 3 : Schéma de l'instrumentation



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

Figure 4 : Bilan thermique d'une installation

4 DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

La campagne de mesures a débuté fin 2003 pour les premières installations et s'est terminée fin 2005. Pour les installations dont le suivi a démarré le plus tôt, on dispose de durées de mesures qui peuvent atteindre 2 années. L'analyse des résultats annuels glissants permet alors de mettre en évidence l'influence des modifications éventuelles apportées sur l'installation.

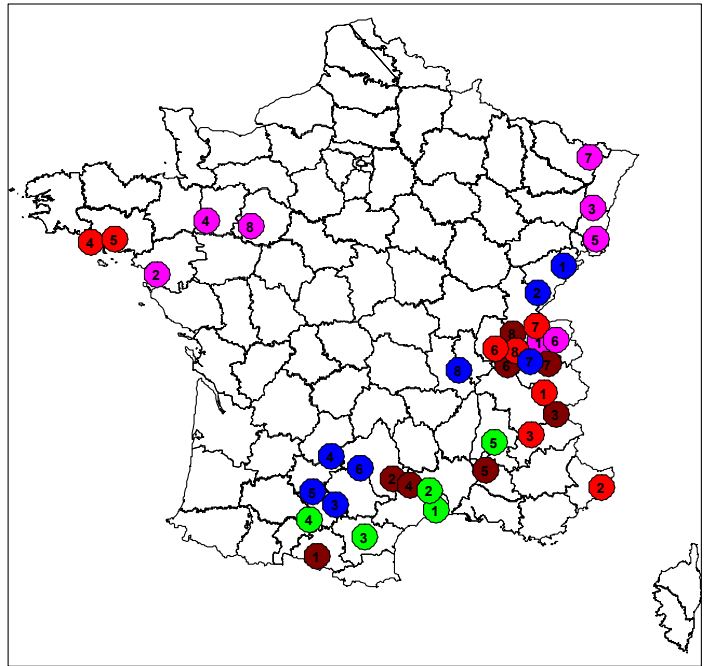


Figure 5 : Localisation des installations instrumentées

Site	Surface habitable m ²	Energie d'appoint	Surface capteurs m ²	Orientation (1) degrés	Inclinaison (2) degrés	plancher chauffant	radiateurs	appoint sortie chaudière	SSC en volume chauffé	utilisation appoint bois divisé
A1	126	propane	16	0	60	x				x
A2	120	fuel	16	0	60	x				
A3	103	gaz naturel	20	0	60	x		x		
A4	200	fuel	24	0	60	x				
A7	126	électricité	14	0	60	x		x		x
A8	250	fuel	26	0	60	x		x		
B1	153	gaz naturel	14.8	0	33	x			x	x
B2	164	électricité	13.0	0	30	x				x
B3	116	électricité	14.0	-5	60	x				x
B5	153	propane	19.4	0	60	x			x	
B6	169	propane	16.2	10	35	x	x			
B7	136	fuel	16.2	0	45	x				
B8	160	électricité	14.8	0	50	x				x
C1	130	fuel	13.2	-25	35	x	x			
C2	130	fuel	8.8	-10	30	x	x			
C3	102	gaz naturel	8.8	50	18		x			
C4	120	fuel	19.8	30	40		x			
C5	170	PAC	11.0	0	45	x	x			
C6	150	fuel	13.2	40	38	x	x			
C7	146	élec	13.2	0	35	x				
C8	120	gaz naturel	11.0	70	30	x	x			
D1	252	propane	20.0	0	45	x	x			
D2	160	gaz naturel	15.0	0	45	x				
D3	180	gaz naturel	15.0	0	45	x	x		x	
D4	168	fuel	15.0	0	45	x				
D5	170	gaz naturel	17.5	0	45	x	x		x	
D6	170	fuel	12.5	22.5	35	x				
D7	130	gaz naturel	10.0	0	40	x	x		x	
D8	193	gaz naturel	12.5	22.5	45	x	x			
E1	210	fuel	15.4	-20	51		x	x		x
E2	110	électricité	11.0	0	45		x			
E3	200	bois	22.0	0	50	x	x	x		
E4	180	propane	8.8	30	55	x		x		x
E5	140	gaz naturel	13.2	0	55	x		x		

Tableau 1 : Caractéristiques principales des installations suivies

(1) : par rapport au Sud, + vers l'ouest, - vers l'est

(2) : par rapport à l'horizontale

Parmi les 34 installations, 32 donnent des résultats exploitables. Pour certaines d'entre elles, les résultats annuels ont été extrapolés à partir de séquences de mesures de plusieurs mois, selon une méthode proposée dans le guide méthodologique de suivi.

Dans certains cas, des défaillances de la métrologie ont affecté les mesures. Les données manquantes ont alors été reconstituées à partir d'autres mesures disponibles.

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, conforme à la réglementation thermique RT2000 :

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

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

Sur les deux graphiques suivants sont portés les besoins spécifiques en chauffage et en eau chaude sanitaire, par m^2 de surface habitable. On remarque que les besoins de chauffage sont relativement élevés (environ la moitié des maisons ont un besoin supérieur à $80 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$) alors qu'inversement les besoins en eau chaude sanitaire sont très faibles. Ainsi, pour la quasi-totalité des sites, on observe des besoins inférieurs au chiffre habituellement retenu dans les calculs réglementaires ($21 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ selon Th-C 88) et pour la moitié d'entre eux, le besoin est moitié moindre que cette valeur moyenne.

Contrairement à ce qui leur avait été demandé, certains propriétaires ont utilisé de manière plus ou moins fréquente des appoints bois (cheminées ou poêles). Sur le graphique, ces installations sont représentées par des barres hachurées, avec des hachures dont l'épaisseur est fonction de l'utilisation de ces appoints, en fonction des indications données par les suiveurs. Ces appréciations sont forcément très qualitatives, aucune mesure de la quantité de bois consommée n'ayant été effectuée. Les hachures larges (respectivement étroites) correspondent à

une utilisation significative (respectivement réduite). Les hachures ne sont représentées ici que pour montrer que les besoins très bas observés pour certaines maisons ne sont pas liés à des qualités élevées des enveloppes, mais bien à l'utilisation de ces appoints bois non comptabilisés dans les mesures de besoins de chauffage.

Cette disproportion entre les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire rend délicat le dimensionnement des surfaces de capteurs solaires : en effet, il y a un écart de magnitude très important entre les besoins d'été et les besoins d'hiver, ce qui est à l'opposé des variations mensuelles d'irradiation. Dans ces conditions, il est illusoire d'espérer 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.

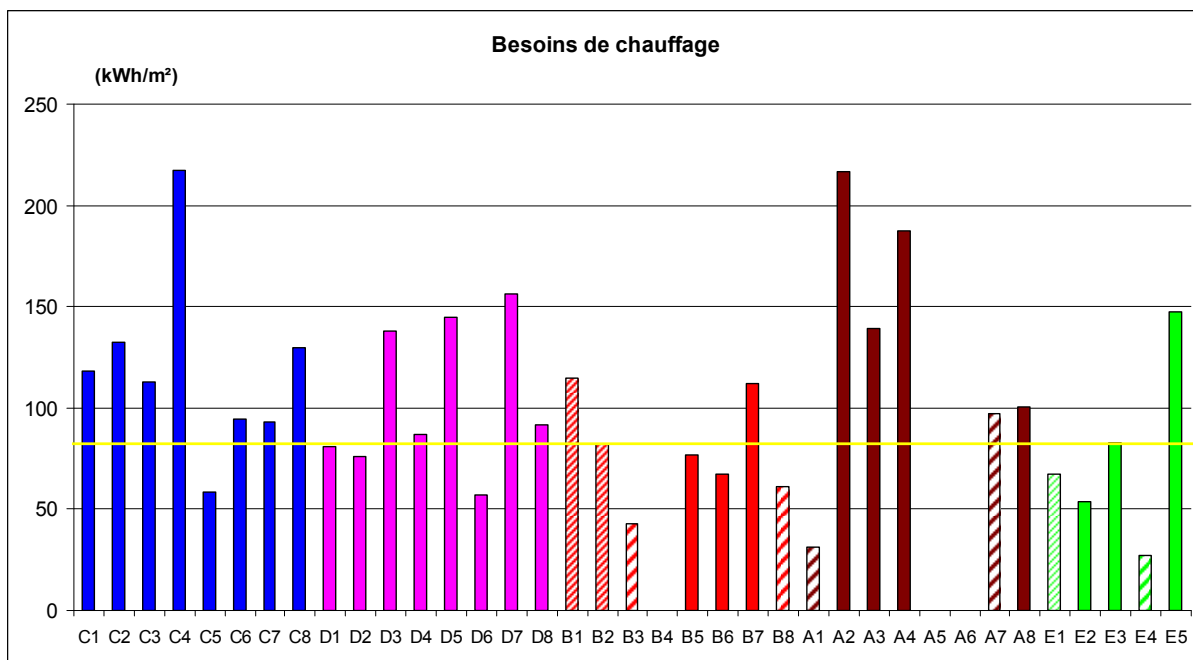


Figure 6 : Besoins annuels de chauffage

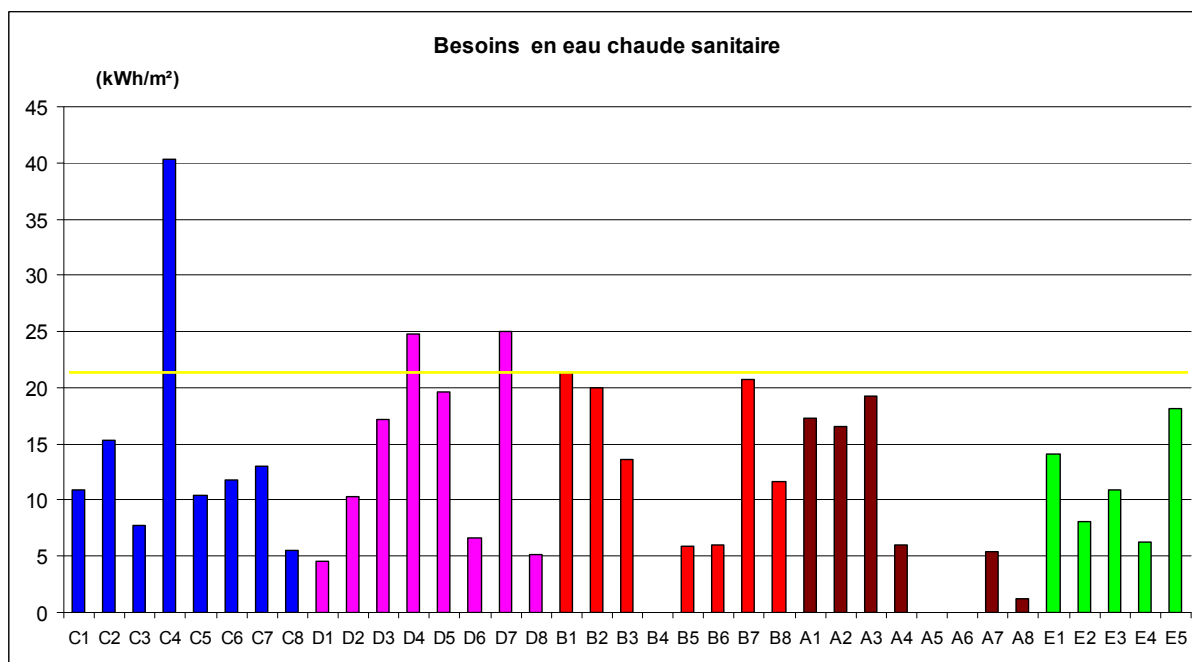


Figure 7 : Besoins annuels d'eau chaude sanitaire

Le dimensionnement des capteurs solaires est fait de manière relativement "classique" (1 m² de capteur solaire pour 10 m² de surface chauffée), puisque le ratio constaté surface de capteurs solaires / surface habitable varie entre 6,5 % et 20 %, avec une moyenne à 10 %.

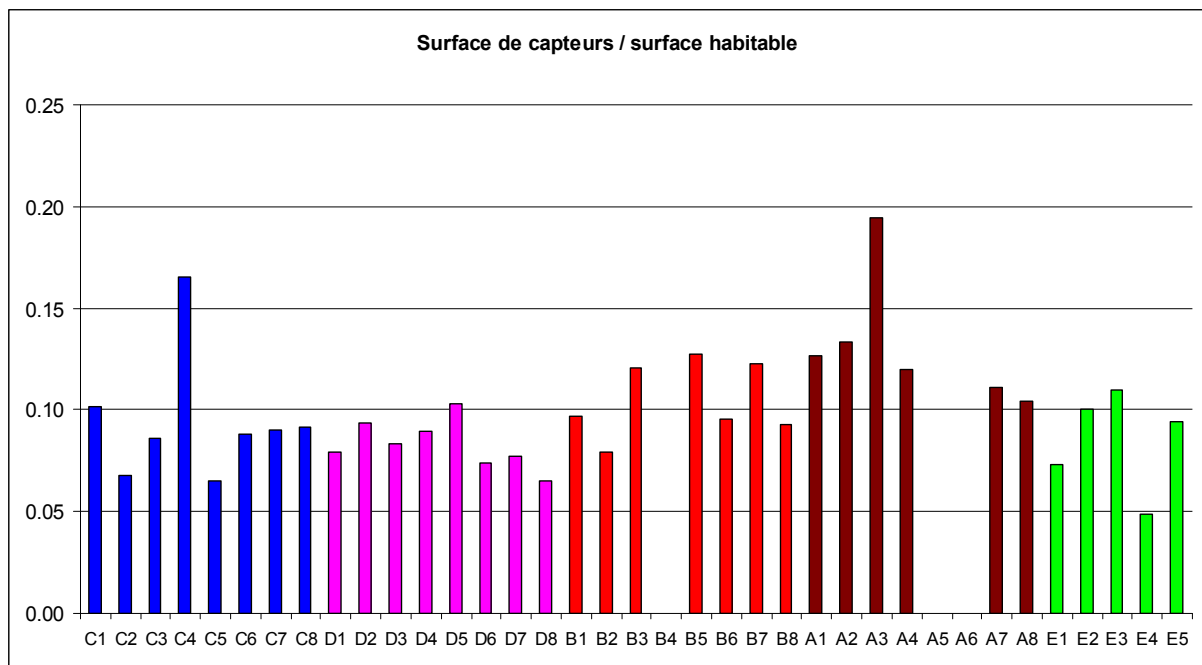


Figure 8 : Ratios surface de capteurs solaires / surface habitable

Cela dit, ce paramètre souvent mis en avant n'est pas très significatif, car il ne tient compte ni du climat, ni des caractéristiques de la maison. Il est plus intéressant d'analyser le rapport entre la ressource disponible (irradiation sur la surface totale des capteurs solaires) et la charge (besoins de chauffage + besoins d'eau chaude) (figure 9) : en éliminant les maisons dans lesquelles un appoint bois a été utilisé, on observe une dispersion plus marquée, avec une moyenne sensiblement égale à 1. Cette dispersion correspond à celle qu'on verra plus loin sur les valeurs de FSC.

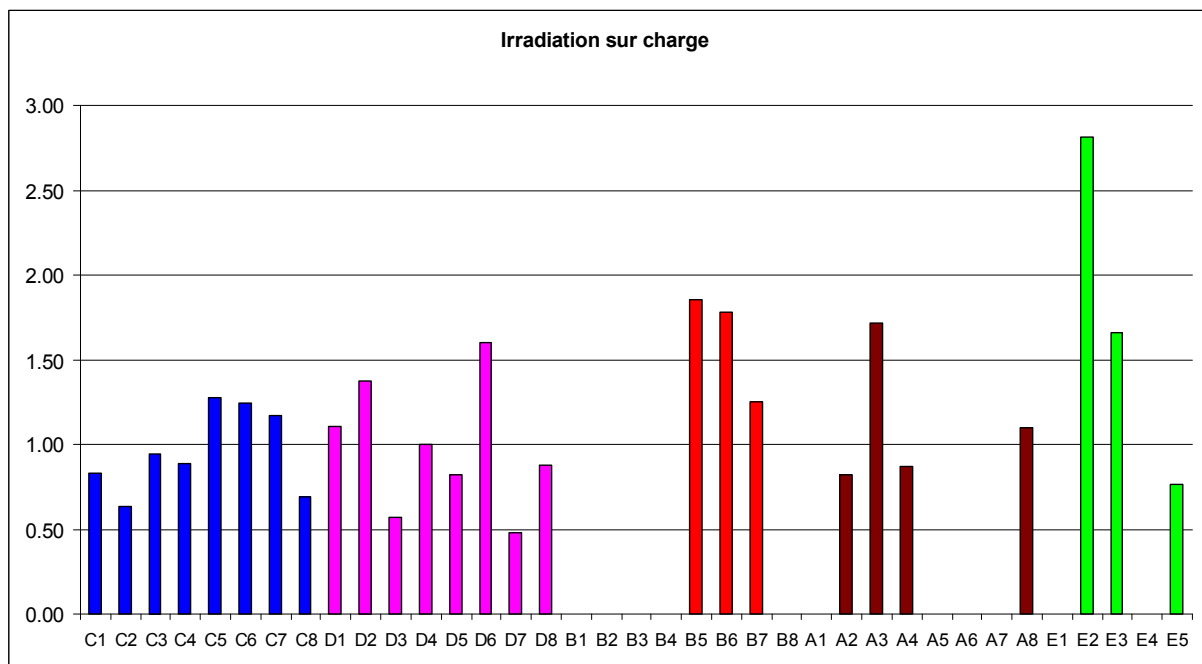


Figure 9 : Ressource solaire disponible sur charge

6.2 RESULTATS GLOBAUX

Le graphique de la figure 10 synthétise l'ensemble des résultats annuels obtenus. Pour chacun des constructeurs, le nuage de points reprend la dernière année de mesure disponible pour chaque installation. Nous avons également fait figurer pour chaque constructeur le barycentre des points représentatifs de ses installations, représenté par le symbole "moyenne". Les points représentatifs sont positionnés par rapport à une plage qui représente l'enveloppe des résultats obtenus par simulation dans le projet 26 Solar Combisystems. 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. La courbe supérieure verte correspond au système le plus performant simulé dans le projet 26, la courbe inférieure au moins performant.

La position des symboles par rapport à la plage projet 26 permet de rendre compte de manière très globale et donc forcément simplificatrice, des performances atteintes par les installations d'un constructeur donné, sachant encore une fois que la position d'un point résulte de l'influence de différents facteurs liés à la conception du système, à la qualité de son installation et de ses réglages.

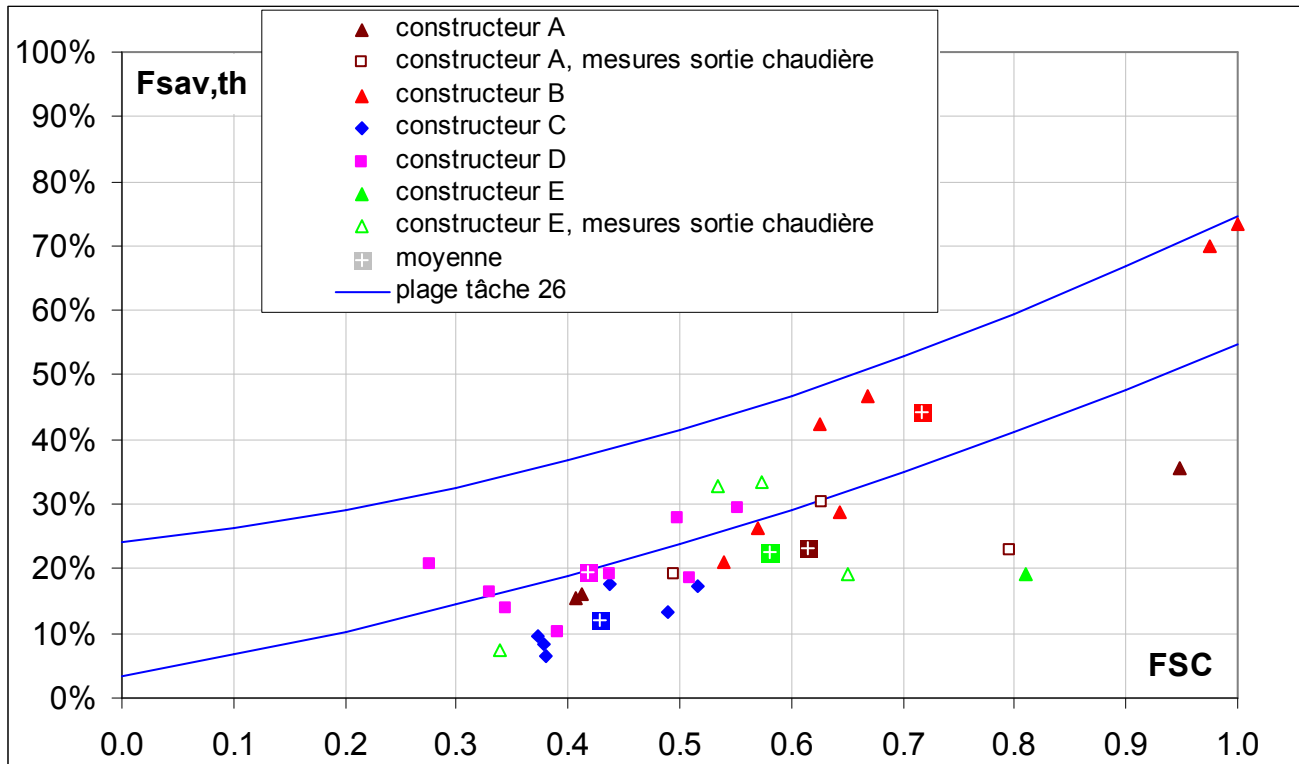


Figure 10 : Synthèse des résultats pour tous les constructeurs

Ce graphique appelle les commentaires suivants :

Pour les constructeurs A et C, les points sont situés sous la plage du projet 26 : cela signifie que la conception des systèmes n'est vraisemblablement pas optimisée : ceci peut être le cas au niveau du schéma hydraulique ou de la régulation donnant priorité à la charge du ballon de production d'eau chaude sanitaire par rapport à la charge du ballon de stockage chauffage.

Pour le constructeur E, certains points sont corrects, alors que les autres sont situés nettement sous la courbe minimale : pour ces derniers, le retour chauffage passe systématiquement par le ballon de stockage. Il est placé trop bas, et réchauffe donc le bas du ballon avec de l'appoint.

Pour le constructeur D, les points sont situés de part et d'autre de la courbe inférieure de la plage. Dans ce cas, la conception générale des systèmes semble correcte, par contre la mise en œuvre n'est vraisemblablement pas toujours bien maîtrisée : isolation absente ou insuffisante, diagrammes hydrauliques non-conformes aux spécifications du fabricant, réglages non optimisés.

Pour constructeur A, les points peuvent être considérés comme satisfaisants.

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

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 11 donne à titre indicatif les productivités 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 270 kWh/m².an. Les barres de l'histogramme avec un trait épais correspondent aux systèmes dont les points représentatifs sont dans la plage projet 26 sur le diagramme $F_{sav}=f(FSC)$ (figure 10). Mis à part deux cas particuliers (climat très favorable, très froid et très ensoleillé pour l'un, et système sous-dimensionné pour le second), les six autres ont une productivité moyenne en énergie économisée de 360 kWh/m². Compte tenu de la moyenne générale de 270 kWh/m².an, ce chiffre montre que pour 2/3 des installations dont les points représentatifs sont en dehors de la plage du projet 26, la productivité n'est que d'environ 230 kWh/m².an. Pour ces installations, la marge de progression est de 50 %.

On peut synthétiser ces résultats de la manière suivante :

"Un SSC bien conçu, bien installé, bien réglé et correctement dimensionné, économise annuellement au minimum 350 kWh en énergie d'appoint (énergie finale) par m² de capteurs solaire".

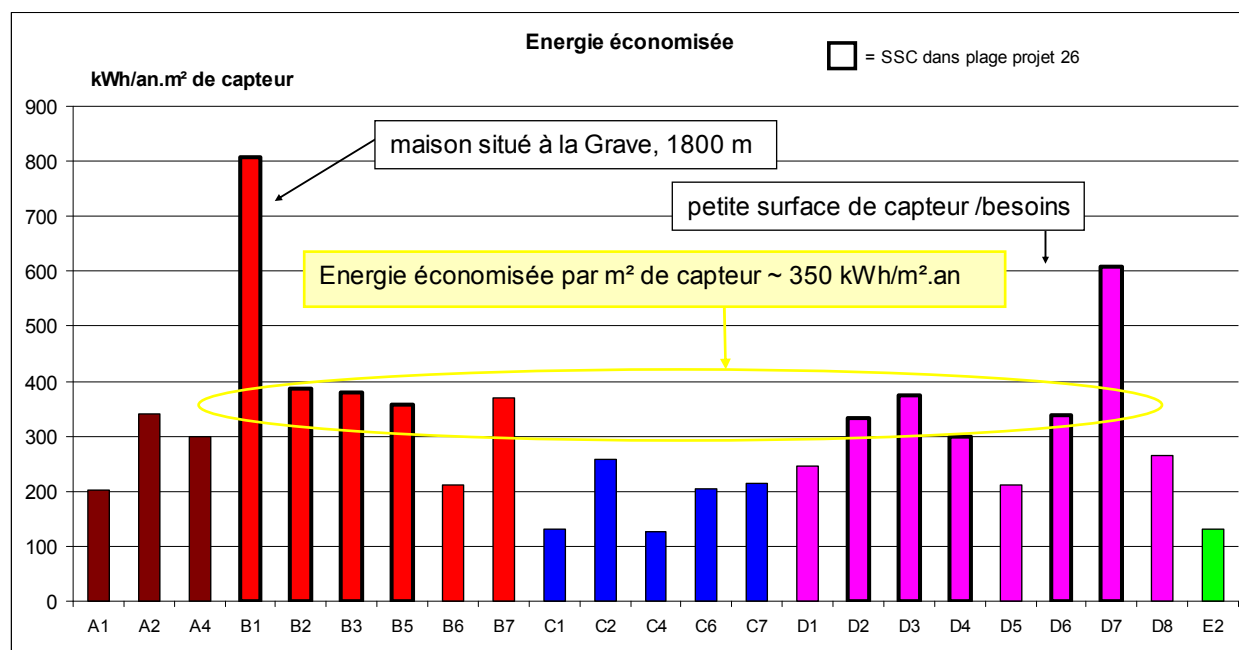


Figure 11 : Productivité en énergie économisée

6.4 CONSOMMATION D'ELECTRICITE DES AUXILIAIRES

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 12 compare les valeurs mesurées avec la consommation des auxiliaires de l'installation de référence. Les points situés sous la bissectrice correspondent à des installations gérant correctement les auxiliaires, puisque malgré la consommation supplémentaire du circulateur du circuit solaire, leur consommation globale reste inférieure à celle du système non solaire de référence.

Il faut noter que les SSC à appoint électrique, regroupés sur l'axe des ordonnées du graphique parfont avec un handicap pénalisés, puisqu'ils consomment de l'électricité pour le fonctionnement de leurs auxiliaires, alors que l'installation de référence comportant des convecteurs électriques et un ballon électrique pour la production d'eau chaude sanitaire n'en consomme pas.

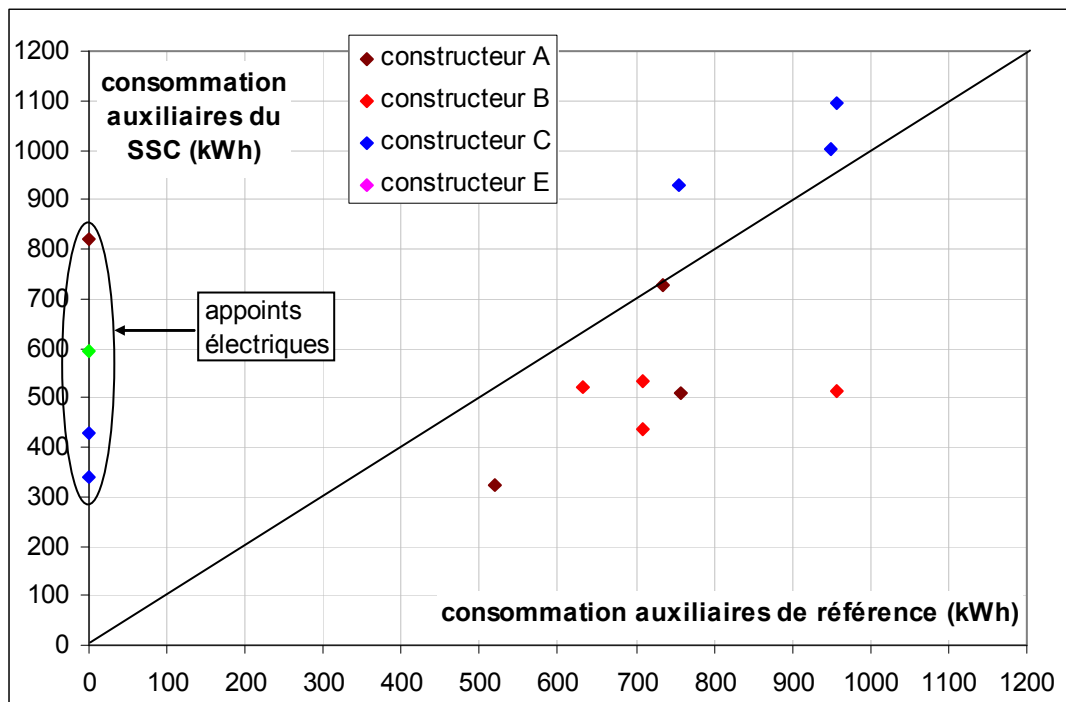


Figure 12 : Comparaison des consommations d'électricité réelle et de référence des auxiliaires

Ils ne devraient donc être envisagés que si le taux d'économie escompté est suffisamment important, et que les économies sur l'appoint thermique sont largement supérieures à la consommation des auxiliaires.

7 CONCLUSION

Tout récemment, 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 ce résultat concernant les consommations d'eau chaude sanitaire. Par contre, les besoins de chauffage des maisons instrumentées sont en général supérieurs aux valeurs requises par la réglementation thermique, car les SSC sont souvent mis en place dans des maisons existantes et de toute manière avec des conditions de confort (T_{amb}) supérieures à celles préconisées par la réglementation ($19\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cette situation conduit à un écart important entre les besoins d'hiver et ceux d'été, qui pénalise donc le taux d'économie d'énergie.

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

- Une installation qui fonctionne bien et qui est dimensionnée correctement permet d'économiser de l'ordre de $350\text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$, 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 15 m^2 , ce sont plus de 5000 kWh qui sont économisés annuellement par projet, soit 4 à 6 fois plus que pour un simple CESI.
- Par contre, il est beaucoup plus difficile de donner un ratio moyen pour le taux d'économie d'énergie, qui, compte tenu de la grande variabilité des projets et des climats, s'échelonne entre 10 et 50%, voire plus dans certains cas très favorables.

Au-delà de ces résultats, le programme d'évaluation SSC sur sites montre à l'évidence que beaucoup reste à faire pour avoir des installations de qualité, qui procurent des économies d'énergie conforme à ce que l'on serait en droit d'attendre et de manière durable.

Le tableau suivant tente une synthèse des éléments à traiter par l'ensemble des intervenants :

- les Espaces Info Energie (ou tout autre conseiller énergie) doivent avoir un certain nombre de conseils présents à l'esprit
- les fabricants doivent intégrer dans leurs systèmes certains principes qui permettront un fonctionnement amélioré et plus cohérent des systèmes.
- les fabricants doivent également veiller à apporter plus d'encadrement technique structuré aux installateurs concernant ces produits pour favoriser une diffusion efficace et de qualité.
- les installateurs doivent s'attacher à réaliser des installations de qualité, simples, respectant les préconisations des constructeurs et avec une isolation soignée.
- enfin, les utilisateurs doivent rechercher la cohérence globale de leur projet, en ayant à l'esprit qu'un SSC n'est qu'un moyen supplémentaire d'économiser l'énergie, une fois qu'un travail suffisant sur le bâti a été effectué.

	Fabricant	Installateur	Utilisateur	EIE
Maîtriser les besoins et les consommations				
Dans l'existant, d'abord diminuer les besoins : amélioration thermique du bâti				
Si chaudière ancienne, la changer, ou prévoir son changement simultanément à la mise en place du SSC				
Implanter le capteur le plus favorablement possible				
Eviter les inclinaisons trop faibles (< 30 °) et les orientations défavorables (hors d'une zone Sud-Sud-Est / Sud-Sud-Ouest)				
Favoriser le fonctionnement du capteur à la plus basse température possible				
Si le capteur peut délivrer alternativement de l'énergie à 2 usages (ECS et chauffage), concevoir une régulation donnant priorité au circuit ayant le plus bas niveau de température				
Si deux émetteurs fonctionnant à des niveaux de température différents sont utilisés, alimenter en solaire uniquement celui ayant le plus bas niveau de température				
Préférer des émetteurs très basse température (planchers chauffants, murs chauffants)				
Réduire les pertes thermiques				
Eviter les circuits de bouclage sur l'ECS				
Couper la chaudière d'appoint s'il n'y a pas de besoins de chaleur				
Isoler les tuyaux (extérieurs et intérieurs)				
Réduire les consommations électriques				
Adaptation des courbes des circulateurs				
Arrêt de la (des) pompes de distribution de chauffage s'il n'y a pas de besoin de chauffage				

Tableau 2 : Implications des différents intervenants dans un projet (le niveau de gris est fonction du degré d'implication)

Ce programme a montré que l'instrumentation et la mesure ne sont pas des luxes superflus dans cette période de développement du marché, et que tous les intervenants ont à gagner à une meilleure connaissance du fonctionnement et des performances des systèmes.

Celle-ci concourt d'une part à faire progresser ces systèmes, d'autre part à les placer dans un cadre de développement similaire à celui de tout produit industriel. Ce dernier point est le seul garant de l'atteinte d'une diffusion à grande échelle avec une maîtrise réelle des systèmes sur toute la chaîne (de la conception au fonctionnement, en passant par la mise en œuvre), avec une qualité reproductible et durable.

--
-