



**Rapport final** du 13.12.2013

---

# **Test de terrain d'un booster solaire d'une puissance de 9kW pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire de maisons familiales**

---

**Mandant:**

Office fédéral de l'énergie OFEN  
Programme de recherche XY  
CH-3003 Berne  
[www.ofen.admin.ch](http://www.ofen.admin.ch)

**Mandataire:**

Energie Solaire SA  
Z.I Iles Falcon  
3960 Sierre  
[www.energie-solaire.com](http://www.energie-solaire.com)

**Auteurs:**

Guillaume Cuvillier, Energie Solaire, [g.cuvillier@energie-solaire.com](mailto:g.cuvillier@energie-solaire.com)  
Montserrat Cornet, Energie Solaire, [m.cornet@energie-solaire.com](mailto:m.cornet@energie-solaire.com)

**Responsable de domaine de l'OFEN:**

Yasmine Calisesi

**Chef du programme de l'OFEN:**

Andreas Eckmanns

**Numéro du contrat de l'OFEN:**

SI/500754-01

Le ou les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Pilotprojektes SI/500754-01 hat Energie Solaire SA ein innovatives System eingerichtet, das eine Luft/Wasser Wärmepumpe mit den Energie Solaires unverglasten Solarkollektoren kombiniert. Das in Flanthey installierte System ist mit Wärmemengenzählern an den Wärmequellen und Wärmebezügern angebracht, ausgestattet worden.

Die Analyse der Energieströme zwischen Wärmequellen, System und Bezüchern hat erhebliche Energieverluste auf mehreren Systemebenen gezeigt.

Eine Analyse des Systembetriebs wurde deshalb durchgeführt und zeigte Wärmepumpenstörungen aufgrund Regelungsprobleme.

Infolgedessen hat Energie Solaire SA den Hersteller (Kioto) über die Situation informiert und versucht, eine Lösung zu finden. Leider sind diese Versuche erfolglos geblieben.

Der Hersteller hat sich letztendlich dafür entschieden, die Systemproduktion zu stoppen.

Unter solchen Umständen hat die Firma Energie Solaire SA keine andere Wahl gehabt, als das Pilotprojekt zu unterbrechen.

Dieser Bericht gilt darum als Zwischen- und Abschlussbericht gleichzeitig.

## Résumé

Dans le cadre du projet P&D SI/500754-01, Energie Solaire SA a étudié un système novateur combinant une pompe à chaleur air-eau et les capteurs solaires non vitrés ESSA. Le système, installé en Valais à Flanthey, a été équipé de compteurs de chaleur au niveau des sources de chaleur et des consommateurs.

L'analyse des flux énergétiques entre sources de chaleur, système et consommateurs a permis d'identifier des pertes importantes à différents niveaux sur le système. Une analyse du fonctionnement du système a donc été réalisée, mettant en avant un fonctionnement incohérent de la pompe à chaleur et ses différents modes de fonctionnement, entièrement dû à la régulation.

Suite à cela, et malgré les tentatives d'Energie Solaire SA auprès du fabricant pour remédier à ces problèmes de régulation, aucune solution n'a pu être trouvée, et le fabricant n'a pas montré d'intérêt pour améliorer ces problèmes. Il a au contraire décidé d'arrêter la production du système.

Dans ces conditions, Energie Solaire SA ne pouvant pas intervenir sur le système Kioto, se voit dans l'obligation d'arrêter le projet P&D, et ce rapport constitue à la fois le rapport intermédiaire et le rapport final.

## Abstract

In the framework of P&D project SI/500754-01, Energie Solare SA has studied an innovative system combining one air-water source heat pump with the ESSA unglazed collectors. Installed in Flanthey, Valais, the system has been equipped with heat counters for the heat sources as well as the consumers.

The energetic exchanges between heat sources, system and consumers have shown important losses, located at different levels of the system. The functioning of the system has been analysed, showing incoherent behaviour of the heat pump, this due to regulation issues.

Energy Solaire SA has tried to contact the supplier to propose solutions for regulation improvements, but the supplier has not shown any interest, and decided to stop producing this system.

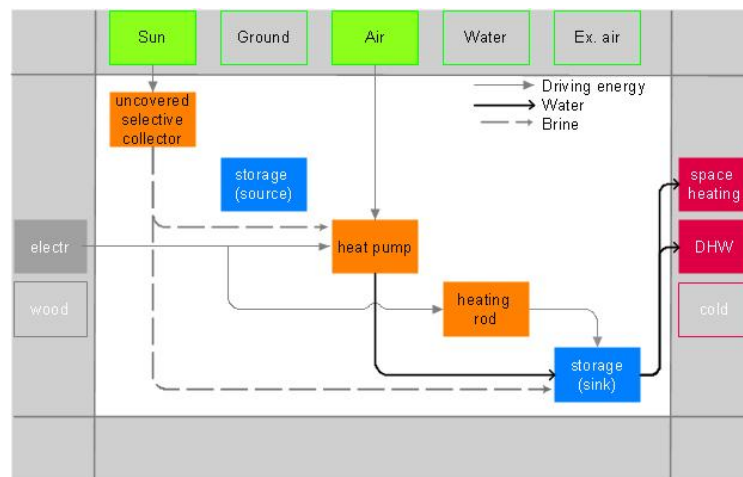
In these conditions, and without any possibility to take part in the regulation improvements, Energie Solaire SA is forced to stop the P&D project. Therefore this report is considered as the intermediary and final report of this project.

# 1 Contexte

En 2008 HEIG-VD a publié le document 'SOL-PAC Analyse des performances du couplage d'une pompe à chaleur avec une installation solaire thermique pour la rénovation' (projet de l'OFEN n°102'321). Ce document démontre le potentiel du couplage de pompes à chaleur avec des capteurs solaires thermiques et un aéro réchauffeur, plus précisément l'utilisation non seulement directe des capteurs solaires, mais également indirecte en les intégrant sur le circuit de l'évaporateur de la PAC. Ce document conclut que les capteurs solaires qui s'avèrent les plus adéquats (meilleur rapport prix/performance) pour ce type de systèmes, sont les capteurs sélectifs non-vitrés d'Energie Solaire SA.

Utilisés à une température proche de la température ambiante, ils sont plus performants que n'importe quel autre type de capteur solaire thermique disponible sur le marché (voir SPF Test n° C420 et C970 Toiture Solaire AS). Grâce à l'absence de vitrage, ils fonctionnent également comme capteurs "hybrides", permettant non seulement des gains thermiques grâce à la conversion du rayonnement solaire, mais également grâce au fonctionnement comme échangeur thermique sur l'air ambiant.

Energie Solaire SA a pris connaissance avec grand intérêt du système 'SONNENHEIZUNG' (SH) développé par la société KIOTO ([www.kioto.com](http://www.kioto.com)). En effet cette entreprise vient de lancer la commercialisation d'un système similaire au système type S2 présenté dans l'étude de l'HEIG-VD précitée.



**Figure 1: energy flow chart' système type S2 – Kioto Sonnenheizung (SH) + ESSA unglazed collector**

Le booster solaire SH de la société KIOTO a tout d'abord été lancé sur le marché autrichien. KIOTO est une entreprise qui vend ses produits OEM à des distributeurs. Energie Solaire SA (ESSA) a pris la décision de signer un accord de distribution du système SH de KIOTO en Suisse. ESSA étant à l'origine concepteur et fabricant de capteurs solaires, elle s'est profilée par la suite sur le marché solaire comme fournisseur de systèmes de chauffage complets & clés en mains. L'alliance avec KIOTO devait permettre à ESSA de proposer sur le marché Suisse un système de chauffage novateur qui paraissait être fait sur mesure pour ses capteurs sans vitrages.

De nombreux systèmes de combinaison de PAC avec des capteurs solaires thermiques pour des installations de chauffage de maisons familiales sont actuellement en développement. Cependant peu de rapports de tests détaillés sur des installations pilotes sont disponibles à ce jour. Avant de lancer la commercialisation des systèmes récemment développés il est crucial d'effectuer des essais sur des maisons pilotes accompagnés d'un suivi détaillé, pour valider ce nouveau type de 'PACs solaires', utilisant des capteurs solaires comme source de chaleur. Ce projet apporte une contribution à la Tâche 44/a38 de IEA, à laquelle Energie Solaire SA participe activement.

## ***1.1 L'Installation Pilote***

Au courant de l'hiver 2011 une maison située à Veyras (rive droite du Rhône) d'une surface SRE d'environ 200 m<sup>2</sup>, et dont l'enveloppe a été complètement assainie dans le cadre du Programme de Bâtiments (isolation périphérique, isolation toiture, isolation contre caves, fenêtres performantes), a été équipée du booster solaire SH. Avant cela une vieille chaudière à mazout servait au chauffage et la production d'eau chaude sanitaire de cette maison composée de deux appartements. Cette ancienne installation de chauffage a fonctionné 1 an après l'assainissement de l'enveloppe, ce qui donne une bonne base de comparaison pour l'installation pilote. La chaudière consommait environ 1'200 litres de mazout par an. La puissance de chauffage nécessaire est de l'ordre de 7 kW. Dans l'appartement du bas la distribution de chauffage se fait par chauffage au sol (T départ max 35°C par T ext - 8°C). Dans l'appartement du haut la distribution de chaleur est réalisée par le biais de radiateurs (T départ max 45°C par T ext -8°C). Un pan de 'Toiture Solaire AS' (SPF Test C970) de 28m<sup>2</sup> orientée plein Sud et inclinée à 70° a été fixée contre la façade du garage, dans lequel le booster solaire prendre place.

## **2 Objectif**

Le projet a pour objectif de tester sur le terrain un système de production de chaleur compact et innovant composé d'une pompe à chaleur solaire utilisant des capteurs sélectifs non vitrés comme source de chaleur directe et indirecte. Concrètement, les moyens mis en place sont :

- La mise en place d'un système d'acquisition de mesures
- Le suivi des paramètres d'apport et de consommation d'énergie

L'intérêt de ces mesures était également de les comparer avec les modèles de simulation et le concise cycling test du SPF, Rapperswil.

Finalement, la validation économique du système.

### 3 Procédure & Methodologie

#### 3.1 Description de l'installation

L'hydraulique de l'installation se présente comme suit, avec d'un côté les sources d'énergie (Ventilateur extérieur, champ solaire, électricité non schématisée), et de l'autre côté les consommateurs (ECS instantanée et deux circuits de chauffage), avec au centre la pompe à chaleur et l'accumulateur.

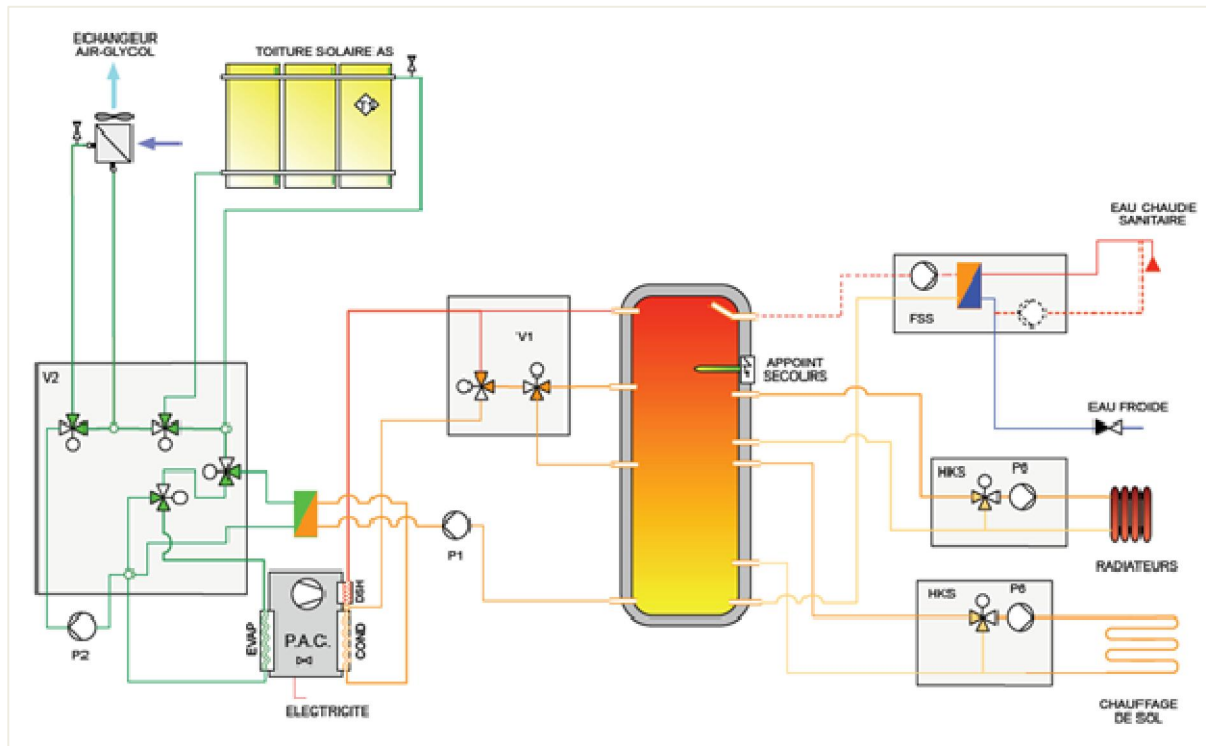


Figure 2: Schéma de l'installation

Les deux sources de chaleur combinées:

- L'échangeur air/glycol (40 % de glycol)
- Les capteurs solaires/échangeurs surface : 28 m<sup>2</sup>



Picture 2: Ventilateur extérieur



Picture 1: Champ solaire

Les consommateurs:

- L'eau chaude sanitaire (et la boucle de circulation)
- Le chauffage au sol
- Les radiateurs

Le système combiné PAC/accumulateur :



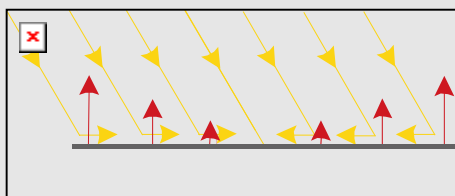
**Picture 3: Système Kioto:  
Accumulateur et PAC**

### ***3.2 Les capteurs sélectifs sans vitrage***

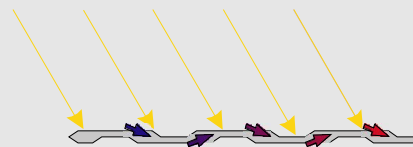
Sur le pan de toit orienté Sud et incliné à 70°, 28 m<sup>2</sup> de surface active, de capteurs solaires sélectifs sans vitrage, de type Toiture Solaire AS, assurent la fonction de capteurs et d'échangeurs de chaleur sur l'air ambiant.

#### ***La double fonction des capteurs solaires sélectifs sans vitrage***

*L'absorbeur solaire thermique d'Energie Solaire SA (ESSA) présente une géométrie de coussins qui permet une irrigation complète de la surface de l'absorbeur. Ceci lui confère de meilleures propriétés d'échangeur thermique qu'un absorbeur conventionnel à tubes et ailettes (valeur  $f'$  nettement plus élevée)*



Absorbeur à tube & ailette



Absorbeur à irrigation complète

*De plus cet absorbeur est revêtu d'une couche hautement sélective, qui convertit de façon optimale le rayonnement solaire en énergie thermique, tout en maintenant une faible émissivité dans le spectre IR.*

*Grâce à ces propriétés, et à l'absence d'un vitrage, la courbe de rendement des capteurs sélectifs sans vitrage d'ESSA a un coefficient optique de 0.95, bien supérieur à n'importe quel capteur plan vitré. Comme les capteurs sans vitrages ne sont pas intégrés dans un boîtier isolant, les pertes thermiques sont plus élevées, dès que la température du capteur solaire est*

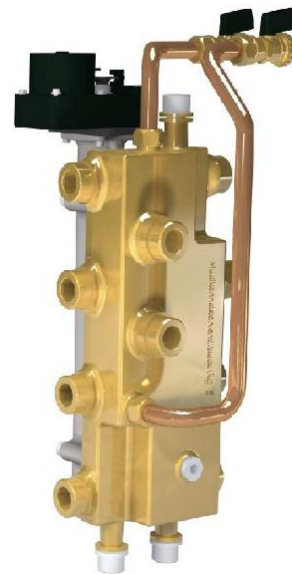
*nettement plus élevée que la température ambiante*

*C'est donc un type de capteur idéal pour l'utilisation à des températures relativement proches de la température ambiante. Grâce à l'absence de vitrage les capteurs sélectifs d'ESSA (capteur AS et Toiture Solaire AS) peuvent également être utilisés comme échangeur de chaleur sur l'air ambiant, permettant ainsi des gains thermiques par effets de convection, de condensation, de givrage, ... Ces gains de chaleur sensible et latente peuvent être idéalement mis à profit en combinaison avec un volume de stockage de chaleur à changement de phase eau/glace.*

### **3.3 Le système Kioto : Pompe à chaleur et accumulateur**



**Picture 5: Système Kioto**



**Picture 4: Vanne Kioto sources de chaleur**

Le système combine à la fois l'accumulateur de chaleur, la pompe à chaleur, le groupe hydraulique principal et les organes de régulation. Entre autres, la vanne multidirectionnelle responsable de la direction des flux de chaleur entre sources et consommateurs est un nouvel élément développé et breveté par Kioto pour ce zonnenheizung

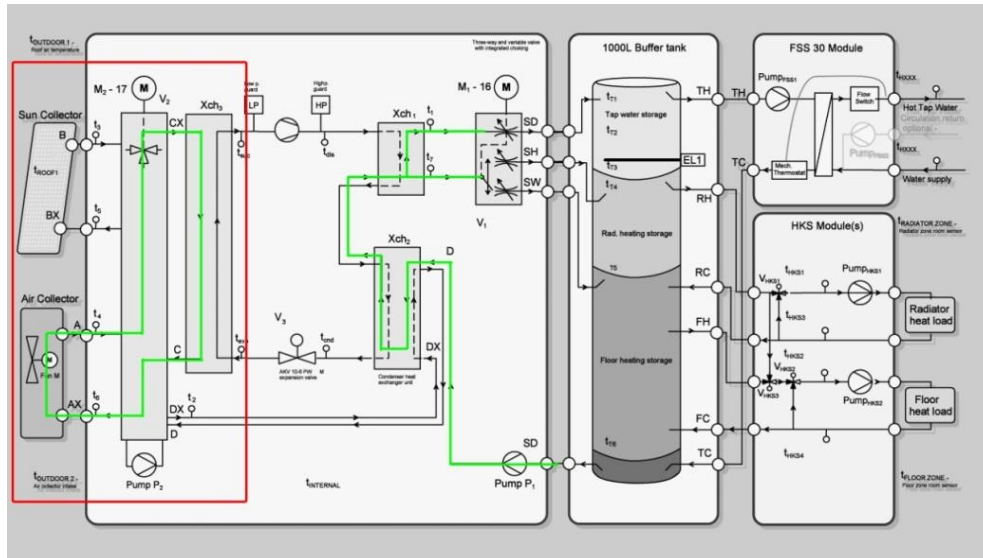
### **3.4 Principe de fonctionnement**

On distingue 5 modes de fonctionnement: (Flèches représentant la production de chaleur depuis la source vers le consommateur)

1. Source de chaleur Air → Pompe à chaleur → Accumulateur (cf figure ci-dessous)
2. Source de chaleur Air → Solaire en série → Pompe à chaleur → Accumulateur
3. Source de chaleur solaire → Pompe à chaleur → Accumulateur
4. Source de chaleur solaire → Accumulateur (voir figure ci-dessous)
5. Dégivrage de l'échangeur de chaleur à air extérieur (voir figure ci-dessous)



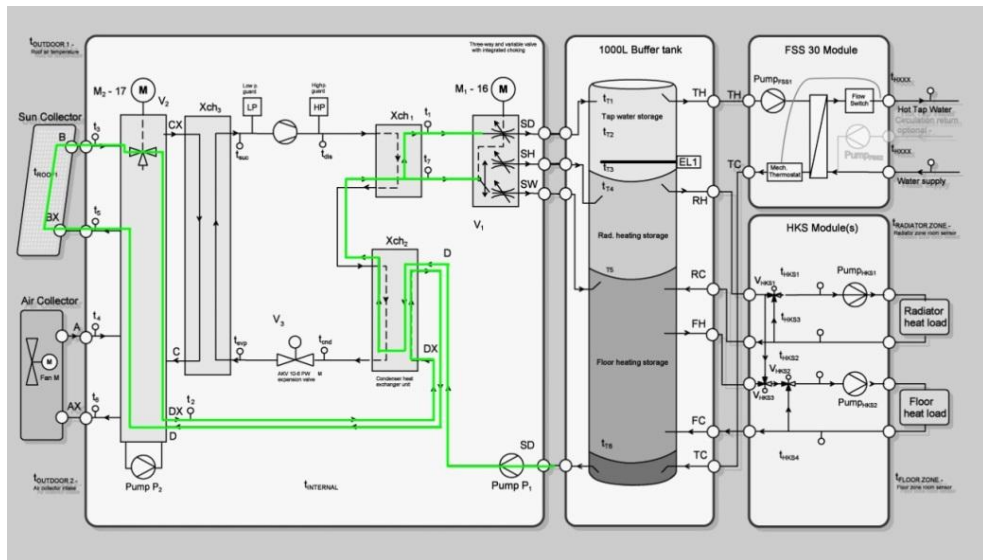
Les modes de fonctionnement 1 à 3 correspondent à l'utilisation de la PAC, avec comme source de chaleur le choix de la plus optimale pour la pompe à chaleur (Solaire ou Air), ou une combinaison des deux.



**Figure 3: Mode de fonctionnement 1 – Air→PAC→Accumulateur**

Dans les modes 2 et 3, le fluide du côté source passe par les capteurs solaires et éventuellement également dans l'échangeur à air.

Le mode de fonctionnement en charge solaire direct est présenté dans la figure suivante. La charge de l'accumulateur se fait alors comme dans un système solaire standard.



**Figure 4: Mode de fonctionnement 4 - Solaire→Accumulateur**

Le dernier mode de fonctionnement correspond au dégivrage de l'échangeur à air, pour lequel le bas de l'accumulateur est utilisé en décharge pour un apport d'énergie minimal nécessaire au dégivrage.

La charge de l'accumulateur est faite aux trois niveaux correspondants aux trois niveaux de consommation.

Les trois consommateurs de chaleur du système sont l'eau chaude instantanée, le chauffage à haute température et le chauffage à basse température.

### 3.5 Simulations du système

La société Kioto a développé son propre outil de simulation. La simulation du système installé donne les résultats suivants :

Désignation	Variable	Formule / Origine	Valeur	Unité
Surface brute	BGF	Certificat énergétique	200	m <sup>2</sup>
Besoins Chauffage	Q <sub>h</sub>	Certificat énergétique	14000	kWh/a
Besoins Eau Chaude Sanitaire	WWWB	Certificat énergétique	4818	kWh/a
Besoins Totaux	Q <sub>ges</sub>	Q <sub>h</sub> + WWWB	18818	kWh/a
Energie thermique utile donnée par le Système	Q <sub>SH</sub>	Simulation (5)*	19423	kWh/a
Consommation électrique du Système	EE	Simulation (6)	4941	kWh/a
Coefficient de performance annuel du Système	SPF	Q <sub>SH</sub> /EE	3.93	-

\*résulte de Q<sub>ges</sub>; Ajustement de la quantité de chaleur selon les limites du système de pompes à chaleur air ordinaires

Etant donné l'emplacement de notre installation, et l'ensoleillement attendu, l'objectif pour notre projet en se fiant à ces simulations était donc d'obtenir un coefficient de performance annuel (SPF) aux alentours de 4.

### 3.6 Acquisition de données

Les mesures ont été faites sur les producteurs et les consommateurs, et malheureusement le fonctionnement interne de l'appareil Kioto n'a pas été accessible, le fournisseur ne permettant pas de sauvegarder les données de fonctionnement. Cependant, une lecture en temps réel étant possible, différentes analyses ont été menées sur le système pendant des périodes déterminées.

Sur chaque circuit hydraulique, ont été placés des débitmètres et sondes de températures sur l'aller et le retour, afin de calculer les quantités d'énergie échangées.

Un suivi de la consommation électrique sur un compteur séparé a été fait sur un compteur séparé exclusivement dédié à l'installation.

Une station météo a été installée offrant les données nécessaires à la compréhension du fonctionnement du système. L'ensoleillement, la température, la pluie et le vent pendant la période de mesure sont donc accessibles.

Chaque compteur de chaleur est relié à un système d'acquisition de données qui permet de sortir à intervalles réguliers les données résumées dans un tableur, avec un détail de mesures à 5 minutes.

Dans les résultats, la boucle de circulation est considérée comme une consommation utile étant donné qu'elle représente une prestation de confort

## 4 Résultats/Enseignements

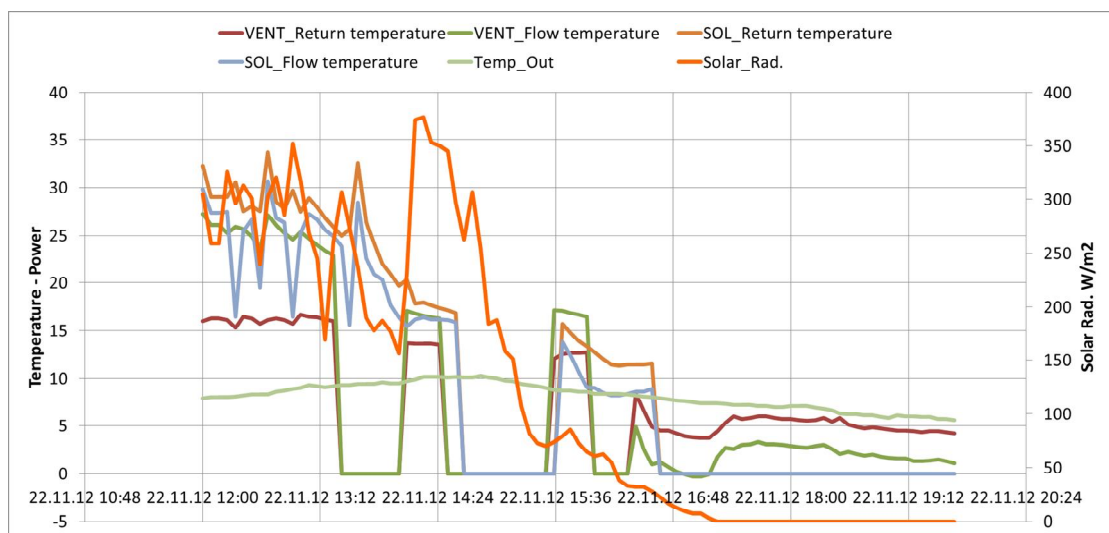
L'échantillonnage de mesure était prévu pour être continu sur toute l'année, mais n'a pas pu être réalisé comme prévu. En effet, le système ayant rencontré certaines pannes, seulement une partie de l'année a pu être suivie. Nous verrons dans ce chapitre les différents points importants qui ont rapidement attiré notre attention, montrant entre autres des anomalies de fonctionnement.

### 4.1 Flux échangés – Comportement du système

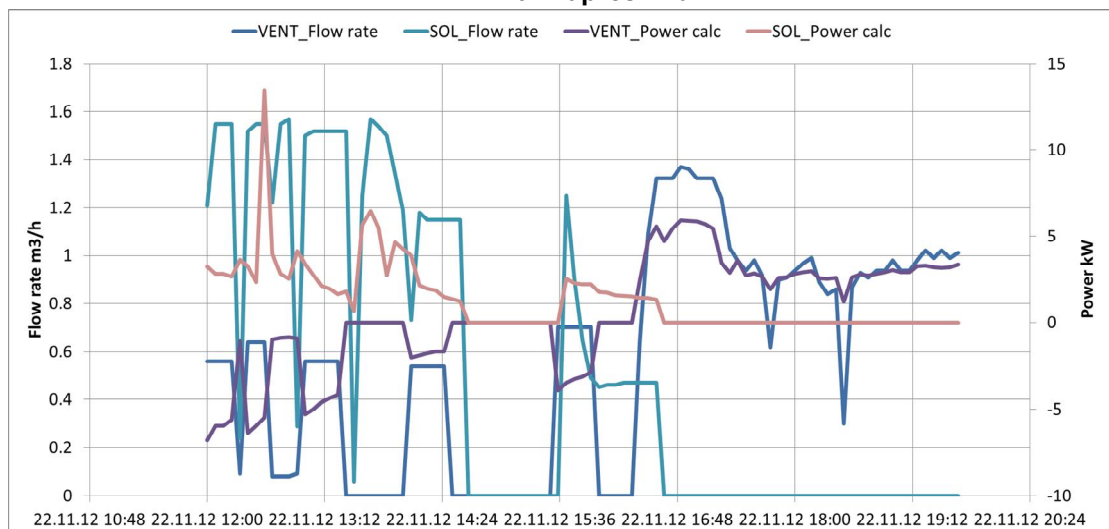
Le fonctionnement en mode solaire direct ne montre pas de problème particulier.

Seulement, lorsque le système doit choisir entre les trois premiers modes, et donc faire fonctionner la pompe à chaleur et gérer les potentielles sources de chaleur (solaire, air, combinaison des deux), on constate différents problèmes de pertes énergétiques importantes par le système. Les flux énergétiques entre les sources de chaleur mènent effectivement à des pertes directes de l'un vers l'autre. Le passage d'un mode de fonctionnement à un autre occasionne également des pertes dans le système et se produit très souvent. Ce second problème sera analysé par la suite.

Les deux graphiques suivants montrent les mesures effectuées sur l'installation lors d'une journée de faible ensoleillement, donc sans solaire direct, mais mettant en œuvre les modes de fonctionnements 1 à 3.



**Figure 5: Exemples de températures aller/retour des sources de chaleur (Solaire et Air) – 21.11.2012 après midi -**



**Figure 6: Exemple de puissances échangées au sein du système – 21.11.2012 après midi -**

Dans ces deux graphiques, on voit l'ensoleillement ne permettant pas de solaire direct, mais une aide à la pompe à chaleur. La température de l'air extérieur permet d'utiliser le ventilateur comme source de chaleur pour la PAC. Le majeur problème est l'énergie calculée comme négative, donc perdue, à travers le ventilateur. On voit effectivement un delta T positif pour le solaire, et donc un gain d'énergie de ce côté. D'un autre côté, les mesures sur le ventilateur montrent une perte d'énergie conséquente, qui peut durer jusque plus de 30 minutes. L'énergie gagnée sur le solaire semble donc être évacuée à travers le ventilateur. Ce phénomène se produit systématiquement lorsque les deux sources de chaleur sont sollicitées en même temps. Certaines périodes montrent également une perte d'énergie à travers le solaire, mais de manière moins systématique.

Ce problème majeur a fait l'objet de plusieurs sollicitations auprès du fournisseur, qui n'a pas su donner d'explication au problème. Dans ces conditions, l'analyse des performances du système est compromise.

## 4.2 Résultats hebdomadaires

La période pour laquelle le système a fonctionné sans panne correspond aux semaines 42/2012 à 12/2013. L'analyse hebdomadaire a donc été faite sur cette période.

En orange l'énergie solaire gagnée par le système.

En bleu l'énergie récupérée sur le ventilateur.

En rouge la somme de la chaleur utile aux consommateurs (ECS+circuits de chauffage)

Malheureusement la consommation d'électricité n'a pas été détaillée de manière hebdomadaire, ce qui ne permet pas de l'afficher en parallèle à ce graphique.

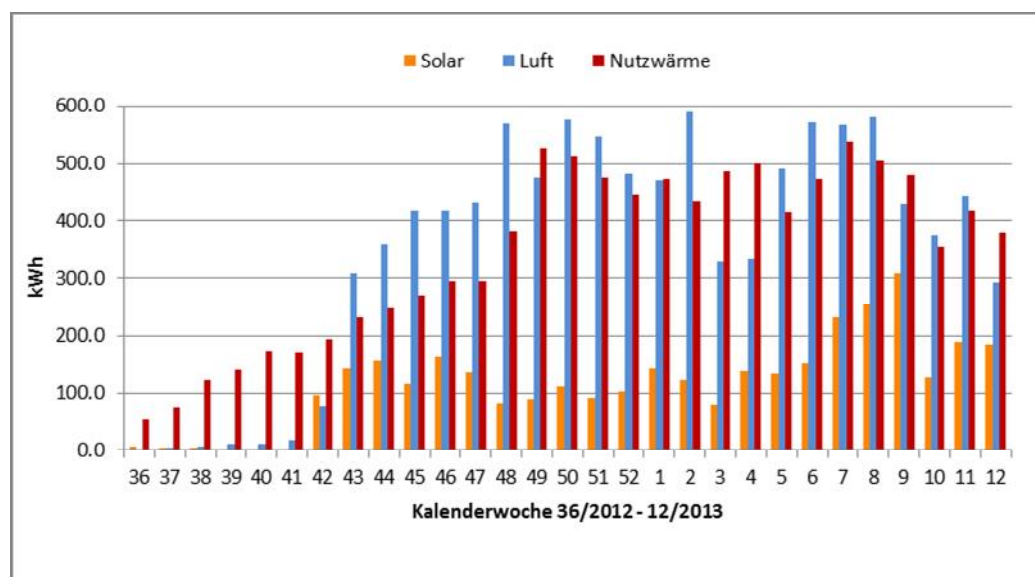


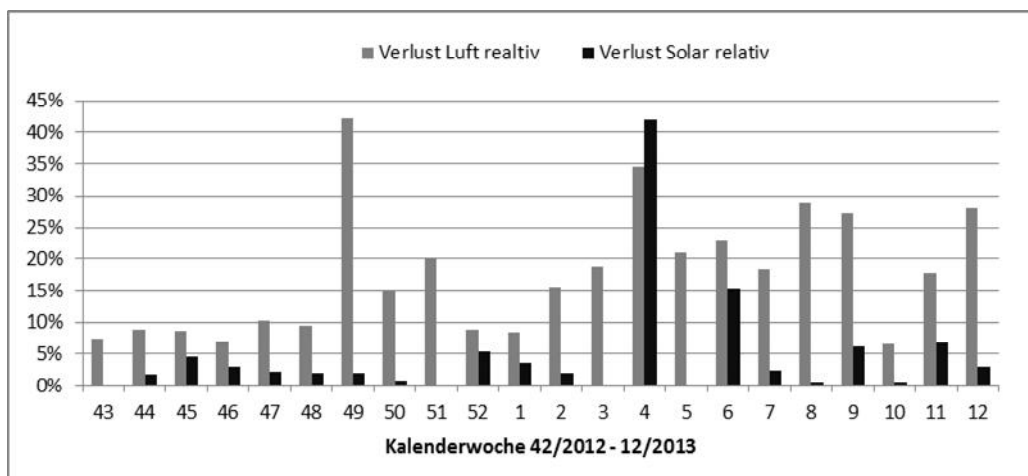
Figure 7: Résultats hebdomadaires

Ces données montrent une utilisation du ventilateur bien supérieure au solaire, ce qui semble normal pour la période. Une quantité importante d'énergie provient du ventilateur, mais sachant que ce dernier rejette une partie de cette énergie, des doutes sont à émettre quant à ce total. La pompe à chaleur accompagnée du corps de chauffe électrique (voir section suivante) parvient pourtant à satisfaire les besoins du consommateur.

## 4.3 Bilan hebdomadaire de la perte de chaleur

Comme présenté précédemment, une certaine quantité de chaleur est perdue à travers les différentes

sources. Cette chaleur, directement dissipée dans l'environnement, peut être analysée de manière hebdomadaire. Les pertes à travers le ventilateur et à travers le solaire sont présentées dans le graphique suivant, en pourcentage par rapport à l'énergie gagnée par chacun.



**Figure 8: Pertes énergétiques relatives, ventilateur et solaire**

On observe donc une perte d'énergie systématique à travers les deux sources de chaleur, variant de 5 à 40% de l'énergie gagnée pour le ventilateur, et de 0 à 40% pour le solaire. Ces valeurs reflètent à plus grande échelle l'analyse faite précédemment sur les flux énergétiques. Au total, pendant la période analysée, on compte 18% de l'énergie perdue par le ventilateur, et 5% par le solaire. Ces quantités sont jugées inadmissibles.

#### 4.4 Bilan annuel et coefficient de performance

Le bilan annuel des performances de l'installation n'a pas pu être mené à bout suite aux pannes rencontrées par le système. Cependant, sur une période de plusieurs mois (Aout 2012 à Mars 2013), le coefficient de performance annuel peut être calculé.

Le coefficient de performance du système a été calculée à partir des données enregistrées avec la formule suivante :

$$SPF_{System} = \frac{Q_B + Q_R + Q_{BWW}}{E}$$

Avec :

$Q_B$  = Energie consommée pour le chauffage au sol

$Q_R$  = Energie consommée pour les radiateurs

$Q_{BWW}$  = Energie consommée pour l'eau chaude sanitaire

$E$  = Energie électrique consommée par le système

Les relevés de consommation électrique ayant été faits à des dates fixes, on peut calculer les SPF suivants :

Periode étudiée	$SPF_{System}$	$SPF_{System}^*$ (Pertes de circulation additionnées à la chaleur utile)
14.08.2012 - 20.03.2013	<b>1.32</b>	1.58
03.09.2012 - 20.03.2013	<b>1.31</b>	1.56
17.10.2012 - 20.03.2013	<b>1.26</b>	1.48
26.02.2012 - 20.03.2013	1.48	1.76

La boucle de circulation peut être considérée comme une prestation utile du système, mais le SPF n'en est pas vraiment augmenté pour autant, et reste très éloigné de la valeur cible.

## 4.5 Analyse de la régulation

Le système Kioto permet un affichage en temps réel de toutes les données mesurées dans le système via une interface fournie par le fabricant. Les paramètres de réglage peuvent être modifiés via ce logiciel, mais la sauvegarde des données n'est pas possible en ce qui concerne les données internes au système. Cependant, étant donné l'importance des problèmes détectés par les mesures périphériques (sources et consommateur), une analyse des modes de fonctionnement interne s'est avérée indispensable. Pour cela, plusieurs séquences de captures d'écran ont permis de sauvegarder les données de périodes de fonctionnement types :

- 1. Fonctionnement nocturne (Consommation réduite et pas de solaire)
- 2. Fonctionnement matinal (Solaire potentiel)
- 3. Fonctionnement en journée
- 4. Fonctionnement en soirée

1. Fonctionnement nocturne : 24.03.2013 00 :28 – 03 :18.

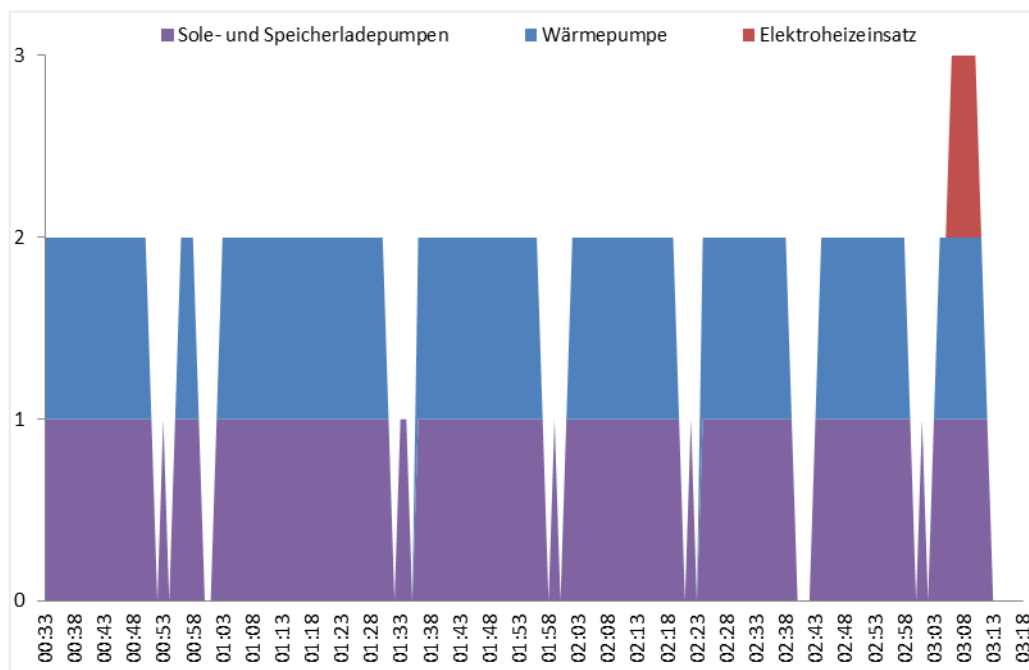
Dans cette section, l'air est la seule source de chaleur pour la PAC. Les valeurs de consignes ainsi que les principaux éléments sont indiqués dans le tableau suivant.

Températures / consignes / démarrages	°C / Starts		Minutes
Consigne ECS (Eau chaude sanitaire)	40	Pompe de circulation ECS	0
Température extérieure	env. 6	Période de mesures	166
Consigne des radiateurs (Radiateur Zone Setpoint)	env. 28	Pompe de circulation	142
Consigne du chauffage au sol (Floor Zone Setpoint)	env. 33	Pompe à chaleur	126
Nombre d'enclenchements de la pompe à chaleur	8	Ø Durée de fonctionnement par enclenchement	16
		Durée maximale PAC	28
		Durée minimale PAC	5
		Corps de chauffe	5

**Table 1: Fonctionnement nocturne**

Il est à noter dans cette première séquence que la consigne des radiateurs avait été baissée par le client, alors que la consigne du chauffage au sol s'est retrouvée plus haut en température. Cela dit, un point notable est que la PAC s'est enclenchée pour des périodes très courtes (5min), ce qui n'est pas recommandé pour ce type de producteur de chaleur .

Le graphique ci-dessous montre les modes de fonctionnement suivants : en violet, quand la pompe côté glycol et la pompe de charge de l'accumulateur fonctionnent. En bleu, quand la PAC fonctionne, et en rouge quand le corps de chauffe électrique se met en route.



**Figure 9: Analyse du fonctionnement nocturne**

Dans cette période de fonctionnement, on peut noter que les besoins du consommateur ont été atteints, le système semble avoir fonctionné correctement, mais avec un nombre d'enclenchements de la PAC cependant trop grand. L'allumage du corps de chauffe au milieu de la nuit pendant une période de faible demande est peu compréhensible.

## 2. Fonctionnement matinal: 24.03.2013 08 :30 – 11 :23

Pour cette période de fonctionnement, L'installation peut osciller entre les modes de fonctionnement 1 2 et 3. L'analyse du système donne les résultats suivants :

Températures / consignes / démarrages	°C / Starts		Minutes
Consigne ECS (Eau Chaude Sanitaire)	50	Pompe de circulation ECS	2 x 1 et 1 x 3
Température extérieure	ca. 8-12	Période de mesures	172
Consigne des radiateurs (Radiateur Zone Setpoint)	ca. 30	Pompe de circulation	131
Consigne du chauffage au sol (Floor Zone Setpoint)	ca. 28	Pompe à chaleur	101
Nombre d'enclenchements de la pompe à chaleur	4	Ø Durée de fonctionnement par enclenchement	25
		Durée maximale PAC	43
		Durée minimale PAC	10
		Corps de chauffe	18

**Table 2: Fonctionnement matinal**

Dans cette période le nombre d'enclenchements de la PAC est cohérent, reste que le corps de

chauffe électrique montre des allumages notamment en milieu de matinée, moment qui ne devrait pas représenter une période de grande consommation. Le graphique suivant montre plus clairement les disfonctionnements du système pendant cette période

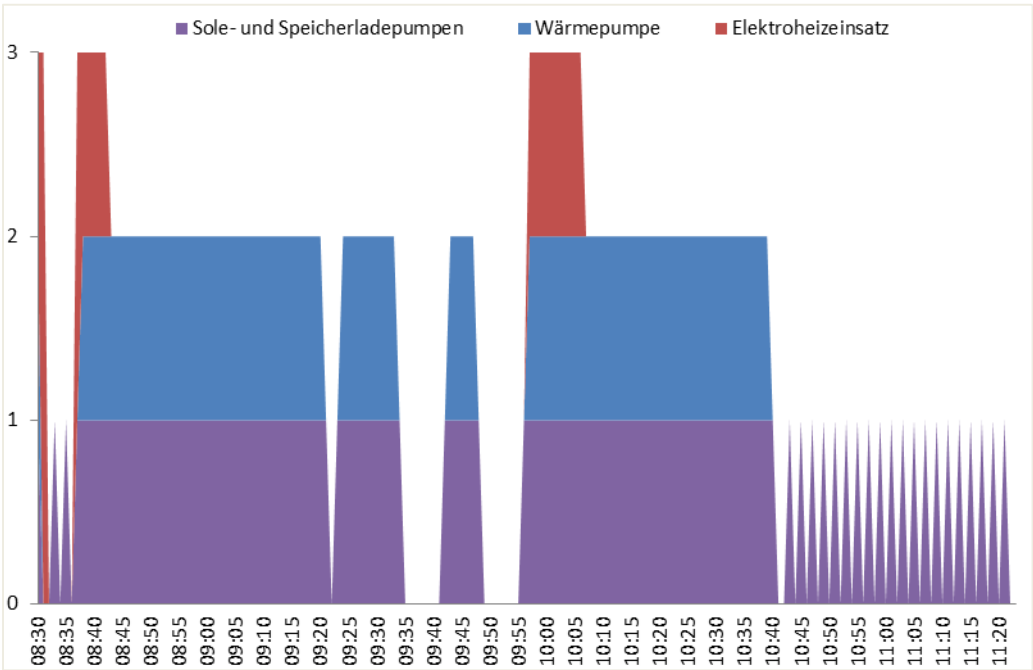


Figure 10: Analyse du fonctionnement matinal

Sur cette période de mesures, on peut voir de nombreux enclenchements de la pompe côté glycol, mais ne correspondant pas à du solaire direct. Ceci correspond au phénomène précédemment expliqué de circulation à travers l'échangeur à air et donc de perte d'énergie.

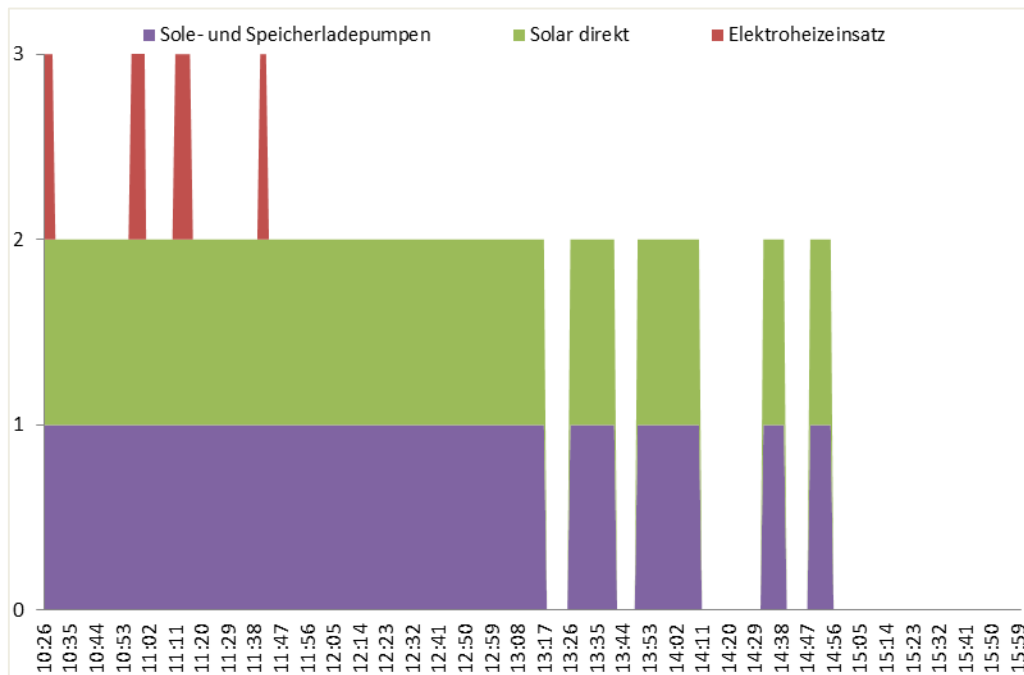
3. Fonctionnement en journée : 01.04.2013 10 : 26 – 16 :00

Cette séquence de mesure montre le fonctionnement du système en solaire direct principalement, avec aucun enclenchement de la pompe à chaleur. Pour ce mode de fonctionnement on ne note pas de problème particulier lié à des pertes énergétiques mais on a tout de même des allumages intempetifs du corps de chauffe électrique, peut être liés à l'eau chaude sanitaire.

Températures / consignes / démarrages	°C / Starts		Minutes
Consigne ECS (Eau Chaude Sanitaire)	50	Pompe de circulation ECS	0
Température extérieure	env. 7-12	Période de mesures	335
Consigne des radiateurs (RadiatorZoneSetpoint)	env. 30	Pompe de circulation	226
Consigne du chauffage au sol (FloorZoneSetpoint)	env. 29	Pompe à chaleur	0
Branchement de la pompe à chaleur	0	Corps de chauffe	18
Température des capteurs	45-54		

Table 3: Fonctionnement en journée, solaire direct





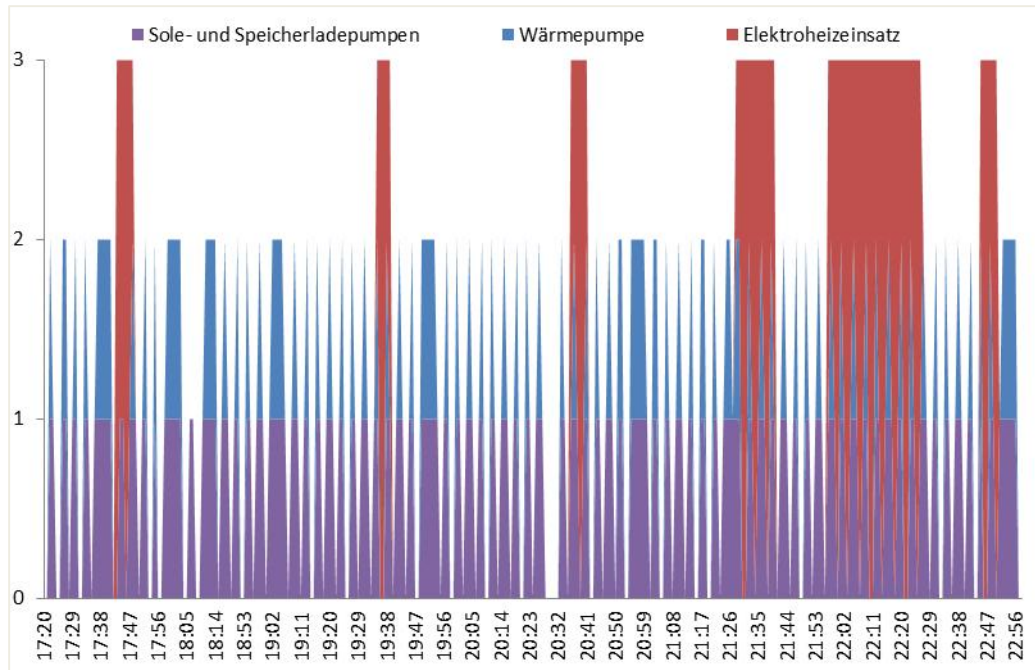
**Figure 11: Analyse du fonctionnement en solaire direct**

#### 4. Fonctionnement en soirée : 01.04.2013 17 : 20 – 22 :58

Cette période de mesures montre un fonctionnement du système sans solaire direct potentiel. Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous, le système montre un comportement instable, avec un nombre d'enclenchements de la PAC inacceptable.

Températures / consignes / démarrages	°C / Starts		Minutes
Consigne ECS (Eau Chaude Sanitaire)	50	Pompe de circulation ECS	0
Température extérieure	env. 12-4	Période de mesures	335
Consigne des radiateurs (Radiator Zone Setpoint)	27-32	Pompe de circulation	200
Consigne du chauffage au sol (Floor Zone Setpoint)	27-31	Pompe à chaleur	106
Nombre d'enclenchements de la pompe à chaleur	74	Ø Durée de fonctionnement par enclenchement	1.5
		Durée maximale PAC	5
		Durée minimale PAC	1
		Corps de chauffe	66

**Table 4: Fonctionnement en soirée**



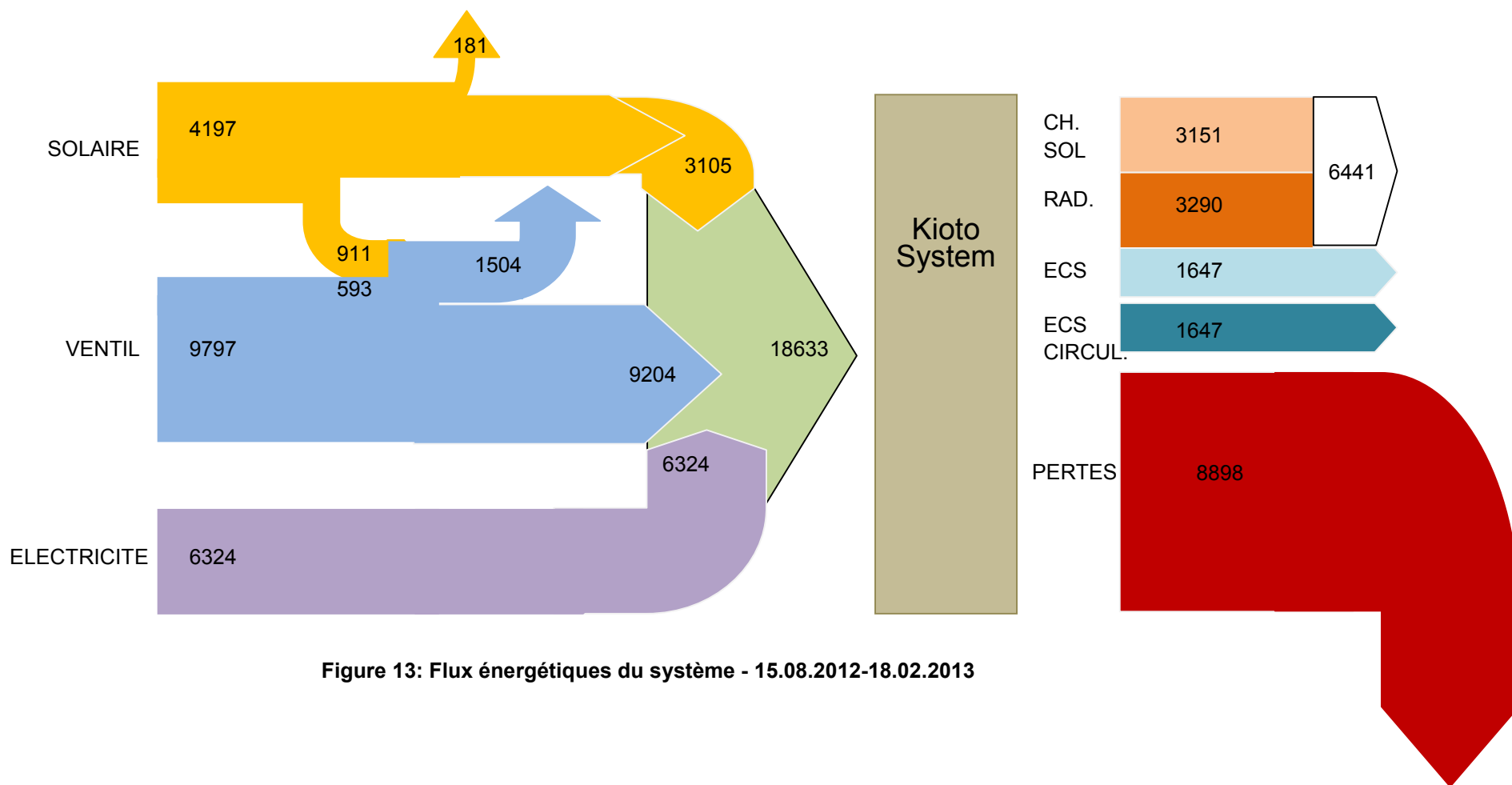
**Figure 12: Analyse du fonctionnement en soirée**

Comme on peut le voir dans la Figure 12, le système enclenche la pompe à chaleur et le circuit glycolé de manière répétitive plusieurs fois par heure. De plus, le corps de chauffe électrique s'allume à nouveau de manière aléatoire, sachant que pendant toute la période de mesure la température de consigne de l'accumulateur de 50°C n'a pas été atteinte.



## 5 Bilan et flux énergétiques

Un bilan énergétique du système a été réalisé sur la période du 15.08.2012 au 18.02.2013. Le schéma suivant présente les différents flux autour du système, avec d'un côté les entrées et de l'autre les sorties. On constate donc les différentes pertes exprimées précédemment. L'hypothèse sur la boucle de circulation est qu'elle représente la même énergie que la consommation d'eau chaude (cas extrême). Les données sont présentées en kWh.





Les 8898 kWh indiqués comme pertes représentent la quantité d'énergie qui n'est effectivement pas comptée par les compteurs de chaleur. Les tentatives d'allumages de la PAC et les statuts transitoires du système peuvent tout à fait être la cause de ces pertes, étant donné qu'à chaque allumage la PAC se met en température, puis s'éteint avant même d'avoir apporté de la chaleur au niveau des consommateurs. Cette énergie peut être directement perdue dans le local de chaufferie.

## **6 Discussion / évaluation des résultats / enseignements**

L'analyse des flux échangés entre sources de chaleur et consommateurs a permis d'identifier un problème de perte énergétique conséquente du système. Les pertes liées au champ solaire représentent environ 1% des apports totaux de chaleur du système à l'installation et celles de l'échangeur sur l'air 8%. En revanche les pertes de production et de stockage de chaleur sont bien plus élevées et atteignent plus de 47%. Ceci peut s'expliquer en partie par des enclenchements beaucoup trop fréquents et de courte durée de la pompe à chaleur et par des pertes de stockage trop importantes.

La difficulté rencontrée auprès du fabricant pour pouvoir sauvegarder les données internes nous a poussé à faire des relevés en temps réel. Ces relevés ont montré un comportement instable du système :

- Allumages du corps de chauffe électrique inexplicables
- Successions d'allumages de la pompe à chaleur beaucoup trop nombreux
- Enclenchement du circuit glycolé à faible ensoleillement sans combinaison avec la PAC et pertes énergétiques.

Le coefficient de performance de l'installation durant les périodes suivies est beaucoup trop faible en comparaison aux attentes sur l'installation.

Les pannes successives sur l'installation n'ont pas permis d'avoir un suivi continu des données de mesure.

## 7 Conclusions

Les résultats de performance du système (SPF) s'avèrent de loin pas aussi bons que prévus. En fait, ils sont même moins bons que ceux d'une pompe à chaleur air/eau conventionnelle.

Les dysfonctionnements découverts sur le système ont tout d'abord été abordés de manière à trouver des solutions et améliorations auprès du fabricant. La société KIOTO, qui a développé, fabriqué et commercialisé le 'booster solaire' préassemblé a été informée de ces résultats, mais n'a montré aucune disposition visant à améliorer le système. C'est a priori essentiellement au niveau de la régulation du système qu'il réside un net potentiel d'amélioration.

Energie Solaire SA a uniquement livré les capteurs solaires du système qui fait l'objet du présent projet P&D et n'estime pas qu'un changement de type de capteurs, permettrait de fondamentalement améliorer le performance du système de chauffage.

Energie Solaire SA a entrepris des démarches auprès de fabricants suisses de pompes à chaleur afin de discuter d'une éventuelle collaboration pour développer un système de chauffage selon le même concept de base que celui qui fait objet de ce projet P&D permettant d'atteindre les performances visées dans le cadre de ce projet. Ses démarches n'ont cependant pas suscité d'intérêt.

En conclusion: Energie Solaire SA se trouve dans une impasse et ne voit pas d'autre alternative que celle d'arrêter le projet P&D après cette première année de suivi.

## 8 Références

Leumann, P., Stefan Fehlmann, (2013). SOLarthermie und Luft/Wasser Wärmepumpe neu kombiniert