

Rapport annuel 1998 à l'attention de l'Office fédéral de l'énergie

Nom des rapporteurs : O. Renoult
J. Bony

*Renoult@eivd.ch
Bony@eivd.ch*

Chef de projet : Ph. Dind

Philippe.Dind@eivd.ch

Institut mandataire : CETT

Installations combinées et test de chauffe-eau solaire

Faisant suite aux études menées sur les mesures long termes de chauffe-eau solaires, ce mandat s'inscrit dans une double optique.

D'une part, nous avons amélioré le chauffe-eau économique développé en 1997 et 1998. Nous avons changé l'échangeur de chaleur destiné à la production d'ECS, placé le corps de chauffe plus bas et amélioré des éléments d'isolation. Des mesures au printemps et en été 1999 doivent démontrer une nette augmentation de la fraction solaire de ce chauffe-eau économique par rapport aux mesures effectuées en 1997 [3]. Si les résultats de ces tests sont satisfaisants, cette étude devrait déboucher sur une commercialisation de ce chauffe-eau par l'industriel Agena.

D'autre part, nous avons entamé dans le cadre de ce mandat une étude sur une centrale d'énergie nommée Arpège combinant l'apport d'eau chaude sanitaire et le chauffage solaire pour des villas. Deux centrales seront étudiées en parallèle. L'une d'elles, placée à Dombresson (NE) chez un particulier, permettra un suivi sur le long terme en ne modifiant que peu ou pas les paramètres de régulation, alors que l'autre centrale est placée dans notre laboratoire pour y subir une série de tests. Dans ce but, nous avons ajouté des convecteurs dans une salle pour simuler une demande de chauffage. La modification de notre système d'acquisition nous permet également de suivre en temps réel l'évolution des températures dans chacun des circuits (sanitaire, chauffage et solaire). Nous avons ajouté plus de 50 sondes de température à l'intérieur de la cuve, pour permettre une étude des mouvements convectifs. Nous espérons que cette moisson de données nous permettra d'élaborer en collaboration avec d'autres instituts un modèle utile pour des simulations sur TRNSYS.

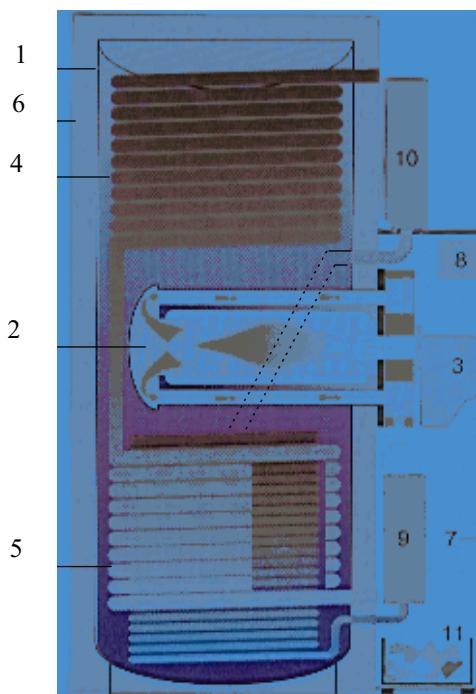
1. Objectifs

Notre premier objectif est de mesurer les performances d'une centrale de chauffage combinée pour l'accumulation et la gestion de chaleur provenant de capteurs solaires et d'une source d'énergie conventionnelle. L'appareil est équipé d'un foyer mazout/gaz à condensation fournissant l'énergie d'appoint au chauffage et à l'eau chaude sanitaire. Cette centrale d'énergie est destinée avant tout aux villas individuelles ou jumelées.

Les résultats de ces mesures doivent permettre de fournir les éléments nécessaires à la simulation de ce type d'appareil.

2. Présentation d'Arpège

2.1. schéma



- 1 Réservoir en acier noir, capacité 900 litres Ø nu 790 mm, isolé 950 mm, hauteur isolé 2060 mm.
- 2 Foyer mazout/gaz en acier inoxydable à condensation vissé sur flasque démontable, Ø conduit de fumée 104 mm.
- 3 Brûleur à mazout LowNox puissance 15 à 35 kW.
- 4 Double serpentin de production d'eau chaude sanitaire, en tube d'acier inoxydable V4a annelé, capacité 60 litres, immergé en partie inférieure et supérieure de la cuve.
- 5 Echangeur de chaleur pour le circuit solaire en tube lisse, surface 3 m².
- 6 Isolation renforcée mélamine 85 mm, sous élégant manteau plastique rigide.
- 7 Capot de protection en tôle d'acier thermolaquée et isolation
- 8 Régulation complète précâblée
- 9 Groupe solaire préfabriqué
- 10 Groupe chauffage préfabriqué, avec coffret d'isolation
- 11 Bac de neutralisation des condensats

Fig. 1 : Schéma de la centrale d'énergie Arpège

2.2. description matériel

2.2.1. Cuve et isolation

La cuve en acier noir est munie d'une isolation renforcée mélamine de 85 mm ($\lambda=0,024$ [W/(m.K)]). Le fond bombé supérieur est inversé. Cela permet une utilisation complète de l'énergie emmagasinée dans la cuve. La contenance est de 850 litres.

Deux groupes de chauffage peuvent être branchés sur la cuve en soutirage direct.

2.2.2. Brûleur

Le brûleur gaz ou mazout avec un foyer à condensation a un rendement instantané de 97% environ. Les puissances possibles sont de 15 à 35 kW. Le bas niveau de température des gaz de combustion en sortie du foyer permet d'avoir une cheminée en matière plastique. Le brûleur est positionné de manière à ne chauffer que la moitié supérieure de la cuve.

2.2.3. Echangeur ECS

L'échangeur en acier inoxydable annelé est en deux parties. Il permet de chauffer instantanément l'eau chaude sanitaire lors de chaque soutirage et ainsi d'assurer une bonne hygiène (pas de risque de légionnelles).

2.2.4. Echangeur solaire

L'échangeur tube lisse de cuivre d'une surface de 3 m² est positionné en partie basse de la cuve. Le bas niveau de température dans cette zone permet une utilisation optimale de l'énergie venant des capteurs.

2.2.5. Capteurs solaires

Les capteurs solaires plans sont de type Azur (Agena) à haut rendement. Arpège est prévu pour une surface comprise entre 8 et 14 m². Dans notre cas, nous étudierons des installations avec 12 m².

2.3. Description de la régulation

La régulation est un des points clefs de l'installation. Elle intègre la gestion de l'appoint de l'auxiliaire, des apports solaires actif et passif, de la demande ainsi que d'autres fonctions comme :

- le débit variable dans le circuit solaire en fonction de l'ensoleillement.
- le stockage de la chaleur solaire dans l'habitation (chauffage au sol).
- la commande à distance par impulsions téléphoniques ou par ordinateur.
- la détection des défauts avec lampes témoins.
- le refroidissement nocturne de la cuve en cas de surchauffe estivale par décharge dans les capteurs

3. Travaux effectués

3.1. Centrale d'énergie Arpège

Pour étudier les performances de la centrale d'énergie Arpège sur une période complète de chauffage, une villa est actuellement instrumentée selon la figure 2. Les mesures doivent permettre de déterminer entre autre :

- la consommation d'énergie d'appoint (mazout)
- la part d'énergie solaire emmagasinée par la centrale
- la part d'énergie nette demandée (sanitaire + chauffage)
- les pertes de la centrale
- le rendement de la centrale
- la fraction solaire
- le rendement de la partie captage de l'énergie solaire (capteurs et tuyauterie)

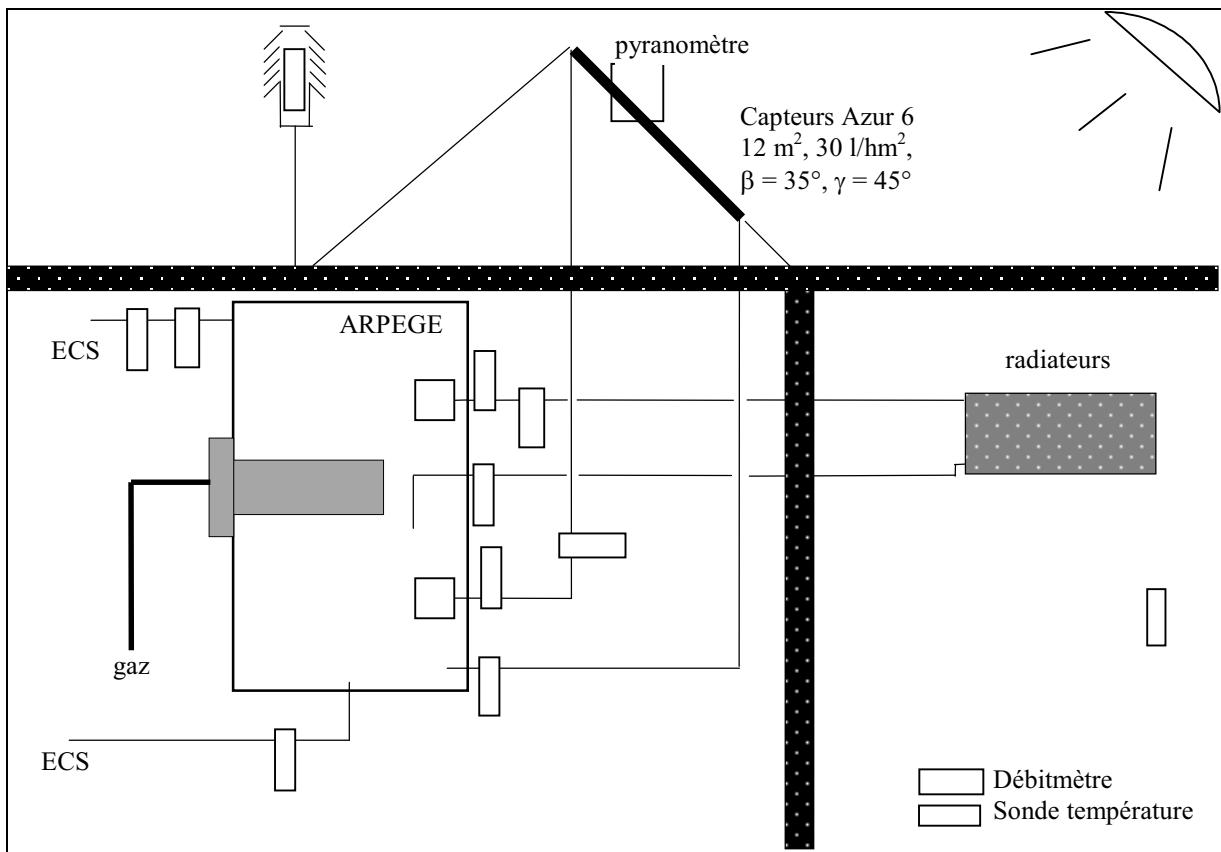


Figure 2 : Instruments de mesures disposés dans la villa

Une simulation avec le logiciel Lesosai 4.0 a permis de déterminer l'indice énergétique annuel de la villa (figure 3). Les murs de la villa ont été récemment réisolés avec 20 cm de laine de verre mais le toit a un facteur k encore élevé de 0,91 W/mK. L'indice énergétique est actuellement de 410 MJ/m².an. Après isolation du toit ($k = 0.24$ W/mK), l'indice énergétique sera de 225 MJ/m².an. Les fenêtres sont de type double vitrage sélectif ($K=1,8$ W/mK). Le coefficient K des vitres de la véranda est par contre de 1,3 W/mK. Les gains internes sont importants en hiver à cause de la présence d'un poêle à bois situé dans la salle de séjour et qui est fréquemment utilisé par les occupants de la villa. Ces gains n'ont pas été pris en compte dans les calculs de la figure 3.

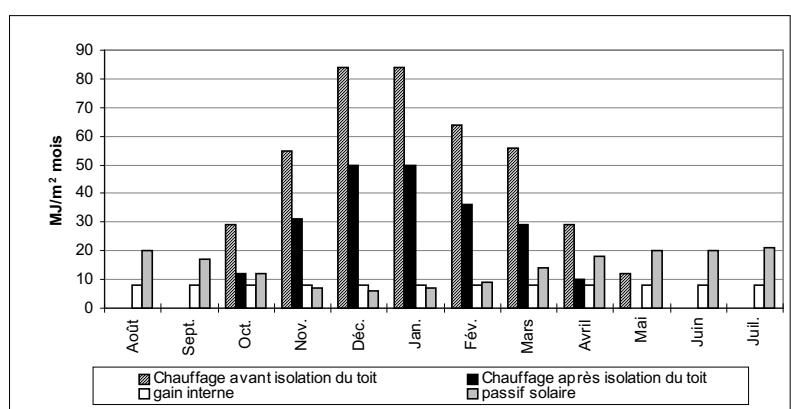


Figure 3 : Histogramme annuel de la demande d'énergie chauffage vis à vis des gains solaires et internes de la villa choisie. Simulé à l'aide du logiciel Lesosai 4.

La consommation moyenne actuelle est de 2500 litres de mazout par an. L'isolation du toit permettra une économie de 1000 litres de mazout. L'apport énergétique solaire de la centrale d'énergie Arpège devrait permettre d'économiser une grande part d'énergie fossile actuellement utilisée pendant les mois d'octobre, mars et avril. Si l'on compte en plus un rendement de la chaudière de 85 % à la place de la chaudière actuelle (estimé à 60 %), largement surdimensionnée, la part d'énergie fossile économisée supplémentaire devrait avoisiner les 650 litres de mazout par an. Toutefois, ces chiffres sont à nuancer. Cela dépend en grande partie de la consommation de bois que feront les habitants une fois ces travaux effectués. Cette consommation sera régulièrement évaluée par les habitants de la maison dès le début de la campagne de mesures.

En parallèle, nous modifions actuellement notre laboratoire pour étudier une centrale d'énergie Arpège identique à celle posée dans la villa (figure 4). L'étude en laboratoire doit permettre d'analyser le plus finement possible les courants de convection naissant à l'intérieur de la cuve en fonction des différents échanges de chaleur mis à contribution (brûleur, solaire, ECS, chauffage). Il s'agira par la suite de comparer les résultats obtenus avec les simulations effectués sous TRNSYS en utilisant notamment les modèles de cuve déjà existant comme les types 60 et 141. Ces modèles seront si possible affinés, voire transformés, pour se rapprocher le plus possible des résultats obtenus en laboratoire.

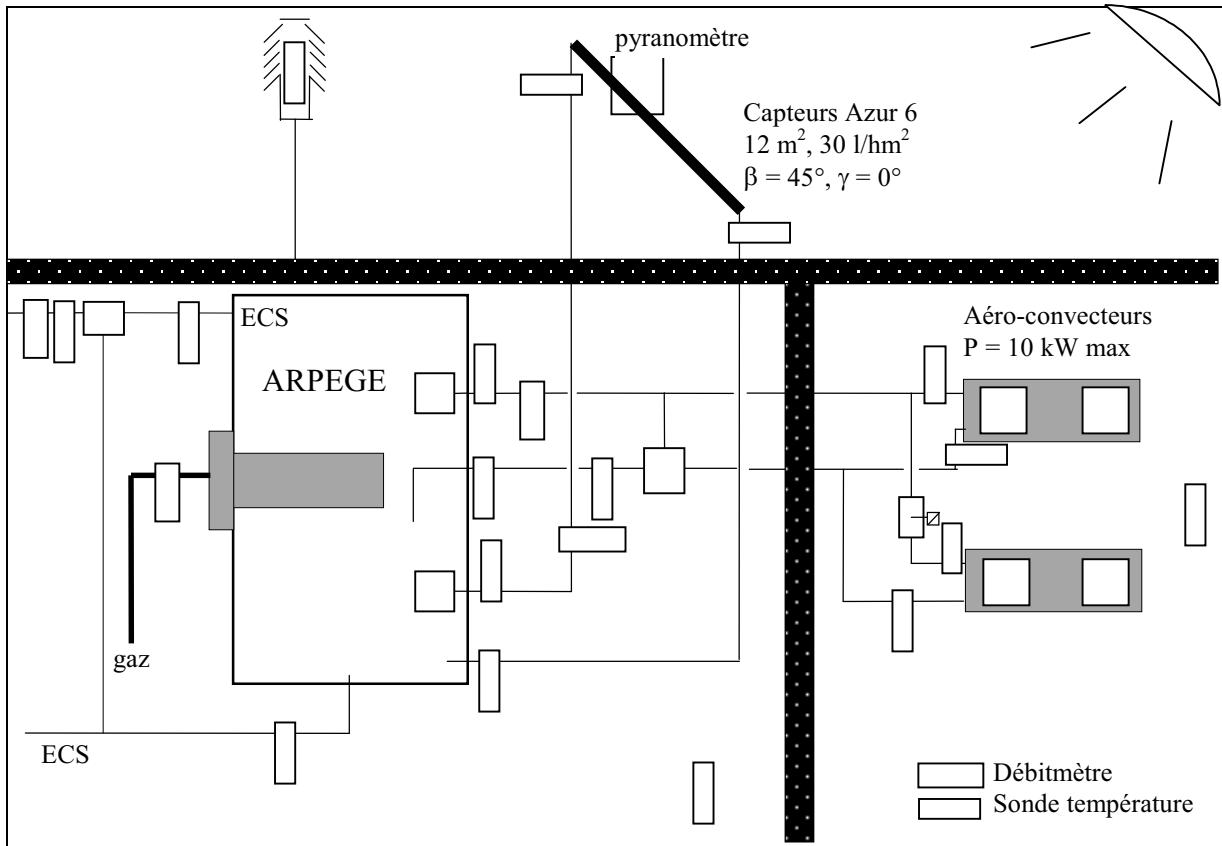


Figure 4 : instrumentation en laboratoire

Nous avons dernièrement amélioré notre système d'acquisition de mesures, de manière à pouvoir effectuer des acquisitions via le réseau de l'école. Cela signifie qu'il est possible depuis n'importe quel ordinateur de l'école d'obtenir on-line les mesures enregistrées par l'acquisiteur de notre installation. Cette amélioration n'aurait pas été possible sans l'élaboration d'un nouveau programme d'acquisition sous le logiciel Labview. Ce programme permet également de gérer de manière entièrement automatique des séquences de chauffage ou des soutirages d'ECS selon les besoins. Il sera dès lors possible, en accord avec les scénarios qui seront fixés lors des prochaines rencontres avec l'agence internationale de l'énergie IEA (tâche 26), d'effectuer des séquences de mesures à la demande.

Pour simuler le chauffage d'une maison dans le laboratoire, deux aéro-convecteurs d'une puissance de 5 kW chacun ont été connectés à la centrale d'énergie Arpège. Quatre vitesses de ventilation permettent de simuler différents scénarios de demande énergétique.

Pour étudier les mouvements convectifs à l'intérieur de la cuve, nous y avons disposé 55 sondes de température. Ces dernières sont fixées sur des fils d'acier inox de 0,5 mm de diamètre, eux-mêmes tendus entre les échangeurs de chaleur de la cuve. Grâce au très petit diamètre de ces fils inox, la surface d'échange devient insignifiante et la mesure de la température ne devrait donc pas perturber les mouvements convectifs au sein de la cuve.

4. Mesures sur un chauffe-eau à thermosiphon du Burkina-Faso

Dans le rapport intermédiaire [1], nous avons décrit le modèle utilisé pour calculer le rendement d'un système solaire d'eau chaude à thermosiphon. Nos mesures estivales effectuées sur le système burkinabé, nous ont permis de le situer par rapport aux installations mesurées par Huang [2]. Nous avons d'une part comparé l'absorptance globale du système α_g défini dans [2] et d'autre part les pertes globales du système U_s avec celles déterminées par Huang. α_g permet de caractériser l'efficacité du système de captage dans son ensemble : efficacité d'absorption de l'absorbeur, qualité de transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide en mouvement, masse de fluide cyclée par unité de temps, stratification thermique dans la cuve... Plus ce coefficient est élevé, plus le système peut-être considéré comme bon. Une valeur de 1 signifierait que la totalité de l'énergie thermique issue du rayonnement solaire journalier aurait été récupérée par le fluide dans le stock.

U_s permet de quantifier les pertes thermiques du système : pertes par rayonnement, convection et conduction du capteur, des conduites et de la cuve.



Figure 5 : photo du système thermosiphon étudié

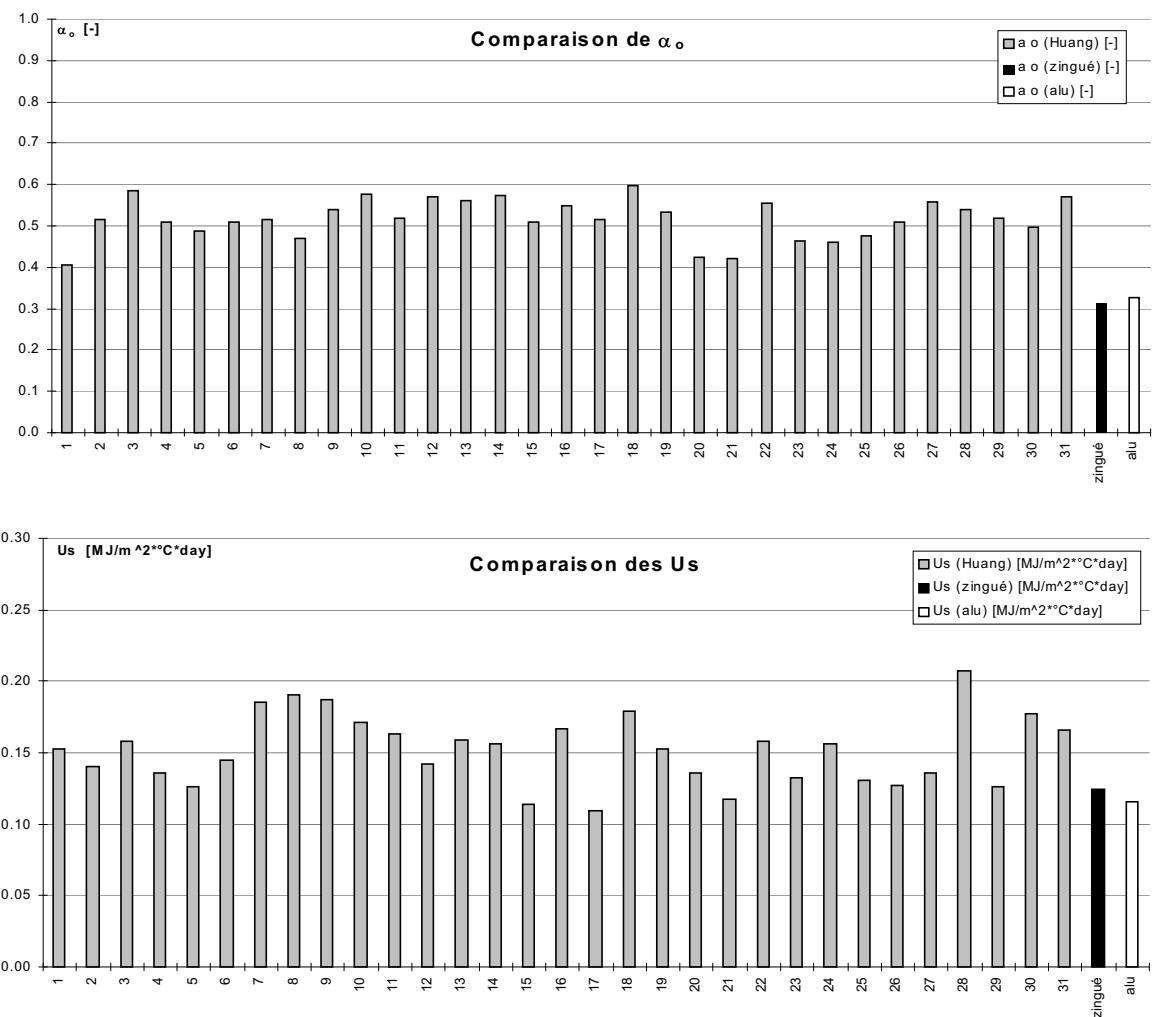


Figure 6 : Comparaison de l'absorptance et des pertes du système thermosiphon étudié avec les 31 systèmes étudiés par Huang.

Deux types de surface de captage ont été testés. Dans les deux cas, on constate que le coefficient α_0 est très mauvais vis à vis des autres systèmes à thermosiphon étudiés par Huang. Ce sont en particulier les capteurs utilisés ainsi que la distance entre le capteur et la cuve de stockage qui entraînent de si mauvais résultats.

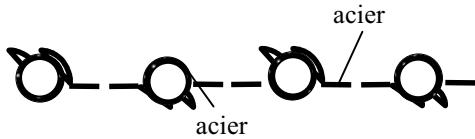
Par contre, les pertes caractérisées par U_s sont plutôt en-dessous de la moyenne mesurée sur les autres systèmes bien que l'isolation utilisée pour notre système soit plutôt faible.

4.1. Tableau des caractéristiques des absorbeurs:

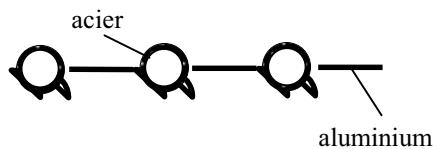
	matière	coefficient de conduction (W/mK)	émissivité	absorptance
nouveau capteur	tôle en acier zingué peinte en noir	~ 60	0.90	0.97
capteur d'origine	tôle aluminium peinte en noir	240	0.80	0.96
Capteur sélectif type Azur 3	Acier inox avec couche sélective	15	0.22	0.90

4.2. Coupe de construction des capteurs:

nouveau capteur :



capteur d'origine :



Les deux absorbeurs utilisés ont des valeurs d'émissivité élevées, ce qui augmente les pertes par rayonnement de manière significative vis à vis d'un absorbeur à couche sélective. Comme les absorbeurs utilisés ici fonctionnent par conduction de chaleur entre la tôle qui reçoit le rayonnement et les tubes en acier dans lesquelles circule l'eau, il est primordial que le coefficient de conduction ainsi que la manière dont sont assemblés les tubes sur la tôle soit bien soignée. Or, dans les deux cas, les tubes ne sont pas soudés à la tôle mais uniquement fixés à l'aide de fils de fer qui servent d'attache. Il apparaît fréquemment (notamment pour le capteur d'origine) un espace de quelques dixièmes de millimètres (voire plus) entre la tôle et les capteurs. La conduction est donc mauvaise dans les deux cas et le facteur F' qui caractérise la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le liquide est donc très bas. Nous l'avons estimé à environ 0,6. Par comparaison, ce facteur vaut environ 0,97 pour les capteurs bien conçus tels que ceux fréquemment construits en Europe.

Si l'on désire améliorer le rendement de ces capteurs, nous suggérons de conserver la matière du capteur utilisé actuellement (aluminium) : sa conduction est en effet quatre fois meilleure et son émissivité plus faible que pour le capteur en acier zingué. Par contre, il serait souhaitable que les tubes en acier et la tôle en aluminium soient « chassés » ensemble pour assurer une meilleure conduction thermique des tôles absorbantes vers les tubes et diminuer au maximum les pertes par convection.

4.3. Distance entre la sortie du capteur et le bas de la cuve de stockage:

Plus la différence de hauteur entre le sommet du système de stockage et le bas du capteur est importante, plus la thermocirculation naturelle sera importante. La pratique recommande généralement un minimum de 60 cm entre le haut du capteur et le bas de la cuve pour assurer un bon rendement au système. Dans notre cas, nous avons moins de 20 cm. Il serait donc souhaitable de placer le réservoir plus haut pour améliorer le rendement.

5. Perspectives pour 1999 :

5.1. SYSTEME THERMOSIPHON

D'autres considérations tel que l'amélioration de l'isolation, les positions d'entrée et de sortie des conduites dans la cuve, les phénomènes de déstratification, la recirculation nocturne ainsi que divers simulations à l'aide de TRNSYS seront approfondis dans le rapport final.

5.2. CHAUFFE-EAU ECONOMIQUE

La collaboration avec l'entreprise Agena nous a permis d'améliorer cet été le travail déjà effectué sur la cuve économique étudiée dans le précédent mandat [3]. Des mesures sont prévues durant le printemps et l'été prochain pour valider les simulations qui ont été établies.

5.3. SYSTEME ARPEGE

En collaboration avec l'entreprise Agena et en fonction des scénarios déterminés lors de la tâche 26 de l'IEA, nous allons effectuer dès le début 1999 des tests sur la centrale d'énergie Arpège.

La centrale située à Dombresson servira de test longue durée in situ, alors que celle installée dans notre laboratoire permettra des tests de courte durée pour déterminer notamment :

- L'influence du débit et des températures de chauffage sur le rendement de l'installation. Divers scénarios de demande doivent être testés.
- L'influence du débit dans le circuit de captage sur la déstratification de la cuve.
- L'influence des divers paramètres de la régulation sur la stratégie d'économie d'énergie d'appoint.
- Etablir dans un premier temps une « carte thermographique » de la cuve à l'aide des 55 sondes placées à l'intérieur en fonction des divers soutirages effectués. Tenter de modéliser avec les partenaires de la tâche IEA 26 une cuve contenant 3 échangeurs internes, un ou deux groupes chauffages et un brûleur intégré.
- Effectuer des simulations à l'aide de TRNSYS pour vérifier les modèles
- Déterminer à l'aide de critères de comparaisons établis avec l'IEA, la qualité du système Arpège par rapport aux autres systèmes testés en Europe.
- Proposer des améliorations de construction ou de gestion de la régulation pour améliorer le rendement.

6. Bibliographie

- [1] O. Renoult & J. Bony, « Installations solaires thermiques ECS et chauffage », OFEN, DIS C No : 66503, rapport intermédiaire, juillet 1998.
- [2] B.J Huang, « Performance rating method of thermosyphon solar water heaters », Solar Energy Vol.50, pp.435-440, 1993
- [3] O. Renoult & Y. Pfister, « Analyses et améliorations des performances de chauffe-eau solaires commerciaux », OFEN, DIS C No : 56948, Avril 1998