CHAUFFE-EAU SOLAIRE À FAIBLE DÉBIT

ÉTAT DE L'ART

ACTION 4 DE LA CONVENTION ADEME N° 00 05 168

Rapport final

DÉPARTEMENT DEVELOPPEMENT DURABLE
Systèmes Énergétiques et Solaires

CHAUFFE-EAU SOLAIRE À FAIBLE DÉBIT
ÉTAT DE L'ART

Rapport final

Carol BUSCARLET

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale, sauf clauses spécifiques explicitées dans la convention liant le CSTB et le donneur d'ordre.
Toute reproduction, même partielle, devra mentionner le CSTB et le ou les auteurs".

Il comporte 21 pages

Client : ADEME
Responsable : B. GAGNEPAIN
Contrat n° : 00.05.168 - Action 4

DÉCEMBRE 2001
DDD/SES N° 01-056RS

DIFFUSION LIBRE

PARIS - MARNE-LA-VALLÉE - GRENOBLE - NANTES - SOPHIA ANTIPOLIS
CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
Route des Lucioles - Valbonne - BP 209 - 06904 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex
Tél. : 33 4 93 95 67 45 - Fax : 33 4 93 95 64 31

RÉSUMÉ

Pour parvenir à réduire les coûts de fabrication et de mise en œuvre des chauffe-eau solaires, une des voies actuellement explorées dans plusieurs pays européens consiste à diminuer très fortement les débits de la boucle primaire. L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux sur ce qui se fait dans cette technologie afin de déterminer l'intérêt et les conditions de son développement en France.

L'état des lieux comporte deux volets. Il s'agit d'une part de tirer des enseignements des différents travaux de recherche effectués sur le sujet et d'autre part d'analyser l'offre technologique. Une contradiction apparait entre les deux volets. Alors que les travaux de recherche mettent en avant la réduction des coûts, les chauffe-eau solaires à faibles débits commercialisés sont des appareils haut de gamme parmi les plus chers du marché.

En réalité le développement des chauffe-eau solaires à faible débit ne répond pas à un objectif de réduction des coûts mais vise à améliorer les performances dans les régions peu ensoleillées. Les potentialités de réduction des coûts que recèle la technique du faible débit seraient plutôt à développer dans les installations solaires collectives à appoints individuels.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 5
2. TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LES SYSTÈMES À FAIBLE DÉBIT 5
2.1 Travaux de l'Agence internationale de l'énergie 5
2.2 Autres travaux 8
3. OFFRE TECHNOLOGIQUE 9
3.1 Les modèles 9
3.2 Les éléments du chauffe-eau 17
4. DISCUSSION 18
4.1 perspectives de réduction des coûts 19
4.2 perspectives de développement du chauffe-eau à faible débit 19
5. CONCLUSION 20
RÉFÉRENCES 21

1. INTRODUCTION

Pour parvenir à réduire les coûts de fabrication et de mise en œuvre des chauffe-eau solaires, principalement individuels, une des voies actuellement explorées dans plusieurs pays européens consiste à diminuer très fortement les débits de la boucle primaire. Ces nouveaux systèmes, inexistants en France jusqu'à il y a très peu de temps, sont connus sous la désignation anglaise de low-flow.

Réduire les débits de fluide présente plusieurs avantages : on réduit la taille des pompes, des conduites, des vannes, des échangeurs. On peut également utiliser des conduites souples en matériau synthétique de faibles diamètres (d'où une facilité de montage) en lieu et place des conduites en cuivre ou en acier. On peut aussi imaginer de mettre en œuvre une petite pompe photovoltaïque marchant au fil du soleil et éviter ainsi un système de régulation. Mais ces systèmes ont également des inconvénients : fiabilité moindre (risques d'obturation si la mise en œuvre n'est pas convenablement faite, problèmes d'équilibrage des débits dans les capteurs).

Enfin le rendement peut se dégrader si les échanges thermiques dans le capteur solaire ou dans l'échangeur sont entravés par le faible écoulement mais il peut aussi s'améliorer si l'on tire parti du faible débit pour avoir une meilleure stratification dans le ballon, ce qui permet d'alimenter le capteur avec un fluide plus froid.

L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux sur ce qui se fait dans cette technologie afin de déterminer l'intérêt et les conditions de son développement en France.

L'état des lieux comporte deux volets. Il s'agit d'une part de tirer des enseignements des différents travaux de recherche effectués sur le sujet et d'autre part d'analyser l'offre technologique car plusieurs fabricants, en Europe et au-delà, ont des chauffe-eau solaires à faible débit à leur catalogue.

2. TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LES SYSTÈMES À FAIBLE DÉBIT

2.1 TRAVAUX DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE

La synthèse la plus complète sur les systèmes à faible débit nous est fournie par le groupe de travail de la tâche 14 "Chauffe-eau solaire avancé" du programme Chauffage et rafraîchissement solaire - SHC (Solar Heating and Cooling Programme) de l'Agence internationale de l'énergie.

En 1996 ce groupe conclut [1] que le système à faible débit ou à débit ajusté (low or matched flow) est la voie la plus prometteuse pour améliorer le chauffe-eau solaire (the most promising direction for improvement), en terme de performance comme en terme de coût.

Les conclusions du groupe de travail touchent les différentes parties du chauffe-eau solaire à faible débit ainsi que ses performances.

2.1.1 CAPTEUR ET BOUCLE DE CAPTAGE (BOUCLE PRIMAIRE)

Le groupe définit le faible débit comme un débit dans le capteur solaire réduit par un facteur de 5 à 10 par rapport à celui d'un chauffe-eau solaire classique à circulation forcée (on ne parle pas ici des chauffe-eau à thermosiphon qui sont aussi à faible débit), soit un débit de 7 à 15 litres/heure par m^2 de capteur solaire au lieu de 50 à 70 (les essais normalisés de rendement de capteur se font généralement avec un débit de 0,02 kg/s.m^2 soit 72 l/h.m^2).

Le débit dans la boucle primaire et la conception de l'échangeur doivent permettre d'obtenir une bonne stratification thermique dans le réservoir de stockage.

Le débit optimal est en rapport avec la consommation d'eau chaude. Le volume de fluide traversant le capteur pendant une journée devrait être équivalent à la consommation moyenne

journalière d'eau chaude. Une fois le système dimensionné il n'est cependant pas utile de moduler le débit dans le capteur en fonction de la consommation effective.

Pour ce qui est du type d'absorbeur du capteur, le groupe recommande l'absorbeur à serpentin. En effet dans un absorbeur à tubes parallèles, un problème de répartition des débits entre les différents tubes peut apparaître pour les faibles débits.

2.1.2 RÉSERVOIR DE STOCKAGE ET ÉCHANGEUR

L'amélioration des performances est conditionnée par l'obtention d'une bonne stratification des températures dans le réservoir de stockage. Cette stratification permet d'alimenter le capteur avec un fluide plus froid, d'où une amélioration de son rendement. Des systèmes plus ou moins perfectionnés de ballons et d'échangeurs adaptés au faible débit et favorisant la stratification ont été étudiés dans divers pays, notamment au Danemark par Simon Furbo et aux Pays-Bas au TNO.

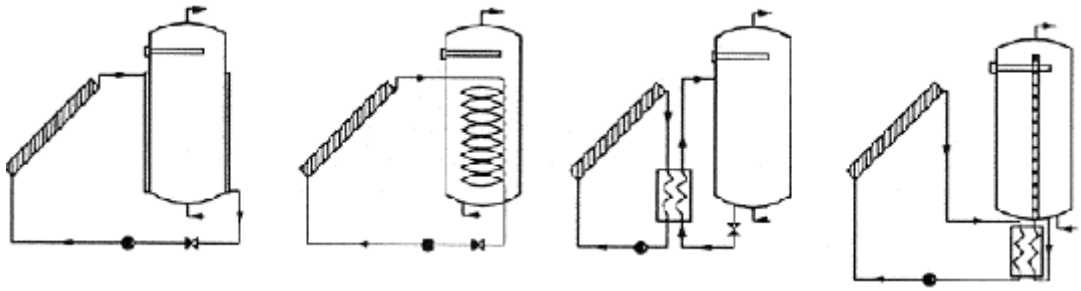


Figure 1 : quatre systèmes à faible débit étudiés au Danemark [2]

Simon Furbo a comparé quatre systèmes (figure 1) :

- un ballon à double enveloppe,
- un ballon comportant un échangeur à serpentin sur une grande partie de sa hauteur,
- un ballon avec un échangeur externe - la circulation dans la boucle secondaire s'effectuant par thermosiphon,
- un système similaire au précédent mais avec une tubulure destinée à injecter l'eau chaude à différents niveaux pour obtenir une bonne stratification.

La conclusion de l'étude est que le système à ballon à double enveloppe est celui qui présente les meilleures performances, du moins dans les périodes où le taux de couverture solaire est faible. Lorsque ce dernier est élevé, les différences entre les systèmes s'estompent.

L'étude du TNO citée par le groupe de travail ne dégage pas d'orientation nette sur les meilleurs systèmes malgré son titre : "Research into the optimal low flow storage and heat exchange combination". L'un des systèmes essayés comportait un ballon à double enveloppe avec, dans l'enveloppe extérieure un tube perforé pour assurer une bonne stratification mais ce tube, peut-être mal conçu, n'a pas donné satisfaction. Une des conclusions de l'étude est que le profil de puisage a beaucoup plus d'influence sur les performances que la conception du réservoir de stockage.

Le groupe de travail de l'AIE conclut quant à lui que les différents systèmes de stockage et d'échange ne conduisent pas à des performances très différentes - du moins lorsque l'ensoleillement est normal - et que par conséquent la conception du système est plus influencée par son coût que par ses performances. Le groupe s'attend à voir se développer des chauffe-eau solaires à faible débit équipés de ballons de stockage bon marché, soit parce qu'ils sont fabriqués en grande série pour d'autres applications, soit par leur conception, tels que des réservoirs non pressurisés en matières synthétiques.

Quelques ratios de dimensionnement sont donnés : 50 litres de stockage et 50 W/K pour le coefficient de l'échangeur par m² de capteur. Il est indiqué aussi qu'un volume de stockage plus grand que la consommation journalière conduit à de meilleures performances.

2.1.3 POMPE, RÉGULATION

Les pompes centrifuges sont les plus répandues dans les installations solaires. Elles sont fiables et d'un coût raisonnable. Mais elles sont trop puissantes pour beaucoup de chauffe-eau à faible débit. D'autre part elles sont mal adaptées à des débits variables.

Les pompes volumétriques sont mieux adaptées au faible débit et au débit variable mais beaucoup plus chères : la pompe à palettes de 13 W qui équipe des chauffe-eau canadiens à faible débit (voir dernière ligne du tableau 1, au §3) est quatre fois plus chère que la plus petite pompe centrifuge usuelle (Grundfos, 30 W sur la position 1).

Une petite pompe centrifuge à grande vitesse alimentée par un variateur électronique, en cours de développement par un participant canadien, paraît prometteuse au groupe de travail.

Le système de régulation le plus courant est la régulation différentielle qui équipe la plupart des autres chauffe-eau solaires à circulation forcée. L'emploi d'une petite pompe alimentée au fil du soleil par un module photovoltaïque est une autre solution, utilisée pour les chauffe-eau mentionnés à l'alinéa précédents.

2.1.4 TUYAUTERIES

Pour le groupe de travail de l'AIE, les tuyauteries du circuit primaire sont l'élément qui offre le plus de possibilités de réduire les coûts d'investissement, tant le coût du matériel que le coût d'installation.

Un chauffe-eau à faible débit peut en effet utiliser des tuyauteries de diamètre et d'épaisseur réduits, éventuellement non métalliques, avec isolation réduite, qui peuvent être jointes au fil de la sonde de température du capteur pour former une canalisation unique, d'où une diminution du temps et du coût de la pose.

Il est cependant noté que la canalisation non métallique idéale - bon marché, résistante à la température, à la pression, au vieillissement et dont les raccords ne fuient pas - n'existe pas encore sur le marché et que des progrès sont donc espérés de ce côté.

2.1.5 PERFORMANCES

Il est fait état d'essais comparatifs menés notamment au Danemark (voir § 2.1.2 plus haut) et au Canada. Dans ce dernier pays deux chauffe-eau solaires sans appoint, l'un avec échangeur à serpentin et l'autre avec ballon à double enveloppe ont été essayés sous un soleil artificiel pendant quelques jours, successivement à débit normal et à faible débit. Le fonctionnement à faible débit augmente la performance de 1 à 3 % pour le chauffe-eau à échangeur à serpentin et de 6 à 9 % pour celui à ballon à double enveloppe.

Pour le groupe de travail, ces résultats ne sont pas généralisables car les chauffe-eau essayés n'étaient pas optimisés pour un fonctionnement à faible débit. Avec un chauffe-eau dont tous les composants seraient adaptés au fonctionnement à faible débit et dont la stratification thermique serait optimale dans le ballon, l'avantage par rapport à un chauffe-eau solaire classique devrait être supérieur aux chiffres ci-dessus, du moins lorsque le taux de couverture solaire n'est pas trop élevé. Des études plus exhaustives utilisant des modèles numériques détaillés bien validés seraient susceptibles de le démontrer.

En attendant l'apparition de chauffe-eau à faible débit optimisés, l'avantage du système à faible débit réside plus dans la diminution du coût d'investissement que dans l'amélioration des performances.

2.2 AUTRES TRAVAUX

2.2.1 ÉTUDES GÉNÉRALES

Une étude générale sur le chauffe-eau à faible débit se trouve dans la thèse de Myrna Dayan [3]. L'auteur y étudie les principaux aspects du système : performance du capteur, à serpentin ou non, stratification dans le ballon, optimisation du débit. Sur ce dernier point elle trouve, avec certaines hypothèses, que le débit optimal est égal au débit moyen des besoins.

Elle pointe un inconvénient du système à faible débit qui est de ne pas faire bon ménage avec le fluide antigel. En effet la température plus froide à l'entrée du capteur, mentionnée plus haut, entraîne une viscosité plus grande du fluide, d'où un risque d'écoulement laminaire et de coefficient d'échange moins bon. De ce point de vue, les systèmes à vidange automatique ("drainback") où le fluide de la boucle primaire est de l'eau, sont meilleurs.

Pour Myrna Dayan un avantage essentiel du système est de permettre l'emploi d'une pompe photovoltaïque qui évite le raccordement au réseau et qui permet de se dispenser d'un régulateur avec ses sondes de température.

En 1998 Simon Furbo [4] propose les pistes suivantes pour améliorer les chauffe-eau solaires à faible débit :

- ballon à double enveloppe, l'enveloppe extérieure étant un réservoir sans pression bon marché,
- petite pompe bon marché, éventuellement alimentée par un module photovoltaïque,
- tuyauteries flexibles de petit diamètre pour la boucle primaire,
- dans le cas où il y aurait plus d'un capteur, usage d'un capteur meilleur marché - et de performances moindres - en amont où la température d'eau est plus faible et d'un capteur plus performant en aval,
- système de régulation de la pompe pour assurer un débit optimal.

L'École d'ingénieur du Canton de Vaud a conçu [5] en collaboration avec le fabricant Agena un "chauffe-eau solaire économique" dont les caractéristiques sont les suivantes :

- fonctionnement à faible débit,
- protection antigel assurée par vidange automatique (fluide primaire = eau),
- réservoir à pression atmosphérique en matière plastique,
- stratification thermique assurée par une "pipe de stratification", tube central d'injection de l'eau des capteurs comportant de nombreux trous de faible diamètre,
- préparation de l'eau chaude sanitaire a l'aide d'un échangeur en plastique de grande surface d'échange immergé dans le réservoir.

La performance évaluée est légèrement inférieure à celle des meilleurs chauffe-eau classiques, l'élément critique étant l'échangeur d'eau chaude sanitaire, dont la puissance est insuffisante en cas de forts soutirages.

Ce chauffe-eau n'a pas été commercialisé.

2.2.2 TRAVAUX SPÉCIFIQUES

Le capteur à serpentin est particulièrement bien adapté au fonctionnement à faible débit. Il a l'avantage de présenter un écoulement turbulent à faible débit alors que dans le capteur à tubes parallèles, l'écoulement peu devenir laminaire, ce qui entraîne un coefficient d'échange moins bon. Le capteur à serpentin a été étudié analytiquement et expérimentalement [6], [7], [8] et [9]. Ces études ont fourni des équations et des modèles suffisants pour l'optimisation.

Le ballon de stockage se révélant l'élément essentiel du chauffe-eau à faible débit, des travaux récents lui sont consacrés. Ainsi Louise Shah [10] a modélisé et expérimenté des ballons à double enveloppe destinés à un fonctionnement à faible débit. Elle a validé des modèles détaillés de dynamique des fluides (CFD : Computational Fluid Dynamic) avec un réservoir à double enveloppe parallélépipédique en verre dans lequel elle a visualisé les écoulements au moyen de fines particules en matière plastique de densité voisine de celle de l'eau. Elle a ensuite utilisé les résultats de ces modèles détaillés pour développer un modèle moins détaillé nommé MANTLSIM.

Au CSTB une thèse[1] commencée fin 1999 sur le thème du chauffe-eau à faible débit s'oriente vers le développement d'un modèle de ballon de stockage de type double enveloppe avec la possibilité d'injecter le fluide du capteur dans l'enveloppe à plusieurs niveaux (dans le modèle mentionné à l'alinéa précédent, l'enveloppe ne comporte qu'une entrée). Les équations de ce modèle reposent sur la philosophie des modèles zonaux pour le fluide et un schéma de différence fini pour les parois.

3. OFFRE TECHNOLOGIQUE

Des chauffe-eau à faible débit sont apparus sur le marché il y a plus de dix ans. Il s'agit de celui que le fabricant Aidt Miljø a mis sur le marché danois en 1989 et du Solar Boiler apparu à la même époque au Canada (fabriqué par Thermo Dynamics Ltd).

3.1 LES MODÈLES

Le tableau suivant recense les principaux chauffe-eau solaires à faible débit que nous avons trouvés sur le marché européen - un seul existe sur le marché français depuis peu. Cinq de ces appareils ont été essayés par l'Institut de technique solaire (SPF) de Rapperswil en Suisse. Nous avons repris certaines informations et schémas sur son site internet (www.solarenergy.ch). Les prix indiqués ont diverses sources, les fabricants eux-mêmes ou des centres de recherches (SPF, TUD, ETSU) et doivent être considérés plutôt comme des ordres de grandeur. Nous avons ajouté à la dernière ligne du tableau le chauffe-eau à débit variable ("high flow -low flow) de Buderus, arrivé depuis peu sur le marché français.

[1] "Étude du comportement thermique d'un chauffe-eau solaire à faible débit", Lana KENJO sous la direction du professeur Lucien ÉLÉGANT de l'Université de Nice-Sophia Antipolis avec la coopération du Laboratoire d'étude des phénomènes de transfert appliqués au bâtiment (Université de La Rochelle)

Fabricant/modèle	Type de capteur Surface	Type de ballon Volume	Prix
Agena (Suisse) Kit solaire	2 x 2 m^2= 4 m^2	double enveloppe alimentée par trois vannes 450 litres	12 000 FS HT (8 100 €) monté
Aidt Miljø (Danemark)	4 m^2	double enveloppe 280 litres	4 700 € monté
Christeva Sonnenenergie-Technik (Allemagne)	8 à 80 m^2 capteurs C8 ou C2S	échangeur externe alimentation du ballon à deux niveaux, à partir de 500 l	
Hoval (Suisse) Solkit	Serpentin 4,2 m^2	double enveloppe injection dans l'enveloppe par tube à clapets 270 litres	8 700 FS TTC (5 900 €) hors montage
Rüesch Solartechnik (Suisse) Mini-Sol	A tubes parallèles 2 x 2,08 m^2= 4,16 m^2	ballon avec deux échangeurs intérieurs 400 litres	8 700 FS HT (5 900 €) monté (ni raccordement ni mise en service)
Scherer Solarsystem (Allemagne) Sunny prestige	12,6 m^2 ou 20,8 m^2	1000 ou 2000 l échangeur externe alimentation du ballon à deux niveaux	8 600 ou 10 500 €
Soltop Schuppisser (Suisse) Quicksol	serpentin 2 x 2 m^2 = 4 m^2	ballon avec deux échangeurs 450 litres	12 000 FS HT (8 100 €) monté
SOLVIS (Allemagne)	A tubes parallèles 7 m^2 et plus	Ballon Stratos à tubes à clapets 750, 1000, 1500, 2000 litres	3 100 € Stratos 750 seul
Sonnenklar Nova distribué en France par Solaire Connexion	SK 500 Double serpentin 3 x 2,5 m^2 = 7,5 m^2	Réservoir avec stratificateur intégré 500 litres	5 600 € HT hors montage
Thermo Dynamik Solar (Suisse, Canada) Solar Boiler	Serpentin 2 x 2,72 = 5,44 m^2 ou 2 x 3 = 6 m^2	échangeur externe, pompe photovoltaïque 500 litres ou 820 litres	12 000 FS HT (8 100 €) monté (5,4 m^2, 500 l)
Buderus (Allemagne) Logasol Diamant Top (débit variable)	2 capteurs Logasol remplis de gaz rare 4,4 m²	ballon avec tube à clapets pour réchauffage par stratification 300 l	5 300 € HT hors montage

Tableau 1 : les chauffe-eau solaires à faible débit du marché européen

Voyons les particularités de ces appareils.

3.1.1 AGENA

Le Kit Solaire d'AGENA (Figure 2) possède une régulation élaborée qui, en fonction des températures à différents niveaux dans le ballon, injecte le fluide primaire dans l'enveloppe à différents niveaux de manière à assurer la meilleure stratification thermique.

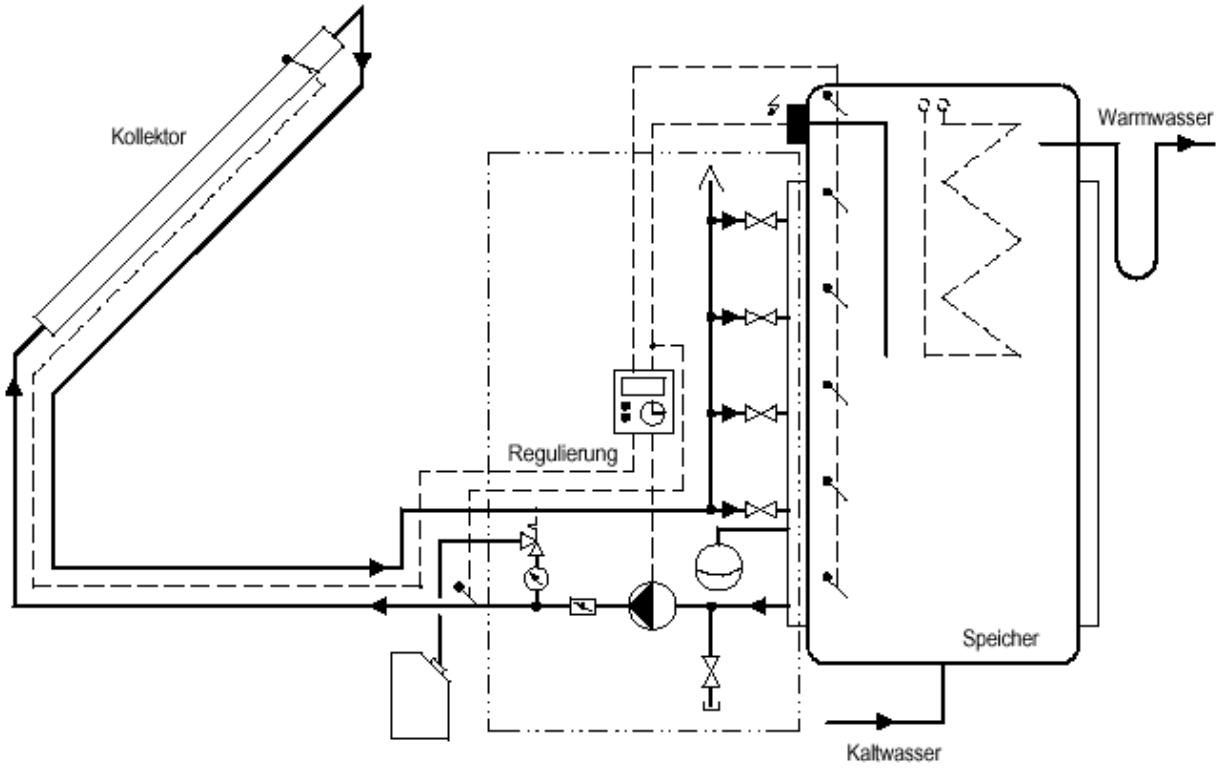


Figure 2 : Kit Solaire d'AGENA

Le circuit primaire comporte une gaine (Figure 3) qui réunit les tuyauteries aller et retour ainsi que le fil de la sonde de température du capteur. A l'origine les tuyauteries étaient en silicone renforcé. Elles sont actuellement en acier inoxydable annelé.

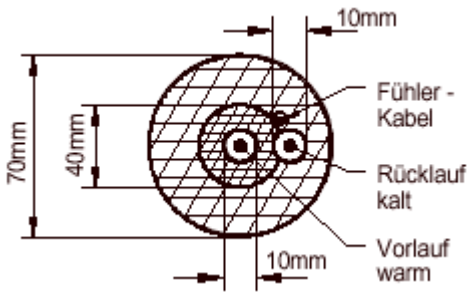


Figure 3 : coupe de la canalisation du circuit primaire

3.1.2 AIDT MILJØ

Le chauffe-eau à faible débit danois d'Aidt Miljø, le premier à avoir été commercialisé, comporte un ballon a double enveloppe sans dispositif particulier pour améliorer la stratification. Cet appareil s'est vendu à des milliers d'exemplaires.

3.1.3 CHRISTEVA SONNENENERGIE-TECHNIK

Le chauffe-eau à faible débit de Christeva (Figure 4) possède un échangeur externe et une régulation qui injecte l'eau du circuit secondaire soit en haut du ballon, soit au milieu pour tirer parti d'un ensoleillement réduit sans détruire la stratification thermique du ballon.

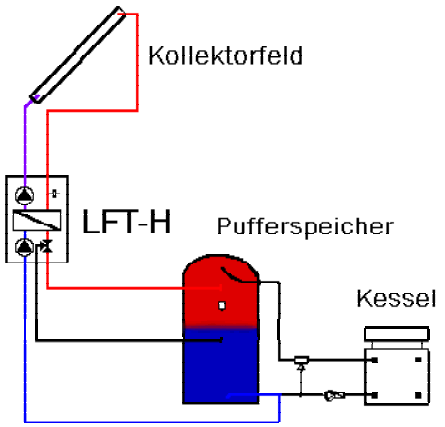


Figure 4 : le système à faible débit de Christeva

3.1.4 HOVAL

Le système SolKit comporte un ballon à double enveloppe. La commercialisation du système a débuté en 1996 mais par la suite le fabricant a changé et ses composants aussi.

A l'origine, le système ne comportait qu'un seul capteur, alors qu'aujourd'hui, le capteur standard de quatre mètres carrés est composé de deux unités.

L'enveloppe extérieure comportait initialement un tube à clapets qui devait permettre d'injecter le fluide primaire au niveau adéquat selon sa température. Le tube à clapets a disparu, l'enveloppe est munie de deux orifices d'entrée, l'un au tiers de la hauteur et l'autre aux deux tiers inférieurs. Des électrovannes permettent d'utiliser l'un ou l'autre orifice en fonction des températures.

Pour la conduite qui lie le capteur à l'accumulateur, le fabricant a remplacé le matériau synthétique par un tube de cuivre plus robuste.

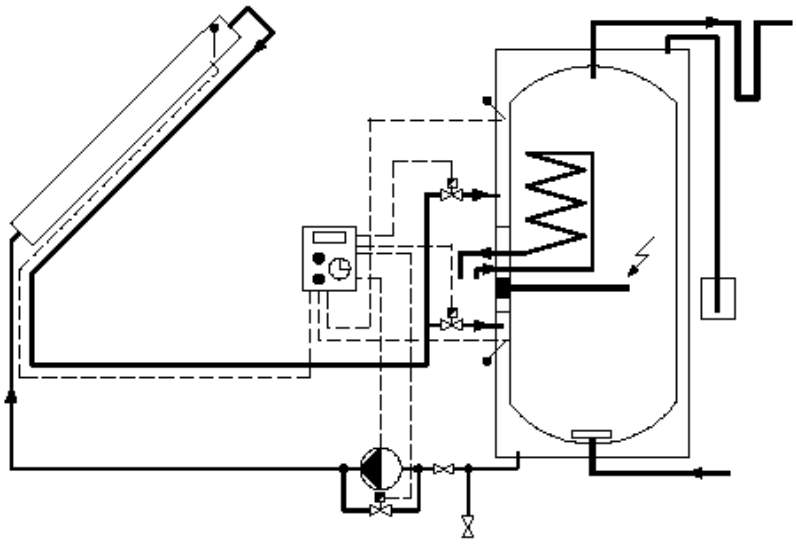


Figure 5 : le chauffe-eau Solkit actuel

3.1.5 RÜESCH SOLARTECHNIK

Le ballon du chauffe-eau solaire Minisol (Figure 6) comporte deux échangeurs (plus un troisième en cas d'appoint par chaudière). Le fluide primaire passe toujours dans l'échangeur inférieur mais ne passe dans l'échangeur supérieur que si les niveaux de température le justifient. Une canalisation unique (Figure 7) permet de raccorder le capteur ; les tuyauteries qu'elle comporte sont en cuivre et non en matériau synthétique.

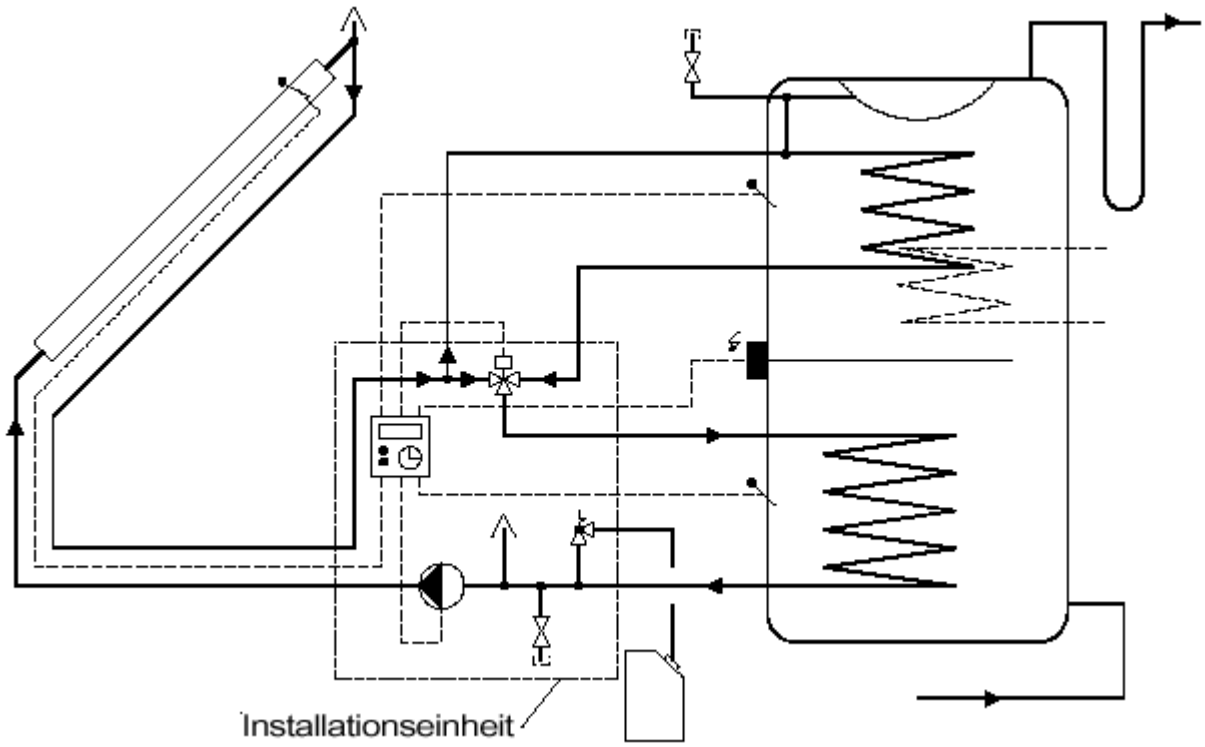


Figure 6 : le chauffe-eau solaire Minisol

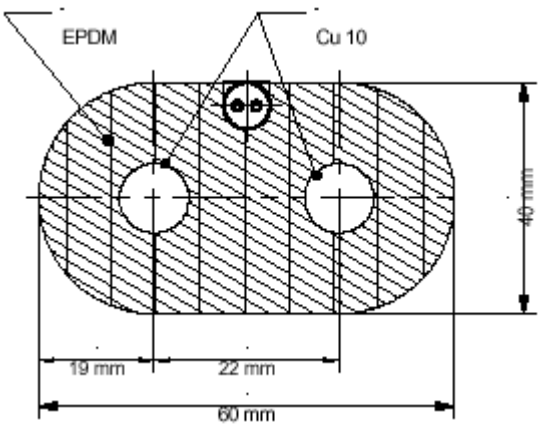


Figure 7 : canalisation primaire (Minisol)

3.1.6 SCHERER SOLARSYSTEM

Les chauffe-eau Sunny Prestige de Scherer Solarsystem fonctionnent selon le même principe que celui de Christeva (échangeur externe et alimentation du ballon à deux niveaux). Le module qui comprend l'échangeur, les pompes et le régulateur, semble le même (série HELIOREG).

3.1.7 SOLTOP SCHUPPISSER

Le chauffe-eau Quicksol (Figure 8) fonctionne avec deux échangeurs comme le chauffe-eau Minisol (§ 3.1.5) avec en plus la vidange automatique des capteurs quant la pompe est arrêtée. Les tuyauteries du circuit primaires sont associées dans une même gaine avec le fil de la sonde du capteur. Elles sont en cuivre.

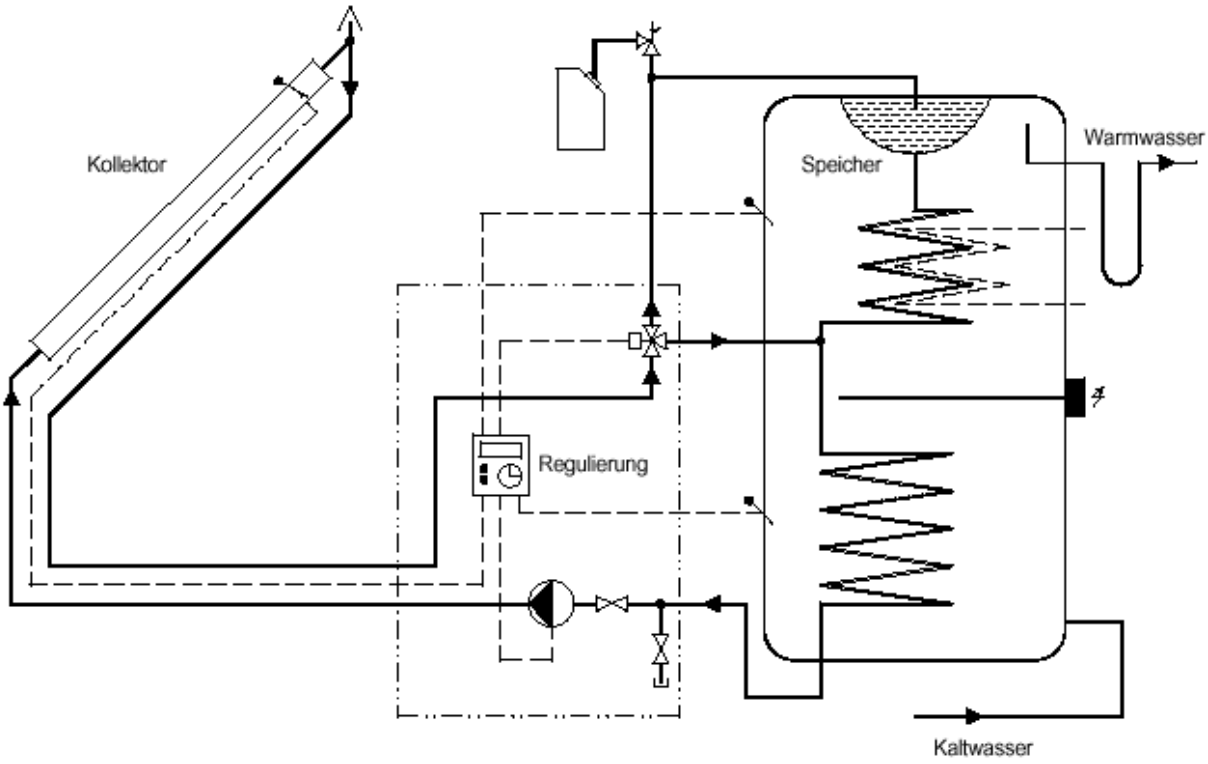


Figure 8 : le chauffe-eau Quicksol

3.1.8 SOLVIS

L'élément central du chauffe-eau à faible débit de Solvis est un réservoir dont la stratification thermique est assurée par des tubes à clapets souples en silicone (Figure 9). L'un des tubes est raccordé à l'échangeur solaire et l'autre à la chaudière d'appoint.

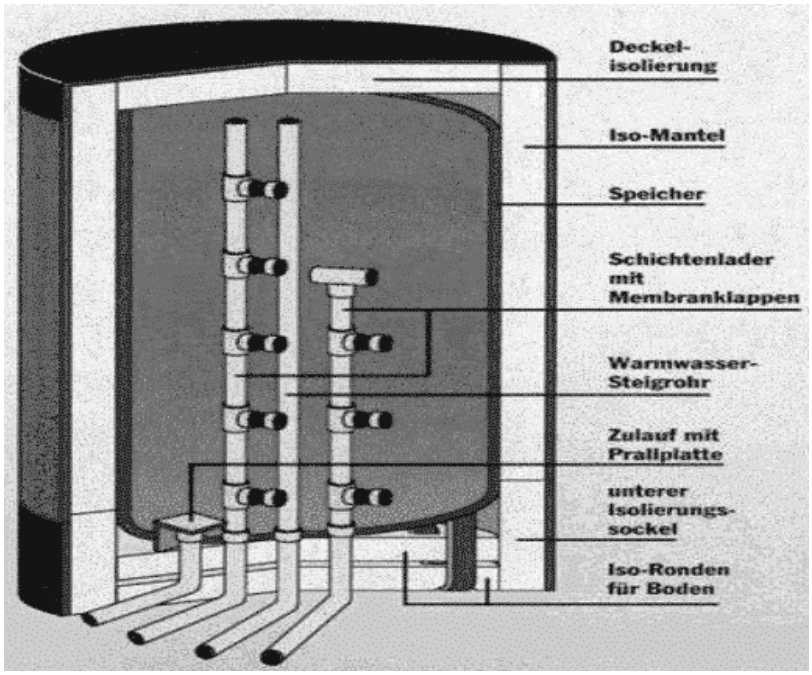


Figure 9 : le ballon Stratos

3.1.9 SOLAIRE CONNEXION

Le chauffe-eau Sonnenklar Nova comporte un réservoir à la pression atmosphérique (Figure 10) muni d'un échangeur solaire en bas et d'un échangeur d'eau chaude sanitaire en haut. L'échangeur solaire est complété par un dispositif de stratification, tube munis de soupapes à bille permettant de chauffer le réservoir d'une manière stratifiée. L'échangeur d'eau chaude sanitaire est complété par un tube qui conduit l'eau refroidie en bas du réservoir sans détruire la stratification.



Figure 10 : le ballon du chauffe-eau Sonnenklar Nova

3.1.10 THERMO DYNAMIK SOLAR

Le chauffe-eau Solar Boiler est apparu sur le marché d'abord au Canada (fabriqué par Thermo Dynamics Ltd) à peu près en même temps que le chauffe-eau d'Aidt Miljø au Danemark (1989).

Son originalité est d'utiliser une pompe à palette dont le moteur est alimenté par un capteur photovoltaïque. La boucle primaire était initialement à vidange automatique mais avec un fluide antigel. Ce principe a été abandonné dans les modèles récents qui comportent un vase d'expansion.

Le chauffe-eau comporte un échangeur externe. La circulation entre échangeur et ballon se fait par thermosiphon.

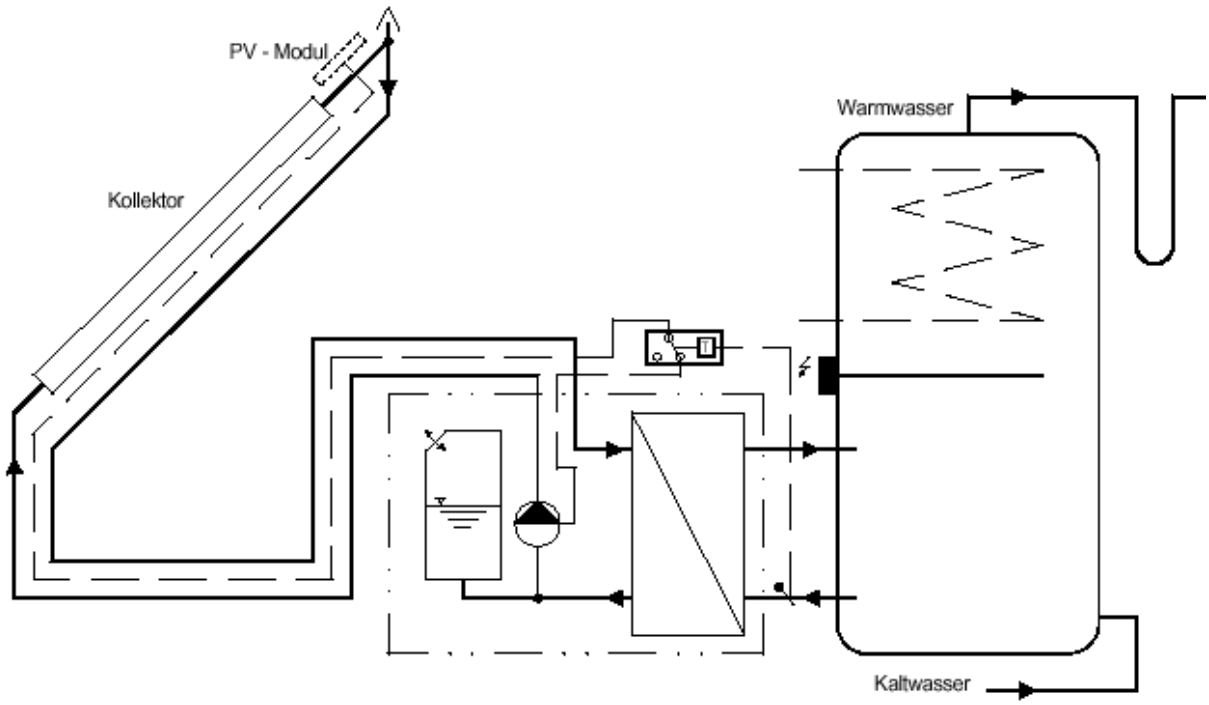
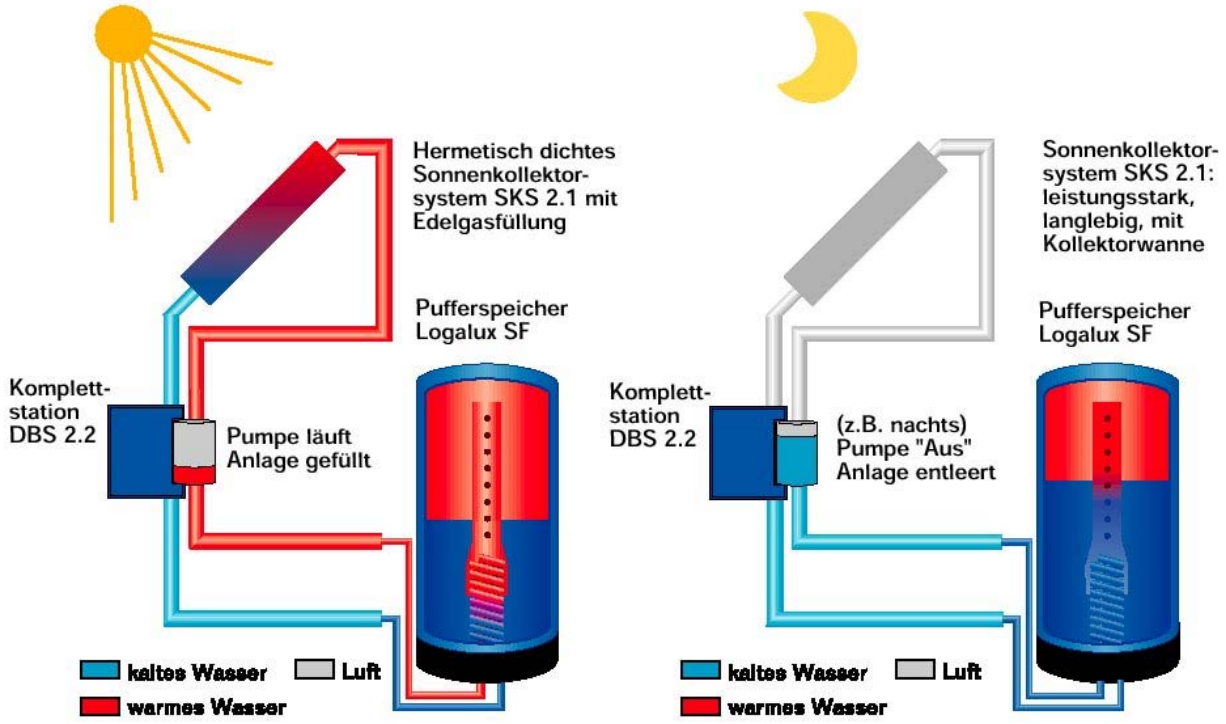


Figure 11 : le chauffe-eau Solar Boiler (version à vidange automatique)

3.1.11 BUDERUS

Le chauffe-eau solaire Logasol Diamant Top de Buderus n'est pas uniquement à faible débit puisqu'il est à débit variable. Les conduites du circuit primaire ont un diamètre de 15 mm au lieu de 10 pour la plupart des autres chauffe-eau du tableau. Pour le reste on retrouve des similitudes avec les appareils précédents : double tube en cuivre avec isolation thermique, protection UV et câble de sonde intégré "Twin Tube", dispositif pour assurer une chauffe stratifiée du ballon (tube à clapets).

On lit dans la documentation technique de Buderus que ce procédé de débit variable, en permettant d'utiliser même de faibles taux d'ensoleillement, permet une économie d'énergie annuelle de 50 % par rapport aux installations solaires traditionnelles. Ce point sera abordé lors de notre prochain contact avec ce fabricant.



Zusätzliche Sicherheit und mehr Komfort durch das Drain-Back-System Logasol DBS 2.2.

Figure 12 : le chauffe-eau Logasol Diamant Top de Buderus

3.2 LES ÉLÉMENTS DU CHAUFFE-EAU

3.2.1 CAPTEUR

Sur les onze appareils du tableau 1, quatre comportent des capteurs à serpentin. Ce type de capteur n'est donc pas obligatoire. Notons d'une part que d'autres types sont adaptés au faible débit. C'est le cas du capteur AGENA dans lequel l'écoulement du fluide est laminaire. Le moindre coefficient d'échange entre fluide et métal est largement compensé par une surface d'échange beaucoup plus grande puisque c'est toute la surface de l'absorbeur. D'autre part, les capteurs à tubes tolèrent une certaine réduction de leur débit nominal ; il suffit alors d'en raccorder 3 ou 4 en série pour se trouver dans les conditions du système à faible débit.

3.2.2 BALLON ET ÉCHANGEUR

Sur les onze appareils du tableau, neuf comportent des dispositifs spécifiques pour améliorer la stratification. Ces dispositifs consistent à injecter l'énergie solaire dans le ballon à différentes hauteurs. Cela se fait soit avec des tubes à clapets (Solvis, Sonnenklar, Buderus) soit par des électrovannes commandées par la régulation (Agena, Christeva Sonnenenergie-Technik, Hoval, Rüesch Solartechnik, Scherer Solarsystem, Soltop Schuppisser).

Les systèmes à électrovannes pour assurer une bonne stratification thermique du stockage sont donc majoritaires.

Le chauffe-eau le moins cher - celui d'Aidt Miljø - comporte un simple ballon à double enveloppe. Le chauffe-eau Solar Boiler (Thermo Dynamik Solar) comporte un échangeur extérieur dans lequel l'eau chaude sanitaire circule par thermosiphon.

3.2.3 TUYAUTERIES, POMPE

Les tuyauteries en matériaux synthétiques, jugées pourtant prometteuses, ont été abandonnées par les deux fabricants qui les utilisaient.

La conduite unique avec double tube en cuivre et câble de sonde intégré dans une gaine isolante a la faveur des fabricants et présente un avantage à l'installation.

Un seul appareil utilise la technique prometteuse de la pompe photovoltaïque (Solar Boiler). Il n'est pas parmi les moins chers. Les autres ont des pompes de type circulateurs de chauffage.

3.2.4 PERFORMANCES ET PRIX

Les quelques données de performances offertes par les fabricants sont disparates et ne permettent pas de tirer des conclusions sur les chauffe-eau à faible débit. Cinq des appareils du tableau 1 ont subi les tests de l'Institut de technique solaire (SPF) de Rapperswil mais les performances d'un seul sont publiées (Hoval Solkit) ; elles sont parmi les meilleures de celles publiées par le SPF. Pour les autres on sait seulement qu'ils ont satisfait aux critères de certification du SPF (notamment énergie d'appoint inférieure à une certaine valeur dans des conditions de référence).

En regardant le tableau 1, on ne retrouve pas le discours récurrent dans toute la littérature même récente sur le sujet, à savoir que le faible débit permet de réduire les coûts d'investissement. Au contraire les chauffe-eau à faible débit constituent le haut de gamme, notamment pour Agena, Hoval, Scherer Solarsystem (Sunny prestige), Solvis qui ont à leur catalogue des modèles classiques moins chers.

Mis à part le modèle d'Aidt Miljø, le moins cher, un chauffe-eau solaire à faible débit coûte de 5 à 6 000 euros hors taxes et hors montage.

4. DISCUSSION

On voit apparaître une contradiction entre les deux volets de notre étude. Alors que les travaux de recherche mettent toujours en avant la réduction des coûts, les chauffe-eau solaires à faibles débits commercialisés sont des appareils haut de gamme parmi les plus chers du marché.

Plusieurs questions se posent :

- peut-on vraiment espérer des chauffe-eau solaires à faible débit à bon marché ?

- les chauffe-eau solaires à faible débit sont-ils réservés aux pays riches et peu ensoleillés ?

- cette technique a-t-elle un avenir en France et dans quel créneau ?

4.1 PERSPECTIVES DE RÉDUCTION DES COÛTS

4.1.1 CAPTEURS

Un chauffe-eau solaire comporte le plus souvent deux ou trois capteurs. Une possibilité de réduire le coût de ces capteurs est l'utilisation d'un capteur moins cher et moins performant en amont, où les pertes sont moindres du fait de la température moins haute du fluide. Ce capteur moins cher serait par exemple un capteur à revêtement non sélectif.

Cependant les fabricants qui font des capteurs à revêtement sélectif tendent à abandonner la production de capteurs à revêtement non sélectif. D'autre part on voit mal un chauffe-eau associant deux capteurs de marques différentes. Ce gisement de réduction des coûts n'est donc pas très prometteur.

4.1.2 BOUCLE PRIMAIRE

L'utilisation d'une tuyauterie de faible diamètre en matériau synthétique est souvent cité comme une possibilité de réduire le coût du chauffe-eau solaire. Un tuyau en polyéthylène réticulé de 12 mm de diamètre, destiné à une installation de chauffage, coûte environ 1 euro le mètre soit 3 ou 4 fois moins cher qu'un tuyau de cuivre de même diamètre. Un tuyau flexible en acier inoxydable annelé tel que celui utilisé dans le chauffe-eau solaire d'AGENA est lui-même 3 ou 4 fois plus cher (14 €/m) que le tuyau de cuivre équivalent.

Le comportement des tuyauteries en matériaux de synthèse pour le chauffage est bien connu jusqu'à 90-95 °C mais on manque d'essais en laboratoire avec des températures plus élevées. Or la température de stagnation d'un capteur, à laquelle va être soumise périodiquement la tuyauterie de sortie du capteur, est largement supérieure à 100 °C. Lorsqu'on voit que les quelques fabricants de chauffe-eau solaires qui ont employé des tuyauteries en matériaux de synthèse les ont tous abandonnées il faut en conclure qu'il y a là un problème non résolu - problème qui concerne d'ailleurs peut-être plus les raccords que le matériau de synthèse lui-même.

La pompe d'un chauffe-eau solaire ordinaire est un circulateur de chauffage qui vaut une centaine d'euros. On ne trouve pas de pompes moins chères adaptées à des chauffe-eau solaires à faible débit.

4.2 PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DU CHAUFFE-EAU À FAIBLE DÉBIT

Dans un pays peu ensoleillé, l'augmentation de la capacité de stockage peut permettre de passer une journée sans soleil. Plus la capacité de stockage est grande, plus il est intéressant d'avoir une chauffe stratifiée. Sinon on a de l'eau tiède. La chauffe stratifiée permet d'avoir plus souvent de l'eau chaude à température utilisable et donc d'éviter plus souvent le recours à l'appoint.

La boucle de captage à faible débit associée au stock stratifié permet d'obtenir de l'eau chaude à température utilisable sans augmenter les pertes voire en les réduisant du fait que le capteur est alimenté avec de l'eau moins chaude.

Les perspectives de réduction des coûts des chauffe-eau solaires individuels à faible débit sont modestes. On peut penser que ces perspectives sont meilleures si on applique la technologie du faible débit à l'eau chaude collective. Dans une installation collective à faible débit on peut plus facilement utiliser deux modèles de capteurs, l'un moins cher et moins performant que l'autre, et diminuer ainsi le coût du champ de capteur. On peut diminuer le diamètre des canalisations de la boucle primaire ainsi que la puissance des pompes et donc le coût de la boucle primaire. On peut aussi avoir plusieurs ballons de stockage en série à des températures différentes. Cependant la notion d'eau chaude à température utilisable à moins de sens pour

les installations collectives car celles-ci sont généralement dimensionnées de telle sorte que le taux de couverture solaire ne soit jamais de 100 % : on n'arrête jamais l'appoint.

Il y a tout de même un cas où la notion d'eau chaude à température utilisable a un sens, c'est celui des installations solaires collectives à appoint individuel. Comme on l'a vu lors de campagnes de mesures aux HLM de Cannes [11], les usagers n'hésitent pas à arrêter l'appoint individuel dès que la température de l'eau chaude solaire est suffisante.

5. CONCLUSION

La technique du faible débit est utilisée principalement dans des chauffe-eau solaires de moyen ou haut de gamme, en association avec des dispositifs permettant d'obtenir des stockages stratifiés en température. Le but est d'obtenir de l'eau chaude utilisable sans appoint avec des apports solaires limités. Ces appareils sont mieux adaptés au Nord de la France qu'au Sud.

Les perspectives de réduction des coûts des chauffe-eau solaires individuels à faible débit sont modestes à court terme. La technique du faible débit pourrait s'appliquer aux installations solaires collectives à appoint individuel où elle est susceptible d'apporter à la fois une économie d'investissement et de meilleures performances.

RÉFÉRENCES

1. International Energy Agency, DUFF W. (ed.), Advanced Solar Domestic Hot Water Systems, a report of the task 14 of the IEA SHC, 1996

2. FURBO S. Optimum design of small DHW low flow solar heating systems, ISES Solar World Congress, Budapest, 1993

3. DAYAN M. High Performance In Low-Flow Solar Domestic Hot Water Systems. Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 1997

4. FURBO S. Present and future SDHW system technology, EuroSun'98 Conference, Portoroz, 1998

5. PFISTER Y., RENOULT O. Analyses et améliorations des performances de chauffe-eau solaires commerciaux, Ecole d'ingénieur du Canton de Vaud, 1998

6. ABDEL-KHALIK S. I. Heat removal factor for a flat plate solar collector with a serpentine tube. Solar Energy, 1976, 18 (59)

7. LUND K., O'FERRALL. General Thermal Analysis of Serpentine-Flow Flat-Plat Solar Collector Absorbers. Solar Energy 1989, 42(2), P. 133-142

8. ZHANG H., LAVAN Z. Thermal Performance of a Serpentine Absorber Plate. Solar Energy, 1985, 34(2), P. 175-177

9. CHIOU J. P., PERERA D. G. Performance analysis of a serpentine type flat plat solar collector. Proc. ASME-ASES Solar Energy Conference, Knoxville, 1985

10. SHAH L. J., Investigation and modelling of thermal conditions in low flow SDHW systems, Ph. D. Thesis, Technical University of Danemark, 1999

11. BUSCARLET C., BAZALGETTE M., Étude des performances thermiques d'installations solaires collectives de production d'eau chaude sanitaire dans la région PACA, rapport CSTB n° ECTS/86/422, Sophia-Antipolis, juillet 1986