

Système Solaire Combiné Eau Chaude Sanitaire + Chauffage Capteurs à tubes SUNRAIN

Antony (92)

Avril 2009



Préambule

J'ai souhaité dans ce document décrire de façon détaillée non seulement l'installation telle que je l'ai réalisée, mais aussi et surtout les choix que j'ai effectué et pourquoi j'ai fait ces choix, depuis le dimensionnement global jusqu'au choix des équipements, ainsi que les difficultés rencontrées.

J'ai essayé d'être le plus précis possible, à la fois parce que je sais que c'est dans les expériences des autres qu'on trouve des réponses à ses propres problèmes, quelques fois sur un détail, et aussi pour me servir ultérieurement. J'ai en effet griffonné beaucoup de notes pendant l'étude et la réalisation, mais je souhaitais conserver une synthèse propre.

Il y a probablement des erreurs dans les choix et des approximations dans les calculs, car malgré cette expérience et le très bon résultat d'ensemble obtenu, je suis loin d'être un expert du sujet et ai encore beaucoup de choses à apprendre.

Je remercie tous les membres du forum APPER pour leurs précieux conseils qui m'ont permis d'obtenir ce résultat.

Sommaire

1	Le contexte, l'existant	4
1.1	La maison	4
1.2	L'installation de chauffage existante	4
1.3	La 1 ^{ère} approche.....	5
1.4	Mes compétences	6
2	Description générale	7
3	Choix de solution et choix du matériel	8
3.1	Dimensionnement général.....	8
3.2	Ballon et stockage	9
3.2.1	Choix du ballon.....	9
3.2.2	Raccordement du ballon.....	10
3.2.3	Raccordement en sortie de chaudière.....	11
3.2.4	Risque de légionelles	12
3.3	Capteurs	12
3.3.1	Capteurs plans / capteurs tubes ?	12
3.3.2	Montage des capteurs.....	13
3.3.3	Inclinaison des capteurs	14
3.3.4	Fixation et tenue au vent	14
3.3.5	Pose des réflecteurs	16
3.4	Circuit primaire	17
3.4.1	Diamètre tuyau primaire	17
3.4.2	Station solaire et puissance du circulateur	17
3.4.3	Sonde du capteur	19
3.4.4	Dispositif anti-surchauffe.....	20
3.4.5	Remplissage et antigel	21
3.4.6	Isolation des tuyaux	21
4	Régulation	22
4.1	Description des entrées et sorties	23
4.2	Spécifications du programme.....	23
4.3	Evolutions prévues	26
5	Budget et fournisseurs.....	27
5.1	Chez qui et quand acheter ?	27
5.2	Budget	28
6	Rendement et résultats	29
7	Difficultés et problèmes restants.....	33

1 Le contexte, l'existant

1.1 La maison

La maison est située à Antony (92), à 10 km au sud de Paris. Construite initialement sur 50 m² en 1922 en briques pleines (pavillon typique de la banlieue parisienne du début du 20^e siècle), elle a été agrandie (doublée) en 1957, toujours en briques pleines. Il y a environ 130 m² habitables, dont 30 à l'étage, plus 100 m² en sous-sol (chauffés entre 12 et 18° selon les pièces). La partie agrandie est recouverte d'une terrasse non accessible, exposée sud-sud-ouest (210°), que j'ai utilisé pour les panneaux solaires.



La maison et la terrasse avant la pose des panneaux

1.2 L'installation de chauffage existante

La maison est équipée d'une chaudière fuel à haute température, avec des radiateurs largement dimensionnés. L'installation initiale (années 40, 50 ?) a été faite pour fonctionner en thermosiphon avec une chaudière au charbon. Le départ est en tubes acier de 1 1/4 (33/42), pour finir en 1/2" (15/21) sur les radiateurs. De fait, le thermosiphon s'amorce toujours, j'ai pu le vérifier lors d'une panne du circulateur il y a quelques années et récemment avec le stock solaire. En conséquence, l'inertie est importante, ainsi que le volume d'eau de circuit de chauffage : 170 litres !.

La régulation est assurée par un thermostat d'ambiance et une V3V mélangeuse non motorisée que je règle approximativement quelques fois dans la saison.

Quand nous avons acheté en 1997, nous consommions plus de 4000 litres de fuel, hors eau chaude (ballon électrique séparé). Il n'y avait aucune isolation sur les murs, des simples vitrages, une vieille laine de verre en miettes dans les combles.

Progressivement, j'ai :

- remplacé la chaudière, en y intégrant l'eau chaude (ballon 130 l intégré)
- isolé les murs où c'était possible en placo+laine de roche 10+40,
- isolé la toiture sous les combles, devenu aménagés, en laine de roche 100,
- mis des double-vitrages ou survitrages selon les pièces
- mis des robinets thermostatiques sur la plupart des radiateurs, et enlevé les caches radiateurs
- et l'an passé isolé par l'extérieur la terrasse gravillonnée, avec du polystyrène (URSA XPS HR L) de 60

En baissant par ailleurs le thermostat de 20° à 18-19° (avec un feu dans la cheminée pour les soirées dans le séjour), la consommation est passée en moyenne à 2500 litres, eau chaude comprise (estimation d'environ 2100 l pour le chauffage, 400 l pour l'ECS, voir plus loin) soit un gain de près de 50% !.

Avec une consommation annuelle pour le chauffage de 21000 kwh pour près de 200 m² chauffés sous-sol compris, la performance énergétique est de 105 W/K, ce qui est raisonnable pour une maison d'origine 1922 (160 W/K si on ne compte que la surface habitable, mais est-ce normal alors que le sous-sol est relativement chauffé ?).

En 2005, j'ai posé un compteur horaire sur la chaudière fuel, qui m'est très précieux aujourd'hui pour calculer le gain apporté par le solaire. Je relève depuis 2005 la consommation de fuel toutes les semaines (voir les résultats dans le paragraphe sur le rendement).

1.3 La 1^{ère} approche

Ca fait des années que je vois cette terrasse exposée sud, inutilisée. Je suis bricoleur assez polyvalent. Et quand on voit la raréfaction de l'énergie fossile, le réchauffement climatique, l'augmentation du prix du fuel, l'idée du solaire a fait son chemin...

En commençant à m'intéresser au solaire en 2006, j'ai effectué les pré-calculs rapides suivants :

Estimation de rendement d'un Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI) :

Ma consommation de fuel pour l'ECS est d'environ 45 litres par mois en été (0,6 h/jour * 2,5 litres/h = 1,5 l/jour = 45 litres/mois)

En hiver, je n'ai pas la valeur, la chaudière tournant aussi pour le chauffage. La consommation est probablement beaucoup plus faible, car la chaudière est souvent déjà chaude. Inversement, l'eau en entrée est plus froide (8° au plus bas). Je fais l'hypothèse que la consommation de fuel est de 35 litres par mois en période de chauffe., soit 40 litres par mois en moyenne sur l'année

Coût annuel de fuel pour l'ECS : 40 l/mois * 12 mois = 480 litres = 240 € (à 0,5 €/l), 384 € à 0,8 €/l
Soit 20-25% de ma consommation de fuel totale.

Le gain estimé par un CESI pour 5 personnes (5 m² de capteurs, 300 litres de stock) est estimé usuellement à environ 50% des besoins en région parisienne, soit environ 250 litres de fuel.

L'installation de 5 m² de panneaux et d'un ballon ECS de 300 litres par un professionnel représente un coût d'environ 6000 € (prix région parisienne), moins environ 50% d'aides (impôts, région,...), soit environ 3000 €. L'investissement en auto-installation est de même évalué très approximativement à environ 3000 € de matériel mais sans aide, soit le même résultat.

Soit un retour sur investissement entre 15 et 24 ans, et un gain au delà de 250 litres de fuel par an, c'est à dire faible.

Estimation de rendement d'un Système Solaire Combiné (SSC) :

Investissement estimé approximativement à 5000 € en auto-installation (2000 € de capteurs, 1500 € de ballon, 1500 € de matériel annexe). J'exclus l'installation par un pro, car un SSC devient une installation vite spécifique pour être performante, et donc des coûts d'étude qui gonflent la note. Après renseignements, 15 à 20 000 € semblent être l'ordre de grandeur d'un tel système, à condition déjà de trouver l'installateur...

Gain minimum espéré en 1^{ère} approche : 25% de la consommation, soit 625 litres de fuel.

Retour sur investissement entre 10 et 16 ans, gain au delà entre 312 et 500 €/an.

Ma conclusion a été la suivante : Occuper des mètres carrés au sol, investir du temps et de l'énergie, pour de l'ECS uniquement et un gain de 10% de la consommation seulement, et donc 200 €/an au maximum, ça n'en vaut pas suffisamment la peine, alors que j'ai de la place pour faire une installation plus conséquente. Quitte à faire du solaire, autant voir plus gros tout de suite : investir un peu plus, mais espérer un gain nettement supérieur et brûler beaucoup moins de fuel.

1.4 Mes compétences

Je suis bricoleur assez polyvalent. Ma passion est le travail du bois mais pas de chance, il n'y en a pas dans une installation solaire...

J'ai fortement rénové cette maison, dont la réfection complète de l'électricité et de la plomberie.

Donc les travaux généraux liés au passage des tuyaux, à la fixation des capteurs, à l'électricité ou à la programmation de la régulation ne me faisaient pas peur du tout.

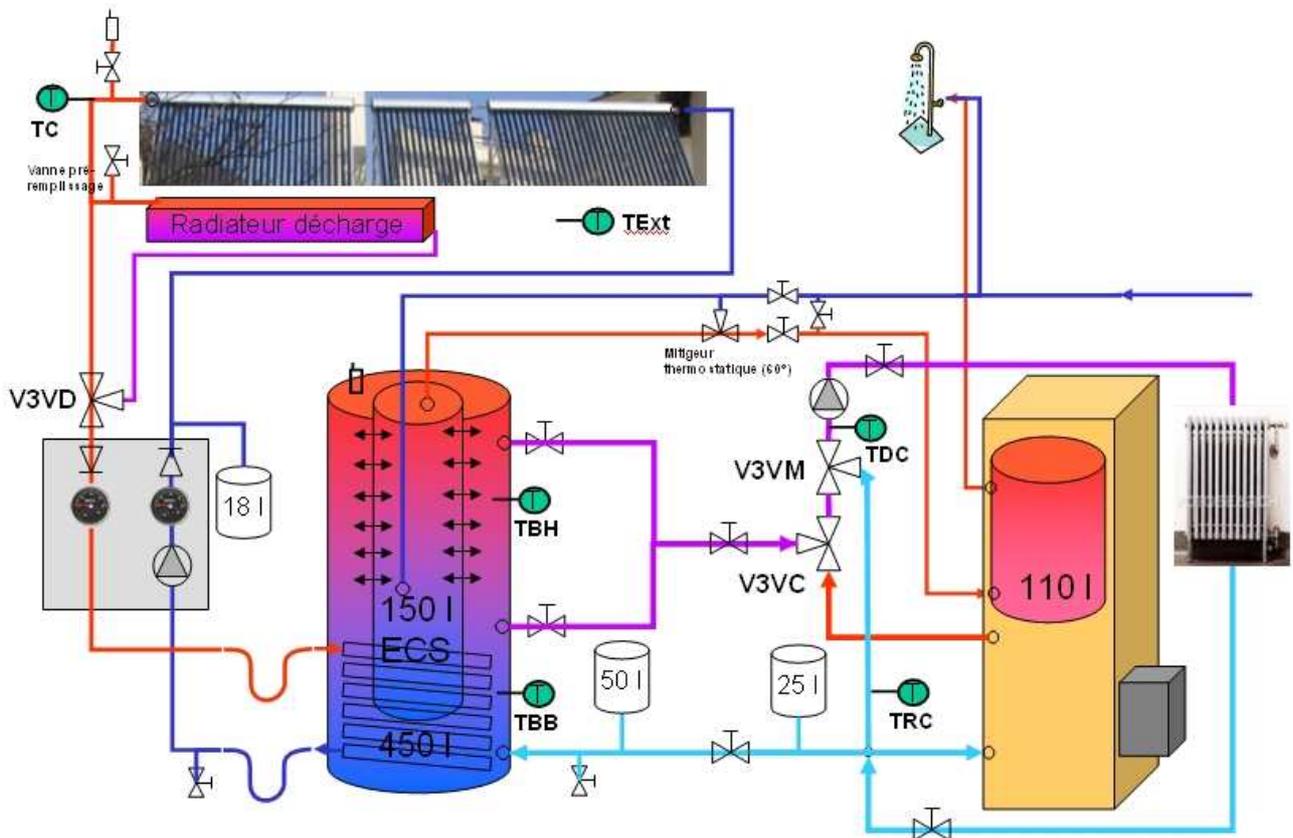
Je ne sentais par contre pas à l'aise en plomberie. Je n'avais fait que des travaux sur du tube cuivre de diamètre 12 à 16, en soudure à l'étain, et quelques déplacements de radiateurs avec du tube acier de 1/2" (15/21). Il va falloir se mettre à la brasure et au travail du tube de diamètre 1" pour le raccordement chaudière...

Je me suis donc lancé. Avec un investissement dans le matériel de plomberie nécessaire, quelques essais et tâtonnements, tout s'est globalement bien passé.

A part quelques questions posées sur le forum, j'ai tout appris sur ce type d'installation en lisant le forum et le site APPER pendant de nombreuses soirées, puis dans le livre APPER quand il est sorti, et sur internet en général.

2 Description générale

Voici donc l'installation que j'ai réalisé. Dans le chapitre suivant, je détaille les choix que j'ai effectué pour arriver à cette installation.



- Capteurs à tubes SUNRAIN : 2 de 30 tubes, un de 15 tubes, soit 75 tubes
- Ballon combiné 450 + 150 l avec vase d'expansion 50 l en complément du 25 l existant
- Chauffage solaire en parallèle avec la chaudière, piloté par V3V
- Station solaire avec circulateur Wilo ST 25/6 et vase 18 l
- Tubes circuit primaire en cuivre de 16/18 (18*1)
- Radiateur de décharge en extérieur de 4,6 Kw avec V3V
- Régulation Millenium III
- 6 sondes PT1000 et cartes convertisseur

J'ai souhaité que l'installation existante puisse être rendue indépendante de l'installation solaire, à la fois pour permettre une mise en route progressive, et des interventions si besoin. Il y a donc des vannes manuelles sur le circuit ECS et sur le circuit chauffage pour court-circuiter le ballon solaire si besoin.

3 Choix de solution et choix du matériel

3.1 Dimensionnement général

Capteurs :

Je disposai de 7 mètres linéaires en terrasse, moins 0,5 mètres de passage à laisser libre, soit 6,5 mètres utiles. Soit environ 12 m² de capteurs plan, avec 5 capteurs type TINOX 2510 (2*1,2 m), ou 75 tubes de capteur à tubes sous vide (SUNRAIN propose des collecteurs avec 10, 15, 20, 25 ou 30 tubes)

La terrasse faisant 60 m², j'ai envisagé de mettre une 2^e rangée de capteurs en 2^e plan mais :

- La 2^e rangée serait limitée à 5 mètres linéaires
- il y aurait un masque plus important le matin, un masque en fin d'après-midi, et l'ombre des cheminées
- l'équilibrage des 2 champs de capteurs serait en conséquence très difficile car n'ayant pas le même ensoleillement
- ça augmenterait les problèmes de surchauffe en été

Le gain serait donc faible et les difficultés importantes



Place potentielle pour une 2^{ème} rangée de capteurs, mais avec des masques plus importants

Besoin de stockage :

La théorie dit (trouvé sur différents sites, je ne sais plus lesquels):

- 50 litres de stock et 0,6 kw de capteur par personne pour l'ECS. Nous sommes 5, soit 250 litres et 3 KW
- 5 litres de stock et 60 w de capteur par m² à chauffer pour le chauffage. J'ai 130 m² habitables, soit 650 l et 7,8 KW

Soit un besoin théorique total de 900 litres et 10,8 kw

Or la surface de capteurs est limitée à 12 m² (en capteurs plans). Avec une puissance solaire moyenne d'environ 700W/m² en capteur plan (rendement 70%), j'ai une puissance maxi de 8,4 KW pour 12 m². Il faudrait donc limiter le ballon à 700 litres.

Autre approche, mais qui ne m'a pas vraiment aidé :

J'ai estimé les déperditions de la maison à 440 W/K (voir chapitre sur le rendement).

En cours d'hiver, la température est de 8° en moyenne, soit 10° de DJU (écart avec 18°). Le besoin énergétique est de : $440 * 10^{\circ} * 24 \text{ h} = 105 \text{ kwh/jou r}$

Avec une hypothèse de 7 heures de soleil, il faut une puissance de 15 kw pour être autonome. Avec une puissance de 8,4 kw, je couvrirai donc 60% de mes besoins...

Ces calculs donnent une idée mais me semblent très approximatifs, car il y a de nombreux paramètres non maîtrisés. En me basant sur les CR d'autres installations, je constate que 600 ou 800 litres pour ma surface de capteurs semblent une bonne valeur. Comme j'ai un fort volume d'eau dans les tuyaux, qui permettent de « stocker » en complément, je préfère prendre plutôt pas assez que trop. J'ai finalement retenu un 600 litres. Au bout de 2 mois, je ne regrette pas du tout ce choix.

3.2 Ballon et stockage

3.2.1 Choix du ballon

J'ai étudié 3 possibilités par rapport à mon besoin :

- 1 ballon ECS de 600 ou 800 litres avec double échangeur, échangeur du haut pour le chauffage
- 2 ballons séparés pour chauffage et ECS
- 1 ballon combiné

J'ai rapidement éliminé la solution à 2 ballons séparés pour les raisons suivantes :

- plus d'encombrement
- plus de raccords, de vannes sur le circuit primaire
- plus compliqué à gérer pour piloter la bascule d'un ballon à l'autre
- plus cher

La solution 1 ballon avec double échangeur ne m'a pas paru performante : dans un SSC, il faut donner la priorité au chauffage par rapport à l'ECS. Or, l'échangeur du haut a généralement une faible surface d'échange. S'il faut passer par un échangeur de plus pour le chauffage, on fait chuter le rendement. De plus, le volume d'ECS est important, donc il y a plus de risque de développement de légionnelles.

La solution du ballon combiné me semble par contre avoir tous les avantages dans mon cas :

- moins d'encombrement
- stock relativement faible d'ECS, donc risque de légionnelle plus faible
- raccordement simple
- échangeur important entre le stock de chauffage et d'ECS

Je n'ai pas retenu le ballon du groupement APPER pour une raison de poids (le ballon, pas la raison...) : 565 kg pour un combiné de 800 l, ça m'a paru inenvisageable de le descendre dans le garage.

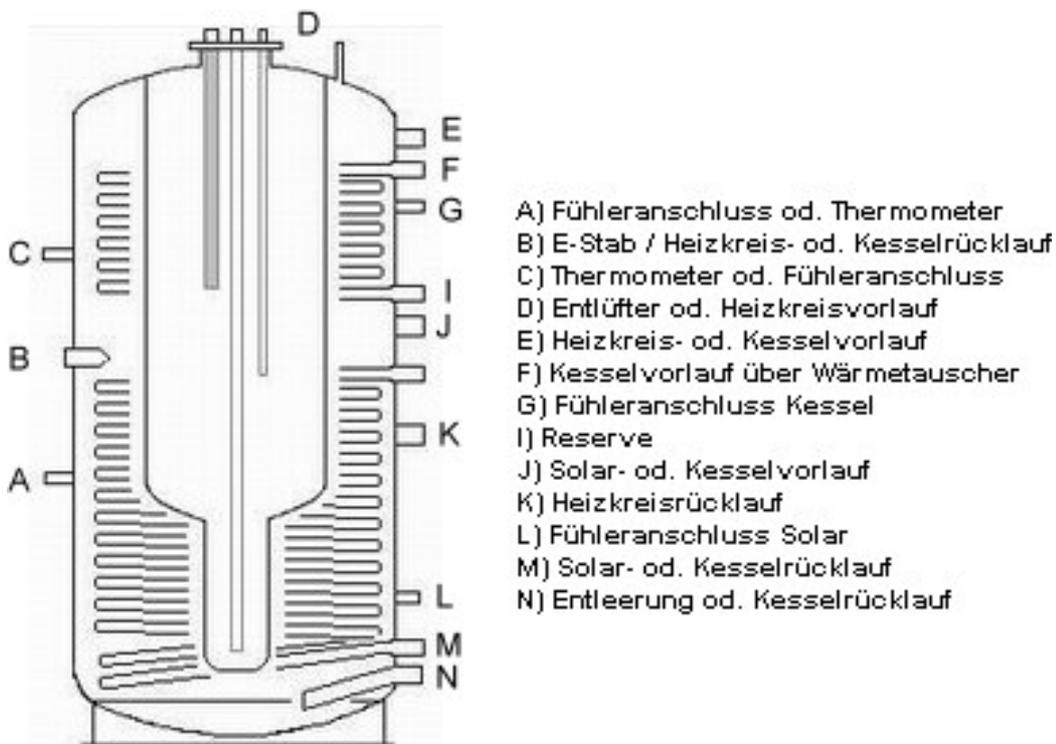
Vu la difficulté rencontrée pour descendre celui que j'ai pris (190 kg), je ne regrette pas de ne pas avoir tenté les 565 kg... !. L'acier est certainement moins épais. L'avenir dira si j'ai fait un mauvais choix

J'ai retenu un ballon combiné modèle KR2-600 : 450 l + 150 l, avec 2 échangeurs, cuve émaillée 2 faces pour l'ECS, anode magnésium, de nombreuses possibilités de raccordement et une bonne surface d'échange pour l'échangeur solaire : 2,1 m²

J'ai pris le modèle avec 2 échangeurs, pour ne pas regretter plus tard de ne pas l'avoir. Mais le 2^e échangeur ne me sert pas.

Chez le même fournisseur, j'ai failli prendre un ballon dit combiné « hygiénique », dans lequel le ballon intégré d'ECS est un gros échangeur spirale inox de 38 litres. Hygiénique car plus aucun risque de légionnelle. Mais 40% plus cher, avec un risque de chauffage de l'ECS insuffisant en cas de soutirage important (>38l). Et sachant que ma chaudière fuel assure le complément donc tue les légionnelles...je n'ai pas retenu ce modèle.

3.2.2 Raccordement du ballon



Il n'y a pas de choix pour le raccordement sanitaire, ni pour celui de l'échangeur solaire.

Pour le raccordement du départ chauffage, j'ai hésité entre les points K, J et E, tous les 3 en 1"1/2

E : on utilise tout le stock pour le chauffage

K ou J : on puise uniquement le milieu ou bas pour le chauffage, en conservant de la chaleur en haut pour l'ECS.

Dans le doute, j'ai raccordé à la fois J et E, avec 2 vannes (voir schéma de l'installation), et bouchonné K.

Après un mois d'usage, c'est un bon choix :

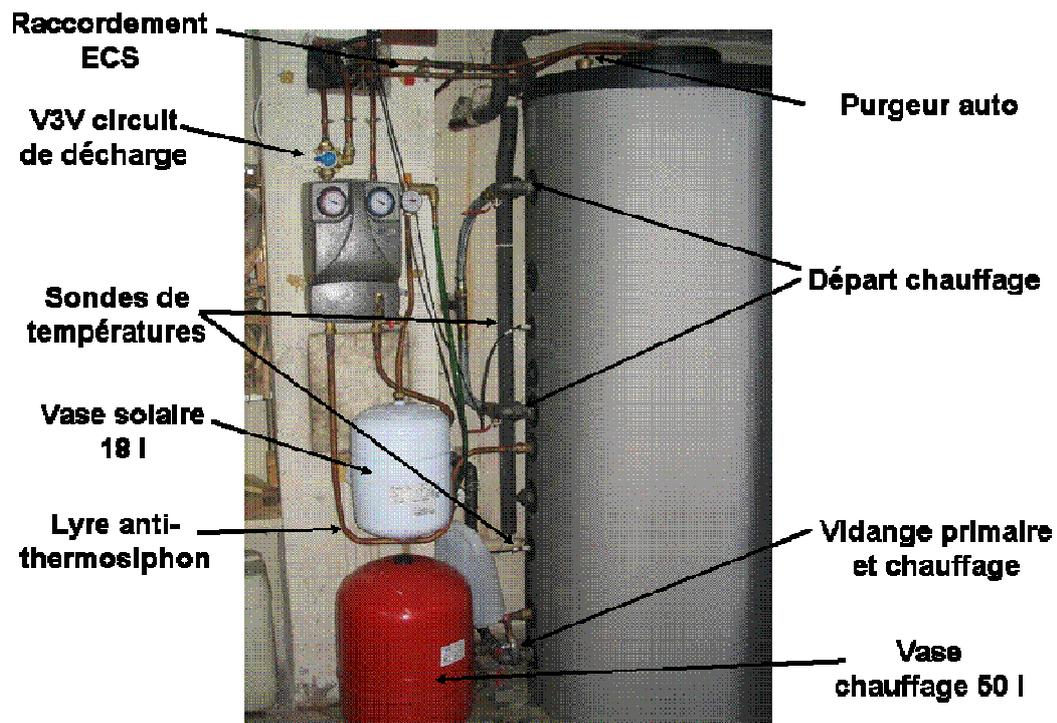
- en mode hiver, E est ouvert, J fermé : j'exploite au mieux le stock pour le chauffage
- au printemps (en ce moment) le besoin de chauffage est très faible. E est fermé, J ouvert. Je peux même arrêter le circulateur de chauffage. Si la V3VC est en position solaire, l'installation fonctionne en thermosiphon

S'il fallait un seul raccordement, maintenant c'est évident, je prendrai celui du haut pour priorité au chauffage.

Les sondes TBB (Temp Ballon Bas) et TBH (Temp Ballon Haut) sont en L et G

TBB sert à piloter le circulateur solaire, TBH le chauffage.

Tout le reste est bouchonné.



La chaudière fuel est juste derrière le mur

3.2.3 Raccordement en sortie de chaudière

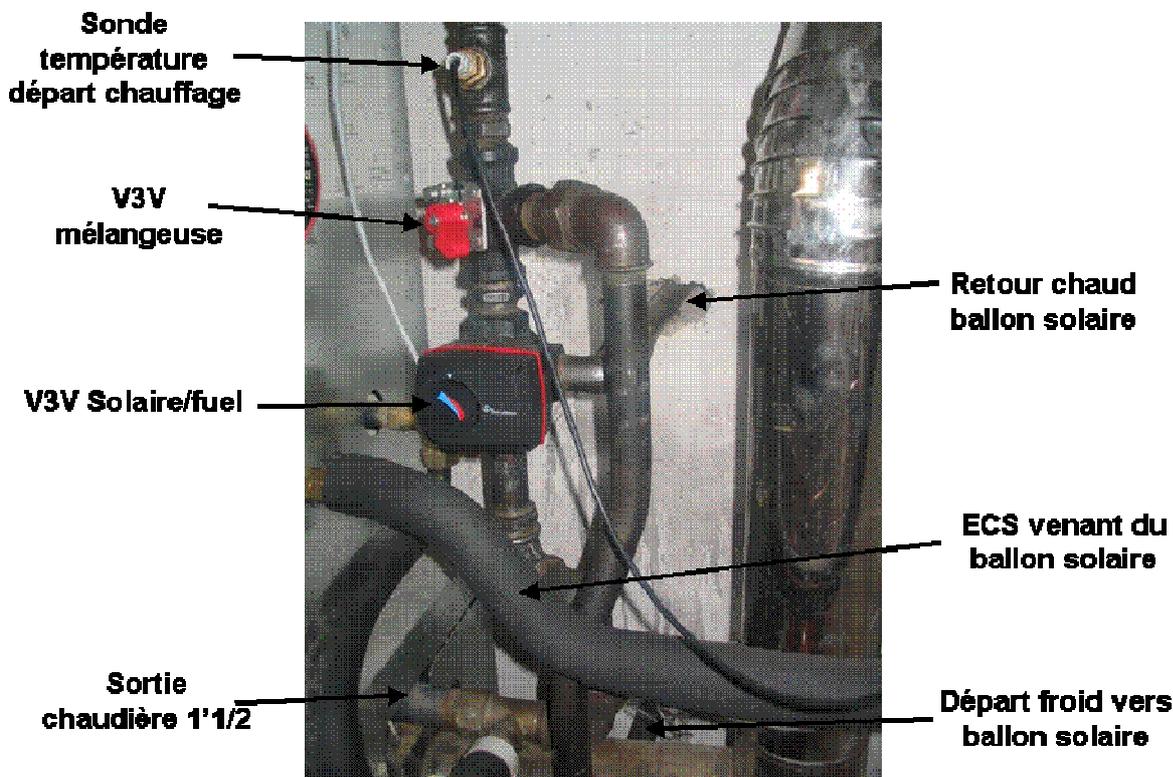
C'est ce qui m'a paru le plus difficile à réaliser. J'avais déjà déplacé des radiateurs et donc fait des filetages sur du tube noir, mais en 1/2". En 1", avec un coude, c'est autre chose... Mais tout s'est bien passé...juste une journée de travail un peu tendue...



En plein travaux, le circuit de chauffage ouvert...Il faut que la chaudière tourne ce soir...

Les sorties du ballon pour le chauffage sont en 1"1/2 (40/49). La sortie chaudière avec la V3VC est en 1" (26/34). J'ai donc fait les raccordements avec le ballon solaire en 1". A refaire, je pense que je les ferai en 3/4" (20/27) : tubes, raccords, vannes moins coûteux, filetages plus simples à faire, et ça aurait été largement suffisant vu le faible débit.

Inversement en 1", le débit en entrée dans le ballon est plus faible, on casse peut-être moins la stratification...



3.2.4 Risque de légionelles

Compte-tenu des choix faits, et comme expliqué plus haut, j'estime le risque de développement de légionelles très faible pour les raisons suivantes :

- faible volume d'ECS : 150 litres, avec un renouvellement quasi-journalier
- Complément de chauffage dans le ballon de la chaudière entre 50 et 60°, si le stock solaire est insuffisant, ce qui sera le cas sur toute la période de chauffe
- tuyaux en cuivre, pas de zone « morte »

3.3 Capteurs

3.3.1 Capteurs plans / capteurs tubes ?

La grande question : plan ou tubes, tubes ou plans, plans ou tubes...

Débats passionnés et passionnants sur le forum, étude comparative très intéressante de Alpilles Solaire...J'ai longtemps hésité, jusqu'à après avoir acheté le ballon et commencé l'installation... et fini par opté pour des tubes. Je ne regrette pas ce choix. Mais peut-être que des capteurs plans auraient été aussi bien...

Voici l'analyse que j'ai faite pour mon cas, en ayant noté qu'à surface totale occupée identique, les tubes ne sont pas plus performants que les plans :

En faveur des tubes (vs inconvénients des plans), pour mon cas :

- plus performants par faible ensoleillement, ou en hiver, car démarrent plus tôt

- moins dépendants de l'orientation, donc plus performants en début et fin de journée
- poids plus faible pour l'installation (on installe les tubes après : 30 * 2 kg)
- moins de prise au vent (important dans mon cas)

Inconvénients des tubes (vs avantage des plans)

- prix légèrement plus élevé (10%)
- durée de vie des tubes peut-être plus faible que celle des capteurs plan
- risque de surchauffe plus élevé en été. Boucle de décharge ou masquage obligatoire

Les messages sur le forum m'ont semblé en général plutôt en faveur des capteurs plans, mais la majorité des membres se trouve dans des régions plus ensoleillées.

Etant en région parisienne, c'est le critère de performance par faible ensoleillement qui m'a décidé. De fait, ces capteurs sont étonnants : depuis la mise en route le 28 février (2 mois), il y a eu des mauvaises journées, pluie et temps bouché, sans soleil direct de la journée. Les capteurs ont tourné au minimum 4 heures tous les jours, le stock a été au minimum de 30° le soir les mauvais jours.

Dès qu'il y a de la luminosité au travers des nuages, même quelquefois sous la pluie, les capteurs montent en température, avec un delta de quelques degrés entre l'entrée et la sortie du capteur. Si la température du stock est basse, ça chauffe !

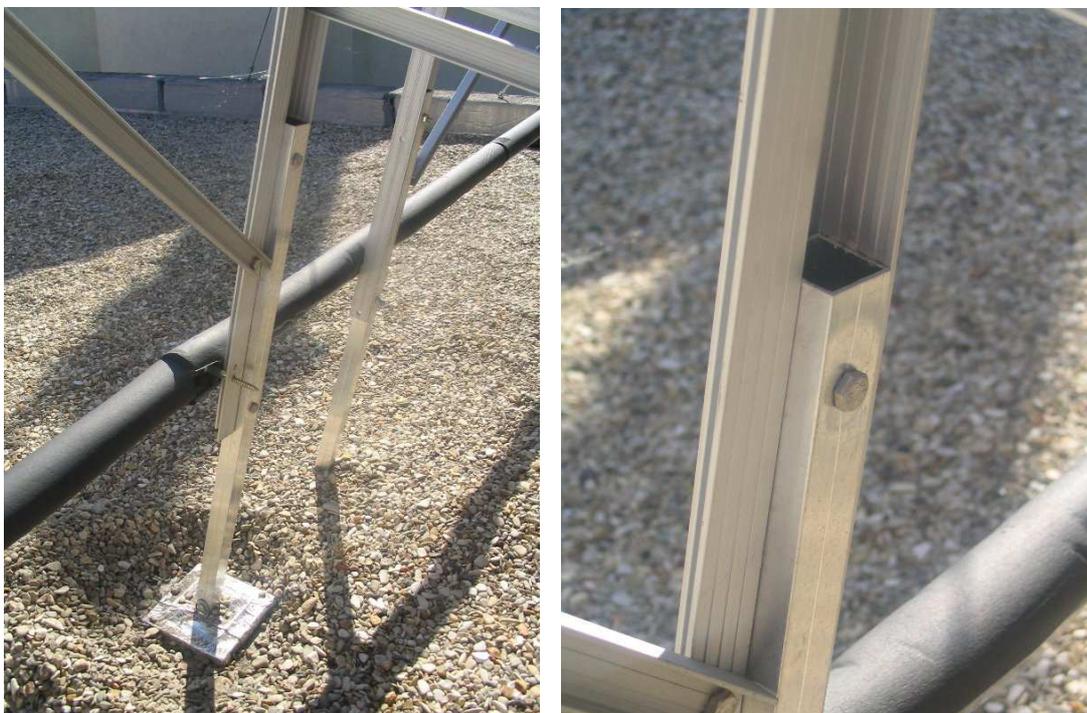
3.3.2 Montage des capteurs

Les capteurs se montent sans difficulté, mais on tâtonne la 1^{ère} fois, n'ayant pas de notice. Ci-dessous quelques photos de détail qui peuvent aider de futurs installateurs de SUNRAIN (hors réflecteurs que j'ai posé après coup, mais il vaut mieux les mettre tout de suite) :



3.3.3 Inclinaison des capteurs

Les capteurs sont livrés avec un châssis à 45°. Pour optimiser le fonctionnement en hiver, je les ai posés à 60° environ, en surélevant les pieds arrière de 35 cm, avec du carré en alu de 22 acheté en GSB, qui s'emboîte parfaitement dans le profilé des pieds, et avec 2 boulons pour bloquer.



J'ai par ailleurs profité de la pente de la toiture terrasse pour l'écoulement de l'eau de pluie, ce qui permet d'avoir une légère pente sur les collecteurs, et facilite la purge.

Par ailleurs, pour ne pas risquer d'enfoncer l'isolant de la toiture avec le poids des capteurs avec le temps, j'ai agrandi avec du CP marine la platine de support, que j'ai jugé un peu petite, pour augmenter la surface portante.

3.3.4 Fixation et tenue au vent

La terrasse est fortement exposée aux vents dominants de sud-ouest. Et j'ai un mauvais souvenir de la tempête de décembre 1999 avec des vents de 173 km/h à Orly, à côté, et qui m'a emporté une cheminée...

J'ai amarré les capteurs avec des haubans d'accastillage marine, qui plaquent les capteurs au sol : câble de 4 mm, serre-câbles, manilles, ridoirs pour la tension. Le tout en inox. Il y a 4 haubans sur le devant, 2 sur les côtés, 2 en arrière. Les câbles sont fixés sur l'acrotère avec des pitons de 6 mm. J'ai percé les triangles de fixation du châssis du capteur pour y fixer les câbles avec une manille.



Fixation des câbles sur le collecteur et sur l'acrotère



La formule de la force due au vent est la suivante : $F = \frac{1}{2} * \rho_0 * S * V^2$

Avec :

$\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$: masse volumique de l'air

S : Surface en m^2

V : vitesse du vent en m/s

F en Newton

Vitesse du vent maxi : $180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$

Surface estimée d'un tube : $0,05 * 1,8 = 0,09 \text{ m}^2$ (diamètre 0,58, mais avec la forme cylindrique, je prend moins)

Surface de 30 tubes pour un capteur : $2,7 \text{ m}^2$

Surface estimée du collecteur et des montants : $0,5 \text{ m}^2$

Surface totale estimée d'un capteur : $3,2 \text{ m}^2$

Capteurs à 60° , soit une surface apparente de $3,2 * 0,866 = 2,8 \text{ m}^2$

$F = 0,5 * 1,2 * 2,8 * 50^2 = 4200 \text{ Newton} \approx 430 \text{ kg}$ ($1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$), avec un vent de face.

Le calcul est volontairement fait en surestimant tous les paramètres.

Chaque câble et son accastillage résiste à 500 kg de traction. Avec 2 câbles sur le devant de chaque capteur, ça doit tenir sans problème.

Par sécurité, avant l'hiver, je vais rajouter des cordages au pied des capteurs, pour les retenir au cas où un câble lâche, même s'il y a des dégâts sur la tuyauterie.

3.3.5 Pose des réflecteurs

J'ai modifié légèrement la fixation des réflecteurs :

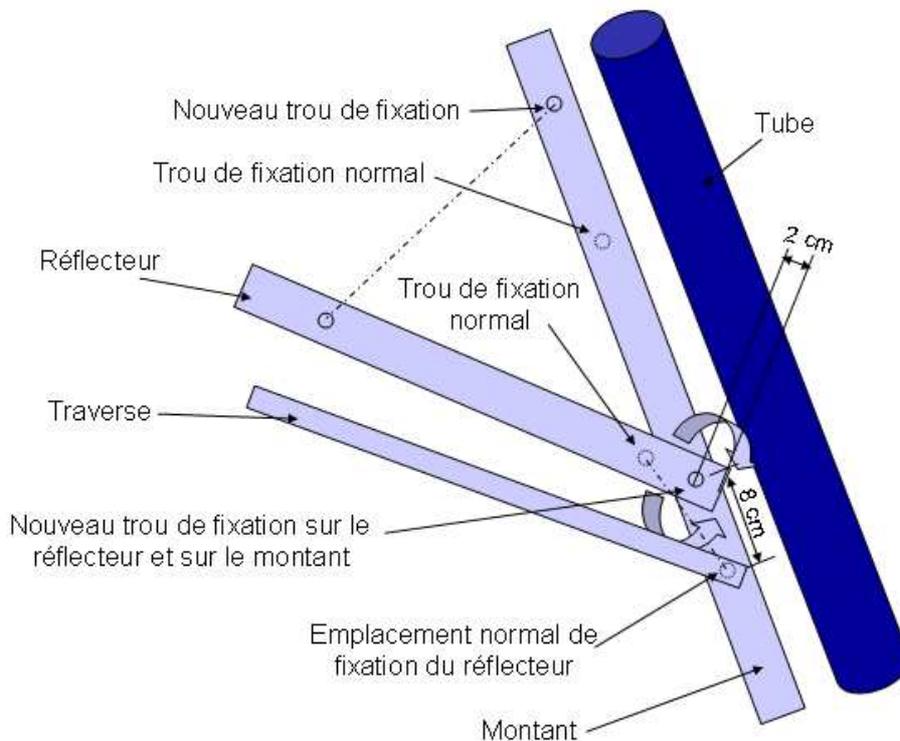
- 1) Le réflecteur du bas est posé 8 cm plus haut qu'à l'emplacement prévu : en effet, il est prévu que le boulon fixant le réflecteur serve aussi à fixer la traverse latérale. Hors, avec l'angle fermé entre le montant et la traverse, et la forme en U du profilé, il est très difficile de passer le boulon en tenant en plus le réflecteur. Je n'ai pourtant pas des gros doigts...J'ai galéré pour le 1^{er} capteur. Du coup, pour les suivants, j'ai percé le montant 8 cm plus haut et racheté quelques boulons inox.
- 2) J'ai prévu de pouvoir faire basculer les réflecteurs à l'horizontale pour 2 raisons :
 - a. En cas de fort vent, pour réduire la prise en vent
 - b. En cas d'absence en période estivale, ou de surchauffe récurrente, pour réduire voire annuler l'effet des réflecteurs.

Pour ça, j'ai percé le côté du réflecteur à 2 cm du bord bas, alors que le trou prévu est à 6 cm. Ainsi, le réflecteur peut pivoter sur l'axe du bas sans toucher les tubes. Et j'ai en conséquence percé le montant pour le boulon du haut.

Un câble retient le réflecteur pour qu'il ne dépasse pas l'horizontale

J'ai riveté un morceau de vinyle sur le côté, pour bloquer les réflecteurs en position normale, et leur permettre de basculer à l'horizontale en cas de fort vent, ou volontairement pour les inhiber.

J'ai monté comme ça un réflecteur expérimentalement. Pour l'instant, les autres sont boulonnés.





Un réflecteur basculé à l'horizontale On voit sur le côté le morceau de vinyle pivotant qui sert de verrouillage

Je verrai à l'usage si c'est un bon choix...

3.4 Circuit primaire

3.4.1 Diamètre tuyau primaire

J'ai calculé le diamètre des tuyaux en fonction du débit souhaité et de la vitesse du fluide : < à 1 m/s pour éviter les bruits de tuyauterie.

Débit nécessaire pour 75 tubes :

Entre 0,1 et 0,2 litres par minutes et par tube. Soit 7,5 à 15 l/mn, soit 450 à 900 litres/heure, ou 0,125 à 0,250 litres/sec.

Avec la formule :

Débit (l/mn) = Vitesse (m/s) * Surface (m²) * 1000 * 60

j'ai effectué le tableau suivant :

Tube	Diamètre intérieur	Section du tube (m ²)	débit (l/mn) pour vitesse de ... (m/s)		vitesse (m/s) pour débit de ... (l/mn)	
			0,5	1	7,5	15
20/22	0,02	0,000314	9,4	18,8	0,4	0,8
16/18	0,016	0,0002	6,0	12,1	0,6	1,2
14/16	0,014	0,00015	4,6	9,2	0,8	1,6
12/14	0,012	0,000113	3,4	6,8	1,1	2,2

Et j'ai donc retenu des tubes de 16/18

3.4.2 Station solaire et puissance du circulateur

Débutant, j'ai choisi la pompe en me basant seulement sur le débit annoncé et non sur les pertes de charges... Tout s'apprend, et le bouquin APPER m'a beaucoup aidé... ensuite.

J'ai pris une station solaire Modulus en Allemagne, pour son prix intéressant (200 €)

Le circulateur est un classique WILO ST25/6, avec un réglage de débit de 2 à 12 litres/mn. Etonnamment, sur la classique TACOSOL, le débit est gradué de 4 à 16 l pour le même circulateur. Est-ce que les clapets

anti-retours provoquent de fortes pertes de charge sur cette station ? Ou est-ce juste la graduation qui est différente ?

J'ai pris aussi ce modèle car la doc indiquait clairement que le clapet anti-retour du départ froid (côté circulateur) se trouve en amont (au dessous) du groupe de sécurité et du vase. En effet, en cas de surchauffe, il est important que le fluide primaire puisse aller dans le vase, poussé par la vapeur, sans être bloqué par le clapet anti-retour.

Vu d'aujourd'hui, j'imagine que toutes les stations sont conçues comme ça...



J'ai tenté après coup un calcul des pertes de charge, en utilisant le livre APPER (p 42).

Pour un débit de 500 l/heure (8,3 l/mn):

- 2,3 mètres de perte de charge dans les tuyaux
 - Perte tubes 16/18 : 60 mm/m * 25 mètres = 1500 mm
 - Pertes échangeur : (diam 20 estimé) : 20 mm/m * 42 mètres estimé : 800 mm
- Perte due à la viscosité (7) : 70 mm/m = 4,5 mètres
- Coudes, vannes, anti-retour,... : estimé à 65 équivalent coudes = 1,3 mètres

Total : 8 mètres de perte de charge à 500 l/h

A 400 l/heure, pertes de $8 * (400/500)^2 = 5,1$ mètres

A 300 l/heure, pertes de $8 * (300/500)^2 = 2,9$ mètres

La pompe (Wilo ST25/6-3) a une hauteur max de 4,2 m en vitesse 1, et 6,2 m en vitesse 3. Je ne devrais donc pas pouvoir atteindre le débit de 500 l/h. Il est donc probable qu'un circulateur plus puissant aurait permis un meilleur rendement, mais avec un coût nettement plus élevé...

Mais concrètement, voici ce que je constate :

En vitesse 1, avec de l'eau claire (sans glycol), le débit sur l'indicateur est autour de 10 l/mn, soit 600 l/h, et le fonctionnement est très silencieux

En vitesse 3, le débit est seulement légèrement plus élevé (10,5 à 11 l/mn), et le fonctionnement nettement plus bruyant. Il s'entend nettement dans la pièce.

Je n'ai pas encore noté de différence significative sur la montée en température du ballon en vitesse 1 ou 3 par beau soleil. Je pense que je vais rester en vitesse 1, d'autant qu'en été, il faut limiter la puissance. Je verrai aussi à partir de l'automne avec du glycol. Peut-être que la vitesse sera insuffisante ? A suivre...

Conclusion : c'est un sujet que je ne maîtrise pas (calcul des pertes, puissance de la pompe, choix de la vitesse,...). A refaire, j'aurais peut-être pu (mais ce n'est pas sur du tout que ce serait mieux, puisque tout marche très bien...) :

- Prendre du tuyau 14/16, les pertes de charge auraient été plus élevées, ainsi que la vitesse, mais ça aurait été moins coûteux en cuivre, et surtout en outillage : j'ai dû m'équiper en outillage (cintreuse, collet battu) en 18, bien plus coûteux qu'en 16 car moins courant.
- Et prendre un circulateur plus puissant, pour avoir une plage de réglage plus importante, et potentiellement augmenter ainsi le rendement.

3.4.3 Sonde du capteur

Je n'ai pas utilisé l'emplacement prévu pour la sonde dans les capteurs pour la raison suivante : les capteurs en stagnation montent à 250°. Et la sonde est donnée pour résister à 180°. Placée au cœur du collecteur, elle risque de ne pas tenir.

J'ai donc fabriqué un doigt de gant à l'extérieur du collecteur. En stagnation, la température au niveau de la sonde devrait être nettement inférieure à celle du cœur du collecteur, en raison des pertes à ces hautes températures dès qu'on sort du collecteur.



Le doigt de gant a été fait avec un tube cuivre de 6/8 (sonde de diamètre 6), bouchonné à un bout, et emboîté et soudé à l'autre bout dans une bague de tube 8/10, elle-même dans du 10/12,...jusqu'au 16/18. On le voit bien sur la photo. Le bout de la sonde (profondeur du doigt de gant) se trouve au niveau du T de départ vers le bas.

Conséquence de ce choix : le circulateur s'enclenche légèrement plus tard que si la sonde était dans le collecteur, à l'emplacement prévu, le temps que la chaleur se propage jusqu'à la sonde. Mais en contre partie, lorsque le circulateur démarre, c'est pour de bon, il n'y a pas de d'arrêt/démarrage successifs. 1 seul démarrage le matin, quelquefois 2, si le ballon est encore chaud le matin et donc que la température du capteur doit être plus élevée.

Et comme le collecteur est bien isolé, l'énergie qui semble perdue avec le démarrage plus tardif n'est pas perdue. Je pense même qu'il y a moins de pertes qu'avec un démarrage plus rapide mais en plusieurs fois : dans ce cas, tout le circuit primaire chaufferait alors puis se refroidirait entre 2 démarrages. Et comme les tuyaux sont moins isolés que le collecteur, il y aurait plus de pertes...

3.4.4 Dispositif anti-surchauffe

Avec un SSC, la surchauffe a été dès le départ une de mes préoccupations.

Les capteurs étant facilement accessibles, la solution la plus simple est de couvrir une partie des capteurs en été, ou la totalité en cas d'absence. Mais en région parisienne, il est des mois d'août pourris, où tous les capteurs ne seront pas de trop pour faire uniquement de l'ECS.

J'ai longtemps envisagé une solution d'ombrage pilotée, à base de filet horticole, et d'un enrouleur avec un moteur 12V. Je pense toujours que ça aurait été la meilleure solution : bloquer le rayonnement, plutôt que de chercher à refroidir ensuite. Peut-être que j'y retournerai...

Mais je n'ai pas donné suite à cette solution :

- à cause des problèmes de vent : il ne faut pas que le filet claque, en position déroulé, ou ne se déroule en hiver sous l'effet du vent
- à cause de la relative complexité des câbles, poulies, et autres pour que ça fonctionne sans blocage sur les 3 capteurs, pendant de nombreuses années, et quelles que soient les conditions, et sans taper avec le vent comme des haubans de bateau...
- à cause du risque de dégradation du filet, soumis aux UV, intempéries et...oiseaux. Va-t-il garder sa souplesse au bout de quelques années pour se dérouler correctement ?
- parce que je n'ai pas trouvé sur le forum d'expérience positive avec une telle solution...ce qui n'invite pas à essayer...

L'autre solution est une boucle de décharge.

J'ai fait le calcul suivant : En situation de besoin de décharge, le circuit primaire est au moins à 60° (probablement plus). Le rendement n'est alors que de 50%. Avec un ensoleillement maxi de 1000 W/m², et environ 12 m², la puissance récupérée est de 6 kw

Autre calcul : Avec un ballon à 60°, les capteurs à 70°, il faut faire chuter la température de 10°. Avec un débit de 10 l/mn = 600 l/h,

1 cal = 1 g de 1°

1 W = 1.16 l de 1°

10 W * 1.16 * 600 = 7 kwh

On est bien sur le même ordre de grandeur : il faut une puissance de refroidissement de environ 6 kw

J'ai par chance trouvé d'occasion à prix très raisonnable un radiateur long (2,70 m !), d'une puissance de 4,6 kw. C'est en théorie insuffisant, mais ça permettra de limiter la surchauffe en fin de journée. A défaut de cette aubaine, je ne sais pas ce que j'aurai fait...

Inconvénients de cette solution :

- Il est exposé à l'extérieur, donc soumis aux intempéries, et il va rouiller (déjà quelques tâches apparentes sur les coins). Je l'ai donc bâché pour toute la saison d'hiver, et ne le débâcherai que lorsqu'il y aura risque de surchauffe. Et on verra bien dans le temps comment il tient...
- Le radiateur augmente significativement le volume du circuit primaire : 12 litres, pour 16 litres hors radiateur. Donc plus de coût d'antigel, vase plus important,...
- Le radiateur nécessite l'ajout d'une V3V pilotée. Or, j'ai constaté qu'une V3V n'est pas étanche. En vitesse 3, une partie du débit (faible mais quand même) passe par le radiateur même quand la V3V est en position normale. Et le radiateur est tiède à chaud.... D'où une perte de calories, qui va m'obliger à ajouter une vanne manuelle pour le désactiver complètement hors plein été.



Le radiateur de surchauffe, bâché hors plein été pour limiter le risque de rouille

3.4.5 Remplissage et antigel

Le circuit primaire contient en tout environ 30 litres :

- 8 pour le serpentin du ballon
- 6 pour les tuyaux
- 12 pour le radiateur
- 2 dans les capteurs

Ayant mis en route l'installation fin février, après les risques de fort gel, je fonctionne sans antigel pour l'instant. Le but est de vérifier l'étanchéité et de tester le fonctionnement durant l'été, et d'éviter l'éventuelle dégradation de l'antigel durant le 1^{er} été en cas de surchauffe. Je le mettrai donc en septembre. Durant quelques nuits en dessous de 0° en mars, j'ai vidé le soir, et rempli le matin (une sorte de drain-back manuel...).

J'ai prévu de mettre 5 bidons de 5 litres d'antigel de voiture contenant du MPG, et de compléter par de l'eau claire. L'antigel est donné pour -25°. Il est probablement déjà dilué à 50% environ. En le diluant à hauteur de 20% de plus, il devrait supporter les -15° sans problème. La température en région parisienne descend très rarement en dessous de -10° (dont cet hiver, et ce n'était pas arrivé depuis 15 ans ou plus). S'il y avait une période très rigoureuse, je vidangerai.

Pour le remplissage, j'ai essayé de remplir par le bas, en branchant un bidon sur la station, et en faisant tourner le circulateur (déclenchement manuel). J'ai environ 6 mètres jusqu'au point haut des capteurs. Le circulateur est donné pour 6,3 mètres en vitesse 3 à débit quasi-nul. De fait, le circuit s'est rempli, mais très très lentement. Je vais donc ajouter une vanne pour le remplissage au dessus du radiateur de décharge, pour mettre le contenu des bidons. L'appoint se fera par le bas, avec la pression de l'eau du robinet.

3.4.6 Isolation des tuyaux

L'isolation est pour l'instant provisoire (voir problèmes). J'ai prévu des tubes de mousse type Armaflex (posés provisoirement).

Sur les tuyaux proches des capteurs, et entre les capteurs, je vais entourer préalablement le tuyau de feutre d'isolation (récup), pour pouvoir tenir aux hautes températures en cas de stagnation.

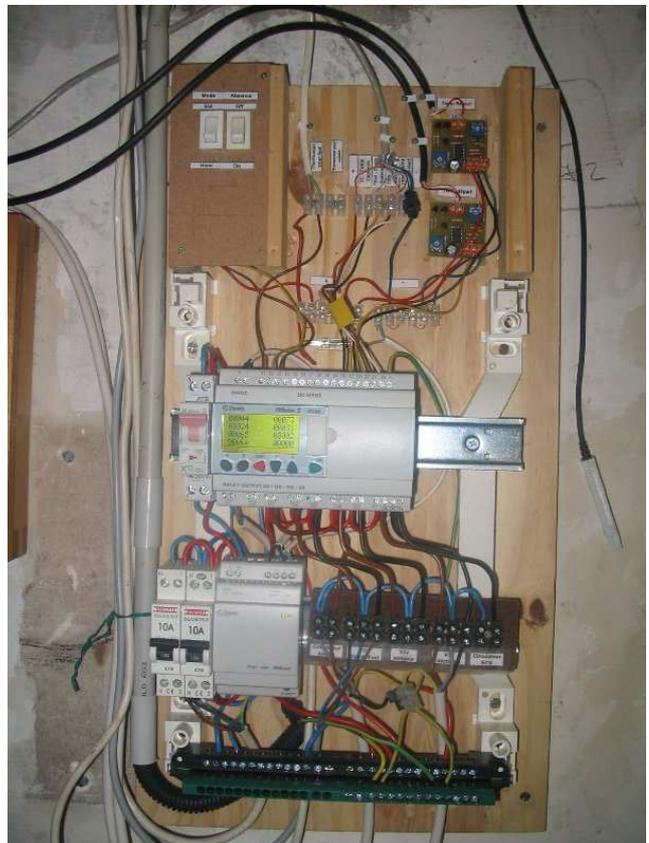
Et je vais enrober le tout d'isolant mince à bulle coupé en bande, pour protéger l'isolant des intempéries, UV, et autres chats et oiseaux...

4 Régulation

Sans hésiter au vu des messages sur le forum, j'ai pris un Millenium III. De fait, il est très facile de le programmer, l'interface est bien faite.

J'ai eu plus de problèmes sur le branchement électrique, en raison des variations de valeurs des sondes. En synthèse, il faut :

- relier le - à la terre faute de quoi les valeurs des entrées analogiques sont très fortement instables (plusieurs degrés de variation en permanence)
- relier tous les fils inutilisés au - et donc à la terre. Sinon, les valeurs semblent bonnes, mais quand on mémorise les max, on a des valeurs aberrantes liés à des pics très ponctuels (ex lors du démarrage du bruleur fuel, ou de l'allumage d'un néon).
- utiliser des entrées analogiques filtrées



4.1 Description des entrées et sorties

Entrées

Id	Description	Type entrée	Entrée MIII
THE	Thermostat ambiance Entrée: On = demande de chauffage	TOR	I1
MH	Mode Hiver : On = chauffage	TOR	I2
IA	Interrupteur Absence : On = absence	TOR	I3
TC	Température en sortie de capteur ((-20%120°) (g ain 14/10-200)	Analogique	IB
TE	Température extérieure (-20%120°) (gain 14/10-2 0)	Analogique	IC
TRC	Température de Retour Chauffage (0%100°)	Analogique	ID
TDC	Température de Départ Chauffage (0%100°)	Analogique	IE
TBB	Température 1/3 bas du ballon (0%100°)	Analogique	IF
TBH	Température 2/3 haut du ballon (0%100°)	Analogique	IG

Sorties

THS	Thermostat ambiance Sortie: On = demande de chauffage fuel	O1
	Libre	O2
CP	Circulateur Primaire	O3
V3VC1	Vanne 3 Voies Chaudière/Solaire vers Chaudière	O4 – noir
V3VC2	Vanne 3 Voies Chaudière/Solaire vers Solaire	O5 – marron
V3VM1	V3V Mélangeuse vers Chaud	O6
V3VM2	V3V Mélangeuse vers Froid	O7
V3VD1	V3V Décharge chaleur vers mode Normal	O8 – marron
V3VD2	V3V Décharge chaleur vers Décharge	O9 – noir
	Libre	OA

4.2 Spécifications du programme

Ce 1^{er} tableau liste tous les besoins : ce que je souhaite que le système fasse.

Id	Besoins
B1	Récupérer la chaleur des capteurs
B2	Transférer la chaleur dans les radiateurs en hiver
B3	Limiter la température du ballon à 60° pour éviter la formation de calcaire
B4	Eviter la surchauffe des capteurs en hiver et en été
B5	Pouvoir s'absenter en hiver, en été, sans provoquer de surchauffe
B6	Travailler à la température la plus basse possible pour avoir le meilleur rendement : plus le fluide en entrée de capteur est froid, plus il capte la chaleur des capteurs. Plus le ballon est froid, plus il capte de chaleur du circuit primaire. Or, plus le ballon est froid, plus le retour primaire sera froid.
B7	Eviter les légionnelles dans le stock ECS Avoir le stock ECS à + de 50° au moins une fois par jour
B8	Pouvoir faire l'entretien de la chaudière sans être perturbé par le solaire Pouvoir déclencher la chaudière indépendamment de la régulation solaire
B9	Pouvoir fonctionner en mode solaire seul (en mi-saison)

	Couper le chauffage sur la chaudière, mais permettre au solaire de chauffer si nécessaire
B10	Fonctionner en cas de panne de courant et éviter la surchauffe
B11	Connaître les températures pour historique et analyse
B12	Donner la priorité au solaire par rapport à la chaudière pour le chauffage et l'ECS
B13	Donner la priorité au chauffage par rapport à l'ECS en hiver (meilleur rendement)
B14	Utiliser le thermostat d'ambiance pour déclencher le chauffage à la demande
B15	Pouvoir déclencher manuellement le circulateur primaire pour le remplissage et la purge
B16	Ajuster la température des radiateurs à la température extérieure
B17	En été, éviter le thermosiphon du ballon vers les radiateurs en mettant VCVC vers solaire et V3VM à 0
B18	En hiver, si pas d'antigel ou hiver très rigoureux, faire tourner le circulateur périodiquement

Ce 2^{ème} tableau décrit les spécifications du programme : ce qu'il faut faire pour couvrir les besoins. Le numéro de la spécification se retrouve en commentaire dans le programme. Cette technique est très utile pour d'une part ne rien oublier, et aussi, pour dans quelques années, se rappeler pourquoi on fait tel traitement...(Alzheimer nous guète tous ☺)

On voit que pour certains besoins, il n'a rien à faire au niveau du programme du MIII.

Besoin	Spec	Spécifications	Vérif MIII
B1	S1	Déclencher le circulateur solaire si $TC > TBB + 3^\circ$ (paramétrable)	OK
B1	S2	Arrêter le circulateur solaire si $TC \leq TBB$	OK
B2	S3	Si Thermostat THE On et $TB > TRC$ et $TB > 30^\circ$ (paramétrable), ouvrir V3V chauffage vers solaire, et ne pas déclencher la chaudière (THS à Off)	OK
B2	S5	Si Thermostat THE On et $TB < 28^\circ$ (paramétrable) (TRC est forcément alors $< TB$), ouvrir V3V chauffage vers chaudière et déclencher la chaudière (THS à On)	OK
B2	S4	Si Thermostat THE Off, ouvrir V3V chauffage vers chaudière (sans pour autant que la chaudière ne se déclenche) (THS à Off)	OK
B3	S6	Si mode hiver MH, et $TB \geq 60^\circ$ ouvrir V3V vers solaire, quelle que soit la position du thermostat TH, pour évacuer la chaleur vers les radiateurs. (Le circulateur fonctionne toujours) Traité par S17	/
B3	S8	Si mode hiver MH, et $TB < 55^\circ$, et thermostat Off : remettre V3V chauffage vers chaudière Replacé par S18	/
B6	S17	Si mode hiver MH et $TB > 40^\circ$ (paramétrable) et heure $< 16h$, mettre V3V vers solaire pour chauffer et refroidir le stock et essayer de capter le maximum de chaleur nouvelle. Si $> 16h$, on garde la chaleur pour la nuit. Rq : Si TH On, on chauffe déjà donc on refroidit déjà le stock	OK
B6	S18	Si mode hiver MH et $TB < 35^\circ$ (paramétrable), et thermostat TH Off, et V3V vers solaire (on a forcé le chauffage pour refroidir), remettre V3V vers chauffage (sans que la chaudière fonctionne)	OK
B3	S7	Si mode été MH et $TB \geq 60^\circ$, mettre la V3VD sur décharge	OK
B3	S9	Si mode été MH, et $TB < 55^\circ$, et mode surchauffe, ou si mode hiver, revenir à l'état normal	OK
B4	S10	Si $TC > 100^\circ$ (paramétrable) et mode hiver MH, ouvrir V3V vers solaire (le circulateur fonctionne). Ne devrait pas se produire : le ballon sera à 60° avant. Voir S6.	/
B4	S11	Si $TC < 100^\circ$ et mode hiver MH, et mode surchauffe, revenir à l'état normal (selon thermostat,...) Inutile, cf S17, S18 Mode hiver inutile	/

B4	S12	Si TC > 100° (paramétrable) et mode été MH (la V3V décharge est déjà sur radiateur de décharge car ballon >60, cf S7) : arrêter le circulateur solaire : on passe en stagnation Remarque : mettre si besoin manuellement la V3V chaudière sur solaire et la V3VM à 50% : on chauffe la maison pour refroidir le stock. Le circulateur doit être en marche, ou la vanne en milieu de ballon ouverte pour thermosiphon.	OK
B4	S13	Si TC < 95° et mode été MH, et mode surchauffe, arrêter le mode surchauffe : remettre en route le circulateur solaire Remettre (manuellement ?) la V3VC vers Chaudière et V3VM à 0	OK
B5	S14	Si Absence IA et mode hiver MH : laisser tourner normalement (V3V chauffage selon TH) Si mi-saison, arrêter le bruleur de la chaudière, pas le circulateur	/
B5	S15	Si Absence IA et mode été MH : déclencher dispositif anti-surchauffe en permanence : V3VD vers décharge, et fonctionnement en permanence du circulateur solaire (nuit et jour), pour refroidir le stock même si pas de soleil.	OK
B5	S16	Si Absence IA off, fonctionnement normal : V3VD vers normal	OK
B7	S19	Avoir une boucle entre ballon chaudière et solaire : si stock solaire < 50° depuis plus de 1 jour, boucler entre chaudière et solaire pendant 10' (paramétrable) pour déclencher la chaudière et réchauffer l'ensemble Inutile car la chaudière réchauffe l'ECS > à 50°. Et la boucle va chauffer tout le ballon, pas que l'ECS	/
B8	S20	Il suffit de mettre le mode Manuel sur la chaudière (déclenchement indépendamment du thermostat)	/
B9	S21	En mi-saison, arrêter le bruleur chauffage, mais laisser le circulateur en marche. Si demande de chauffage (TH), utilisation normale du stock solaire, bascule normale de la V3V chauffage solaire. Comme la chaudière est off, pas de déclenchement de la chaudière	/
B10	S22	Alimenter sur un circuit dédié la chaudière, la régulation, le circulateur. Envisager un panneau photovoltaïque avec batterie pour les alimenter Pouvoir couper la chaudière (120 W), et faire fonctionner le circulateur qd même Il faut déclencher le circulateur via la chaudière	Plus tard...
B11	S23	Afficher les températures des 6 sondes avec min et max, et durées de fonctionnement circulateur solaire, et chauffage solaire. Archiver les données pour exploitation et stats.	OK sauf archivage
B12	S24	Cf S17 : exploitation au maxi de la chaleur solaire	/
B13	S25	En hiver, ouvrir vanne de sortie haute du ballon solaire. En mi-saison et été (priorité ECS), ouvrir la vanne de milieu de ballon (pour garder de la chaleur en haut pour l'ECS et pour fonctionner en thermosiphon si surchauffe)	/
B14	S26	Cf S3, S4, S5	/
B16	S27	Réglage température si demande de chauffage: Calcul de la consigne en fonction de la température extérieure. Voir détail de la loi d'eau	OK
B16	S28	Ajuster V3VM 10'' toutes les minutes, selon la consigne et TDC Si chauffage fuel, (THE=on et THS=on), retard 5' le tps que la chaudière chauffe Si chauffage solaire (THE=on et THS=off), pas de retard Ne pas ajuster si TRC>TDC : la chaudière est en mode chauffage ECS (circulation inversée)	OK
B15	S29	Mettre un interrupteur poussoir supplémentaire en parallèle sur le branchement du CP	/
B17	S30	Si Mode Hiver off (Eté), mettre la V3VC en position solaire, et V3VM à 0	OK
B18	S31	Si TExt < 2° (paramétrable), faire tourner le circulateur primaire 1' toutes les 3' Et mettre la V3V décharge à mi-course (non fait)	partiel

Loi d'eau S27 S28 pour température d'eau des radiateurs :

Toutes les minutes :'

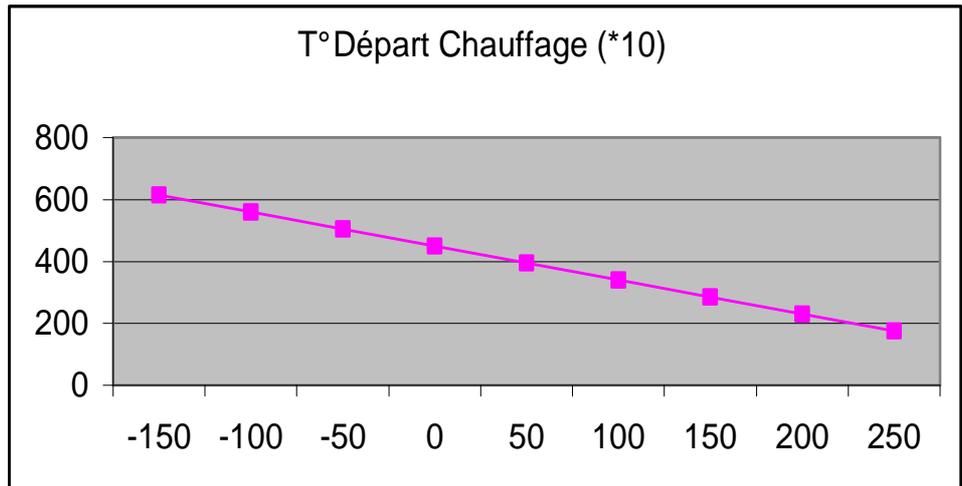
- si TDC < consigne – 2°, V3VM vers froid pendant 10’’
- si TDC > consigne + 2°, V3VM vers chaud pendant 10’’

$$\text{Consigne (TDC)} = T^{\circ}\text{Ext} * A / B + C$$

T°Ext (*10)	Départ Chauffage (*10)
-150	615
-100	560
-50	505
0	450
50	395
100	340
150	285
200	230
250	175

Param	Valeur
A	-11
B	10
C	450

$T^{\circ}\text{Eau} = T^{\circ}\text{Ext} * A/B + C$



Notes :

- valeurs multipliés par 10 pour les besoins du programme du MIII
- les paramètres seront affinés durant l’hiver

4.3 Evolutions prévues

Après 2 mois de fonctionnement, je prévois de modifier significativement le programme pour le déclenchement du chauffage solaire.

Actuellement, le chauffage solaire se déclenche (ouverture V3V vers solaire) si le ballon est à plus de 28°, et que le thermostat d’ambiance le demande, ou que le ballon est > à 40°, et qu’il est moins de 16 h : le but est d’évacuer au fur et à mesure la chaleur pour plus de performance, sauf en fin d’après-midi pour faire un peu de stock. C’est loin d’être optimal. En particulier, j’ai constaté qu’en hiver, 40° est déjà trop élevé pour un bon rendement des capteurs, il faudrait déclencher le chauffage préventivement avant. Inversement, par une belle journée douce, c’est inutile. Par ailleurs, j’ai constaté qu’à basse température (28°), la maison chauffe quand même encore (s’il ne fait pas trop froid dehors). Je pourrais donc abaisser le seuil de 28°. Et dans l’état, si j’abaisse ce seuil, c’est la chaudière fuel qui s’enclenchera trop tard s’il fait vraiment froid dehors...

Je prévois donc d’utiliser 2 thermostats d’ambiance :

- un pour la chaudière fuel, réglé vers 18° comme actuellement
- un pour le chauffage solaire, qui devra être réglé à une température supérieure, par exemple 20°

Le thermostat fuel sera prioritaire sur le thermostat chaudière : s’il fait moins de 18°, c’est le chauffage fuel qui se déclenchera dans tous les cas.

Ainsi, dès qu’il fait plus de 18°, mais moins de 20°, le chauffage solaire s’enclenchera. Donc dans la journée, le chauffage solaire tournera en quasi-permanence permettant un bon rendement. Inversement en mi-saison, s’il fait déjà 20° à l’intérieur, je ferai du stock

5 Budget et fournisseurs

5.1 Chez qui et quand acheter ?

Lorsque je me suis lancé, je n'étais pas certain à 100% d'arriver au bout du chantier, en raison de certains travaux qui m'ont paru difficiles, en particulier le raccordement sur le chauffage en tube acier 1". J'ai donc décidé de faire d'abord les travaux difficiles, puis seulement, lorsqu'ils seraient derrière, de commander le gros matériel : capteurs et ballon.

Etant par ailleurs un bon client d'ebay pour des besoins perso divers et variés, j'ai acheté progressivement au fil des opportunités les divers petits équipements (vannes, station, ...). Puis, une fois les travaux difficiles faits, sont venus les gros postes : capteurs chez Alpillles Solaire via APPER dans le groupement SUNRAIN III, et le ballon sur Ebay en raison du poids du ballon de Solaire Diffusion.

Avantage : j'ai commencé les travaux avant la commande des capteurs. Ca m'a laissé le temps de finir la plomberie (hors branchement des capteurs), de faire l'électricité et de programmer la régulation avant de recevoir les capteurs. Ca m'a permis d'étaler les travaux, et de mettre en service l'installation peu de temps après la réception des capteurs (et donc évité de stocker 3 m² de matos dans le garage plusieurs mois...)

J'ai acheté pas mal de matériel en Allemagne. En effet, malgré les frais de port plus élevés, l'écart de prix est souvent de 30% ou plus avec le même matériel vendu en France. Je pense que c'est dû au marché du solaire beaucoup plus important chez eux. Est-ce une raison pour les distributeurs français de faire autant de marge ??

J'ai en conséquence constitué au fur et à mesure un glossaire des termes techniques :

Mitigeur ECS : Brauchwassermischer
Sonde de température : Temperaturfühler
Doigt de gant : Tauchhülse
Purgeur d'air : Schnellentlüfter
Moteur de vanne : Motorventil ou Unschaftventile
Ballon combiné : Kombispeicher
Filetage femelle (interne) : IG (In...)
Filetage mâle (externe) : AG (Aus...)
Vase d'expansion : Ausdehnungsgefäß

5.2 Budget

Le tableau ci-dessous représente l'exhaustivité des coûts de l'installation, hors outillage. En effet, j'ai largement renforcé mon équipement de plomberie, pour environ 600 € (filière pour tubes acier noir, cintreuse pour cuivre D18, pince à emboîture, matrice à collet battu jusqu'au D22,...). Mais comme il me resservira très certainement, c'est un investissement et je ne le compte pas dans les coûts de l'installation.

J'avais fait une estimation de 5000 €, je me suis donc trompé de 10%, ce qui est raisonnable. J'ai en particulier largement sous-estimé le coût de la fixation des capteurs, ainsi que les tubes et raccords de plomberie.

Matériel	Fournisseur	Montant	Port	Total
Capteurs et fixation				
Capteurs SUNRAIN 75 tubes (+location ADA)	Alpilles Solaire (APPER)	1 974,60 €	97,61 €	2 072,21 €
Raccords laiton 1" entre capteurs	SPMC Lossignol	23,47 €		23,47 €
Pate thermique JELT 200 g	Abix.com	24,00 €	6,00 €	30,00 €
Profilés + cables + boulons + étanchéité fixation capteurs	Leroy Merlin	219,45 €		219,45 €
Accastillage inox pour amarrage des capteurs	Ruedelamer.com	188,20 €	6,95 €	195,15 €
<i>Sous-total</i>		2 429,72 €		2 540,28 €
Equipements circuit primaire				
Pugeur solaire + vanne haute temp. CALEFFI	Ebay.de / Michael Brieschke	35,00 €		35,00 €
Station solaire avec circ. WILO ST25/6	Ebay.de / Michael Brieschke	196,00 €	24,00 €	220,00 €
Vase d'expansion solaire 18 l	Ebay.de / Michael Brieschke	39,00 €	18,00 €	57,00 €
Antigel MPG 25 litres	Cora	35,00 €		35,00 €
Radiateur boucle de décharge 4,6 kw	Ebay.fr / particulier	50,00 €		50,00 €
Vanne 3V laiton 3/4"	Ebay.fr / particulier	26,50 €	7,50 €	34,00 €
Servomoteur Somatherm pour V3V	Ebay.fr / particulier	30,00 €		30,00 €
<i>Sous-total</i>		411,50 €		461,00 €
Ballon de stockage et plomberie				
Ballon combiné 450/150 + vase 50 l	Ebay.de / pufferprofi	1 013,00 €	120,00 €	1 133,00 €
4 doigts de gant	ECHTShop.de	30,92 €	19,00 €	49,92 €
Servomoteur SIEMENS pour V3V Landis&Gyr	Ebay.fr / particulier	70,00 €		70,00 €
Tube acier noir 1" et raccords acier noir, vannes,..pour raccordt chauffage	SPMC Lossignol	244,85 €		244,85 €
Tubes 16/18 et raccords cuivre et laiton, vannes 1/4 tour	Leroy Merlin	517,63 €		517,63 €
Vanne 3V Thermomix 1"	SPMC Lossignol	49,40 €		49,40 €
Servomoteur Somatherm pour V3V	Ebay.fr / particulier	21,50 €	8,00 €	29,50 €
Mitigeur ECS	Ebay.de / Michael Brieschke	45,00 €		45,00 €
<i>Sous-total</i>		1 992,30 €		2 139,30 €
Régulation et électricité				
Millenium III	Forum APPER - A. Bayle	274,00 €		274,00 €
6 sondes PT1000	Ebay.de / Fühler-Shop	50,50 €	5,90 €	56,40 €
6 cartes convertisseurs pour les sondes	forum APPER - Patrick07	90,00 €	5,30 €	95,30 €
Tableau électrique + cablage	Leroy Merlin	24,30 €		24,30 €
Disjoncteur 2A + cables	conrad.fr	20,00 €		20,00 €
<i>Sous-total</i>		458,80 €		470,00 €
Total		5 292,32 €		5 610,58 €

6 Rendement et résultats

Comme indiqué au début, je connais chaque semaine depuis 4 ans ma consommation de fuel grâce à un compteur horaire que je relève tous les samedis. Par ailleurs, j'utilise les données de température d'un passionné de météo à Antony, Pierre Stranart, qui publie les relevés de météo sur son site perso : <http://meteoantony.free.fr/>

J'exporte ces données sous Excel, ce qui me permet de connaître la température moyenne par semaine, et en conséquence le DJU (Degré Jour Unifié) : écart de température par rapport à 18°.

De fait, ma consommation de fuel suit à 10% près environ le DJU. A partir du DJU, je peux donc estimer quelle est ma consommation théorique de fuel, et donc combien maintenant je gagne avec le solaire.

Autre élément, j'ai effectué il y a de nombreuses années un calcul des déperditions de la maison : mur par mur, calcul de la déperdition en fonction des matériaux et isolants.

La déperdition est estimée ainsi à :

- 330 W/K pour la partie habitable (base de calcul 18°)
- 190 W/K pour le sous-sol (base de calcul 15°), ce qui équivaut à 110W/K sur une base de 18° avec un DJU moyen de 10°

La déperdition moyenne est ainsi estimée à 440 W/K.

Ca me permet de connaître le besoin de chauffage en fonction de la température extérieure.

Par ailleurs, cette feuille de calcul m'a régulièrement servi, hors solaire, pour estimer le gain apporté par un complément d'isolation, ou d'identifier les travaux d'isolation les plus urgents.

Pour estimer l'apport solaire, le livre APPER (disponible aussi sur d'autres sources) donne l'ensoleillement en région parisienne par mois.

Ces chiffres donnent l'apport par m² de capteur. Comme il est difficile de savoir quelle surface prendre pour des capteurs à tubes (à priori la surface d'entrée, mais çà ne tient pas compte des réflecteurs ni du fait que l'orientation est meilleure tout au long de la journée), j'ai considéré (cf choix des capteurs), qu'à surface occupée identique, la performance était similaire. J'ai donc fait les calculs avec 12 m² de surface de capteurs.

Avec toutes ces données, j'ai construit le tableau suivant :

Mois	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Total	Commentaires
Estimation														
DJU moyen 2005-2009	12,2	11,6	8,7	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,6	9,5	12,5		Ecart moyen de température par rapport à 18°
Nb jours/mois	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
Besoin chauffage théorique (kwh)	3994	3430	2848	1742	0	0	0	0	444	1506	3010	4092	21065	=déperdition*DJU*24h*Nb j/mois
Conso fuel théorique chauffage (l)	399	343	285	174	0	0	0	0	44	151	301	409	2107	1 litre=10 kwh
Besoin ECS (l)	35	35	35	45	45	45	35	35	45	45	35	35	470	estimation d'après la consommation en été
Conso fuel totale théorique (l)	434	378	320	219	45	45	35	35	89	196	336	444	2577	chauffage + ECS
Conso fuel moyenne constatée (l)	450	400	350	200	45	45	35	35	45	100	300	500	2505	mesuré sur le compteur horaire. 1h = 2,5 l
Production kwh fuel constatée	4500	4000	3500	2000	450	450	350	350	450	1000	3000	5000	25050	1 l = 10kwh
Puissance solaire wh/m².jour	1200	2400	3200	4100	4200	4600	4700	4300	3900	2800	1500	1000	37900	livre APPER p 10, région parisienne
Puissance solaire par mois (kwh)	312	564	833	1033	1094	1159	1224	1120	983	729	378	260	9690	Rayont * Nb m² * rendement * nb jours par mois /1000
Puissance solaire hors surchauffe (kwh)	312	564	833	1033	450	450	350	350	450	729	378	260	6161	valeurs plafonnées en été par la conso ECS
Gain estimé (%)	7%	14%	24%	52%	100%	100%	100%	100%	100%	73%	13%	5%	25%	
Gain estimé (litres)	31	56	83	103	45	45	35	35	45	73	38	26	616	

Paramètres utilisés :

Déperdition W/d° (estimé)	440
Rendement solaire	70%
Nb m² solaire (équivalent plan)	12
Base calcul DJU	18,0

Dans ce tableau des estimations, je constate que l'estimation de consommation théorique est assez bonne : 2577 litres de fuel estimé, pour 2500 litres constaté, avec une approximation de 10% les mois d'hiver. Mais une surestimation importante en septembre et octobre, probablement due à l'inertie de la maison : la consommation est bien plus faible que le calcul théorique. Ca permet donc de considérer que le calcul du rendement solaire est fait avec une marge d'erreur de environ 10%, hors début d'automne.

Par ailleurs, je sais que le gain en été ne sera pas de 100% mais probablement de 80%, car le système va surproduire les beaux jours, mais pas assez les mauvais. Le calcul étant fait sur le mois, il est forcément faussé. Mais la consommation en été étant faible, ça ne changera que peu le rendement global.

Résultats réels :

Excellente surprise, le résultat est meilleur que l'estimation !

J'ai mis en route l'installation le 28 février avec 15 tubes puis 30 tubes le 7 mars, puis tous les tubes (75) le 21 mars, avec activation du chauffage. Les réflecteurs (qui augmenteraient significativement les performances), le 4 avril. Le chauffage a été coupé sur la chaudière fuel le 1^{er} avril (hors ECS) et pas été rallumé depuis. Habituellement, il est coupé vers la 1^{ère} semaine de mai.

Mois	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Total	Commentaires
Réel														
DJU 2009		13,1	10	5										
Besoin théorique chauffage (kwh)		3873	3274	1584										=déperdition*DJU*24h*Nb j/mois
Besoin théorique estimé ECS (l)		35	35	45										estimation d'après la consommation en été
Besoin théorique totale (kwh)		4223	3624	2034										
Conso réelle (litres)		450	250	60										mesuré
Conso réelle (kwh)		4500	2500	600										1 litre=10 kwh
Apport solaire (kwh)			1124	1434										Consommé - théorique
Gain			31%	71%										
Gain (litres)			112	143										

Dans le tableau de la consommation réelle 2009, on voit de même en février (avant la mise en route), que l'estimation est bonne. Et le gain en mars et avril est nettement supérieur aux estimations : 250 litres de fuel non brûlés en 2 mois, avec un fonctionnement partiel en mars !

Voici les mêmes mesures, par semaine, sur les 1ères semaines de fonctionnement :

Date	07/02/09	14/02/09	21/02/09	28/02/09	07/03/09	14/03/09	21/03/09	28/03/09	04/04/09	11/04/09	18/04/09	25/04/09	02/05/09	09/05/09
Mois	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5
Semaine	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
DJU moyen de la semaine	15,1	14,1	12,3	10,9	10,9	9,0	8,3	9,3	7,9	4,4	2,3	4,0	6,0	4,0
Besoin théorique chauffage (kwh)	1113	1041	909	807	805	664	617	691	582	328	170	296	444	296
Besoin théorique estimé ECS (l)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Besoin théorique (kwh)	1193	1121	989	887	885	744	697	771	662	408	250	376	524	376
Conso réelle (litres)	112	118	97	84	82	65	31	55	32	13	7	6	10	10
Conso réelle (kwh)	1115	1175	968	843	823	648	313	545	315	125	73	58	103	100
Apport solaire (kwh)	78	-54	22	44	62	97	384	226	347	283	177	318	421	275,68
Gain (%)	7%	-5%	2%	5%	7%	13%	55%	29%	52%	69%	71%	85%	80%	73%
Gain (l)				4	6	10	38	23	35	28	18	32	42	28
Nb de tubes installés				15 tubes	30 tubes	30 tubes	75 tubes							
Mise en route installation				ECS	ECS	ECS	chauffage	pose réflecteurs						

Les semaines 6 à 8, avant mise en route du solaire, montrent la marge d'erreur des calculs, inférieure à 10%

Sauf si j'ai fait une erreur dans les calculs, j'en conclus que l'apport solaire réel, en kwh/mois est donc nettement supérieur aux données utilisées dans l'estimation. Donc, soit 75 tubes correspondent à plus que 12 m² de capteurs plan, soit les capteurs récupèrent plus d'énergie que le chiffre donné dans le livre APPER. Je penche pour cette 2^{ème} hypothèse. En effet, il est probable que le nombre de wh/m²/jour pris dans le livre APPER se base sur le nombre d'heure de soleil direct. Hors, je constate que même par temps couvert, je récupère de l'énergie. La différence est probablement là.

Tous ces résultats sont obtenus alors qu'il n'y a une pour l'instant qu'une isolation très sommaire sur les tuyaux. Voir problèmes rencontrés.

Autre apport important, l'amélioration du confort. Hors solaire, la maison est habituellement humide en mi-saison, au moment où on coupe le chauffage. Cette année, avec le solaire, le chauffage (solaire) a tourné un peu tous les jours en avril, même les jours de beau temps où on aurait coupé la chaudière. Et ce confort ne se mesure pas, il s'apprécie...

Inversement, le résultat est pour l'instant assez médiocre pour l'ECS :

Pendant toute la période de chauffe, c'est normal, ayant donné une priorité au chauffage, la chaudière a tourné pour compléter.

Lors des belles journées, le ballon est monté à 60° dans l'après-midi, limite donnée dans la régulation. Par contre, la chaudière fuel s'est déclenchée quand même une fois ou deux dans la journée, car le ballon de la chaudière se refroidit par déperdition. Il se déclenche vers 48°, alors que le stock solaire peut être à 60°. Dommage...

Je vais ajouter dans l'été un bouclage de l'ECS entre les 2 ballons pour stocker au maxi et éviter ce déclenchement très frustrant, et, sur les conseils du forum, renforcer l'isolation du ballon existant.

Comportement des capteurs :

Il s'agit de ma 1^{ère} expérience solaire, je n'ai donc aucun élément de comparaison, en dehors de tout ce que j'ai pu lire sur le forum et le livre APPER. Mais de fait, je trouve ces capteurs SUNRAIN étonnants : même lorsqu'il n'y a pas un rayon soleil direct de la journée, le circulateur peut tourner toute la journée, du moment que la température du stock est basse. Aussi, j'ai privilégié dans la régulation le chauffage par rapport à l'ECS.

Situation assez classique constatée plusieurs fois en avril :

Ciel couvert, 8° le matin, 16° l'après midi, soit une température moyenne de 12° (DJU de 6), de quoi avoir besoin de chauffer. Hors solaire, d'expérience, la chaudière fuel aurait tourné environ 2 heures par jour pour le chauffage. Le matin le ballon est à 25°, 18° dans la maison (chauffage fuel arrêté). Du moment que le ciel est lumineux, même sans soleil, le circulateur tourne toute la journée (6 à 8 heures), et l'énergie captée est envoyée au fur et à mesure dans les radiateurs sans faire de stock. Dans la journée, les capteurs sont typiquement à 30-35°, le ballon à 28-30°, les radiateurs à 25-28°. Résultat, en fin de journée il fait 20° à l'intérieur ce qui tient jusqu'au lendemain matin.

Sur ces mauvaises journées, je n'ai pas stocké. Le ballon le soir était toujours à environ 28°. La chaudière fuel a donc tourné pour l'appoint ECS.

7 Difficultés et problèmes restants

En complément des quelques difficultés rencontrées déjà citées, j'ai rencontré les problèmes suivants :

Raccord filetés sur le ballon

J'ai utilisé de la classique filasse et pate associée. Je m'y suis pris à plusieurs reprises (avec 2 vidanges du ballon de 600 l !) pour rendre les raccords filetés sur le ballon étanches, pour les raccords laiton (pour l'ECS et le primaire). Aucun problème d'étanchéité par contre pour les raccords en acier noir de chauffage. Je pense que c'est du :

- au fait que le diamètre des raccord laiton (male) est quasi-constant sur la longueur du filet, alors que les raccords acier sont légèrement coniques, ce qui doit aider à bloquer la filasse
- Malgré quelques coup de lime pour rayer les filets, la filasse glisse sur le laiton et a tendance à sortir au lieu de se comprimer. Le serrage ne se fait donc pas en force

Et j'ai toujours un raccord légèrement humide sur le branchement ECS du ballon...

V3V décharge

Le circuit de décharge s'active avec une V3V laiton (modèle courant dans les GSB)

Je sais qu'une V3V n'est pas étanche, mais quand même : j'ai constaté que le radiateur de décharge est en permanence tiède, voire chaud lors que les capteurs sont au delà de 50-60°. Il y a donc en permanence une partie du fluide qui passe par le circuit de décharge. C'est particulièrement sensible en vitesse 3 du circulateur.

Est-ce cette V3V qui a un défaut d'ajustage ?

Je vais donc ajouter sur la branche de la décharge une vanne ¼ de tour manuelle, qui sera fermée pendant tout l'hiver, et ouverte quand il y aura un risque de besoin de décharge (mode été).

Perte de pression sur le primaire

Depuis la mise en route, j'ai une perte de pression sur le primaire. Environ 0,5 b par semaine. Pourtant le vase est bien à 2,5 b, et tout semble étanche..Est-ce un problème de purge ? Est-ce le groupe de sécurité qui fuit légèrement ? En attendant de trouver la cause, j'ai posé une isolation très provisoire sur tout le circuit primaire.

Comportement en surchauffe :

J'attends une belle journée chaude (ça ne va pas tarder) pour faire un test de surchauffe et observer le comportement. Je préfère le provoquer tant que je fonctionne à l'eau claire (arrêt du Millénium, simulant une panne de courant), plutôt que de découvrir un mauvais comportement quand ça arrivera pour de bon, en vacances par exemple...

Aussi pour cette raison, en attendant ce test, je n'ai pas posé l'isolation définitive sur le circuit primaire.

Je ferai une mise à jour de ce document avec le résultat du test.

Position du limiteur de température :

J'aurai du le mettre après la sortie chaudière, et non entre le ballon solaire et la chaudière. Si le stock solaire passe au dessus de 60°, j'en perd le bénéfice. Je pense que je ferai cette modification.

Eblouissement des capteurs :

Avec une certaine orientation, je constate que les réflecteurs provoquent un fort éblouissement. J'espère ne pas avoir de plaintes du voisinage, mais c'est à prendre en compte dans l'étude d'une installation.



Et maintenant, il reste à profiter du jardin et des douches avec de l'eau chaude solaire...

