

Solaire thermique en auto-vidange

Jean-Matthieu STRICKER

Alsace (67)

Mise à jour le 6 Juin 2014



Au nord de Strasbourg : Maison en demi-niveaux de 130 m² au sol construite en 1997. Chauffage au gaz d'origine, 50 m² de plancher chauffant au rdc et radiateurs à l'étage.

Projet solaire réalisé en auto-construction :

- 6,6 m² de capteurs en 3x GM TINOX en auto-vidange
 - Solaire sur un ballon ECS de 300 l en série avec le ballon de 150 l de la chaudière gaz et sur un ballon de 500 l couplé au retour du plancher chauffant
- Régulation numérique à microcontrôleur PIC et sondes LM335 et PT1000

Optimisation de la production pour un fonctionnement à basse température en hiver.

Budget dépensé : 4.500 € (y compris petites sujétions et mise à niveau installation d'ECS)

Installation : hydraulique et capteurs en 4 mois durant l'été 2012, production et essais avec une régulation différentielle, puis développement de la régulation au cours de l'hiver 2013

Principales difficultés : Maîtrise de la technique d'auto-vidange adaptée à une différence de hauteur de plus de 5 m. Gestion et protection du risque de gel à l'amorçage.

SOMMAIRE

Introduction du projet.....	3
Estimation des dépenses d'énergie gaz.	4
Projet phase 1 : Eau chaude sanitaire en auto-vidange.....	6
Projet phase 2 : Couplage au plancher chauffant	7
Installation avant le solaire et projet d'implantation.....	8
Positionnement du champ solaire :	8
Configuration de l'installation de chauffage avant l'intervention :	9
L'installation du champ solaire :	14
Pose de rails et travaux de toiture :	15
Installation des capteurs :	20
L'installation hydraulique :	23
Le raccordement du ballon d'ECS :	23
Sur-isolation des deux ballons d'ECS :	24
Le ballon du plancher chauffant :	25
La boucle solaire en auto-vidange :	27
Le circulateur solaire :	29
La vanne de zone :	30
La mesure de débit dans la boucle primaire des capteurs :	31
Le câblage électrique :	32
L'automate et la régulation :	33
La régulation « Minisun »	33
La régulation à microprocesseur PIC16F	33
La stratégie de commande :	34
En conclusion :	37
Annexe 1 : La mise au point de l'auto-vidange et les règles de base	38
Annexe 2 : Le risque de gel à l'amorçage des capteurs.....	39
Annexe 3 : Condensation dans les capteurs :	40
Annexe 4 : Instructions pour la mise en eau :	41
Annexe 5 : Schémas de la régulation.....	42

Introduction du projet

Produire de l'eau chaude et se chauffer avec l'énergie solaire

Etant donné le prix du gaz¹ et les -15°C que nous avons eu en Alsace durant l'hiver 2011/2012, je me suis dit que le solaire serait une bonne solution d'économie. Le prix demandé par les installateurs et les propositions « faut-tout-changer » m'ont orienté à faire moi-même cette installation.

A 44 ans, je me lance dans ce chantier pharaonique ! J'avais déjà fait moi-même une extension du circuit de chauffage et des travaux d'entretien chauffage et ECS. Cette expérience de base m'a motivé à faire le pas vers le solaire en auto-construction.

J'adore souder le cuivre, ça ne me change pas de mon métier dans l'électronique ! C'est aussi l'occasion de mettre mes compétences en électronique au service de la communauté.

Le solaire thermique a besoin d'énergie électrique, rien que pour faire fonctionner la pompe de circulation. Un autre défi a été de maîtriser la consommation électrique du projet au minimum. Défi bien relevé, puisque la consommation en veille est inférieure 2 W et 30 W en production, ceci grâce à une régulation personnalisée et une astuce pour réduire débit et puissance absorbée du circulateur !

J'appréhende un peu le système en auto-vidange qui est très avantageux pour se passer d'eau glycolée, mais cela reste encore expérimental en fonction des différentes configurations de chacun.

Au départ, j'ai commencé par découvrir Hélios France² par un collègue, puis l'APPER dont j'apprécie l'esprit communautaire. Je me suis inscrit au forum de l'APPER et j'ai dévoré le livre des auteurs de l'APPER qui m'a apporté beaucoup de réponses !

Je me suis rendu compte qu'il valait mieux laisser mûrir le projet avant d'acheter ; bien se renseigner avant tout ! Fin Avril 2012, mon projet se concrétise. J'ai déposé une demande de travaux pour l'apposition des capteurs sur le toit orienté en plein Sud ! La demande n'avait pas fait d'opposition et mon projet fut bien accueilli par mon voisinage, tant mieux !

Pendant la phase de réflexion, j'ai mis à jour mon installation d'ECS (eau chaude sanitaire) pour la prédisposer au raccordement du solaire :

- Nettoyage du ballon d'ECS couplé à la chaudière (rien n'avait été fait en 15 ans !), pose de manchons galvaniques et de vannes.
- Pose d'un filtre avec réducteur de pression à l'arrivée d'eau de la maison (marque CILLIT).

Une partie du matériel a été commandé à Solaire Diffusion via l'APPER (capteurs, ballon ECS de 300 l, vase d'expansion, gaines Armaflex spéciales pour l'extérieur)

L'autre partie a été commandée en Allemagne : le ballon 500 l pour le PC (plancher chauffant), le vase d'expansion ECS et les vannes trois voies. Les trois capteurs et les deux ballons représentent à eux seuls un budget de 2700 €.

Mon budget global a été de 4500 € avec pour objectif d'amortissement sur 13 ans à raison de 350 €/an, en tenant compte de l'augmentation du gaz. Ce budget inclus les travaux de confort, à savoir le filtre d'arrivée d'eau et un vase d'expansion pour l'ECS.

Estimation des dépenses d'énergie gaz.

La première question, qui m'est venue avant d'installer le solaire thermique, fut de savoir quelles seraient les économies et la rentabilité de ce projet ?

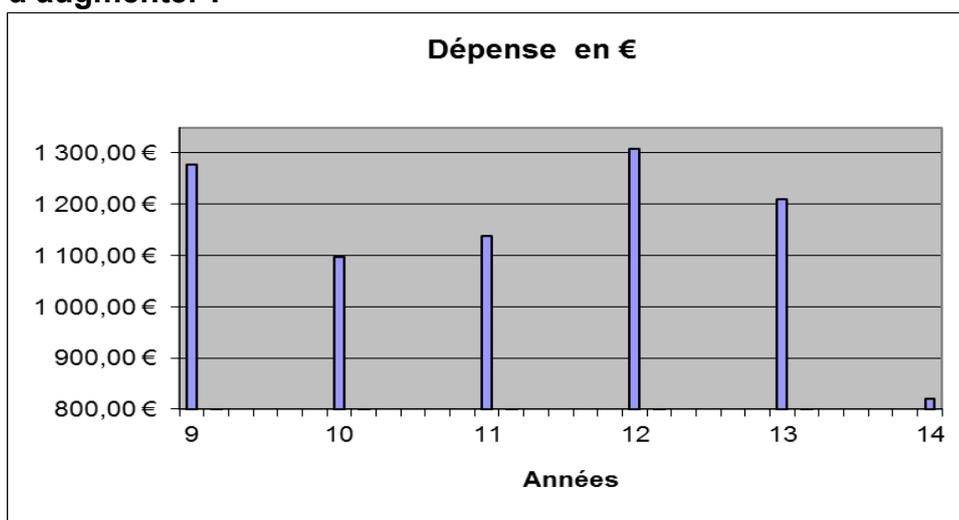
En auto-construction aucune aide n'est offerte par l'état.

Commençons par comparer le coût des installations toutes faites par des professionnels donne des repères. Un projet similaire dans ma famille m'a permis d'évaluer le prix des capteurs posés par un artisan. Avec le reste, à savoir les ballons, les travaux et la spécificité du couplage au plancher chauffant cela aurait donné un budget de 8.000 à 10.000 €. Même dans ce cas les aides et crédit d'impôt sont maigres en 2012 !

L'auto-construction a son avantage si on sait faire et que l'on trouve le matériel à prix raisonnable (APPER). Le budget dépensé a été de 4.500 € tout compris.

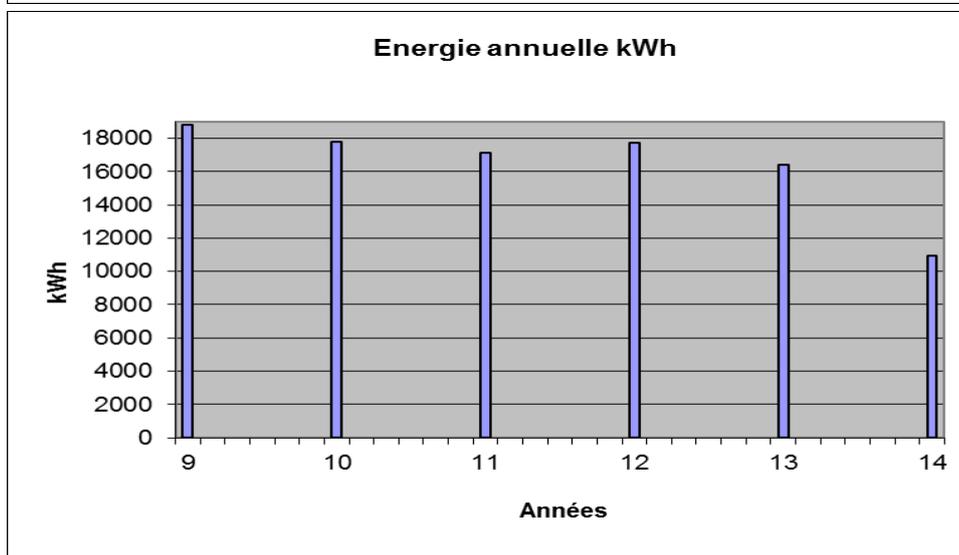
Une autre approche essentielle consiste à évaluer **quelles seraient les économies sur la facture de gaz ?**

Sur l'ECS il est possible de gagner 60 % des 20% de la consommation annuelle, soit environ 140 € par an (soit 12 % de la dépense annuelle). Sur le chauffage cela devrait représenter d'avantage. **Soit 25% au total ou 280 € d'économies sur la facture de gaz. L'économie financière est d'autant plus intéressante que le gaz continue d'augmenter !**



La dépense annuelle moyenne en gaz sur les trois dernières années **avant l'installation solaire** était de 17500 kWh_{ep} gaz pour le chauffage, l'ECS et la cuisson, soit 1300 €/an en 2012.

kWh_{ep} : En énergie primaire gaz sans tenir compte du rendement de la chaudière, revient au kWh de la facture gaz.



Valeurs réelles arrêtées à la dernière facture relevée en mai couvrant une période hivernale annuelle.

La moyenne de l'énergie consommée par ma maison a baissé depuis 2009 suite à divers travaux d'isolation :

- En 2009 : renfort d'isolation de la porte d'entrée, gain en confort.
- En 2010 : isolation du plafond du garage sur 30 m², gain en confort.
- En 2011 : remplacement double vitrage de la fenêtre de toit de la salle de bain.
- En 2012 : renfort d'isolation des rampants côté Sud avec +10cm de laine de verre et pose d'un robinet thermostatique programmable au radiateur de la salle de bain, optimisation de la chaudière et de la régulation suite à la découverte d'erreurs d'installation.
- En 2013 : renfort d'isolation des rampants côté Nord, début du fonctionnement du solaire à partir de fin avril malgré un fort manque de soleil jusqu'à la fin du mois de mai !

Economie de -6 % sur l'hiver 2012 - 2013 avec un total de 16500 kWh_{ep} dépensés, ceci par rapport à l'hiver précédent.

Suite à ces divers travaux d'isolation, d'amélioration de la chaudière et de sa régulation, l'économie réalisée est de l'ordre de 11% depuis l'hiver 2008 - 2009. Le meilleur chauffage est une bonne isolation avant tout !

Sur la courbe de dépense, en pointillés, figure une estimation de la dépense au besoin constant en tenant compte de l'augmentation du gaz depuis 2009. Si aucune économie n'avait été faite depuis 2009, la dépense en 2013 aurait été de 1360 € contre 1210 € en réalité. Toutes les dépenses calculées incluent les frais d'abonnement.

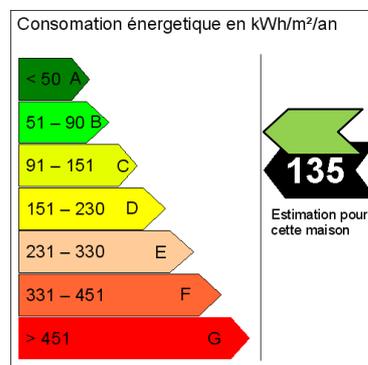
L'objectif est de réduire l'énergie annuelle de 25 % par rapport à la saison de chauffe 2012 - 2013 et de passer sous les 1000 € de facture de gaz par an pour la saison suivante.
Objectif tenu en mai 2014 avec -33% de kWh_{ep} et 820 € de facture annuelle !

Le coût de production de l'énergie solaire n'est pas nul mais demande environ 1/100^e d'énergie électrique : il faut bien faire fonctionner le circulateur solaire, l'automate et les vannes !

Pour une maison achevée en 1998 de 130 m² au sol en demi-niveaux au Nord de Strasbourg, la classe énergétique C sur la saison de chauffe 2012/2013 : consommation de 135 kWh_{ep}/m².

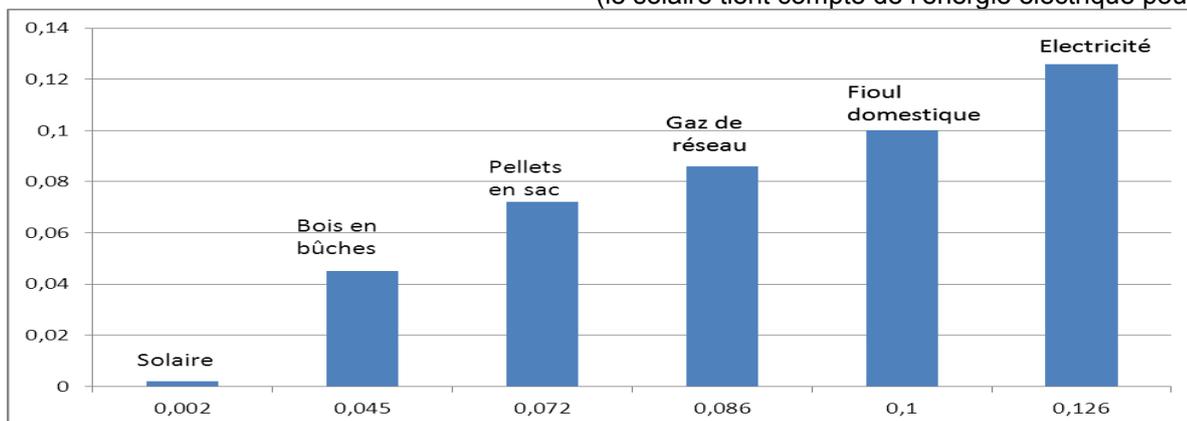
L'apport solaire devrait réduire la consommation à moins de 105 kWh_{ep}/m²

84 kWh_{ep}/m² la première année : classe énergétique B



Ci-dessous un état du coût des énergies¹ en € / kWh en 2013

(le solaire tient compte de l'énergie électrique pour l'extraire)



Projet phase 1 : Eau chaude sanitaire en auto-vidange.

- Etre indépendant au possible de l'installation existante pour des raisons de maintenance et prévoir un remplacement de la chaudière ultérieurement.
- Le ballon d'ECS de 150 l de la chaudière possède une deuxième entrée d'eau froide en bas qui recevra la sortie du ballon solaire de 300 l.
- En été, la chaudière est en mode hors gel pour maintenir la gestion du débouage du PC. L'appoint de la chaudière sur l'ECS se fera en fin de journée par un thermostat programmable. Il est prévu de la couper de juin à septembre.
- Limiter la température de l'ECS à 50°C en provenance des ballons par un mitigeur installé sur la sortie du ballon de la chaudière.
- Garder l'appoint par la chaudière à 55°C.
- Renforcer l'isolation du ballon ECS de la chaudière.
- Se familiariser avec les techniques solaires, la régulation numérique.
- Gérer le stockage solaire avec une régulation différentielle simple avant de concevoir la régulation numérique à base de microcontrôleur « PIC », à calcul en virgule fixe. Basse consommation électrique 3 W maxi.

Le ballon ECS solaire de 300 l sera en série avec le ballon existant de 150 l pour préchauffer l'ECS en intersaison et produire en été. C'est une bonne solution pour assurer l'indépendance des systèmes, mais les pertes du ballon de la chaudière peuvent engendrer des baisses de température en cas d'apport solaire insuffisant. Ce ballon sera impérativement sur-isolé.

- Au départ était prévu un stock d'eau de 800 l dans un ballon combiné : puis d'injecter ce stock dans le circuit chauffage du PC. Cette proposition a des inconvénients :

Volume élevé pour 800 l de masse d'eau; il est plus juste de passer à 500 l car le stock met trop de temps à chauffer. En journée, le PC fait aussi stockage « tampon » par son inertie.

Impossibilité de vidanger l'ECS du ballon combiné et de le nettoyer, risque d'entartrage.

Refroidissement du stock par l'arrivée d'eau froide de l'ECS en hiver et impossibilité de profiter pleinement de l'ECS solaire.

Un circulateur WILO STAR ST 25/7 à 3 vitesses manuelles modifié pour être piloté par l'automate.⁷

Pose d'une vanne de zone pour charger l'un ou l'autre des ballons.

Projet phase 2 : Couplage au plancher chauffant

Régulation numérique de la température de départ du PC, **priorité chauffage en intersaison et en hiver**. Développement d'une régulation numérique à système échantillonné.

Injecter l'eau réchauffée du ballon tampon de 500 l dans le circuit de chauffage du plancher par une vanne trois voies réglée sur une courbe de chauffe en fonction de la température extérieure.

Ajout d'un vase d'expansion de 18 l pour compenser les variations du stock de 500 l.

Compatibilité du solaire avec la basse température du plancher : $T_{\text{départ_PC}}$ maxi 35°C

Déjà en place : sécurité par arrêt du circulateur PC si température > 45°C.

Ci-dessous une estimation relativement optimiste du taux de couverture solaire calculé sur le site de TECSOL : avec 5cm d'isolation du ballon de 500 l sur une base ECS de 500 l uniquement. Capteur 3 x GMT 2510 Tinox

Strasbourg, Latitude: 48 32	13/04/2012
-----------------------------	------------

Donnees meteo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T extérieure	0,6	1,8	6,1	10	14	17,2	19,1	18,6	15,5	10,1	5,2	1,5
T eau froide	5,3	5,9	8	10	12	13,6	14,5	14,3	12,7	10	7,6	5,7

T eau froide : Methode ESM2

Installation

Capteurs		Stockage	
Surface	6,2m2	Situation	Interieur (15 C)
Inclinaison	45 /Horiz	Temperature ECS	50 C
Orientation	0 / Sud	Volume de stockage	500 Litres
Coefficient B	0,75	Cste de refroidissement	0,1441 Wh/jour.l. C
Coefficient K	4,98W/m2. C	Type d'installation	Circulation forcee, échangeur noyé

	Irradiation capteurs (Wh/m2.jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	1118	161	53	1,7	33,1	100
Fevrier	2184	144	76	2,7	53,0	100
Mars	3234	151	115	3,7	75,9	100
Avril	4323	140	128	4,3	91,8	100
Mai	4808	137	133	4,3	96,8	100
Juin	4944	127	125	4,2	98,1	100
Juillet	5220	128	126	4,1	98,7	100
Aout	4740	129	125	4,0	97,3	100
Septembre	4233	130	119	4,0	91,4	100
Octobre	2533	144	95	3,1	66,2	100
Novembre	1394	148	60	2,0	40,3	100
Decembre	1023	160	49	1,6	30,4	100

Taux couverture solaire	70,9	%	Apport solaire annuel	1203	kWh/an
Besoin annuel	1698	kWh/an	Productivite annuelle	194	kWh/m2.an

calcul realise sur www.tecsol.fr

Installation avant le solaire et projet d'implantation

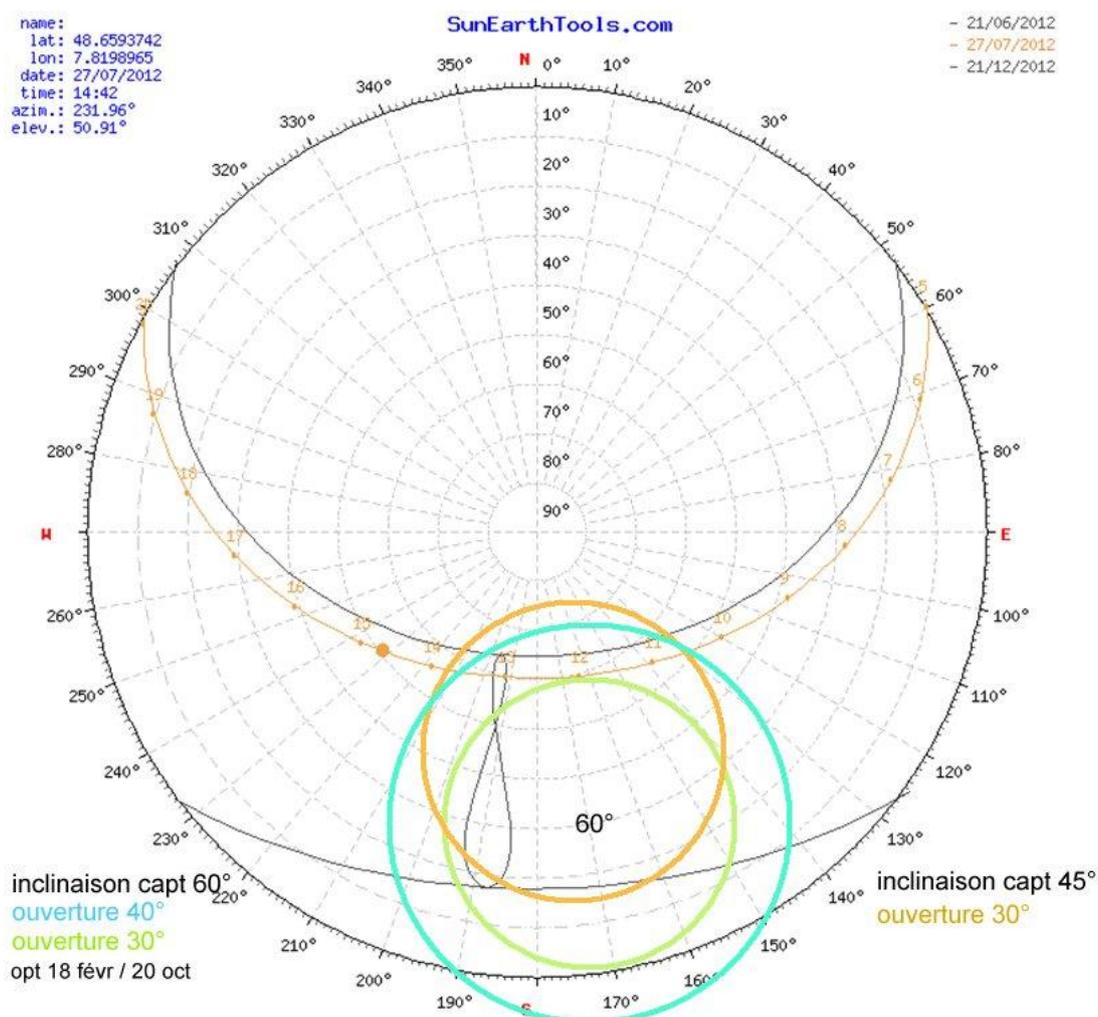
Positionnement du champ solaire :

Installation de 3 capteurs GMT 2510 Tinox pour une surface totale de 6,6 m².
Circuit auto-vidangeable fermé : contrainte -15°C en hiver à +35 °C en été ; pas de glycol.
Ballon réserve tampon de 15 L pour le circuit des capteurs : récupération d'un ballon électrique ECS à modifier.

Orientation **plein sud** du champ solaire sur le toit (à 45°) avec une **inclinaison à 60°** pour augmenter le rendement en hiver et limiter en été. Les obstacles du voisinage sont suffisamment loin pour ne pas causer de masque.

Le choix d'inclinaison a été validé avec un diagramme de course du soleil³ en fonction des saisons. Ce dernier montre qu'à 60° (cercle vert) l'optimum se situe au 18 février et 20 octobre en intersaison. Comme la demande est moindre en été, cette inclinaison défavorise volontairement le rendement.

Par contre à 45° d'inclinaison (pente du toit), le rendement aurait été médiocre en hiver.



Configuration de l'installation de chauffage avant l'intervention :

Chaudière à ventouse au gaz de ville, De Dietrich 24 kW modulable en puissance de 33 à 100% ; limitée à 16 kW (68%) en chauffage et 24 kW en ECS.

Réf DD 1.24 FF-AE GN de fabrication Allemande par Junkers, posée fin 1998).

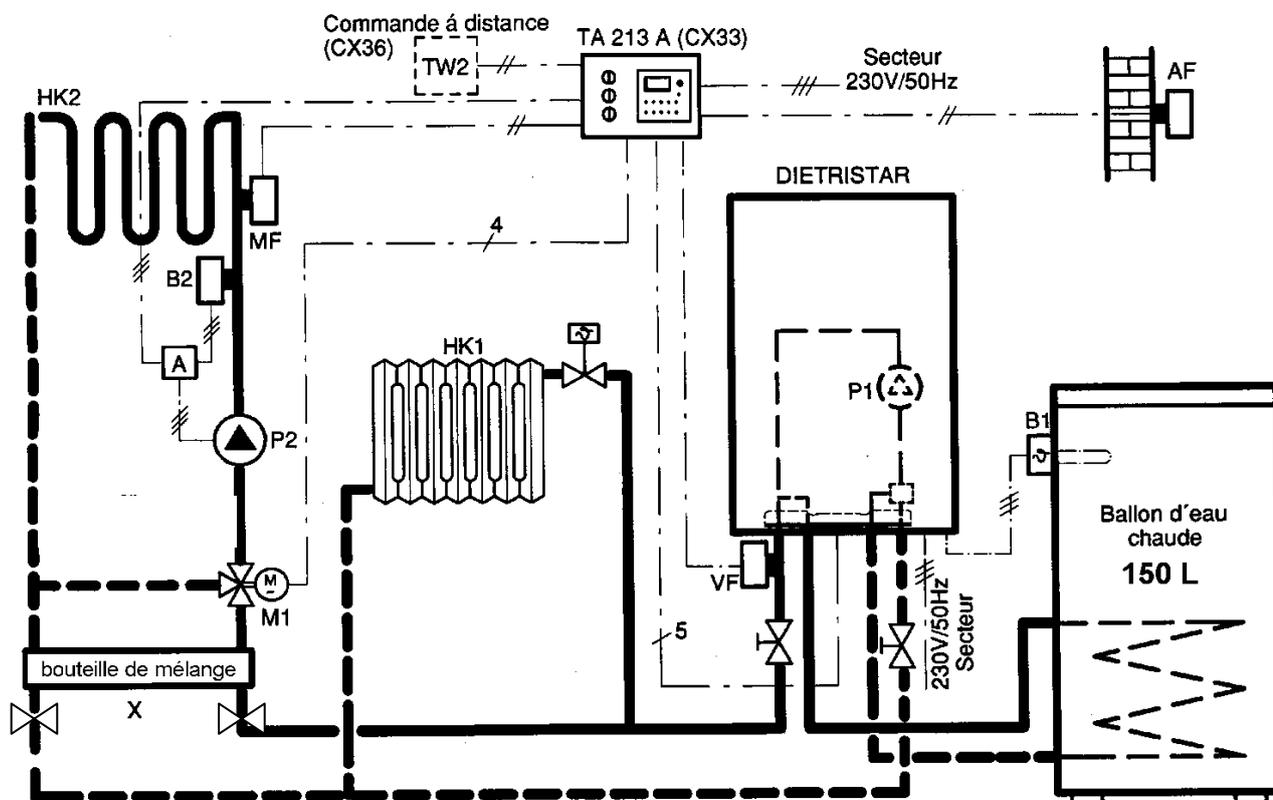
Ce n'est pas une chaudière à condensation mais une chaudière à rendement élevé (90% à 24 kW).

En modulation de puissance, la chaudière a trop de débit d'air, son rendement diminue entre 82 et 85% car l'extracteur n'est pas modulé.

Un plan d'améliorations a été fait pendant l'hiver 2012-2013 pour réduire le débit d'air par un diaphragme et une baisse du régime de l'extracteur⁹ en mode chauffage.

- Ballon ECS : 150 L couplé à la chaudière en priorité sur le chauffage.
- Régulation numérique circuit radiateur : par courbe de chauffe et modulation de la puissance de la chaudière.
- Régulation numérique PID plancher chauffant : vanne 3 voies sur circuit radiateur via une bouteille de mélange (casse pression).

Température intérieure au r-d-c : 21.0°C +/-0.5°C de 7h00 à 22h en hiver et intersaison.



Estimation des besoins de chauffage et d'ECS :

Besoins chauffage		
hauteur plafond	2,5	m
Surface habitée	113	m ²
volume	282,5	m ³
Coef d'isolation G	1	
T° base mini	-15	°C
T° intérieure	21	°C
Déperdition maxi calculée	10,2	kW
Estimation Puiss_ chaudière	14,5	kW
Degrés jours unifiés DJU	3000	
Besoin annuel en chauffage BCh	20340	kWh
supplément 2°K pour 21°C int	3146	kWh
Estimation besoin annuel kWh	23486	kWh
Besoin journalier kWh	101	kWh
conso gaz annuelle réelle chauffage ECS et cuisson	16500	kWh _{ep}

D'après cette estimation, les besoins en chauffage sont surévalués de 30 % ! Cela vient en partie du coefficient G et de la totalité des surfaces qui ne sont pas chauffés à 21°C. En hiver par 0°C en moyenne, la chaudière consomme environ 100 kWh_{ep} par jour. (70 kWh_{ep}/j pour 6°C ; 125 kWh_{ep}/j pour -6 °C)

Les 24 kW de puissance de la chaudière sont actuellement trop élevés. Au-dessus de 5 à 6°C de température extérieure, elle fonctionne à son minimum de 30%.

Quand l'éventualité se présentera, le remplacement par une chaudière de 12 à 14 kW à condensation fera amplement l'affaire. Une chaudière à condensation fait économiser 10 à 15 % de consommation, soit 100 à 150 € de gaz par an. Ceci, avec la contribution du solaire, la chaudière à condensation permettrait de passer dans la classe énergétique B avec environ 86 kWh_{ep}/m².

En tenant compte du rendement approximatif de la chaudière de 85% et de la consommation de gaz en 2013 de 16500 kWh_{ep}, il faudrait produire 14000 kWh réel.

Calcul des besoins en ECS :

Besoins ECS		
Delta teta ecs	45	K
Besoin journalier	40	l/j/pers
Nb de personnes	3	
volume journalier	120	l
volume annuel ECS	43,8	m ³
Conso annauelle EFS + ECS	120	m ³
Besoin ECS annuel	2286,4	kWh
Besoin ECS journalier	6,3	kWh
Besoin ECS annuel en ep gaz	2689,8	kWh _{ep}
ratio ep gaz ECS/chauff réel	19%	

On reste dans un ratio réaliste proche des 20% entre les besoins de chauffage et l'ECS.

Simulation d'implantation du champ solaire

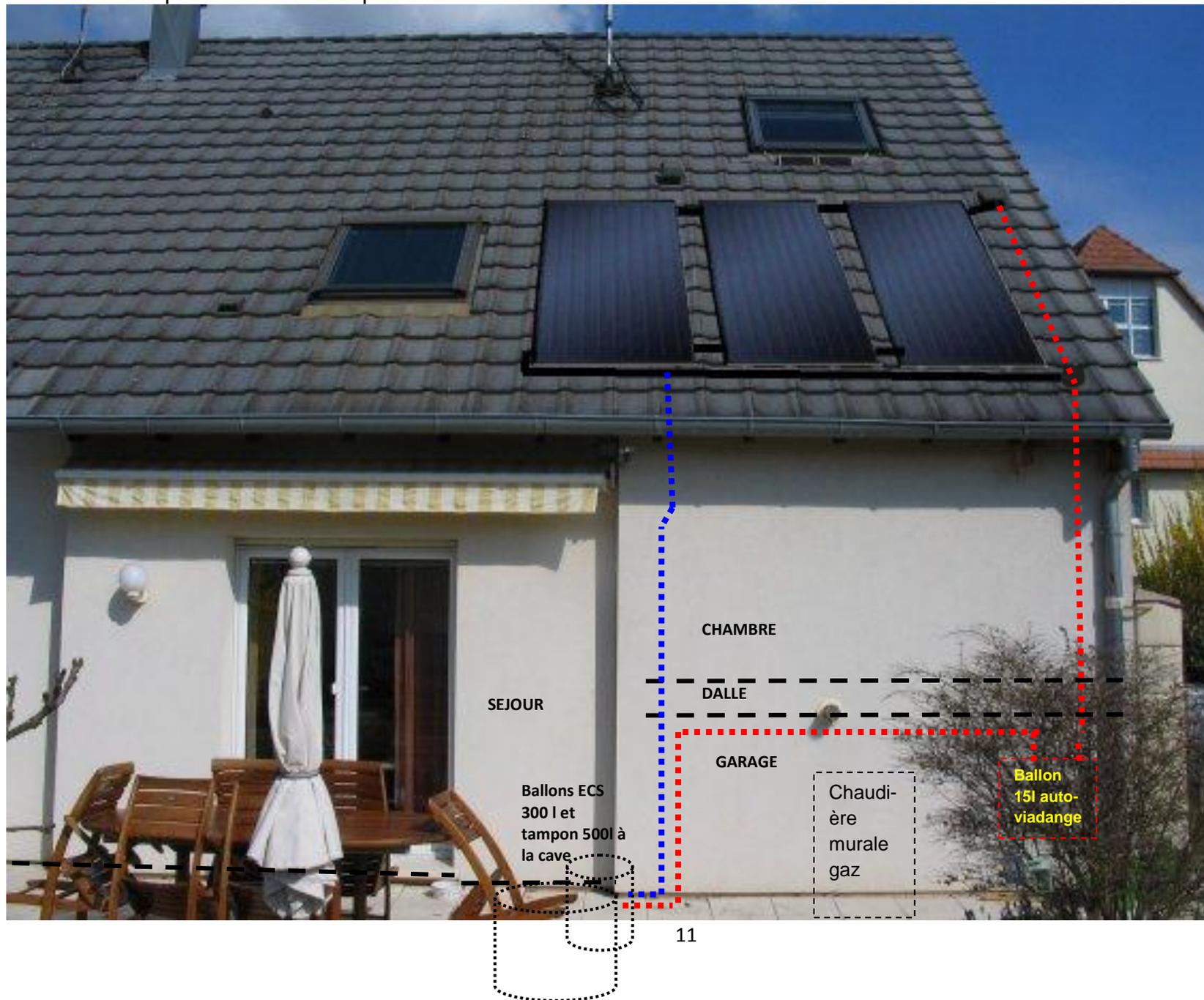
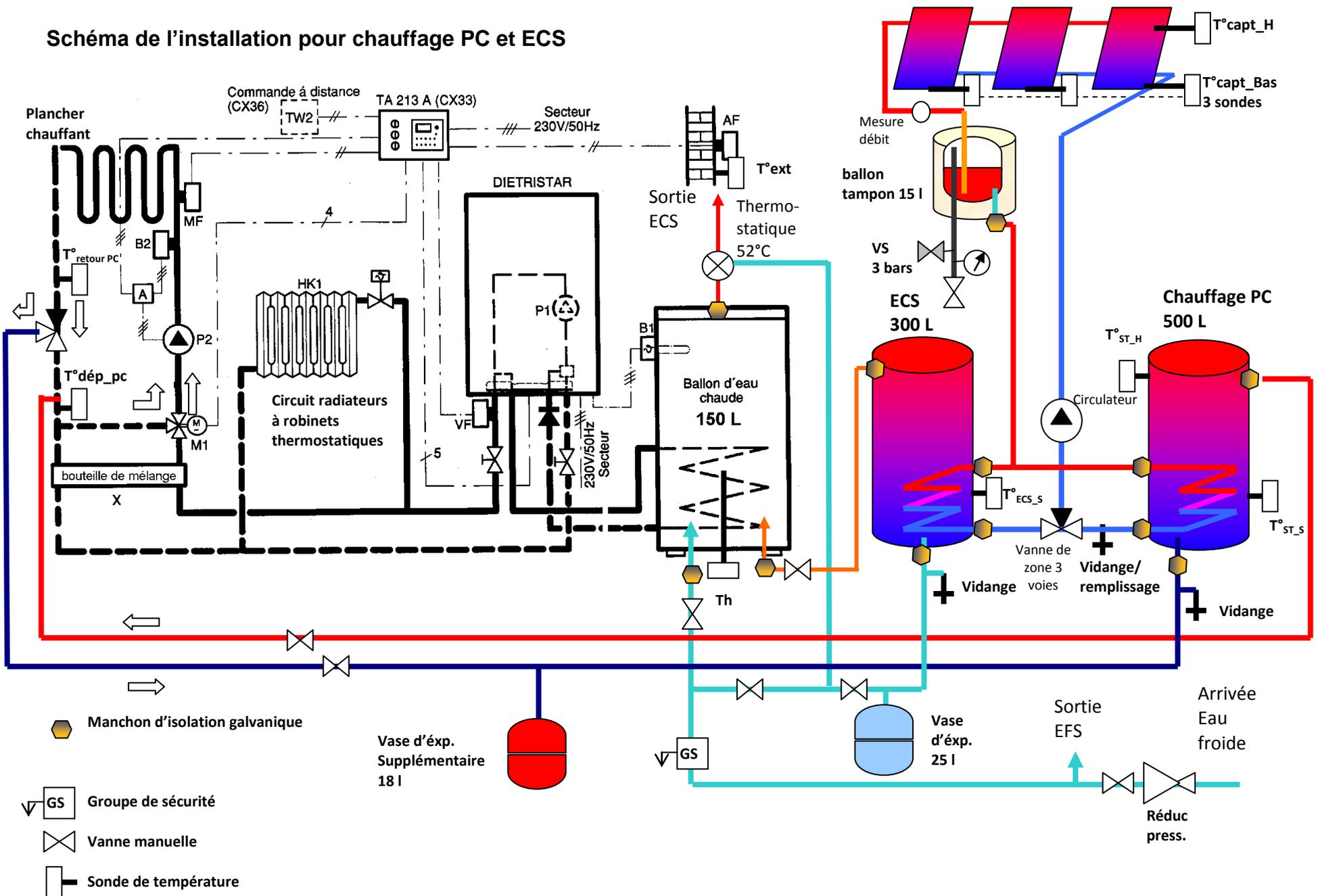
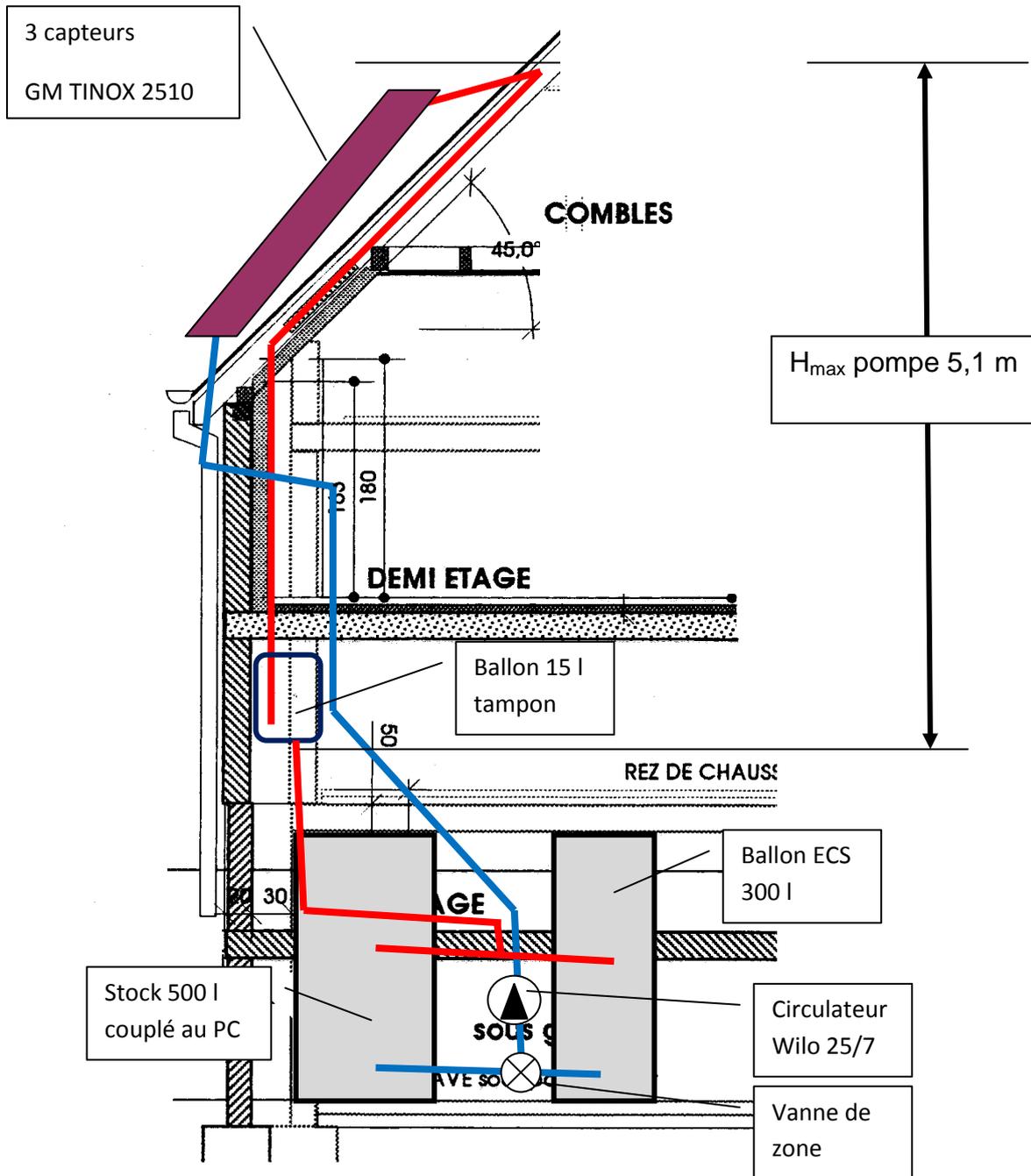


Schéma de l'installation pour chauffage PC et ECS





Circuit hydraulique vu en coupe

L'installation du champ solaire :

Dans un tel projet, on se rend compte de l'ampleur des travaux à la livraison du matériel. Les ballons ont été placés à la cave dès leur arrivée. Ils ont été mis à leur emplacement définitif en les faisant glisser sur une couverture et une bâche recouvrant le sol en béton. Les travaux de préparation de l'installation d'ECS (vannes et mitigeur thermostatique) et l'isolation de la toiture ont pris près de 2 mois à raison de soirées et weekends. En fonction de la météo, j'ai jonglé entre les travaux de toiture et de raccordement des ballons. Au bout de 3 mois, il ne me restait plus qu'à hisser les capteurs et terminer 6 mètres de raccordement vers les capteurs.

Avant le montage des capteurs, des travaux conséquents d'isolation ont été entrepris pour renforcer l'isolation des combles. Les tuiles ont été déposées pour ajouter 10 cm de laine de verre supplémentaires entre les chevrons. Cette opération d'isolation fut longue et fastidieuse, mais indispensable pour faire des économies à long terme. La zone isolée en vert est à présent prête pour la pose des fixations :



Le trait rouge représente la conduite de sortie des capteurs qui passera sous les tuiles par une tuile chatière. Elle descendra ensuite à l'intérieur vers le ballon tampon. L'auto-vidange ne permet pas de retour sous les tuiles pour l'entrée des capteurs en bas (en bleu). Ce trajet se fera en pente en passant par une tuile d'aération sur laquelle le chapeau sera déposé puis recollé. Puis, le tube passera à l'intérieur juste en dessous du déport du toit qui est abrité de la pluie

Pose de rails et travaux de toiture :

Les tuiles mécaniques « perspective » de REDLAND ont un milieu plat pour laisser passer les fixations. Il n'est pas possible de placer les fixations sur les crêtes des ondulations. La surface d'apposition de la fixation est augmentée en vissant un bloc de bois de 80 x 60 mm.

L'ensemble des fixations est disposé pour avoir une pente de 3 % environ du champ de capteurs pour l'auto-vidange. En observant une autre installation similaire, cette inclinaison n'a pas été forcément respectée, mais je l'ai estimée indispensable en cas de gel.

Cette pente est obtenue en jouant sur les trous oblongs des fixations pour la barre de fixations d'une part, et la hauteur de pose des crochets par rapport aux tuiles d'autre part. Trois modes de pose donnent cette pente.

- le plus bas possible par une échancrure dans la tuile du bas.
- au milieu la fixation est au contact de la tuile comme sur la photo ci-dessous.
- Au plus haut, la tuile du haut touche le bas du crochet de la fixation.

A noter que la peinture des fixations n'est pas très résistante. Les vis à bois ont été dédoublées. Malgré le perçage d'avant trous, deux des vis livrées avec les kits se sont cisailées au niveau de la tête lors du serrage.



Les tuiles recouvrant les fixations sont meulées. Une gorge stop-goutte est meulé à 10 mm du bord sous la tuile.

Les premières fixations m'ont pris entre 1h30 et 2h de travail, puis 1h en prenant le coup de main malgré ma sécurisation contre les risques de chutes.

A ce sujet, j'ai utilisé du matériel d'escalade : baudrier, corde de 20 m, doubles mousquetons et nœuds en double huit.

La pente d'écoulement est conditionnée par le rail du bas. La pose de ces derniers doit être parfaitement alignée pour faciliter l'emboîtement des raccords des capteurs.

Les raccords pour sorties lisses tolèrent peu de différence d'alignement et de jeu de la charpente. Sur la photo suivante, on voit que la jonction entre les deux rails a une différence de hauteur entre les deux serre-joints. Ceci fut compensé par des rondelles sous le rail.



Le toit étant à 45°, il m'a fallu trouver une solution simple pour augmenter l'angle des capteurs à 60°.

Les rails du haut sont déportés par des profilés industriel en X genre « Bosch Rexroth » de 35 x 35 mm section et de 40 cm de long.

Ces profilés ont été taraudés à chaque extrémité en M 8. Pour l'assemblage du haut, les boulons d'origine sont glissés dans le rail et un jeu de rondelles (métal / caoutchouc / métal) permet le serrage au quart de tour près.

Cette rampe ainsi constituée supporte bien l'appui des capteurs dans l'axe des profilés mais ne tolère pas le porte-à-faux. Ce n'est pas fait pour s'accrocher !



Ci-contre, coulissage du premier capteur sur les rails après l'avoir treuillé à gauche. Le rail du haut sert d'appui. Tout le poids est sur le rail du bas

Sortie des capteurs :

En un coup de meule, une tuile chatière est découpée pour le passage du tube. Notez les rainures de part et d'autre de l'ouverture pour faciliter l'écoulement de l'eau.



Le tube de cuivre de 18 est recuit pour faciliter son passage sous les tuiles. Une lyre est préalablement préparée puis soudée au tube de descente.

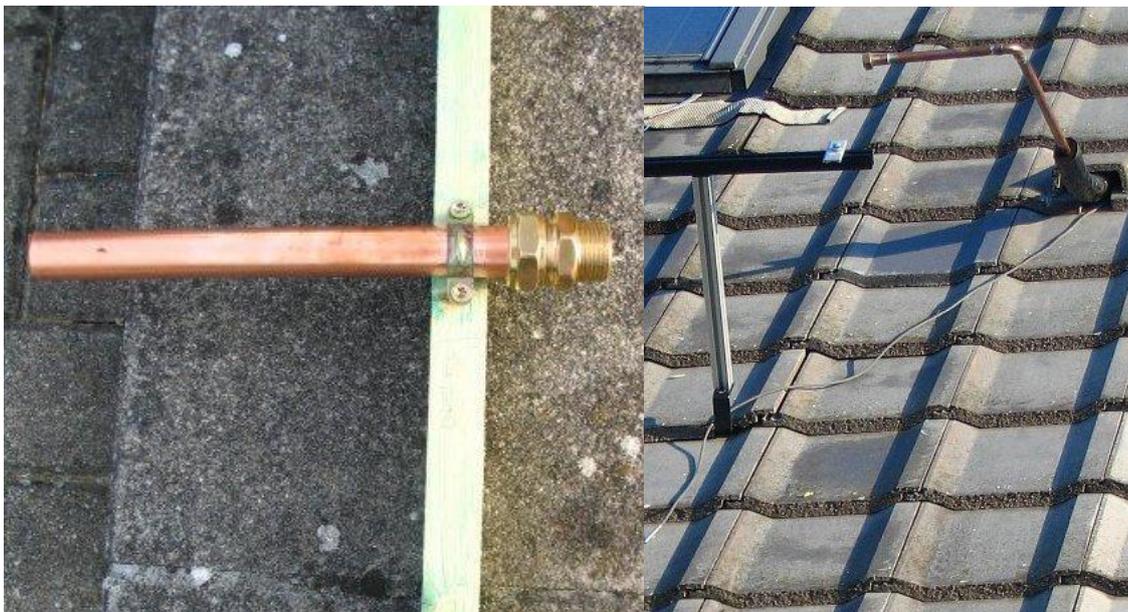
Une gaine isolante *Armaflex* spéciale solaire non fendue est placée avant de souder le coude allant au capteur.



Un gabarit réalisé avec une latte matérialise la sortie du capteur. Ce gabarit, posé sur les rails, donne la position exacte du raccord de la sortie du capteur. Le coude et le tube avec le raccord $\frac{3}{4}$ sont soudés au tube passant sous la tuile chatière.

Ce travail fut un des plus difficiles de l'installation : monter le chalumeau et la bouteille de butane de 15 kg sur le toit !

La récompense fut de voir les raccords face à face à la pose du premier capteur à cet emplacement !



Entrée des capteurs :

La tuile d'aération de chute d'eau, préalablement récupérée des travaux de préparation, a été découpée pour ne conserver que l'anneau d'étanchéité.



Un trou fut découpé à la scie à cloche dans la frisette. Puis cette tuile a été mise en place.



Les capteurs prévus pour être posés contre la toiture ne sont pas 100 % étanches sur leur face arrière. Un joint de mastic polyuréthane SIKA 11-FC est appliqué entre le cadre et la plaque arrière en aluminium sauf en haut du cadre pour favoriser l'évaporation.



Attention !

Lors de la livraison, le transporteur s'est empressé de me plaquer la palette contre la haie. Un capteur fut percé à l'arrière pendant le transport. Ayant signé le bon de livraison sans mentionner cette avarie de transport (qui fut découverte lors du déballage) je n'ai eu aucun recours possible.

Je vous conseille de TOUT déballer et vérifier AVANT de signer le bon de transport ! La mention « sous réserve de déballage » n'est pas valable, il faut décrire la marchandise endommagée !

Le trou fut bouché avec le même mastic polyuréthane SIKA.



Installation des capteurs :

Installer des capteurs GM (grand modèle) sur le toit n'est pas facile !
Utiliser une corde d'escalade ou en nylon en mode palan avec des mousquetons est impossible sans poulies, il y a trop de frottements !

Nous avons tracté le capteur avec un treuil électrique 12V de 900 daN accroché en haut à un chevron.

- une rampe est faite par une échelle au départ. L'échelle est sanglée et coincée contre la gouttière.
- deux planches vissées à angle droit recouvrent la gouttière
- une latte assure le passage au-dessus du rail supérieur.
- Il faut être en haut pour hisser le crochet du treuil au-dessus de la traverse supérieure, sinon crac !
- les sangles rouges sont déposées en premier et le capteur est retenu par les sangles bleues pour le poser dans la rainure du rail du bas. Deux personnes assure le guidage du bas du capteur dans le rail.
- le capteur est coulé horizontalement sur le rail du bas vers son emplacement.
- les éclisses fixent les capteurs uniquement sur la traverse supérieure. En bas, le capteur est pris dans la rainure par son propre poids.
- la visserie fournie est en acier zingué, dommage qu'elle ne soit pas en inox !

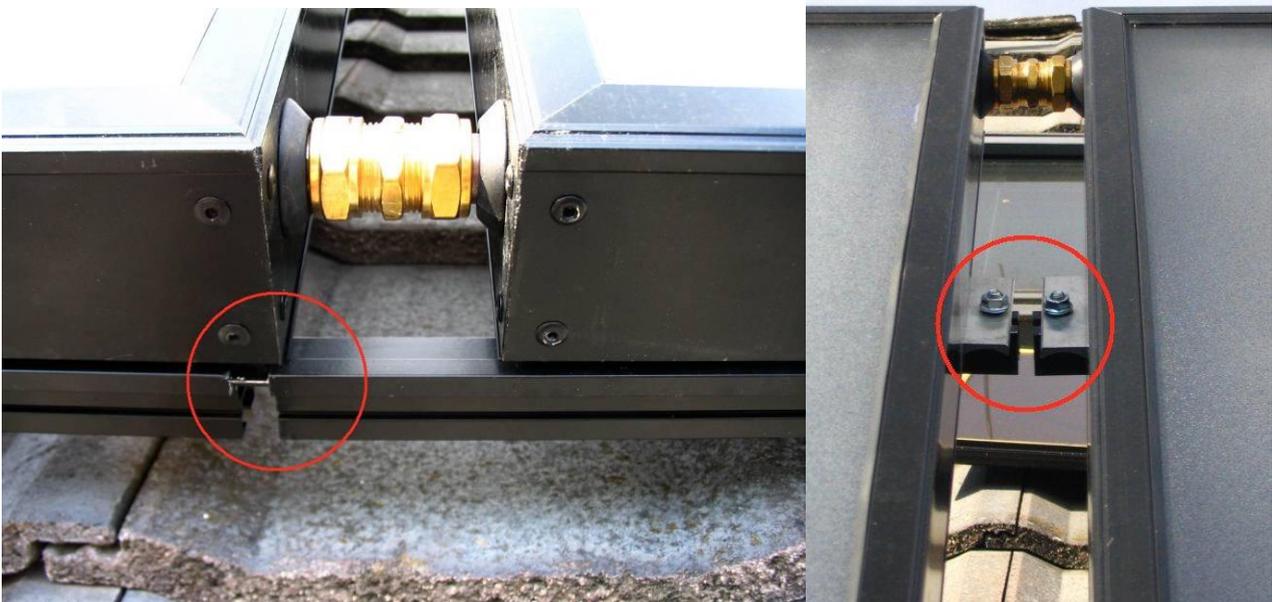




☞ Les rails de traverses doivent être parfaitement alignés pour que les raccords hydrauliques s'emboîtent. Les sorties des capteurs sont en tubes lisses de 22 mm, si bien que les raccords à bagues ne tolèrent pas d'être décalés (ce ne sont plus des raccords coniques tel que présentés sur le site de l'APPER en 2012) Une astuce consiste à décaler le rail du bas vers le capteur attendant pour qu'il aligne automatiquement les deux raccords sur le même rail. Voir encerclé en rouge sur les photos ci-dessous

D'autre part, l'espace entre les capteurs est très réduit ce qui oblige un ajustement précis des rails bout à bout. Il y a tout juste la place pour les plaquettes de fixation entre deux capteurs.

Le serrage des raccords demande une force conséquente sur un bon quart de tour environ !



La sortie est raccordée et isolée par de l'ARMAFLEX spécial solaire (résistant aux UV).

La sonde PT1000 est glissée dans le doigt de gant du capteur. Il n'y a pas de graisse ni d'étanchéité afin que la sonde prenne la température interne de l'air du capteur.

La sonde du capteur n'est pas en contact avec le liquide ce qui donne une bonne intégration de la température.



La conduite d'arrivée des capteurs a été soudée sur mesure jusqu'à la traversée du toit (diamètre 18/16). La gaine d'Armaflex de 22 mm de diamètre interne a été glissée sur la conduite (en diamètre 18) avant le passage vers l'intérieur.

Pour faciliter l'emmanchement de la gaine, le tube est légèrement enduit silicone liquide. La gaine a été fendue pour le passage sous la frissette et bridée avec du ruban adhésif spécial extérieur et des colliers.

Le chapeau de la tuile d'aération a été découpé et collé au mastic SIKA 11-FC. Un joint de mastic est appliqué à l'entrée du tube et la façade.



Le champ de capteurs a subi les intempéries d'automne 2012 sans problème. L'arrière des capteurs est rarement mouillé par la pluie. A sec, la température interne du capteur est montée à 170°C à la fin du mois de septembre !

☞ Cette conduite d'arrivée des capteurs et le collecteur du bas ont été la cause du gel à l'amorçage en hiver. Pour réduire cet effet, cette conduite doit être la plus courte possible à l'extérieur ! Des explications sont données à la fin de ce rapport en annexe 2.

L'installation hydraulique :

Le raccordement du ballon d'ECS :

Vendu par Solaire Diffusion 300 SE (simple échangeur sans résistance)

- L'anode de ce ballon est en haut, température maxi 85°C
- Echangeur 1,36 m², contenance 8,96 l
- Isolation 50 mm en mousse PU, pertes 2 kWh/24h ΔT40°C.

Un emplacement à la cave contigu à la chaudière fut vite trouvé à proximité des canalisations du plancher chauffant et du ballon d'ECS. Ainsi les longueurs de conduites sont au plus court !

Les travaux de plomberie ont commencé par le raccordement et la mise en eau du ballon solaire.

Un vase d'expansion à circulation interne est intercalé sur l'arrivée d'eau froide en aval du groupe de sécurité. Ce ballon a été mis en eau très rapidement par le jeu de vanne qui l'intercale avant le ballon de la chaudière

Le ballon d'ECS de la chaudière est également équipé de raccords d'isolation galvanique. Ces précautions augmentent considérablement la longévité de l'installation face à la corrosion galvanique. Ce fut pour moi l'occasion de faire le point sur ce phénomène qui m'avait causé une sérieuse perte de débit d'ECS⁴.



Pose d'un mitigeur thermostatique en sortie du ballon de la chaudière. Il régulera la température d'utilisation quel que soit la température des ballons d'ECS.

Isolation avec des gaines et des blocs de mousse de récupération.

Un an après, un clapet anti-retour a été posé sur le retour de l'échangeur du ballon, car il a été remarqué que les calories du ballon d'ECS allaient vers le circuit de chauffage en hiver et se dissipent dans l'échangeur de la chaudière en été. En effet, la vanne d'inversion de la chaudière est positionnée au repos sur l'échangeur ECS. (février 2014)

Afin de respecter les couples galvaniques, tous les ports du ballon solaire ont été équipés de mamelons et de bouchons en acier. Les quatre ports (EFS, ECS, entrée solaire, sortie

solaire) sont équipés de raccords d'isolation galvanique ; si bien que la cuve en acier du ballon est complètement isolée de la tuyauterie en cuivre et laiton.



A la fin des travaux, les tuyaux ont été copieusement isolés. Le tuyau entre les 2 ballons véhiculant l'eau chauffé par le solaire a été doublement isolé par deux manchons superposés.

Des blocs de mousse dure prévus pour caler des colis ont été découpés au cutter. Ainsi même les vannes et les raccords sont isolés !

Sur-isolation des deux ballons d'ECS :

☞ La sur-isolation d'un ballon d'eau chaude diminue ses pertes de moitié⁵.

Economie sur un ballon de 300 litres : 60 € par an pour 15 °C de température moyenne dans une cave.

Voici ce que j'ai fait pour un prix de revient moins de 30 € :

- Enrobage à la laine de verre de 10 cm d'épaisseur, partie papier kraft à l'extérieur. (On peut utiliser de la fibre de bois ou du chanvre, c'est écolo et ça ne gratte pas !)
- L'enrobage dépasse de 15 à 20 cm le haut du ballon.
- Maintien de la laine de verre avec de la ficelle, environ 1 spire par 20 cm.
- 20 cm de laine de verre sur le dessus : **c'est là que les pertes sont élevées !**
- Enveloppage avec de la sous-couche de parquet maintenue par des sangles.
- Découpe sur les côtés pour le passage des tubes.
- Insertion d'une tranche de petite bouteille en plastique pour voir le thermomètre.



Haut du ballon :



Vue générale :



Raccords et sangle :



Le ballon du plancher chauffant :

SPS500 de SOLAR BAYER : www.solarbayer.de

- Cuve en acier sans anode, température maxi 95°C
- **Echangeur 3 m²**, contenance 14,1 l.
- Isolation 10 mm mousse, pertes 1.6 kWh/24h $\Delta T 45^{\circ}\text{C}$.
- Dimensionné pour 10 m² de capteurs à raison de 50 l/m²

Ce type de ballon est équipé d'un diffuseur

Le surdimensionnement de l'échangeur de ce ballon est prévu pour stocker d'avantage d'énergie à basse température pour le plancher chauffant.

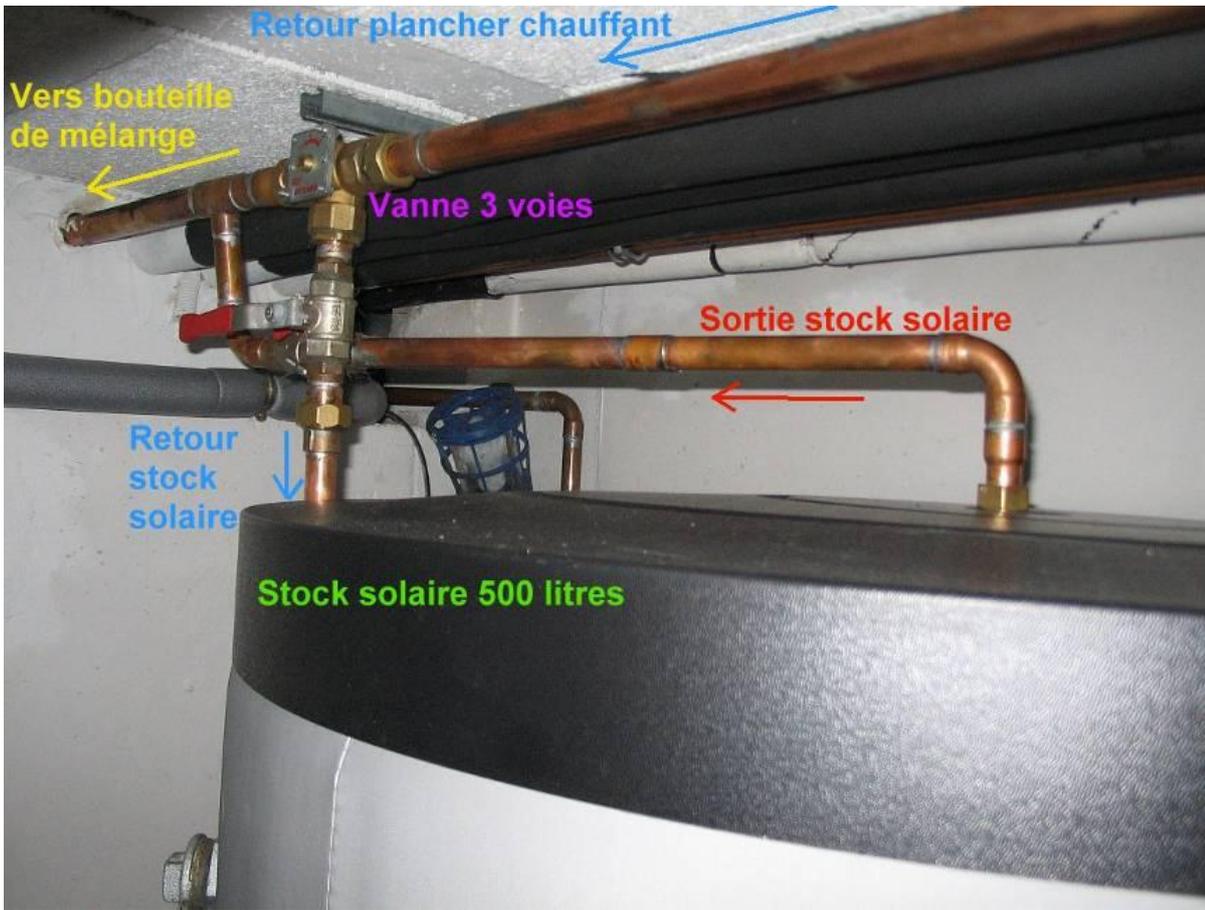
Ce ballon repose sur un socle de 5 cm de bois stratifié pour l'isoler thermiquement du sol. Un disque polystyrène dur de 4 cm d'épaisseur est placé sous le socle du ballon pour combler l'espace entre le bas de la cuve et le socle en bois. Cette contribution a été recommandée dans la notice du fabricant.

L'espace entre le haut du ballon et le couvercle en mousse est comblé par de la laine de verre.



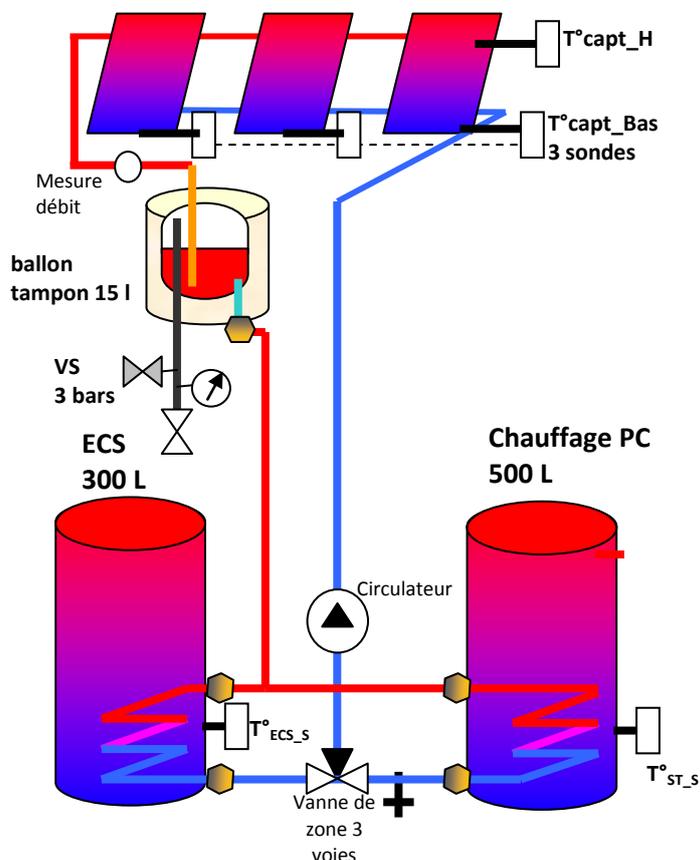
Le stock de 500 l est raccordé à proximité des conduites au plancher chauffant (50 m² de surface) :

- Pose d'une vanne 3 voies mélangeuse; par un jeu de raccords à collets. La vanne n'est pas prisonnière et peut être démontée si nécessaire.
- Pose de 2 vannes d'arrêt, la vanne de sortie est munie d'un purgeur pour évacuer l'air du stock lors du remplissage.
- Les tubes de sortie et de retour vers le stock sont en 22 mm de diamètre. La conduite de retour du plancher chauffant est en 28 mm d'origine.



La boucle solaire en auto-vidange :

Je trouve le concept du « Drain-back » en circuit fermé vraiment génial et avantageux. Mes remerciements vont à Guy Delsol avec qui nous avons révisé une fiche de synthèse⁶.



Le circuit est fermé avec une légère pression de 0,2 à 0,4 bar au repos. Une dépression peut provoquer un désamorçage du circuit dans la colonne descendante des capteurs à la réserve. En effet, celle-ci ainsi que le trajet vers les échangeurs sont en dépression par le circulateur.

Lors de la mise en service en automne, j'ai constaté que les variations de pression obéissent à la loi de base $PV = nRT$, mais à cela s'ajoute la vaporisation de l'eau à l'arrêt et la dilatation de l'eau. J'ai 12 litres de volume d'air pour absorber ces variations.

Lors d'un arrêt en plein soleil, la pression montre rapidement à 2 bars car l'eau restante dans les capteurs se vaporise. Puis la pression retombe en refroidissant quand les capteurs ne sont plus irradiés.

Un ballon d'ECS de 15 l type « sur évier » fut modifié pour y ajouter une canne d'arrivée par le haut. La canne est percée d'un trou de 3 mm recouvert d'un nez pour limiter les bruits d'écoulements dans le fond de la réserve.



La petite colonne d'eau dans le nez empêche l'air de rentrer. Un bout de tube laiton de 6 mm de diamètre coupé en deux, sur 15 mm de longueur est soudé sur le trou de 3 mm. Le haut est replié et bouché à l'étain. Le bas de ce nez est bien entendu juste au-dessus du niveau au repos.



Le port d'entrée d'eau froide d'origine est dirigé vers les échangeurs.

Pour éviter les pertes de refoulement du circulateur, à partir du ballon tampon et jusqu'au circulateur, il ne doit pas y avoir de rétrécissement de conduite (diamètre 18/16 mm), ni de coude (usage de courbes à la place de coudes)

Le port de sortie d'eau chaude sert de trop-plein vers une vanne et une soupape de sécurité à 3 bars. Un manomètre de chauffage (4 bars maxi) indique la pression de la boucle. Ce dernier est bien pratique pour détecter les fuites ou toute anomalie.

Le thermostat d'origine est conservé pour couper directement le circulateur si l'eau de ce circuit fait plus de 95 °C. Mais cette option ne fut pas encore câblée car l'automate maîtrise bien la surchauffe.

Après quelques essais cette réserve et la boucle solaire fonctionnent bien sans circulation de bulles d'air.

*☞ Il faut avouer que la quantité de cette réserve est un peu juste, **un ballon de 30 à 50 l plus haut que large aurait été préférable pour les 6 m² de capteurs.***

Un compteur d'eau chaude divisionnaire est placé à l'entrée de se ballon pour mesurer le débit et vérifier la circulation d'eau de cette boucle. Placé à cet endroit, sa résistance hydraulique ne gêne pas le fonctionnement.

Le débit en petite vitesse du circulateur est de 465 l/h ; supérieur au débit nominal prévu à 330 l/h (50 l/m² de capteur). **Ce débit sera ajusté par un diaphragme à la sortie du**

compteur d'eau. Ce diaphragme limite la dépression de la colonne d'eau des capteurs à la réserve.

En vitesse maximale, le débit est de 650 l/h à l'amorçage.

Dans la précipitation du projet, j'ai fait toute la boucle solaire en tube de cuivre de diamètre ext/int 18/16. Etant donné la hauteur entre la réserve et la sortie des capteurs, **il aurait été préférable de descendre en tube de diamètre inférieur (16/14)** sur ce trajet pour éviter toute bulle d'air par augmentation de la vitesse du fluide. Ceci aurait permis une petite économie sur le cuivre.

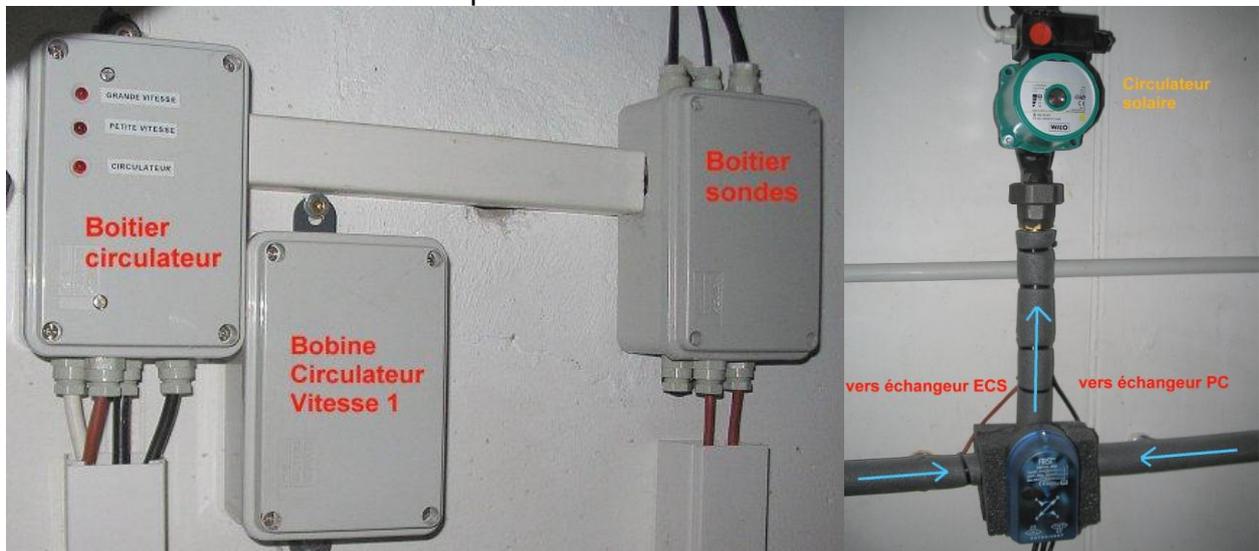
Des essais avec des manchons en « **tricoflex** » transparent à l'entrée et à la sortie de la réserve ont montré qu'il n'y a pas de bulle d'air à ces endroits.

Ces manchons ont été retirés car ils ne tiennent pas la haute température et peuvent s'écraser en cas de dépression dans le circuit.

Le circulateur solaire :

Le circulateur Wilo ST 25/7 a été modifié ⁷ pour sélectionner les vitesses par l'automate. Il est placé 30 cm au-dessus de la vanne de zone à de l'entrée des échangeurs. A proximité du circulateur, un boîtier de dérivation muni de signalisation à LED ⁸ donne l'état immédiat du fonctionnement du circulateur.

Boîtiers de raccordement électrique et vue du circulateur avec la vanne de zone



Compte tenu de la hauteur de 5,10 m à vaincre à l'amorçage, la vitesse maximale est nécessaire pendant environ 2 minutes. Puis la vitesse minimale est commutée pour toute la durée de la production. La vitesse intermédiaire n'est pas câblée.

A la vitesse minimum je n'ai pas de cavitation. Le débit de base est de 465 l/h, supérieur au débit de 330 l/h prévu pour les 3 capteurs.

Le circulateur Wilo 25/7 est donné pour :

- Hmax= 3,80 m et Qmax = 1,7 m³/h à la vitesse mini
- Hmax= 6,80 m et Qmax = 3,5 m³/h à la vitesse maxi

Pour dimensionner le circulateur, je suis parti des 5,10 m de hauteur à vaincre auxquelles j'ai ajouté les pertes hydrauliques de 1,8 m. Cette hypothèse est large pour permettre un amorçage rapide en vitesse maximale. A l'amorçage on a moins de pertes hydraulique car le fluide circule lentement. Dès que l'eau passe le point haut, la vitesse augmente car la colonne d'eau descendante fait contrepoids sur la colonne d'eau montante.

En pratique, le circuit ne s'amorce pas en petite vitesse, ni en vitesse moyenne.

L'ajustage du débit est calibré par deux éléments :

- un **diaphragme** de 6 mm (rondelle en laiton) placé en aval du compteur de débit (passage 465 à 400 l/h). Ce diaphragme limite la dépression de la descente du haut des capteurs.

- une **inductance en série** avec l'enroulement petite vitesse de la pompe⁹ (passage 400 à 330 l/h).

Cette dernière technique économise de l'énergie électrique et n'influe pas sur le débit à grande vitesse de la pompe pour le cas du diaphragme.

A vitesse maximale la pompe consomme 61 W

En petite vitesse sans l'inductance en série la consommation est des 35 W

Avec l'inductance d'ajustage pour le débit nominal, la consommation tombe à 28 W, soit **20 % d'économie d'énergie électrique** sur la petite vitesse.

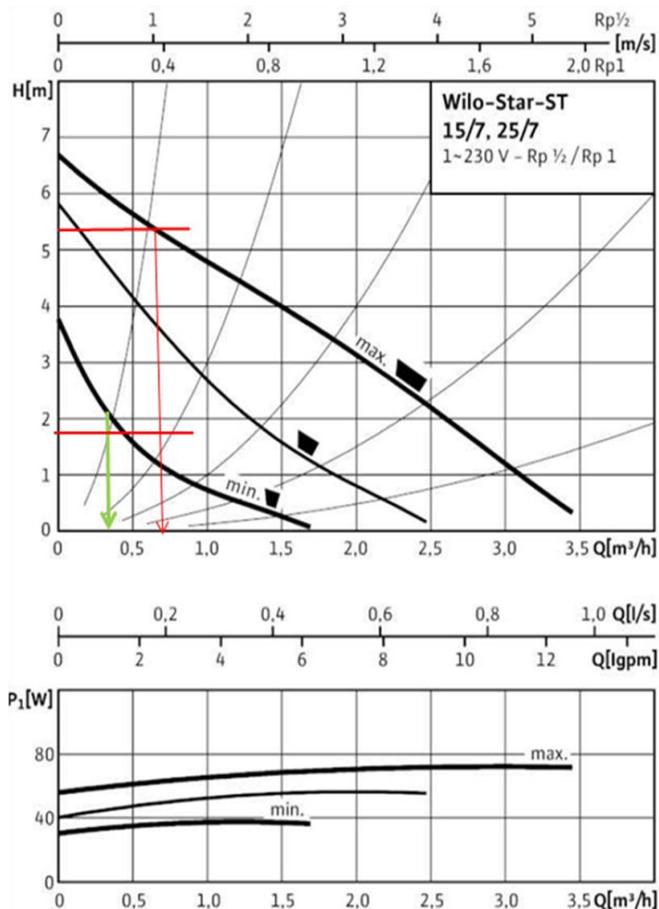
© *La production des 6 m² de capteur donne environ 3.000 W pour 30 W d'énergie électrique consommée. Ceci donne un coefficient de performance énergétique de 100 !*

La vanne de zone :

La vanne de zone type FIRST EMV110 ou RESOL VA32 commute le circuit solaire primaire sur le ballon d'ECS ou le ballon du plancher chauffant.

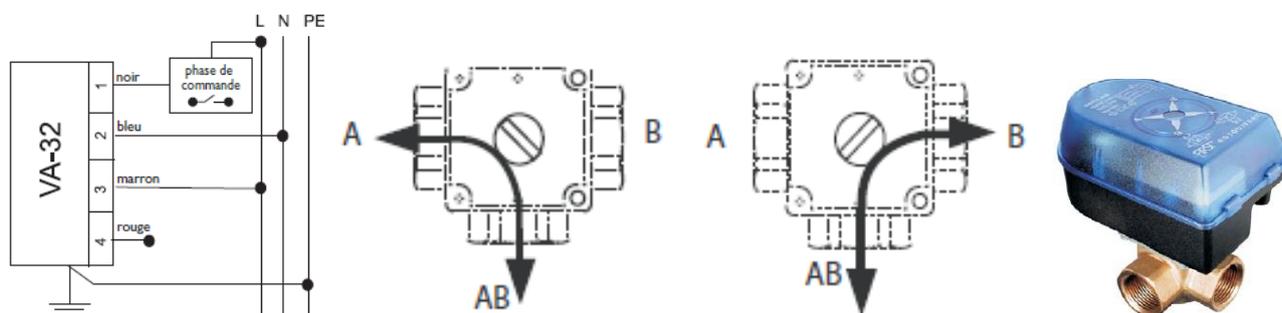
La partie hydraulique de cette vanne est une cloison rotative. Une rotation d'un quart de tour a lieu en 18 s. Le sens d'aiguillage est matérialisé par la fente du rotor et par le trait blanc sur l'avant du servomoteur.

Cette vanne doit être alimentée en permanence par une phase sur le fil marron. En commutant la phase sur le fil noir, celle-ci tourne d'un quart de tour, toujours dans le même



sens. Il faut maintenir cette phase pour être sur le ballon ECS. En relâchant ce signal, la vanne tourne d'un quart de tour et s'arrête en position initiale vers le ballon du plancher chauffant (repos).

Les phases d'alimentation et de commutation sont commutées par le relais de mise en marche du circulateur pour économiser du courant au repos de l'installation.



La mesure de débit dans la boucle primaire des capteurs :

Le débit de la boucle primaire doit être mesurable pour ajuster ce dernier à l'optimum. Comme l'installation ne comprend pas de groupe centralisé (ensemble circulateur, manomètre, et mesure de débit à flotteur), j'ai recherché un compteur d'eau divisionnaire que j'ai modifié pour en extraire les impulsions pour l'automate. A la base, la mesure de débit est accessible avec un chronomètre en comptant le nombre de tours de l'aiguille (1 tour par litre).

Pour l'automate, une fourche optique exploite la petite roue crantée qui est couplée directement à la roue à aube interne. On obtient ainsi 252 impulsions par litre ; **252 imp / l / h** soit **0,07 imp / l / s** en divisant par 3600. Pour une période de comptage bien définie de 14,286 s cela donne un nombre d'impulsion direct en litre par heure.



Dans mon application, pour actualiser l'affichage plus fréquemment, le temps d'intervalle est divisé par 2 soit 7,143 s, puis le résultat est multiplié par 2 à l'affichage.

La modification de ce compteur est décrite dans une fiche disponible sur le site de l'APPER.¹⁰

Le câblage électrique :

L'automate est monté dans un petit tableau électrique de 13 modules à côté de la chaudière. Installé en sous circuit de l'alimentation de la chaudière, un disjoncteur de 2 A protège l'installation (automate, circulateur, vannes). L'ensemble est protégé par le disjoncteur différentiel de 30 mA du circuit lumières de la maison.

La prise de courant 10 A sert à alimenter un PC ou tout accessoire. Un programmateur horaire en bout de tableau sert à activer le circulateur du PC en intersaison pour chauffer uniquement le bas de la maison quand la chaudière est en mode été.

La prise RS232 de l'automate est accessible sur le côté droit du tableau.

Pour réduire les effets destructifs liés aux orages, les câbles des sondes du champ solaire suivent les tuyaux pour éviter des surfaces de boucles entre tuyaux et câbles. Les câbles de ces mêmes sondes sont en coaxial TV avec des fiches F.

L'installation est câblée en 1,5 mm² étant donné la faible intensité consommée.

Un faisceau blindé regroupe les signaux des sondes des ballons et du plancher chauffant qui sont placées au niveau inférieur.



faisceau sondes	8				6				5				4				1			
bornier	38	37	36	35	34	33	32	31	16	15	30	29	28	27	26	25	13	12		
	G3	S3	G1	S1	G2	S2	G4	S4	G7	S7	G5	S5	G6	S6	G0	S0	LEV	+9		
	Masse	Th extérieur	Masse	Th échangeur stock PC	Masse	Th stock PC haut	Masse	Th régulation PC	Masse	Th échangeur stock ECS	Masse	Th capteur bas	Masse	Th Retour PC	Masse	Th CAPTEURS haut	Entrée débitmètre	Sortie +9 V 5 0mA		
	L secteur 230V	N secteur 230V	N Circulateur	L Circulateur	Vitesse commun	Vitesse lente		Vitesse rapide	Vanne ouverture +	Vanne fermeture -	L(circ) vanne repos	L(circ) vanne stock ECS	L info circulateur PC	N info circulateur PC						
bornier	1	3	4	6	7	9		10	11	2	5	8	20	39	21	22	23	24		
faisceau solaire			4	6	5	2		1					3							
faisceau PC			4						3	6										

L'automate et la régulation :

La régulation « Minisun »¹¹

Pour la mise au point et les débuts de l'installation j'ai utilisé la régulation "Minisun" de Patrick que j'ai modifié pour des sondes LM335 :

- une sonde LM335 au tiers du bas de l'échangeur du ballon d'ECS
- une sonde PT1000 dans le capteur avec mon convertisseur PT1000 vers LM335¹²

J'ai ajouté une temporisation (NE555) de 2 minutes pour le démarrage à la vitesse maxi du calculateur.

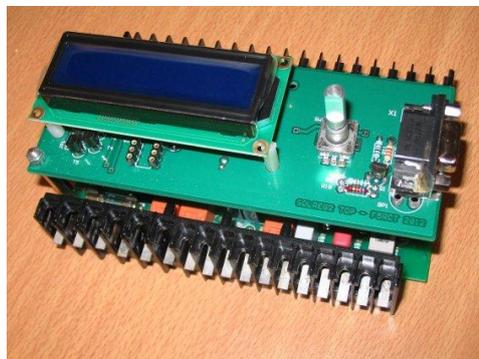
Cette régulation simplifiée avait été responsable de la cause de gel à l'amorçage des capteurs. Mon erreur fut de l'utiliser pour de l'auto-vidange. Le différentiel d'enclenchement fut réglé au maximum à 10 K. D'autre part, cette régulation ne possède pas de limitation en température maximale du ballon !

La régulation à microprocesseur PIC16F

Ayant des compétences en électronique et en microprocesseur, j'ai réalisé ma propre commande intégrée en module pour rail DIN.

Cette régulation supervise la production et la consommation vers le plancher chauffant. Elle inhibe la chaudière si l'apport solaire en chauffage est suffisant.

De conception modulaire, cette régulation compacte dispose de 8 entrées de sonde type LM335 et d'une entrée pour la mesure de débit intégrée. Les relais de commande du circulateur et des vannes sont intégrés. Des entrées de détection 230 V par optocoupleurs servent à déterminer l'état de la chaudière.



Ci-contre, préparation d'une sonde LM235 dans de la gaine thermo-rétractable. La sonde LM235 est plus précise et calibrée par rapport à LM335.

Sonde extérieure en façade Nord-Est :

Ajout d'une sonde LM235 dans le boîtier de la CTN de la régulation du chauffage. Câblage avec 2 paires de fil téléphonique en parallèle.

Le tout **consomme 2 W sous 230 V au repos** tout en envoyant périodiquement des trames de mesure sur un port RS232 toutes les 12 secondes (5 trames par minute).

Une ergonomie simplifiée avec une molette et un poussoir permettent de visualiser indépendamment l'état de l'automatisme et chaque grandeur de température.

Des modes de dérogation autorisent les actionnements du circulateur et de la vanne de façon temporaire ou permanente pour la mise au point et la maintenance tant que l'état de gel ou de surchauffe des capteurs n'est pas détecté.

Cette régulation gère la production solaire suivant le mode intersaison ou été, décidé automatiquement par l'état de fonctionnement du circulateur du PC.

La consommation du stock pour le plancher chauffant est gérée automatiquement dès que l'énergie est présente en quantité suffisante. La régulation de température vers le plancher chauffant est du type PID simplifiée et pilote directement une vanne trois voies.

Le logiciel est bâti de façon évolutive sur une base de servitude utilisant des variables d'état :

- Echantillonnages périodique des sondes.
- Mémorisation en EEPROM des réglages.
- Calcul de la courbe de chauffe en virgule fixe
- Envoi de trames RS232 au format CSV en 4800-8-N-1 : températures des sondes, valeur de la courbe de chauffe calculée, état des entrées / sorties relais, et variables d'état internes.
- Timers de base : 4 ms , seconde, minute, heure pour des temporisation indépendantes
- Ne possède pas d'horloge temps réel, ni d'affichage de l'heure.

Pour ne pas alourdir ce rapport, les détails électronique de cette régulation seront regroupés dans un document à part.

La stratégie de commande :

Le rendement de la production solaire est d'autant meilleur que si l'installation travaille à basse température.



Autrement dit, la production solaire doit se faire sur le ballon le plus bas en température en hiver. Peu importe si l'apport solaire sur l'ECS qui sera préchauffée ou le PC qui se satisfait de 22°C minimum.

Les modes de production et de consommation sont déterminés par l'information du circulateur du plancher chauffant :

- En été, ce circulateur est à l'arrêt 24h/24. Il n'est activé que 30 secondes pour dégommer le rotor.
- En intersaison, la chaudière et le PC se coupent la nuit par le programmeur (en mode ☀[☀/☀]) ou si la température extérieure est supérieure à 15 °C
- En hiver, ce circulateur est activé en permanence. Le programmeur est en mode ☀[☀/☀]

Un filtrage logiciel extrait l'état en supprimant l'information des cycles de dégivrage avec un retard d'une minute.

Pour le moment, si aucune demande de chauffage a lieu dans les 24h, le mode été est décrété par l'automate.

En été, le comportement est des plus classiques :

Production solaire sur l'ECS uniquement, pas de production ni de consommation pour le plancher chauffant.

- Amorçage des capteurs par un différentiel d'enclenchement (delta_on)
- Arrêt pour un différentiel inférieur (delta_off) ou si le bas du stock est supérieur à un maximum que l'on peut ajuster ; par exemple $T_{max_ECS} = 60\text{ °C}$
- Si les capteurs sont à sec au-delà de 105 °C , il n'est pas possible de réenclencher, l'état de surchauffe est déclaré. Cet état est maintenu tant que la température ne descend pas sous 95 °C .

En pratique, la température maximale de 60 °C pour l'ECS convient pour un bon compromis entre le confort et le rendement de production qui se dégrade à haute température. Finalement, cela n'apporte rien d'avoir de l'eau à plus de 60 °C tout l'été !

En hiver et en intersaison l'ensoleillement est faible, si bien qu'il faut favoriser la production de chaleur à basse température.

Le stock du plancher chauffant n'est exploitable que si sa température est supérieure à la consigne (par exemple 26 °C pour 5 °C à l'extérieur déterminé par la courbe de chauffe).

Chaque degré d'élévation du stock du PC représente 580 Wh . Les pertes de refroidissement de ce stock sont relativement faibles si sa température est inférieure à 45 °C .

Sur l'ECS, tout apport solaire est exploitable puisque la chaudière fera le complément. La température initiale est celle de l'eau froide en hiver, 10 °C environ.

La stratégie adoptée est de produire sur le stock le plus bas en température :

La production va démarrer sur le stock le plus bas et une décision sera prise toutes les 15 minutes. On aura par exemple les cas suivants pour de faibles ensoleillements :

- Après plusieurs jours sans soleil : démarrage sur l'ECS de 10 à 16 °C , puis basculement alterné entre ECS et PC jusqu'à atteindre 26 °C en fin de journée.
En fin de production, l'énergie produite sur le ballon d'ECS sera complétée par la chaudière.
De plus, on aura gagné environ $+4\text{ K}$ sur le ballon de stockage du PC ; (soit environ $2,3\text{ kWh}$) pour réchauffer le retour PC.
- Le jour suivant, les échangeurs seront à 22 °C pour le PC et 10 °C pour l'ECS. La production va se relancer sur l'ECS en premier.

Le chauffage du PC par le solaire est déclenché dès que la température du haut du stock est supérieure à 2 K au-dessus de la consigne et que le circulateur du PC est activé. Pendant cette phase un relais commute une résistance en parallèle sur la sonde de départ de la chaudière, forçant ainsi sa mise en veille par décalage de cette sonde de départ. Cette stratégie inhibe le chauffage dans la journée et tant que le stock solaire est présent.

L'arrêt de la consommation intervient si la différence de température du haut du stock avec le retour du PC est inférieure à 1 K , ou si le calculateur du PC s'arrête (relève ECS par la chaudière, ou $\text{Text} > 15\text{ °C}$, ou mode \ast). Ainsi, toute l'énergie est prélevée même si la consigne de régulation n'est pas atteinte.

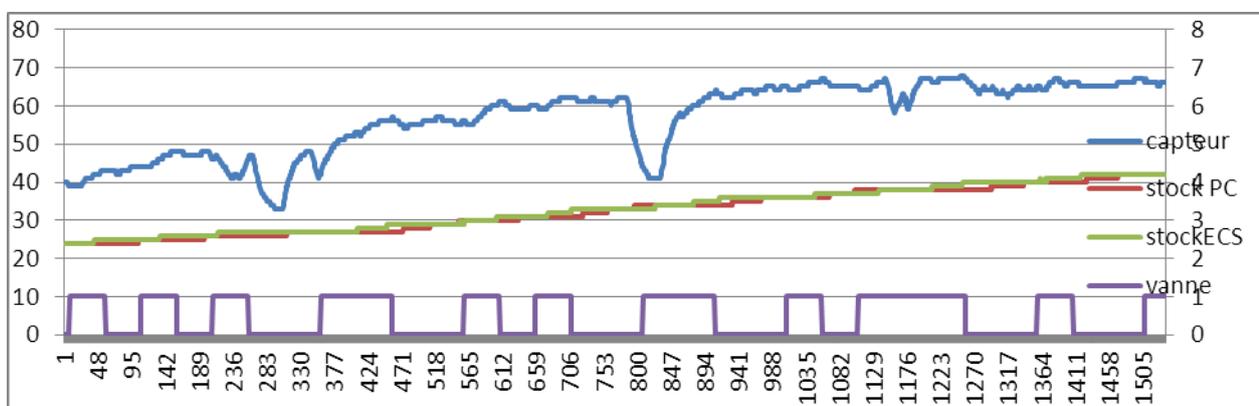
La régulation de la vanne trois voies est extrêmement simple et stable, en voici l'algorithme :

- Calcul d'une loi d'eau pour avoir une consigne qui dépend de la température extérieure $T_{ext} \times (\text{coef de pente}) + \text{décalage}$
- Un bloc comparateur fait la différence entre la consigne et la sonde de départ en tenant compte du signe.
- Transformer ces différences en durée de tempo de 2 à 4 s/° d'écart qui vont piloter la vanne 3 voies dans un sens ou d'un l'autre en fonction du signe. Si l'écart est nul il ne se passe rien.
- Tous les x temps, environ 30s à 1 minute répéter ce processus. Si le système est instable augmenter la durée.

La sortie RS232 délivre un état de l'automate toutes les 12 secondes sous forme de texte au format CSV. Un traitement très simple sous Excel permet d'afficher des courbes pour la mise au point et le suivi de l'installation.

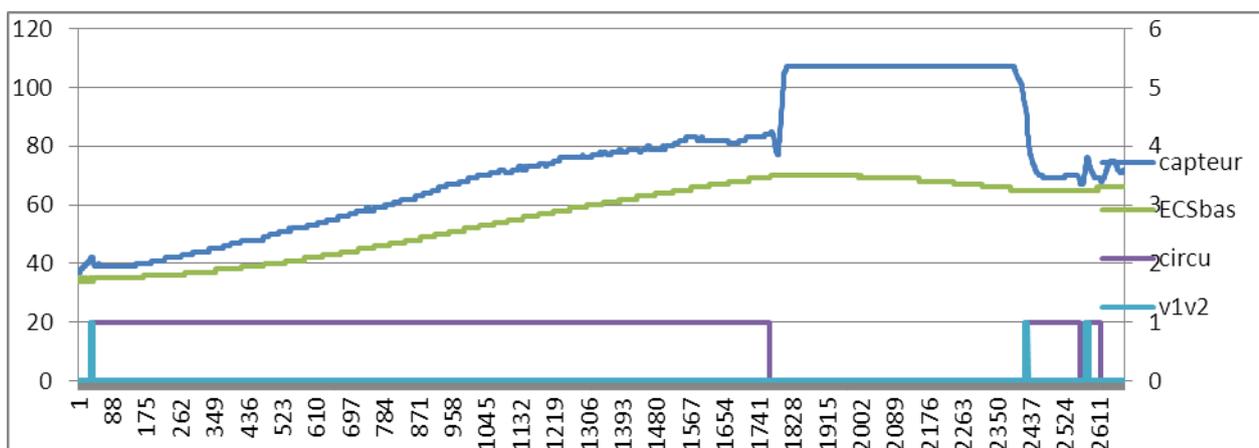
Le tableau ci-dessous donne la correspondance des données avec leurs libellés.

Débit L/h	consign PC	échg ECS	retour PC	Captr bas	Regul. PC	T° ext	Stock PC	Echgr PC	Capt haut	Prio PC	Circu	V1/2	ECS /PC	surch	PC on Flag
334	24	25	16	8	16	13	15	14	33	0	1	1	1	0	0



Le graphique précédent a été pris en cours de production au printemps.

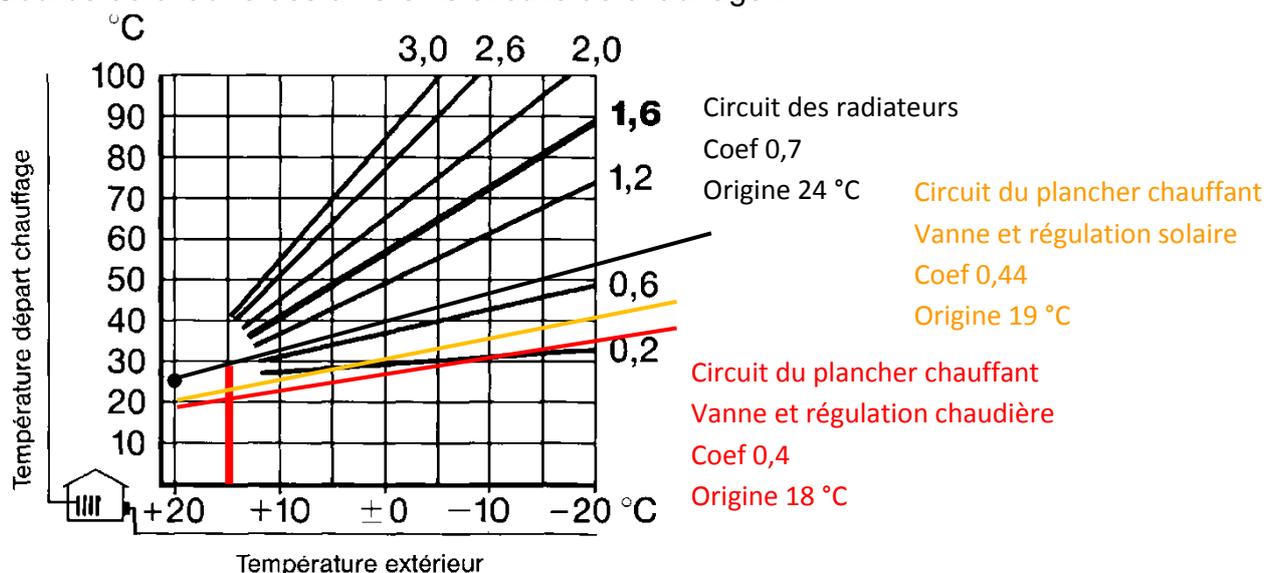
La production est alternée entre les ballons ECS et PC. Dans ce mode, on privilégie la production à basse température ce qui empêche aussi l'arrêt de l'installation à faible ensoleillement.



En été, la production ne se fait que pour l'ECS pour cet exemple. La production a été stoppée à la température maximale de 65 °C. Puis les capteurs montent en température au-delà de 105° et le redémarrage est interdit tant qu'ils ne descendent pas sous 95 °C.

En fin de journée l'installation se remet en production tant que la consigne maximale n'est pas atteinte.

Courbe de chauffe des différents circuits de chauffage :



Le chauffage est coupé automatiquement si la température extérieure est supérieure à 15°C (trait vertical rouge). Le thermostat de la chaudière est au maximum à 85 °C pour assurer la prise en main par la régulation.

En conclusion :

Le solaire ça marche ! La chaudière est coupée pendant tout l'été 2013. J'avais fait le bon choix en construisant ma maison avec un plancher chauffant à basse température¹³. Cela m'a permis de le raccorder à la production d'énergie solaire.

Sur la saison hivernale 2013-2014 assez douce et ensoleillée cette installation m'a économisé 33 % d'énergie gaz par rapport à l'hiver précédent. Soit un gain financier d'environ 390 € sur la facture de gaz annuelle par rapport à la saison précédente (abonnement compris).

Un tel projet fut un réel plaisir à construire soi-même. Quelle satisfaction de récolter un apport gratuit de chaleur ! Les difficultés de l'auto-vidange ont été maîtrisées et m'ont beaucoup appris en hydraulique.

Le système solaire est totalement indépendant de la chaudière à gaz. En cas de remplacement de celle-ci par un modèle à condensation je crains d'avantage qu'il faille remplacer aussi la régulation double (chaudière et PC) qui actuellement me donne entière satisfaction.

Un grand merci à l'APPER et ses membres présents sur le forum pour leurs précieux conseils. Mes remerciements vont aussi à mon collègue Stéphane avec qui nous échangeons au quotidien.

Je suis à présent disponible pour prodiguer des conseils et inciter mon entourage à faire le pas pour une installation en auto-construction¹⁴.

Le logiciel de l'automate continue d'évoluer vers des fonctions de gestion autonome :

- l'intégration de la température extérieure moyenne pour déterminer le besoin de chauffage et de production solaire sur le stock du PC.
- commande du circulateur du PC par cette régulation pour ne pas enclencher la chaudière en intersaison.

Jean-Matthieu STRICKER
Ingénieur INSA Génie Electrique

Annexe 1 : La mise au point de l'auto-vidange et les règles de base

- Ne pas descendre trop bas avec le tube d'arrivée dans le ballon tampon. Ceci évite que les bulles soient aspirées par la sortie. L'idéal étant de se placer 2 cm environ sous le niveau en fonctionnement et de choisir un ballon étroit en diamètre et haut pour avoir de la profondeur.
- Le stock tampon doit pouvoir contenir trois fois la capacité des capteurs. Un tampon trop juste n'aura pas assez d'eau dans le fond en fonctionnement et les bulles de l'arrivée vont être aspirées. Le volume d'air compense la surpression lors de la vidange à chaud.
- Limiter toute résistance au débit entre le bas du ballon tampon et l'entrée du circulateur. La charge de la conduite d'aspiration limite la hauteur manométrique de refoulement. Ne pas mettre de vanne de réglage, ni coude brusque, ni réducteurs, éviter les raccords 1/2" (ou 15x21). Préférez des raccords en 3/4" (ou 20x27) et un diamètre interne de 16 mm minimum (tube de 18/16 mm). Utilisez une vanne de zone en 3/4" (ou plus) pour commuter entre deux serpentins. Tenir compte des pertes de charge du serpentins.
- Placer le circulateur au plus bas à la sortie froide du serpentins.
- Placer le ballon tampon au plus haut par rapport au ballon de stockage, l'idéal étant 1 m en dessous des capteurs. La hauteur manométrique à vaincre sera celle entre le niveau bas du ballon tampon et le sommet des capteurs. Ceci a son importance pour dimensionner le circulateur qui doit être défini à sa juste valeur.
- Dimensionner le circulateur pour vaincre la hauteur manométrique en vitesse maxi avec 20 à 25 % de réserve. $H_{ce}(\text{circulateur}) = 1,2 \times H_{ce}(\text{capteur-tampon})$
En petite vitesse le débit nominal doit être atteint par les pertes de charge et la hauteur manométrique du circulateur.
- Placer de préférence un indicateur de débit sur le trajet en entrée de la réserve tampon, jamais sur la voie d'aspiration du circulateur pour ne pas limiter sa hauteur de refoulement.
- Le diamètre interne de la conduite qui va du haut des capteurs vers le ballon tampon, doit être choisi en fonction du débit minimum par rapport à la vitesse des bulles d'air. Ce diamètre ne doit pas provoquer un désamorçage en débit minimum.
Avec un diamètre trop grand et une vitesse trop faible on risque que l'air du stock tampon remonte et désamorce l'effet de siphon vers ce dernier.

Section maxi < Débit mini / vitesse bulle d'air à 40 cm/s

$$D = 100 \sqrt{4 S / \pi} \text{ avec } S \text{ en } dm^2 \text{ et } D \text{ en } mm$$

De préférence choisir un diamètre inférieur au reste de la boucle.
Par exemple 16/14 par rapport à 18/16 pour le reste de l'installation.

- Attention au gel à l'amorçage. Par une matinée ensoleillée et une nuit très froide, l'eau se refroidit dans le bas des capteurs à l'amorçage. La conduite du bas des capteurs doit être protégée du gel et placée autant que possible à l'intérieur de l'habitation.
Un dispositif de sécurité contre le gel à l'amorçage doit être prévu pour empêcher l'installation de démarrer. Prévoir une sonde dans chaque capteur au cas où l'un d'eux reste recouvert de neige ou de givre.

Annexe 2 : Le risque de gel à l'amorçage des capteurs

Malgré toutes les précautions en inclinant mon champ de 3 capteurs avec 2 à 3 % de pente, ainsi que toute la tuyauterie extérieure, le premier capteur a gelé à l'amorçage. C'est la régulation différentielle de base qui n'a pas de sécurité en température basse qui fut la cause de ce problème !

En Alsace, suite à un retour du soleil précédant une semaine de temps couvert avec de basses températures autour de -6 à -2 °C la nuit, mon installation s'est trouvée bouchée par la glace ! Sans vraiment comprendre au départ et imputant cela à des problèmes de tempo d'amorçage, cela a tenu le coup, puis un capteur a givré et percé en février 2013 !

Au démarrage, les capteurs étaient couverts de givre sur toute la surface externe. Puis le soleil les a dégivré par le haut ce qui a enclenché la mise en marche. Le collecteur du bas et la conduite d'arrivée étaient toujours à -4°C par une nuit très froide. Après un simple calcul comparatif entre les conductivités thermique du cuivre et de l'eau, je compris ce qu'il se passait.

A l'amorçage l'eau se refroidit et gèle au contact du cuivre dans le bas des capteurs !

Suite à ce phénomène de bouchon et à des alternances rapides d'ensoleillement, les capteurs n'ont pas amorcé avec la vitesse mini du circulateur car la temporisation d'amorçage était écoulee.

Il s'en est suivi une ébullition avec une forte montée en pression.

Heureusement, un « Tricolfex » a lâché. Depuis, j'ai installé une soupape de sécurité à 3 bars.

Photo de la réparation : âmes sensibles, s'abstenir !



Explications :

Par grand froid avec -5 à -6 °C la nuit, la surface d'absorption des capteurs était complètement recouverte de givre et la conduite d'arrivée était également givrée malgré l'isolation.

A l'amorçage par temps de gel, l'eau se refroidit et gèle immédiatement le collecteur du bas et dans les tubes capillaires. En effet l'eau qui monte est entre 10 et 12 °C : le stock tampon et le ballon de 300 l sont froids.

Cette eau se refroidit dans les 3 m de tube extérieur qui est à -5°C. L'isolation en Armaflex n'apporte rien et bien au contraire maintient la température du tube de cuivre qui a été refroidit pendant toute la nuit. L'eau se refroidit très vite au contact du tube, et plus vite que l'on ne peut penser !

La conductibilité du cuivre du tube d'arrivée, du collecteur et des capillaires est 600 fois meilleure que l'eau. Ceci compense largement le rapport de chaleur massique du cuivre qui est 10 fois inférieur à l'eau.

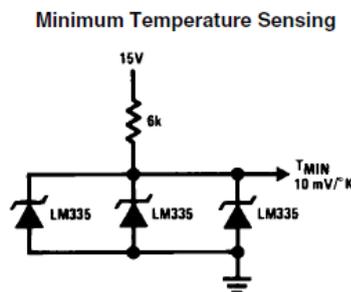
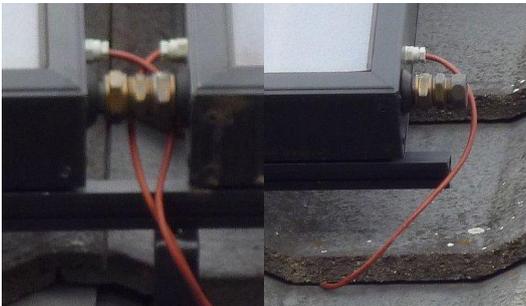
D'autant plus que si on calcule le rapport de surface entre l'eau dans 6 mm de diamètre et le cuivre (pour 1 mm d'épaisseur du tube de 8 mm de diamètre et des ailettes de 100 mm) : on arrive au même rapport approximatif de 30 / 30 mm² / mm² environ !

Donc le cuivre gagne sur l'eau ! ...et plus l'eau monte, plus elle se refroidit !

Pour pallier à cet inconvénient, l'état de givre est détecté par un jeu de trois sondes en parallèle qui donnent la température minimale des trois.

Seules les sondes LM335 permettent ce montage pour déterminer la température de la plus basse des trois.

Le bas des caissons des capteurs fut percé pour introduire les sondes. Des presse-étoupes ont été collés au mastic silicone.



L'automate n'autorise pas le démarrage du circulateur si cette température est inférieure à 1°C.

Remerciements aux membres de l'APPER Zebra et Patrick07 qui ont été de bons conseils sur ce sujet de gel à l'amorçage.

Annexe 3 : Condensation dans les capteurs :

La condensation dans les capteurs provient des changements de température et n'est pas un défaut des capteurs. Elle intervient suite à un temps pluvieux ou un refroidissement rapide qui précède le premier retour du soleil.

Par les aérations en haut et en bas des capteurs, l'air entre quand le capteur se refroidit en fin de journée. Cet air chargé d'humidité condense sur la vitre froide au matin.

Cette condensation se dissipe lors de la première heure d'ensoleillement.

Il ne faut surtout pas boucher les ouïes d'aération.

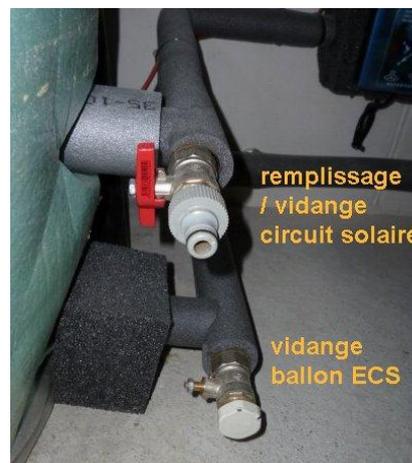
Annexe 4 : Instructions pour la mise en eau :

De l'air se piège dans les échangeurs qui ont une boucle anti-thermosiphon. La procédure suivante permet de dégager tout l'air dans le bas du circuit.

La **mise en eau de la boucle primaire** des capteurs solaires se fait par une vanne en bas de l'échangeur du ballon d'ECS.

Eviter de faire cette opération pendant la phase d'ensoleillement ou par température négative.

- Démontez le servomoteur de la vanne d'échangeur et la positionner à mi-parcours (fente vers la sortie commune).
- Raccordez le tuyau d'arrosage par un raccord *Gardena* et ouvrez la vanne.
- Ouvrez la vanne de trop-plein de la réserve tampon.
- Remplissez jusqu'à débordement par cette dernière vanne, puis fermez la vanne de remplissage.
- Fermez la vanne de trop-plein et activez la pompe par le forçage en vitesse 2 (maxi).
- Laissez circuler pendant 2 min, puis coupez pendant 2 min.
- Recommencez un 2^e cycle de circulation jusqu'à ne plus entendre de cavitation de la pompe par les bulles.
- Ouvrez la vanne de remplissage 2 à 3 secondes pour faire un complément, puis déconnectez le tuyau d'arrosage.
- Ouvrez la vanne de trop-plein lentement pour écouler l'excès d'eau.
- Injectez de l'air par la vanne de trop-plein à 0,4 bar.
- Remontez le servomoteur en positionnant la vanne du bon côté.



Pour faire un appoint, il n'est pas nécessaire de faire une dépose du servomoteur de la vanne.

Mettez en pression la boucle primaire en gonflant au compresseur à 0,4 bar par la vanne de trop plein.

Il vaut mieux que la boucle soit en surpression pour éviter une ébullition dans le circuit d'aspiration de la pompe ou le désamorçage.

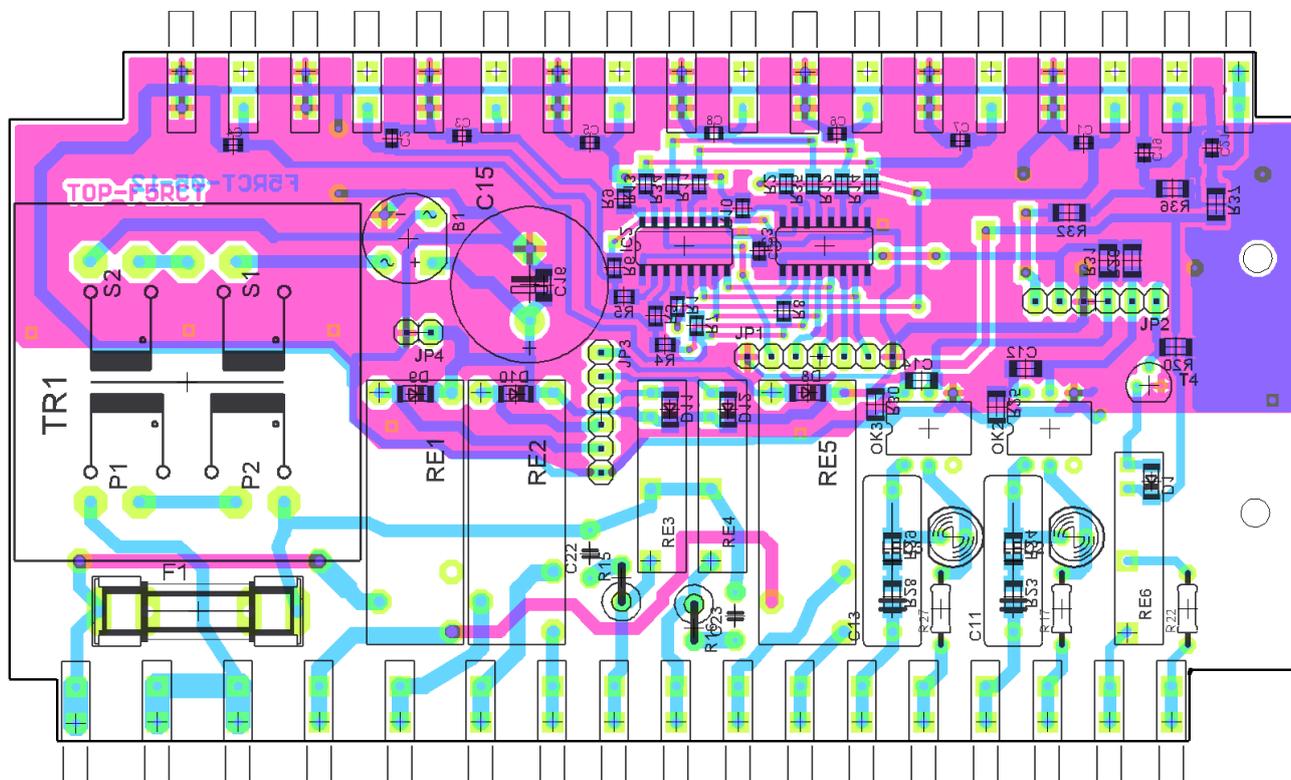
Nota :

Il est normal que la pression indiquée par le manomètre baisse lorsque la boucle est en circulation car cette conduite est en dépression par la pompe.

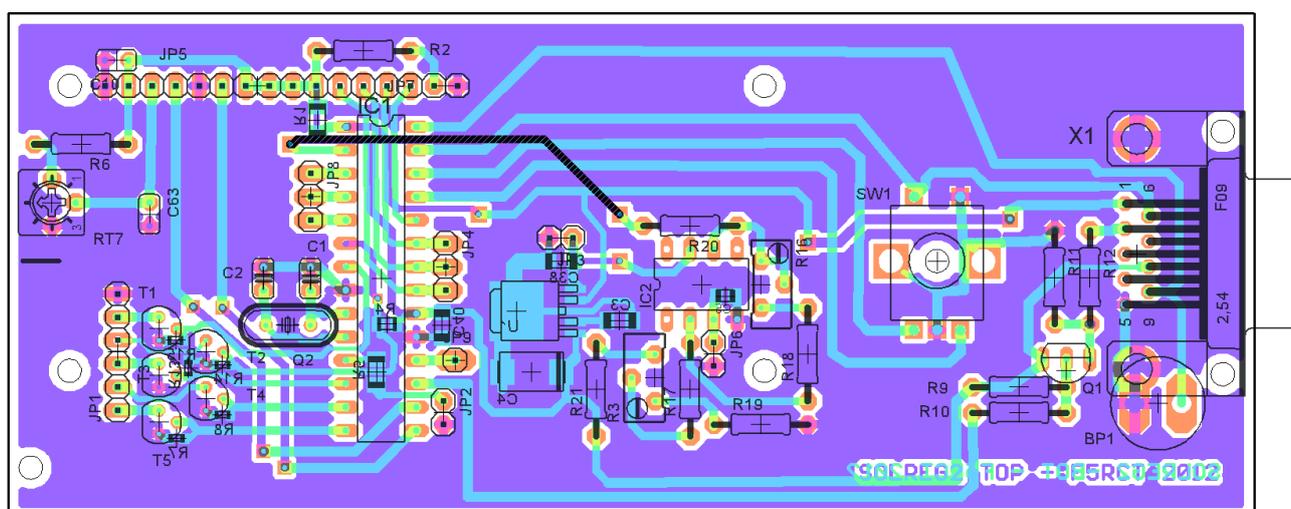
A l'arrêt de la pompe en fin de production, la pression monte à plus de 2,2 bars par vaporisation de l'eau restante. Cette surpression diminue lors du refroidissement des capteurs en fin de journée.

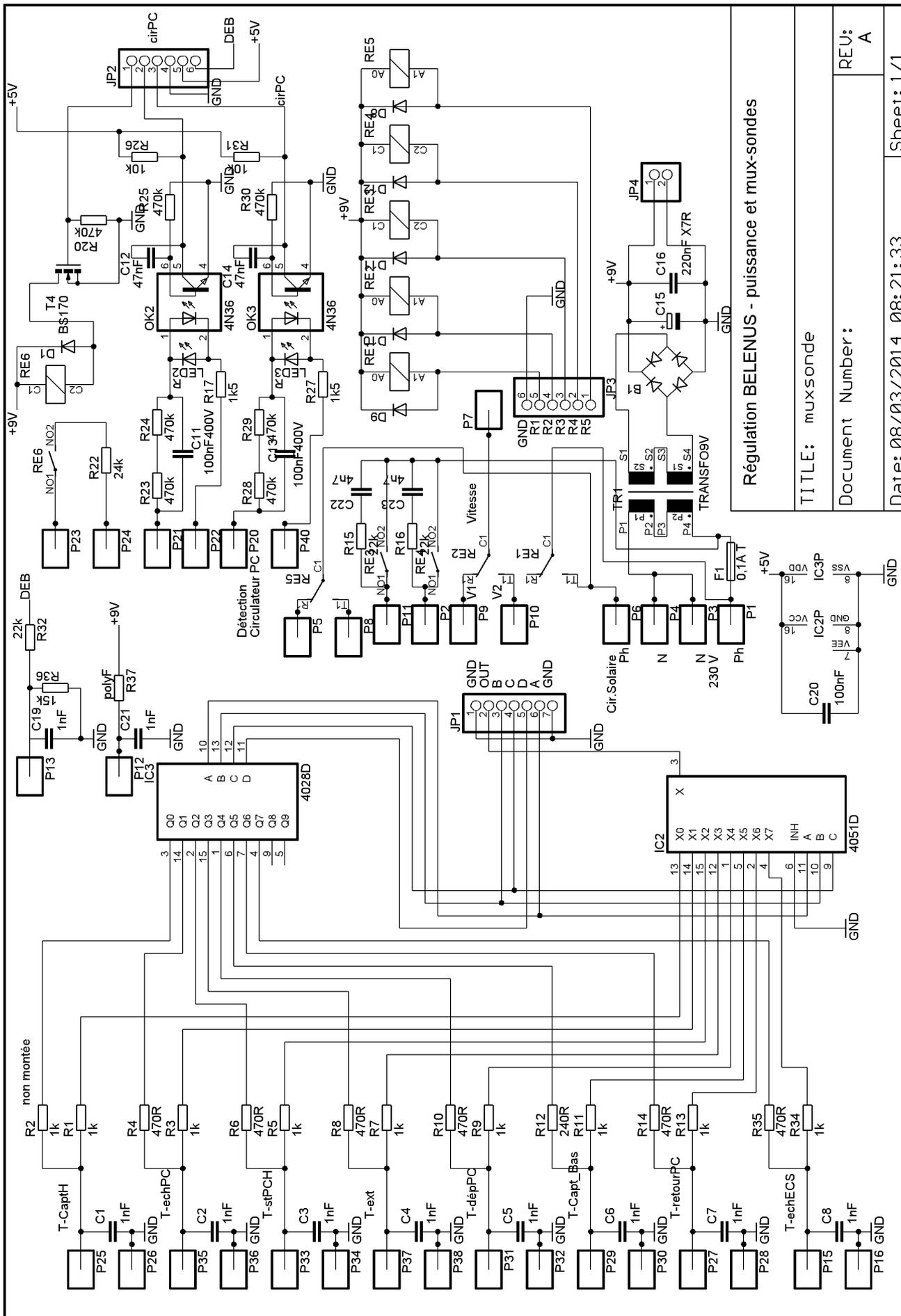
Annexe 5 : Schémas de la régulation

Carte de puissance et multiplexage des sondes :



Carte processeur et affichage :





Liens en rapport avec le projet :

Le site de l'APPER :

<http://www.apper-solaire.org/>

Solaire diffusion :

www.solaire-diffusion.eu

Circulateur :

<http://www.umwaelzpumpe.com>

Ballon Solarbayer :

<http://www.pufferspeicher.eu>

NORME EN12975-2

http://enr.cstb.fr/file/rub12_doc106_12.pdf

Projet solaire ECS et chauffage :

<http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm>

<http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/plan.htm>

Les joints en plomberie, les joints bleus sont étanches au gaz et à l'air :

<http://www.coditherm.com/joint/joint-fibre/79-joint-fibre.html>

<http://www.blog.plombiers-reunis.com/index.php?article199/le-point-sur-les-differentes-sortes-de-joints-utilises-en-plomberie>

Energie+ : un site à lire de fond en comble, très instructif sur le chauffage :

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=1000>

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10898>

La discussion de mon projet sur le forum de l'APPER :

<http://forum.apper-solaire.org/viewtopic.php?t=6835&start=0>

Un bon site météo : entrer le nom de votre ville et sauvegarder le lien

<http://weatherspark.com/#!/dashboard;q=Strasbourg%252C%20France>

Antitarte magnétique :

<http://www.apper-solaire.org/?Theorie>

Renvois du rapport sur les fiches de l'auteur et liens utiles :

¹ Argus de l'énergie :

http://www.ajena.org/page.php?page_id=82#balise_174

² Hélio France :

<http://www.solaire-panneau-thermique.com/>

³ Calcul du diagramme d'ensoleillement :

http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php

http://ines.solaire.free.fr/gisesol_1.php

⁴ Préconisations d'installation ballon ECS face à la corrosion galvanique

<http://www.apper->

[solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Preconisations%20d%20installation%20ballon%20ECS%20face%20a%20la%20corrosion%20galvanique/index.pdf](http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Preconisations%20d%20installation%20ballon%20ECS%20face%20a%20la%20corrosion%20galvanique/index.pdf)

⁵ Sur-isoler son ballon :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/De%20l%20interet%20de%20sur%20isoler%20son%20ballon/index.pdf>
<http://www.apper-solaire.org/Pages/Experiences/Brungard%20Yves%2057/Sur%20isoler%20un%20ballon/index.html>

⁶ Drainback en circuit ferme par Guy Delsol :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Drain%20back%20ou%20auto%20vidange/Drainback%20en%20circuit%20ferme%20par%20Guy%20DELSOL/index.pdf>

⁷ Modification de la vitesse d'un circulateur Wilo :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Circulateurs/Modification%20pompe%20WILO%20pour%20changement%20de%20vitesse%20par%20J%20M%20Stricker/index.pdf>

⁸ Voyant à LED en 230 V :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Electronique/Electro/Voyants%20230V%20a%20LED/index.pdf>

⁹ Réduction de vitesse simplifiée d'un moteur asynchrone par ajout d'une inductance en série

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Divers/Reduction%20de%20vitesse%20simplifiee%20d%20un%20moteur%20asynchrone/index.pdf>

¹⁰ Sortie impulsionnelle optique sur un compteur d'eau:

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Electronique/Electro/Sortie%20impulsionnelle%20optique%20sur%20un%20compteur%20d%20eau/index.pdf>

¹¹ Régulation différentielle :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Electronique/Electro/minisun/index.htm>

¹² Convertisseur PT1000 vers LM335 :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Electronique/Electro/pt1000tolm335/index.pdf>

¹³ Description d'un plancher chauffant :

<http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Planchers%20et%20murs%20chauffants/Description%20d%20un%20plancher%20chauffant/index.pdf>

¹⁴ Liste des membres de l'APPER Est : http://www.apper-solaire.org/Pages/Assos_locales/APPER%20Alsace%20Ardennes%20Lorraine/contact%20apper%20alsace%20ardennes%20lorraine%20wallonie/index.pdf