

Audit technique d'une installation de production d'ECS solaire à Palaiseau (91)

Rapport final V3

Avril 2017

Audit d'une installation de production d'ECS solaire à Palaiseau (91)

RAPPORT FINAL
Version n°3

Avril 2017

Etude réalisée pour :

AMJ immobilier
49 Route de Chartres
91440 Bures-sur-Yvette

M^{me} Adriana Figueiredo

Référence client : Jardins de la Hunière

Confidentialité : diffusion restreinte

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
1. CONTEXTE ET OBJECTIF	5
2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS SOLAIRES	6
3. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE	7
3.1. PROBLEMATIQUE	7
3.2. METHODOLOGIE	8
4. CONDITIONS D'UTILISATION DE L'INSTALLATION SOLAIRE	10
4.1. VERIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION SOLAIRE	10
4.1.1. <i>Consommations d'ECS attendues</i>	10
4.1.2. <i>Relevés de consommations réelles</i>	11
4.1.3. <i>Dimensionnement de l'installation en fonction des consommations prévisionnelles et réelles</i>	11
4.1.4. <i>Validation du dimensionnement des installations solaires</i>	11
4.2. VERIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DU VASE D'EXPANSION	12
5. RACCORDEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES	14
6. ETANCHEITE A L'AIR DE L'INSTALLATION SOLAIRE	16
7. QUALITE DU LIQUIDE CALOPORTEUR UTILISE	17
8. MISE EN SERVICE DES INSTALLATIONS SOLAIRES	18
8.1. CAS PARTICULIER DES BATIMENTS NEUFS	18
8.2. TRAÇABILITE DE LA MISE EN SERVICE	18
8.3. PURGE DES INSTALLATIONS SOLAIRES	19
8.4. REGLAGE DES DEBITS	19
9. EXPLOITATION ET SUIVI DES INSTALLATIONS SOLAIRES	20
9.1. RESPECT DU CONTRAT DE MAINTENANCE PREVENTIVE	20
9.2. ACTIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVES	20
9.3. PRECONISATIONS POUR UNE MAINTENANCE EFFICACE	20
10. INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES	23
10.1. MESURE DE LA TEMPERATURE EN SORTIE DES CAPTEURS	23
10.2. RACCORDEMENT DES BALLONS DE STOCKAGE SOLAIRE	23
10.3. MITIGEUR THERMOSTATIQUE EN SORTIE DE BALLON SOLAIRE	23
11. PRECONISATIONS	25

1. Contexte et objectif

KAUFMAN & BROAD HOMES fait construire en 2013 un ensemble de 226 logements à Palaiseau (91), réparti en 6 bâtiments. L'ensemble de ces bâtiments sont desservis en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS) par 3 chaufferies indépendantes :

- chaufferie 1 : alimente les bâtiments 5, 6, 7 (1, 3 et 5 Auguste Rodin) ;
- chaufferie 2 : alimente le bâtiment 8 (7 Auguste Rodin) ;
- chaufferie 3 : alimente les bâtiments 9 et 10 (9 et 11 Auguste Rodin).

Des installations de production d'ECS collective solaire sont installées dans chacune de ces chaufferies. Aujourd'hui, l'ensemble de ces installations sont hors d'usage du fait d'une dégradation avancée du liquide caloporteur.

Un audit des installations solaires est réalisé afin d'identifier les problèmes et non conformités liés à :

- la conception et le dimensionnement ;
- la mise en œuvre ;
- l'exploitation.



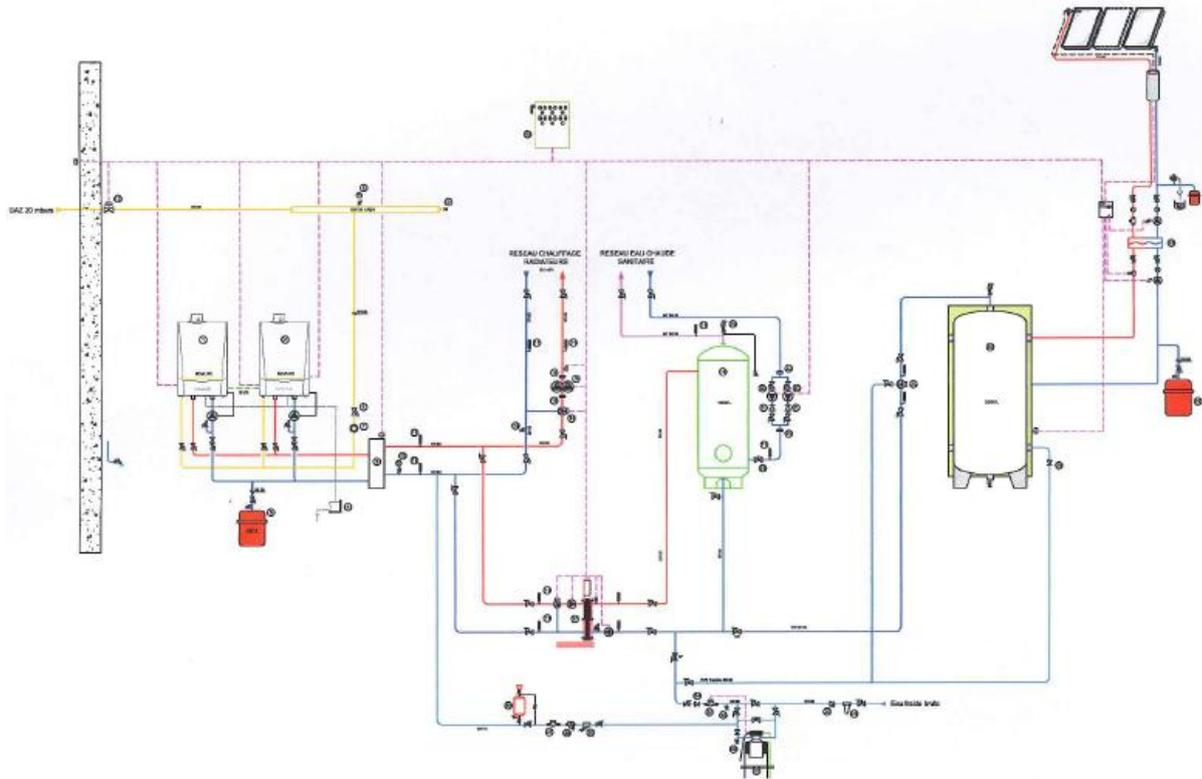
Figure 1 : La copropriété des Jardins de la Hunière à Palaiseau

2. Description des installations solaires

Les installations solaires sont de type centralisé et pressurisé (capteurs solaires remplis en permanence en liquide caloporteur).

Elles sont équipées de un ou plusieurs ballons de stockage solaire en ECS avec échangeur solaire extérieur (échangeur à plaques).

Les systèmes de production d'ECS sont séparés. Il sont de type semi-accumulé en ECS par échangeur et ballon tampon.



Exemple de schéma de principe de la chaufferie 2

Ces chaufferies sont raccordées à 4 champs de capteurs solaires installés sur 4 bâtiments indépendants. On retrouve :

	Surface de capteurs solaires	Volume de stockage solaire
Chaufferie 1 :	56,4 m ² de capteurs (bâtiment 5) 28,2 m ² de capteurs (bâtiment 7)	3000 litres (2 ballons de 1500 litres)
Chaufferie 2 :	44,65 m ² de capteurs (bâtiment 8)	2000 litres
Chaufferie 3 :	51,7 m ² de capteurs (bâtiment 9 et 10)	3000 litres

Caractéristiques des installations solaires pour les chaufferies 1, 2 et 3

3. Problématique et méthodologie

3.1. Problématique

Après 3 ans de fonctionnement, les installations solaires situées sur la copropriété du Jardin de la Hunière présentent des réseaux solaires obstrués par du goudron et des résultats d'analyse de liquide caloporteur alarmants (cf. images ci-dessous).



Liquide solaire transformé en goudron



Circuits solaires obstrués



Absorbeurs des capteurs solaires fortement dégradés

Les solutions utilisées dans les installations solaires sont des mélanges d'eau et d'antigel, dosé pour les protéger :

- contre les risques de gel : l'un des principaux constituants d'un liquide caloporteur solaire est le propylène glycol, liquide non gélif ;
- contre la corrosion : les inhibiteurs de corrosion protègent les matériaux métalliques contre la corrosion et le vieillissement prématuré de l'installation.

Ce mélange n'est pas stable dans le temps et peut se dégrader plus ou moins vite selon l'installation. Cette dégradation provoque :

- une **baisse du pH** du liquide caloporteur pouvant entraîner un phénomène de **corrosion** accéléré ;
- une **perte du pouvoir antigél** du liquide caloporteur ;
- la formation de résidus (**goudrons**) obstruant les circuits et contribuant à une baisse de rendement de l'installation solaire.

Cette dégradation est généralement liée :

- aux **conditions d'utilisation** de l'installation solaire ;
- à la **qualité du glycol** utilisé ;
- au choix et au **raccordement des capteurs** solaires ;
- à **l'introduction d'air** dans les réseaux ;
- à une **mise en service** de l'installation inadaptée ;
- à une maintenance et un suivi de l'installation non adapté

3.2. Méthodologie

Pour rechercher les causes ayant conduit à la dégradation du liquide caloporteur, plusieurs axes sont examinés :

- problème de conception et de dimensionnement vis-à-vis notamment des conditions d'utilisation de l'installation, de la qualité du glycol utilisé et du choix des capteurs solaires ;
- problème de mise en œuvre vis-à-vis notamment du raccordement des capteurs solaires et de l'introduction d'air dans les réseaux ;
- problème de mise en service notamment vis-à-vis du de la purge et du dégazage de l'installation.

L'analyse de la conception et du dimensionnement des installations solaires s'est basée essentiellement sur un examen des pièces fournies listées ci-après :

- DOE - équipements sanitaires (extraits) ;
- schéma de principe chaufferie ;
- CCTP lot chauffage ECS ;
- fiche technique produits ;
- plan de masse.

Sur cette base, nous avons vérifié les points suivants par rapport aux règles de l'art usuelles :

- conception du schéma hydraulique ;
- hypothèses des besoins d'ECS ;
- dimensionnement de la surface des capteurs solaires ;
- dimensionnement du volume des ballons ;
- dimensionnement du vase d'expansion.

L'analyse de la mise en œuvre s'est basée sur la visite sur site réalisée le 09 mars 2017. Les investigations suivantes ont été menées :

- relevé du schéma hydraulique effectif pour la production d'ECS solaire ;
- relevé des non conformités aux règles de l'art usuelles.

L'analyse de la mise en service de l'installation s'est basée sur les procès verbaux de mise en service mis à disposition.

Des investigations supplémentaires (mesures de débit, de température, ...) n'ont pas été possibles lors de la visite des installations. L'ensemble des circuits des 3 chaufferies étant vidangé.

4. Conditions d'utilisation de l'installation solaire

Le liquide caloporteur va se dégrader plus ou moins vite selon **les conditions d'utilisation de l'installation solaire**.

Lorsque le liquide caloporteur est exposé à des températures élevées (généralement supérieures à 170°C), il risque de vaporiser au niveau des capteurs et de les endommager (phénomène de polymérisation) : il subit un vieillissement précoce et une altération de ses propriétés chimiques.

L'atteinte de ces niveaux de température est généralement liée à :

- un **surdimensionnement** de l'installation solaire du fait d'une mauvaise estimation des besoins d'eau chaude sanitaire et/ou d'un rapport volume de stockage solaire/surface de capteurs trop faible ;
- un sous-dimensionnement du vase d'expansion.

4.1. Vérification du dimensionnement de l'installation solaire

La base d'un bon dimensionnement d'une installation solaire doit reposer sur une estimation précise des consommations d'eau chaude sanitaire du bâtiment.

Le surdimensionnement, du fait d'une surestimation des consommations d'eau chaude sanitaire, est un défaut trop souvent rencontré sur les installations de production d'eau chaude sanitaire solaire.

Un surdimensionnement génère des problèmes de surchauffe de l'installation solaire avec notamment une altération du liquide antigel et une usure prématurée des matériaux.

4.1.1. Consommations d'ECS attendues

La répartition des logements par bâtiments desservis est donnée ci-dessous. Pour chaque bâtiment est précisée les consommations d'ECS prévisionnelles (en litre/jour à 60°C). Les ratios de consommation utilisés sont issus des travaux de la plateforme collaborative Socol :

	Studio	F2	F3	F4	F5	Consommations prévisionnelles (l/j à 60°C) – ratios Socol	
Chaufferie 1 (Bâtiments 5,6 et 7)	0	7	3	8	3	1368	3570
	6	2	1	3	3	864	
	4	11	7	4	0	1338	
Chaufferie 2 (Bâtiment 8)	3	4	10	8	4	1860	1860
Chaufferie 3 (Bâtiments 9 et 10)	11	5	7	0	7	1656	2430
	2	6	1	5	0	774	

Consommations prévisionnelles d'ECS pour les chaufferies 1,2 et 3

4.1.2. Relevés de consommations réelles

On donne ci-dessous les relevés des consommations d'ECS réelles (en m³ d'eau chaude et kWh de gaz) pour l'ensemble des chaufferies sur les 3 dernières années. On note que les consommations prévisionnelles sont très proches des consommations ECS (l/j) réelles minimums moyennées sur 3 ans.

	Consommation ECS (m ³ /an)	Consommation ECS (l/j)			Consommation gaz pour l'ECS (kWh)
		Moy	Min (Eté)	Max (Hiver)	
Chaufferie 1 (5/6/7)					
Octobre 2013 – Octobre 2014	1982	5430	4073	5973	108 735
Octobre 2014 – Octobre 2015	1909	5230	3922	5753	104 830
Octobre 2015 – Octobre 2016	1886	5167	3875	5684	103 620
Chaufferie 2 (8)					
Octobre 2013 – Octobre 2014	1002	2745	2059	3019	55 000
Octobre 2014 – Octobre 2015	952	2608	1956	2869	52 305
Octobre 2015 – Octobre 2016	881	2414	1810	2655	48 180
Chaufferie 3 (9/10)					
Octobre 2013 – Octobre 2014	1231	3373	2530	3710	67 705
Octobre 2014 – Octobre 2015	1343	3679	2759	4047	71 885
Octobre 2015 – Octobre 2016	1293	3542	2657	3896	70 950

Consommations réelles d'ECS pour les chaufferies 1,2 et 3 sur les 3 dernières années de fonctionnement

4.1.3. Dimensionnement de l'installation en fonction des consommations prévisionnelles et réelles

En regard des consommations d'ECS identifiées, les installations doivent justifier d'une surface de capteurs et d'un volume de stockage solaire comme suit :

	Consommation ECS (l/j) minimum moyennée sur 3 ans	Surface de capteurs (m ²)	Volume de stockage solaire (litres)
Chaufferie 1 (5/6/7)	3957	≈ 80	4000
Chaufferie 2 (8)	1942	≈ 39	2000
Chaufferie 3 (9/10)	2649	≈ 53	3000

Dimensionnement optimal pour les installations solaires des chaufferies 1,2 et 3

4.1.4. Validation du dimensionnement des installations solaires

Le tableau ci-dessous compare le dimensionnement réel et optimal (calculé) des installations solaires pour l'ensemble des chaufferies :

	Surface de capteurs solaires Réelle/Calculée (m ²)	Volume de stockage solaire Réel/Calculée (litres)
Chaufferie 1 :	- 84,6/ 80	3000/ 4000
Chaufferie 2 :	- 44,65/ 39	2000/ 2000
Chaufferie 3 :	- 51,7/ 53	3000/ 3000

Comparaison dimensionnement réel/optimal des installations solaires des chaufferies 1,2 et 3

On constate que :

- la surface des capteurs solaires est jugée conforme, quelque soit la chaufferie. ;
- les volumes de stockage solaire sont conformes pour les chaufferies 2 et 3 ;
- le volume de stockage solaire pour la chaufferie1 est non conforme. Un minimum de 50 litres de volume solaire par m² de capteurs solaires installés n'est pas respecté.

En conclusion, la dégradation du liquide caloporteur de la chaufferie 1 peut éventuellement s'expliquer par un volume de stockage solaire de capacité trop faible (en regard de la surface de capteurs solaires installée). Par contre, la dégradation du liquide des chaufferies 2 et 3 ne peut pas s'expliquer par un surdimensionnement des installations solaires.

4.2. Vérification du dimensionnement du vase d'expansion

En cas de sous dimensionnement du vase d'expansion, si la température moyenne du circuit solaire augmente à des niveaux élevés, le liquide caloporteur risque de vaporiser au niveau des capteurs et les endommager (polymérisation).

Il est vérifié sur site les capacités des vases d'expansion équipant les 3 chaufferies. Elles sont comparées à celles déterminées et calculées conformément aux préconisations issues des Recommandations RAGE « Production d'eau chaude sanitaire collective centralisée solaire ». On trouve :

	Volume du vase d'expansion réel pour Pgonflage de 2,5 bars (litres)	Volume du vase d'expansion calculé pour Pgonflage de 2,5 bars (litres)
Chaufferie 1 :	300	550
Chaufferie 2 :	200	280
Chaufferie 3 :	200	350

Comparaison dimensionnement réel/optimal des vases d'expansion solaires des chaufferies 1,2 et 3

Les vases d'expansion solaires des chaufferies 1, 2 et 3 apparaissent largement sous dimensionnés.

Ce sous dimensionnement a pu conduire à :

- d'éventuelles vaporisations du liquide caloporteur aux niveaux des champs de capteurs provoquant un phénomène de polymérisation du liquide et donc à sa détérioration prématurée ;
- des élévations de température et donc de pression répétées. Le liquide a dans ce cas été évacué par la soupape de sécurité de manière non contrôlée (les vases

d'expansion étant de capacités trop faibles). Cette perte de liquide a pu entraîner une chute de pression du circuit solaire impliquant une baisse des performances voir un arrêt complet de l'installation à certains moments. Des appoints en liquide ont donc sans doute été nécessaires. Aucune information n'est disponible dans les livrets de chaufferie sur les précautions prises lors de ces éventuels appoints (notamment vis-à-vis du type de liquide utilisé, la réalisation de la purge du circuit, ...). Si ces précautions n'ont pas été respectées, le circuit solaire a pu subir une corrosion par l'oxygène. Une forte corrosion métallique est d'ailleurs constatée au niveau des analyses d'eau des circuits capteurs solaires des 3 chaufferies.

En conclusion, la dégradation du liquide caloporteur des chaufferies 1, 2 et 3 peut éventuellement s'expliquer par le sous dimensionnement des vases d'expansion.

5. Raccordement des capteurs solaires

Le liquide caloporteur peut se dégrader rapidement du fait d'un montage des capteurs solaires inapproprié.

Un liquide caloporteur se dégrade d'autant plus rapidement que la quantité de liquide vaporisée et soumise à de hautes températures dans les capteurs est importante. Pour limiter cette quantité, il faut que la première vapeur formée expulse le liquide hors du capteur. Ainsi, une attention particulière doit être portée sur :

- les raccordements entre capteurs et batteries de capteurs : ils ne doivent pas perturber le transfert du liquide chassé des capteurs vers le vase d'expansion (cf. photos ci-dessous) ;
- le raccordement des entrées et des sorties des capteurs solaires : la position de ces dernières doit permettre d'évacuer le liquide hors du capteur. Si non, la totalité du liquide piégé dans le capteur va vaporiser et la vapeur se condenser dans la tuyauterie ;
- l'irrigation suffisante, intégrale et continue de chaque batterie et de chaque capteur : chaque batterie de capteurs doit être équipée d'une vanne d'équilibrage permettant de régler et répartir avec précision le débit imposé dans chacune d'elles (cf. photos ci-dessous).

Il est constaté, lors de l'audit, de nombreux raccordements entre capteurs fortement vrillés. Lors des phases de vaporisation, le liquide pourrait avoir des difficultés à s'échapper et s'évaporer entièrement.



Raccords entre capteurs (à gauche, un raccord fortement vrillé et à droite un raccord conforme)

Il est constaté, lors de l'audit, que l'ensemble des vannes sont, pour chacune des chaufferies auditées, pleinement ouvertes. Aucun réglage n'est constaté. La mauvaise répartition des débits dans les différents champs de capteurs conduit à une mauvaise irrigation des capteurs et des montées en température plus fréquentes.



Vannes de réglage pleinement ouverte sur le départ général qui alimente chaque batterie de capteurs

En conclusion, les raccords vrillés entre les capteurs et la mauvaise répartition des débits peuvent être responsable d'une dégradation avancée des installations.

6. Etanchéité à l'air de l'installation solaire

Le liquide caloporteur peut se dégrader rapidement du fait d'une introduction d'air dans le circuit. En effet, la présence d'air dans l'installation peut être à l'origine d'une corrosion par l'oxygène.

Les analyses d'eau réalisées sur les installations solaires montrent une corrosion métallique importante (teneurs en cuivre et en oxyde de fer très élevées) pouvant s'expliquer par une mauvaise étanchéité à l'air.

Cette corrosion par oxygène peut être liée :

- à des problèmes d'étanchéité du réseau au niveau notamment des raccords (cf. image ci-dessous) ;
- à des purgeurs non opérationnels et fuyards ;
- à un vase d'expansion avec une membrane poreuse ;
- à des appoints de liquide réguliers (pour compenser la chute de pression du circuit solaire si perte de liquide importante).



Illustration d'un raccord non étanche à l'air (micro-fuite avec apparition de vert de gris)

En conclusion, si l'installation solaire n'est pas étanche à l'air ou si des appoints de liquide sont faits régulièrement, le liquide caloporteur a pu subir une corrosion par l'oxygène (une forte corrosion métallique est d'ailleurs constatée au niveau des analyses d'eau des circuits capteurs solaires des 3 chaufferies).

7. Qualité du liquide caloporteur utilisé

Le liquide caloporteur va se dégrader plus ou moins vite selon les niveaux de température atteints au niveau des capteurs et sa qualité.

La décomposition d'un liquide caloporteur solaire est due essentiellement à la dégradation des inhibiteurs de corrosion aux hautes températures (phénomène de cracking).

Ce phénomène se produit à hautes températures (au-delà de 200°C). Certains liquides caloporteurs subissent plus ou moins bien ce cracking :

- les liquides contenant un fort taux de soude (nécessaire pour abaisser leur pH) réagissent très mal au cracking. Les fabricants recommandent dans ce cas leur changement tous les 3 à 5 ans ;
- les liquides contenant un faible taux de soude ne sont pas sensibles au cracking. En circuit fermé (sans introduction d'oxygène), il peut fonctionner sans dégradation pendant des dizaines d'années.

Aucune information n'est disponible sur le type de liquide caloporteur utilisé lors de la mise en service des installations solaires des chaufferies 1,2 et 3.

On rappelle que :

- le choix du liquide caloporteur doit être fait en accord avec les prescriptions du fabricant. Il est compatible vis à vis de la corrosion avec les capteurs et les divers éléments du circuit. Il doit respecter les exigences du guide ISO/TR 10217 et notamment celles relatives à l'association des fluides et des matériaux en circuit aéré et non aéré ;
- le liquide antigel et les additifs utilisés doivent être stables aux températures pouvant être atteintes dans l'installation (température maximale dite de stagnation) ;
- l'utilisation d'un liquide caloporteur « prêt à l'emploi » (pré-dosé) est fortement recommandée. D'une manière générale, le liquide antigel utilisé doit être celui préconisé ou décrit par les fabricants de capteurs dans l'Avis Technique correspondant, ainsi que dans la notice mise à la disposition des installateurs ;
- les liquides contenant un faible taux de soude sont à préférer ;
- un type unique de liquide doit être utilisé sur une installation, certains liquides présentant des incompatibilités avec d'autres, notamment en raison de la composition de leurs inhibiteurs de corrosion.

En conclusion, l'utilisation d'un liquide caloporteur non adapté (utilisation d'un antigel pur, d'un antigel mélangé avec un autre présentant des caractéristiques différentes, d'un liquide non compatible avec les matériaux présents sur le circuit) ou de faible qualité (liquide avec une forte teneur en soude, liquide non stable aux températures de stagnation atteintes dans les capteurs) lors de la mise en service de l'installation peut être responsable de la dégradation avancée des installations.

8. Mise en service des installations solaires

Le liquide caloporteur peut se dégrader rapidement du fait d'une mise en service inadaptée.

8.1. Cas particulier des bâtiments neufs

Une installation solaire remplie et pressurisée doit être utilisée au risque de stagner, surchauffer et se dégrader. Sa mise en marche est donc impérativement subordonnée à son utilisation. Aucune mise en service ne doit être réalisée tant que la consommation d'eau chaude sanitaire est nulle (ou très faible par rapport à la taille de l'installation solaire). Une installation solaire en neuf (et plus précisément pour un bâtiment ne présentant pas une consommation minimale d'eau chaude sanitaire après réception de l'installation solaire) implique certaines adaptations, notamment dans le phasage du projet.

Les installations solaires des chaufferies 1, 2 et 3 sont réceptionnées, remplies, réglées et en état de fonctionnement avant que l'ensemble des appartements soient occupés. Le liquide caloporteur a pu se dégrader pendant la phase de non utilisation. Il est aurait été préférable :

- de réceptionner l'installation réglée/en état de fonctionnement et de la vidanger pendant la période de non utilisation des bâtiments. Le Maître d'Ouvrage aurait du passer un contrat de service séparé (à l'entreprise ou à l'exploitant si présent) pour ré-remplir les installations solaires après occupation et usage du bâtiment.
- ou
- de réceptionner l'installation non réglée (réaliser uniquement une réception permettant de vérifier la conformité des matériels hors fonctionnement) et assortir la réception de réserves. Ces dernières sont levées après la mise en marche de l'installation lorsqu'il y a occupation et usage du bâtiment.

Il nous est néanmoins indiqué lors de l'audit que :

- les installations solaires sont réceptionnées en période de faible ensoleillement (novembre 2012 pour la chaufferie 1 et février 2013 pour les chaufferies 2 et 3) ;
- l'ensemble des bâtiments sont rapidement occupés (avant une période de fort ensoleillement).

Il est dès lors difficile de conclure à une dégradation du liquide caloporteur du fait d'une mise en service des installations solaires non inadaptée.

8.2. Traçabilité de la mise en service

La mise en service et la mise au point des installations solaires sont réalisées par la société Assistherm (station technique agréée par DeDietrich). Les procès verbaux d'intervention attestent pour chacune d'elles :

- d'un rinçage, d'un remplissage et d'une purge des réseaux solaires ;
- d'un paramétrage du régulateur solaire (notamment température de sécurité capteur et de consigne) ;
- de contrôles de bon fonctionnement (notamment essais des pompes et contrôle des températures).

En conclusion, la mise en service des installations solaires sont attestées. Néanmoins, les réglages ne sont pas consignés (débits et pression notamment). L'exploitant n'avait pas les informations nécessaires pour efficacement la maintenance et le suivi des installations solaires.

8.3. Purge des installations solaires

Les champs de capteurs des chaufferies 2 et 3 sont équipés de vannes de purge manuelles. Il n'est pas constaté de système de purge sur le champ de capteurs de la chaufferie 1.

On rappelle que chaque batterie de capteur et chaque point haut du circuit hydraulique doivent être équipés d'un dispositif de purge adapté à la taille de l'installation. Ils servent à éliminer l'air contenu dans le circuit hydraulique permettant ainsi un fonctionnement à débit nominal, d'éviter des problèmes de corrosion, de bruit ou de surchauffes.

L'attestation d'intervention certifiée d'une purge des réseaux solaires. Néanmoins, aucune information n'est disponible sur la méthodologie retenue pour la purge et le dégazage des installations. On rappelle que la purge complète d'une installation solaire peut durer quelques jours et impliquer un retour du professionnel sur l'installation pour finaliser l'opération.

En conclusion, si l'installation solaire n'a pas été dégazée et purgée correctement au moment de la mise en service, le liquide caloporteur a pu subir une corrosion par l'oxygène (Une forte corrosion métallique est d'ailleurs constatée au niveau des analyses d'eau des circuits capteurs solaires des 3 chaufferies).

8.4. Réglage des débits

On rappelle que chaque batterie de capteurs doit être équipée d'une vanne d'équilibrage permettant de régler et répartir avec précision le débit imposé dans chacune d'elles. Leur réglage (ouverture de la vanne) doit permettre d'équilibrer les pertes de charge des circuits et ainsi répartir les débits de manière optimale.

L'ensemble des vannes sont, pour chacune des chaufferies auditées, pleinement ouvertes. Aucun réglage n'est constaté. Si la pompe du circuit solaire (en chaufferie) est dimensionnée pour vaincre les pertes de charge du circuit le plus défavorisé (le circuit présentant des pertes de charge les plus élevées), les circuits présentant des pertes de charge plus faibles (les moins éloignés de la chaufferie) sont donc soumis à une pression différentielle trop importante, générant des sur débits sur ces circuits. Ce phénomène est intensifié du fait de batteries non homogènes d'un point de vue nombre de capteurs raccordés.

En conclusion, la mauvaise répartition des débits dans les différents champs de capteurs conduit à une mauvaise irrigation des capteurs. La récupération n'est pas homogène et peut impliquer des températures élevées au niveau de certaines branches de capteurs pouvant conduire à une dégradation accélérée du liquide caloporteur.

9. Exploitation et suivi des installations solaires

La dégradation avancée du liquide caloporteur aurait pu être atténué par une maintenance efficace des installations solaires.

9.1. Respect du contrat de maintenance préventive

SCCC a en charge l'exploitation des chaufferies 1, 2 et 3. Les prestations d'entretien pour les chaufferies et les installations solaires sont renseignées dans leur contrat de maintenance (type P2) émis en mars 2013.

NOTE : le contrat de maintenance analysé ne concerne que la maintenance de la chaufferie 1 (pour les bâtiments 5, 6 et 7).

Il y est indiqué une visite mensuelle des installations solaires avec notamment une analyse du liquide caloporteur et un contrôle de bon fonctionnement de l'installation (température, pression).

L'analyse des carnets d'entretien montre que, si les installations solaires ont fait l'objet de telles prestations, aucun résultat n'y est consigné.

En conclusion, une traçabilité des actions de maintenance réalisées aurait certainement contribué à identifier plus tôt les problèmes de dégradation de fluide et à éviter ainsi son état de dégradation avancé.

9.2. Actions de maintenance correctives

La chaufferie 2 est arrêtée depuis juin 2015 du fait d'une fuite constatée au niveau d'un raccord d'un panneau solaire. Le réseau solaire n'est pas vidangé. Le liquide caloporteur a donc stagné et surchauffé pendant tout l'été 2016.

En conclusion, la stagnation importante du liquide caloporteur en 2015 et 2016 a très certainement conduit à une dégradation accélérée du liquide caloporteur. Le réseau aurait dû être vidangé, les capteurs solaires bâchés et le raccord changé.

9.3. Préconisations pour une maintenance efficace

La durabilité d'une installation solaire est obtenue que si elle est entretenue et si son usage est normal. La maintenance des équipements est une nécessité.

On donne ci-dessous la liste des opérations de maintenance recommandées. Le nombre et le type d'intervention doit être adapté à l'installation, aux exigences du client et au niveau de prestation proposé par l'entreprise.

Il est important d'adapter ces opérations et de les faire correspondre avec les spécifications des constructeurs.

Il est recommandé de :

- faire le relevé des données utiles au bon contrôle de bon fonctionnement à chaque visite de la chaufferie (ici tous les mois) ;
- de réaliser l'ensemble des vérifications et contrôles une fois par an.

NOTE : Il est recommandé de privilégier un seul et même prestataire pour l'entretien de la chaufferie et de l'installation solaire (simplifie les échanges et permet une maintenance à moindre coût).

Relevé des données utiles au contrôle de bon fonctionnement		
1. Heures de relevés		
2. Conditions atmosphériques		
Très clair	<input type="checkbox"/>	
Clair	<input type="checkbox"/>	
Nuageux	<input type="checkbox"/>	
Pluvieux	<input type="checkbox"/>	
3. Température du ballon de stockage solaire		
4. Température d'entrée du fluide primaire (Te1)	[°C]	
5. Température de sortie du fluide primaire (Ts1)	[°C]	
6. Température d'entrée du fluide secondaire (Te2)	[°C]	
7. Température de sortie du fluide secondaire (Ts2)	[°C]	
		Etat initial Relevé
8. Pression du circuit primaire	[bar]	
9. Pression de gonflage du vase d'expansion	[bar]	
10. Débit du fluide (circuits primaire et secondaire)	[l/h]	
11. Température de départ d'ECS	[°C]	
12. Relevé du compteur d'eau	[m ³]	
13. Relevé du compteur d'énergie	[kWh]	

Vérifications et contrôles			
	C	NC	Observations
Elément extérieurs			
14. Etat des capteurs et des supports	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15. Fonctionnement des vannes d'arrêt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16. Vanne d'isolement fermée si purgeur automatique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17. Etat de la protection mécanique du calorifuge extérieur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18. Position des vannes d'équilibrage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Boucle de captage			
19. Contrôle de l'écoulement (ouverture) et de l'étanchéité (fermeture) de la soupape de sécurité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20. Contrôle du liquide caloporteur (teneur en antigel et pH)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21. Contrôle visuel du bon fonctionnement du(des) circulateur(s) (bruit, échauffement, vibration)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22. Contrôle d'étanchéité des presse-étoupes / garniture du(des) circulateur(s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23. Contrôle d'étanchéité de l'échangeur de chaleur (si présent)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24. Etat du calorifuge de l'échangeur de chaleur (si présent)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25. Contrôle des pertes de charge de l'échangeur de chaleur (si présent)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26. Absence de fuite ou de corrosion du vase d'expansion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Système de régulation			
27. Vérification du paramétrage de la régulation (DD, DA...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28. Contrôle de la bonne tenue des sondes (position et connexions électriques)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Stockage solaire			
29. Contrôle de l'étanchéité des piquages	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
30. Contrôle de l'état de la jaquette isolante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
31. Contrôle de l'anode visuel (démontage tous les 2 ans)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sécurité électrique			
32. Recherche d'échauffements et de bruits anormaux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
33. Etat des contacteurs et des câbles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
34. Serrage des connexions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
35. Fonctionnement des organes de coupure et de protection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

L'installation est équipée d'un comptage d'énergie sur la partie solaire de l'installation. Son relevé est très fortement recommandé. Il permet d'avoir des données objectives sur les performances réelles de l'installation et de détecter les dysfonctionnements éventuels de l'installation solaire. Si ce suivi indique que l'installation fournit l'énergie attendue, compte tenu des conditions d'utilisation (volume soutiré et ensoleillement), l'ensemble des contrôles édictés ci-dessus n'est pas à réaliser systématiquement et à chaque visite de l'installation.

Les actions de maintenance proposées par SCCC sont insuffisantes et pour certaines incohérentes (test bactériologique, étalonnage des sondes, nettoyage des capteurs notamment). Il est recommandé de modifier le contrat de maintenance actuel avec les informations communiquées ci-dessus.

10. Informations complémentaires

Il est constaté lors de l'audit certaines malfaçons. Elles n'expliquent pas à elles seules le niveau de dégradation des installations solaires. Néanmoins, leur correction permettrait d'optimiser le fonctionnement des installations.

10.1. Mesure de la température en sortie des capteurs

La régulation des installations solaires sur chaque chaufferie est de type double différentiel. Le circulateur solaire au primaire de l'échangeur est régulé en regard de l'écart de température entre la sortie des capteurs et le bas du ballon de stockage solaire.

Sur chacune des chaufferies auditées, la mesure de température en sortie des capteurs est prise aléatoirement sur une des batteries constituant le champ de capteurs. Les batteries de capteurs n'étant pas homogènes et non équilibrées, cette mesure n'est pas représentative de la température régnant dans l'ensemble des batteries.

Il est recommandé d'opter pour une régulation par sonde d'ensoleillement. En effet, ce mode de régulation permet d'éviter des erreurs de mesures de température dues à un défaut d'irrigation des batteries de capteurs solaires.

La sonde d'ensoleillement vient se substituer à la sonde de température au niveau du champ de capteurs solaires. Lorsque la valeur de l'ensoleillement est supérieure au seuil d'enclenchement de la sonde d'ensoleillement, le circulateur du primaire de l'échangeur démarre. Elle est installée dans le plan des capteurs solaires.

10.2. Raccordement des ballons de stockage solaire

La chaufferie 1 présente des 2 ballons de stockage solaire raccordé en parallèle (conformément aux préconisations du fabricant). Il est recommandé de les raccorder en série.

En effet, le raccordement des ballons en parallèle ne peut que réduire le volume utile d'eau chaude stocké. En effet :

- avec un raccordement en parallèle, tous les ballons sont alimentés en eau froide. Cela multiplie les surfaces entre l'eau chaude et l'eau froide, donc les volumes aux températures intermédiaires. Avec un montage en série, la zone de contact ne concerne qu'un seul ballon, le volume de stockage utile d'ECS est plus important ;
- l'alimentation en parallèle exige un équilibrage hydraulique parfait. Même pour un faible déséquilibre des débits, un des ballons se vide de son eau chaude avant les autres. On obtient alors de l'eau plus froide au moment des soutirages alors que l'eau des autres ballons reste élevée. On rappelle néanmoins que l'appoint assure la température de production nécessaire.

10.3. Mitigeur thermostatique en sortie de ballon solaire

Les installations de production d'eau chaude sanitaire réalisées après novembre 2005 doivent respecter l'arrêté du 30 novembre 2005 (modifiant l'article 36 de l'arrêté du 23 juin

1978). Ce dernier impose une limitation des températures d'ECS aux points de puisage à 50°C maximum dans les pièces destinées à la toilette.

Si un mitigeur thermostatique au départ de la distribution principale est mis en œuvre, il se situe en sortie de production (en sortie du système d'appoint).

Il est constaté sur l'ensemble des chaufferies un mitigeur thermostatique en sortie de ballon de stockage solaire. Cette solution implique généralement des performances moindres pour l'installation solaire (débit d'eau froide traversant le ballon de stockage solaire plus faible, surconsommation d'appoint).

11. Préconisations

L'ensemble des installations solaires équipant la copropriété des Jardins de la Hunière (à Palaiseau) sont hors d'usage depuis plusieurs mois du fait d'une dégradation avancée du liquide caloporteur des réseaux solaires (réseaux obstrués par du goudron et résultats d'analyse de liquide alarmants).

Un audit, permettant de statuer sur les causes de ce dysfonctionnement, est réalisé le 9 mars 2017.

Les conclusions montrent que la dégradation des installations solaires peut provenir de plusieurs défauts relevant du dimensionnement, de la mise en œuvre, de la mise en service ou encore de l'exploitation des installations solaires.

La dégradation peut en effet être due :

- **aux conditions d'utilisation de l'installation** solaire avec notamment :
 - un important sous dimensionnement des vases d'expansion, notamment pour les chaufferies 1 et 3
 - un sous dimensionnement du volume de stockage solaire pour la chaufferie 1 (3000 litres contre 4500 litres nécessaires)
- **au raccordement des capteurs** solaires avec notamment de nombreux raccords vrillés entre les capteurs et une mauvaise répartition des débits dans les différentes batteries de capteurs ;
- **au glycol utilisé** avec notamment l'utilisation d'un liquide caloporteur non adapté (utilisation d'un antigel pur, d'un antigel mélangé avec un autre présentant des caractéristiques différentes, d'un liquide non compatible avec les matériaux présents sur le circuit) ou de faible qualité (liquide avec une forte teneur en soude, liquide non stable aux températures de stagnation atteintes dans les capteurs)
- **à l'introduction d'air** dans les réseaux avec notamment des réseaux non étanches à l'air ou des appoints de liquides réguliers ;
- **à une mise en service** de l'installation inadaptée avec notamment un rinçage, un dégazage et une purge insuffisants, une absence d'équilibrage des champs de capteurs ou encore une réception des installations solaires remplies avant que l'ensemble des appartements soient occupés ;
- **à un suivi et une maintenance** insuffisants des installations solaires avec notamment :
 - un non respect des actions de maintenance préventive identifiées dans le contrat de maintenance de SCCC
 - un arrêt de l'installation solaire équipant la chaufferie n°2 sans précaution ne permettant pas d'éviter la stagnation du liquide caloporteur

Il est ainsi préconisé (après un décapage des réseaux solaires par un nettoyant dispersif et un rinçage important) de :

- de vérifier que les circuits internes des capteurs ne sont pas obstrués ;
- de remplacer les vases d'expansion par des vases de capacité plus importante (notamment chaufferies 1 et 3) ;
- d'augmenter le volume de stockage solaire de la chaufferie 1 ;
- de remplacer les raccords vrillés ;
- de réaliser un équilibrage des champs de capteurs ;
- de vérifier l'efficacité des purgeurs d'air au niveau de chaque batteries de capteurs ;
- de vérifier l'absence de fuites sur les réseaux solaires ;
- de remplir les réseaux solaires en utilisant un liquide caloporteur unique, prêt à l'emploi et de qualité ;
- de réaliser une mise en service efficace avec un dégazage et une purge complète des réseaux solaires ;
- de modifier les prestations de maintenance des installations solaires.