

Projet LEGIOSOL

Rapport

Intégration du solaire thermique
dans le secteur médico-social :
analyses et préconisations

A D E M E



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

TECSOL



CSTB
le futur en construction



Le 16/07/19

Table des matières

I.	CONTEXTE ET OBJECTIF	4
1.	Contexte réglementaire	4
2.	Objectifs du projet.....	6
3.	Légionelles : les facteurs supposés de développement	7
4.	Analyse bibliographique sur le solaire thermique collectif en Europe	8
5.	Méthodologie	10
II.	TACHE 1 : EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE DES INSTALLATIONS SOLAIRES EN « EAU SANITAIRE »	11
1.	Recensement des installations solaires thermiques en établissement de santé.....	11
2.	Analyses bactériologiques sur 10 installations.....	13
3.	Analyse technique des installations	16
a.	Critère : présence de zones mortes.....	16
b.	Critère : température favorisant la prolifération	17
c.	Critère : mauvais fonctionnement de l'installation solaire	18
d.	Corrélation entre les mesures bactériologiques et l'analyse technique.....	22
4.	Analyse statistique des données issues des systèmes de Gestion Technique Centralisée (GTC) 24	
a.	Protocole d'analyse	24
b.	Analyses globales des plages de température	27
c.	Analyses mensuelles des plages de température	29
d.	Nombre de jours à risque dans l'année et renouvellement du ballon solaire.....	30
e.	Profil journalier de température	31
f.	Profil journalier de débit	32
5.	Travaux de modélisation des installations solaires en « eau sanitaire »	33
a.	1 ^{ère} modélisation : CESC 3 – Eau sanitaire + échangeur externe.....	33
b.	2 ^{ème} modélisation : CESC 2 – Eau sanitaire + échangeurs intégrés	39
6.	Élévation de la température de consigne de l'appoint à 70°C.....	44
III.	TACHE 2 : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DES INSTALLATIONS EN « EAU TECHNIQUE »	46
1.	Etat des lieux	46
2.	Etude théorique des performances selon le dispositif de décharge.....	54
a.	Présentation des travaux de modélisations	54
b.	Etude d'une régulation par dispositif de détection de débit	58
c.	Régulation par un dispositif d'horloge	60
d.	Etude d'une régulation avec maintien en température de l'échangeur en fonction de la température du ballon.....	64
e.	Etude d'une régulation avec un préparateur ECS sans modulation de vitesse	66

f.	Etude d'une régulation avec un préparateur ECS avec modulation de vitesse	68
3.	Optimisation technico-économique d'une nouvelle installation	70
a.	Impact technico-économique du choix de la régulation du système de décharge	70
b.	Majoration de la surface de capteurs	72
c.	Dimensionnement de l'échangeur de décharge	73
4.	Passage d'une installation solaire existante « eau sanitaire » en « eau technique »	78
a.	Contexte – Conformité réglementaire	78
b.	Impact sur les performances	78
c.	Impact économique.....	79
IV.	CONCLUSION ET PRECONISATIONS.....	80

I. CONTEXTE ET OBJECTIF

1. Contexte réglementaire

Le projet LEGIOSOL s'inscrit dans le contexte français sensible du positionnement du solaire thermique par rapport à la qualité de l'eau destinée à consommation humaine (EDCH) et par rapport aux risques de développement de légionelles dans les établissements de type EHPAD.

Deux arrêtés complétés de deux circulaires décrivent la réglementation à respecter dans les établissements de santé en particulier :

Arrêté du 30 novembre 2005 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public

L'arrêté du 30 novembre 2005 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978, complété par la circulaire du 3 avril 2007 relatifs aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou locaux recevant du public, indique : « *lorsque le volume total des équipements de stockage est supérieur ou égal à 400 litres, l'eau contenue dans les équipements de stockage, à l'exclusion des ballons de préchauffage, doit être en permanence à une température supérieure ou égale à 55° C à la sortie des équipements* ». Cet arrêté sous-entend qu'il est autorisé de disposer de ballons de préchauffage à une température inférieure à 55°C. En effet, cet arrêté n'impose pas de température minimum dans les ballons de préchauffage, mais seulement en sortie des équipements de production.

Points clés :

- Lorsque le volume du circuit de distribution est supérieur à 3 litres, la température de l'eau doit être supérieure ou égale à 50 °C en tout point,
- Lorsque le volume total des équipements de stockage est supérieur ou égal à 400 litres, l'eau contenue dans les équipements de stockage, à l'exclusion des ballons de préchauffage, doit :
 - o Être en permanence à une température supérieure ou égale à 55 °C à la sortie des équipements ;
 - o Ou être portée à une température suffisante au moins une fois par 24 heures,

ANNEXE 1

DURÉE MINIMALE D'ÉLÉVATION QUOTIDIENNE DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU DANS LES ÉQUIPEMENTS DE STOCKAGE, À L'EXCLUSION DES BALLONS DE PRÉCHAUFFAGE

TEMPS MINIMUM DE MAINTIEN de la température	TEMPÉRATURE DE L'EAU (°C)
2 minutes 4 minutes 60 minutes	Supérieure ou égale à 70 °C 65 °C 60 °C

Circulaire DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n° 2002/243 du 22 avril 2002 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé

Circulaire DGS/SD7A-DHOS/E4-DGAS/SD2 no 2005-493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées

Ces circulaires préconisent la suppression de tous les réservoirs de stockage préchauffés ou non à une température inférieure à 55°C car ils favorisent le développement bactérien. **Les circulaires de 2002 et de 2005 préconisent la suppression des ballons de stockage (préchauffé ou non) à une température inférieure à 55°C.**

Point clé :

- Préconisation de la suppression des ballons de stockage quels qu'ils soient dont la température est inférieure à 55°C.

Arrêté du 1er février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire

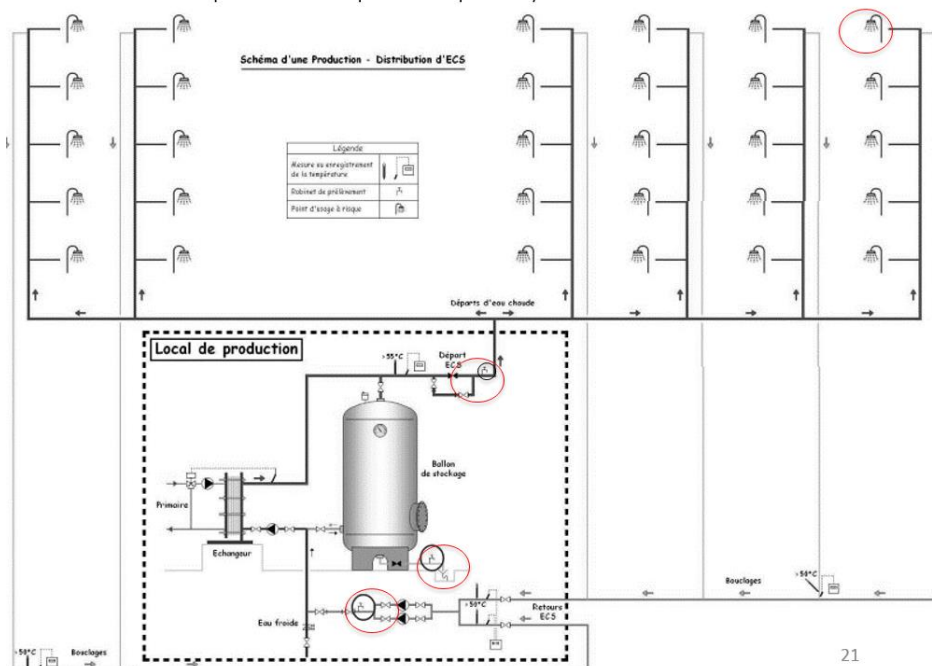
L'arrêté du 1er février 2010 expose la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire. Limite réglementaire admise : 1000 UFC/L.

Points clés :

- Fréquences minimales des analyses de légionelles et des mesures de la température de l'eau chaude sanitaire dans les établissements de santé.
- Analyse légionelles : 1 fois /an pour chaque point de prélèvement spécifié, mesures de la température : 1 fois / jour (si possible en continu) pour la plupart des point spécifiés, parfois 1 fois / mois.

Depuis le 1 avril 2010, les ARS assurent la surveillance de la bonne application des mesures préventives décrites dans l'arrêté du 1 février 2010. Limite réglementaire : > 1000 UFC/L (Unité Formant Colonie par litre). **Préconisation de l'utilisation systématique de l'eau technique dans les établissements de santé.**

Points de mesure de température ECS et de prélèvement pour analyse



2. Objectifs du projet

Un certain nombre d'établissements de santé ont présenté des concentrations en légionelles supérieures à la limite réglementaire lors de contrôles de la part des ARS sur des circuits d'eau chaude sanitaire dont la production d'eau chaude était constituée d'une installation solaire thermique classique.

Les objectifs principaux de cette étude sont :

PHASE 1 : Comprendre et analyser d'éventuels liens entre le développement de légionelles et les installations solaires classiques (stockage sanitaire) et en eau technique dite eau morte. Mettre à jour et consolider le contenu du guide de bonnes pratiques et statuer sur les configurations à risques

PHASE 2 : Analyser et modéliser au mieux le deuxième échangeur de la partie eau morte situé entre le stockage solaire (un ballon tampon rempli d'eau morte ou d'eau technique) et le réseau bouclé d'eau chaude sanitaire, ce afin de parfaire le dimensionnement de cet échangeur. Trouver le meilleur compromis technico-économique et faire des préconisations sur la régulation du montage en eau technique (différencier les préconisations sur le neuf et sur l'existant).

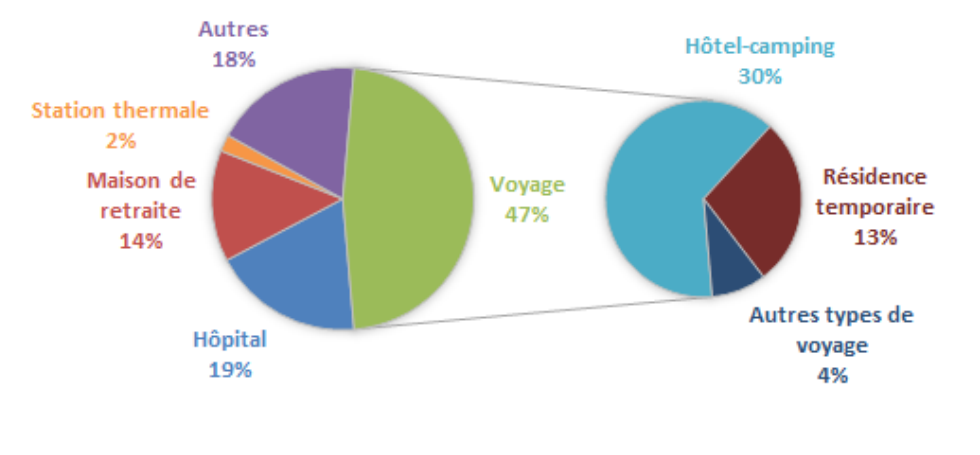
3. Légionelles : les facteurs supposés de développement

La bactérie se développe en milieu aqueux entre 25°C et 45°C, à 95% dans les biofilms (couche visqueuse sur une paroi). Les facteurs favorisant leur développement sont :

- L'eau stagnante
- Les dépôts et tartres et résidus métalliques
- Les matériaux facilitant l'adhésion du biofilm (PVC, caoutchouc...)
- Les bras morts
- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (présence de nutriments par exemple).

Le schéma suivant a été réalisé à partir des données de l'institut de veille sanitaire (IVS) sur l'année 2017. Une étude de l'IVS recense tous les cas de légionelloses survenus en 2017 et pour chacun de ces cas vérifie l'existence d'une exposition au risque pendant la période d'incubation (2-10 jours) ; les cas dont présentant une exposition à risques avérée sont classifiés suivant les catégories présentées ci-dessous.

En 2017, 1 630 cas de légionellose ont été notifiés en France par le système de déclaration obligatoire. Au total, sur 1630 cas répertoriés en France en 2017, l'IVS recense une exposition à risque pour 633 cas, soit 39% des cas.



Répartition des expositions à risque recensées parmi les cas de légionelloses survenus en 2017.

(source : Institut de veille sanitaire)

On note que 33% des expositions à risque rapportées parmi les cas de légionelloses survenus en 2017 se situent dans le secteur médico-social (hôpitaux et maisons de retraite). On en déduit donc que les établissements de santé sont des cibles prioritaires pour lutter contre la légionellose et ce pour deux raisons : présence d'un public particulièrement sensible et présence de volumes d'eau chaude sanitaire importants.

4. Analyse bibliographique sur le solaire thermique collectif en Europe

- Rapport Bédard 2015 :

Réglementation de température = presque toujours au-dessus de 60°C (11/13) dans le ballon d'appoint et au-dessus de 55°C au point d'utilisation (4/9). Dans tous les cas, la température doit être > 55°C dans l'appoint et >50°C au point d'utilisation et sur le circuit solaire.

Conception du circuit hydraulique : Dans tous les cas, concevoir le circuit hydraulique de sorte à éviter les bras morts et favoriser la circulation permanente de l'eau sanitaire. Pour UK et Autriche : concernant le bouclage, interdiction d'arrêter la circulation de l'eau.

Etablir le risque : obligation d'établir le risque initial lors de la mise en œuvre de l'installation ; pas de précision sur les moyens (9/12)

Suivre l'évolution de la flore : prélèvements d'échantillon obligatoire dans tous les cas sauf Etats-Unis, Australie et Canada. Fréquence variable : continu à 1 fois/an.

- Rapport de l'ESTIF :

Points clefs de l'étude biblio :

Introduction : Très peu de rapport font le lien entre le développement de légionelles et les installations solaires.

UNE SEULE PUBLICATION (2013) mentionne au Brésil une détection de légionelles en présence d'une installation solaire. Deux autres cas sont mentionnés comme connus mais n'ont pas fait l'objet de publication officielle.

Etude JO Athènes :

385 hôtels contrôlés lors de cette étude (présence d'installation solaire ou non), légionelles JAMAIS détectées lorsque la température mesurée est supérieure à 60,3°C (point d'échantillonnage non précisé dans le rapport).

10% des installations avec préchauffage solaire étudiées ont présenté un développement de légionelles, contre 69% des systèmes au pétrole/fuel/gaz. Cependant, la méthode de désinfection par choc thermique se révèle plus efficace pour ces derniers.

Etude chauffe-eaux individuels Allemagne :

Sur 48 solaires : 4,2% de détection, sur 352 non solaires : 13% de détection. Sur l'ensemble, 12% des maisons avec stockage présentaient des légionelles supérieur à 1000 UFC/L. Si la température de l'eau sanitaire est 46°C, logiquement les installations sont plus fréquemment colonisées. ATTENTION : Périodes de l'année analysées non connues.

Etude Danemark :

Pas de différences significatives si présence d'une installation solaire ou non MAIS concentration de légionelles plus importante si gros stockage.

En conclusion partielle :

Peu d'étude existent sur le sujet, cependant celles qui existent ne permettent pas d'incriminer le solaire quant-au développement des bactéries. Les installations solaires thermiques doivent bien évidemment respecter les mêmes règles de conception de sorte à minimiser le risque.

Destruction des bactéries :

A 60°C, destruction de la plupart des souches en 2-3 min dans la phase aqueuse MAIS AUSSI dans le biofilm.

HSE 2000 (Health Safety Executive, Royaume-Uni) :

Chauffer l'appoint à 60°C pendant 1h/jour.

Désinfection :

Désinfection possible au chlore ou au dioxyde de chlore. Désinfection au cuivre et à l'argent interdite depuis 2013 pour l'eau destinée à consommation humaine car niveau de toxicité dépassé.

Points clefs de la simulation :

Privilégier les petits volumes de stockage (rapport volume de stockage / aire de la surface de capteur $V/A < 40$). Cela permet d'avoir des températures plus importantes dans le ballon. Le risque est plus faible pour les zones avec un meilleur ensoleillement.

Risque augmenté avec la dégradation des canalisations :

Lors de traitement par chocs thermiques, le risque de dégradation du revêtement des canalisations/ballons augmente, de même que le risque sanitaire sur le long terme.

Risque dépendant de la qualité de l'eau : le risque est très dépendant de la présence initiale de légionelles dans le réseau d'eau froide. Suivant les régions et la présence de nutriment dans l'eau, le développement sera plus ou moins rapide.

- Guide Européen de recommandations

(European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation, of Infections Caused by Legionella species – June 2017 <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/european-technical-guidelines-prevention-control-and-investigation-infections>)

- Température appoint $> 60^{\circ}\text{C}$.
- Température retour de boucle $> 50^{\circ}\text{C}$, idéalement $> 55^{\circ}\text{C}$.
- Mise en place de moyens adaptés pour suivre l'évolution de la température de l'eau en différents endroits du circuit.
- Isoler toutes les sorties individuelles du reste du réseau hydraulique et veiller à ce que chacune soit dimensionnée de telle sorte à avoir une eau à 50°C en moins d'une minute de puisage.
- Veiller à ce que le stockage ne soit pas surdimensionné.
- Éviter les bras morts.
- Avoir la possibilité de vidanger complètement tous les stockages.
- Lorsque c'est possible, prévoir une possibilité d'inspection des ballons de stockage pour désinfection (trous d'hommes).
- Si le système présente plusieurs sources de chaleur, une mise en parallèle est conseillé ; si le système présente plusieurs stockages, une mise en série est conseillée.
- Toujours positionner les piquages du stockage tels que l'eau froide soit introduite en bas et l'eau chaude prélevée en haut.
- Les chocs thermiques occasionnels ne sont pas préconisés. Il est possible d'envisager un traitement chimique au chlore avec un injecteur en continu mais ATTENTION à la résistance à la corrosion du réseau hydraulique.
- Maintien de la température de L'ENSEMBLE du circuit (bouclage inclus) entre 55°C et 60°C => efficacité prouvée.
- Possibilité de traitement aux UV.
- Possibilité d'avoir une filtration au niveau des points de puisages.

-Autre

- En Allemagne :

Le recours aux schémas en eau technique est quasi-systématique (secteur socio-médical ou non) pour les installations solaires collectives pour des raisons historiques (réglementation sévère depuis de nombreuses années). Pour ce qui est de la régulation de ces installations, elle se rapproche de celle par défaut sur les articles de conception allemande (Sonnenkraft, De Dietrich, etc...)

Articles les plus pertinents analysés : 5.08_Rothmann_Hygiene_Trinkwasser / 5.08_Giovanetti_Kramer_Optimierte_Solarthermiesysteme

- Hongrie :

Les chocs thermiques sont préconisés. Un nouveau plan de traitement de l'eau incluant un refroidissement est envisagé.

- Hôpital de Bruxelles :

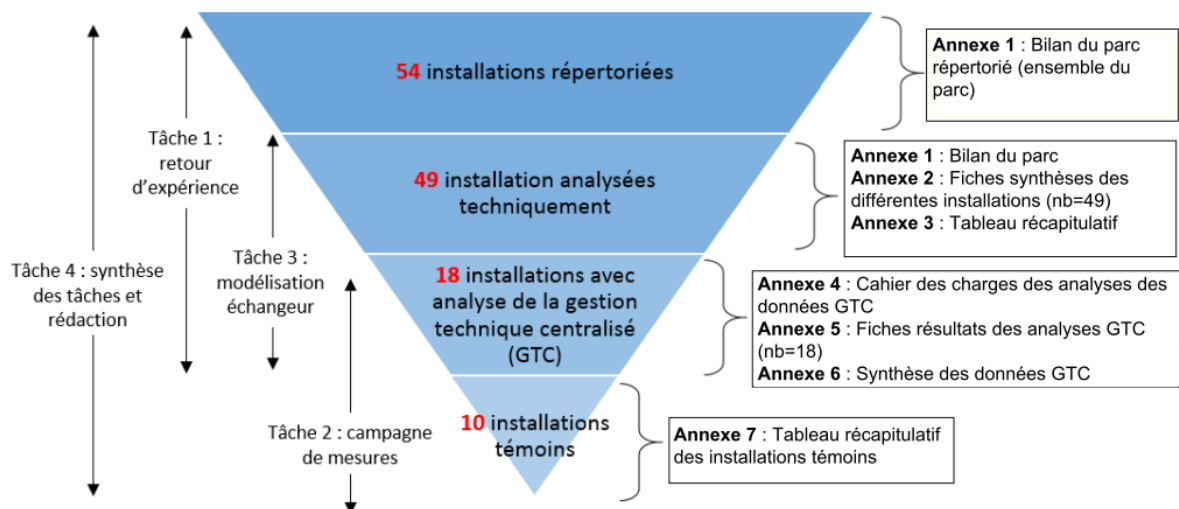
Une méthode de désinfection au dioxyde de chlore a été mise en œuvre avec des injecteurs automatique simples à mettre en œuvre.

- UK :

Les chocs thermiques et les chocs chimiques sont préconisés.

5. Méthodologie

La méthodologie proposée est décrite sur le schéma suivant :



228 établissements de santé ont reçu des aides de l'ADEME entre 2011 et 2016 (neufs et existants confondus) pour la mise en place d'une installation solaire thermique collective. Le périmètre de réalisation de du projet LEGIOSOL a permis le recueil de données précises et exploitables pour **54** établissements et parmi ceux-ci **49** ont fait l'objet d'une analyse plus poussée.

Enfin, nous avons pu récupérer des données horaires issues des gestions techniques centralisées pour **18** établissements, et une campagne de prélèvements bactériologiques a eu lieu sur **10** établissements témoins.

Les analyses des données disponibles sur ces établissements ont donné lieu à l'élaboration de nombreux documents disponibles en annexes, récapitulant les points clefs.

II. TACHE 1 : EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE DES INSTALLATIONS SOLAIRES EN « EAU SANITAIRE »

1. Recensement des installations solaires thermiques en établissement de santé

Le tableau suivant présente la répartition des établissements de santé étudié selon différentes caractéristiques :

EHPAD/CH	EHPAD (63%)		Centre Hospitalier (37%)					Total
	34	20						54
Mise en service	Avant 2000 (10%)	2000-2005 (10%)	2005-2010 (30%)	Après 2010 (50%)				
	5	5	16	25				51
Schéma hydraulique	Eau technique (37%)		Eau sanitaire (63%)					
	18	31						49
Région	AURA (20%)	OCC (54%)	PACA (4%)	PDL (9%)	AQU (9%)	IDF (2%)	GEST (2%)	
	11	29	2	5	5	1	1	54
Source	ADEME (35%)	DALKIA (10%)	TECSOL (55%)					
	19	5	30					54
Données GTC	Oui (61%)		Non (39%)					
	30	19						49

La répartition géographique se fait principalement en fonction des sources, ce qui explique le nombre important d'établissements en Auvergne-Rhône-Alpes et en Occitanie (implantation de TECSOL). On note que 80% des installations solaires ont été mises en service après 2005.

Enfin, on remarquera que 30 installations solaires sont équipées d'une GTC, alors que seulement 18 ont pu être analysées en détail. **En effet, les données peuvent être non exploitées, et parfois inexploitable (données mal enregistrées, codes d'accès indisponible, exportation impossible etc...), rendant ainsi inutile l'investissement initial lié au système de télésuivi.**

Une comparaison entre les caractéristiques des systèmes en eau technique et des systèmes en eau sanitaire nous semble pertinente :

	Installations en hôpital/clinique	Installations en EHPAD/foyer	Mise en service de la première installation répertoriée	Mise en service de la dernière installation répertoriée
Sanitaire	5 (16%)	26 (84%)	2000	2014
Eau technique	11 (61%)	7 (39%)	2006	2014

Ce tableau nous montre la prépondérance de l'eau technique après 2006, ce qui correspond à la mise en application des préconisations de la circulaire du 28 octobre 2005.

On observe l'absence d'installations récentes, ce qui est cohérent avec le contexte du marché du solaire thermique en France ces dernières années. On note en effet seulement 20 établissements ayant reçus une aide de l'ADEME pour la mise en place d'une installation solaire thermique entre 2015 et 2016 (dont seulement 5 en 2016) (Source : ADEME).

Surface de captation				
	Eau technique		Eau sanitaire	
	Surface de capteur (m ²)	Volume stockage (L)	Surface de capteur (m ²)	Volume stockage (L)
moyenne	141	7 229	74	3 890
mini	22	2 500	17	1 500
max	400	16 000	140	10 000

Ce second tableau permet de comparer les caractéristiques techniques des installations solaires : les hôpitaux sont généralement des établissements avec de gros besoins en ECS, la surface de capteurs et le volume de stockage solaire sont donc en moyenne plus élevés en comparaison d'établissements de type EHPAD ou foyers de vie.

Nous pouvons émettre l'hypothèse que la présence de volumes de stockages plus importants favorise la prudence vis-à-vis du risque bactériologique et donc le recours à l'utilisation de l'eau technique afin de potentiellement limiter ces risques.

A retenir :

- 30 GTC, mais **seulement 18 dont les données sont disponibles** et exploitables. Problème : GTC inexploitées et parfois inexploitable.
- 80% des installations conçues après 2005.
- Répartition géographique en fonction des sources (TECSOL, ADEME) mais représentant bien les régions dynamiques.
- **Eau technique à partir de 2006** (suite à la circulaire de 2005).
- Pas d'installation récente (la plus récente date de 2014) : **assez cohérent avec le contexte du marché** du solaire thermique en France
- Système en eau technique privilégié pour les stockages importants (risque sanitaire plus grand et moyens économiques plus importants).
- Constat d'un impact certain de la circulaire de 2005 et de la communication des ARS sur le sujet.

2. Analyses bactériologiques sur 10 installations

Objectifs : parfaire l'analyse qualitative et alimenter en données la modélisation avec des données réelles.

➤ Critères de sélection :

- Une durée de fonctionnement suffisante (GPA terminée par exemple) pour avoir le recul nécessaire à une analyse significative
- Une localisation permettant de faciliter la mise en place des instruments de mesure
- Si possible des installations déjà équipées de système de mesure
- Un interlocuteur motivé

Par ailleurs, il a été précisé de ne pas oublier d'inclure les installations dont le schéma hydraulique ne fait pas partie de la bibliothèque SOCOL.

- Répartition 50/50 entre schéma « eau technique » et schéma « eau sanitaire »
- Répartition géographique (PDL : 3, AURA : 3, OCC : 4)
- Priorité aux installations équipées de métrologie (6/10)
- Priorité aux installations faisant l'objet d'un contrat d'entretien (8/10)
- Priorité aux installations pour lesquels une présence légionelles a été avérée (2/10)

➤ Méthodologie :

4 points de puisage ont été retenus pour les prélèvements :

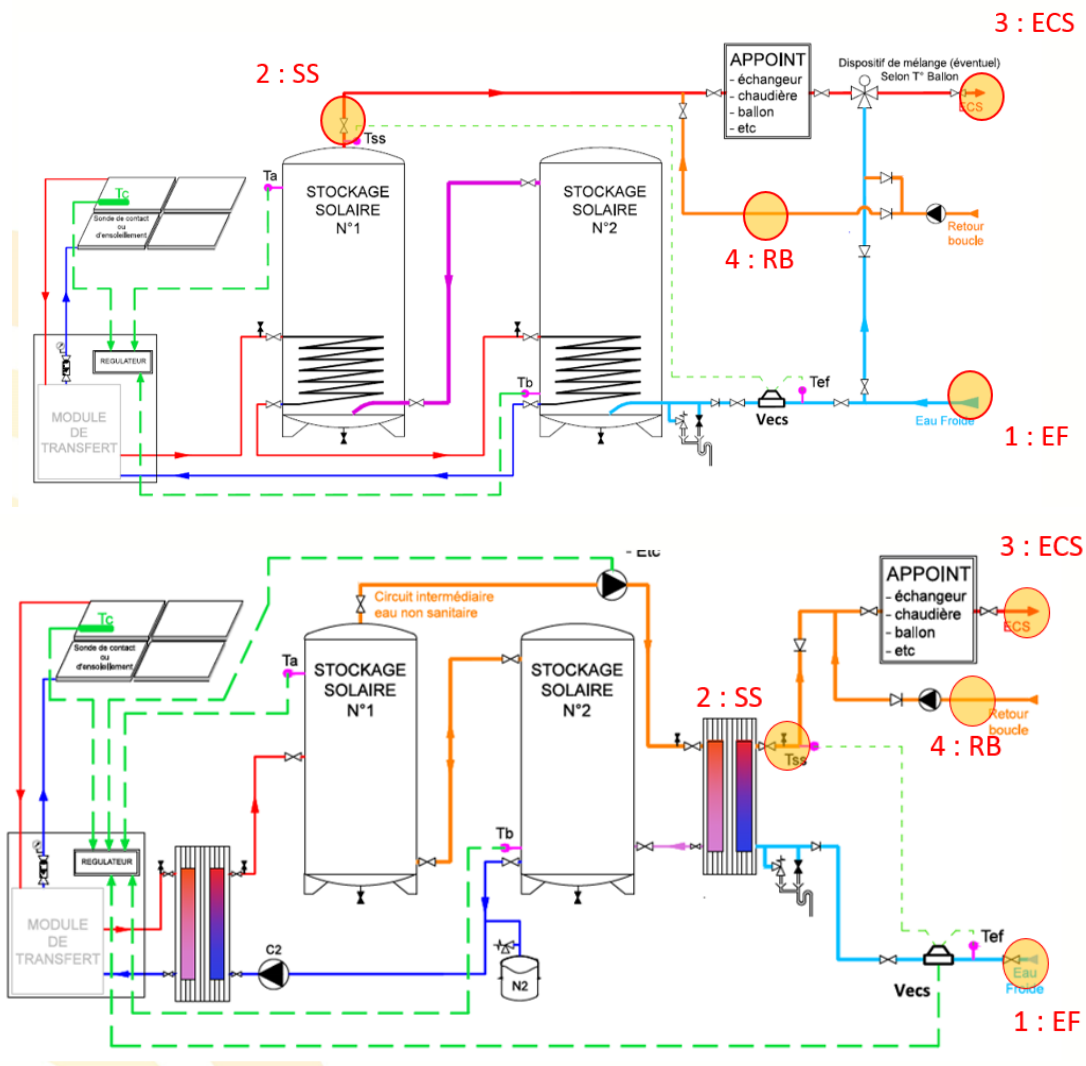
- 1 : arrivée d'eau froide (EF)
- 2 : sortie solaire (SS)
- 3 : départ eau chaude sanitaire (ECS)
- 4 : retour de boucle (RB)

Le point 1 de prélèvement est choisi sur l'arrivée d'eau froide afin d'étudier la potentialité de présence de bactéries en amont de l'installation solaire.

Les points 3 et 4 sont des points pour lesquels un contrôle annuel est obligatoire en établissement de santé d'après l'arrêté de février 2010.

Le point 2 a été choisi en sortie de la production solaire alors que la partie basse du ballon de stockage solaire aurait pu être intéressante. Cependant, pour conserver une cohérence entre les installations de type « sanitaire » et de type « eau technique », la sortie de production solaire semble plus pertinente.

Ces quatre points sont repérés sur les deux schémas suivants (eau sanitaire et eau technique) :



➤ Résultats :

	Site	date prélèvement	Legionella pneumophila			
			1	2	3	4
1	EHPAD La Maison du Repos	27/09/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
2	Cité Sanitaire Nazarienne	09/10/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
3	EHPAD Sainte-Anne	18/10/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	10 UFC.L ⁻¹
4	CH Dieulefit	24/10/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
5	EHPAD Marie Romier	30/10/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
6	EHPAD André Chenier	20/11/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
7	Hôpital Carcassonne	11/12/2017	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
8	EHPAD Le Village	31/05/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
9	EHPAD Marie Romier	24/07/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
10	Centre Hospitalier Sainte-Marie	30/07/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
11	Foyer de vie le Hameau du lac	02/08/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
12	EHPAD André Chenier	08/08/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
13	EHPAD La Maison du Repos	27/08/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹
14	EHPAD Le Village	30/08/2018	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹	<10 UFC.L ⁻¹

*En rouge : période avec le chauffage allumé, en bleu : période avec le chauffage éteint.

A retenir :

- Sur 75 prélèvements, légionelles détectées **1 fois sur la distribution et 0 fois sur la production.**
- **Pas de détection de légionelles sur la partie solaire.**
- Cet échantillon n'est pas significatif en nombre pour avoir une valeur statistique ; une approche statistique plus vaste serait plus représentative mais beaucoup plus conséquente en termes de budget ; des données existent sur les analyses de prélèvement mais aucune analyse de celles-ci n'existe actuellement au sein des ARS (*source : ARS Occitanie, 2016*). La remontée de ces informations n'étant pas centralisée et informatisée, ce travail apparaît très difficile.
Les exploitants consultés lors de ce travail n'ont pas souhaité participer au traitement de leurs données, l'inventaire des installations de production d'ECS équipées ou non de solaire solaires n'étant pas bien établi et le lien avec un carnet de santé sanitaire difficile à réaliser selon leurs dires. Des raisons d'anonymat ont été également soulevées, malgré la garantie apportée par les auteurs de l'étude et l'ADEME sur le sujet.

3. Analyse technique des installations

Sur les critères favorisant la prolifération, **3 sont étudiés** :

- **Présence de zones mortes** : présence de zones où l'eau n'est pas en mouvement. Par exemple, haut et bas des ballons de stockage, bras mort etc...
- **Température favorisant la prolifération** : température comprise entre 25°C et 60°C favorisant la prolifération des bactéries, notamment dans la boucle de distribution.
- **Mauvais fonctionnement de l'installation solaire** : vérification du fonctionnement des installations du parc en comparant leurs performances avec les performances théoriques calculées par le logiciel SOLO. De mauvaises performances pourraient en effet favoriser la prolifération.

On rappelle que la température n'est qu'UN des facteurs dans le développement de légionelles.

a. Critère : présence de zones mortes

Pour ce critère, le schéma hydraulique sera principalement étudié :

- La hauteur des piquages du (ou des) ballon(s) permet-elle le renouvellement complet de ce dernier ?
- Présence de déflecteurs permettant d'utiliser la totalité du stockage ?
- Distance entre la sortie solaire et l'appoint où l'eau qui circule est préchauffée (même en eau technique) ?

Une analyse précise du schéma hydraulique a été faite pour **19 installations solaires** :

Hauteurs des piquages	Favorables au renouvellement (33%)	Défavorables au renouvellement (67%)		Total
	6	12		
Déflecteurs	Présents (26%)	Absents (74%)		19
	5	14		
Distance solaire/appoint (m)	Moyenne	Min	Max	19
	6	1	15	

La présence de « zones mortes » est observée dans la majorité des installations solaires répertoriées. **Les règles de bonnes pratiques de conception ne sont pas toujours respectées !**

b. Critère : température favorisant la prolifération

Les températures du circuit de distribution ont été étudiées, plus particulièrement la température de consigne de départ ECS ainsi que la température du retour de boucle.

La réglementation stipule que la **température de départ doit être supérieure à 55°C** et que la différence de température entre le départ et le retour doit être **inférieure à 5°C**.

Les températures clefs ont pu être relevées sur **15 installations solaires** :

T bouclage (°C)	>50°C (77%)	<50°C (23%)	Total
	10	3	13
T ECS (°C)	>55°C (93%)	<55°C (7%)	
	14	1	15

Les températures respectent dans la majorité des cas (77%) les contraintes réglementaires. Cette considération reste cependant incomplète car les valeurs étudiées sont des valeurs instantanées et ainsi il n'est pas possible d'affirmer que la totalité du volume d'eau stockée monte en température.

Les règles de bonnes pratiques préconisent de se situer 5°C au-dessus de la réglementation afin de s'assurer la température exigée soit atteinte en continu.

T bouclage (°C)	>55°C (54%)	<55°C (46%)	Total
	7	6	13
T ECS (°C)	>60°C (60%)	<60°C (40%)	
	9	6	15

40% des installations solaire ne respectent pas la marge de sécurité de 5°C par rapport à la réglementation.

Le facteur de température est simple à gérer, aussi bien pour des installations solaires neuves ou existantes.

Les règles de bonnes pratiques semblent donc **simples à mettre en œuvre en rehaussant de quelques degrés la consigne dans le ballon d'appoint.**

A noter que la température de distribution est complètement indépendante du solaire.

c. Critère : mauvais fonctionnement de l'installation solaire

Les performances réelles des installations solaires sont comparées aux performances théoriques dépendantes de la situation géographique, de l'orientation des capteurs et des caractéristiques techniques du matériel.

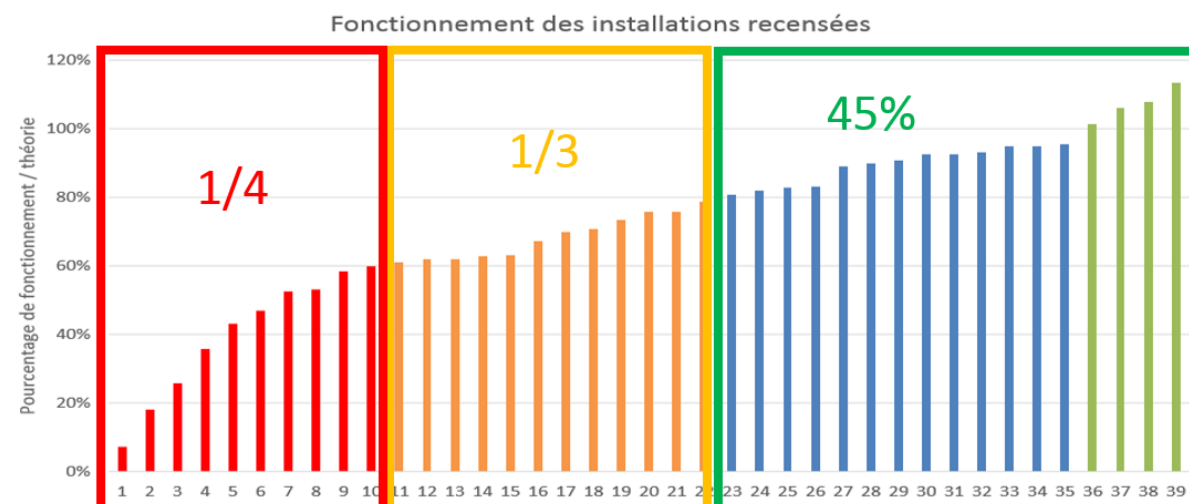
La comparaison est basée sur la notion de productivité, qui est le rapport de l'énergie solaire utile fournie et de la surface de captation. Cette notion nous permet de comparer les différentes installations solaires entre elles.

Pour ce critère, le fonctionnement des installations solaires est étudié à l'aune des indicateurs suivants :

- **Ecart de productivité** avec le calcul théorique réalisé à l'aide du logiciel SOLO 2018 (une productivité à 80% de la théorie est considérée comme une bonne performance) ;
- **Le renouvellement journalier du ballon de stockage** solaire (une consommation d'eau chaude trop inférieure au stockage favorise la stagnation de l'eau dans le ballon et donc les risques de prolifération) ;
- **Le taux de couverture théorique maximum** de l'installation solaire (calculé à partir du logiciel SOLO 2018 qui permet de modéliser une installation en eau) atteint en été (un taux de couverture théorique supérieur à 90% est fortement déconseillé car il existe un fort risque de surchauffe et donc de détérioration accélérée de l'installation et plus particulièrement des organes hydrauliques du circuit primaire de l'installation solaire).

La valeur de la productivité moyenne a pu être calculée pour **39 installations solaires** :

Performances / référence SOLO (%)	< 60 % (mauvais)	60 % - 80 % (moyen)	80 % -100 % (bon)	> 100 % (très bon)	Total
	10	12	13	4	39



Des disparités importantes dans le fonctionnement des installations solaires sont constatées.

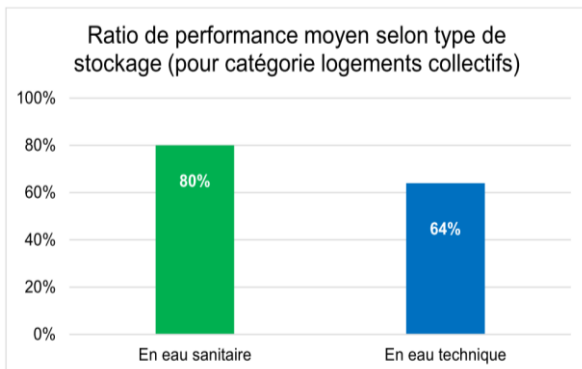
Plus de la moitié de ces installations présentent des résultats témoignant d'un fonctionnement mauvais à moyen.

Ainsi, nous pouvons supposer que ces défaillances de fonctionnement sont synonymes de température de stockage d'eau chaude sanitaire à des températures risquant d'être favorables à la prolifération des bactéries.

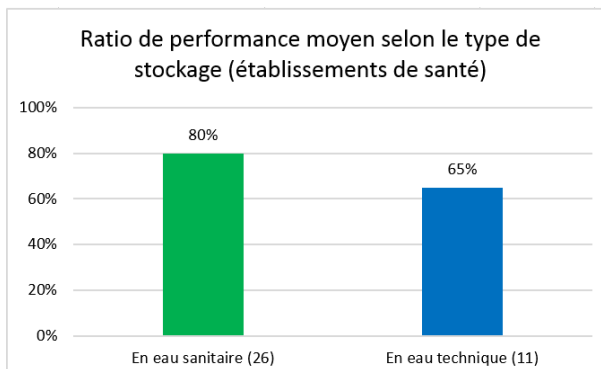
Pour les installations solaires ne fonctionnant pas du tout (<20%), il est évident qu'elle présente un important volume d'eau froide inutile qui augmente assurément le risque sanitaire.

L'INES a réalisé une étude similaire en comparant les performances en fonction du type de stockage (eau sanitaire ou eau technique) pour des installations sur des logements collectifs. Les résultats sont donnés sur le graphique de gauche.

Nous avons tracé les données sous la même forme et sur notre échantillon (37 installations comptabilisées), **nous obtenons des résultats quasiment identiques** (graphique de droite). Dans notre étude, les deux installations ne fonctionnant pas du tout (ratio inférieur à 20%) ont été écartées.



Issu du rapport d'analyse du dispositif téléSuiWeb, INES, décembre 2016



Issu des données des installations recensées dans LEGIOSOL, septembre 2018

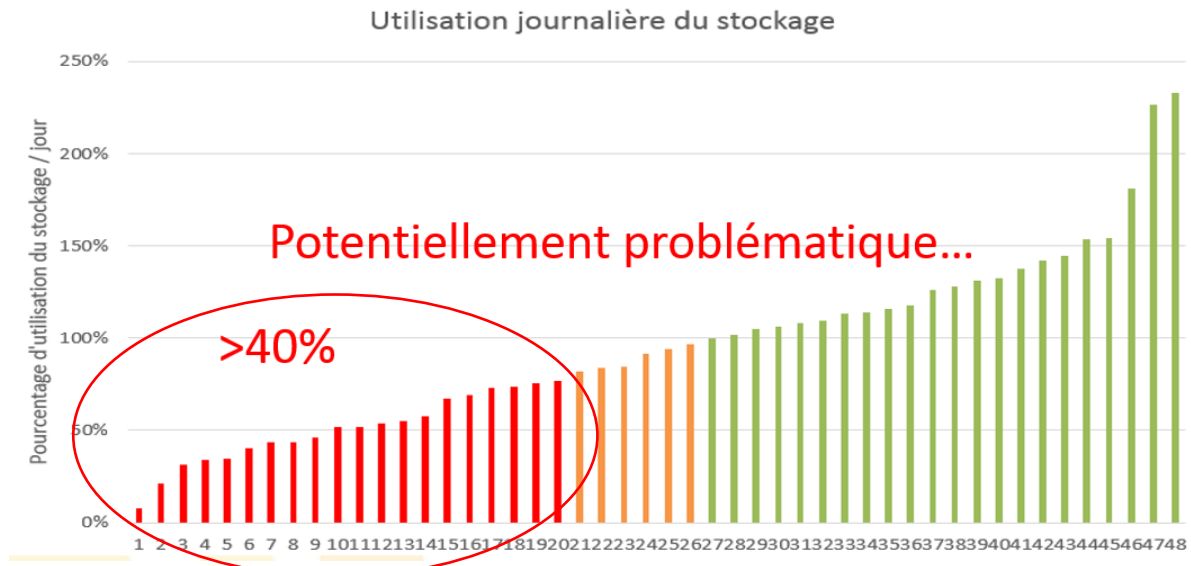
Ces deux graphiques témoignent d'une différence de performance entre le stockage sanitaire et le stockage en eau technique. Une partie de cette différence peut s'expliquer par les pertes induites par l'échangeur sur l'eau technique. Cependant, la nette différence ne semble pouvoir s'expliquer seulement par le rendement de cet échangeur.

Se pourrait-il que la réalisation d'installations en eau technique soit moins bien maîtrisée que celle d'installation en eau sanitaire ?

Nous nous efforcerons par la suite de proposer des préconisations afin de réduire cet écart.

La consommation journalière a pu être relevée pour **48 installations solaires** :

Renouvellement du stockage (Ratio Consommation journalière / Volume stockage)	< 80 %	80 % - 100 %	> 100 %	Total
	20	6	22	48



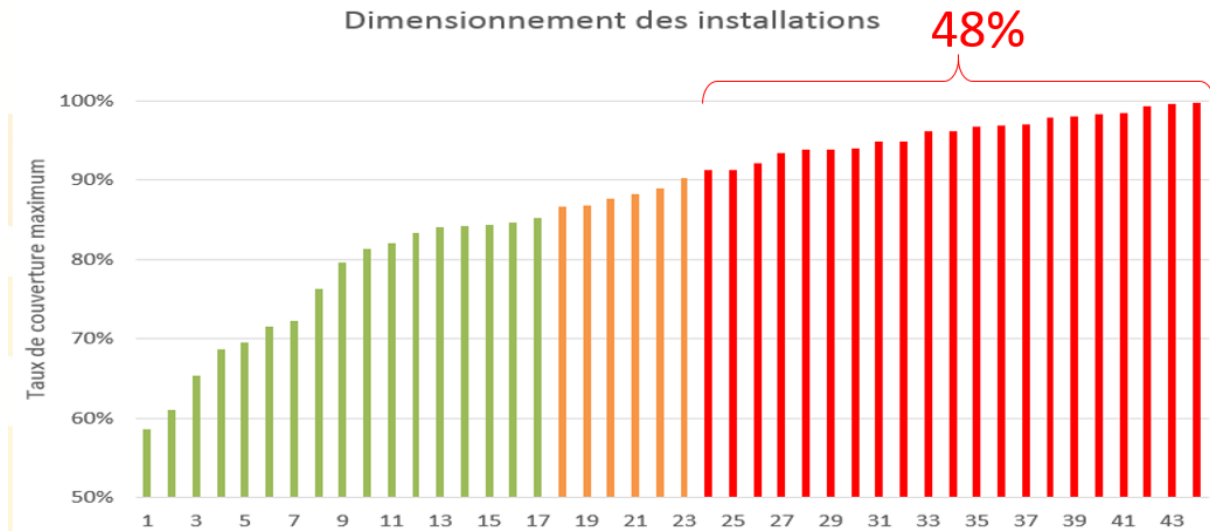
Pour 40% des installations, moins de 80% du stockage solaire est utilisé chaque jour. Les règles de bonnes pratiques préconisent de dimensionner le stockage à environ 80% de la consommation journalière, ce qui n'est donc en pratique pas toujours respecté.

La cause principale de ce défaut de dimensionnement du volume de stockage pourrait être la mauvaise évaluation des consommations journalières.

Nous préconisons de communiquer encore davantage les ratios de consommations journalières conseillés par SOCOL.

La vérification du bon dimensionnement a pu être faite pour **44 installations solaires** :

Taux de couverture max (d'après SOLO)	60 % - 85 %	85 % - 90 %	> 90 %	Total
	17	6	21	44



Nous observons que **48% des installations solaires sont surdimensionnées** par rapports à leurs consommations réelles en ECS.

Nous rappelons que paradoxalement, le surdimensionnement aggrave le risque sanitaire puisque sur le long terme cela augmente la probabilité d'avoir des installations fuyardes, en dysfonctionnement et donc avec **un ballon qui monte moins en température.**

d. Corrélation entre les mesures bactériologiques et l'analyse technique

Enfin, la dernière étape de cette analyse est de mettre en relation les installations solaires pour lesquelles **une occurrence légionelles a été détectée** (soit au cours de la campagne de mesures, soit pendant les trois dernières années) avec les différents critères d'analyse technique évoqués ci-dessus.

Nous avons considéré ici comme **occurrence légionelles** un dépassement avéré, ponctuel ou non, du seuil limite de l'arrêté de février 2010, soit **1000 UFC/L** (unité formant colonie par litre).

Installation	Détection sur le circuit de distribution	Détection sur le préchauffage	Carnet sanitaire consultable	Schéma hydraulique
EHPAD Marie Romier, La Talaudière	X	O	O	Sanitaire
EHPAD Saint Anne, les Lucs sur Boulogne	O	X	O	Sanitaire
Centre Pech d'Alcy, Narbonne	O	X	X	Eau technique
Hopital Bel air, Corcoué sur Logne	O	O	X	Eau technique
Dieulefit santé, Dieulefit	X	O	O	Eau technique

O : Oui, X : Non

Une enquête a été menée sous différentes formes pour obtenir cette information : prélèvement bactériologique, visite d'établissement, téléphone, mail... Nous avons récupéré quand cela était possible **les carnets sanitaires** avec le détail du suivi bactériologique.

Sur 34 établissements interrogés, nous avons obtenu 25 réponses dont 7 pour lesquels nous avons eu accès aux carnets sanitaires.

Au moins une occurrence légionelles a été recensée pour **5 établissements dont 3 avec un schéma hydraulique en eau technique**. Le tableau suivant reprend les critères étudiés précédemment pour ces 5 établissements en particulier.

A noter que les exploitants interrogés ont annoncé au groupe de travail des épisodes de Légionelles (traces) à hauteur de 30% environ des installations suivies. Cette occurrence se rapproche de celle enregistrée sur les installations solaires suivies.

Installation	Présence de zones mortes		Température favorisant la prolifération (sur départ ECS et retour de boucle)	Mauvais fonctionnement des installations	
	Défecteurs	Piquage bien positionnés (pas de zones mortes) *		Performances satisfaisantes	Renouvellement du ballon
EHPAD Marie Romier, La talaudière	X	X (3m)	O	O	X (77%)
EHPAD Saint Anne, les Lucs sur Boulogne	O	X (15m)	X	O	X (76%)
Centre Pech d'Alcy, Narbonne	X	X (5m)	O	/	(Eau technique)
Hopital Bel air, Corcoué sur Logne	O	X (1m)	X	/	(Eau technique)
Dieulefit santé, Dieulefit	O	O (7m)	X	X	(Eau technique)

O : Défavorisant la prolifération, X : Favorisant la prolifération, *entre parenthèses : distance solaire-appoint donnée à titre indicatif

Nous observons que pour chacune de ces 5 installations solaires **les règles de bonnes pratiques ne sont pas respectées sur au moins deux des critères étudiés** précédemment. (Pour l'eau technique, le renouvellement du ballon solaire n'a pas d'incidence sur le développement de bactéries puisque le stockage n'est pas en contact avec la distribution. Cependant, un ballon de stockage plus gros coûte plus cher.)

Il semble donc évident que les bonnes pratiques, tant au niveau de la production sanitaire « classique » qu'au niveau de la production solaire, sont à rappeler.

A retenir :

- Présence de zones mortes pour la majorité des installations (piquages mal positionnés et absence de déflecteur).
- Températures de bouclage trop faibles pour limiter la prolifération de bactéries.
- **45%** des installations en bon état de marche.
- **42%** des installations où l'eau du stockage n'est pas renouvelée de façon journalière : stagnation de l'eau.
- Légionelles détectées dans 5 installations, dont **3 en eau technique** (sur chaque installation, au moins 2 préconisations ne sont pas respectées).
- Légionelles détectées 2 fois sur 5 dans le circuit de distribution et pas la production solaire
- Une installation présente une présence de la bactérie sur le préchauffage solaire uniquement
- Installations surdimensionnées dans près de 50% des cas (plus particulièrement en volume, un surdimensionnement en surface de capteurs engendrera potentiellement d'autres problèmes).

=> Les préconisations existantes ne sont pas correctement respectées

- Une piste pour limiter le risque légionelles dans les installations ne respectant pas les préconisations existantes pourrait être de maintenir la température de l'appoint à 70°C au lieu de 60°C. Une analyse technico-économique de cette solution est proposée au paragraphe II.6.

4. Analyse statistique des données issues des systèmes de Gestion Technique Centralisée (GTC)

Nous avons pu exploiter les données de fonctionnement de 18 installations. A travers ces données, nous avons proposé une analyse des températures de fonctionnement.

a. Protocole d'analyse

Données :

Les données disponibles par l'intermédiaire des GTC sont les suivantes :

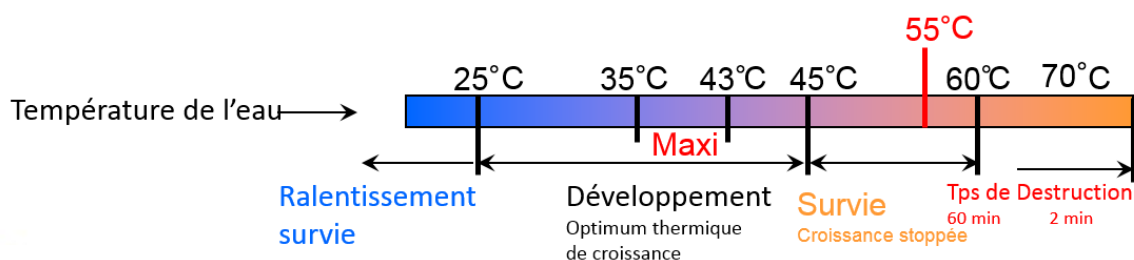
- TSC** : température sortie capteur (°C)
- TBBS** : température du bas du ballon solaire (°C)
- TEF** : température eau froide (°C)
- TSA** : température sortie appoint (°C)
- HI_i** : ensoleillement reçu (W/m²)
- Esol_i** : énergie solaire utilisée (kW/10min)
- EApp_i** : énergie appoint utilisée (kW/10min)
- CESC_i** : débit ECS (L/10min)
- DPP_i** : débit pompe primaire (L/10min)
- DPS_i** : débit pompe secondaire (L/10min)

En plus pour les installations en eau technique :

- TSS** : température sortie solaire (sortie ballon stockage) (°C)

Méthodologie :

Quatre plages de température ont été identifiées dans cette étude, selon la probabilité d'un développement de légionelles. Ces plages de températures, avec les marges nécessaires prises par la réglementation, sont données sur le schéma suivant :



Nous distinguons donc les plages :

- <25°C : pas de développement de légionelles
- 25°C-45°C : prolifération des légionelles
- 45°C-60°C : survie des légionelles si existantes
- >60°C : destruction des légionelles si exposition suffisamment longue

Par ailleurs, la réglementation identifie trois températures particulières :

- 55°C : température minimum du ballon d'appoint
- 60°C : destruction des légionelles si exposition pendant plus de 60min (quotidiennement)
- 70°C : destruction des bactéries si exposition pendant plus de 2min (quotidiennement)

Le tableau de la page suivante résume les différentes études statistiques intéressantes à mener dans le cadre du projet LEGIOSOL à partir de ces données.

Etude	Donnée utilisée	Détail	Objectif
Stockage en eau technique et en eau sanitaire			
Analyse globale des plages de températures	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage du nombre d'occurrence par plage de températures établies et calcul du pourcentage de temps passé dans chaque plage.	Avoir une idée sur l'ensemble des données du temps passé dans les différentes plages de températures identifiées.
Analyse annuelle des plages de températures	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage du nombre d'occurrence par plage de températures établies et calcul du pourcentage de temps passé dans chaque plage en fonction des années, puis tracé des plages (pourcentage en fonction de l'année).	Détecter un dysfonctionnement prolongé de l'installation. Vérifier une dégradation des performances au cours de sa durée de vie
Analyse mensuelle des plages de températures	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage du nombre d'occurrence par plage de températures établies et calcul du pourcentage de temps passé dans chaque plage en fonction du mois toute années confondues, puis tracé des plages (pourcentage en fonction du mois).	Détecter les variations suivant les saisons, et identifier les périodes à risques
Nombre de jour passés au-dessus de 60°C pendant plus de 60min	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage par année du nombre de jour où l'on dépasse 60°C pendant plus de 60min consécutives.	Identifier combien de jour dans l'année les bactéries potentiellement présentes ne sont pas détruites thermiquement
Nombre de jour passés au-dessus de 70°C pendant 10min	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage par année du nombre de jour où l'on dépasse 70°C (deux points consécutifs).	
Nombre de jours à risque dans l'année	TBBS (ou TSS) et TSA	Comptage par année du nombre de jour où AUCUN des deux critères précédents n'est atteint ET où le ballon dépasse 25°C.	Identifier précisément combien de jour dans l'année la bactérie est susceptible de proliférer
Renouvellement du ballon solaire	CESC_i	Chercher le nombre de jour par mois où le ballon solaire n'est pas renouvelé, ie où la somme des débits sur la journée est inférieure au volume de stockage.	Identifier le nombre de risque où l'eau reste plus de 24h dans le ballon, et mettre en parallèle avec le nombre de jour à risque.
Profil journalier de la température en fonction du mois	TBBS (ou TSS) et TSA	Moyenne sur chaque plage horaire de 10min identique de la température, puis tracé en fonction de l'heure. Fait pour chaque mois.	Identifier précisément les moments à risques sur une journée, en fonction de la saison
Profil journalier du débit ECS	CESC_i	Moyenne sur chaque plage horaire de 10min identique du débit ECS, puis tracé en fonction de l'heure. Cela permet d'établir le profil de consommation.	-Mettre en parallèle le profil de consommation et le profil de température pour trouver des corrélations -Adapter au mieux la régulation
Débit de pointe	CESC_i	Chercher au sein de toutes les données le débit de pointe, ie le débit le plus important sur 10min.	Dimensionner au mieux les échangeurs avec une puissance adaptée

➤ Résultats

- Des données horaires sont disponibles et exploitables pour **18 sites** : 13 installations solaires en eau sanitaire et 5 installations solaires en eau technique.
- **10 critères** étudiés sur les installations solaires
- Possibilité de dégager **des tendances communes** à toutes les installations solaires notamment à l'aide de **5 critères** : analyses globales des plages de température, analyse mensuelle des plages de température, nombre de jours à risque dans l'année, nombre de jours où le ballon solaire n'est pas renouvelé, profil journalier de débit.

b. Analyses globales des plages de température

Eau sanitaire : moyenne toutes installations confondues (13) du temps passé dans chaque plage de température identifiée

	TSA				TBBS			
	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type
Temps passé <25°C	0%	0%	0%	0%	35%	14%	84%	22%
Temps passé entre 25°C et 45°C	2%	0%	7%	2%	32%	16%	54%	8%
Temps passé entre 45°C et 60°C	51%	2%	93%	36%	18%	0%	30%	9%
Temps passé >60°C	47%	0%	97%	37%	15%	0%	32%	10%

Temps passé <55°C	25%	0%	87%	31%
Temps passé >55°C	75%	13%	100%	31%

- ⇒ **TSA** : la moyenne du temps passé en dessous de 45°C est très faible (<2% à ± 0,55%), cela signifie que **le risque de développement de légionelle est faible voir négligeable** dans le cadre d'un fonctionnement normal. La dispersion est faible (écart type faible), ce qui indique que cela est constant sur toutes les installations répertoriées.
- ⇒ **En moyenne, 25% du temps la température en sortie de l'appoint est inférieure à 55°C, soit la température minimum réglementaire.**
- ⇒ Le temps est en moyenne équitablement répartis suivant les installations entre les plages 45°C-60°C et >60°C, avec cependant un écart type important. Nous avons remarqué que suivant les installations, la température du ballon d'appoint est soit à près de 100% entre 45°C et 60°C soit à près de 100% au-dessus de 60°C.
- ⇒ **TBBS** : pour le ballon solaire c'est complètement différent, en moyenne 32% (à ± 2%) du temps est passé dans la plage de prolifération contre 15% (à ± 2,5%) dans la plage >60°C. Cela signifie que **la température est favorable au développement des bactéries le double du temps par rapport à leur élimination.**
- ⇒ Cependant, les analyses de la partie suivante permettent de réduire ce temps de développement potentiel.
- ⇒ L'appoint est en aval du ballon solaire, donc les bactéries potentielles sont à priori éliminées au niveau de l'appoint si la température de ce dernier est correctement contrôlée. On en revient à une problématique légionnelle classique, indépendante du solaire

Eau technique : moyenne toutes installations confondues (5) du temps passé dans chaque plage de température identifiée

	TSA				TSS			
	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type
Temps passé <25°C	0%	0%	1%	0%	25%	0%	46%	23%
Temps passé entre 25°C et 45°C	1%	0%	2%	1%	48%	20%	100%	30%
Temps passé entre 45°C et 60°C	55%	4%	100%	44%	20%	0%	61%	23%
Temps passé >60°C	44%	0%	95%	44%	6%	0%	19%	8%

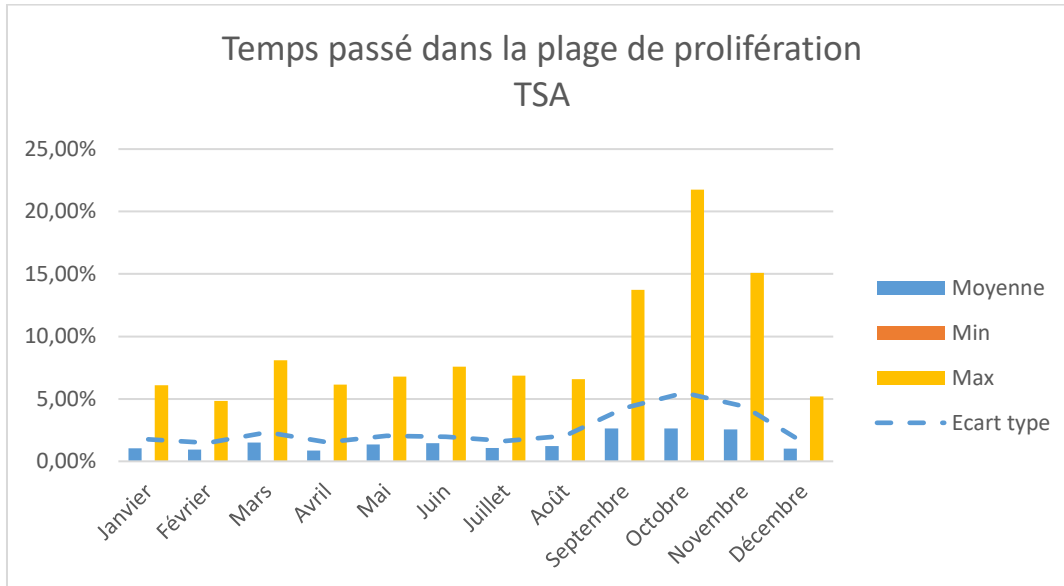
Temps passé <55°C	39%	1%	100%	41%
Temps passé >55°C	61%	0%	99%	41%

- ⇒ **TSA** : on retrouve à peu de choses près les mêmes résultats que pour l'eau sanitaire.
- ⇒ **TSS** : malgré l'eau technique, le développement de légionnelles est possible entre la sortie solaire et l'entrée de l'appoint. **Près de 50% (à ± 13%) du temps est passé dans la plage de prolifération en sortie solaire.** Cependant, comme précédemment, l'appoint est en aval de la sortie solaire et permettrait de traiter thermiquement les bactéries.

c. Analyses mensuelles des plages de température

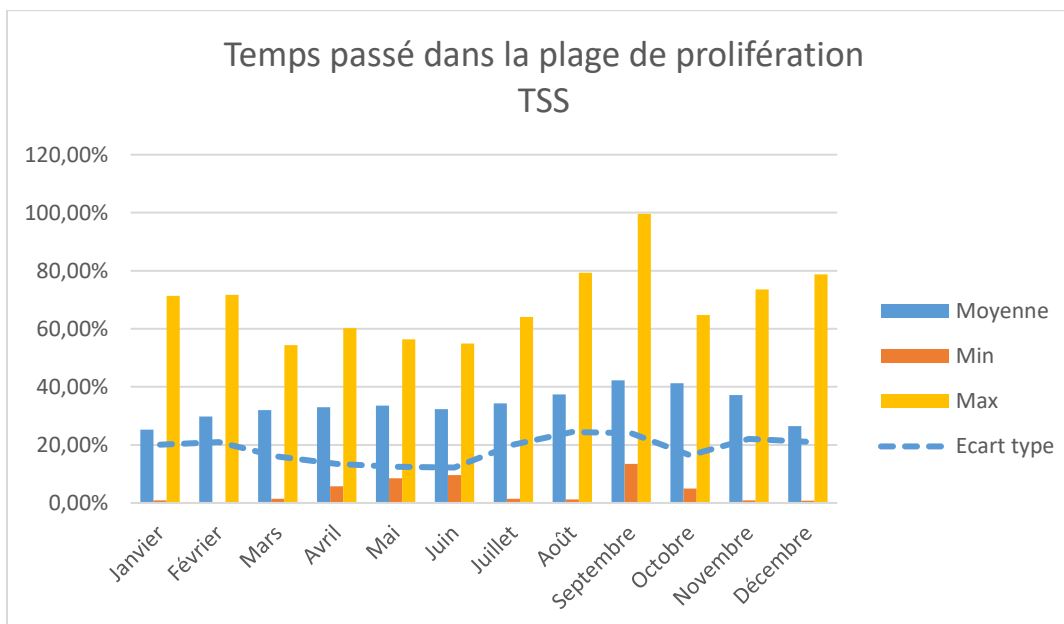
Moyenne du temps passé mensuellement dans la plage de prolifération toutes installations confondues (18).

Sont ajoutés les minimum et maximum pour chaque mois ainsi que l'écart type pour donner du sens aux données.



⇒ **Données appoint** : la période la plus à risque est **l'intersaison (septembre à octobre)**. Jusqu'à plus de 20% du temps passé dans la plage de prolifération est atteint en moyenne pour le mois d'octobre.

⇒ La température en sortie d'appoint est **en moyenne entre 0 et 3%** ($\pm 0,6\%$) du temps dans la plage de prolifération sur l'année ce qui est très faible.



⇒ **Données solaires** : les périodes à risques pour le développement légionnelle sont **les intersaisons (mars à mai et août à octobre)**. La température de sortie solaire est **en moyenne entre 20 et 40%** ($\pm 4,4\%$) du temps dans la plage de prolifération.

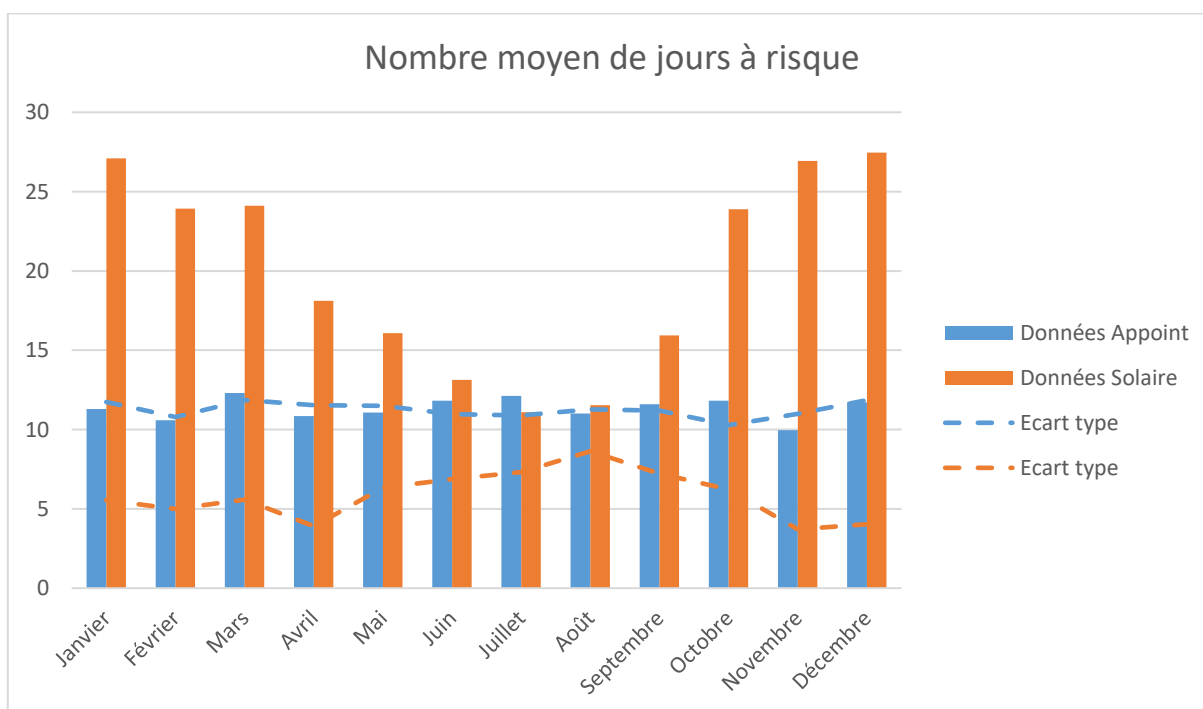
d. Nombre de jours à risque dans l'année et renouvellement du ballon solaire

Analyse annuelle : sur les 18 installations étudiées (stockage sanitaire ou eau technique), le nombre de jours à risque par an dans le ballon d'appoint et le ballon solaire est calculé ainsi que le nombre de jours par an où le ballon n'est pas renouvelé.

	TSA				TBBS				Renouvellement du ballon			
	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart Type
Nombre de jour à risque / an	130	0	340	128	230	80	328	60	189	8	355	126

- ⇒ **TSA : en moyenne 1 jour sur 3** est un jour à risque pour l'appoint. Cependant, au vu de la dispersion, cette moyenne n'est pas très représentative (130 jours/an à ± 30 jours). Dans les faits, on remarque que soit le risque est nul, soit il est présent plus de 130 jours/an.
- ⇒ **TBBS : en moyenne 2 jours sur 3** est un jour à risque. La dispersion est plus faible que pour l'appoint, cette valeur est plus représentative. En effet, on observe la plupart du temps des valeurs autour de 200 jours/an (230 jours/an à ± 14 jours).
- ⇒ **Renouvellement du ballon** : suivant les installations, le ballon de stockage est bien dimensionné ou non. En moyenne, le ballon est renouvelé **1 jour sur 2**, mais comme le montre l'écart type important la moyenne n'est pas représentatif. Le ballon est renouvelé tous les jours ou jamais.

Analyse mensuelle : l'analyse précédente est reprise mois par mois

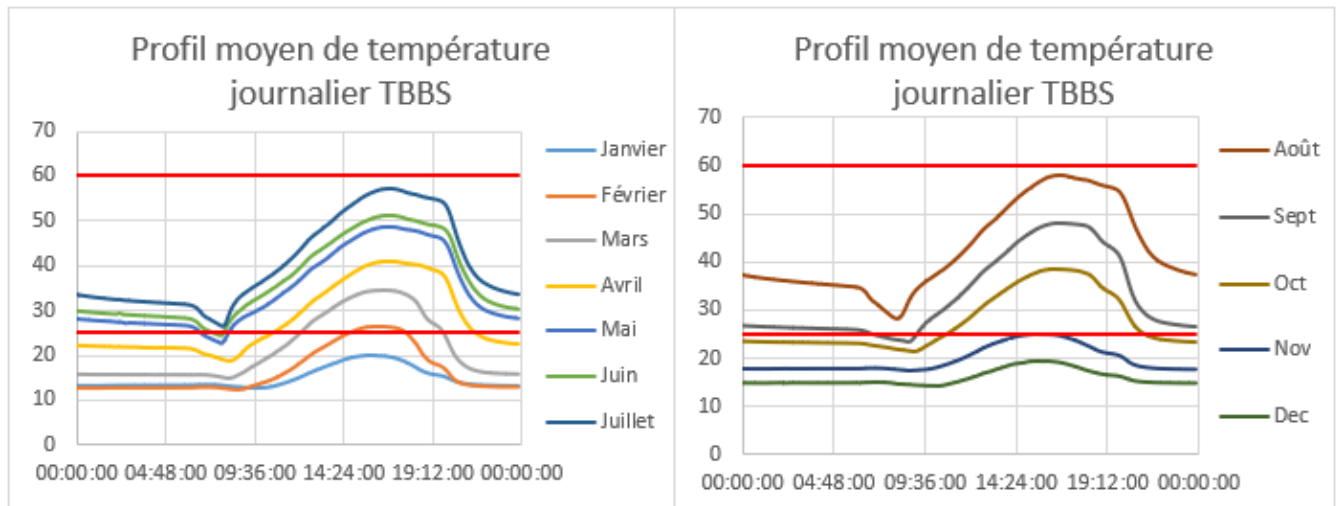


- ⇒ **TSA** : nombre de jours à risque autour de **10 par mois**, stable sur l'année.
- ⇒ **TBBS** : écarts importants suivant les saisons, de **10 jours par mois en été à 27 jours par mois en hiver**. Les risques sont divisés par 3 en été.

e. Profil journalier de température

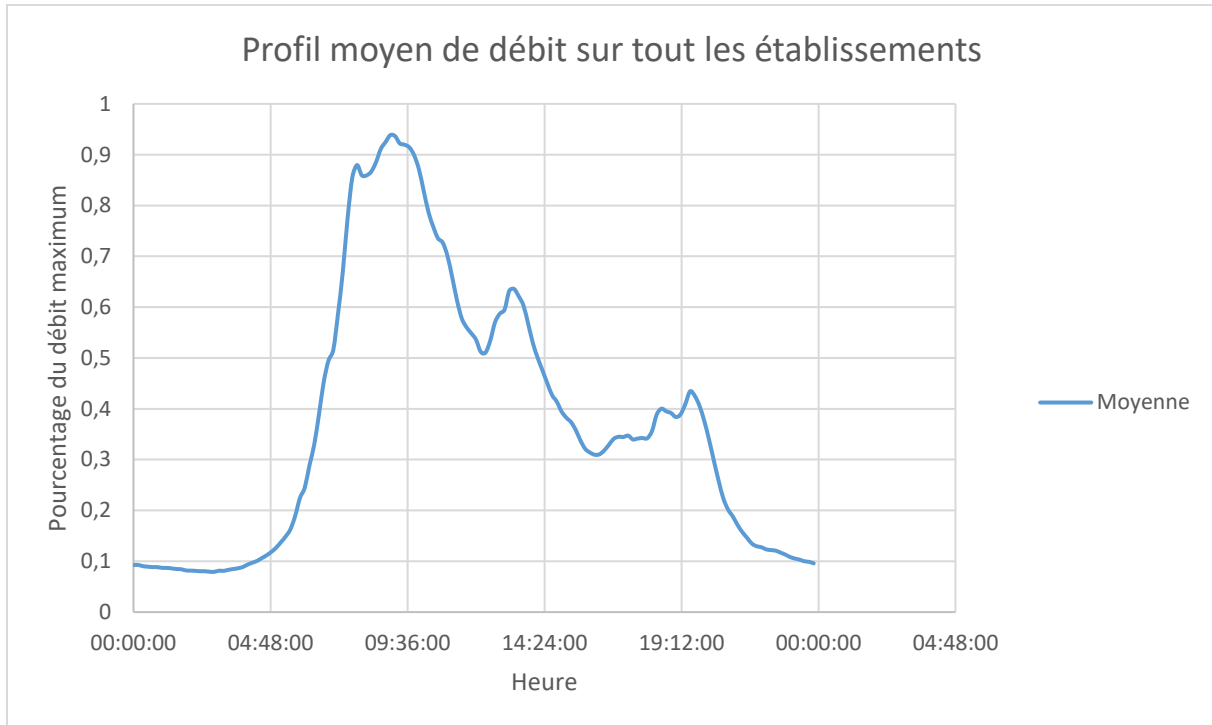
Le profil journalier de température dans le ballon solaire est souvent similaire d'une installation à l'autre :

- **Constant la nuit** (légèrement descendant si le ballon est mal calorifugé),
- **Une grosse baisse de température le matin**, lors des premiers puisages et en l'absence d'ensoleillement
- **Une remontée régulière jusqu'en fin d'après-midi.**



f. Profil journalier de débit

Les profils de débit sont également similaires d'une installation à l'autre : un gros puisage le matin puis deux puisages de moindre amplitude autour de midi et en début de soirée.



Le débit ECS est connu pour 16 établissements, dont 15 dont capacité d'accueil est connue. Ces données nous permettent de vérifier les valeurs de dimensionnement issues des fiches d'aide au dimensionnement SOCOL :

Type d'établissement	Consommation ECS (L/jour/lit)	Consommation théoriques SOCOL (L/jour/lit)
Moyenne conso EHPAD (10) :	46,07	15
Moyenne conso CH (5) :	35,25	25

Attention : les consommations théoriques issues des fiches SOCOL semblent fortement sous-estimées, ou du moins ne pas prendre en compte l'ensemble des puisages, notamment pour les EHPADs (restauration des résidents, blanchisserie etc...). Pour rappel, les principes de dimensionnement d'une installation solaire thermique sont les suivants : faire impérativement des mesures des besoins en ECS (demandé par l'ADEME en cas de subventions attribuées).

5. Travaux de modélisation des installations solaires en « eau sanitaire »

L'objectif de la modélisation est d'évaluer la fréquence d'apparition en zone critique du stockage solaire et en sortie du ballon chaud. Les résultats sont issus d'une analyse de température annuelle, mensuelle et journalière. Le renouvellement quotidien du stockage solaire a également été étudié. Les conclusions sont tirées en rapport de ces deux critères.

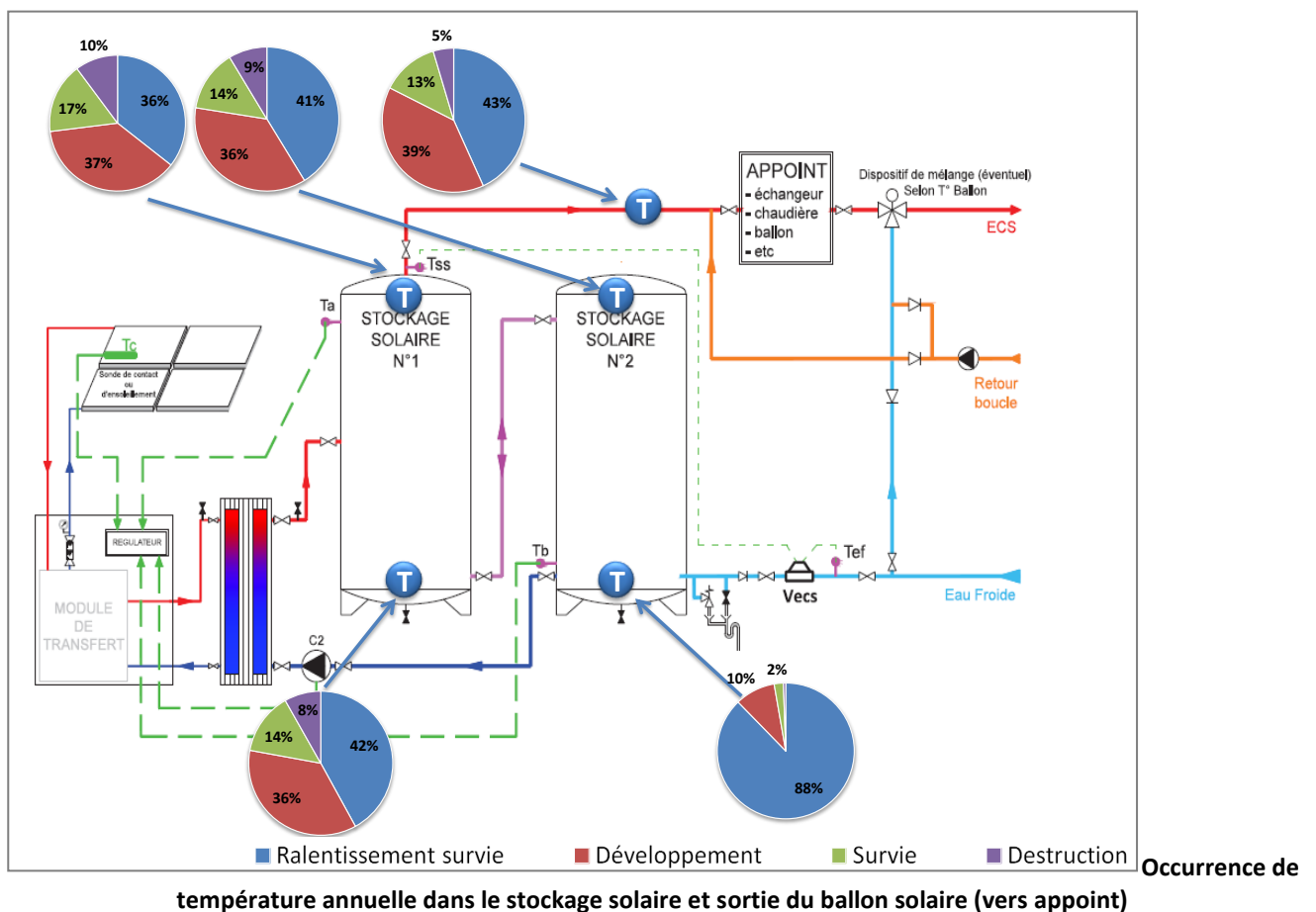
Deux configurations ont été simulées :

- CESC avec échangeur externe (CESC3 selon la nomenclature SOCOL)
- CESC avec échangeurs intégrés au stockage (CESC2 selon la nomenclature SOCOL)

a. 1^{ère} modélisation : CESC 3 – Eau sanitaire + échangeur externe

i. Analyse des températures à différents points du réseau

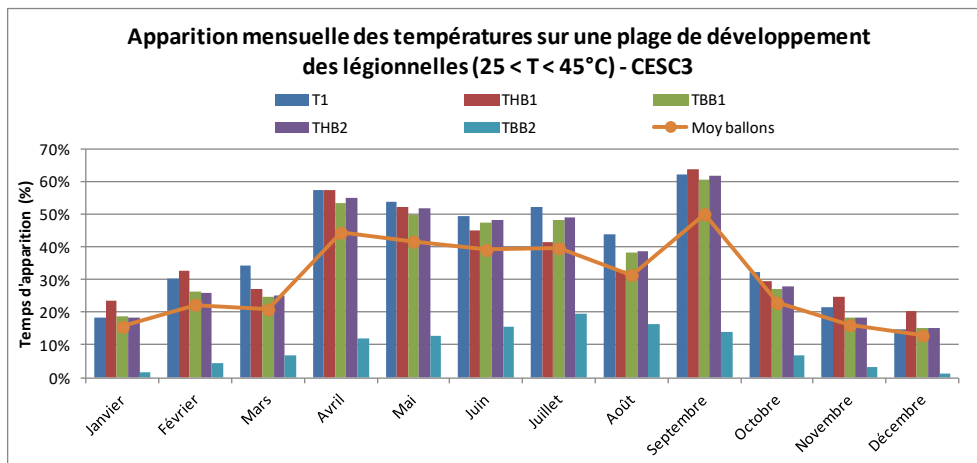
La première étape consiste à analyser annuellement la température moyenne d'une production solaire à différents points du système.



Sur l'année, la température dans le stockage solaire est 30% du temps (environ 110 jours/an) comprise dans la zone critique au développement des légionelles ($25^{\circ}\text{C} < \Delta T < 45^{\circ}\text{C}$).

Le temps de séjour dans la zone critique le plus conséquent s'est révélé être sur la canalisation en sortie du solaire (amont de l'appoint), dû aux pertes sur l'ambiance. **Cette canalisation doit faire l'objet de préconisations particulières (longueur, isolation, isolement...) afin de limiter le risque de développement des légionelles.**

La seconde étape consiste à analyser mensuellement les niveaux de température à différents points de l'installation et à identifier les périodes présentant le plus de risques de développement de légionelles.



T1 : Température en sortie solaire (vers appoint)

THB1 : Température en haut du ballon chaud

TBB1 : Température en bas du ballon chaud

THB2 : Température en haut du ballon froid

TBB2 : Température en bas du ballon froid

Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

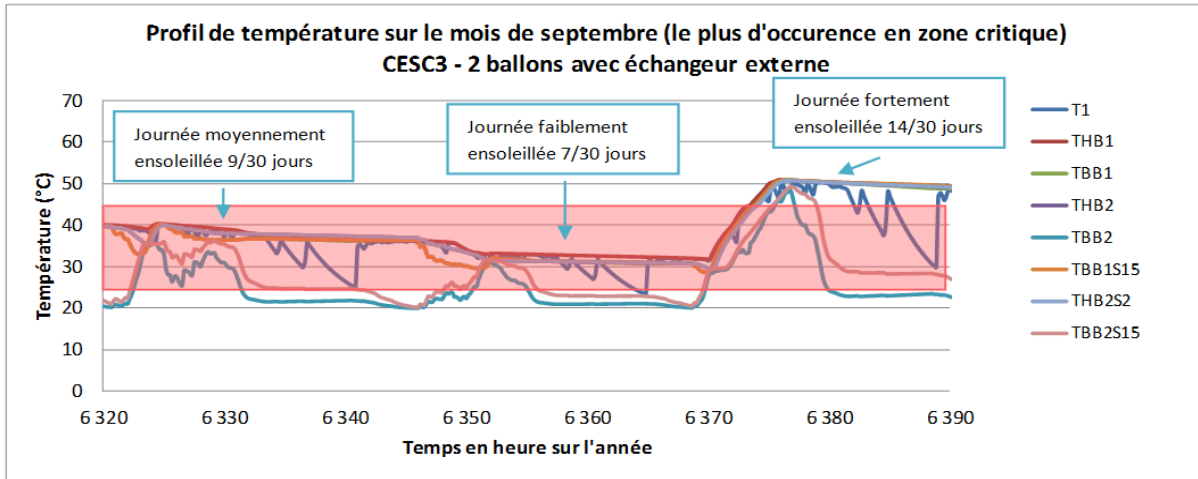
Entre avril à septembre, le niveau de température du stockage solaire se situe à 40% du temps dans la zone critique (avec un écart type de 10%).

On constate qu'en période hivernale, les temps de séjour dans la zone critique sont inférieurs à 20%, dus à une faible température d'eau de ville et un ensoleillement plus faible, limitant la montée en température du stockage solaire.

Ci-dessous, est représenté une analyse plus précise sur la période identifiée comme la plus critique, c'est-à-dire, septembre. L'objectif étant de corrélérer le niveau de température dans le stockage avec le nombre de jours sur cette période.

Les critères d'évaluation permettant de classer les journées faiblement ensoleillées et celles fortement ensoleillées sont :

- Journée faiblement ensoleillée si : Température Bas Ballon Froid $< 30^{\circ}\text{C}$
- Journée fortement ensoleillée si : Température Bas Ballon Froid $> 50^{\circ}\text{C}$

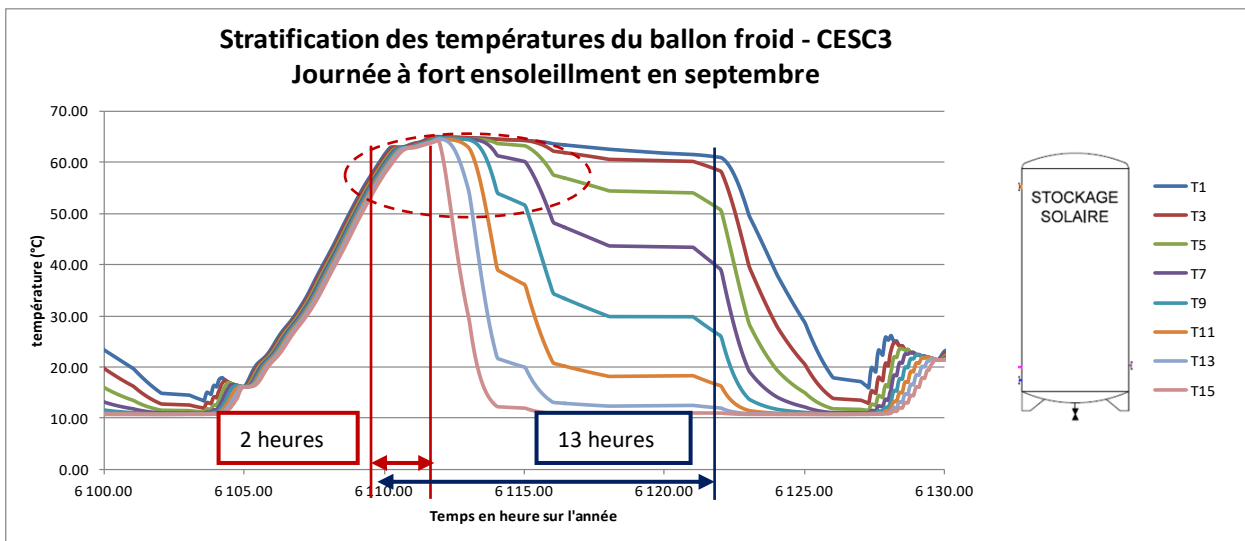


Focus sur le mois le mois critique : Septembre

Sur le mois le plus critique de l'année, 14 jours ont vu un volume solaire atteignant une température supérieure à 50°C.

La température dans la canalisation en sortie solaire est très proche de la température en haut du ballon chaud lorsqu'il y a un soutirage. Au cours des périodes de non soutirage, la température se refroidit jusqu'à atteindre la température ambiante (temps en zone critique augmenté). Une installation présentant une longueur plus importante et une isolation à parfaire, accentuera ce risque

Dans le but d'évaluer le temps de séjour à un niveau de température supérieur à 60°C, nous avons analysé le profil de température sur une journée fortement ensoleillée sélectionnée au cours du mois le plus critique.



de température dans le ballon froid sur une journée ensoleillée en septembre

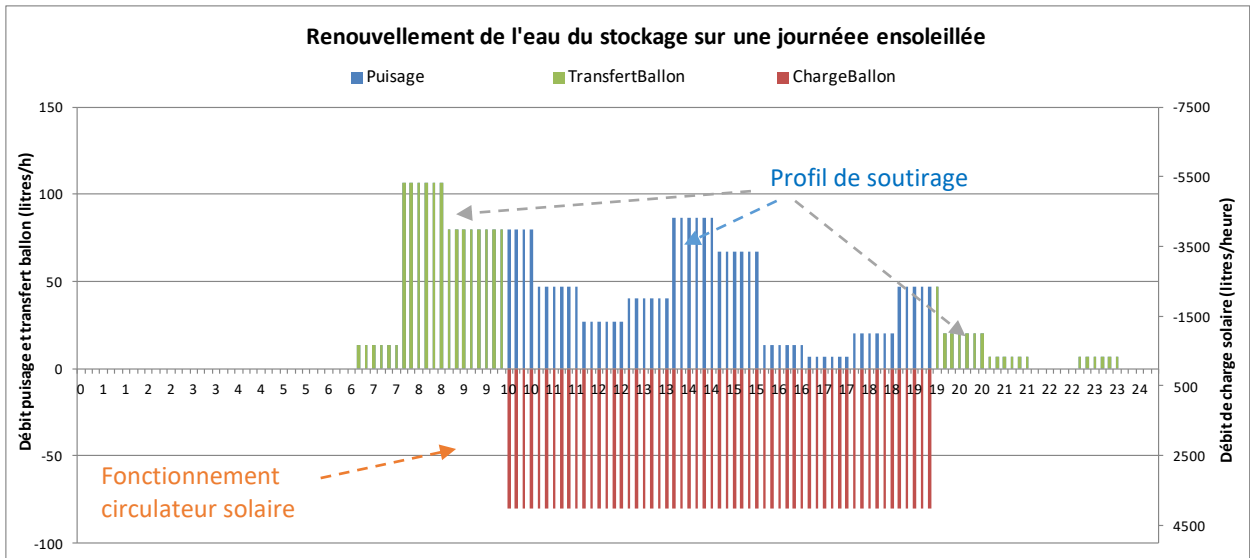
Niveau

La totalité du volume le plus froid est maintenue à plus de 60°C sur une durée de 2 heures.
La strate la plus élevée de ce même volume est maintenue à plus de 60°C sur une période de 13 heures

ii. Etude du renouvellement de l'eau du stockage

Lorsque le circulateur de charge est en fonctionnement ($\approx 40\%$ du temps pour une journée ensoleillée), nous pouvons distinguer différents taux de brassage selon la position des raccords :

- le volume du ballon froid est brassé à 2 Vol/h
- la partie basse du ballon chaud est brassé à 4 Vol/h
- la partie haute du ballon chaud est renouvelé plusieurs fois par jour



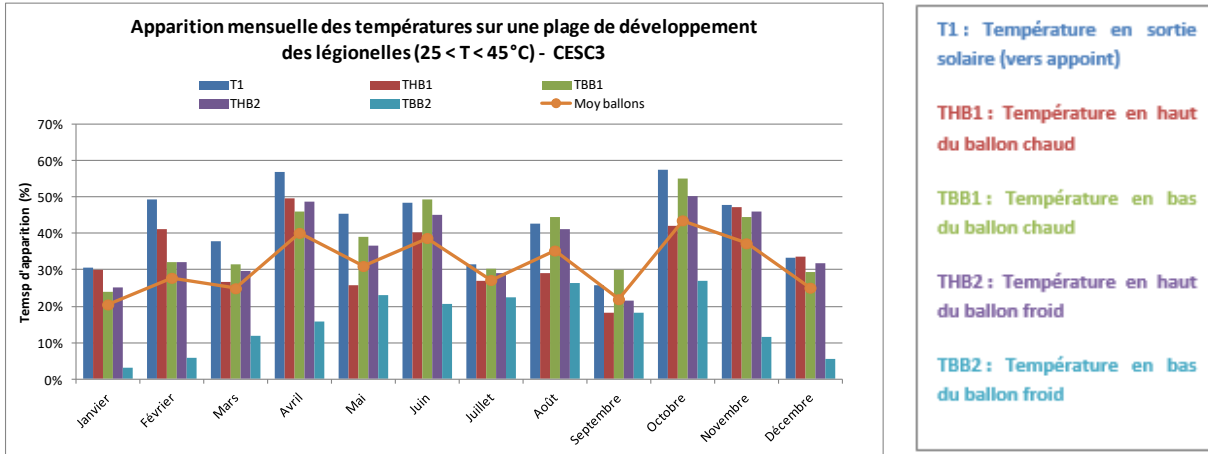
Renouvellement de l'eau dans le stockage solaire sur une journée ensoleillée

Sur une journée à fort ensoleillement, le débit de puisage permet le renouvellement journalier de 80% du ballon froid et de 100% du ballon chaud.

Les règles de dimensionnement de l'installation solaire préconisées, telles que le raccordement en série des ballons solaires, le débit de charge, le volume solaire, le réglage mitigeur thermostatique... permettent de renouveler le stockage solaire quotidiennement ($> 80\%$ du volume par jour). De plus, lorsque le circulateur de charge est en marche et les soutirages nuls, le volume solaire est brassé.

iii. Impact d'un surdimensionnement de la production solaire de 150%

Au constat des retours d'expériences, le dimensionnement d'une installation solaire est un des facteurs pouvant être responsable de dysfonctionnements, voire de développement de légionelles. L'impact d'un surdimensionnement d'une production solaire de 150% par rapport aux besoins réels a donc été étudié.



Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

On remarque qu'un taux de couverture plus important engendre un temps de séjour en zone critique :

- plus faible en été car l'occurrence de température > 45°C est plus importante
- plus importante en hiver car l'occurrence de température > 25°C est plus importante

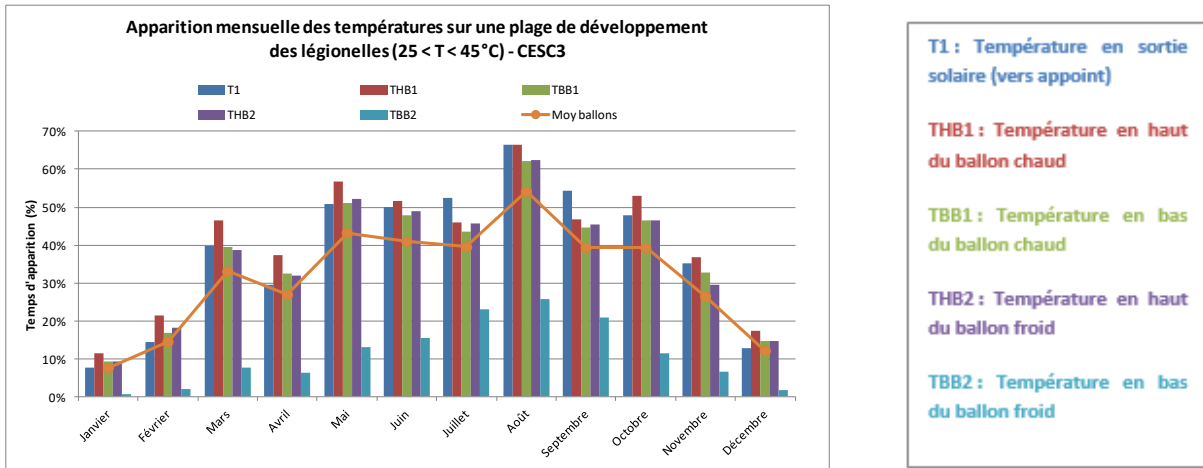
Une surévaluation de la production solaire induit un temps de séjour moyen constant sur l'année, de l'ordre de 32% avec un écart type de 10%.

En comparant cette configuration et le cas de référence, on constate une augmentation du temps de séjour en zone critique de la température dans la canalisation située entre la sortie du ballon solaire et l'entrée de l'appoint, de l'ordre de 7% sur l'année. Cette configuration engendre également une diminution du renouvellement d'eau du stockage. On peut estimer ce renouvellement à 40% du volume du ballon froid et à 90% du volume du ballon chaud.

Les indicateurs étudiés mettent en évidence un risque de développement des légionelles plus important lorsque la production solaire est surdimensionnée.

iv. Impact d'un sous-dimensionnement de la production solaire de 50%

L'impact d'un sous-dimensionnement d'une production solaire de 50% par rapport aux besoins réels a également été étudié.



Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

On remarque qu'un sous-dimensionnement de la production solaire induit un temps de séjour dans la zone critique faible en période hivernale, inférieur à 15% du temps. En revanche, en période estivale le temps de séjour en zone critique est plus important et peut représenter près de 60% au mois d'août.

Cependant, cette configuration permet un renouvellement total du volume de stockage.

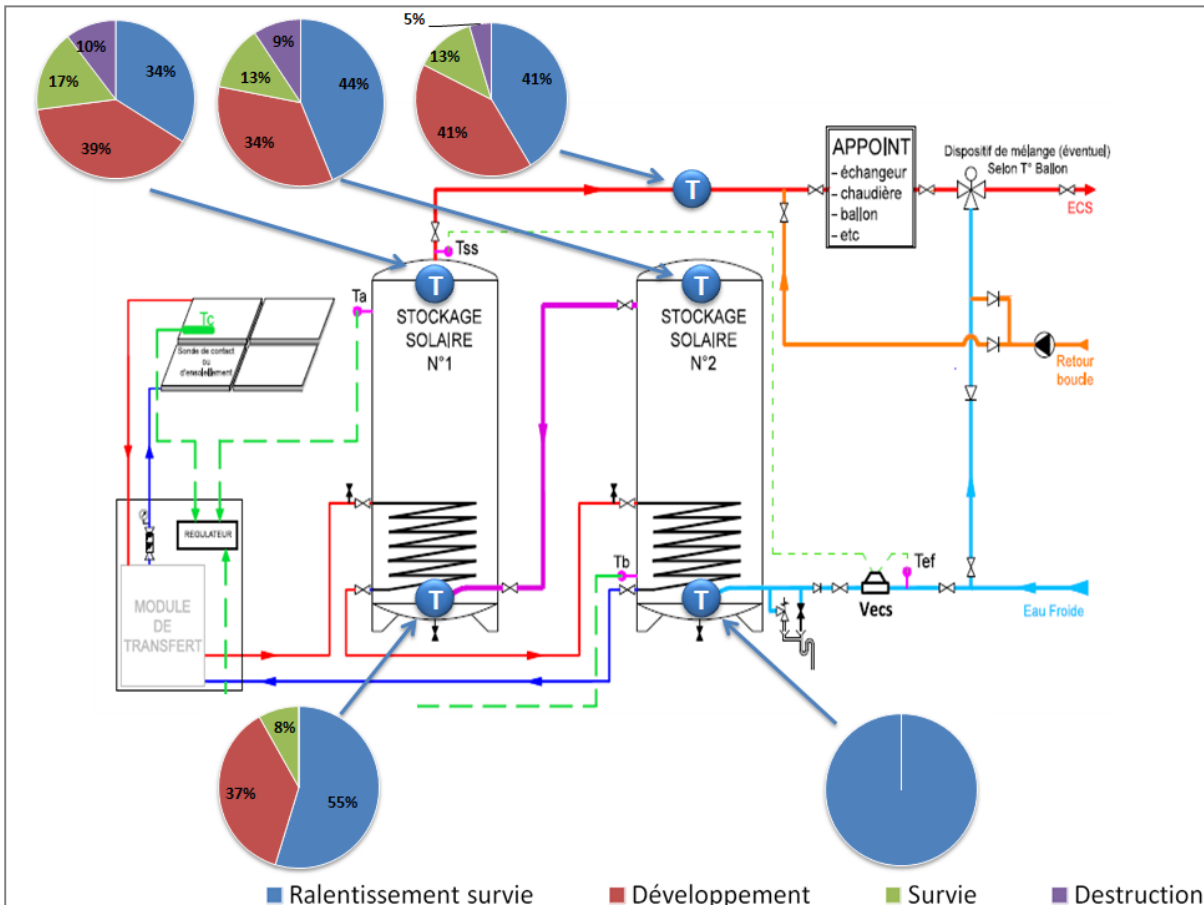
Les indicateurs étudiés mettent en évidence un risque de développement des légionelles moins important lorsque la production solaire est sous-dimensionnée.

b. 2^{ème} modélisation : CESC 2 – Eau sanitaire + échangeurs intégrés

Cette configuration étant équipée de ballons dont l'échangeur est intégré, seuls les soutirages d'ECS contribuent au brassage du volume et au renouvellement de l'eau.

La première étape consiste à analyser annuellement la température moyenne d'une production solaire à différents points du système.

i. Analyse des températures à différents points du réseau



Occurrence de température annuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

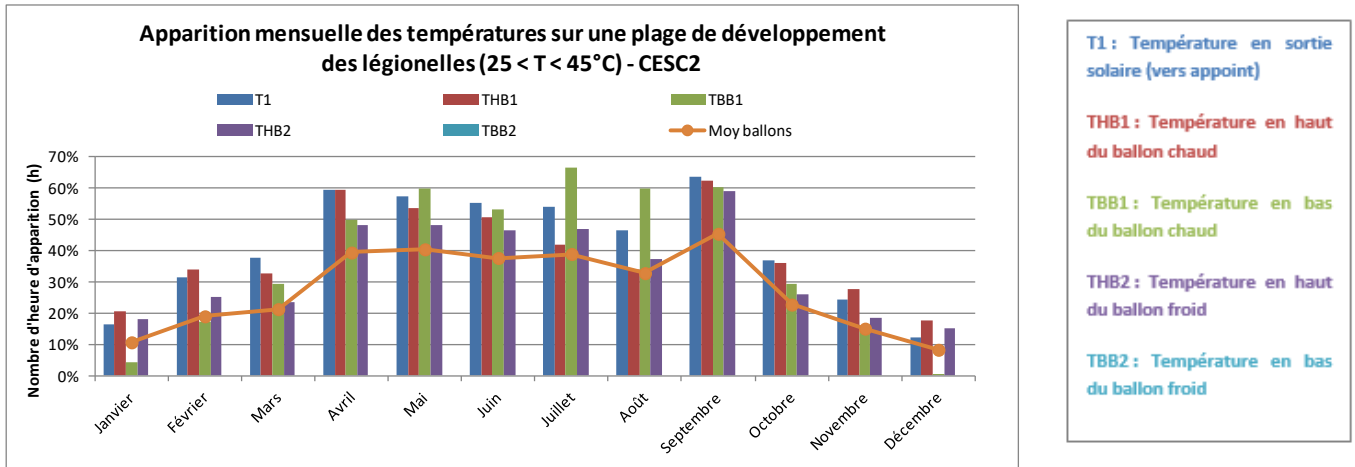
La température dans le stockage solaire est à 28% du temps comprise dans la zone critique au développement des légionelles ($25^{\circ}\text{C} < \Delta T < 45^{\circ}\text{C}$).

Avec ce type d'installation, la stratification de la température est conservée et permet de conserver le bas du ballon froid en dehors de la plage de température critique.

Le temps de séjour dans la zone critique le plus conséquent s'est révélé être sur la canalisation en sortie du solaire (amont de l'appoint), dû aux pertes sur l'ambiance.

Cette canalisation doit faire l'objet de préconisations particulières (longueur, isolation, isolement,...) afin de limiter le risque de développement des légionelles.

La seconde étape consiste à analyser mensuellement les niveaux de température à différents points de l'installation et à identifier les périodes présentant le plus de risque de développement de légionelles.



Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

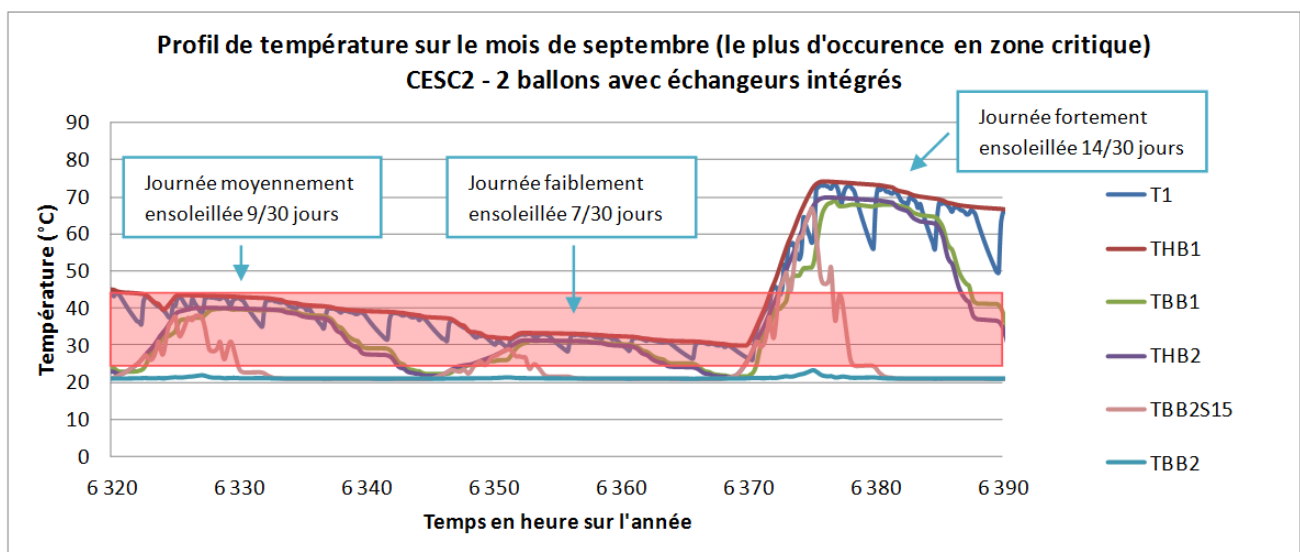
Entre avril et septembre, le niveau de température du stockage solaire se situe à 50% du temps dans la zone critique (avec un écart type de 10%). Septembre est le mois le plus critique.

On constate qu'en période hivernale, les temps de séjour dans la zone critique sont inférieurs à 20%, du fait d'une température d'eau de ville plus froide et d'un ensoleillement plus faible, limitant la montée en température du stockage solaire.

Ci-dessous, est représenté une analyse plus précise sur la période identifiée comme la plus critique, c'est-à-dire, septembre. L'objectif étant de corrélérer le niveau de température dans le stockage avec le nombre de jours sur cette période.

Les critères d'évaluation permettant de classer les journées faiblement ensoleillées et celles fortement ensoleillées sont :

- Journée faiblement ensoleillée si : Température Bas Ballon Froid < 30 °C
- Journée fortement ensoleillée si : Température Bas Ballon Froid > 50°C

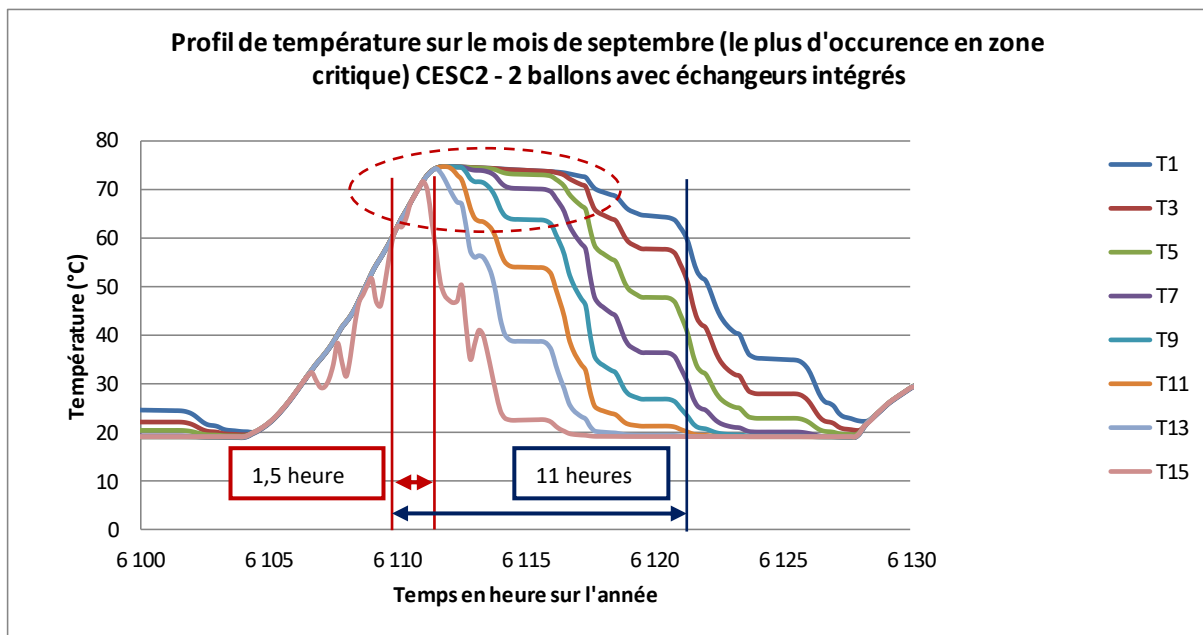


Focus sur le mois le mois critique : Septembre

Sur le mois le plus critique de l'année, 14 jours ont vu un volume solaire atteignant une température supérieure à 50°C.

La température dans la canalisation en sortie solaire est très proche de la température en haut du ballon chaud lorsqu'il y a un soutirage. Au cours des périodes de non soutirage, la température se refroidit jusqu'à atteindre la température ambiante (temps en zone critique augmenté). Une installation présentant une longueur plus importante et une isolation à parfaire, accentuera le risque.

Dans le but d'évaluer le temps de séjour à un niveau de température supérieur à 60°C, nous avons analysé le profil de température sur une journée fortement ensoleillée sélectionnée au cours du mois le plus critique.



Niveau de température dans le ballon froid sur une journée ensoleillée en septembre

La totalité du volume le plus froid est maintenue à plus de 60°C sur une durée d'environ 90 min.

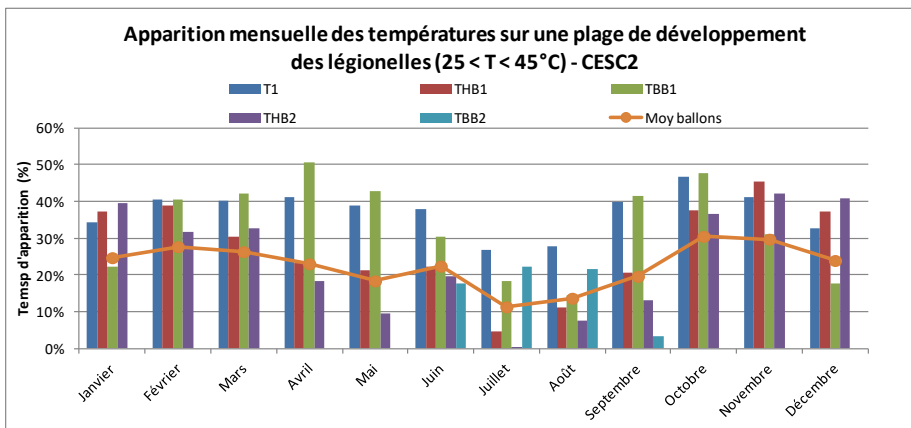
La strate la plus élevée de ce même volume est maintenue à plus de 60°C sur une période de 11 heures.

ii. Etude du renouvellement de l'eau du stockage

Le volume d'eau contenu dans le stockage solaire d'une installation type CESC2, est totalement renouvelé en une journée. Cependant, en cas de non soutirage, le volume solaire n'est pas brassé contrairement à une installation type CESC3.

iii. Impact d'un surdimensionnement de la production solaire de 150%

Au regard des retours d'expériences, le dimensionnement d'une installation solaire est un des facteurs pouvant être responsable de dysfonctionnements, voire de développement de légionelles. L'impact d'un surdimensionnement d'une production solaire de 150% par rapport aux besoins réels a donc été étudié.



T1 : Température en sortie solaire (vers appoint)
 THB1 : Température en haut du ballon chaud
 TBB1 : Température en bas du ballon chaud
 THB2 : Température en haut du ballon froid
 TBB2 : Température en bas du ballon froid

Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

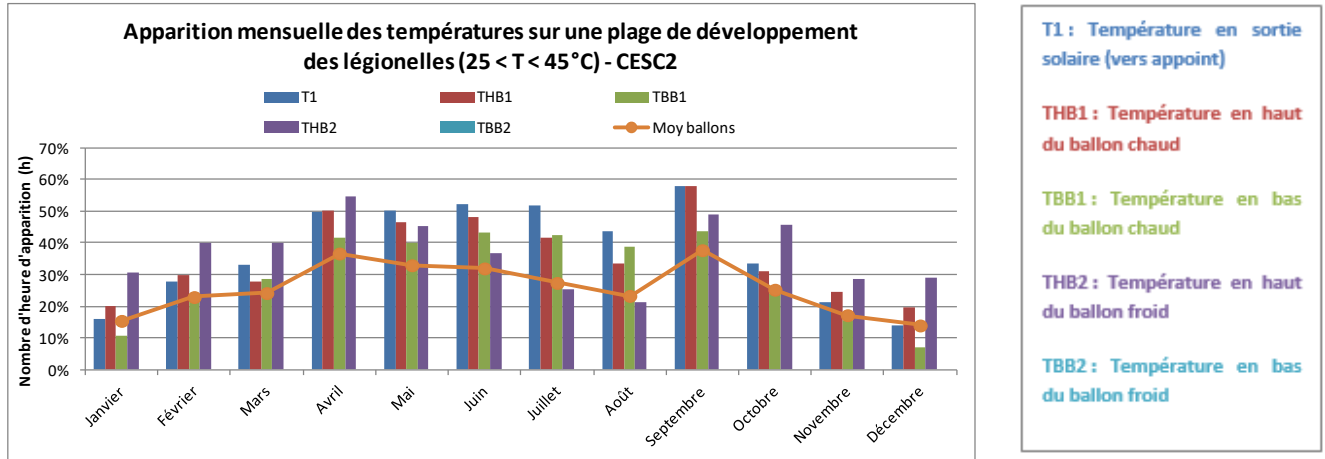
On remarque qu'une surévaluation de la production solaire induit un temps de séjour dans la zone critique plus faible. Le temps de séjour moyen sur l'année est de l'ordre de 23% avec un écart type de 6%.

Il est à noter que cette configuration ne permet pas un renouvellement journalier du volume d'eau du stockage (renouvellement de 50%). De plus, l'application de ballons échangeurs ne permet pas d'avoir un brassage du volume lorsque le circulateur de charge est actionné.

En comparaison avec la solution de référence, un surdimensionnement de la production solaire ne semble pas favoriser le développement des légionelles sur le critère de la température. Cependant, le volume n'est pas renouvelé en son intégralité quotidiennement.

iv. Impact d'un sous-dimensionnement de la production solaire de 50%

L'impact d'un sous-dimensionnement d'une production solaire de 50% par rapport aux besoins réels a également été étudié.



Occurrence de température mensuelle dans le stockage solaire et sortie du ballon solaire

Une surévaluation de la production solaire induit un temps de séjour de 26% sur l'année avec un écart type de 8%. Cependant, la configuration permet de renouveler quotidiennement le volume d'eau du stockage solaire intégralement.

En comparaison avec la solution de référence, un sous-dimensionnement de la production solaire ne semble pas favoriser le développement des légionelles.

6. Elévation de la température de consigne de l'appoint à 70°C

Les éléments présentés dans les paragraphes précédents laissent apparaître que le stockage sanitaire sur une installation solaire n'est pas forcément responsable de la prolifération de la bactérie, mais que les températures de fonctionnement usuelles dans le ballon sont souvent comprises dans la plage de prolifération théorique de la bactérie.

Dans le but d'annihiler le risque de prolifération de la bactérie sur l'ensemble la production, il pourrait être intéressant d'étudier l'impact technico-économique de maintenir la production d'eau chaude sanitaire en aval du solaire à 70°C.

Il conviendrait alors de s'assurer de pouvoir dimensionner cette production d'eau chaude de telle sorte que la totalité du débit de puisage maximum soit montée à une température de 70°C. Cette contrainte aura donc un impact sur la puissance de dimensionnement qui dépendra du débit de puisage de pointe et du type de système (Production à accumulation / semi-accumulation / semi-instantanée / instantanée).

A partir de simulations issues du logiciel SOLO, nous avons comparé deux types de configuration de tailles différentes :

Variantes	Surface de capteurs	Volume de stockage	Consommation supposée
V1 – TSA 60°C	40,0 m ² utiles	2 000 L	2 000 L/j à 60°C
V2 – TSA 60°C	80,0 m ² utiles	4 000 L	4 000 L/j à 60°C

Le dimensionnement (surface capteurs / volume stockage) a été réalisé afin d'obtenir un taux de couverture maximal avec le logiciel SOLO compris entre 85 et 90%.

Puis, nous proposons de comparer les productibles pour les mêmes besoins et le mêmes caractéristiques (surface et volume) mais avec une consigne de température de production en aval du solaire à 70°C :

Variantes	Surface de capteurs	Volume de stockage	Consommation supposée
V1 – TSA 70°C	40,0 m ² utiles	2 000 L	2 000 L/j à 60°C (1 640 L/j à 70°C)
V2 – TSA 70°C	80,0 m ² utiles	4 000 L	4 000 L/j à 60°C (3 280 L/j à 70°C)

Pour ces quatre variantes, SOLO 2018 nous donne les résultats suivants, pour des installations situées à Chartres et orientée plein et inclinée à 45° :

Variantes	Production solaire utile	Taux de cov. max	Taux de cov. annuel	Energie solaire utile
Unité	kWh/m ² /an	%	%	kWh/an
V1 – 60°C	526	85,3 %	54,7 %	21 040
V1 – 70°C	506	82,0%	52,5%	20 240
V2 – 60°C	527	85,5%	54,8%	42 160
V2 – 70°C	508	82,2%	52,7%	40 640

Investissement

L'investissement de chacune de ces variantes peut être évalué des montants suivants :

Taille de l'installation	Installation petite (40m ²)	Installation moyenne (80m ²)
Nom de la variante	V1	V2
Montant de l'investissement	48 000 €HT	76 800 €HT

Ces montants incluent la fourniture et la pose du matériel, la mise en service de l'installation et les travaux d'ingénierie.

Exploitation

L'exploitation est estimée pour chaque installation. Il s'agit des coûts d'entretien préventif, de suivi des performances et du remplacement des petits matériels.

Taille de l'installation	Installation petite (40m ²)	Installation moyenne (80m ²)
Nom de la variante	V1	V2
Coût annuel de l'entretien	720 €HT/an	940 €HT/an

Performances

Dans le cas d'une consigne de production d'eau chaude sanitaire à 70°C, le volume d'eau transitant par la production solaire et la production d'appoint est plus faible. Ainsi, l'installation solaire va fonctionner à plus haute température et donc présenter une productivité plus faible.

Les performances estimées par le logiciel SOLO 2018 sont les suivantes :

Taille de l'installation	Installation petite (40m ²)		Installation moyenne (80m ²)	
Nom de la variante	V1 – TSA 60°C	V1 – TSA 70°C	V2 – TSA 60°C	V2 – TSA 70°C
Productivité utile	526 kWh/m ² /an	506 kWh/m ² /an	527 kWh/m ² /an	508 kWh/m ² /an
Ecart / 60°C	- 3,8%		- 3,6%	

Total des différents postes

Bilan économique sur 20 ans, avec un coût de la maintenance indexé de 2% par an :

Taille de l'installation	Installation petite (40m ²)		Installation moyenne (80m ²)	
Nom de la variante	V1 – TSA 60°C	V1 – TSA 70°C	V2 – TSA 60°C	V2 – TSA 70°C
Coût investissement (€HT)	48 000	48 000	76 800	76 800
Ecart / 60°C (€HT)	-	-	-	-
Coût exploitation (€HT)	17 500	17 500	22 800	22 800
Ecart / 60°C (€HT)	-	-	-	-
Chaleur Solaire Utile (MWh)	420	406	842	811
Ecart / 60°C (MWh)	-	- 3,8%	-	- 3,6%
Coût du MWh (€/MWh)	155,9	161,5	118,2	122,8
Ecart / 60°C	-	+ 3,6%	-	+ 3,9%

A retenir :

Maintenir la température du ballon d'appoint à 70°C au lieu de 60°C a un impact technico-économique très faible (la différence sur le coût du MWh est de moins de 4%, que ce soit pour une petite installation ou une installation de taille moyenne).

Cependant, ne sont pas évalués dans cette étude les impacts sur la production d'appoint tant du point de vue de l'investissement que des coûts d'exploitation.

III. TACHE 2 : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DES INSTALLATIONS EN « EAU TECHNIQUE »

1. Etat des lieux

Parmi les installations existantes étudiées, nous avons recensées 18 installations avec un schéma hydraulique en eau technique.

Les installations en eau technique sont globalement minoritaires sur le parc de 49 installations étudiées, cependant leur nombre est prépondérant depuis 2006 (mise en application des préconisations de la circulaire du 28 octobre 2005).

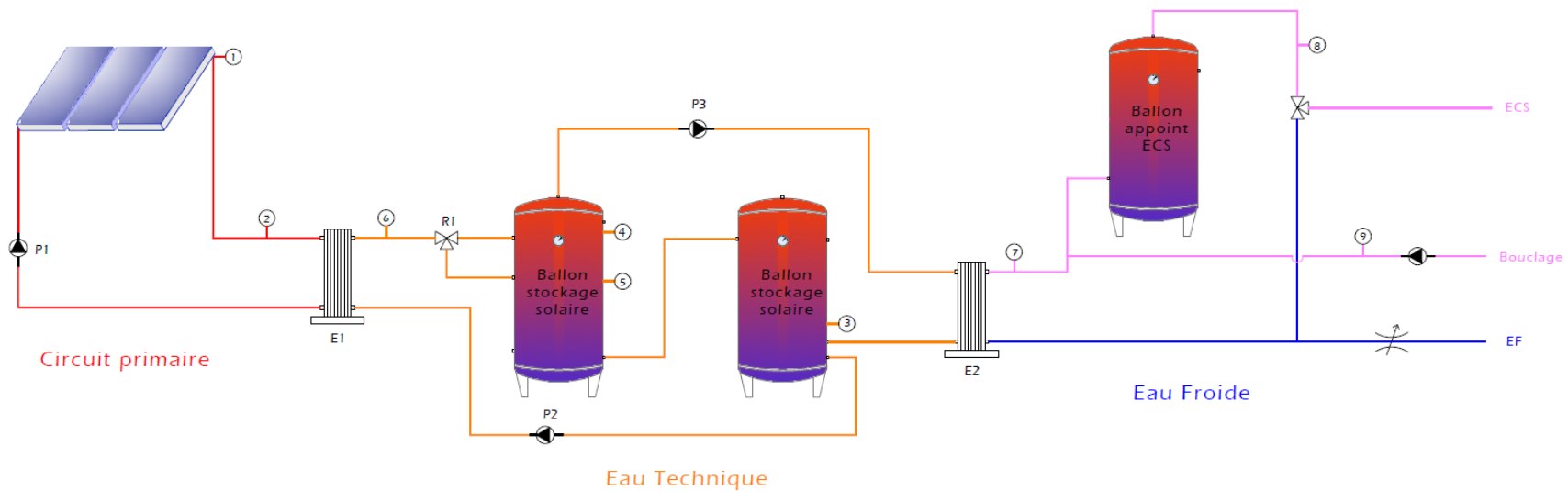
Sur les 18 installations en eau technique faisant parties du parc étudié, nous avons pu récolter les informations suivantes :

- Les performances de production solaire pour 11 d'entre elles ;
- Le fonctionnement détaillé de la régulation du dispositif de décharge pour 15 d'entre elles ; parmi ces 15 régulations connues, nous avons recensée **5 régulations de type différent, avec 3 fonctionnements distincts.**

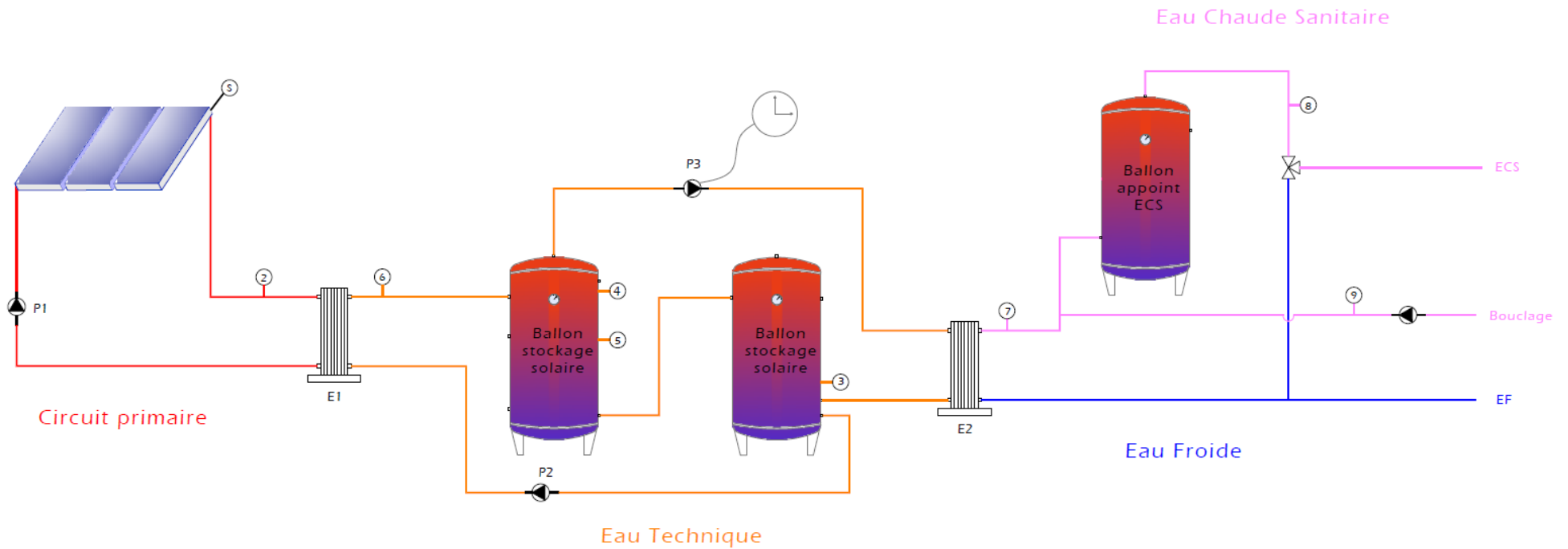
Pour chaque type de régulation du dispositif de décharge, nous avons relevé les performances de l'installation solaire (notamment la productivité) et détaillé le fonctionnement de ces régulations.

Installations régulation connue	Principe de régulation	Performances (kWh/m ² /an)	Moyenne
Limoux	Sonnenkraft SKSC3 (5 installations) : → Pompes primaire et secondaire enclenchées par différentiel de température, avec chargement du ballon par strates. → Régime des pompes primaires et secondaires piloté par une consigne de température. → La pompe de décharge est enclenchée par un commutateur de flux lors des puisages. Le régime est piloté par une consigne de température.	-	195,4 kWh/m²/an soit -66%/ref
Belmont		21,1 => -94%/ref	
Camarès		13,2 => -82%/ref	
Verguèze		552 => -21,1%/ref	
Narbonne		-	

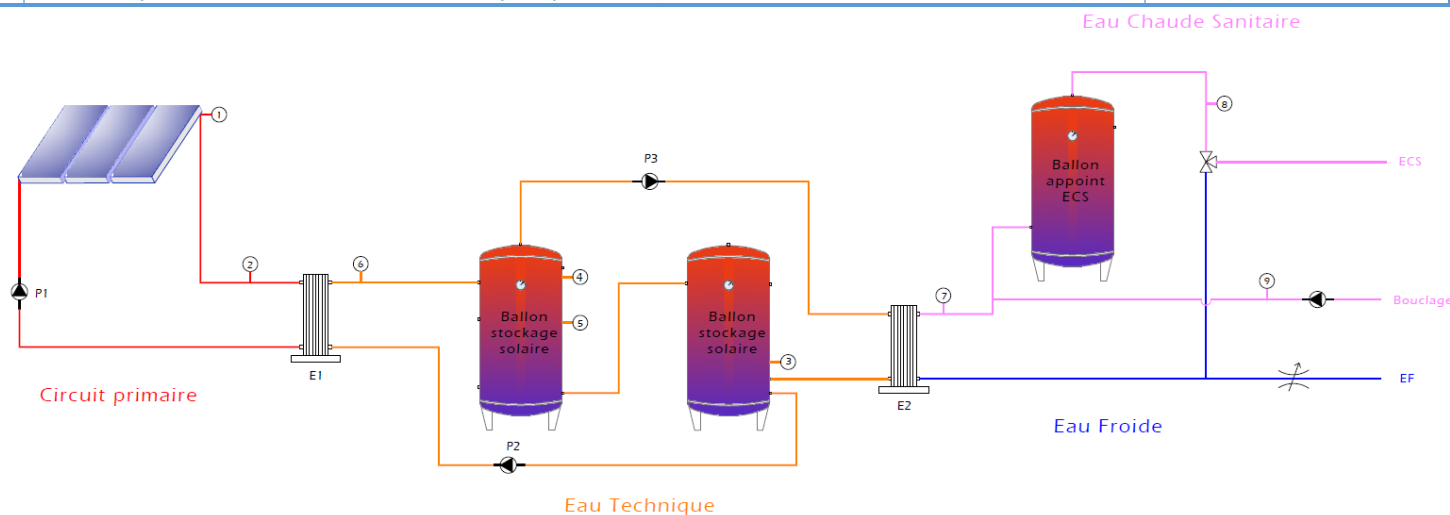
Eau Chaude Sanitaire



Installations régulation connue	Principe de régulation	Performances (kWh/m ² /an)	Moyenne
Chambéry	TISI T-BOX (5 installations) : → Pompes primaire pilotée par une sonde crépusculaire (mise en route lorsque l'intensité est supérieure à 100 W/m ²) → Régime de la pompe secondaire piloté par différentiel de température entre les capteurs et le bas du ballon → Circulateur tertiaire programmé par une horloge.	262 => -47,6%/ref	369 kWh/m²/an soit -30,5%/ref
Marseille nord		288 => -57,6%/ref	
Challes les eaux		480 => -24,3%/ref	
Excideuil		446 => 7,7%/ref	
Salses le château		-	



Installations régulation connue	Principe de régulation	Performances (kWh/m ² /an)	Moyenne
Dieulefit	Clipsol Blocsol / DeDietrich Delta sol E (3 installations) : → Pompes primaire et secondaire enclenchées par différentiel de température → La pompe secondaire ne fonctionne que si la pompe primaire fonctionne (pour la régulation Blocsol uniquement)	299 => -30,3%/ref	332 kWh/m²/an soit -35,3%/ref
Saint Calais		-	
Thuir		365 => -40,3%/ref	
Vayrac	Sauter (1 installation) : → Pompe primaire enclenché par différentiel de température → Pompe secondaire pilotée par une consigne de température → Décharge pilotée par une consigne de température (décharge si température du stockage >80°C et arrêt de la pompe si température <65°C.	184 => -64,3%/ref	184 kWh/m²/an soit -64,3%/ref
Carcassonne	Eklor XL SOL (1 installation) : → Pompe solaire activée par différentiel de température. La phase d'amorçage et maintient la pompe en activité pendant [2 à 10] minutes quelques soient les autres conditions. → Sécurités : protection du circuit solaire (pompe coupée si le capteur est trop chaud), protection du ballon (pompe coupée si la température dans le serpentin est trop chaude ou si la température dans le ballon est trop importante).	371 => -38%/ref	371 kWh/m²/an soit -38%/ref



Remarque : Sont mis en parallèle les performances et les régulations étudiées mais il n'est pas possible de conclure ici à une quelconque corrélation entre la performance et le type de régulation.

Installations régulation connue	Principe de régulation	Performances (kWh/m ² /an)	Moyenne
Préconisée par le rapport RAGE	<ul style="list-style-type: none"> → Pompe primaire enclenchée par différentiel de température ou par une sonde d'ensoleillement. → Pompe secondaire asservie à la pompe primaire ou enclenchée par différentiel de température. → Décharge pilotée par une vanne trois voies permettant le maintien en température permanent de l'échangeur sans dé-stratifier le ballon. 	569 d'après les simulations	569 kWh/m²/an

Parmi toutes ces régulations, nous avons relevé trois principes de décharge des calories solaire (c'est-à-dire de pilotage de la pompe P3 alimentant le primaire de l'échangeur eau technique/eau sanitaire) :

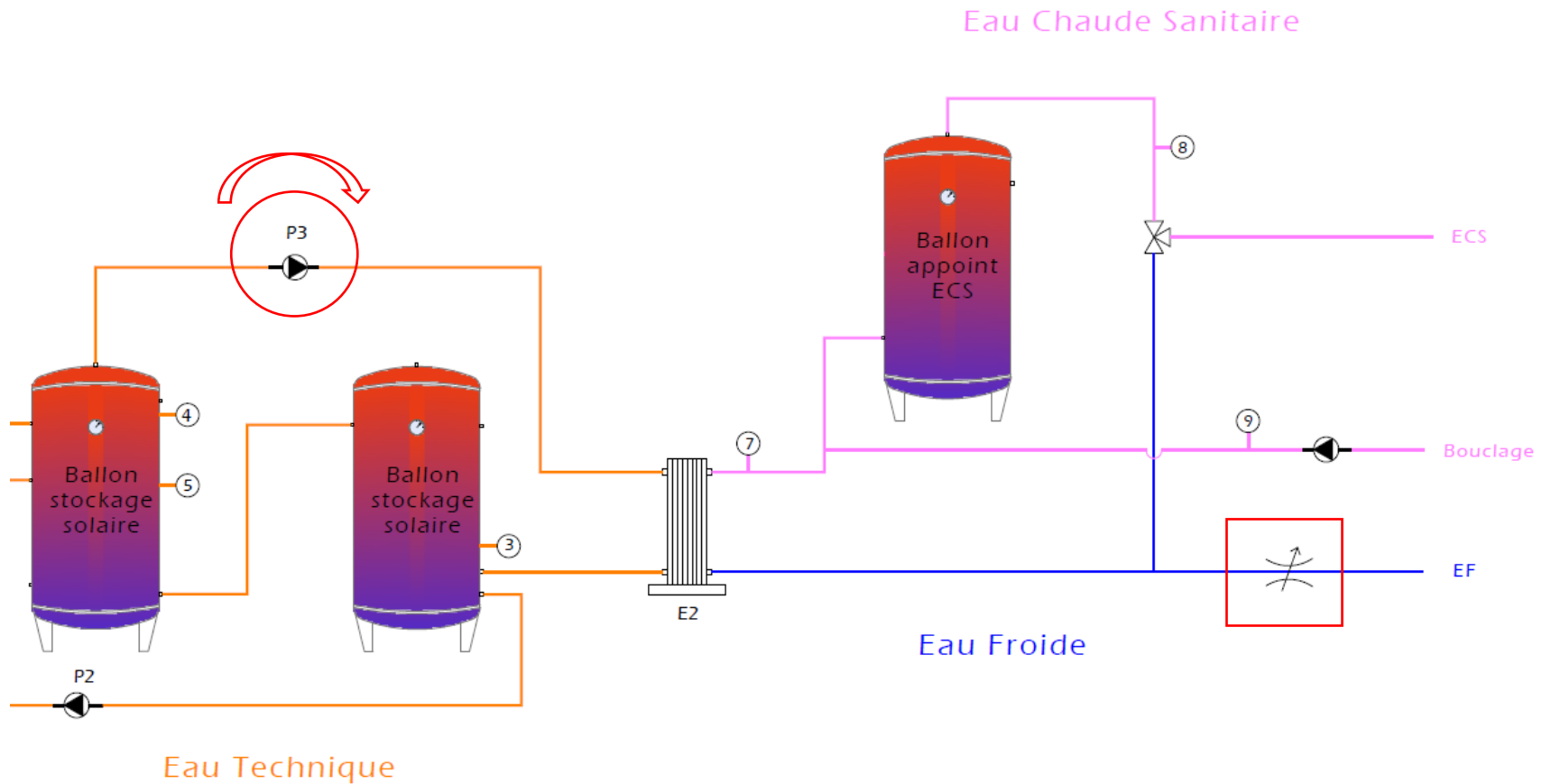
- Le commutateur de débit
- L'horloge
- Le maintien en température avec vanne trois voies

Ces trois principes sont détaillés ci-après.

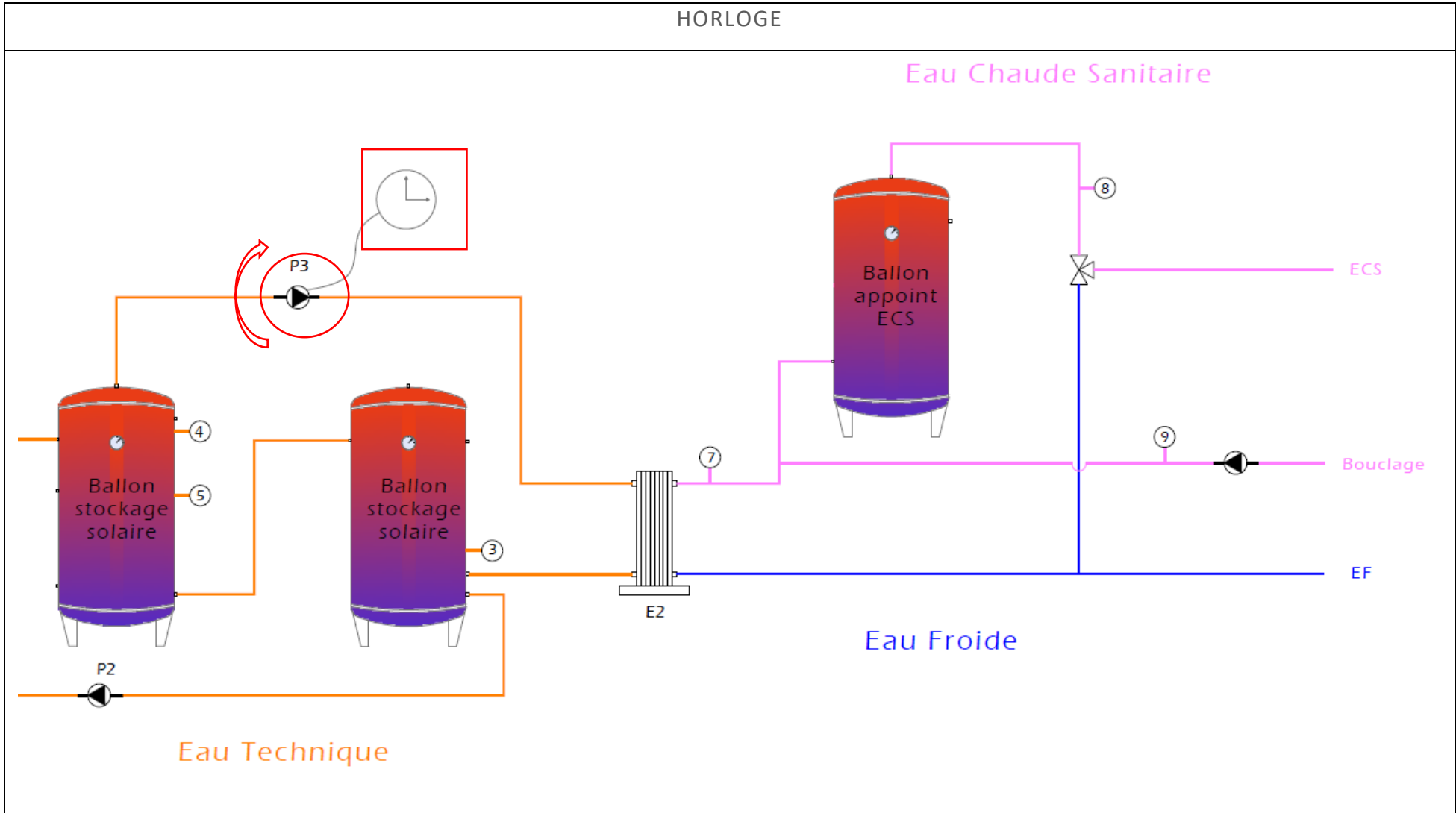
A retenir :

- Performances des régulations avec **horloge meilleures que celle avec commutateur de flux** (369 kWh/m²/an contre 299 kWh/m²/an en moyenne).
- Régulation programmée par une **consigne de température à proscrire** (exemple de Vayrac, performance : 184 kWh/m²/an).
- **Une régulation de décharge de type horloge ne semble pas théoriquement la solution la plus performante énergétiquement cependant à la vue des retours d'expérience cette solution semble la plus robuste et la plus simple notamment vis-à-vis des besoins de surveillance et d'entretien.**

COMMUTATEUR DE DEBIT

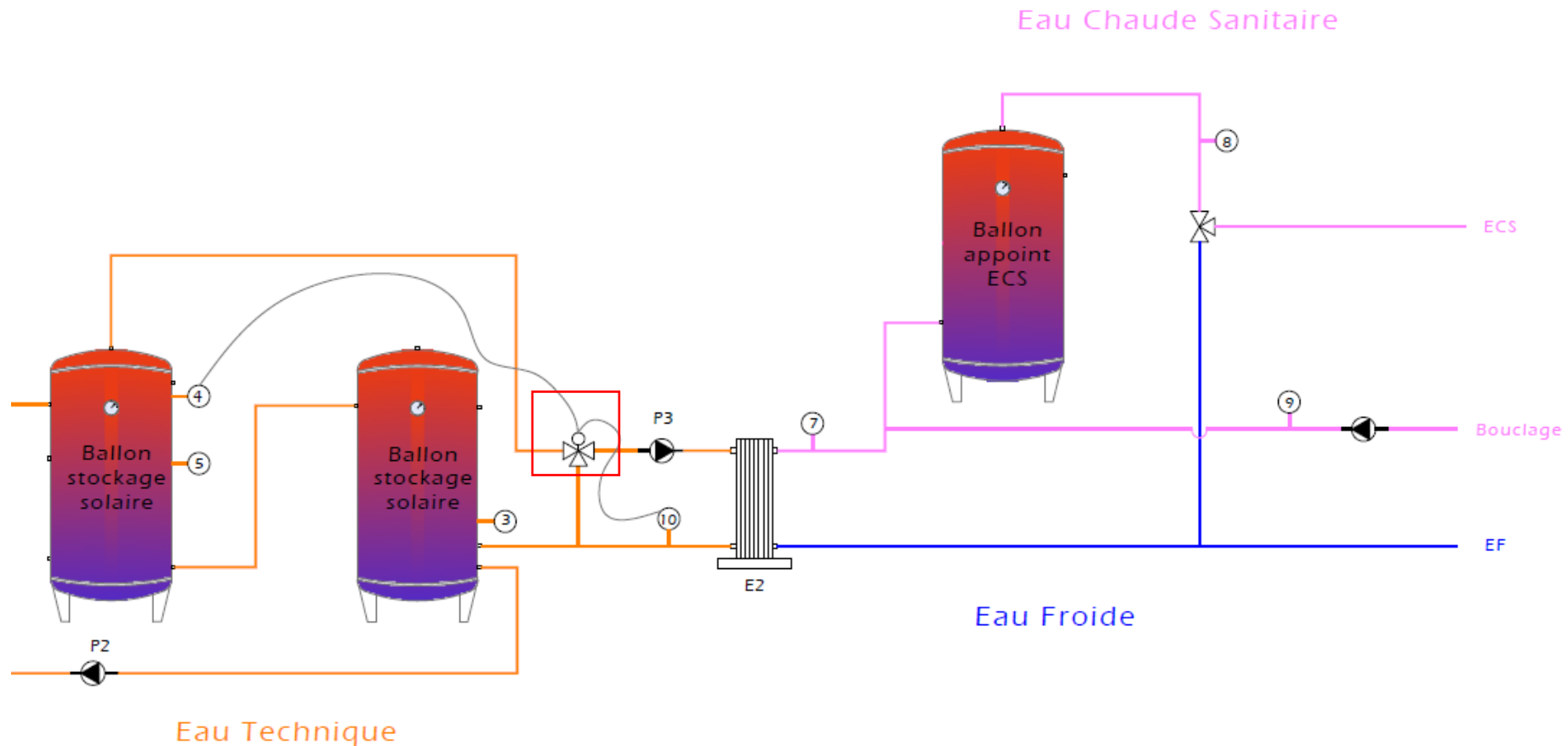


Lorsque le commutateur de débit détecte un puisage sur le réseau de distribution, la pompe 3 (P3) s'enclenche pour réchauffer l'eau froide avant que celle-ci n'arrive au niveau de l'appoint. Le régime de la pompe P3 est piloté en fonction d'une consigne de température : réglage d'usine S7 = 60°C.



La pompe 3 (P3) est programmée pour ne démarrer qu'à certaines heures, et ainsi mettre l'échangeur 2 (E2) en température pour réchauffer l'eau froide. Son fonctionnement ne dépend donc ni de l'ensoleillement, ni de la consommation de l'établissement.

MISE EN ROUTE PERMANENTE AVEC VANNE TROIS VOIES



La pompe 3 (P3) est programmée pour **tourner en continu** (il est possible également de l'arrêter pendant la nuit) pour maintenir l'échangeur 2 (E2) en température et éviter les cycles courts de fonctionnement. Pour éviter la dé-stratification des ballons en ramenant de l'eau chaude dans le bas du ballon froid, on installe une **vanne trois voies régulée en fonction de la température de retour échangeur et le haut du ballon le plus chaud**. Lors d'un puisage, l'eau circulant dans l'échangeur se refroidit et dans ce cas, le retour se fait sur le ballon solaire, lorsqu'il n'y a pas de puisage, l'échangeur n'est plus alimenté par le ballon solaire mais boucle sur lui-même jusqu'à ce que le fluide soit suffisamment refroidi pour être envoyé dans les ballons ($\Delta T=5K$). Ainsi, on maintient l'échangeur à une température au minimum 5K en dessous de celle du stockage sans détruire la stratification.

2. Etude théorique des performances selon le dispositif de décharge

a. Présentation des travaux de modélisations

L'objectif de cette partie est d'évaluer les performances d'une installation solaire en « eau technique » en fonction des différents dispositifs de régulation présents sur le marché, d'identifier les paramètres impactant les performances et de statuer sur des règles de conception dans le neuf et dans l'existant

i. Rappels des hypothèses

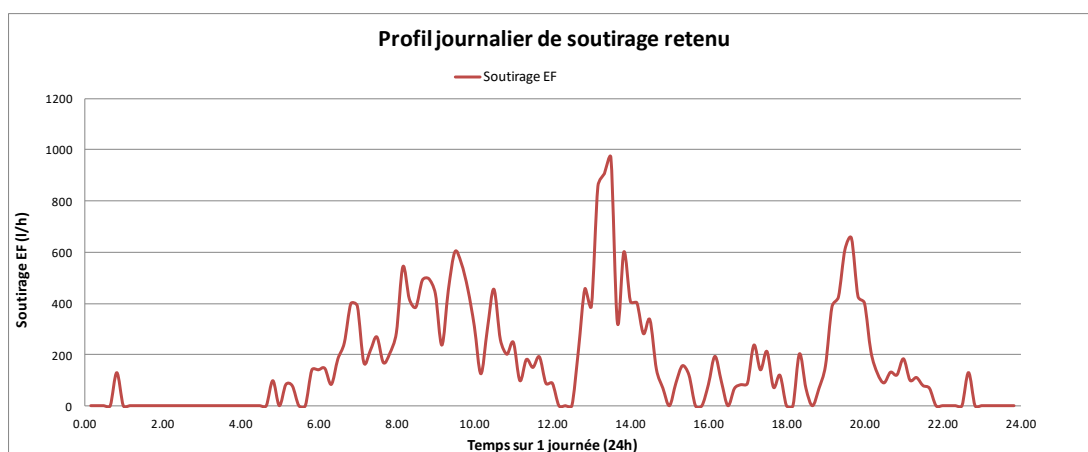
La température d'eau froide est considérée constante sur la journée. Nous considérons une variation de la température de l'eau froide, mensuellement selon les valeurs moyennes décrites dans le guide « Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif ». Ci-dessous, les hypothèses de température d'eau froide utilisées.

Mois	Températures moyennes mensuelles d'eau froide		
	Moyennes ± écart type	Minimales*	Maximales*
Janvier	11 ± 2°C	6°C	18°C
Février	11 ± 2°C	5°C	17°C
Mars	12 ± 2°C	7°C	18°C
Avril	15 ± 2°C	9°C	20°C
Mai	17 ± 3°C	11°C	24°C
Juin	19 ± 3°C	13°C	25°C
Juillet	21 ± 3°C	14°C	28°C
Aout	21 ± 3°C	14°C	29°C
Septembre	20 ± 3°C	13°C	25°C
Octobre	17 ± 2°C	12°C	22°C
Novembre	15 ± 2°C	10°C	20°C
Décembre	12 ± 2°C	8°C	19°C
Sur l'année	16 ± 2°C	11°C	20°C

Température moyenne mensuelle de l'eau froide enregistrée sur 100 sites

Le profil de soutirage retenu est un profil issu d'un suivi instrumenté au pas de temps de 10 min. Ce pas de temps nous permet de considérer les pointes sur 10 min. Il a été sélectionné un profil moyen journalier à partir des données de ce suivi. Ce profil journalier est ensuite multiplié par 365 jours, pour ainsi obtenir une consommation annuelle d'environ 75 MWh/an.

Ci-dessous, est représenté le profil journalier utilisé dans les modèles.



Profil journalier moyen d'eau froide d'un EHPAD (3 points mesurés)

Le dimensionnement et les caractéristiques des éléments contenus dans les modèles sont donnés par le tableau ci-dessous :

Consommation journalière d'ECS	4000	Litres à 60°C	<i>Profil sur pas de temps de 10 min</i>
Profil journalier	3 pointes	-	<i>Maison de retraite</i>
Chaleur massique EF-ECS-ET	4185	J/kg.K	
Masse volumique EF-ECS-ET	1000	kg/m ³	
Chaleur massique Eau glycolée	3750	J/kg.K	<i>Température moyenne de 35°C</i>
Masse volumique Eau glycolée	1040	kg/m ³	<i>Température moyenne de 35°C</i>
Volume ballon solaire	4000	litres	<i>2 ballons de 2000 l</i>
Hauteur ballon solaire	2,10	mètres	
Diamètre ballon solaire	1,1	mètres	
Pertes par ballons	0.74	W/m ² .K	<i>Equivalent à 5 cm LDV(x 3,6 kJ/h.m².K)</i>
Pertes par canalisations	3,37	W/m ² .K	
Station météo de référence	Chartres	-	
Surface capteur solaire	80	m ²	<i>50 l/m²</i>
Inclinaison capteur	45	Degrés	
Orientation capteur	SUD	-	
Rendement optique capteur	0.802		
Coefficient pertes convectives a1	14.4	kJ/h.m ² .K	<i>4 W/m².K</i>
Coefficient pertes radiatives a2	0.054	kJ/h.m ² .K ²	<i>0.015 W/m².K²</i>
Différentiel de température marche	6	K	<i>Pompe solaire (et de charge)</i>
Différentiel de température arrêt	2	K	<i>Pompe solaire (et de charge)</i>
Position de la sonde de régulation	0.45	m	<i>20% x Hauteur du ballon froid</i>
Température de consigne ballon	80	°C	<i>Strate 13/16 du ballon froid</i>
Puissance échangeur solaire	60	kW	<i>750 W/m²</i>
Coefficient de transfert échangeur	12	kW/K	<i>150 W/K.m² capteur</i>
Pertes échangeur (Rsi = 0.11 m ² .K/W)	1	W/m ² .K	<i>3 cm polystyrène (λ = 0.034 W/m.K)</i>
Surface de l'échangeur (60 kW)	2,16	m ²	
Débit volumique solaire	4000	litres / h	<i>50 l/h.m² capteur</i>
Débit volumique de charge ballon	4000	litres / h	<i>50 l/h.m² capteur</i>
Consigne de l'appoint	60	°C	
Consigne après mitigeur	55	°C	
Débit bouclage (7 boucles)	1520	Litres / heure	<i>V = 0,5 m/s et DN16 → 217 l/h.boucle</i>
Chute de température bouclage	2,5	K	
Pertes par distribution	4 410	W	<i>10 W/m (classe 3), 441 mètres</i>

ii. Caractéristiques des modèles

Le schéma général modélisé sous TRNSYS v5.4, utilisé comme base pour l'élaboration des simulations de la phase 2 est issu de la schémathèque SOCOL.

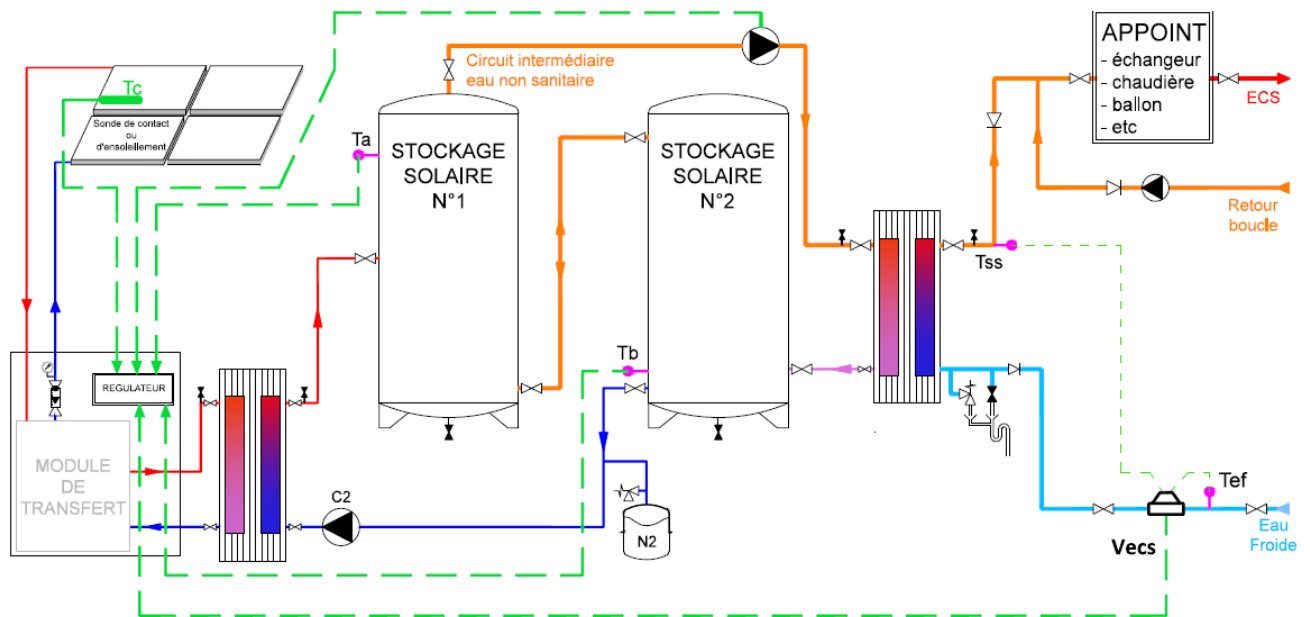
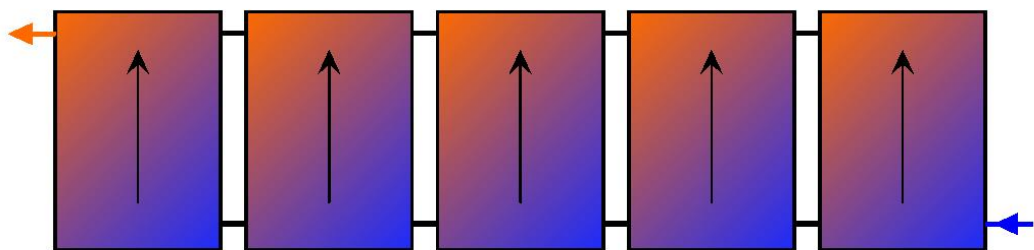


Schéma de principe en « eau technique » modélisé (Source : SOCOL - ET2)

Le champ de capteur est dimensionné selon les recommandations actuelles (SOCOL). Les capteurs sont raccordés en parallèle, traversés par un débit de 50 litres/h.m² de capteur.



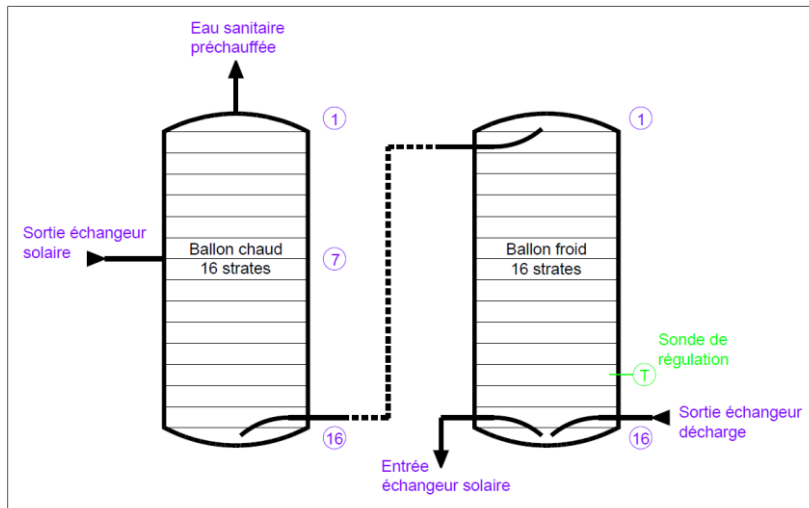
© COSTIC

Raccordement des capteurs en parallèle

Le liquide caloporteur du circuit primaire solaire est un liquide glycolé à 30%.

Les échangeurs de chaleur sont à contre-courant et sont caractérisés par leur coefficient d'échange UA exprimé en W/K. En imposant des débits en primaire et secondaire de l'échangeur, il est ainsi possible de déterminer les températures en sortie d'échangeur. La modélisation ne tient pas compte de l'inertie ainsi que des pertes statiques sur l'environnement de l'échangeur.

Les ballons de stockage sont composés de 16 strates afin de considérer la stratification de température au cours du temps. Ce maillage ainsi que la position de la sonde utilisée pour la régulation du circuit primaire solaire est représenté ci-après :



Maillage du stockage solaire selon 16 strates

Les transferts de masse sont réalisés de manière à caractériser l'ensemble des flux, variable selon le déclenchement des circulateurs (charge, décharge et by-pass des ballons solaires). Ci-après, est illustré les différents flux pris en compte dans le modèle permettant de caractériser ces transferts de masse.

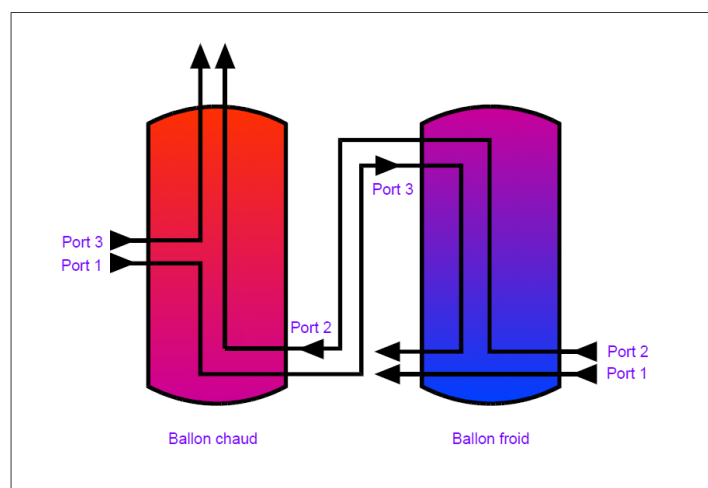


Illustration des transferts de masse dans les ballons

Le mitigeur thermostatique placé après l'appoint est modélisé afin de tenir compte des débits de soutirage non valorisés par le solaire en cas de température d'eau préchauffée supérieure à la température de consigne de l'appoint, dans notre cas, paramétrée à 60°C.

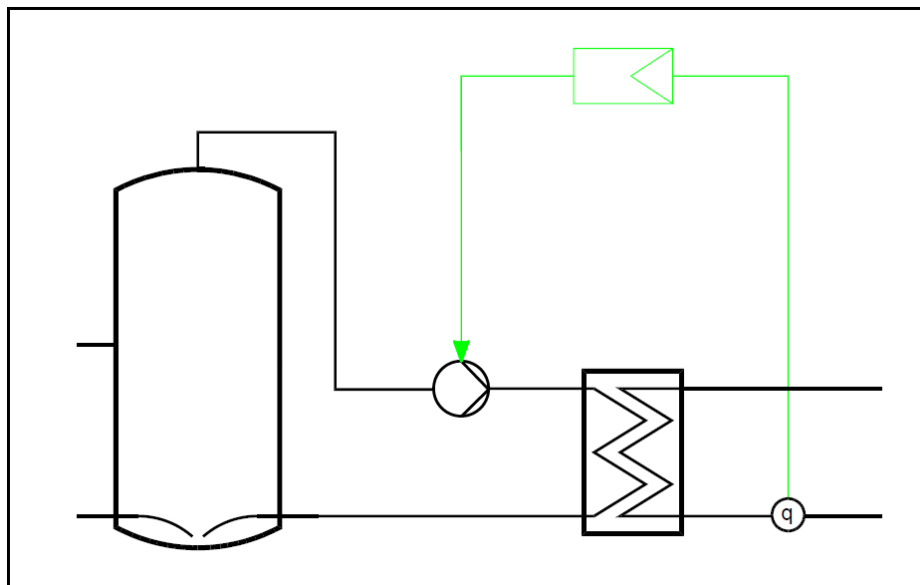
L'appoint est représenté par une chaudière alimentant un échangeur externe contre-courant pour assurer la production d'ECS type instantanée à une température de consigne paramétrée à 60°C.

Le bouclage ECS est caractérisé par un débit constant et une perte thermique constante égale à 2,5 K. Le retour de boucles est divisé pour alimenter d'une part, le mitigeur thermostatique à 70% de son débit et, d'autre part, l'appoint à 30% de son débit.

b. Etude d'une régulation par dispositif de détection de débit

Description de la solution

L'intérêt d'un fonctionnement du circulateur de décharge en fonction du débit de soutirage était de décharger l'énergie solaire stockée uniquement lors des périodes de soutirages. Ce principe permet d'optimiser la stratification du stockage solaire et de minimiser les consommations du circulateur de décharge.



Régulation par un dispositif de détection de débit

Le circulateur de décharge est asservi par l'intermédiaire d'un dispositif de détection de soutirage (régulation symbolisée en vert). Cette solution intègre un circulateur à haut rendement à vitesse fixe. Son débit nominal est réglé selon les règles de l'art (RAGE).

Résultats de simulations

Les résultats de la simulation comparant une configuration telle qu'elle est décrite ci-dessus, par rapport à une installation solaire en « eau sanitaire » sont présentés ci-dessous :

EAU TECHNIQUE Détection de débit	Besoins ECS	Energie solaire utile	Couverture solaire	Productivité Solaire	Consommations Auxiliaires*	Energie d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	31 200	42%	390	454	44 000
Ecart relatif	0%	-6%	-6%	-6%	150%	6%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

Une installation avec un asservissement du circulateur de décharge à travers un dispositif de détection de débit, sans variation de vitesse du circulateur est une configuration dont la productivité solaire est dégradée d'environ 6%.

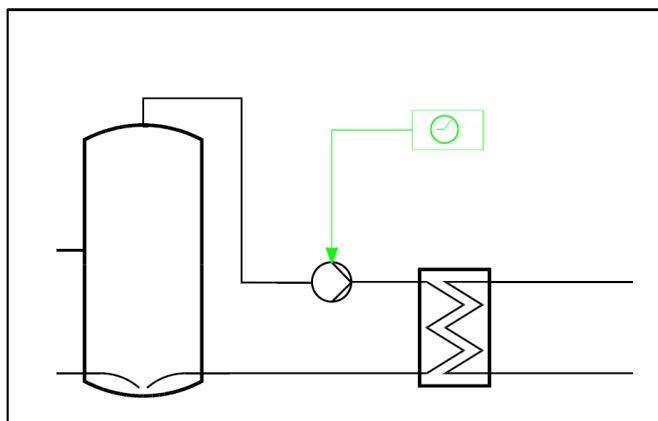
Une installation composée d'une régulation sur détection de débit est théoriquement performante, cependant, l'inertie de l'échangeur ainsi que la détermination du débit minimum détectable par de détecteur de débit ne sont pas caractérisées dans le modèle. Ces derniers points impliquent de nombreux soutirages non valorisés par le solaire, pouvant amener en réalité, à une dégradation des performances de l'installation solaire. Ce constat a pu être vérifié sur site au cours de l'étude.

De plus, ce type de régulation engendre un nombre de cycles de fonctionnement importants, pouvant nuire à la pérennité du circulateur.

c. Régulation par un dispositif d'horloge

Description de la solution

L'intérêt d'un fonctionnement du circulateur de décharge selon une programmation horaire était de décharger l'énergie solaire sur une plage horaire définie. Ce principe permet d'optimiser la stratification du stockage en dehors de cette plage horaire et de minimiser les consommations du circulateur de décharge.



Régulation par un dispositif d'horloge

Le **circulateur de décharge** est asservi en fonction d'une programmation horaire réglée à travers un dispositif type horloge (régulation symbolisée en vert). Cette solution intègre un circulateur à haut rendement à vitesse fixe. Son débit nominal est réglé selon les règles de l'art (RAGE). La simulation a été réalisée pour un déclenchement du circulateur de 6h – 22h.

Résultats de simulations

Les résultats de la simulation comparant une configuration telle qu'elle est décrite ci-dessus, par rapport à une installation solaire en « eau sanitaire » sont présentés ci-dessous :

EAU TECHNIQUE Régulation sur horloge	Besoins ECS kWh	Energie solaire utile kWh	Couverture solaire %	Productivité Solaire kWh/m ² .an	Consommations Auxiliaires* kWh/an	Energie d'appoint** kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	30 400	41%	380	458	44 800
Ecart relatif	0%	-8%	-9%	-9%	153%	7%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

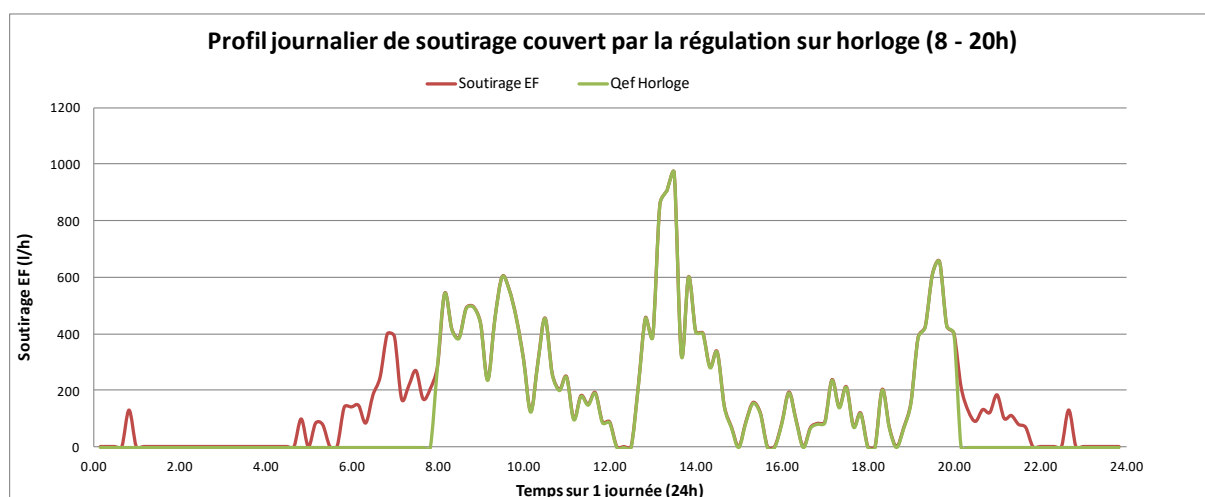
Une installation avec un asservissement du circulateur de décharge à travers un dispositif d'horloge, sans variation de vitesse du circulateur est une configuration dont la productivité solaire est dégradée d'environ 9%.

Nous constatons que les performances d'une production solaire associée à ce type de dispositif sont dépendantes de la plage horaire réglée. Afin d'évaluer son influence et de définir les limites

d'application de ce type de régulation, nous avons réalisé une étude de sensibilité en considérant une horloge horaire réglée de 8 à 20h, soit une couverture des soutirages journaliers de l'ordre de 80%.

Etude de sensibilité : Influence de la programmation horaire

La programmation de l'horloge autorisant le fonctionnement du circulateur de décharge peut influencer sur la productivité solaire. Nous avons donc simulé une programmation horaire réglée de 8h à 20h, couvrant 80% des soutirages.



Programmation de l'horloge de 8h à 20h permettant de couvrir 80% des soutirages

Ci-dessous, sont présentées les performances d'une installation solaire en « eau technique » avec une sous-évaluation de la plage horaire couvrant environ 80% des soutirages.

Variante : Régulation sur horloge - Soutirages couverts à 80% du temps - Circulateur à vitesse fixe	Besoins ECS	Energie solaire utile	Couverture solaire	Productivité Solaire	Consommations Auxiliaires*	Energie d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	27 800	37%	347	388	47 300
Ecart relatif	0%	-16%	-16%	-16%	114%	13%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

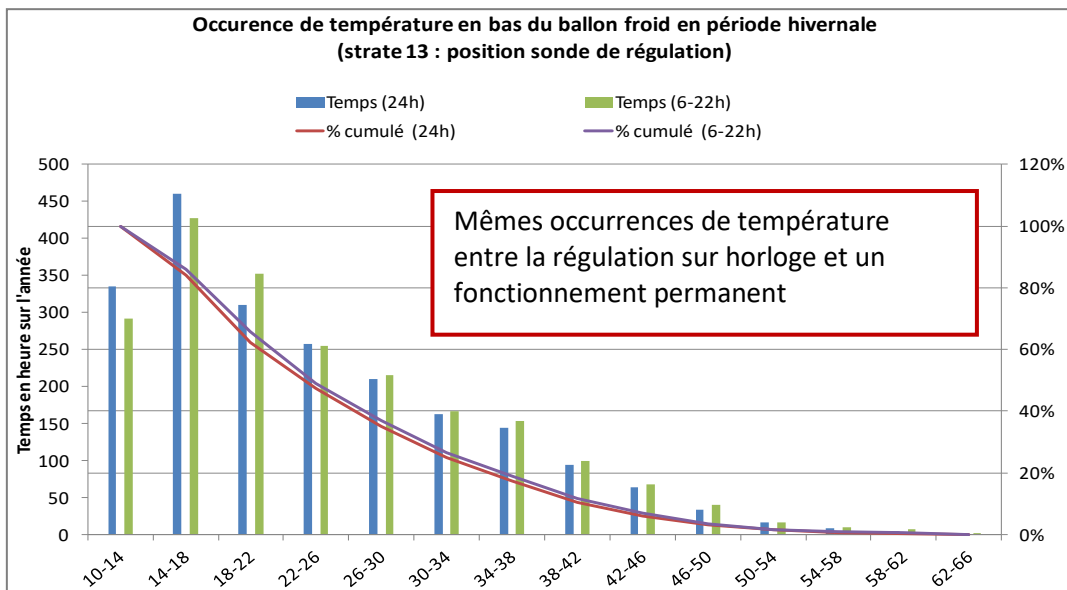
*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

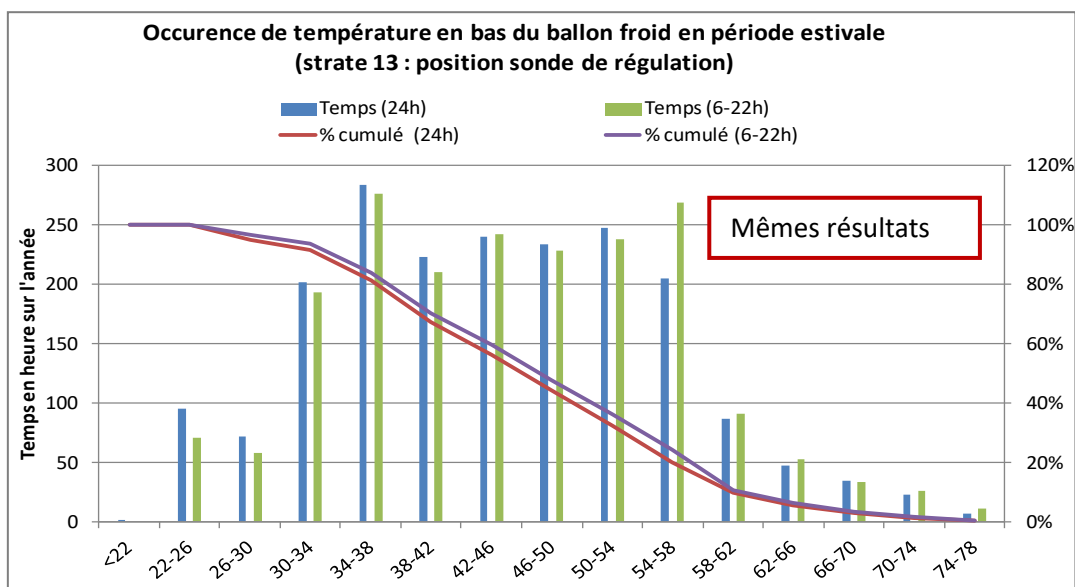
Une installation avec un asservissement du circulateur de décharge à travers **un dispositif d'horloge, sans variation de vitesse du circulateur** dont la **programmation horaire est sous-évaluée**, représente une **diminution de la productivité solaire d'environ 16%**.

On constate que le choix de la plage horaire est un paramètre de premier plan sur les performances de l'installation solaire. La vérification de l'adéquation entre la programmation horaire et le profil de soutirage est nécessaire pour envisager une régulation sur horloge.

Au vu de ces derniers résultats, nous avons étudié l'intérêt de ce type de régulation, c'est-à-dire, la diminution du temps de fonctionnement du circulateur de décharge afin d'optimiser la stratification ainsi que les consommations électriques des auxiliaires. Nous avons donc analysé la température en bas du ballon froid sur deux périodes de l'année (hivernale et estivale) en comparant une régulation sur horloge (cas de référence : 6h – 22h) avec une régulation en fonctionnement permanent (24h).



Occurrences de température en bas du ballon (en heures) et fréquence d'apparition de la température (en %) sur la période considérée (env. 2000 heures en hiver)



Occurrences de température en bas du ballon (en heures) et fréquence d'apparition de la température (en %) sur la période considérée (env. 2000 heures en été)

La température dans les ballons pour une régulation sur horloge converge vers le fonctionnement permanent. Ces résultats s'expliquent par une homogénéisation de la température en continue lorsque le circulateur de décharge est en fonctionnement.

Les performances d'une installation en « eau technique » dont le circulateur de décharge est en fonctionnement permanent sont présentées ci-dessous :

Variante : Régulation sur horloge - Circulateur en fonctionnement permanant et à vitesse fixe	Besoins	Energie	Couverture	Productivité	Consommations	Energie
	ECS	solaire utile	solaire	Solaire	Auxiliaires*	d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	30 800	41%	385	605	44 500
Ecart relatif	0%	-7%	-7%	-7%	234%	7%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

Pour le cas étudié, une installation solaire en « eau technique » avec un fonctionnement permanent du circulateur de décharge permet d'augmenter la productivité à 385 kWh/m².an contre 380 kWh/m².an pour une configuration avec une programmation horaire. Cependant, les consommations des auxiliaires ont augmenté par rapport à une solution avec programmation horaire.

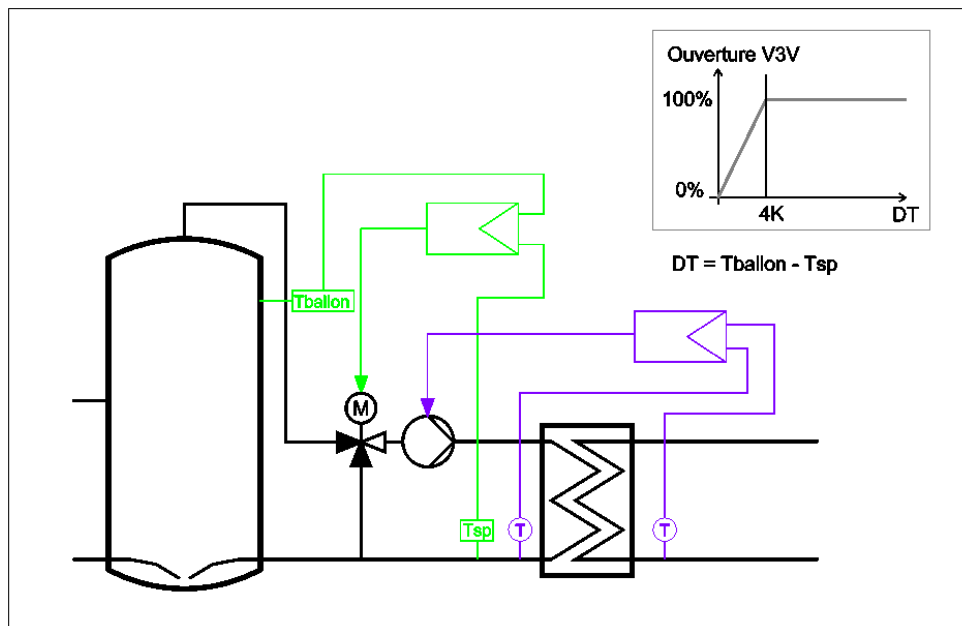
Une installation solaire en « eau technique » équipée d'un dispositif type horloge est envisageable sous respect de certaines conditions. En effet, **la connaissance et la maîtrise des soutirages est essentielle pour obtenir des performances élevées**. Cette régulation implique donc une **étude précise des besoins afin de connaître les plages horaires de soutirages**. Il est également nécessaire de s'assurer que la plage horaire définie initialement est constante dans le temps.

Dans le cas d'une installation existante, si les plages horaires de soutirages sont non maîtrisées ou variables, il sera alors recommandé de maintenir l'échangeur en température de façon permanente (avec installation de V3V modulante de préférence).

- d. Etude d'une régulation avec maintien en température de l'échangeur en fonction de la température du ballon

Description de la solution

Cette solution intègre deux régulations distinctes permettant d'une part, le maintien en température de l'échangeur en optimisant la stratification du stockage solaire et d'autre part, l'adaptation de la puissance à transmettre en fonction du besoin à couvrir (soutirages).



Régulation innovante par le pilotage de la V3V selon un différentiel de température

La Vanne 3 Voies module entre 0 et 100% pour maintenir une température en sortie d'échangeur en fonction de l'énergie contenue dans le stockage solaire (régulation symbolisée en vert). La sonde est positionnée en partie haute du stockage pour une meilleure représentativité de l'énergie disponible. Cette action permet de conserver la stratification du stockage quelle que soit l'ensoleillement et le profil de soutirages.

Le circulateur de décharge est en fonctionnement permanent et module sa vitesse de rotation selon un différentiel de température (régulation symbolisée en violet). Le débit nominal est réglé selon les règles de l'art (RAGE).

Résultats de simulations

Les résultats de la simulation comparant une configuration telle qu'elle est décrite ci-dessus, par rapport à une installation solaire en « eau sanitaire » sont présentés ci-dessous :

Variante : Maintien en température selon la T° ballon + Circulateur à vitesse variable	Besoins ECS	Energie solaire utile	Couverture solaire	Productivité Solaire	Consommations Auxiliaires*	Energie d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	32 600	44%	407	617	42 700
Ecart relatif	0%	-2%	-1%	-2%	240%	2%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

Une installation avec un maintien en température de l'échangeur de décharge en fonction de la température en partie haute du stockage solaire associée à la variation de vitesse du circulateur est la configuration la plus performante avec une dégradation sur la productivité solaire inférieure à 2%.

e. Etude d'une régulation avec un préparateur ECS sans modulation de vitesse

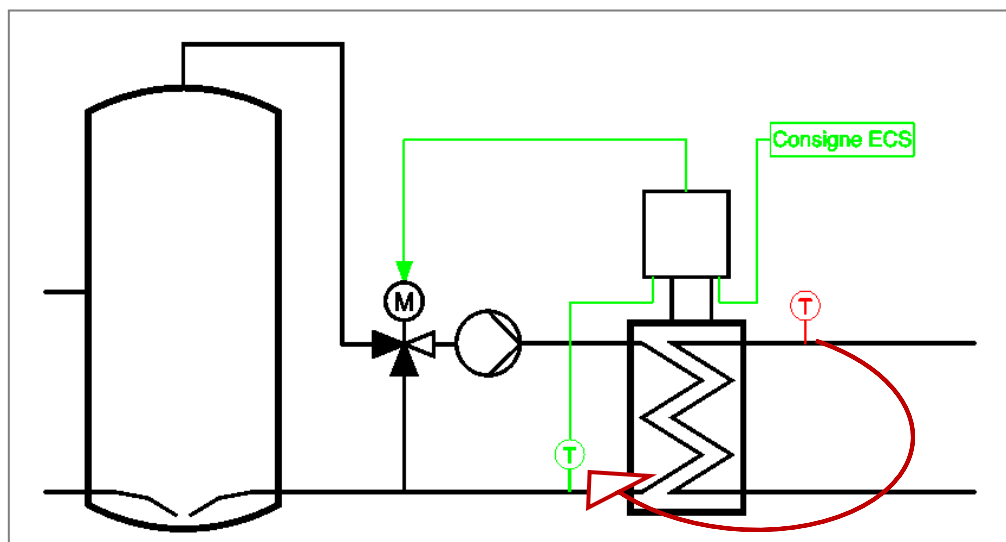
Description de la solution

Cette régulation a pour intérêt d'utiliser un préparateur ECS « kit ECS » couramment utilisé pour les productions d'ECS instantanées, mais également pour les productions d'ECS avec un stockage en primaire. Cette solution intègre un circulateur à haut rendement à vitesse fixe.

L'application de ce dispositif induit néanmoins, le déplacement de la sonde pilotant la V3V modulante (position initiale de la sonde symbolisée en rouge sur le schéma). En effet, l'objectif n'étant plus d'assurer la totalité du besoin mais de maintenir l'échangeur tout en maximisant l'efficacité globale de la production solaire (conserver la stratification solaire + non maintien du côté secondaire de l'échangeur en température).

Dans le cadre de cette application, il conviendra au préalable de vérifier avec le constructeur de la faisabilité d'une telle modification et de l'absence d'impact notamment au niveau de la garantie du matériel.

Par ailleurs, certains fournisseurs de ces systèmes proposent en option la pose de sonde sur la position souhaitée ce qui pourrait permettre l'utilisation conforme à notre besoin pour la production solaire.



Régulation par le pilotage de la V3V en fonction de la température en sortie de l'échangeur + circulateur à vitesse fixe

La Vanne 3 Voies module entre 0 et 100% pour maintenir une température en sortie d'échangeur égale à une consigne à définir (régulation symbolisée en vert). Cette consigne pourra être réglée à la consigne du mitigeur thermostatique, majorée du pincement de l'échangeur (égal à 5 K selon les règles de l'art). Ce réglage aura pour conséquence de limiter le by-pass de l'eau froide de la production solaire vers le mitigeur, sans pénaliser la décharge des ballons solaires.

Le circulateur de décharge est en fonctionnement permanent et à vitesse fixe. Le débit est réglé selon les règles de l'art (RAGE).

Résultats de simulations

Les résultats de la simulation comparant une configuration telle qu'elle est décrite ci-dessus, par rapport à une installation solaire en « eau sanitaire » sont présentés ci-dessous :

Variante : Préparateur ECS en fonction de Tsp + Circulateur à vitesse fixe	Besoins ECS	Énergie solaire utile	Couverture solaire	Productivité Solaire	Consommations Auxiliaires*	Énergie d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	30 900	41%	386	612	44 400
Ecart relatif	0%	-7%	-7%	-7%	237%	6%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

Une installation avec un maintien en température de l'échangeur de décharge en fonction de la température en sortie de l'échangeur, sans variation de vitesse du circulateur est une configuration dont la productivité solaire est dégradée d'environ 7%.

Points de vigilance

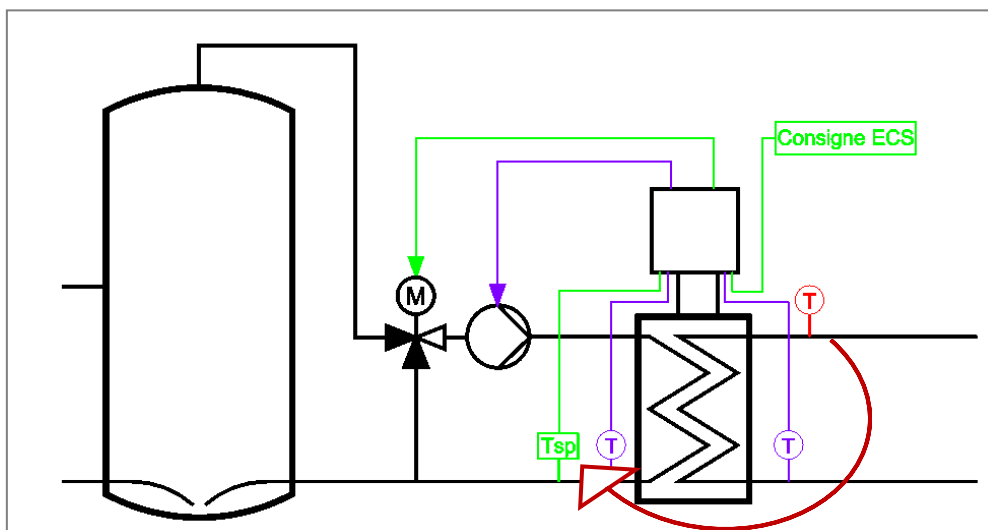
Il est recommandé de déplacer la sonde pilotant la V3V comme énoncé précédemment afin de garantir une irrigation permanente de la sonde et une bonne représentativité de la température de l'échangeur. Un point de vigilance est relevé concernant la mise en œuvre de cet équipement. En effet, la confusion des tuyauteries de raccordement de l'échangeur fait partie des sources d'erreurs importantes. Il est essentiel que la position finale de la sonde soit sur la sortie de l'échangeur primaire (retour ballon solaire).

f. Etude d'une régulation avec un préparateur ECS avec modulation de vitesse

Description de la solution

Une variante a été étudiée avec un préparateur ECS dit de nouvelle génération. La nouvelle génération intègre un circulateur à vitesse variable. L'intérêt de cette solution est de réduire la vitesse de circulation hors période de soutirage et ainsi limiter les consommations électriques et retarder l'usure des équipements.

L'application de ce dispositif induit néanmoins, le déplacement de la sonde pilotant la V3V modulante (position initiale de la sonde repérée en rouge sur le schéma). En effet, l'objectif n'étant plus d'assurer la totalité du besoin mais de maintenir l'échangeur tout en maximisant l'efficacité globale de la production solaire (conserver la stratification solaire + non maintien du côté secondaire de l'échangeur en température).



Adaptation du préparateur ECS nouvelle génération (en vert : pilotage de la V3V, en violet : pilotage de la variation de vitesse, en rouge : emplacement initial de la sonde)

La Vanne 3 Voies module entre 0 et 100% pour maintenir une température en sortie d'échangeur égale à une consigne à définir (régulation symbolisée en vert). Cette consigne pourra être réglée à la consigne du mitigeur thermostatique, majorée du pincement de l'échangeur (égal à 5 K selon les règles de l'art). Ce réglage aura pour conséquence de limiter le by-pass de l'eau froide de la production solaire vers le mitigeur, sans pénaliser la décharge des ballons solaires.

Le circulateur de décharge est en fonctionnement permanent et module sa vitesse de rotation selon un différentiel de température (régulation symbolisée en violet). Le débit nominal est réglé selon les règles de l'art (RAGE).

Résultats de simulations

Les résultats de la simulation comparant une configuration telle qu'elle est décrite ci-dessus, par rapport à une installation solaire en « eau sanitaire » sont présentés ci-dessous :

Variante : Préparateur ECS en fonction de Tsp + Circulateur à vitesse variable	Besoins ECS	Energie solaire utile	Couverture solaire	Productivité Solaire	Consommations Auxiliaires*	Energie d'appoint**
	kWh	kWh	%	kWh/m ² .an	kWh/an	kWh/an
EAU SANITAIRE	74 700	33 200	44%	416	181	41 700
EAU TECHNIQUE	74 700	31 717	42%	396	612	43 600
Ecart relatif	0%	-4%	-5%	-5%	237%	5%

Les valeurs avec séparateur de milliers sont arrondies : Résultats $\pm 1\%$

*La consommations des auxiliaires représentent l'énergie nécessaire aux circulateurs de l'installation solaire

**L'énergie d'appoint est définie par l'énergie restante à assurer après déduction de l'énergie solaire valorisée pour assurer les besoins ECS et intègre les consommations des auxiliaires

Une installation avec un maintien en température de l'échangeur de décharge en fonction de la température en sortie de l'échangeur associée à une variation de vitesse du circulateur est une configuration dont la productivité solaire est dégradée d'environ 5%.

Points de vigilance

Il est recommandé de déplacer la sonde pilotant la V3V comme énoncé précédemment afin de garantir une irrigation permanente de la sonde et une bonne représentativité de la température de l'échangeur. Un point de vigilance est relevé concernant la mise en œuvre de cet équipement. En effet, la confusion des tuyauteries de raccordement de l'échangeur fait partie des sources d'erreurs importantes. Il est essentiel que la position finale de la sonde soit sur la sortie de l'échangeur primaire (retour ballon solaire).

3. Optimisation technico-économique d'une nouvelle installation

a. Impact technico-économique du choix de la régulation du système de décharge

A partir des résultats des modélisations présentés dans le paragraphe précédent, nous présentons le bilan économique pour chaque cas de figure que nous rappelons :

		Productivité Solaire	Couverture solaire
		kWh/m ² .an	-
Référence	EAU SANITAIRE	416	44%
Cas 1	EAU TECHNIQUE - Détection de débit	391	42%
Cas 2	EAU TECHNIQUE – Horloge	380	41%
Cas 3	EAU TECHNIQUE - V3V sur DT + Vitesse variable	407	44%
Cas 4	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse fixe	386	41%
Cas 5	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse variable	396	42%

Investissement

Nom de la variante	Référence	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Montant de l'investissement	80 500 €HT	82 600 €HT	82 400 €HT	83 000 €HT	81 400 €HT	82 400 €HT
Ecart / référence	-	+ 2,6%	+ 2,4%	+ 3,1%	+ 1,1%	+ 2,4%

Les ballons de stockage sont moins chers pour une installation en eau technique que pour une installation de type sanitaire car il n'a pas besoin de revêtement alimentaire (ACS) ou de traitement anti-légionelles particulier.

Un échangeur supplémentaire est nécessaire pour une installation en eau technique.

Une pompe supplémentaire et une régulation nécessitant plus de sondes sont nécessaires pour l'eau technique.

Les kits de décharge eau technique permettent d'avoir une réduction de coût sur le matériel contenu dans le kit (échangeur de la puissance voulue, pompe de décharge, deux soupapes de sécurité, deux sondes, un clapet anti-retour, deux thermomètres, un manomètre et un module de régulation) d'environ 20% pour le kit avec pompe à débit fixe.

Pour le kit contenant une pompe à vitesse variable, le surcoût de la pompe compense ce gain.

Exploitation

Nom de la variante	Référence	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Coût annuel de l'entretien	1 050 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an
Ecart / référence	-	-29,5%	-29,5%	-29,5%	-29,5%	-29,5%

Maintenance : sont pris en compte dans les coûts de maintenance une journée par an pour contrôle du bon fonctionnement de l'installation, remplacement du petit matériel, contrôle pression et ajustement éventuel de glycol, purge éventuelle des capteurs, vérification de l'état des capteurs et des circulateurs, chasse des ballons ainsi que le remplacement des ballons ventilé sur 20 ans.

Désinfection des ballons : en eau sanitaire, il est nécessaire d'ajouter à la main d'œuvre une journée pour vidange complète et désinfection des ballons de stockages.

Bilan économique sur 20 ans, avec un prix de l'énergie et un coût de la maintenance indexé de 2% par an :

Nom de la variante	Référence	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Coût investissement (€HT)	80 500	82 600	82 400	83 000	81 400	82 400
Ecart / référence (€HT)	-	+ 2 100	+ 1 900	+ 2 500	+ 900	+ 1 900
Coût exploitation* (€HT)	25 500	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000
Ecart / référence (€HT)	-	- 7 500	- 7 500	- 7 500	- 7 500	- 7 500
Energie économisée (MWh)	664	626	608	651	618	634
Ecart / référence (MWh)	-	- 38	- 56	- 13	- 46	- 30
Total des différents postes de dépense et de revenus :						
Coût du MWh** (€/MWh)	159,7	160,7	165,0	155,1	160,9	158, 2
Ecart / référence	-	+0,6%	+3,3%	-2,9%	+0,7%	-0,9%

*Voir le détail des coûts d'exploitation dans le paragraphe exploitation

** Ce coût est donné sans tenir compte des aides à l'investissement qu'il est possible de demander auprès de l'ADEME (Fond Chaleur).

Le recours à une régulation performante (cas n°3) ou simple et robuste (cas n°1) et le fait que les coûts d'entretien soient plus faibles pour une installation en eau technique permettent de compenser le surcoût d'investissement.

Il est donc théoriquement tout à fait envisageable de recourir à une installation en eau technique tout en restant compétitif économiquement par rapport à une installation en eau chaude sanitaire.

b. Majoration de la surface de capteurs

Comme constaté dans les calculs théoriques et dans les analyses d'installation existantes, pour une même surface de capteurs, une installation en eau sanitaire est plus performante qu'une installation dite en « eau technique ». Ainsi, il est possible d'envisager d'augmenter la surface de capteurs afin de compenser cette perte de performance.

Il est donc question dans ce chapitre de l'étude de la majoration du champ de capteurs pour rétablir le taux de couverture perdu si l'installation était en « eau technique » par rapport à une installation en « eau sanitaire ».

Les variantes simulées précédemment ont démontré des taux de couverture rappelés ci-dessous :

		Productivité Solaire	Couverture solaire
		kWh/m ² .an	-
Référence	EAU SANITAIRE	416	44%
Cas 1	EAU TECHNIQUE - Détection de débit	391	42%
Cas 2	EAU TECHNIQUE – Horloge	380	41%
Cas 3	EAU TECHNIQUE - V3V sur DT + Vitesse variable	407	44%
Cas 4	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse fixe	386	41%
Cas 5	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse variable	396	42%

Il s'avère que l'installation solaire en « eau technique », identifié comme le cas 3, présente des performances très proches d'une installation en « eau sanitaire », avec un écart du taux de couverture à $\pm 1\%$. Il n'est alors pas nécessaire de rajouter une surface de capteurs supplémentaire pour couvrir la diminution du taux de couverture.

Il n'est pas recommandé d'appliquer un surdimensionnement pour les installations qui seraient équipées d'une régulation moins performante, puisque le risque de surchauffe en serait majoré.

En effet, pour une même surface de capteurs, une régulation moins performante induira une décharge du stockage solaire moins importante, pouvant engendrer une augmentation du niveau de température globale dans le circuit solaire. **Ajouter une surface de capteurs engendrera un risque de surchauffe plus accrue.**

c. Dimensionnement de l'échangeur de décharge

L'échangeur de décharge est un élément de l'installation influant sur la productivité solaire utile puisqu'il permet de transférer l'énergie solaire stockée au réseau d'eau froide sanitaire.

i. Sélection du débit de décharge solaire

Ce chapitre est alimenté à partir de travaux réalisés pour le guide « Recommandations professionnelles - Production ECS centralisée solaire – Conception » (Programme PACTE).

Il permet de sélectionner un débit optimal de décharge. Il a été démontré que ce paramètre est variable selon le profil de soutirage et de la situation géographique du lieu (indirectement traduit par le débit du circuit solaire primaire).

Dans le cas d'un profil de puisage présentant un rapport entre débit de pointe et débit de la boucle solaire faible, un sur-débit de la boucle en eau technique est favorable à la performance solaire de l'installation. La formule permettant d'approcher la valeur optimale de ce sur-débit est la suivante :

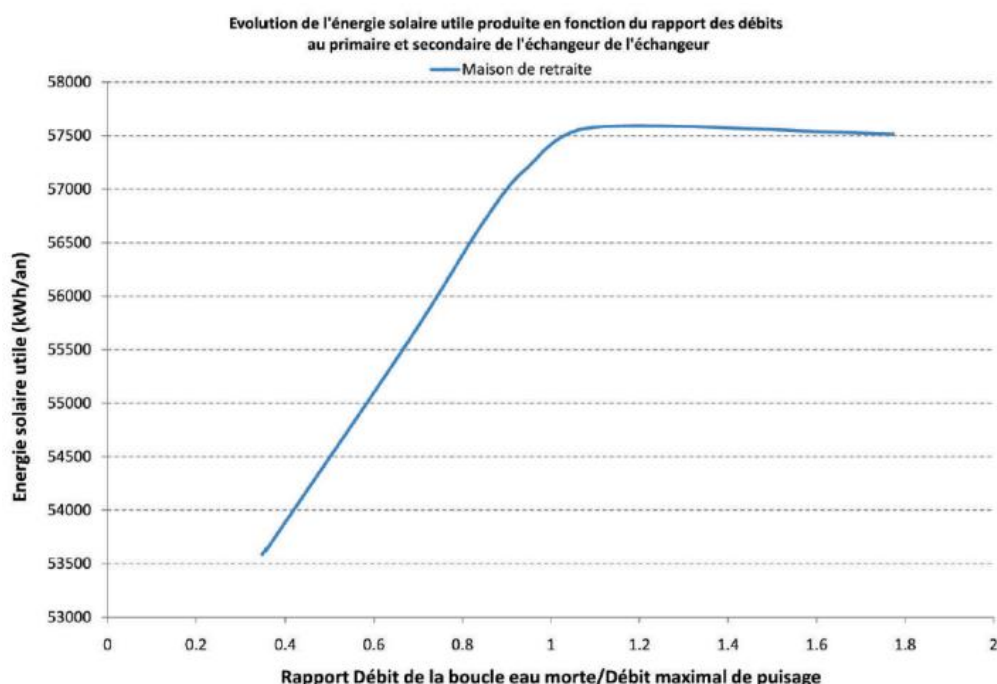
$$\text{Valeur de sur-débit} = \sqrt{\frac{\text{Débit boucle secondaire de l'échangeur solaire}}{\text{Débit maximal d'ECS puisé}}}$$

Avec :

- Débit de la boucle secondaire de l'échangeur solaire en l/h
- Débit maximal d'ECS en l/h

La difficulté réside dans la détermination du débit de pointe d'ECS sur 10 min. Le débit de la boucle en eau technique peut être sous/sur estimé par rapport au débit de pointe réellement constaté. L'impact sur la productivité d'une mauvaise évaluation du débit de pointe a été établi dans les règles RAGE, et sont rappelés ci-dessous :

- Sous-évaluation → Impact important
- Surévaluation → Faible impact



Le bureau d'études ou l'entreprise en charge du dimensionnement et des réglages des équipements doit évaluer au mieux ce débit. Pour cela, il peut :

- Idéalement, mesurer le profil de puisages réels du bâtiment concerné sur une journée type (cas d'installation existante) ;
- Se baser sur des profils de puisage établis à partir de statistiques de bâtiments existants similaires (par exemple les recommandations de l'AICVF de 2004).

ii. Règles préconisées par le rapport RAGE

Les règles de dimensionnement de cet échangeur ont été définies dans le rapport RAGE « Chauffe-eau solaire collectif avec stockage en eau morte » de 2014, sont rappelées ci-après :

La puissance de l'échangeur de décharge ne doit pas être inférieure à la puissance de l'échangeur solaire.

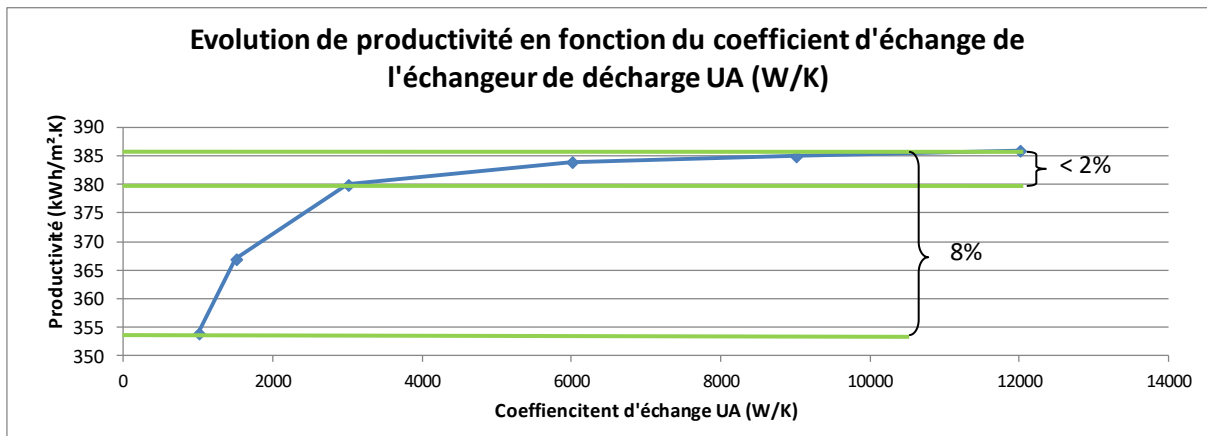
Les caractéristiques pour son calcul sont les suivantes :

- Dimensionnement en contre-courant
- Température en entrée du primaire de l'échangeur : 50°C
- Température en entrée du secondaire de l'échangeur : température d'eau froide
- Pincement de 5K
- Dimensionnement en iso-débit entre le primaire et le secondaire de l'échangeur de décharge (avec débit équivalent à la pointe de consommation d'ECS maximale)

iii. Influence de l'efficacité de l'échangeur de décharge

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'influence de l'efficacité de l'échangeur de décharge sur les performances de l'installation solaire. Pour cela, nous avons retracé l'évolution de la productivité solaire annuelle utile par mètres carrés de capteurs en fonction du coefficient d'échange UA, exprimé en W/K. Ce dernier coefficient est la résultante du dimensionnement et de la sélection de l'échangeur, et dépend :

- Des caractéristiques du fluide (chaleur spécifique, masse volumique...)
- De l'écoulement (sens du flux et vitesse du fluide)
- De la géométrie de la surface d'échange (diamètre équivalent)



Impact de la sélection de l'échangeur en fonction du coefficient de transfert thermique UA (W/K) sur la productivité solaire utile (kWh/m².an)

La productivité solaire voit une évolution logarithmique, tendant vers une productivité maximale de 386 kWh/m².an. On remarque une diminution de la productivité de 8% pour une sélection d'échangeur dimensionné pour un coefficient d'échange UA de 1000 W/K.

Il pourra être préconisé de dimensionner l'échangeur de décharge pour un coefficient d'échange UA supérieur à 3000 W/K afin de limiter la perte de productivité annuelle à 2%. Il est néanmoins important de signaler qu'un abaissement du coefficient d'échange UA induira une augmentation du pincement de l'échangeur (entrée primaire et sortie secondaire).

iv. Impact technico-économique du choix de l'échangeur

Des fournisseurs ont été consultés pour connaître les tarifs de plusieurs échangeurs de 60kW de puissance et pour des conditions de fonctionnement de température différents.

A partir de ces données, nous avons estimé l'efficacité UA des échangeurs en fonction de la formule de la méthode de la différence logarithmique des températures.

$$UA = P \frac{\text{Log} \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}{\Delta T_1 - \Delta T_2}$$

Avec :

UA : coefficient d'échange en W/K

P : puissance de l'échangeur en W

$\Delta T_1 = T_{c0} - T_{f0} = T_{ce} - T_{fs}$

$\Delta T_2 = T_{cL} - T_{fL} = T_{cs} - T_{fe}$

Tce : Température entrée circuit décharge eau technique

Tcs : Température sortie circuit décharge eau technique

Tfe : Température entrée circuit sanitaire

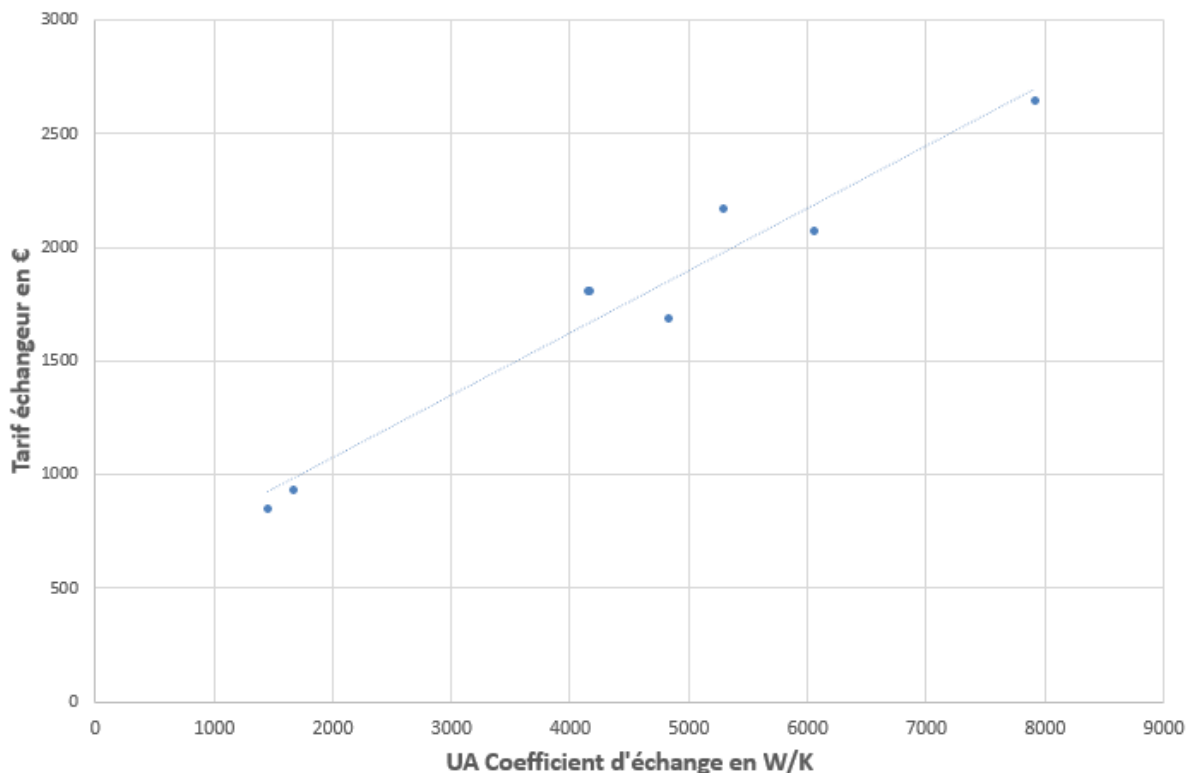
Tfs : Température sortie circuit sanitaire

Méthode de la différence logarithmique des températures

Il est alors possible d'évaluer le coût d'un échangeur d'une puissance de 60kW en fonction de son efficacité.

Tce	Tcs	Tfe	Tfs	ΔT_1	ΔT_2	UA	Prix (€)	Prix/UA (€/UA)
85,0	65,0	10,0	55,0	30,0	55,0	1455	850	0,58
80,0	60,0	10,0	55,0	25,0	50,0	1664	935	0,56
50,0	20,0	10,0	30,0	20,0	10,0	4159	1812	0,44
50,0	23,8	10,0	35,0	15,0	13,8	4169	1812	0,43
50,0	40,0	15,0	45,0	5,0	25,0	4828	1687	0,35
50,0	31,6	10,0	45,0	5,0	21,6	5289	2168	0,41
50,0	19,8	10,0	40,0	10,0	9,8	6061	2070	0,34
50,0	29,1	10,0	48,0	2,0	19,1	7918	2643	0,33

Présentation des tarifs d'échangeurs



Evolution tarif échangeur (P=60 kW) en fonction de son coefficient d'échange UA

Ainsi, il est possible de comparer cette évolution en fonction à l'évolution des performances de l'installation.

Coefficient d'échange UA	12 000	9 000	6 000	3 000	1 500	1 000
Coût de l'échangeur (€HT)	3 600	2 900	2 200	1 300	900	800
Coût investissement (€HT)	81 400	80 700	80 000	79 100	78 700	78 600
Ecart / référence (€HT)	-	- 700	- 1 400	- 2 300	- 2 700	- 2 800
Coût exploitation* (€HT)	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000
Ecart / référence (€HT)	-	-	-	-	-	-
Productivité (kWh/m ² .an)	386	385	384	380	367	354
Energie économisée (MWh)	618	616	614	608	587	566
Ecart / référence (MWh)	-	- 2	- 4	- 10	- 29	- 52

Total des différents postes de dépense et de revenus :

Coût du MWh** (€/MWh)	160,9	160,2	159,5	159,7	164,6	170,5
Ecart / référence	-	- 0,4%	- 0,9%	- 0,7%	+ 2,3%	+ 6,0%

Il est donc possible de réduire le coefficient d'échange de l'échangeur choisis jusqu'à approximativement un valeur 4 fois inférieure sans impacter le bilan technico-économique de la solution retenue.

4. Passage d'une installation solaire existante « eau sanitaire » en « eau technique »

a. Contexte – Conformité réglementaire

Les circulaires du 22 avril 2002 et du 28 octobre 2005 préconisent pour les établissements de santé, la suppression des volumes de stockage, maintenus ou non en température sur le réseau sanitaire.

L'objectif de cette partie est d'étudier l'impact d'une mise en conformité (sans obligation si l'installation est conçue avant l'application des circulaires) d'une installation solaire réalisée en « eau sanitaire » en « eau technique ».

b. Impact sur les performances

Cette mise en conformité induit une dégradation des performances solaires. C'est pourquoi, le choix de la régulation de décharge est très important.

Ci-dessous, sont rappelés les résultats des différentes solutions retenues permettant de répondre à ce besoin :

		Productivité Solaire	Couverture solaire
		kWh/m ² .an	-
Référence	EAU SANITAIRE	416	44%
Cas 3	EAU TECHNIQUE - V3V sur DT + Vitesse variable	407	44%
Cas 4	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse fixe	386	41%
Cas 5	EAU TECHNIQUE - Kit ECS + Vitesse variable	396	42%

La solution idéale restant le cas 3 : Maintien en température de l'échangeur associé à une V3V modulante en fonction de la température du ballon + Variation de vitesse du circulateur.

c. Impact économique

Investissement

Cette mise en conformité induit un coût supplémentaire et variable selon la solution de décharge sélectionnée.

La solution consisterait à ajouter les équipements suivants : échangeur, pompe de circulation, vase d'expansion, groupé sécurité, circuit remplissage.

Une nouvelle régulation est à prévoir afin de s'adapter à la régulation dédiée à l'eau technique.

Nom de la variante	Référence	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Montant de l'investissement	0 €HT	5 400 €HT	3 800 €HT	4 700 €HT

Exploitation

Nom de la variante	Référence	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Coût annuel de l'entretien	1 050 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an	740 €HT/an

Maintenance : sont pris en compte dans les coûts de maintenance une journée par an pour contrôle du bon fonctionnement de l'installation, remplacement du petit matériel, contrôle pression et ajustement éventuel de glycol, purge éventuelle des capteurs, vérification de l'état des capteurs et des circulateurs, chasse des ballons ainsi que le remplacement des ballons ventilé sur 20 ans.

Désinfection des ballons : en eau sanitaire, il est nécessaire d'ajouter à la main d'œuvre une journée pour vidange complète et désinfection des ballons de stockages.

La modification étant réalisée sur une installation existante, nous supposons la durée de vie de l'installation plus courte ainsi nous proposons de réduire la durée d'étude du bilan économique habituellement de 20 à 15ans.

Bilan économique sur 15 ans, avec un prix de l'énergie et un coût de la maintenance indexé de 2% par an :

Nom de la variante	Référence	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Coût investissement (€HT)	0	5 400	3 800	4 700
Coût exploitation (€HT)	18 200	12 800	12 800	12 800
Energie économisée (MWh)	498	488	463	475
Ecart / référence (MWh)	-	- 10	- 34	- 22
Total des différents postes de dépense et de revenus :				
Coût du MWh* (€/MWh)	36,5	37,3	35,8	36,8
Ecart / référence	-	+ 2.0 %	-1.9%	+0.8%

* Il s'agit d'un coût ne tenant pas compte de l'investissement initial, l'objectif étant uniquement de comparer l'impact d'une modification lourde qu'implique le passage d'une installation en eau sanitaire à une installation en eau technique.

L'écart du cout d'exploitation entre une installation sanitaire et une installation en eau technique compense la différence de performance et le surcoût d'investissement lié au coût de modification de l'installation.

Cependant, cette modification n'est techniquement pas toujours réalisable (encombrement, circulation des tuyauteries non adaptée...).

IV. CONCLUSION ET PRECONISATIONS

Contexte

L'arrêté du 30 novembre 2005 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public **n'impose à ce jour pas de contraintes sur les ballons de préchauffage** (et donc les ballons de stockage solaires qui peuvent être considérés comme des ballons de préchauffage).

Cependant, **les circulaires du 22 avril 2002 et du 28 octobre 2005** relatives à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé **proscrit tout stockage à une température inférieure à 55°C**.

Cette contrainte sur le secteur médico-social semble justifiée au regard de certains chiffres (33% des expositions à risques rapportées parmi les cas de légionelloses survenus en 2017 se situent dans le secteur médico-social).

Cette circulaire a d'ailleurs été globalement bien suivie. En effet, sur le panel d'installations analysées dans ce projet (54 installations), nous constatons l'absence quasi-totale de stockage sanitaire à partir de 2006.

Par ailleurs, **les établissements médico-sociaux** étant des consommateurs réguliers et importants en eau chaude sanitaire, ils **représentent une cible particulièrement intéressante pour le solaire thermique**.

Il semble donc important aux acteurs de la filière de préciser les conditions de réalisation d'une installation solaire thermique à la fois sécurisée et pérenne, eu égard à ce contexte.

Constats et propositions d'améliorations sur les installations existantes

Suite à l'analyse d'un échantillonnage faible en nombre mais représentatif de la diversité des installations existantes, il s'avère impossible de conclure sur la présence d'un lien entre stockage sanitaire solaire en préchauffage et présence de la bactérie Légionelle.

Dans le cadre des échanges menés au cours du projet LEGIOSOL, il est ressorti que les ARS et les exploitants disposent de données conséquentes sur ce sujet, même si elles semblent difficiles d'accès. L'exploitation exhaustive de ces données permettrait d'aboutir à une approche statistique plus vaste et donc davantage représentative mais cette analyse serait beaucoup plus conséquente en termes de budget donc hors de portée des moyens actuels disponibles.

Issues du projet LEGIOSOL, les analyses des données de mesures récoltées ainsi que les modélisations des systèmes tendent à confirmer une évidence : les températures de fonctionnement d'une installation solaire sont souvent dans les plages propices au développement de la légionelle.

Cette tendance augmente avec un surdimensionnement de la production solaire et diminue avec un sous dimensionnement de cette même production solaire. En effet, un surdimensionnement entraîne une diminution du renouvellement des ballons et inversement pour un sous dimensionnement. L'origine de ces dimensionnements inadaptés vient souvent d'une mauvaise estimation des besoins.

A travers cette étude, nous pouvons constater que le plus important pour garder sous contrôle le risque sanitaire lié aux légionelles est avant tout **LE RESPECT DES BONNES PRATIQUES EN TERMES DE CONCEPTION**, déterminées par les acteurs du solaire thermique.

En effet, nous constatons que, lorsqu'un problème de contamination bactériologique est identifié, un ou plusieurs points clés sont insatisfaisants et doivent être traités avec vigilance :

- Température d'appoint parfois non maîtrisée ;
- Longueur importante et faible calorifugeage de la canalisation avant appoint ;
- Présence de « zones mortes » observée dans la majorité des ballons de stockage solaires des installations solaires répertoriées ;
- Températures de bouclage trop faibles pour limiter la prolifération de bactéries ;

- Des installations solaires sous performantes et souvent surdimensionnées (surface de capteurs et volume de stockage).

Une formation d'une journée à tous les référents ARS pourrait être envisageable pour s'assurer qu'ils vérifient certains points clés lors de leurs visites (dimensionnement cohérent, schémas hydrauliques simples, en évitant les bars morts, températures suffisamment élevées dans la boucle de distribution etc...)

Nous préconisons également de communiquer encore davantage les ratios de consommations journalières conseillés par SOCOL et peut-être de les préciser (notamment en fonction des services annexes : blanchisserie, service de restauration...).

Pour les installations solaires existantes avec un défaut de dimensionnement, il est possible de **limiter le stockage et de réduire la puissance solaire** par exemple à l'aide de bypass de certains capteurs solaires ou de certains ballons. Il est également possible de **retravailler les schémas hydrauliques** afin de supprimer les bras morts et les zones de non renouvellement.

Maintenir la température du ballon d'appoint à 70°C au lieu de 60°C pourrait être une solution pour limiter le risque de développement de Légionelles dans les installations, avec un impact technico-économique sur l'installation solaire relativement faible (augmentation du coût du MWh de l'ordre de 4%, sans tenir compte des impacts sur la production d'appoint notamment sur les coûts d'exploitation).

Préconisations sur les installations en eau technique

Les installations de type « eau technique » sont aujourd'hui un état de fait dans la grande majorité des établissements médico-sociaux car imposées par la circulaire du 22 avril 2002.

Nous constatons cependant que des améliorations sur ces systèmes sont possibles et même souhaitables. En effet, un écart de performance est constaté en comparaison avec les systèmes en eau sanitaire, ceci ne pouvant pas uniquement s'expliquer par des pertes d'échanges supplémentaires. Il semblerait que la réalisation d'installations en eau technique soit moins bien maîtrisée que celle d'installation en eau sanitaire, principalement en raison d'un niveau de technicité supérieur à la fois en conception comme en exploitation.

Une attention particulière doit être apportée à la conception de la régulation de décharge des ballons de stockage en eau technique.

- ✓ **Les régulations avec un commutateur de flux (ou mesure débit) ou avec une consigne de température seraient à proscrire** car non adaptées à la volatilité des débits de puisage.
- ✓ **Une régulation de décharge de type horloge n'est théoriquement pas la solution la plus performante énergétiquement** cependant à la vue des retours d'expérience cette solution semble **robuste et simple** notamment vis-à-vis des contraintes en termes de surveillance et d'entretien. Dans ce cas, la connaissance et la maîtrise des soutirages est essentielle pour obtenir des performances élevées. Cette régulation implique donc une étude puis une mesure (via un télésuivi) précise des besoins afin de connaître les plages horaires de soutirages. Il est également nécessaire de s'assurer que la plage horaire définie initialement est constante dans le temps, ce principalement via un télésuivi adapté qui est lui aussi fortement conseillé pour les installations solaires thermiques en général.
- ✓ **La solution la plus performante mais plus complexe à réaliser**, est une solution avec maintien en température de l'échangeur **selon la température du stockage solaire**. Cette solution intègre une vanne trois voies modulante et un circulateur à vitesse variable. Elle est adaptée aux installations dont le **profil de soutirage est non maîtrisé et/ou variable dans le temps**.

- ✓ Deux variantes équipées des **préparateurs ECS** ont également été étudiées. Bien que les performances ne soient pas les plus élevées, ces solutions apportent **une simplicité de mise en œuvre et s'adapte aux profils de soutirage non maîtrisés et/ou variables dans le temps.**

Respecter certains principes dans le choix du matériel permettra la réalisation d'installations solaires en eau technique compétitives économiquement :

- Ne **pas** appliquer **de surdimensionnement** pour les installations solaires qui seraient équipées d'une régulation théoriquement moins performante, puisque le risque de surchauffe en serait majoré ;
- **Réduire le coefficient d'échange de l'échangeur de décharge** choisi jusqu'à approximativement une valeur 4 fois inférieure par rapport aux règles de dimensionnement classiques en améliorant le bilan technico-économique ;
- **Respecter les règles de dimensionnement du rapport RAGE** pour le choix du débit de décharge.

Dans ces conditions, il est donc théoriquement tout à fait envisageable de recourir à une installation en eau technique tout en restant compétitif économiquement par rapport à une installation en eau chaude sanitaire.