



La chaleur solaire collective performante et durable



Livret technique

Les Systèmes Solaires
Combinés pour les bâtiments
collectifs



Contributeurs

Ce livret a été réalisé par des membres de la **communauté SOCOL**.

Ont ainsi apporté leur contribution :

- Philippe BAUDUIN**, Excel Expertise et Conseils
- Thomas FOLL**, SOBALT Energie
- Régis-Emmanuel GANET**, GRDF
- Moran GUILLERMIC**, Atlansun
- Guy LONG**, AMON-RA Conseil
- Lionel NICOLO**, INES Plateforme Formation & Évaluation
- Guillaume PRADERE**, EKLOR

La rédaction a été assurée par :

- Philippe PAPILLON**, En butinant l'énergie

La coordination a été assurée par :

- Edwige PORCHEYRE**, Enerplan
- Philippe PAPILLON**, En butinant l'énergie

Version 3.11 du 8 décembre 2023

Ce document a été réalisé avec le soutien de l'ADEME et de GRDF.



Ce document a été réalisé dans le cadre d'un marché établi entre l'ADEME et Philippe Papillon.



Table des matières

Contributeurs	2
Table des figures.....	6
Table des tableaux.....	7
Nomenclature.....	8
Avertissement	9
Introduction.....	10
1 Généralités sur les systèmes solaires combinés en équipement collectif	11
1.1 Présentation générale	11
1.2 Les points de vigilance majeurs	11
1.2.1 L'évaluation des besoins de chauffage	11
1.2.2 L'évaluation des besoins d'eau chaude sanitaire	13
1.2.3 La gestion des surchauffes potentielles.....	13
1.3 La sélection du schéma hydraulique	13
2 Variantes de chaufferies conventionnelles	14
2.1 Distribution 4 tubes.....	14
2.1.1 REF1 : Solution de référence 1.....	14
2.1.2 REF2 : Solution de référence 2.....	15
2.1.3 REF3 : Solution de référence 3.....	15
2.2 Distribution 2 tubes.....	16
2.2.1 REF4 : Solution de référence 4.....	16
2.2.2 REF5 : Solution de référence 5.....	17
2.3 Sélectionner un schéma de Systèmes Solaires Combinés compatible avec les solutions de référence 18	18
3 Les éléments clés de la conception	19
3.1 Les capteurs solaires thermiques	19
3.2 Le stockage de la chaleur.....	20
3.3 La gestion du risque de surchauffe en période estivale	20
3.3.1 Les installations autovidangeables	21
3.3.2 Les capteurs solaires à limitation de température intégrée.....	22
3.3.3 L'évacuation de la chaleur excédentaire	23
3.3.4 La gestion du risque au travers du pilotage de l'installation	24
3.3.5 Le refroidissement nocturne du stockage de chaleur	25
3.3.6 La gestion de la stagnation	25
3.4 Les indicateurs de performance	26
3.4.1 Le taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV	26
3.4.2 La productivité des capteurs Prod	27
3.4.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux	28
3.5 Les méthodes de prévision de performances.....	28
3.5.1 Polysun.....	29
3.5.2 T*SOL	29
3.5.3 Diagramme FSAV=f(FSC)	29
3.6 Les spécificités du montage 4 tubes.....	29
3.6.1 La gestion du réseau de distribution chauffage.....	29
3.6.2 La gestion du bouclage sanitaire	30
3.7 Les spécificités du montage 2 tubes.....	30
3.7.1 Les modules thermiques d'appartement.....	30
4 Conception des installations : Guide d'application	31
4.1 Schéma REF1-SSC1	31
4.1.1 Schéma-type de l'installation	31



4.1.2	Domaine d'application.....	31
4.1.3	Variantes possibles	31
4.1.4	Mode de fonctionnement.....	32
4.1.5	Dimensionnement des composants spécifiques	33
4.1.6	Comptage de l'énergie.....	35
4.1.7	Calcul des indicateurs	37
4.1.8	Méthode de prévision des performances	37
4.1.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	41
4.2	Schéma REF1-SSC2	42
4.2.1	Schéma-type de l'installation	42
4.2.2	Domaine d'application.....	42
4.2.3	Variantes possibles	43
4.2.4	Mode de fonctionnement.....	43
4.2.5	Dimensionnement des composants spécifiques	45
4.2.6	Comptage de l'énergie.....	47
4.2.7	Calcul des indicateurs	47
4.2.8	Méthode de prévision des performances	47
4.2.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	48
4.3	Schéma REF2-SSC1	49
4.3.1	Schéma-type de l'installation	49
4.4	Schéma REF2-SSC2	50
4.4.1	Schéma-type de l'installation	50
4.5	Schéma REF3-SSC1	51
4.5.1	Schéma-type de l'installation	51
4.5.2	Domaine d'application.....	51
4.5.3	Variantes possibles	52
4.5.4	Mode de fonctionnement.....	52
4.5.5	Dimensionnement des composants spécifiques	54
4.5.6	Comptage de l'énergie.....	56
4.5.7	Calcul des indicateurs	57
4.5.8	Méthode de prévision des performances.....	58
4.5.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	59
4.6	Schéma REF4-SSC1	60
4.6.1	Schéma-type de l'installation	60
4.6.2	Domaine d'application.....	60
4.6.3	Variantes possibles	60
4.6.4	Mode de fonctionnement.....	61
4.6.5	Dimensionnement des composants spécifiques	61
4.6.6	Comptage de l'énergie.....	63
4.6.7	Calcul des indicateurs	63
4.6.8	Méthode de prévision des performances.....	64
4.6.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	67
4.7	Schéma REF5-SSC1	68
4.7.1	Schéma-type de l'installation	68
4.7.2	Domaine d'application.....	68
4.7.3	Variantes possibles	68
4.7.4	Mode de fonctionnement.....	69
4.7.5	Dimensionnement des composants spécifiques	69
4.7.6	Comptage de l'énergie.....	71
4.7.7	Calcul des indicateurs	72
4.7.8	Méthode de prévision des performances.....	72
4.7.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	74
4.8	Schéma REF5-SSC2	75
4.8.1	Schéma-type de l'installation	75
4.8.2	Domaine d'application.....	75
4.8.3	Variantes possibles	75
4.8.4	Mode de fonctionnement.....	76



4.8.5	Dimensionnement des composants spécifiques	76
4.8.6	Comptage de l'énergie.....	78
4.8.7	Calcul des indicateurs	79
4.8.8	Méthode de prévision des performances.....	80
4.8.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	81
Bibliographie		82
Annexe 1 : Schémathèque.....		84
Annexe 2 : Variantes pour sous-ensembles		94
1.	Boucle solaire.....	94
2.	Stockage.....	95
3.	Préchauffage solaire	97
4.	Production ECS Instantanée.....	98

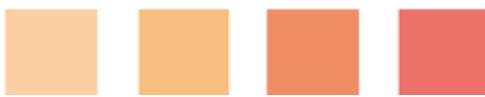


Table des figures

Figure 1. Charge de chauffage à Lille.....	12
Figure 2. Charge de chauffage à Marseille	12
Figure 3 : Solution de référence REF1	14
Figure 4 : Solution de référence REF2	15
Figure 5 : Solution de référence REF3	16
Figure 6 : Solution de référence REF4	17
Figure 7 : Solution de référence REF5	17
Figure 8. Impact de l'orientation et de l'inclinaison sur l'énergie solaire utile (système REF4-SSC1) pour un immeuble moyennement isolé à Nantes	19
Figure 9. Impact de la qualité de l'isolation sur le FSAV	20
Figure 10. Principe de fonctionnement d'une installation auto-vidangeable.....	22
Figure 11. Extrait d'un certificat Solarkeymark (capteur avec autoprotection en haut, et sans autoprotection en bas).....	23
Figure 12. Mise en place d'un aérotherme sur la boucle solaire	24
Figure 13. Capteur avec un bon comportement hydraulique en cas de stagnation et cycle de vaporisation (Selon [15])	25
Figure 14. Capteur avec un mauvais comportement hydraulique en cas de stagnation et cycle de vaporisation (Selon [15])	26
Figure 15. Schéma bloc de l'installation solaire+appoint et de l'installation de référence	26
Figure 16. Schéma bloc de l'installation solaire+appoint et mesure pour évaluer FSAV et Taux.....	27
Figure 17. Schéma REF1-SSC1	31
Figure 18. Schéma T*Sol Variante A3.2.....	38
Figure 19. Ecran de saisie des besoins de chauffage mensuels	38
Figure 20. Saisie de la consommation d'eau chaude moyenne journalière.....	39
Figure 21. Saisie du profil de consommation d'eau chaude	39
Figure 22. Saisie des caractéristiques du bouclage sanitaire	40
Figure 23. Schéma REF1-SSC2	42
Figure 24 : Régulation par pilotage d'une vanne 3 voies et d'un circulateur à vitesse variable.....	44
Figure 25. Schéma REF2-SSC1	49
Figure 26. Schéma REF2-SSC2	50
Figure 27. Schéma REF3-SSC1	51
Figure 28 : Régulation par pilotage d'une vanne 3 voies et d'un circulateur à vitesse variable.....	53
Figure 29. Schéma REF4-SSC1	60
Figure 30. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF4-SSC1	64
Figure 31. Schéma T*Sol Variante A8.....	65
Figure 32. Ecran de saisie de la charge thermique mensuelle	66
Figure 33. Ecran de saisie des paramètres généraux de chauffage	66
Figure 34. Schéma REF5-SSC1	68
Figure 35. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF5-SSC1	72
Figure 36. Schéma REF5-SSC2	75
Figure 37. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF5-SSC2	80



Table des tableaux

Tableau 1. Schéma SSColl associé au schéma de référence	18
Tableau 2. Variantes possibles pour le schéma REF1-SSC1.....	31
Tableau 3. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	33
Tableau 4. Synthèse des comptages thermiques.....	36
Tableau 5. Points forts et points de vigilance de la solution REF1-SSC1.....	41
Tableau 6. Avantages et inconvénients du schéma REF1-SSC2 par rapport au schéma REF1-SSC1.....	42
Tableau 7. Variantes possibles pour le schéma REF1-SSC2.....	43
Tableau 8. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	46
Tableau 9. Points forts et points de vigilance de la solution REF1-SSC2.....	48
Tableau 10. Variantes possibles pour le schéma REF3-SSC1.....	52
Tableau 11. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	54
Tableau 12. Points forts et points de vigilance de la solution REF3-SSC1.....	59
Tableau 13. Variantes possibles pour le schéma REF4-SSC1.....	60
Tableau 14. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	62
Tableau 15. Points forts et points de vigilance de la solution REF4-SSC1.....	67
Tableau 16. Variantes possibles pour le schéma REF5-SSC1.....	68
Tableau 17. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	70
Tableau 18. Points forts et points de vigilance de la solution REF5-SSC1.....	74
Tableau 19. Variantes possibles pour le schéma REF5-SSC2.....	75
Tableau 20. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	77
Tableau 21. Points forts et points de vigilance de la solution REF5-SSC2.....	81



Nomenclature

Notation	Désignation	Unité
a_1	Coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G)	[W/m ² .K]
a_2	Effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G)	[W/m ² .K ²]
A_G	Surface hors tout d'un capteur solaire	[m ²]
FSAV	Taux d'économie d'énergie d'appoint	[-] ou [%]
FSC	Fraction solarisable des consommations	[-]
G_{Coll}	Irradiation globale sur le plan des capteurs	[kWh/m ² .an]
K_{Ech}	Coefficient d'échange d'un échangeur	[W/K]
N_{Coll}	Nombre de capteurs solaires composant le champ solaire	[-]
Prod	Productivité des capteurs solaires (ramené à la surface hors tout S_{HT} du champ de capteurs solaires)	[kWh/m ² .an]
Q_{App}	Energie thermique d'appoint fournie par la chaudière $Q_{App}=Q_{App,Ch}+Q_{App,ECS}+Q_{App,Boucl}+Q_{Losses,BalApp}$	[kWh]
$Q_{App,Ch}$	Energie thermique d'appoint fournie par la chaudière pour le chauffage	[kWh]
$Q_{App,ECS}$	Energie thermique d'appoint UTILE fournie par la chaudière pour le chauffage (Cette énergie est évaluée à la sortie du ballon d'eau chaude sanitaire d'appoint et ne prend pas en compte les pertes thermiques du ballon d'appoint)	[kWh]
Q_{Boucl}	Energie thermique dissipée dans le bouclage sanitaire (plus couramment appelée Pertes de bouclage)	[kWh]
Q_{STU}	Energie solaire thermique utile (évaluée à la sortie du ballon de stockage solaire)	[kWh]
$Q_{STU,Boucl}$	Energie solaire thermique utile pour le réchauffage du bouclage sanitaire	[kWh]
$Q_{STU,Ch}$	Energie solaire thermique utile pour le chauffage	[kWh]
$Q_{STU,ECS}$	Energie solaire thermique utile pour le réchauffage de l'eau chaude sanitaire (Cette énergie est évaluée à la sortie du ballon d'eau chaude sanitaire solaire et ne prend pas en compte les pertes thermiques de ce ballon)	[kWh]
Q_{TOTAL}	Charge thermique correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage. La charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.	[kWh]
SC	Coefficient de correction de stockage	[-]
S_{HT}	Surface hors tout du champ de capteurs solaires thermiques	[m ²]
T_{AUX}	Taux de consommation des auxiliaires : rapport entre consommation des auxiliaires électriques W_{aux} et l'énergie solaire thermique utile Q_{STU}	[%]
V	Volume de stockage solaire	[litres]
W_{AUX}	Consommation des auxiliaires électriques nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire thermique (y compris la consommation éventuelle d'un aérotherme de décharge)	[kWh]
$W_{Controler}$	Consommation de la régulation spécifique à l'installation solaire thermique	[kWh]
η_{Coll}	Rendement de référence du capteur solaire	[-]
η_0	Coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)	[-]



Avertissement

Bien que les conseils et les informations contenus dans ce livret soient considérés comme vrais et exacts à la date de publication, ni les auteurs, ni les contributeurs, ni l'éditeur ne peuvent accepter de responsabilité légale pour toute erreur ou omission qui pourrait être commise.

Par ailleurs, le présent livret ne se substitue en aucun cas aux textes de référence, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...), normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, ...) qui doivent être consultés.

En conséquence, l'utilisateur reconnaît utiliser ces informations sous sa responsabilité exclusive. Il est seul responsable de l'usage qu'il fera de ces informations et des conséquences qui en découleront.



Introduction

Que ce soit en neuf ou en ancien, les « Systèmes Solaires Combinés collectifs » (SSCColl) offrent une opportunité pour réduire les consommations énergétiques de façon significative, sous réserve cependant que les conditions suivantes soient remplies :

- Des besoins énergétiques tout au long de l'année, avec notamment **des besoins d'eau chaude sanitaire significatifs en période estivale** (de fait, les établissements tertiaires du type bureau, écoles, collèges, ... seront à éviter),
- Les besoins de chauffage en période hivernale sont assurés par des **boucles de chauffage eau chaude avec une température modérée** (de préférence une température de départ comprise entre 60 et 70°C maximum pour la température extérieure de base). Cela sera très souvent le cas pour les bâtiments neufs, et pourra être facilement atteint pour des immeubles anciens, sous réserve que des travaux d'efficacité énergétique aient été réalisés et que la chaufferie ait été adapté en conséquence.

L'objectif de ce livret technique sera de fournir des informations sur les **points clés de l'intégration des SSCColl** dans un bâtiment neuf ou existant, notamment en ce qui concerne l'adaptation du schéma hydraulique, la gestion des surchauffes et le dimensionnement.

L'architecture de ce livret repose sur :

- La présentation **d'informations génériques sur les SSCColl**, et d'éléments communs à toutes les conceptions.
- Le recensement de **schémas hydrauliques conventionnels** usuels pour le chauffage des bâtiments et la production d'eau chaude sanitaire, n'utilisant pas l'énergie solaire thermique,
- **L'adaptation du solaire thermique à ces architectures hydrauliques**, au travers de fiches spécifiques synthétiques listant les principaux points-clés.



1 Généralités sur les systèmes solaires combinés en équipement collectif

1.1 Présentation générale

A l'instar des Chauffe-Eau Solaire thermique Collectifs (CESC), largement traités dans les documents SOCOL, les Systèmes Solaires Combinés Collectifs (SSCColl) disposent toujours d'un champ de capteurs solaires thermiques associés à un ou des ballons de stockage thermique en eau sanitaire ou en eau technique pour assurer la meilleure autoconsommation des apports énergétiques solaires thermiques.

Comme pour les CESC, il faudra toujours **privilégier le préchauffage** pour assurer la meilleure performance possible : cela sera un point déterminant dans la bonne conception des installations. Et dans ce cas, le préchauffage adressera le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Au niveau des CESC, nous trouvons une large variation de schémas hydrauliques possibles, en fonction du type de média pour le stockage thermique (eau chaude sanitaire ou eau technique), pour la possibilité ou non de réchauffer le bouclage d'eau chaude sanitaire avec l'énergie solaire. Il en est de même pour les SSColl, cependant au travers de ce livret technique, nous avons choisi de ne présenter qu'un nombre limité de variantes, qui seront présentées au cours des paragraphes suivants.

Par contre, une des différences majeures par rapport au CESC, est la variation annuelle des besoins de chaleur : alors que les besoins d'eau chaude sanitaire présentent une variation relativement faible au cours de l'année (avec en général un creux en période estivale dû à l'augmentation de la température d'eau froide et à la diminution des consommations d'eau chaude sanitaire), ce n'est absolument pas le cas dès que le chauffage des bâtiments est assuré. Cette variation saisonnière devra être appréhender avec soin pour définir le dimensionnement de l'installation le plus adapté et s'affranchir, dans la conception, des risques de surchauffe en période estivale.

1.2 Les points de vigilance majeurs

1.2.1 L'évaluation des besoins de chauffage

Que l'immeuble soit ancien ou récent, qu'il soit situé au Nord ou au Sud de la France, les besoins énergétiques pour le chauffage présenteront une variation très significative.

La qualité de l'évaluation des besoins de chauffage revêt donc un caractère absolument crucial dans la faisabilité d'une installation SSC Coll : cette qualité d'évaluation impactera significativement le dimensionnement du champ de capteurs solaires et du ou des stockages de chaleur, et in fine, les performances globales de l'installation.

Pour illustrer ce propos, les Figure 1 et Figure 2 représentent respectivement les besoins de chauffage d'un même bâtiment compact de 10 logements, bien isolé et d'un bâtiment moyennement isolé pour les climats de Lille et de Marseille.



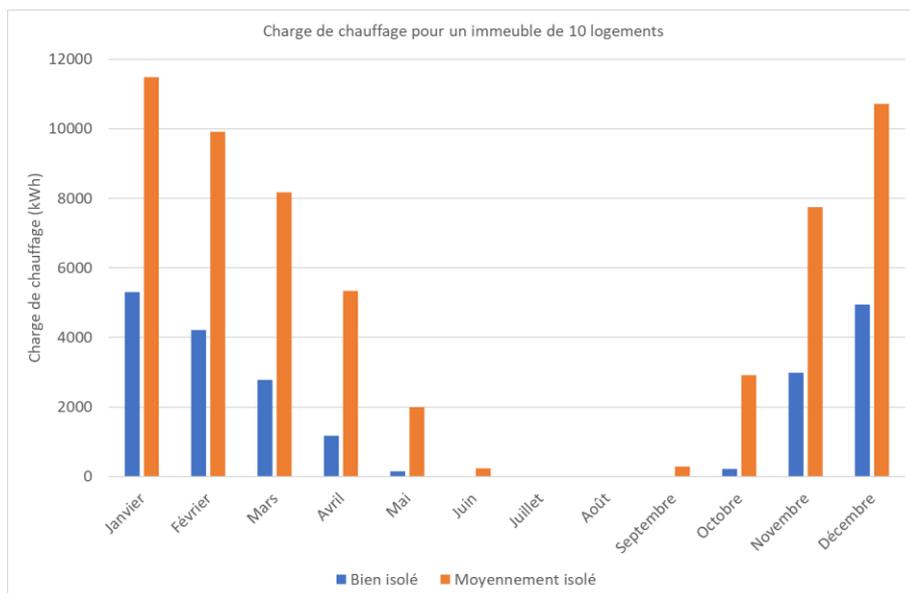


Figure 1. Charge de chauffage à Lille

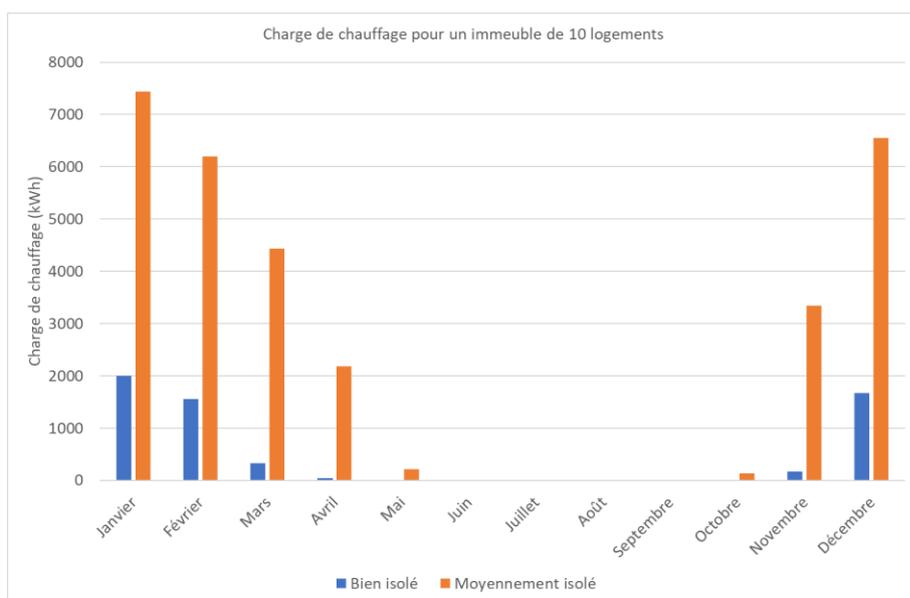


Figure 2. Charge de chauffage à Marseille

Dans le cadre des bâtiments neufs, la RE2020 permettra d'évaluer les besoins de chauffage.

Dans le cadre des bâtiments existants, les suivis de consommation des chaufferies, les points de comptage énergétique associés aux diagnostics et audits permettront d'atteindre les objectifs. Dans de nombreux cas, il sera **indispensable d'envisager une rénovation de la distribution hydraulique en chaufferie en même temps que la mise en œuvre du SSC Coll** : cela permettra ainsi d'améliorer l'efficacité énergétique de l'installation existante, et de maximiser les performances de l'installation solaire thermique. Le guide « Intelligence hydraulique – Guide pratique pour des installations performantes » [1] pourra constituer une référence technique utile.

Cette évaluation des besoins de chauffage sera un des points clés de l'étude de faisabilité.



Au-delà des besoins de chauffage, les **conditions de fonctionnement de la boucle chauffage**, notamment les températures de départ et retour, **seront à évaluer correctement** pour établir des performances prévisionnelles satisfaisantes.

En fonction des outils de dimensionnement utilisés pour les SSColl, la fourniture d'un fichier de charge (avec débit, température de départ et température de retour) avec un pas de temps horaire sera à privilégier, et à minima un bilan mensuel.

1.2.2 L'évaluation des besoins d'eau chaude sanitaire

Aujourd'hui bien documentés avec des ratios mis à jour récemment, les 2 outils de référence pour évaluer les besoins d'eau chaude sanitaire sont :

- La fiche Ratio SOCOL [2]
- Les guides réalisés par l'ADEME, le COSTIC pour les immeubles collectifs [3] et tertiaires [4].

Pour les immeubles existants, les relevés de mesure seront, comme toujours, préférables aux ratios, pour accéder à une meilleure précision. Comme pour toute installation solaire thermique, il est préférable de sous-évaluer les besoins d'eau chaude sanitaire, plutôt que de les surévaluer.

Dans une perspective de disposer de données avec un pas de temps horaire, des profils de répartition types à l'échelle de la journée, de la semaine, du mois pourront permettre d'améliorer la précision de l'évaluation et d'alimenter correctement les outils de dimensionnement.

1.2.3 La gestion des surchauffes potentielles

Afin d'assurer une part significative de la charge de chauffage et d'eau chaude, le dimensionnement d'un SSC Coll diffère de celui d'un CESC : la surface de capteurs solaires sera plus importante avec un SSC Coll qu'avec un CESC. En conséquence, **le risque de surchauffe en période estivale sera nettement plus important avec des SSC Coll qu'avec des CESC.**

Des solutions techniques existent pour gérer ces risques de surchauffe, mais cela doit être appréhendé et traité avec soin, et doit être étudié dans le cadre des études de faisabilité. Dans le paragraphe 3.3, différentes solutions sont présentées.

1.3 La sélection du schéma hydraulique

Le schéma hydraulique et son mode de pilotage sont également des points clés pour la performance énergétique des SSColl.

L'approche retenue dans ce livret a été de recenser des schémas conventionnels d'installations assurant le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, et de venir greffer une installation solaire thermique. Cette sélection de schémas conventionnels est volontairement réduite, et des déclinaisons sont tout à fait possible, mais ne remettent pas en cause la possibilité d'intégration de l'énergie solaire thermique.

C'est dans cette perspective que les différentes variantes de chaufferie conventionnelles prises en compte dans ce livret sont présentées dans le chapitre suivant.



2 Variantes de chaufferies conventionnelles

Afin de favoriser l'intégration d'installations solaires thermiques pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, une base d'étude a été le recensement de schémas hydrauliques de référence pour des chaufferies conventionnelles. Sur la base de [1], [5] et [6], un certain nombre de configurations a été retenu. De multiples variantes autour de ces configurations existent, mais il a semblé pertinent de se limiter à 5 configurations de référence.

Un premier critère de différenciation est le circuit de distribution :

- 4 tubes : deux pour le chauffage, un pour l'eau chaude sanitaire et un pour le bouclage sanitaire
- 2 tubes pour la boucle thermique. Cela suppose la mise en place de Modules Thermiques d'Appartement (MTA) qui assureront, au niveau de chaque logement, la production d'ECS et le chauffage.

2.1 Distribution 4 tubes

2.1.1 REF1 : Solution de référence 1

La solution de référence REF1 consiste en :

- Une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies,
- Un stockage d'eau chaude sanitaire et un circuit de bouclage sanitaire,
- Une chaudière assurant le chauffage et la production d'eau chaude.

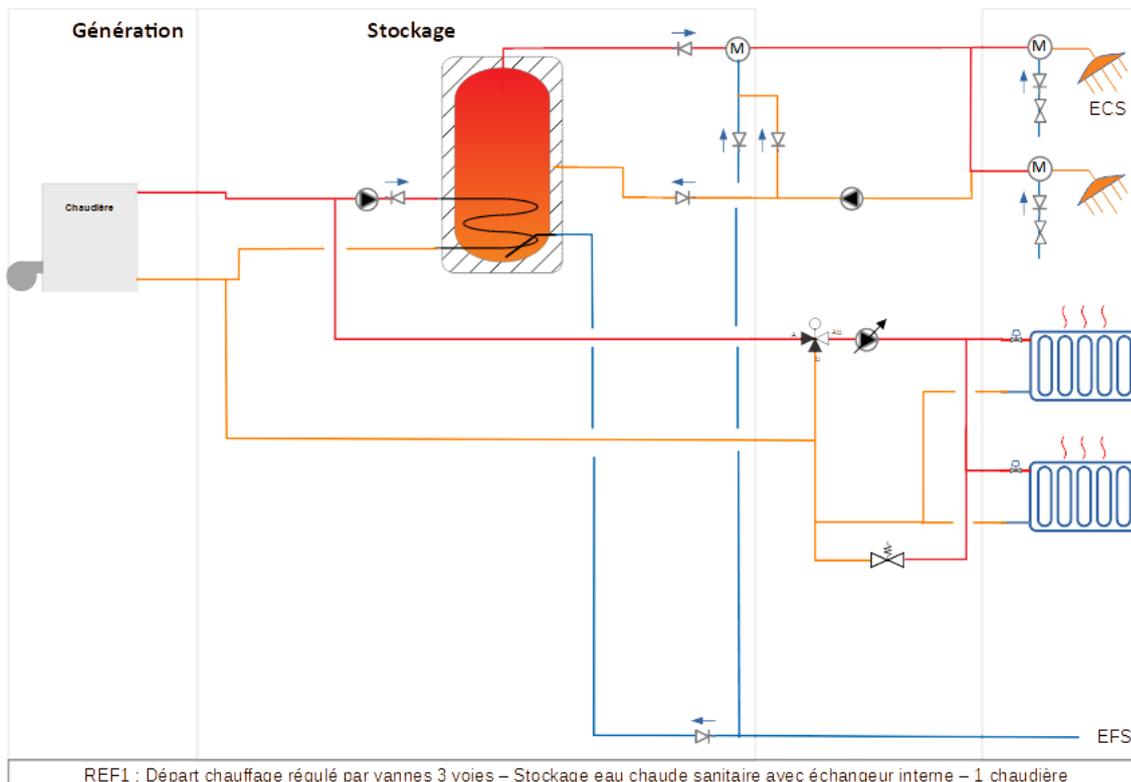
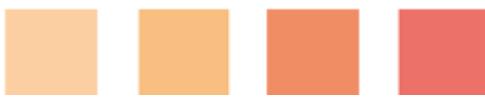


Figure 3 : Solution de référence REF1



2.1.2 REF2 : Solution de référence 2

Par rapport à la solution REF1, la seule différence provient de la bouteille de découplage entre la production de chaleur et les utilisations. Dans certains cas, cette bouteille de découplage est nécessaire pour assurer un fonctionnement correct de la chaudière.

On trouve toujours :

- Une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies,
- Un stockage d'eau chaude sanitaire et un circuit de bouclage sanitaire,
- Une chaudière assurant le chauffage et la production d'eau chaude.

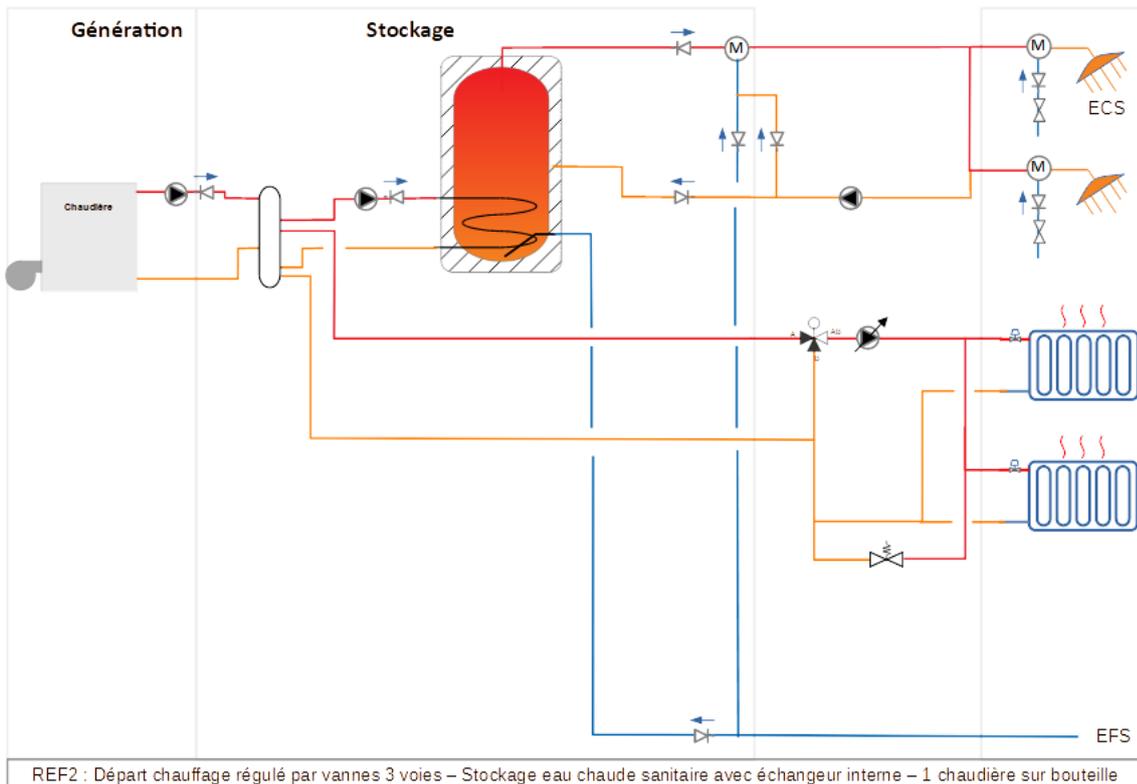


Figure 4 : Solution de référence REF2

2.1.3 REF3 : Solution de référence 3

La différence majeure de REF3 par rapport aux solutions précédentes est la production en instantané de l'eau chaude sanitaire et la présence d'un stockage en eau technique. C'est donc une solution qui peut répondre aux contraintes des établissements de santé, où le stockage d'eau chaude sanitaire doit être évité.



La solution de référence REF3 consiste en :

- Une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies,
- Un stockage d'eau technique, permettant d'assurer au moyen d'un échangeur de chaleur, la production d'eau chaude sanitaire et un circuit de bouclage sanitaire,
- Une chaudière assurant le chauffage et la production d'eau chaude.

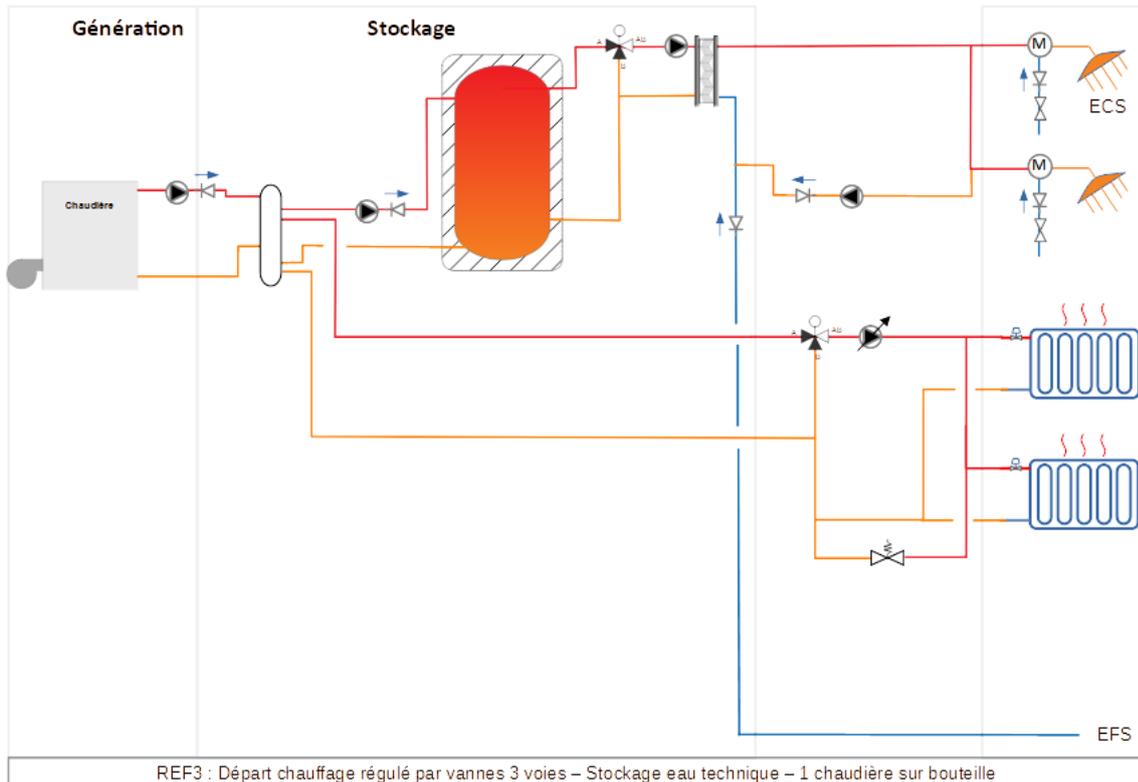


Figure 5 : Solution de référence REF3

2.2 Distribution 2 tubes

Dans ce cadre, seulement 2 tubes sont mis en œuvre, soit une seule boucle de distribution qui alimente des Modules Thermiques d'Appartement.

2.2.1 REF4 : Solution de référence 4

La solution de référence REF4 consiste en :

- Une boucle de distribution à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies, avec une température de consigne permettant d'assurer la production d'eau chaude sanitaire
- Une chaudière assurant le chauffage et la production d'eau chaude,
- Un découplage hydraulique entre la boucle chaudière et la boucle de distribution



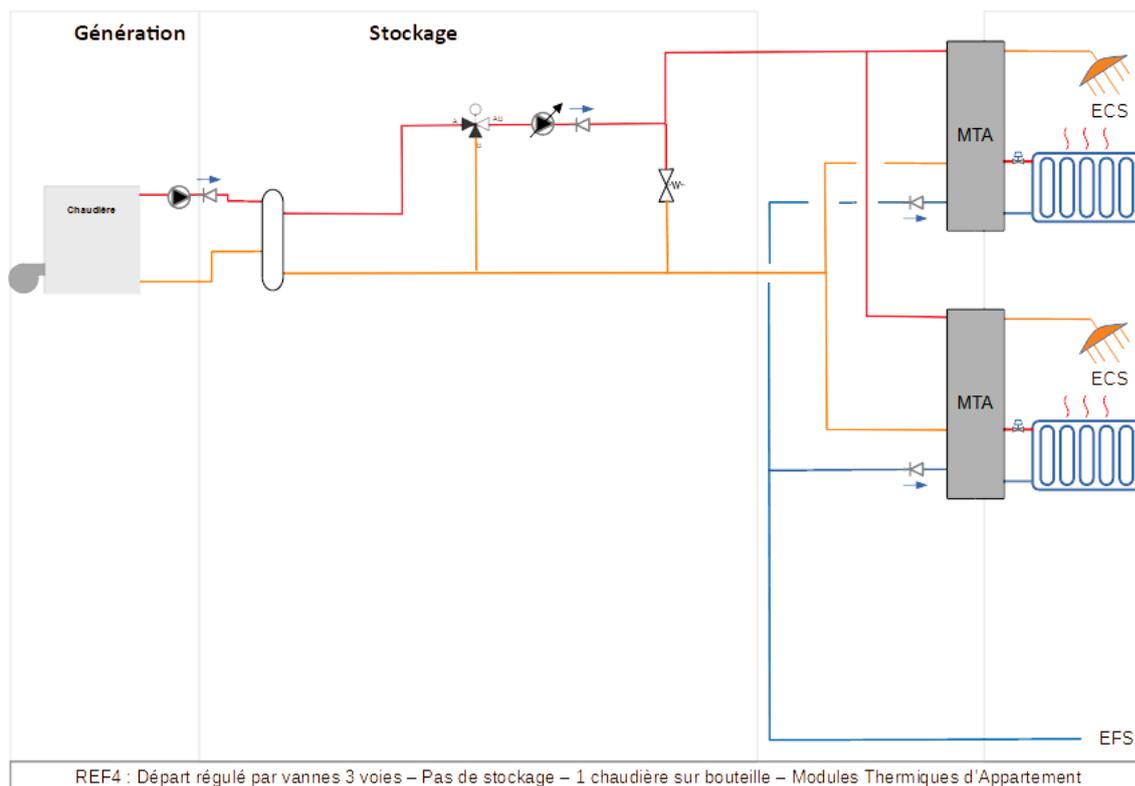


Figure 6 : Solution de référence REF4

2.2.2 REF5 : Solution de référence 5

La solution de référence REF5 diffère de la solution REF4 par la présence d'un ballon tampon.

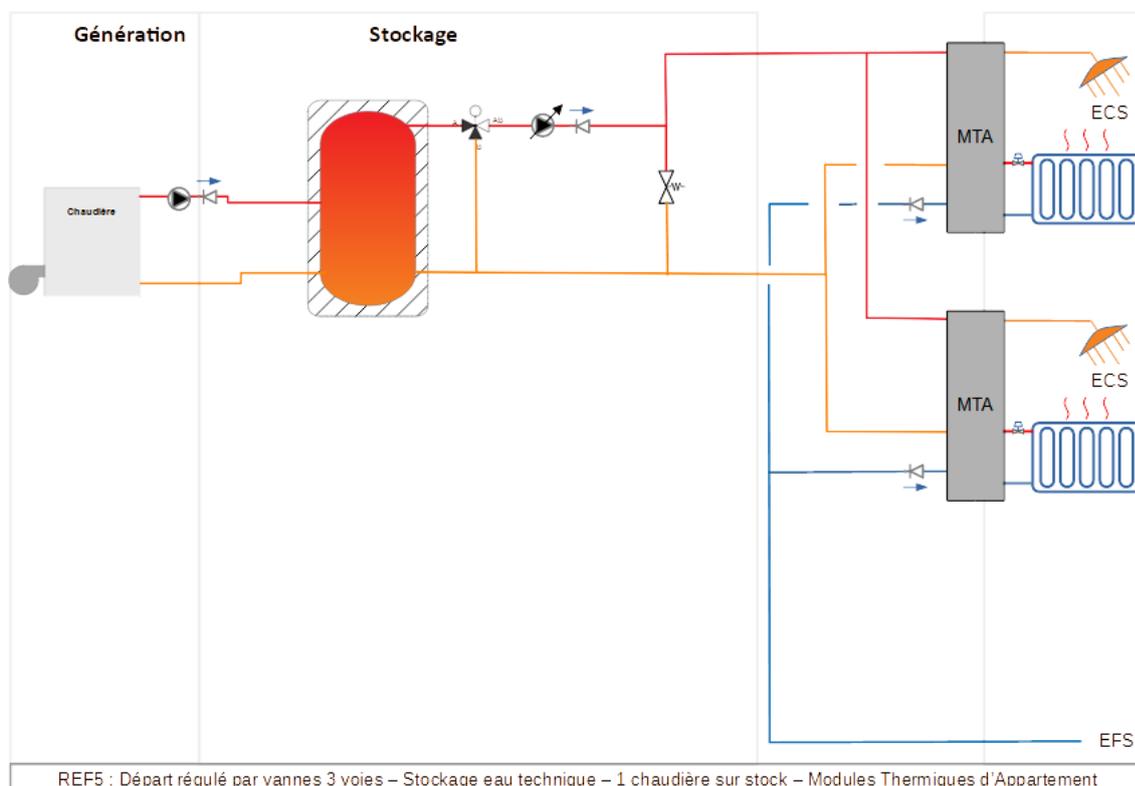


Figure 7 : Solution de référence REF5



2.3 Sélectionner un schéma de Systèmes Solaires Combinés compatible avec les solutions de référence

Le Tableau 1 associe à chacun des schémas de référence une ou deux variantes solaires thermiques.

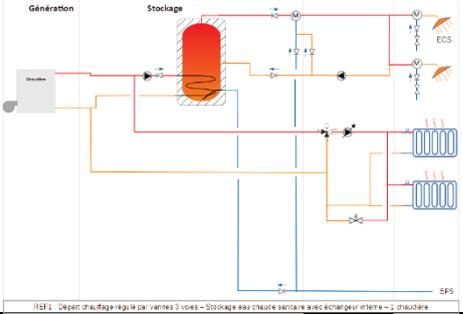
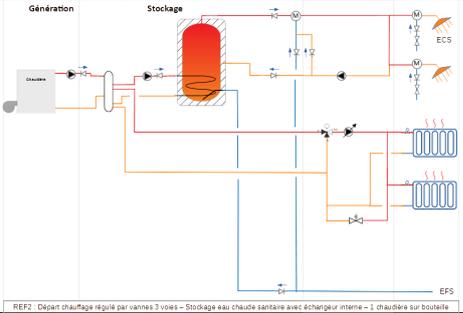
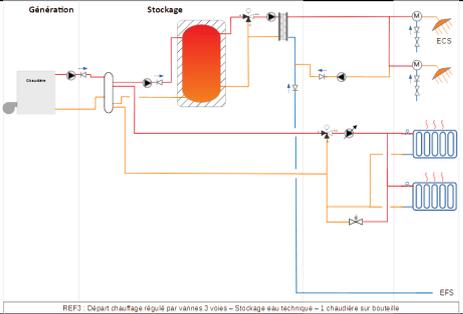
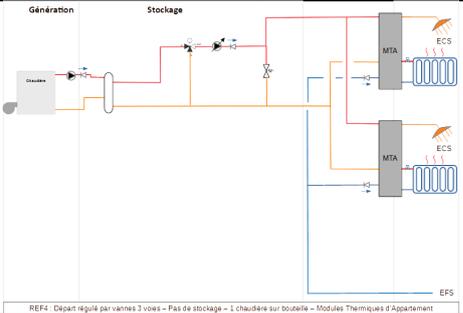
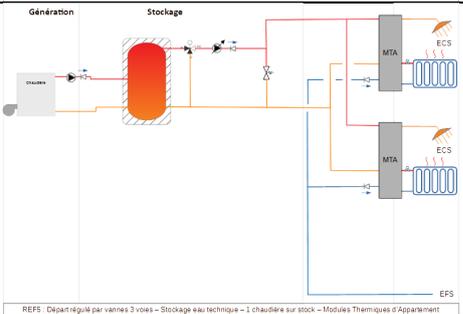
Schéma de référence	SSCColl associé	Fiche associée en page
<p>REF1</p>  <p>REF1: Départ chauffage régulier par vannes 3 voies - Stockage eau chaude sanitaire avec échangeur interne - 1 chaudière</p>	REF1-SSC1	31
	REF1-SSC2	42
<p>REF2</p>  <p>REF2: Départ chauffage régulier par vannes 3 voies - Stockage eau chaude sanitaire avec échangeur interne - 1 chaudière sur bouteille</p>	REF2-SSC1	49
	REF2-SSC2	50
<p>REF3</p>  <p>REF3: Départ chauffage régulier par vannes 3 voies - Stockage eau technique - 1 chaudière sur bouteille</p>	REF3-SSC1	51
<p>REF4</p>  <p>REF4: Départ régulier par vannes 3 voies - Pas de stockage - 1 chaudière sur bouteille - Modules Thermiques d'Appartement</p>	REF4-SSC1	51
<p>REF5</p>  <p>REF5: Départ régulier par vannes 3 voies - Stockage eau technique - 1 chaudière sur stock - Modules Thermiques d'Appartement</p>	REF5-SSC1	68
	REF5-SSC2	75

Tableau 1. Schéma SSCColl associé au schéma de référence



3 Les éléments clés de la conception

Bien que les installations SSColl aient un certain nombre de particularités par rapport aux installations de chauffe-eau solaires collectifs (niveau de température, dimensionnement, importance de la gestion des surchauffes, ...), de nombreux éléments de conception sont similaires. A ce titre, les différents livrets techniques SOCOL [7], ainsi que les recommandations professionnelles RAGE [8] constituent des références utiles pour assurer une bonne conception des installations.

3.1 Les capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires à privilégier pour les applications SSColl sont :

- Les capteurs plans
- Les capteurs à tubes sous vide

Comme pour les autres applications solaires thermiques, les capteurs solaires devront disposer d'une certification SolarKeymark [9] ou d'un Avis Technique [10] associé à une certification QB Procédés Solaires [11].

Les principales spécificités associées aux SSColl sont :

- La compatibilité des capteurs solaires thermiques avec le principe retenu pour la gestion des surchauffes (cf 3.3)
- Pour favoriser la production solaire en période de mi-saison et en hiver, et limiter les potentiels risques de surchauffe, l'inclinaison des capteurs devra être plus forte que pour les CESC, et l'orientation la plus proche possible du Sud (illustré sur la Figure 8). **Par rapport aux CESC, la plage de tolérance sur l'orientation et l'inclinaison sera notablement réduite.**

		Orientation													
		-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90	
Inclinaison	0	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	
	15	70%	74%	78%	81%	84%	85%	86%	86%	85%	83%	80%	77%	73%	
	30	67%	74%	81%	87%	91%	95%	96%	96%	94%	91%	86%	80%	73%	
	45	63%	72%	81%	88%	94%	98%	100%	100%	97%	93%	87%	79%	70%	
	60	55%	66%	75%	84%	90%	95%	98%	98%	95%	91%	84%	75%	65%	
	75	45%	55%	65%	73%	80%	84%	87%	88%	86%	82%	75%	67%	56%	
	90	31%	40%	48%	54%	58%	62%	64%	66%	66%	64%	60%	52%	43%	

Figure 8. Impact de l'orientation et de l'inclinaison sur l'énergie solaire utile (système REF4-SSC1) pour un immeuble moyennement isolé à Nantes

Basé sur des simulations détaillées, une **première approche du ratio de dimensionnement** est fournie par :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m^2]

G_{Coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [$kWh/m^2 \cdot an$]

Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage. Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.



3.2 Le stockage de la chaleur

En comparaison au CESC, **les ratios de stockage seront plus élevés, et idéalement de 75 à 100 l/m²**. Des ratios de dimensionnement plus précis sont fournis avec les fiches spécifiques aux différents schémas.

Par contre, commun à tous les systèmes SSC Coll, l'isolation doit être particulièrement soignée compte-tenu des niveaux de température nécessaires, et atteints : la recommandation de 100 mm d'équivalent laine minérale est un minimum, et il serait préférable d'atteindre les 150 à 200 mm si les produits industriels étaient disponibles.

L'isolation du fond de cuve de stockage sera impérative.

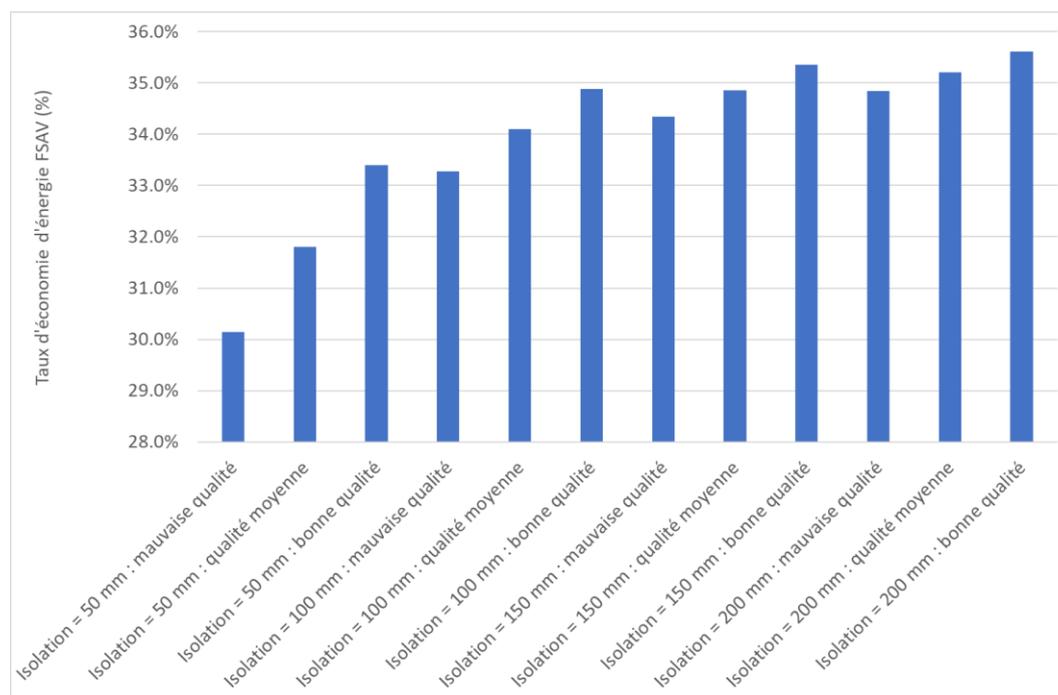


Figure 9. Impact de la qualité de l'isolation sur le FSAV¹

Tous les raccordements et accessoires hydrauliques devront par ailleurs être particulièrement bien calorifugés.

3.3 La gestion du risque de surchauffe en période estivale

La gestion du risque de surchauffe en période estivale est un des points critiques qui doit être pris en compte et analysé avec précision dès la phase de conception des installations, et largement contrôlé lors de la mise en œuvre et de la réception de l'installation, puis lors de l'exploitation de l'installation.

Pour assurer cette gestion, de nombreuses solutions techniques existent, et la mise en œuvre de l'une ou de plusieurs d'entre elles permet d'assurer avec efficacité un fonctionnement optimal des installations.

¹ Par « bonne qualité », cela signifie que les pertes thermiques modélisées sont égales aux pertes thermiques théoriques (pas de ponts thermiques, continuité totale de l'isolation, pas de pertes spécifiques au niveau des raccordements). Par « qualité moyenne », le coefficient UA d'isolation théorique est majoré de 50% pour prendre en compte les ponts thermiques et autres défauts. Par « mauvaise qualité », le coefficient UA d'isolation théorique est majoré de 100%. Lors de suivis de performances, la « mauvaise qualité » est souvent présente.



3.3.1 Les installations autovidangeables²

Initialement développé en Europe du Nord, le principe des installations autovidangeables (également appelé gravitaire ou « drain-back ») est aujourd'hui largement répandu en France.

Le circuit primaire contient un liquide caloporteur (eau glycolée ou eau). Ce circuit est sans pression et étanche à l'air.

- au repos, le fluide caloporteur est dans la partie inférieure de l'installation et les capteurs solaires ne contiennent que de l'air ;
- au démarrage de l'installation, la pompe de circulation envoie le fluide caloporteur dans la partie haute de l'installation. Le volume d'air contenu dans les capteurs (et dans les tuyauteries hautes) est chassé par le fluide arrivant vers la partie supérieure de l'installation. Cet air est recueilli dans un réservoir de récupération (un ballon tampon équivalent à un vase d'expansion sans membrane) qui va recevoir et isoler l'air du circuit. Après cette phase d'amorçage de quelques minutes, le système, alors entièrement en fluide dans sa partie opérationnelle, collecte l'énergie solaire pour la transmettre aux systèmes de stockage et de distribution.
- lorsqu'il n'y a plus d'énergie solaire récupérable ou lorsque la température maximale du stockage est atteinte, la pompe primaire s'arrête. Par la simple gravité, le liquide caloporteur, jusque-là maintenu en circulation en partie haute par la pression dynamique de la pompe, redescend en partie basse : l'air remonte dans les capteurs.

Pour assurer cette fonction d'autovidange, un certain nombre de précautions et d'attentions particulières doivent être respectées.

- précautions spécifiques au niveau de la tuyauterie (assurance d'une vidange complète) :
 - une pente minimale de 1 à 2% nécessaire (selon fabricant) entre les capteurs et le réservoir « liquide/air », surtout si le circuit est rempli en eau ; une pente supérieure à 2% sera privilégiée pour favoriser une vidange efficace (notamment avec du fluide antigel) et s'affranchir des aléas de supportage de canalisations dans le temps,
 - niveau bas des capteurs situé au-dessus du point haut du réservoir ;
 - absence de point bas et de siphon entre les capteurs et le réservoir.
- réservoir de vidange devant être soit « associé » à l'ensemble pompe régulation (donc situé dans la chaufferie), soit « dissocié » et placé entre capteurs et chaufferie (dans la colonne ou sous les capteurs en terrasse) : le positionnement du réservoir est étroitement lié au choix de la pompe, sa position et sa régulation, pour assurer un bon fonctionnement et éviter tout risque de cavitation (voir notice fabricant ou conception BET spécialisé) ;
- système devant être étanche à l'eau et si possible un maximum étanche à l'air (étanchéité parfaite et totale à l'air complexe dans le temps). Utilisation de raccords coniques métalliques conseillée, soudage parfois recommandé par certains fabricants ;
- choisir des capteurs vidangeables, les batteries de capteurs devant être pleinement vidangeables, les capteurs eux-mêmes et les raccords inter-capteurs ne devant autoriser aucune rétention éventuelle de poche de fluide dans leur hydraulique interne à l'arrêt de la pompe (surtout si l'eau est utilisée comme fluide caloporteur).
- Toujours utiliser des joints spécifiques à l'autovidangeable.(qui supportent l'alternance sec/humide).

² Ce paragraphe est repris de « Bibliothèque de schémas de principe » publié en février 2016 dans le cadre de SOCOL [12].



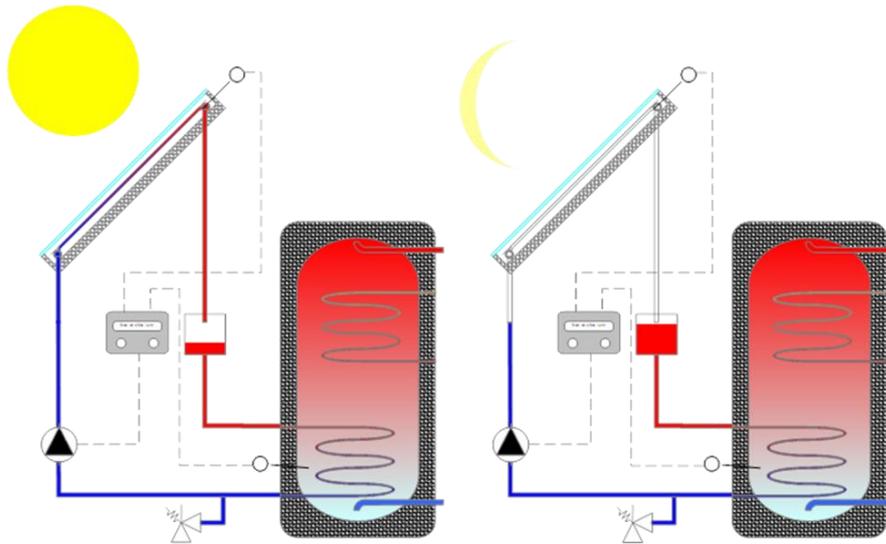


Figure 10. Principe de fonctionnement d'une installation auto-vidangeable

3.3.2 Les capteurs solaires à limitation de température intégrée

Les capteurs solaires à limitation de température intégrée sont également appelés « Capteurs à autoprotection » dans la norme NF EN ISO 9806 :2017 [13]. Dans le cadre de cette norme, les mécanismes d'autoprotection envisagés recouvrent un large spectre de solutions et le rapport d'essai des capteurs doit décrire les mécanismes d'autoprotection ainsi que le seuil de protection.

Pour les SSColl, deux solutions passives peuvent être envisagées.

3.3.2.1 Cas des capteurs plans

Récemment arrivé sur le marché, les capteurs à limitation de température intégrée utilise des absorbeurs dont le traitement de surface dispose de propriétés optiques variant avec sa température :

- A « basse » température, les coefficients optiques sont similaires aux capteurs conventionnels avec un coefficient d'absorption du rayonnement solaire α_s compris entre 0.9 et 0.95, et un coefficient d'émissivité thermique ε_t compris entre 0.05 et 0.1.
- A « haute » température, le coefficient d'absorption du rayonnement solaire α_s reste toujours compris entre 0.9 et 0.95, par contre, le coefficient d'émissivité thermique ε_t augmente significativement pour atteindre des valeurs comprises entre 0.3 et 0.5. Il en résulte une augmentation significative des pertes thermiques du capteur, qui conduisent ainsi à limiter la température de stagnation (de l'ordre de 140 à 150°C au lieu de 200°C à 220°C pour les capteurs conventionnels).

La transition entre « basse » et « haute » température est généralement située entre 60 à 75°C, et se réfère à la température de l'absorbeur.

A ce jour, plusieurs fabricants de capteurs solaires intègrent ces fonctions d'autoprotection dans leur gamme de fabrication, avec seulement 2 industriels européens réalisant les bandes sélectives disposant de ces propriétés optiques variables.



Pour s'assurer de l'adéquation du produit, il convient de vérifier la Température de Stagnation au travers du certificat SolarKeymark [9] ou de l'Avis Technique [10].

Standard stagnation temperature ($G = 1000 \text{ W/m}^2$; $\vartheta_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)	ϑ_{stg}	145	$^\circ\text{C}$
Standard stagnation temperature ($G = 1000 \text{ W/m}^2$; $\vartheta_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)	ϑ_{stg}	220	$^\circ\text{C}$

Figure 11. Extrait d'un certificat Solarkeymark (capteur avec autoprotection en haut, et sans autoprotection en bas).

3.3.2.2 Cas des capteurs à tubes sous vide

Pour les capteurs à tubes sous vide, il existe également des dispositifs de limitation de la température de stagnation. Ces dispositifs associent généralement un traitement sélectif spécifique (identique à celui évoqué pour les capteurs plans, mais actuellement insuffisant pour assurer seul la fonction d'autoprotection dans le cadre des tubes sous vide) accompagné d'un caloduc, dont le fluide caloporteur et la pression de remplissage sont sélectionnés pour limiter le transfert thermique de l'absorbeur vers le collecteur lorsqu'un certain niveau de température est atteint.

Comme pour les capteurs plans, il conviendra de s'assurer de l'adéquation du produit, il convient de vérifier la Température de Stagnation au travers du certificat SolarKeymark ou de l'Avis Technique.

3.3.2.3 Conséquences sur la conception des installations

Le but des capteurs à autoprotection est de limiter la température de stagnation pour, d'une part, éviter la dégradation du fluide caloporteur (qui est généralement de l'ordre de 180°C) et, d'autre part, limiter la pression de vapeur saturante (équilibre liquide/vapeur).

Pour une température de 150°C , la pression de vapeur saturante des fluides caloporteurs à base de monopropylène-glycol est de l'ordre de 4 bars (absolu). Il conviendra donc de s'assurer que la pression du circuit (au niveau de la chaufferie ou plus précisément au point bas de la boucle primaire solaire) est supérieure à la pression de vapeur saturante, en prenant en compte la hauteur manométrique. En conséquence, la pression de remplissage, le tarage de la soupape de sécurité, le volume et la pression de gonflage du vase d'expansion, devront être soigneusement adaptés. Compte tenu de la hauteur de certains bâtiments, cette contrainte doit devenir un point de vigilance.

Le lecteur pourra se référer utilement au document SOCOL « Le vase d'expansion d'une installation solaire thermique collective » [14].

3.3.3 L'évacuation de la chaleur excédentaire

Pour évacuer la chaleur excédentaire, la mise en place d'un aérotherme, d'un aéroréfrigérant ou d'une boucle enterrée est également une solution possible. Placé sur la boucle solaire, une vanne va orienter le fluide caloporteur vers cet aérotherme ou cette boucle enterrée afin d'évacuer la chaleur excédentaire et maintenir la température en deçà d'un certain seuil.

Ce dispositif d'évacuation de la chaleur excédentaire doit être dimensionné dans les conditions de « surchauffe » à savoir :

- Une température relativement élevée des capteurs solaires (80 à 90°C),
- Une température extérieure également élevée (35 à 40°C selon le climat),
- Une puissance réduite du capteur en fonction des températures évoquées ci-dessus, et une irradiation de 1000 W/m^2 .



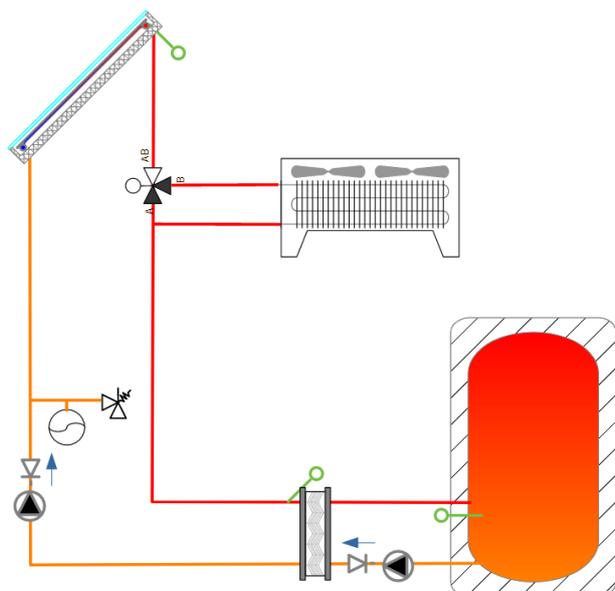


Figure 12. Mise en place d'un aérotherme sur la boucle solaire

Il est à noter que cette solution est active, et nécessite donc la disponibilité du réseau électrique pour être opérationnelle. Cette solution va également générer des consommations électriques additionnelles notamment dans le cadre des aérothermes : ces consommations d'auxiliaire devront être prises en compte dans le bilan global de l'installation.

Une vigilance accrue devra être également apportée à la qualité de la vanne 3 voies mise en œuvre : elle devra être parfaitement étanche (ne pas envoyer de la chaleur solaire en période hivernale vers l'aérotherme), et résister aux températures rencontrées.

3.3.4 La gestion du risque au travers du pilotage de l'installation

Pour les installations sous-pression, le pilotage de la boucle solaire est également une option pour limiter la température dans le stockage. En général, le principe est le suivant :

Au-delà d'une température de consigne maximale dans le stockage (typiquement 80°C), un mode de fonctionnement permettant de dégrader le rendement des capteurs est activé.

Ce mode de fonctionnement consiste à laisser stagner l'installation, jusqu'à ce que la température dans les capteurs solaires atteigne une température maximale (typiquement 110°C). Lorsque cette température est atteinte, le circulateur est mis en service à vitesse réduite de façon à remplacer le fluide contenu dans le champ de capteurs par un fluide tempéré provenant des canalisations de liaisons entre la chaufferie et les capteurs. Lorsque le fluide est remplacé, le cycle de stagnation est à nouveau enclenché avec l'arrêt du circulateur. Le fluide chaud qui était contenu dans les capteurs est transféré dans les canalisations entre les capteurs solaires et la chaufferie où sa température va baisser en raison des pertes thermiques des canalisations.

Ce mode de fonctionnement est maintenu tout au long de la journée, sauf si la température du stockage atteint une température de sécurité (typiquement 90°C et en fonction de la qualité du ballon de stockage et de la pression dans le circuit). Lorsque cette température de sécurité est atteinte, alors l'installation est mise en arrêt de sécurité avec les risques de surchauffe entraînant à la fois des dégradations possibles du fluide caloporteur, et la vaporisation de celui-ci.



Selon le tarage de la soupape de sécurité, le dimensionnement du vase d'expansion, cette dernière phase de sécurité pourra éventuellement entraîner l'ouverture de la soupape de sécurité, et en conséquence, la nécessité d'opérations de maintenance (remplissage et purge de la boucle solaire).

3.3.5 Le refroidissement nocturne du stockage de chaleur

Régulièrement associé à la solution précédente, le refroidissement nocturne du stockage consiste à faire circuler le fluide caloporteur en pleine nuit pour utiliser les capteurs solaires comme un émetteur de chaleur. En général, le circulateur est activé en milieu de nuit (typiquement minuit après les principaux puisages d'ECS de fin de soirée) pour refroidir le ballon de stockage jusqu'à une température seuil (typiquement 60 à 65°C) permettant ainsi de disposer d'une réserve énergétique suffisante pour assurer les besoins énergétiques du début de journée.

Une des difficultés de cette solution est de bien évaluer la température seuil afin d'une part de disposer d'une réserve d'énergie suffisante (et ne pas relancer l'appoint) et d'autre part laisser une marge de température suffisante pour assurer une capacité de stockage d'énergie solaire suffisante pour la journée suivante.

Il convient de noter que cette solution n'aura aucune efficacité avec des capteurs sous vide compte-tenu de leur isolation.

3.3.6 La gestion de la stagnation

Pour les installations sous-pression, la gestion de la stagnation consiste à concevoir la boucle solaire de façon à ce qu'elle puisse accepter le mieux possible les phases de stagnation. Initialement, des travaux significatifs ont été réalisés en Allemagne et en Autriche [15], [16] pour établir des règles de conception et de mise en œuvre de la boucle solaire. Ces règles portent principalement :

- Sur le dimensionnement du vase d'expansion, et son positionnement dans l'installation,
- Sur le dimensionnement et la mise en œuvre d'un radiateur entre la boucle solaire et le vase d'expansion pour limiter la température atteignant le vase d'expansion (et surtout sa membrane)
- Sur la conception hydraulique du capteur (cf Figure 13 et Figure 14) et du champ de capteurs pour assurer une vaporisation du fluide caloporteur en assurant un bon écoulement liquide/vapeur et en évitant les coups de bélier.

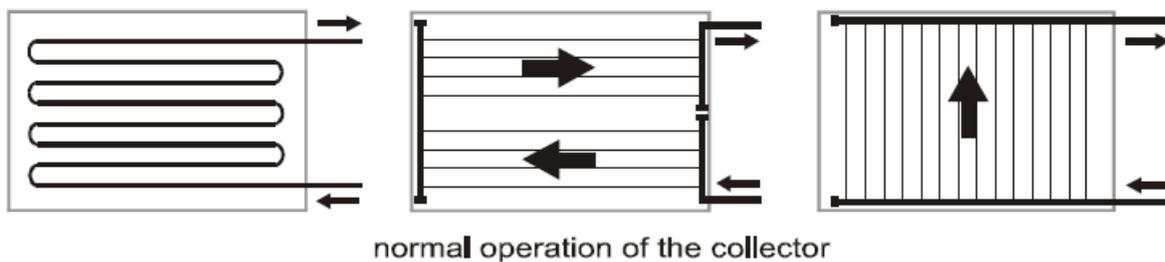


Figure 13. Capteur avec un bon comportement hydraulique en cas de stagnation et cycle de vaporisation (Selon [15])



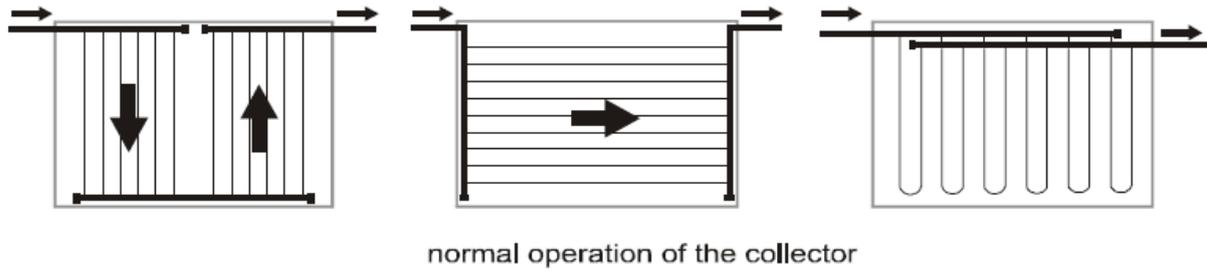


Figure 14. Capteur avec un mauvais comportement hydraulique en cas de stagnation et cycle de vaporisation (Selon [15])

Cette solution doit, dans la mesure du possible, être évitée du fait des risques de dysfonctionnements associés.

3.4 Les indicateurs de performance

Pour les SSColl, les indicateurs de performance pertinents sont limités aux trois suivants :

- Le taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV
- La productivité des capteurs Prod
- Le taux de consommation des auxiliaires Taux

Ces trois indicateurs devront être évalués lors de l'étude de faisabilité, et devront être mesurés sur site lors du suivi de performances.

Dans les fiches spécifiques aux différents schémas, la métrologie nécessaire pour mesurer ces trois indicateurs est précisée.

3.4.1 Le taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV

Selon la norme ISO 9488 [17], le **taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV** est définie par la réduction de la quantité d'énergie achetée, suite à la mise en œuvre d'une installation solaire thermique.

$$FSAV = 1 - \frac{\text{Consommation d'appoint avec l'installation solaire}}{\text{Consommation de l'installation classique de référence}}$$

En complément, la norme précise que l'installation classique de référence utilise le même vecteur énergétique, et délivre la même quantité de chaleur dans les mêmes conditions de confort pour l'utilisateur.

Ce qui peut se traduire au travers du schéma suivant par $FSAV = 1 - \frac{[1]}{[2]}$

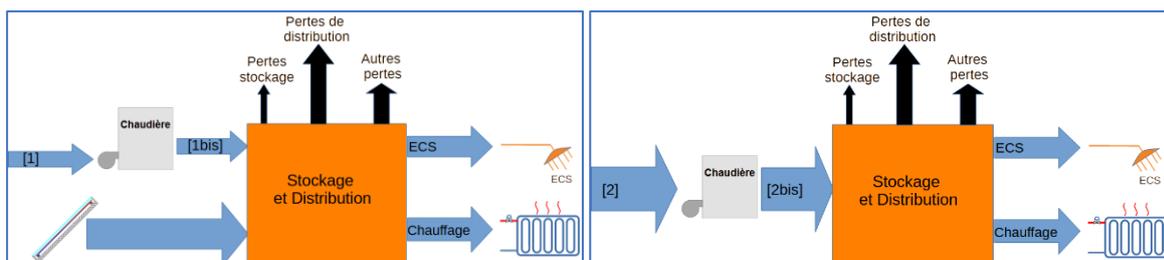


Figure 15. Schéma bloc de l'installation solaire+appoint et de l'installation de référence



Théoriquement, évaluer FSAV suppose de calculer la consommation d'énergie pour le système énergétique sans solaire, puis de refaire le calcul avec l'adjonction de l'installation à énergie solaire. Cela est possible au travers de la modélisation des systèmes, et ne pose pas de difficultés particulières avec des outils de modélisation détaillée.

Pratiquement, l'évaluation de FSAV à partir de données de mesures sur site est impossible. Il est donc nécessaire d'adapter la formulation de FSAV pour avoir une valeur proche. A partir de la mesure des énergies selon la Figure 16, une évaluation de FSAV est fournie par :

$$FSAV = 1 - \frac{[Q_{APP}]}{[Q_{APP}] + [Q_{STU}]} = \frac{[Q_{STU}]}{[Q_{APP}] + [Q_{STU}]}$$

Cette évaluation est correcte avec les hypothèses suivantes :

- Le rendement de génération de la chaudière d'appoint ne varie pas entre le système avec solaire et le système sans solaire : ceci signifie que l'intégration du solaire thermique n'a aucun impact sur le rendement de génération de la chaudière d'appoint.
- L'intégration du solaire thermique n'entraîne pas de modifications des différentes pertes de stockage (hors stockage solaire), de distribution et autres.

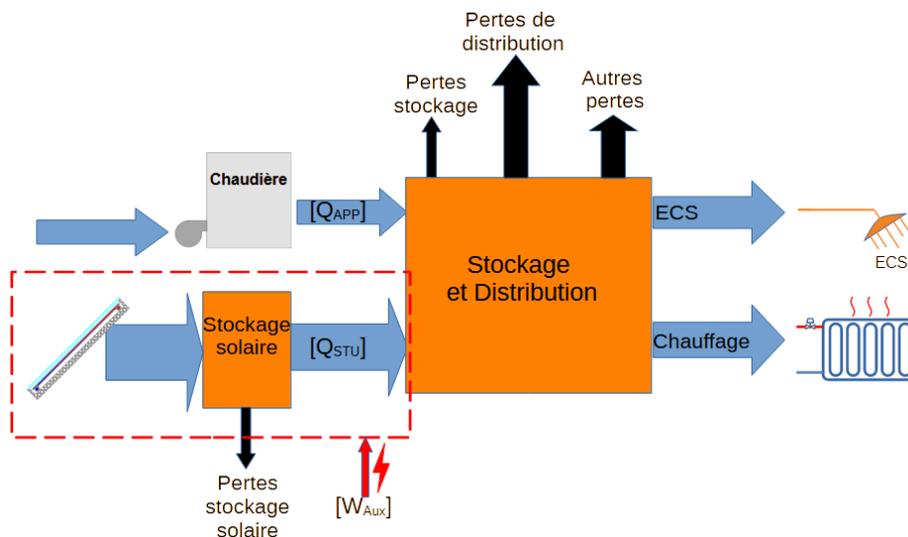


Figure 16. Schéma bloc de l'installation solaire+appoint et mesure pour évaluer FSAV et Taux

Pour les différents schémas de principe proposés dans les fiches (cf Chapitre 4), il est précisé les points de mesure nécessaires, et les formules à utiliser pour évaluer FSAV.

3.4.1.1 Autres déclinaisons de l'indicateur FSAV

La définition ci-dessus du taux d'économie d'énergie d'appoint ne prend en compte que l'énergie thermique. Pour avoir une vision plus globale du système, des déclinaisons de l'indicateur FSAV ont été élaborées pour intégrer l'ensemble des consommations énergétiques des systèmes en incluant la consommation des auxiliaires électriques, soit en énergie finale, soit en énergie primaire.

3.4.2 La productivité des capteurs Prod

La **productivité des capteurs** est un indicateur secondaire qui va refléter le sous ou le surdimensionnement de l'installation, il doit être mis en regard également de la zone climatique dans lequel l'installation va être réalisée.



Par contre, la productivité reflètera largement la pertinence économique de l'installation. Plus la productivité sera élevée, plus le coût de production du MWh solaire thermique sera bas.

Au sens de ce livret, la productivité est définie par :

$$Prod \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot an} \right] = \frac{[Q_{STU}]}{S_{HT}} = \frac{[Q_{STU}]}{N_{coll} * A_G}$$

Avec S_{HT} désignant la Surface Hors Tout du champ de capteurs solaires³.

La productivité des capteurs est un des critères d'attribution des aides dans le cadre du Fond Chaleur, avec des seuils minimaux, fonction de la zone climatique.

3.4.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

Le **taux de consommation des auxiliaires Taux** correspond à la consommation de l'ensemble des auxiliaires électriques nécessaires au fonctionnement de l'installation (y compris la consommation éventuelle d'un aérotherme de décharge) ramené à la production solaire utile. Par souci de simplicité, et pour être en cohérence avec d'autres technologies (notamment les PAC), la consommation électrique est exprimée en énergie finale (et non en énergie primaire).

$$T_{aux}(\%) = \frac{[W_{AUX}]}{[Q_{STU}]}$$

Cet indicateur précise l'efficacité du système. Sa mesure sur site est aisée et peu onéreuse, avec l'intégration de sous-compteurs électriques dans les armoires électriques. L'évaluation théorique est moins simple, et suppose de lister l'ensemble des composants électriques avec leur puissance et d'évaluer les temps de fonctionnement.

Pour des systèmes efficaces, Taux doit être inférieur à 1.5% : cela suppose donc une sélection des auxiliaires limitant la puissance et un pilotage de ces auxiliaires limitant leur durée de fonctionnement.

Dans certains cas, à la place de Taux, il est également utilisé une notion de COP (Coefficient de Performance). Même s'il existe une relation simple entre Taux et le COP ($COP=1/Taux$), Taux a été préféré au COP pour deux raisons essentielles :

- Eviter la confusion entre des termes identiques, mais logiquement dédiés à des technologies différentes,
- Le taux de consommation des auxiliaires Taux est également utilisé pour les PAC, et recouvre une même définition que celle utilisée ici. Cela permet donc d'harmoniser les termes et définition.

3.5 Les méthodes de prévision de performances

Actuellement, il existe principalement deux outils commerciaux pour évaluer les performances des systèmes solaires combinés en équipements collectifs.

Une approche simplifiée alternative est également présentée.

³ Depuis 2017, avec la mise en application de la norme NF EN ISO 9806 :2017 [13], la surface de référence des capteurs solaires est la Surface Hors Tout (Gross Area, noté A_G). Dans les normes précédentes (notamment la norme NF EN 12975), la surface de référence était la Surface d'Entrée (Aperture Area, noté A_a).



3.5.1 Polysun

Edité par VelaSolaris en Suisse, Polysun [18] est un outil relativement polyvalent pour évaluer les performances des systèmes solaires thermiques. Polysun dispose d'une bibliothèque conséquente de schémas hydrauliques.

Dans le cadre des SSC Collectifs, lorsque des schémas préconstruits similaires aux schémas proposés dans ce livret ont été identifiés, ils seront mentionnés dans les fiches dédiés aux installations⁴.

A la date de publication de ce livret, la version testée est la version 2023.8. Le tarif de Polysun est de 1999 € en version « Standard » et de 3899 € en version « Designer »

3.5.2 T*SOL

Edité par Valentin Software en Allemagne, T*SOL [19] est également un outil relativement polyvalent pour évaluer les performances des systèmes solaires thermiques. Comme Polysun, T*SOL dispose d'une bibliothèque conséquente de schémas hydrauliques.

Dans le cadre des SSC Collectifs, lorsque des schémas préconstruits similaires aux schémas proposés dans ce livret ont été identifiés, ils seront mentionnés dans les fiches dédiés aux installations⁵.

A la date de publication de ce livret, la version testée est la version 2023(R1). Le tarif de T*SOL est de 895 €.

3.5.3 Diagramme FSAV=f(FSC)

Initié dans le cadre de la Tache 26 du programme Solar Heating and Cooling, la méthode FSAV=f(FSC) [20] est une approche simplifiée de l'évaluation des performances des Systèmes Solaires Combinés.

Dans le cadre de ce livret, une évolution de la méthode FSAV=f(FSC), ainsi que des courbes FSAV=f(FSC) adaptées sont proposées pour les différents systèmes et sont présentées dans les fiches dédiées.

3.6 Les spécificités du montage 4 tubes

Dans le cadre d'un montage 4 tubes, le chauffage d'une part, et l'eau chaude sanitaire d'autre part, vont être traités indépendamment.

3.6.1 La gestion du réseau de distribution chauffage

Pour valoriser le mieux possible la production solaire thermique, le dimensionnement de l'installation de chauffage doit être réalisé pour assurer des températures de distribution les plus basses possibles.

La régulation de la boucle de distribution chauffage, notamment au travers du pilotage de la vanne 3 voies, **doit** également **assurer des températures de distribution les plus basses possibles** en fonction du dimensionnement des émetteurs de chaleur et de la température extérieure.

L'ensemble de l'installation doit **respecter les règles de l'art de la profession**, et il pourra être utile de se référer aux différents guides existants comme [21], [1], [22], [23].

⁴ Vela Solaris a été sollicité pour aider à établir la correspondance entre les schémas de ce livret et les schémas Polysun.

⁵ Valentin Software a été sollicité pour aider à établir la correspondance entre les schémas de ce livret et les schémas TSOL.



3.6.2 La gestion du bouclage sanitaire

Le bouclage sanitaire devra se conformer aux règles de conception habituelle et aux réglementations sanitaires en vigueur, notamment en ce qui concerne les niveaux de température et les débits de bouclage.

Avec l'utilisation de l'énergie solaire thermique pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire, il sera **impératif de prévoir la possibilité de réchauffer le bouclage sanitaire par l'énergie solaire** pour valoriser au mieux l'énergie solaire en période estivale. Il sera utile de se référer au guide SOCOL [24] dédié à ce sujet.

3.7 Les spécificités du montage 2 tubes

Dans le cadre du montage 2 tubes avec des modules thermiques d'appartement présenté au paragraphe 2.2, l'installation devra se conformer à [6]. Notamment, un point de vigilance particulier dans le cadre de l'utilisation de l'énergie solaire sera la **maitrise des niveaux de température de départ et de retour de la boucle de distribution**.

3.7.1 Les modules thermiques d'appartement

Les points clés pour la sélection des MTA seront notamment le dimensionnement des échangeurs de chaleur pour la production d'ECS. Pour un même débit de puisage, et pour une même température d'alimentation de l'échangeur, plus ce dernier sera grand, plus basse sera la température de retour du circuit de distribution. Le dimensionnement de cet échangeur aura donc un impact sur la performance globale de l'installation solaire.

Le maintien en température de ces échangeurs aura également un impact significatif sur les performances de l'installation solaire. Selon les MTA, deux options peuvent être envisagés :

- Un débit de maintien en température dans l'échangeur ECS : ce débit devra être le plus faible possible pour limiter la température de retour.
- Pas de débit de maintien dans l'échangeur ECS : dans ce cas, un bypass devra être mis en œuvre en haut de colonne. Le débit dans ce bypass devra également être le plus faible possible pour limiter la température de retour.



4 Conception des installations : Guide d'application

4.1 Schéma REF1-SSC1

4.1.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF1-SSC1 est adapté aux installations avec une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies, un stockage d'eau chaude sanitaire et un circuit de bouclage sanitaire.

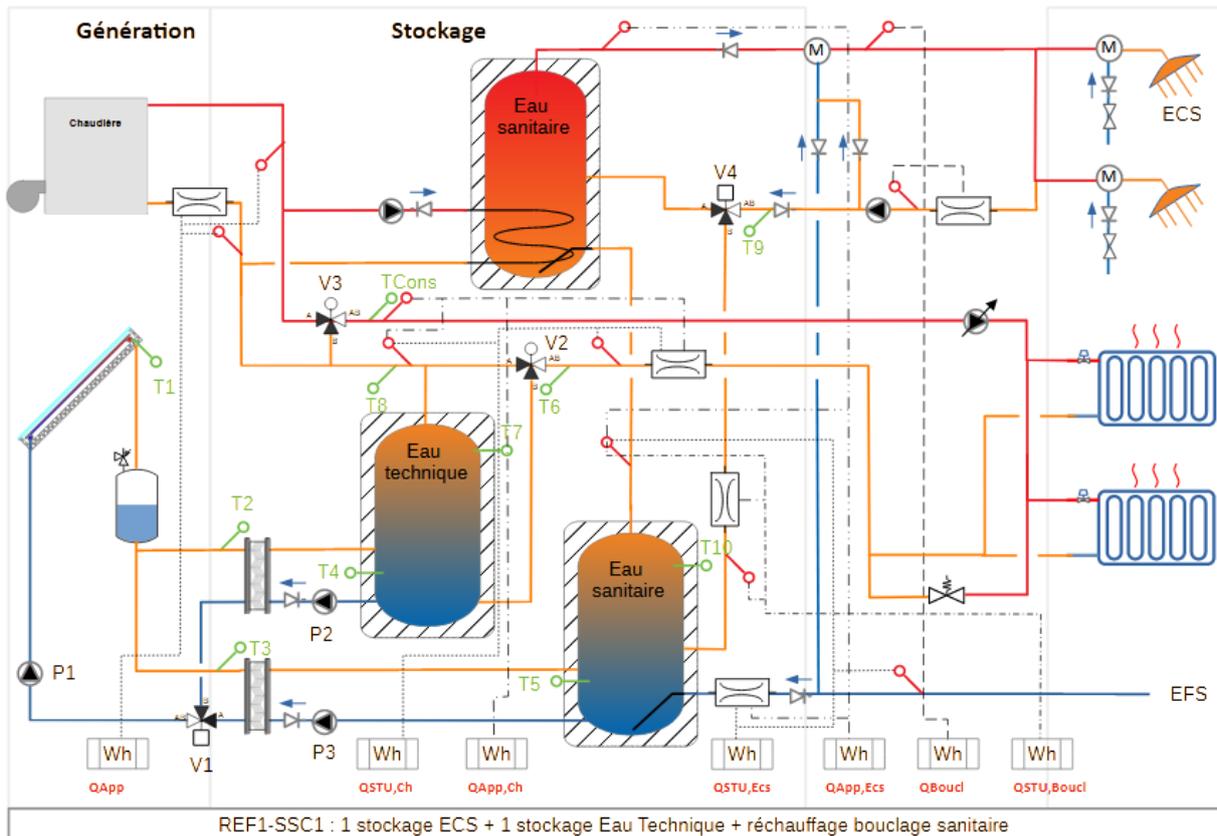


Figure 17. Schéma REF1-SSC1

4.1.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté à une grande diversité d'immeubles de logements collectifs équipés d'une boucle de distribution chauffage et d'une boucle de distribution d'eau chaude sanitaire.

L'énergie solaire thermique assure le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, le préchauffage du fluide caloporteur au retour de la boucle de chauffage ainsi que le réchauffage de la boucle d'eau chaude sanitaire.

4.1.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Ballon de stockage	Echangeur externe	Echangeur intégré	Cf page 95
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97

Tableau 2. Variantes possibles pour le schéma REF1-SSC1

4.1.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est détaillé ci-après.

4.1.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la plus petite des températures T4 ou T5. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

La vanne V1 orientera vers le ballon de stockage en eau technique ou en eau sanitaire le plus froid.

Si la vanne V1 oriente vers le stockage en eau technique (voie B ➤ AB), le circulateur P2 est alors piloté par un différentiel entre la température T2 et la température T4. Il est à noter que le **réchauffage du ballon en eau technique doit être interdit en dehors de la période de chauffage**, afin de maximiser la production d'eau chaude sanitaire et le réchauffage du bouclage sanitaire.

Si la vanne V1 oriente vers le stockage en eau sanitaire (voie A ➤ AB), le circulateur P3 est alors piloté par un différentiel entre la température T3 et la température T5.

Les circulateurs P1, P2 et P3 seront à débit variable, et le pilotage sera préférentiellement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T4-T1) ou (T5-T1) constant compris entre 10 et 15°C.

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.1.4.2 Boucle de décharge chauffage

La vanne V2 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est **asservie** à :

- **L'écart entre la température T7 (haut du ballon de stockage) et la température T6 (température de retour du réseau de distribution)** : lorsque la température T7 est supérieure à la température T6, la vanne V2 bascule de la position AB ➤ A vers la position AB ➤ B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).
- **L'écart entre la température T8 et la température de consigne Tcons** : l'ouverture de la voie AB ➤ B est également contrôlée de façon à ce que la température T8 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable notamment en période de mi-saison afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution chauffage.

4.1.4.3 Boucle de décharge réchauffage du bouclage sanitaire

Le réchauffage solaire du bouclage sanitaire doit impérativement être mis en œuvre. En effet, en période estivale, l'installation solaire thermique est surdimensionnée pour les seuls besoins d'eau chaude sanitaire : il est donc indispensable de prévoir ce réchauffage solaire pour valoriser au mieux l'énergie solaire disponible.



La vanne V4 est une vanne tout ou rien dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T10 (haut du ballon de stockage) et la température T9 (température de retour du réseau de bouclage sanitaire) : lorsque la température T10 est supérieure à la température T9, la vanne V4 bascule de la position AB➤A vers la position AB➤B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).

4.1.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.1.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{\text{coll}} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{\text{TOTAL}} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m^2]

G_{coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [$kWh/m^2 \cdot an$]

Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d'économie d'énergie satisfaisant.

4.1.5.2 Echangeurs de chaleur de la boucle solaire

Les 2 échangeurs de chaleur de la boucle solaire seront dimensionnés en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigél	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)		45
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	2 à 3 mCE

Tableau 3. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

Les échangeurs de chaleur devront résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. Les échangeurs de chaleur devront être calorifugés.

Pour des petites installations, des échangeurs de chaleur intégrés aux ballons de stockage pourront être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m^2 ,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K



4.1.5.3 *Ballon de stockage en eau technique*

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m² de capteurs solaires, et préférentiellement compris entre 75 et 100 l/m² de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.1.5.4 *Ballon de stockage en eau sanitaire*

Le ballon de stockage d'eau chaude sanitaire sera surdimensionné par rapport aux installations CESC. En effet, alors que pour les installations CESC, le dimensionnement est de l'ordre de la consommation d'eau chaude sanitaire journalière, il sera préféré un dimensionnement supérieur pour assurer une autonomie suffisante en période estivale en intégrant notamment l'énergie nécessaire au maintien en température du bouclage sanitaire.

En conséquence, le **dimensionnement privilégié sera compris entre 1.2 (avec des bouclages sanitaires performants) et 1.5 fois (avec des bouclages sanitaires moyens) la consommation d'eau chaude sanitaire journalière**. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et de la qualité du bouclage sanitaire.

La qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée avec une épaisseur minimale de 100 mm de laine minérale ou équivalent, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 80°C.

4.1.5.5 *Vanne de préchauffage solaire V2*

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB>A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.1.5.6 *Vanne de réchauffage solaire du bouclage sanitaire V4*

La vanne de réchauffage solaire du bouclage sanitaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Agrément ACS pour un usage avec l'eau chaude sanitaire
- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution sanitaire réchauffe le ballon de stockage en eau sanitaire.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB>A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.1.5.7 *Vase d'expansion de la boucle solaire*

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.



4.1.5.8 Vase d'expansion de la boucle de distribution

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.1.6 Comptage de l'énergie

4.1.6.1 Comptage de l'énergie thermique chauffage

Le comptage de l'énergie thermique pour le chauffage est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de distribution,
- De la mesure de trois températures (température de retour de la boucle de distribution, température de retour après le réchauffage solaire et température de départ vers la boucle de distribution).

Ce comptage permettra d'accéder à **QSTU,ch** (Energie solaire thermique utile pour le chauffage) et à **QApp,ch** (Energie d'appoint pour le chauffage).

4.1.6.2 Comptage de l'énergie thermique ECS

Le comptage de l'énergie thermique pour l'eau chaude sanitaire est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur l'arrivée d'eau froide dans le ballon solaire en eau sanitaire,
- De la mesure de trois températures (température d'eau froide, température en sortie du ballon solaire, température en sortie du ballon d'appoint).

Ce comptage permettra d'accéder à **QSTU,ECS** (Energie solaire thermique utile pour l'eau chaude sanitaire) et à **QApp,ECS** (Energie d'appoint pour l'eau chaude sanitaire).

4.1.6.3 Comptage de l'énergie thermique pour le bouclage sanitaire

Le comptage de l'énergie thermique pour le bouclage sanitaire est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur le retour du bouclage sanitaire,
- De la mesure de deux températures (température de départ du réseau de distribution ECS, température de retour du réseau de distribution ECS).

Ce comptage permettra d'accéder à **QBoucl** (Pertes thermique du réseau de bouclage sanitaire).

En complément, un comptage de l'énergie solaire utile au réchauffage du bouclage sanitaire est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur le retour du bouclage sanitaire, positionné sur la branche allant de la vanne V4 vers le ballon solaire)
- De la mesure de deux températures (température de retour du réseau de distribution ECS, température en sortie du ballon solaire).

Ce comptage permettra d'accéder à **QSTU,Boucl** (Apports solaires thermiques au réseau de bouclage sanitaire). Ce compteur sera un modèle à double index, dont l'index chaud comptera effectivement **QSTU,Boucl**. L'index froid, qui devrait rester toujours à 0, permettra de s'assurer que le transfert de chaleur ne s'inverse pas.

4.1.6.4 Comptage de l'énergie fournie par la chaudière

Le comptage de l'énergie thermique fournie par la chaudière est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur le retour vers la chaudière du circuit alimentant le circuit de chauffage et l'échangeur du ballon d'eau chaude d'appoint,



- De la mesure de deux températures (température de départ du réseau chaudière, température de retour du réseau chaudière).

Ce comptage permettra d'accéder à **QApp** (Energie fournie par la chaudière).

4.1.6.5 Relations entre les énergies mesurées, redondance des mesures, commentaires

Sur le schéma de la Figure 17, on observe la mesure de 7 énergies différentes, qui peuvent être réalisées par 7 compteurs d'énergie thermique différents, ou par 5 mesureurs de débit et 11 sondes de température raccordées à un automate.

Cet équipement est abondant, et peut éventuellement être réduit, mais avec des contraintes. Le Tableau 4 permet de préciser certains points.

Energie	Désignation	Nécessaire au calcul des indicateurs
QApp	Energie thermique fournie par la chaudière	OUI
QSTU,ch	Energie solaire thermique utile pour le chauffage	OUI
QSTU,ECS	Energie solaire thermique utile pour le réchauffage de l'ECS	OUI
QSTU,boucl	Energie solaire thermique utile pour le réchauffage du bouclage sanitaire	OUI
QApp,ch	Energie thermique fournie par la chaudière pour le chauffage	NON
QApp,ECS	Energie thermique utile fournie par la chaudière pour l'ECS	NON
QBoucl	Energie dissipée dans le bouclage sanitaire	NON

Tableau 4. Synthèse des comptages thermiques

En conséquence, il apparaît que 3 comptages ne sont pas indispensables au calcul des indicateurs. Néanmoins, lors de la vérification des performances, et de la comparaison par rapport aux performances prévisionnelles, ces 3 comptages permettront d'apporter d'éventuelles explications sur les différences.

En l'absence de QApp,Ch, il ne sera ainsi pas possible de déterminer la consommation énergétique totale pour le chauffage. Une consommation énergétique pour le chauffage plus élevée que prévue, aura pour conséquence un taux d'économie d'énergie FSAV plus faible.

En l'absence de QApp,ECS, il ne sera ainsi pas possible de déterminer la consommation énergétique totale pour le réchauffage de l'eau chaude sanitaire. Une consommation d'eau chaude plus faible que prévue aura notamment pour conséquence une productivité des capteurs plus faible.

Enfin, en l'absence de QBoucl, seule la part solaire des pertes thermiques du bouclage sanitaire sera connue. Dans ce dernier cas, une consommation totale pour le bouclage sanitaire plus élevée que prévue, aura pour conséquence à la fois un taux d'économie d'énergie FSAV plus faible, et une productivité plus élevée.

Pour ces différentes raisons, il apparaît raisonnable d'avoir le plan de comptage suggéré.

4.1.6.6 Remarque générale sur le comptage thermique

Une vigilance particulière doit être accordée sur la qualité de la métrologie :

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car le débit va varier entre le débit nominal et le débit de bypass (généralement fixé à 10% du débit nominal).



- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{\min} est généralement de 3°C.

La sélection des composants et la mise en œuvre doivent donc être particulièrement soignées pour limiter les erreurs de mesure. Dans le cas de la mise en œuvre de compteurs d'énergie thermique, il est indispensable d'utiliser des compteurs de Classe 1 selon la Norme NF EN 1434.

Il sera utile de se reporter à [25], en particulier le chapitre 11.

4.1.6.7 Comptage de l'énergie électrique

Un comptage de l'énergie électrique des auxiliaires de la boucle solaire sera mis en œuvre : il permettra de mesurer la consommation des circulateurs P1, P2 et P3, des vannes V1, V2 et V4, du régulateur solaire (le cas échéant) et des autres composants nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire, notamment les composants additionnels mis en œuvre dans certaines solutions de gestion des surchauffes (aérotherme, circulateur de la boucle de décharge, ...).

4.1.7 Calcul des indicateurs

4.1.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

L'expression du taux d'économie d'énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}{Q_{App} + Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}$$

En référence à la Figure 17.

4.1.7.2 Productivité Prod

L'expression de la productivité est la suivante :

$$Prod(kWh/m^2) = \frac{Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}{S_{HT}} = \frac{Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}{N_{coll} * A_G}$$

En référence à la Figure 17.

4.1.7.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

L'expression du taux de consommation d'auxiliaire Taux est la suivante :

$$T_{aux}(\%) = \frac{W_{AUX}}{Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}} = \frac{W_{P1} + W_{P2} + W_{P3} + W_{V1} + W_{V2} + W_{V4} + W_{Controler}}{Q_{STU,Ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}$$

En référence à la Figure 17.

4.1.8 Méthode de prévision des performances

4.1.8.1 T^*Sol

Le schéma référencé « Variante A3.2 » est sensiblement identique au schéma REF1-SSC1.



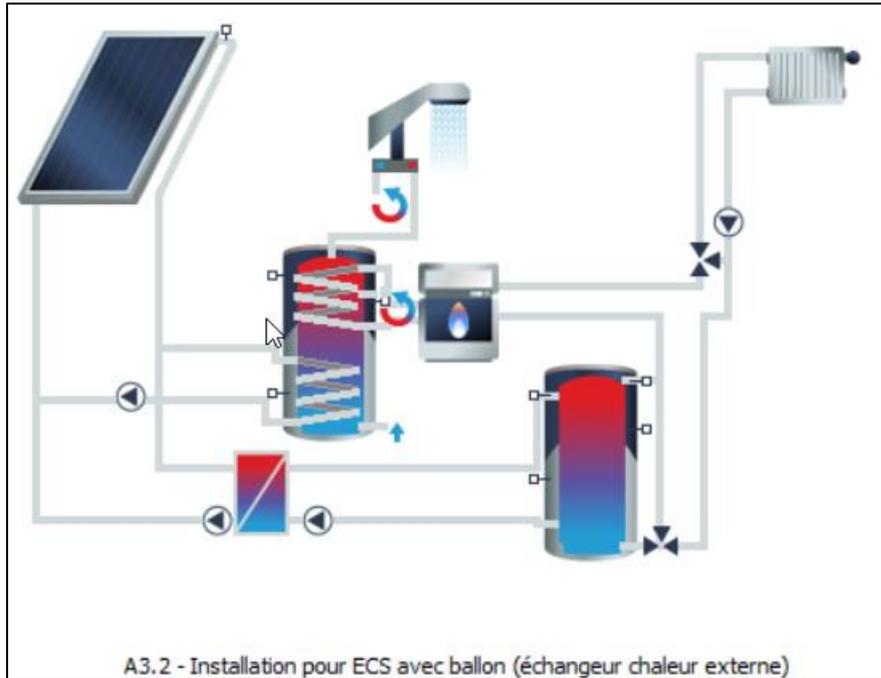


Figure 18. Schéma T*Sol Variante A3.2

Il est possible de saisir les besoins de chauffage mensuels.

Entrée mensuelle

	Transmiss. chal. générateur [MWh]
Jan	7.915
Fev	6.516
Mars	4.893
Avr	2.795
Mai	0.848
Juin	0.095
Juil	0.074
Aoû	0.080
Sep	0.118
Oct	1.216
Nov	5.029
Dec	7.396
Année	36.975

OK Annuler

Figure 19. Ecran de saisie des besoins de chauffage mensuels

Pour la production et la distribution d'eau chaude sanitaire, la saisie suppose d'intervenir sur plusieurs écrans :

- La saisie de la consommation moyenne journalière (Figure 20)
- Le profil de consommation (Figure 21)
- Le bouclage sanitaire (Figure 22). Pour le bouclage sanitaire, une estimation des pertes de bouclage est directement indiquée sur l'écran de saisie. Néanmoins, il y a lieu de vérifier, à l'issue de la simulation, que la valeur des pertes de bouclage correspond bien à l'estimation



(quantité notée 3.2 dans le rapport de projet) : des différences notables ont effectivement pu être notées lors de différents tests.

Figure 20. Saisie de la consommation d'eau chaude moyenne journalière

Mois	Profil horaire (%)
Jan	98,41
Fev	100,00
Mar	98,94
Avr	89,95
Mai	91,36
Juin	83,25
Juil	65,87
Aoû	79,10
Sep	83,77
Oct	79,63
Nov	92,42
Dec	95,41

Figure 21. Saisie du profil de consommation d'eau chaude



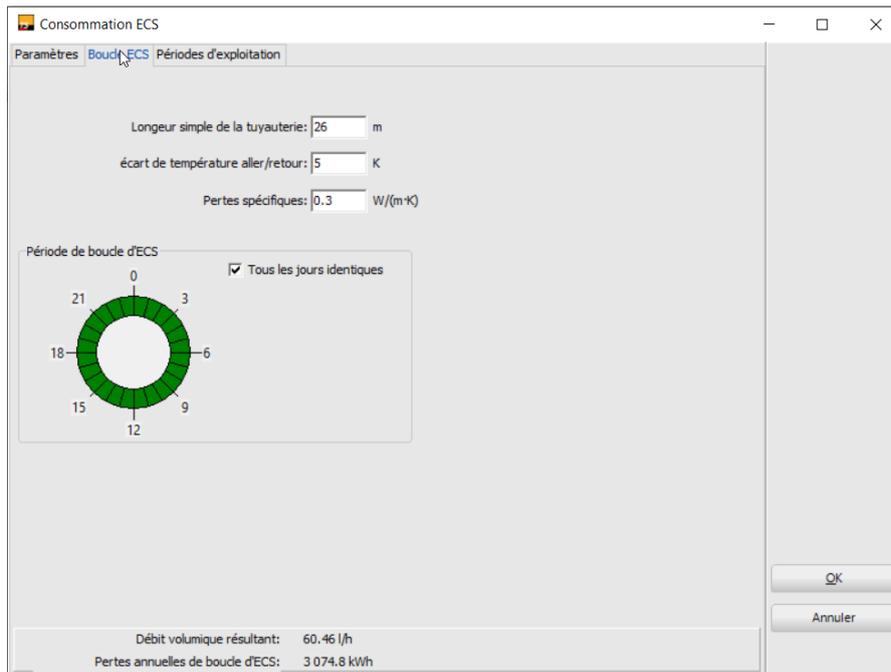


Figure 22. Saisie des caractéristiques du bouclage sanitaire

4.1.8.2 Méthode FSAV=f(FSC)

Pour le système REF1-SSC1, la méthode de calcul simplifié est la suivante :

$$FSAV = SC \cdot (0.19FSC^2 + 0.61FSC + 0.034)$$

Où FSC est défini par :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(\eta_{Coll} S_{HT} G_{Coll}, Q_{TOTAL})}{\sum_1^{12} Q_{TOTAL}}$$

Avec

$$\eta_{Coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η_0 : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a_1 : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K$)

a_2 : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K^2$)

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{100S_{HT}}\right)^{0.05} - 0.05 \left(\frac{V}{100S_{HT}}\right) + 0.05$$

Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres) (ce volume n'intègre pas le volume de stockage complémentaire pour l'eau chaude sanitaire)

S_{HT} : surface hors tout du champ de capteur solaire (m^2)

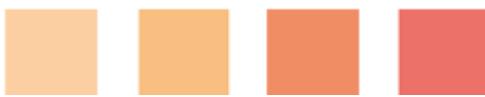


4.1.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 5 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF1-SSC1.

Points forts	Points de vigilance
Adaptation à de multiples configurations existantes	Complexité de l'ensemble de l'installations
Découplage des usages énergétiques	Dans le cas des bâtiments neufs, dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température
Valorisation de l'énergie solaire excédentaire en période estivale pour le bouclage sanitaire	Dans le cas des bâtiments existants, optimisation de la chaufferie existante pour abaisser les températures de retour
Valorisation à basse température pour l'eau chaude en période hivernale	Pilotage de la boucle de distribution chauffage pour favoriser les basses températures
	Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire
	De nombreux points de comptage pour assurer un suivi de performances de qualité
	Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique

Tableau 5. Points forts et points de vigilance de la solution REF1-SSC1



4.2 Schéma REF1-SSC2

4.2.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF1-SSC2 est adapté aux installations avec une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies, un stockage d'eau chaude sanitaire et un circuit de bouclage sanitaire.

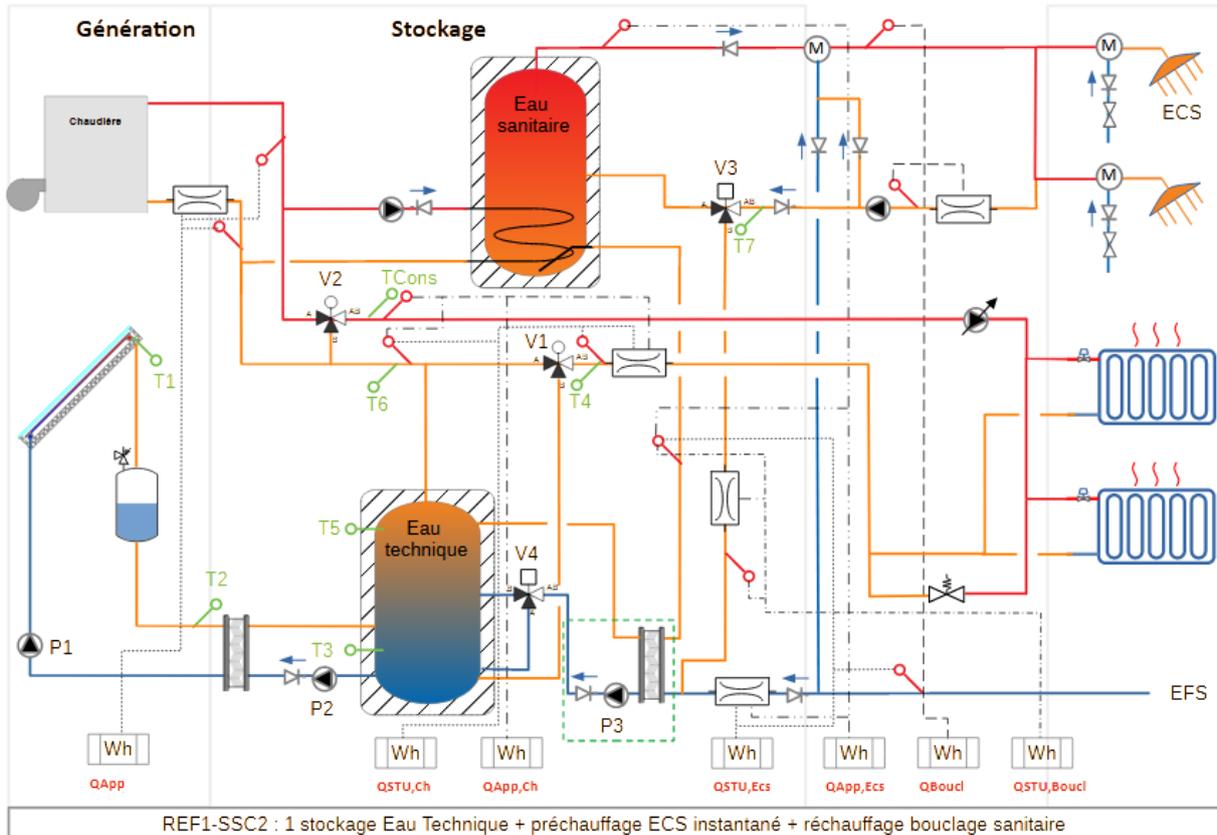


Figure 23. Schéma REF1-SSC2

Par rapport au schéma REF1-SSC1, cette variante se distingue par :

- La présence d'un seul ballon de stockage en eau technique
- Une station de préparation d'eau chaude sanitaire en instantané

Avantages	Inconvénients
Limitation des risques légionelle par l'absence de stockage d'ECS à température moyenne	Sélection et pilotage de la station d'ECS instantanée
Simplification de la boucle solaire	
Réduction des encombrements en chaufferie	

Tableau 6. Avantages et inconvénients du schéma REF1-SSC2 par rapport au schéma REF1-SSC1

En terme de performances, les schémas REF1-SSC1 et REF1-SSC2 offrent des performances similaires sous réserve que la station ECS instantané soit bien sélectionné et le pilotage bien assuré.

4.2.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté à une grande diversité d'immeubles de logements collectifs équipés d'une boucle de distribution chauffage et d'une boucle de distribution d'eau chaude sanitaire.

L'énergie solaire thermique assure le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, le préchauffage du fluide caloporteur au retour de la boucle de chauffage ainsi que le réchauffage de la boucle d'eau chaude sanitaire.

4.2.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Ballon de stockage	Echangeur externe	Echangeur intégré	Cf page 95
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97
Production Instantanée ECS	Une station d'ECS instantanée	Un échangeur ECS instantané immergé dans le ballon de stockage	Cf page 98

Tableau 7. Variantes possibles pour le schéma REF1-SSC2

4.2.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est détaillé ci-après.

4.2.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la température T3. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

Le circulateur P2 est piloté avec un différentiel entre la température T2 et la température T3.

Les circulateurs P1 et P2 seront à débit variable, et le pilotage sera préférablement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T1-T3) constant compris entre 10 et 15°C.

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.2.4.2 Boucle de décharge chauffage

La vanne V1 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T4 (température de retour du réseau de distribution) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T4, la vanne V1 bascule de la position AB>A vers la position AB>B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).
- L'écart entre la température T6 et la température de consigne Tcons : l'ouverture de la voie AB>B est également contrôlée de façon à ce que la température T6 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable notamment en période de mi-saison afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution chauffage.



solaire est calée sur la température de consigne du ballon d’appoint, les pertes thermiques du ballon d’appoint pour l’eau chaude seront compensées par la chaudière.

4.2.4.4 Boucle de décharge réchauffage du bouclage sanitaire

Le réchauffage solaire du bouclage sanitaire doit impérativement être mis en œuvre. En effet, en période estivale, l’installation solaire thermique est surdimensionnée pour les seuls besoins d’eau chaude sanitaire : il est donc indispensable de prévoir ce réchauffage solaire pour valoriser au mieux l’énergie solaire disponible.

La vanne V3 est une vanne tout ou rien dont l’ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L’écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T7 (température de retour du réseau de bouclage sanitaire) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T7, la vanne V3 bascule de la position AB➤A vers la position AB➤B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 10 et 12°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 5 et 7°C). Cet écart de température est relativement élevé pour tenir compte du pincement de l’échangeur de production ECS.

La vanne V4 sera asservie à la vanne V3 :

- Lorsque la vanne V3 est en position AB➤A, la vanne V4 est également en position AB➤A. La station d’ECS instantané assure uniquement le préchauffage d’ECS, et la température de retour du circuit primaire de la station est froid, et le fluide est dirigé vers le bas du ballon de stockage ;
- Lorsque la vanne V3 est en position AB➤B, la vanne V4 est également en position AB➤B. La station d’ECS instantané assure le réchauffage d’ECS et le réchauffage du bouclage, et la température de retour du circuit primaire de la station est assez chaud, et le fluide est dirigé vers le milieu du ballon de stockage pour maintenir une stratification ;

4.2.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.2.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m^2]

G_{Coll} désigne l’irradiation globale sur le plan des capteurs [$kWh/m^2 \cdot an$]

Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l’énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d’eau chaude sanitaire et l’énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n’intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d’économie d’énergie satisfaisant.



4.2.5.2 Echangeurs de chaleur de la boucle solaire

L'échangeur de chaleur de la boucle solaire sera dimensionné en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigel	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)		45
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	2 à 3 mCE

Tableau 8. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur devra résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. Les échangeurs de chaleur devront être calorifugés.

Pour des petites installations, des échangeurs de chaleur intégrés aux ballons de stockage pourront être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m²,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K

4.2.5.3 Ballon de stockage en eau technique

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m² de capteurs solaires, et préférablement compris entre 75 et 100 l/m² de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.2.5.4 Echangeur de chaleur de la production d'ECS en instantané

Le dimensionnement de l'échangeur de décharge doit être réalisé selon les conditions suivantes :

	Primaire (Eau technique)	Secondaire (ECS)
Débit	Débit 10 min q_{10min}	Débit 10 min q_{10min}
Temp Entrée Echangeur	50	Température eau froide
Temp Sortie Echangeur		45
Pertes de charge maxi (mCE)		3

En logement :

$$q_{10min} = 61 n^{0.503} \left[\frac{l}{10min} \right] = 6.1 n^{0.503} \left[\frac{l}{min} \right] = 0.37 n^{0.503} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Où n désigne le nombre de logements, et est valide pour plus de 10 appartements.



Pour plus de détail sur l'évaluation débit 10 min $q_{10\text{min}}$, se référer au paragraphe 1.1.1 du Livret Technique SOCOL dédié aux installations en eau technique [26] ou au Guide COSTIC ADEME sur les besoins en eau chaude sanitaire [3].

4.2.5.5 *Le circulateur de décharge de la boucle ECS P3*

Le circulateur de décharge doit être à haut rendement, et à vitesse variable (la vitesse variable est indispensable pour assurer une bonne performance thermique de l'installation), et défini selon les conditions suivantes :

- Débit maxi : Débit 10 min
- Hauteur manométrique : définie à partir des pertes de charges du circuit.

Le pilotage du circulateur varie selon le mode de régulation retenu.

4.2.5.6 *Vanne de préchauffage solaire V1*

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB►A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.2.5.7 *Vanne de réchauffage solaire du bouclage sanitaire V3*

La vanne de réchauffage solaire du bouclage sanitaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Agrément ACS pour un usage avec l'eau chaude sanitaire
- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution sanitaire réchauffe le ballon de stockage en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB►A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.2.5.8 *Vase d'expansion de la boucle solaire*

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.

4.2.5.9 *Vase d'expansion de la boucle de distribution*

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.2.6 Comptage de l'énergie

Le plan de comptage est identique à celui du schéma REF1-SSC1. Se reporter au paragraphe 4.1.6.

4.2.7 Calcul des indicateurs

Le calcul des indicateurs est identique à celui du schéma REF1-SSC1. Se reporter au paragraphe 4.1.7.

4.2.8 Méthode de prévision des performances

4.2.8.1 *T*Sol*

Cf paragraphe 4.1.8.1.



4.2.8.2 Méthode FSAV=f(FSC)

Sous réserve du respect des préconisations notamment pour la production d'ECS en instantanée, le système REF1-SSC2 offre des performances très similaires au système REF1-SSC1. En conséquence, la méthode de calcul simplifiée est la suivante :

$$FSAV = SC \cdot (0.19FSC^2 + 0.61FSC + 0.034)$$

Où FSC est défini par :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(\eta_{Coll} S_{HT} G_{Coll}, Q_{TOTAL})}{\sum_1^{12} Q_{TOTAL}}$$

Avec

$$\eta_{Coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η_0 : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a_1 : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K$)

a_2 : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K^2$)

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{100S_{HT}}\right)^{0.05} - 0.05 \left(\frac{V}{100S_{HT}}\right) + 0.05$$

Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres) (ce volume n'intègre pas le volume de stockage complémentaire pour l'eau chaude sanitaire)

S_{HT} : surface hors tout du champ de capteur solaire (m^2)

4.2.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 9 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF1-SSC2.

Points forts	Points de vigilance
Adaptation à de multiples configurations existantes	Complexité de l'ensemble de l'installations
Un seul ballon de stockage solaire en eau technique	Importance de la sélection de la station de préchauffage ECS.
Valorisation de l'énergie solaire excédentaire en période estivale pour le bouclage sanitaire	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température
Valorisation à basse température pour l'eau chaude en période hivernale	Pilotage de la boucle de distribution chauffage pour favoriser les basses températures
Installation plus simple que le système REF1-SSC1	Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire
	De nombreux points de comptage pour assurer un suivi de performances de qualité
	Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique

Tableau 9. Points forts et points de vigilance de la solution REF1-SSC2



4.3 Schéma REF2-SSC1

4.3.1 Schéma-type de l'installation

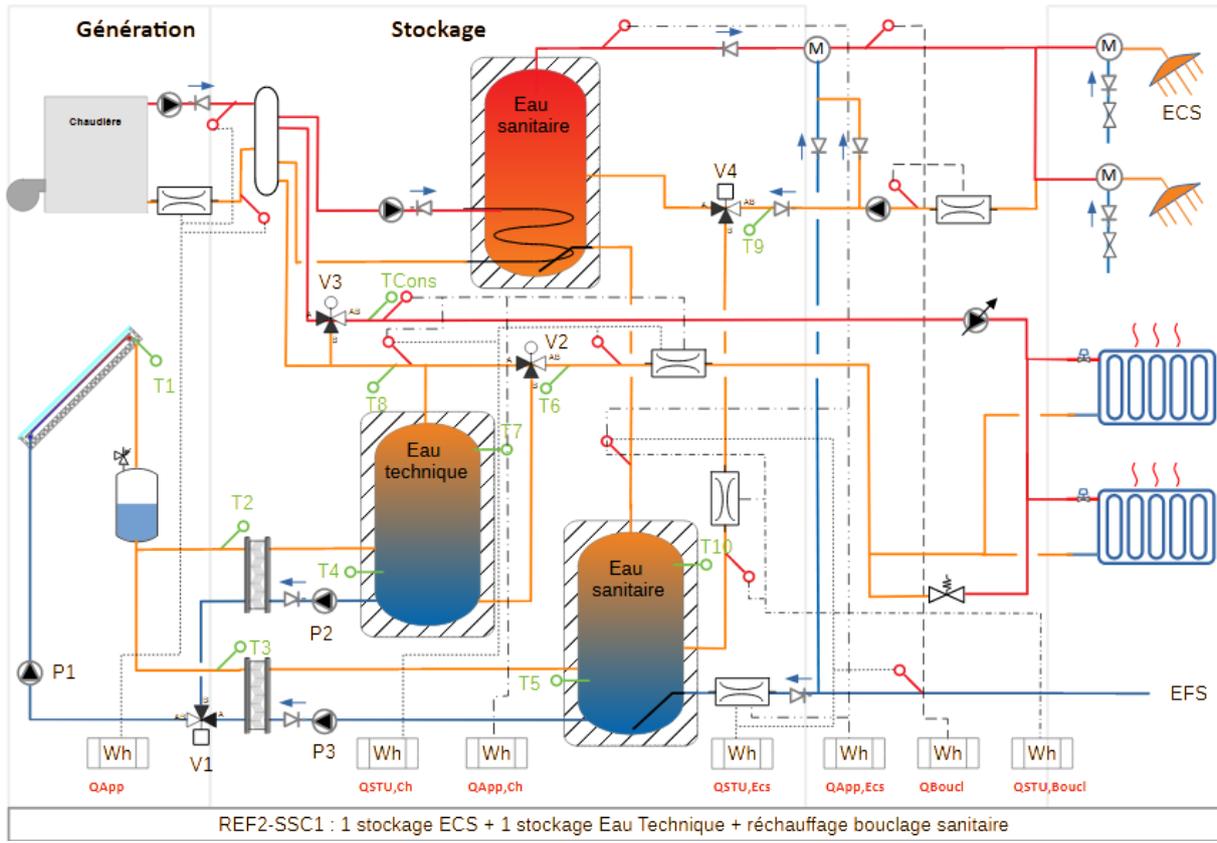


Figure 25. Schéma REF2-SSC1

La partie solaire du schéma REF2-SSC1 étant identique à celle du schéma REF1-SSC1, se référer au paragraphe 4.1 en page 31.



4.4 Schéma REF2-SSC2

4.4.1 Schéma-type de l'installation

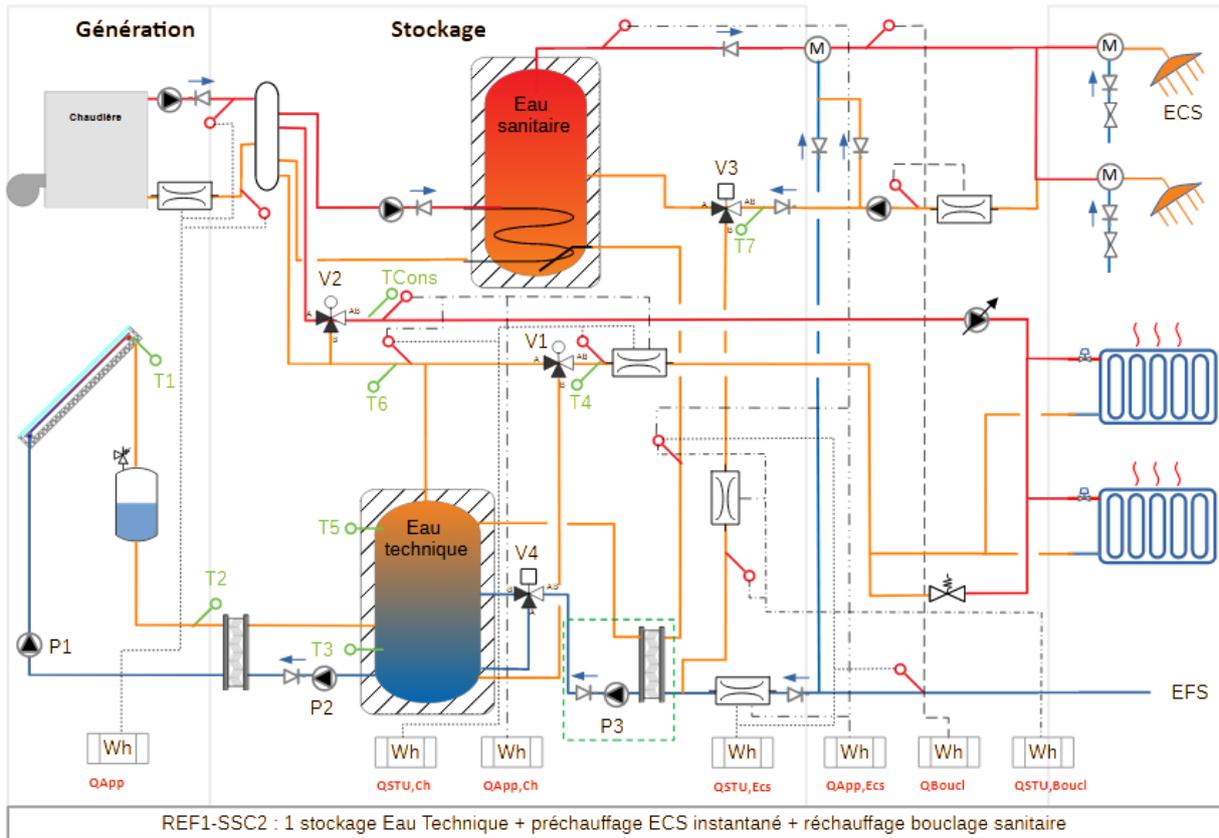


Figure 26. Schéma REF2-SSC2

La partie solaire du schéma REF2-SSC2 étant identique à celle du schéma REF1-SSC2, se référer au paragraphe 4.2 en page 42.

4.5 Schéma REF3-SSC1

4.5.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF3-SSC1 est adapté aux installations avec une boucle de chauffage à débit variable, régulée en température par vanne 3 voies, une production d'eau chaude sanitaire en instantané à partir d'un stockage en eau technique et un circuit de bouclage sanitaire.

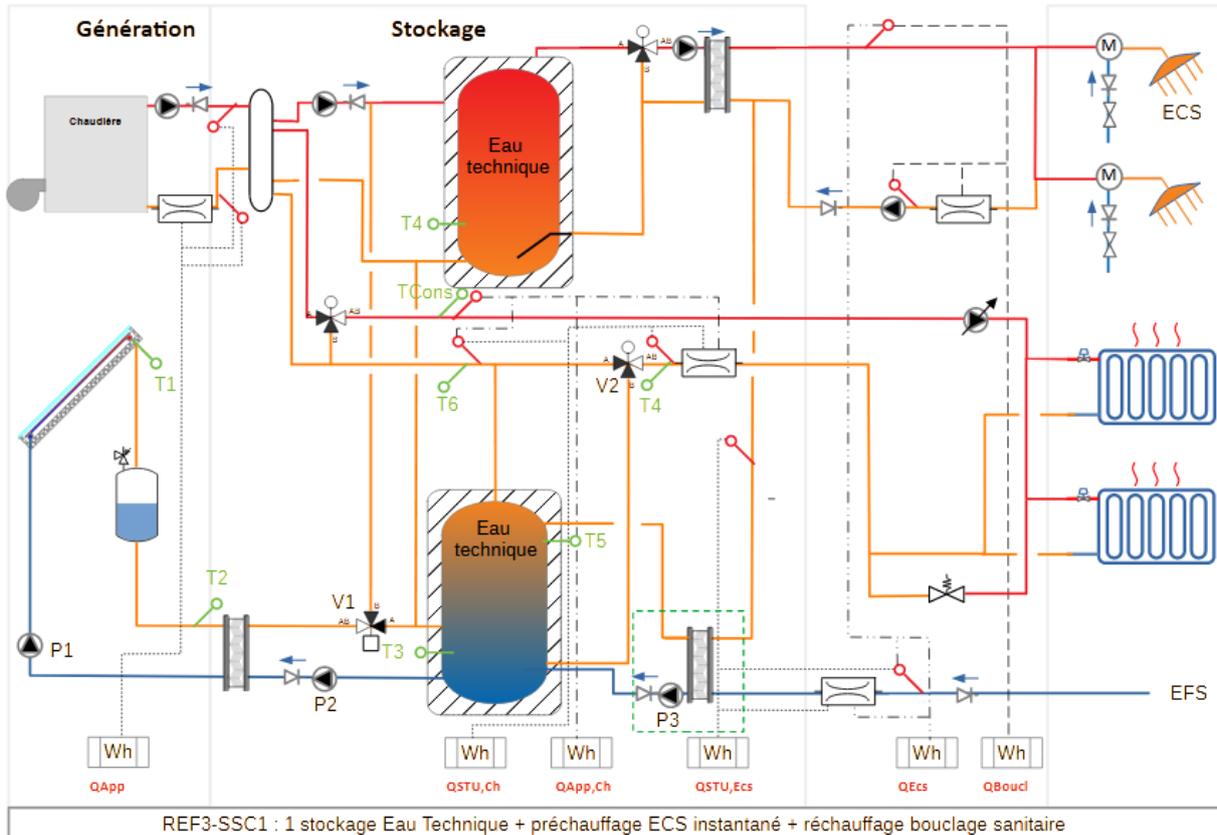


Figure 27. Schéma REF3-SSC1

Par rapport au schéma REF1-SSC2 ou REF2-SSC2, cette variante se distingue par :

- Le transfert de l'énergie solaire vers le ballon de stockage en eau technique d'appoint
- La gestion du réchauffage solaire du bouclage sanitaire

En terme de performances, les schémas REF3-SSC1 et REF1-SSC1 offrent des performances similaires sous réserve que la station ECS instantané soit bien sélectionné et le pilotage bien assuré.

4.5.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté à une grande diversité d'immeubles de logements collectifs équipés d'une boucle de distribution chauffage et d'une boucle de distribution d'eau chaude sanitaire, lorsque les exigences sanitaires imposent l'absence de stockage en eau chaude sanitaire. Ainsi, ce schéma pourra également être appliqué aux établissements de santé.

L'énergie solaire thermique assure le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, le préchauffage du fluide caloporteur au retour de la boucle de chauffage ainsi que le réchauffage du ballon de stockage d'appoint en eau technique.



4.5.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97
Production Instantanée	ECS Une station d'ECS instantanée	Un échangeur ECS instantané immergé dans le ballon de stockage	Cf page 98

Tableau 10. Variantes possibles pour le schéma REF3-SSC1

4.5.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est détaillé ci-après.

4.5.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la température T3. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

Le circulateur P2 est piloté avec un différentiel entre la température T2 et la température T3.

Les circulateurs P1 et P2 seront à débit variable, et le pilotage sera préférablement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T1-T3) constant compris entre 10 et 15°C.

La vanne V1 permettra d'assurer le réchauffage du ballon d'appoint en eau technique. La vanne V1 est une vanne tout ou rien dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T2 (température du fluide caloporteur solaire à l'arrivée à l'échangeur de chaleur) et la température T4 (température du ballon d'appoint en eau technique) : lorsque la température T2 est supérieure à la température T4, la vanne V1 bascule de la position AB>A vers la position AB>B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.5.4.2 Boucle de décharge chauffage

La vanne V2 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T4 (température de retour du réseau de distribution) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T4, la vanne V1 bascule de la position AB>A vers la position AB>B. Pour cette



fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).

- L'écart entre la température T6 et la température de consigne Tcons : l'ouverture de la voie AB➤B est également contrôlée de façon à ce que la température T6 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable notamment en période de mi-saison afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution chauffage.

4.5.4.3 Boucle de préchauffage ECS

Le préchauffage de l'ECS sera assuré par une station préfabriquée de production d'ECS en instantané (représenté par le cadre vert en tiret pointillé sur le schéma de la Figure 27), intégrant l'ensemble des composants nécessaires au pilotage le plus efficace possible du circulateur P3. Un schéma type de ces stations est représenté sur la Figure 28.

Cette solution est une solution standardisée par plusieurs fabricants de station de préparation ECS préfabriquées, spécifiquement dédiées au solaire. Elles conjuguent notamment trois fonctions majeures :

- Ajustement du débit du circulateur en fonction du débit de puisage et de la température d'eau préchauffée en sortie de l'échangeur ECS
- Limitation de la température du primaire chaud à l'entrée de l'échangeur de préparation ECS.
- Maintien de l'échangeur en température en dehors des puisages

En fonction des fabricants, quelques variantes et des fonctions additionnelles peuvent être rencontrées.

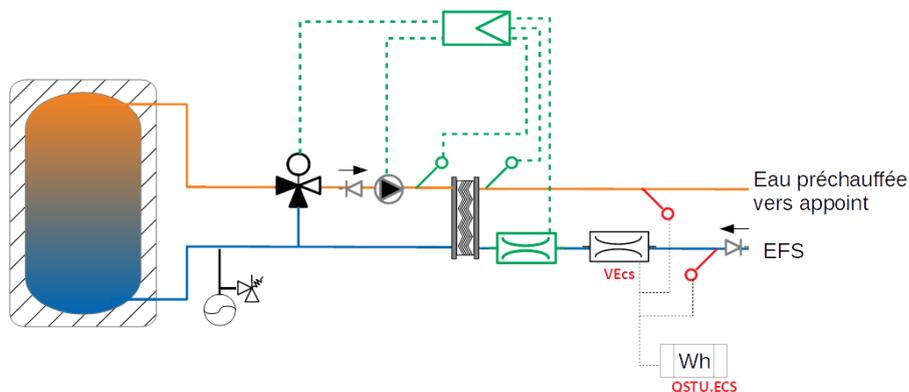


Figure 28 : Régulation par pilotage d'une vanne 3 voies et d'un circulateur à vitesse variable

En fonction des stations ECS préfabriquées, la logique de fonctionnement de la régulation peut varier. Une logique de fonctionnement possible est la suivante :

- La vanne 3 voies module la température de l'eau technique à l'entrée chaude de l'échangeur, notamment pour limiter les risques d'entartrage de l'échangeur.
- Le circulateur de décharge est asservi en vitesse variable à la mesure du débit de puisage : cela permet de maintenir l'équi-débit entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Des corrections à la vitesse du circulateur peuvent être apportées en fonction de la température de l'eau technique en entrée d'échangeur, et de la température d'eau sanitaire préchauffée.



- Le maintien en température en dehors des périodes de puisage est assuré au travers de la mise en service de la pompe de décharge à vitesse réduite, et avec la vanne 3 voies en recyclage, et est contrôlée par la mesure de la température sur le circuit chaud du primaire, qui permet ou non l'ouverture de la vanne 3 voies.

On trouvera plus de détail sur le fonctionnement de cette boucle au paragraphe 3.4.3 du Livret Technique SOCOL dédié aux installations en eau technique [26].

4.5.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.5.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m^2]

G_{Coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [$kWh/m^2 \cdot an$]

Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d'économie d'énergie satisfaisant.

4.5.5.2 Echangeurs de chaleur de la boucle solaire

L'échangeur de chaleur de la boucle solaire sera dimensionné en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigel	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)	45	
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	

Tableau 11. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur devra résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. Les échangeurs de chaleur devront être calorifugés.

Pour des petites installations, des échangeurs de chaleur intégrés aux ballons de stockage pourront être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m^2 ,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K



4.5.5.3 *Ballon de stockage en eau technique*

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m² de capteurs solaires, et préférentiellement compris entre 75 et 100 l/m² de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.5.5.4 *Echangeur de chaleur de la production d'ECS en instantané*

Le dimensionnement de l'échangeur de décharge doit être réalisé selon les conditions suivantes :

	Primaire (Eau technique)	Secondaire (ECS)
Débit	Débit 10 min q_{10min}	Débit 10 min q_{10min}
Temp Entrée Echangeur	50	Température eau froide
Temp Sortie Echangeur		45
Pertes de charge maxi (mCE)		3

En logement :

$$q_{10min} = 61 n^{0.503} \left[\frac{l}{10min} \right] = 6.1 n^{0.503} \left[\frac{l}{min} \right] = 0.37 n^{0.503} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Où n désigne le nombre de logements, et est valide pour plus de 10 appartements.

Pour plus de détail sur l'évaluation débit 10 min q_{10min} , se référer au paragraphe 1.1.1 du Livret Technique SOCOL dédié aux installations en eau technique [26] ou au Guide COSTIC ADEME sur les besoins en eau chaude sanitaire [3].

4.5.5.5 *Le circulateur de décharge de la boucle ECS P3*

Le circulateur de décharge doit être à haut rendement, et à vitesse variable (la vitesse variable est indispensable pour assurer une bonne performance thermique de l'installation), et défini selon les conditions suivantes :

- Débit maxi : Débit 10 min
- Hauteur manométrique : définie à partir des pertes de charges du circuit.

Le pilotage du circulateur varie selon le mode de régulation retenu.

4.5.5.6 *Vanne de préchauffage solaire V1*

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter un débit de fuite vers le ballon de stockage d'appoint en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB ➤ A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage solaire.



4.5.5.7 Vanne de préchauffage solaire V2

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB>A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.5.5.8 Vase d'expansion de la boucle solaire

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.

4.5.5.9 Vase d'expansion de la boucle de distribution

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.5.6 Comptage de l'énergie

4.5.6.1 Comptage de l'énergie thermique chauffage

Le comptage de l'énergie thermique pour le chauffage est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de distribution,
- De la mesure de trois températures (température de retour de la boucle de distribution, température de retour après le réchauffage solaire et température de départ vers la boucle de distribution).

Ce comptage permettra d'accéder à QSTU,ch (Energie solaire thermique utile pour le chauffage) et à QApp,ch (Energie d'appoint pour le chauffage).

4.5.6.2 Comptage de l'énergie thermique ECS

Le comptage de l'énergie thermique pour l'eau chaude sanitaire est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur l'arrivée d'eau froide dans le ballon solaire en eau sanitaire,
- De la mesure de trois températures (température d'eau froide, température en sortie de la station ECS solaire instantané, température en sortie de la station ECS appoint instantané).

Ce comptage permettra d'accéder à QSTU,ECS (Energie solaire thermique utile pour l'eau chaude sanitaire) et à QECS (Energie totale pour l'eau chaude sanitaire).

4.5.6.3 Comptage de l'énergie thermique pour le bouclage sanitaire

Le comptage de l'énergie thermique pour le bouclage sanitaire est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur le retour du bouclage sanitaire,
- De la mesure de deux températures (température de départ du réseau de distribution ECS, température de retour du réseau de distribution ECS).

Ce comptage permettra d'accéder à QBoucl (Pertes thermique du réseau de bouclage sanitaire).



4.5.6.4 Comptage de l'énergie fournie par la chaudière

Le comptage de l'énergie thermique fournie par la chaudière est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur le retour vers la chaudière du circuit alimentant le circuit de chauffage et l'échangeur du ballon d'eau chaude d'appoint,
- De la mesure de deux températures (température de départ du réseau chaudière, température de retour du réseau chaudière).

Ce comptage permettra d'accéder à Q_{App} (Energie fournie par la chaudière).

4.5.6.5 Remarque générale sur le comptage thermique

Une vigilance particulière doit être accordée sur la qualité de la métrologie :

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car le débit va varier entre le débit nominal et le débit de bypass (généralement fixé à 10% du débit nominal).
- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{\min} est généralement de 3°C.

La sélection des composants et la mise en œuvre doivent donc être particulièrement soignées pour limiter les erreurs de mesure. Dans le cas de la mise en œuvre de compteurs d'énergie thermique, il est indispensable d'utiliser des compteurs de Classe 1 selon la Norme NF EN 1434.

Il sera utile de se reporter à [25], en particulier le chapitre 11.

4.5.6.6 Comptage de l'énergie électrique

Un comptage de l'énergie électrique des auxiliaires de la boucle solaire sera mis en œuvre : il permettra de mesurer la consommation des circulateurs P1, P2 et P3, des vannes V1 et V2, du régulateur solaire (le cas échéant) et des autres composants nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire, notamment les composants additionnels mis en œuvre dans certaines solutions de gestion des surchauffes (aérotherme, circulateur de la boucle de décharge, ...).

4.5.7 Calcul des indicateurs

4.5.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

Pour ce schéma, et avec le plan de comptage suggéré, l'évaluation de FSAV est plus complexe du fait de transfert de l'énergie solaire vers le ballon de stockage d'appoint, et de l'impossibilité de mesurer directement Q_{STU,Boucl}.

Il y a donc lieu de calculer des pertes thermiques de référence du ballon de stockage d'appoint Q_{Losses,app}, à partir de ses caractéristiques techniques et des conditions de fonctionnement.

Ainsi, on obtient l'expression suivante du taux d'économie d'énergie :

$$FSAV = 1 - \frac{Q_{App}}{Q_{Losses,App} + Q_{STU,Ch} + Q_{App,Ch} + Q_{ECS} + Q_{Boucl}}$$

En référence à la Figure 27.

On peut ainsi évaluer l'énergie solaire thermique utile total Q_{STU} :

$$Q_{STU} = FSAV (Q_{Losses,App} + Q_{STU,Ch} + Q_{App,Ch} + Q_{ECS} + Q_{Boucl})$$



Avec les erreurs de mesure possible, il convient également de vérifier que Q_{STU} est bien supérieur à $Q_{STU,ECS} + Q_{STU,ch}$.

4.5.7.2 Productivité Prod

L'expression de la productivité est la suivante :

$$Prod(kWh/m^2) = \frac{Q_{STU}}{S_{HT}} = \frac{Q_{STU}}{N_{coll} * A_G}$$

En référence à la Figure 27 Figure 17.

4.5.7.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

L'expression du taux de consommation d'auxiliaire Taux est la suivante :

$$T_{aux}(\%) = \frac{W_{AUX}}{Q_{STU}} = \frac{W_{P1} + W_{P2} + W_{P3} + W_{V1} + W_{V2} + W_{Controler}}{Q_{STU,ch} + Q_{STU,ECS} + Q_{STU,Boucl}}$$

En référence à la Figure 27.

4.5.8 Méthode de prévision des performances

4.5.8.1 T^*Sol

Cf paragraphe 4.1.8.1.

4.5.8.2 Méthode FSAV=f(FSC)

Sous réserve du respect des préconisations notamment pour la production d'ECS en instantanée et le transfert de l'énergie solaire vers le ballon d'appoint en eau technique, le système REF3-SSC1 offre des performances très similaires au système REF1-SSC1. En conséquence, la méthode de calcul simplifié est la suivante :

$$FSAV = SC \cdot (0.19FSC^2 + 0.61FSC + 0.034)$$

Où FSC est défini par :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(\eta_{coll} S_{HT} G_{coll}, Q_{TOTAL})}{\sum_1^{12} Q_{TOTAL}}$$

Avec

$$\eta_{coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η_0 : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a_1 : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K$)

a_2 : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K^2$)

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{100S_{HT}} \right)^{0.05} - 0.05 \left(\frac{V}{100S_{HT}} \right) + 0.05$$



Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres) (ce volume n'intègre pas le volume de stockage complémentaire pour l'eau chaude sanitaire)

S_{HT} : surface hors tout du champ de capteur solaire (m²)

4.5.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 12 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF3-SSC1.

Points forts	Points de vigilance
Adaptation aux configurations avec des exigences sanitaires sur la production d'ECS	Complexité de l'ensemble de l'installations
Un seul ballon de stockage solaire en eau technique	Importance de la sélection de la station de préchauffage ECS.
Valorisation de l'énergie solaire excédentaire en période estivale pour le bouclage sanitaire	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température
Valorisation à basse température pour l'eau chaude en période hivernale	Pilotage de la boucle de distribution chauffage pour favoriser les basses températures
Valorisation directe de l'énergie solaire pour le bouclage sanitaire et la compensation des pertes thermiques du ballon de stockage d'appoint	Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire
	De nombreux points de comptage pour assurer un suivi de performances de qualité
	Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique

Tableau 12. Points forts et points de vigilance de la solution REF3-SSC1



4.6 Schéma REF4-SSC1

4.6.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF4-SSC1 est adapté aux installations utilisant des Modules Thermiques d'Appartement avec une chaudière alimentant la boucle de distribution au travers d'une bouteille de découplage.

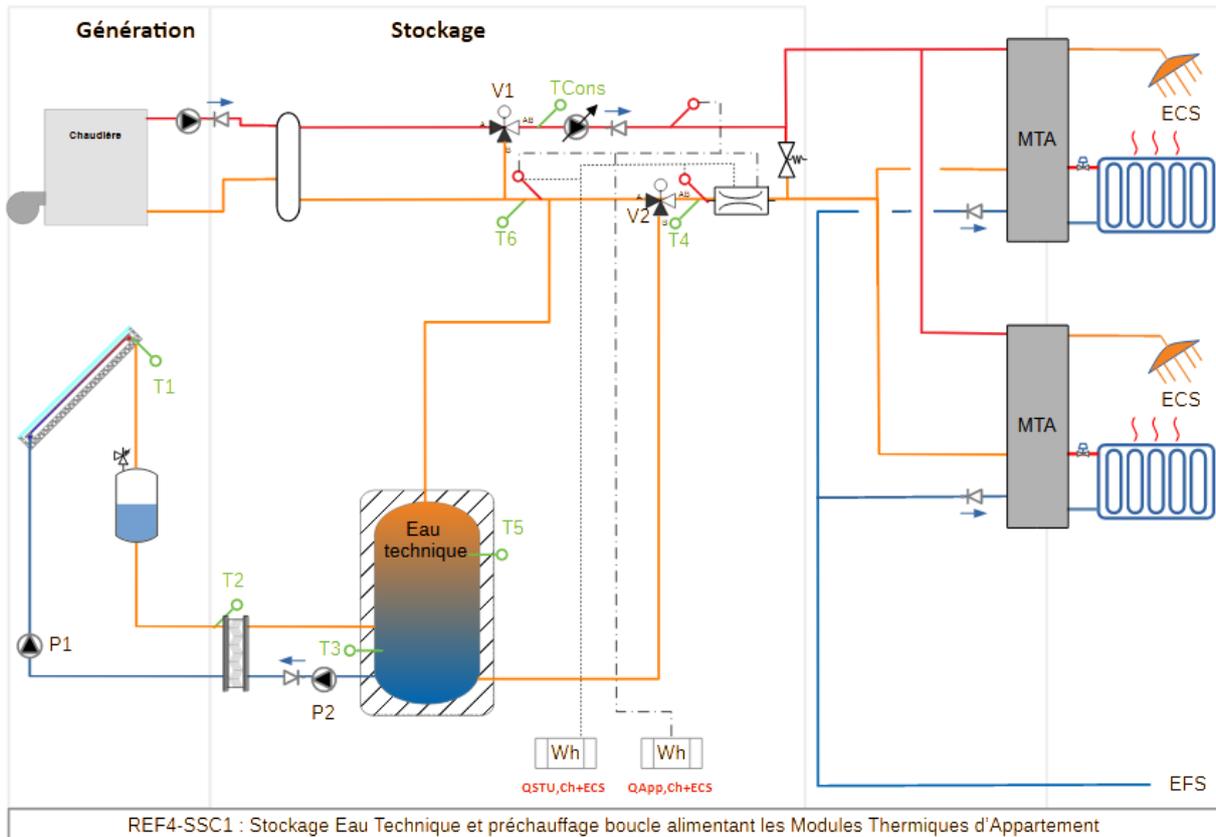


Figure 29. Schéma REF4-SSC1

4.6.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux immeubles de logements collectifs disposant de modules thermiques d'appartement.

4.6.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Ballon de stockage	Echangeur externe	Echangeur intégré	Cf page 95
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97

Tableau 13. Variantes possibles pour le schéma REF4-SSC1

4.6.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est relativement simple.

- Lorsque de l'énergie solaire thermique peut être récupérée au niveau des capteurs solaires, cette énergie est transférée au ballon de stockage.
- Lorsque la température de stockage est supérieure à la température au retour de la boucle de distribution, l'énergie solaire assure le préchauffage, voire le chauffage du fluide de la boucle de distribution.

4.6.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la température T3. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

Le circulateur P2 sera piloté par un différentiel entre la température T2 et la température T3.

Les circulateurs P1 et P2 seront à débit variable, et le pilotage sera préférablement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T1-T3) constant compris entre 10 et 15°C.

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.6.4.2 Boucle de décharge

La vanne V2 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T4 (température de retour du réseau de distribution) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T4, la vanne V2 bascule de la position AB>A vers la position AB>B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).
- L'écart entre la température T6 et la température de consigne Tcons : l'ouverture de la voie AB>B est également contrôlée de façon à ce que la température T6 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable en période estivale afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution.

4.6.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.6.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m²]

G_{Coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [kWh/m².an]



Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d'économie d'énergie satisfaisant.

4.6.5.2 Echangeur de chaleur de la boucle solaire

L'échangeur de chaleur de la boucle solaire sera dimensionné en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigel	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)		45
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	2 à 3 mCE

Tableau 14. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur devra résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. L'échangeur de chaleur devra être calorifugé.

Pour des petites installations, un échangeur de chaleur intégré au ballon de stockage pourra être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m²,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K

4.6.5.3 Ballon de stockage en eau technique

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m² de capteurs solaires, et préférablement compris entre 75 et 100 l/m² de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.6.5.4 Vanne de préchauffage solaire V2

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins d'une minute. Du fait des puisages d'eau chaude sanitaire, la variation de température de la boucle de distribution peut être relativement rapide ; il convient donc que la vitesse de la vanne soit adaptée à la vitesse de variation de température.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage.



- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB>A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.6.5.5 Vase d'expansion de la boucle solaire

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.

4.6.5.6 Vase d'expansion de la boucle de distribution

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.6.6 Comptage de l'énergie

4.6.6.1 Comptage de l'énergie thermique

Le comptage de l'énergie thermique est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de distribution,
- De la mesure de trois températures (température de retour de la boucle de distribution, température de retour après le réchauffage solaire et température de départ vers la boucle de distribution).

Une vigilance particulière doit être accordée sur la qualité de la métrologie :

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car le débit va varier entre le débit nominal et le débit de bypass (généralement fixé à 10% du débit nominal).
- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{\min} est généralement de 3°C.

La sélection des composants et la mise en œuvre doivent donc être particulièrement soignées pour limiter les erreurs de mesure. Dans le cas de la mise en œuvre de compteurs d'énergie thermique, il est indispensable d'utiliser des compteurs de Classe 1 selon la Norme NF EN 1434.

Il sera utile de se reporter à [25], en particulier le chapitre 11.

4.6.6.2 Comptage de l'énergie électrique

Un comptage de l'énergie électrique des auxiliaires de la boucle solaire sera mis en œuvre : il permettra de mesurer la consommation des circulateurs P1 et P2, de la vanne V2, du régulateur solaire (le cas échéant) et des autres composants nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire, notamment les composants additionnels mis en œuvre dans certaines solutions de gestion des surchauffes (aérotherme, circulateur de la boucle de décharge, ...).

4.6.7 Calcul des indicateurs

4.6.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

L'expression du taux d'économie d'énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{Q_{App,Ch+ECS} + Q_{STU,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 29.



4.6.7.2 Productivité Prod

L'expression de la productivité est la suivante :

$$Prod(kWh/m^2) = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{S_{HT}} = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{N_{coll} * A_G}$$

En référence à la Figure 29.

4.6.7.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

L'expression du taux de consommation d'auxiliaire Taux est la suivante :

$$T_{aux}(\%) = \frac{W_{AUX}}{Q_{STU,Ch+ECS}} = \frac{W_{P1} + W_{P2} + W_{V2} + W_{Controler}}{Q_{STU,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 29.

4.6.8 Méthode de prévision des performances

4.6.8.1 Polysun

Le schéma référencé « Variante 13a » est sensiblement identique à REF5-SSC1. Les deux principales différences résident :

- dans le fait que le fluide de chauffage passe systématiquement par le stockage,
- en l'absence de ballon tampon sur le circuit du générateur d'appoint.

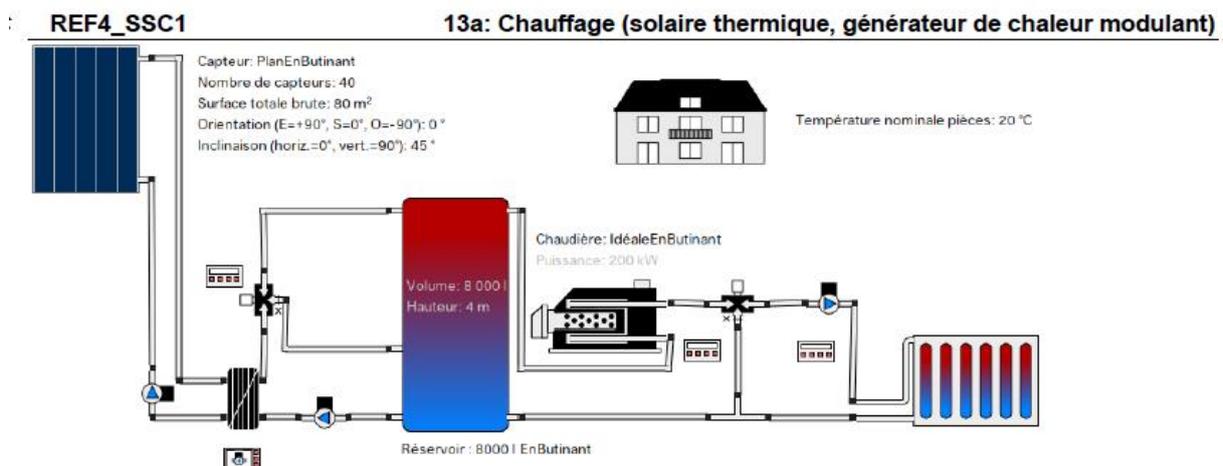


Figure 30. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF4-SSC1

Dans le cadre de l'utilisation de la « Variante 13a » pour simuler le système REF5-SSC1, il y a lieu de générer préalablement le fichier de charge (température départ et retour au niveau du local chaufferie, débit) avec un pas de temps d'une heure. Ce fichier est à utiliser pour remplacer la charge de chauffage du bâtiment.

Polysun fournit les résultats suivants :

- QSol : énergie solaire thermique fournie au ballon de stockage.
- QAux : énergie thermique fournie par le générateur d'appoint
- QUse : consommation énergétique

Pour accéder à Q_{STU} , il y a donc lieu de retirer les pertes thermiques du ballon. Par défaut, on peut considérer $Q_{STU}=0.9 Q_{Sol}$.



Une autre option est de calculer $Q_{STU}=Q_{USE}-Q_{AUX}$ (en utilisant un générateur d'appoint avec un rendement de 1)

En fonction des hypothèses suivantes, l'expression du taux d'économie d'énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{Q_{USE} - Q_{AUX}}{Q_{USE}}$$

4.6.8.2 T*Sol

Le schéma référencé « Variante A8 » est sensiblement identique au schéma REF4-SSC1.

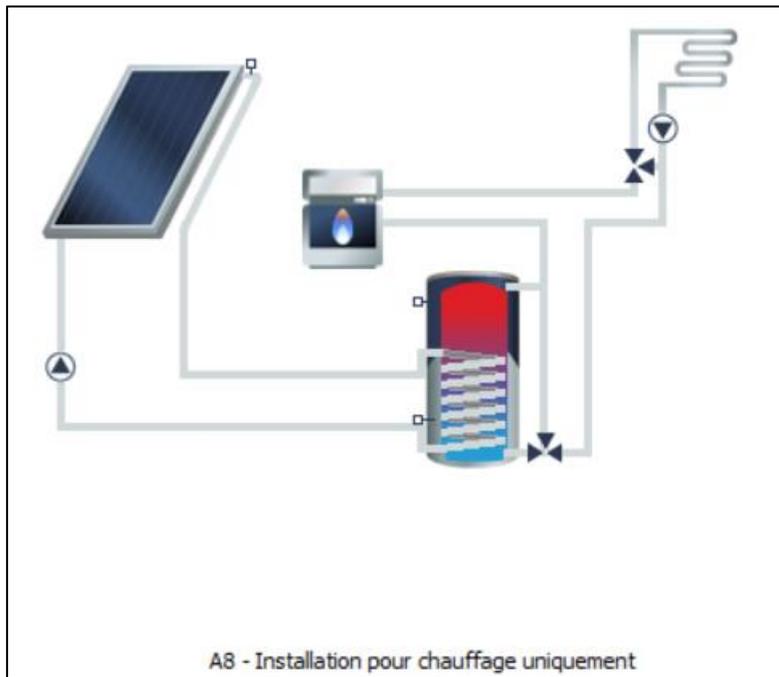


Figure 31. Schéma T*Sol Variante A8

Ce schéma est destiné à des installations de chauffage seul, néanmoins il est possible de saisir les charges thermiques mensuelles (Figure 32), sous réserve d'ajuster les paramètres généraux (Figure 33) de chauffage, et de vérifier à l'issue de la simulation que la charge thermique mensuelle est bien respectée (valeur 10.1 du rapport de projet T*SOL).



Transmiss. chal. générateur [MWh]	
Jan	9.837
Fev	8.319
Mars	7.015
Avr	4.509
Mai	2.579
Juin	1.664
Juil	1.577
Août	1.528
Sep	1.536
Oct	2.458
Nov	5.984
Dec	8.749
Année	55.755

Figure 32. Ecran de saisie de la charge thermique mensuelle

Énergie pour le chauffage

Besoin thermique | Chaleur externe | Régime du chauffage

Type de données de besoin

- Charge de chauff : 25.25 kW
- Transmiss. chal. générateur (annuelle) : 55.76 MWh
- Transmiss. chal. générateur (mensuelle) : Valeur mensuelle

surface utile chauffée: 130 m²

Température ambiante: 21 °C

Température extérieure de base: -5.76 °C

Température limite du chauffage: 14 °C

Type de construction: construction moyennement lourd

Charge chauff. spéc.: 194.231 W/m²

Chaleur spéc. délivrée ann.: 428.923 kWh/m²

Figure 33. Ecran de saisie des paramètres généraux de chauffage

4.6.8.3 Méthode FSAV=f(FSC)

Pour le système REF4-SSC1, la méthode de calcul simplifié est la suivante :

$$FSAV = SC. (0.22FSC^2 + 0.66FSC)$$

Où FSC est défini par :

$$FSC = \frac{\sum_{1}^{12} \min(\eta_{Coll} S_{HT} G_{Coll}, Q_{TOTAL})}{\sum_{1}^{12} Q_{TOTAL}}$$



Avec

$$\eta_{coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η_0 : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a_1 : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K$)

a_2 : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K^2$)

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{110S_{HT}}\right)^{0.45} - 0.45 \left(\frac{V}{110S_{HT}}\right) + 0.45$$

Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres)

S_{HT} : surface hors tout du champ de capteur solaire (m^2)

4.6.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 15 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF4-SSC1.

Points forts	Points de vigilance
Simplicité de la solution solaire thermique et de son pilotage	Conception de la boucle de distribution pour assurer la température de retour la plus faible possible
Simplicité du comptage énergétique	Sélection des MTA pour la production d'ECS avec des températures de retour faibles
Surcoût solaire limité	Limiter au maximum le débit de bypass pour éviter des températures de retour élevées
	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température
	Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire
	Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique

Tableau 15. Points forts et points de vigilance de la solution REF4-SSC1



4.7 Schéma REF5-SSC1

4.7.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF5-SSC1 est adapté aux installations utilisant des Modules Thermiques d'Appartement avec une chaudière alimentant un ballon tampon et une boucle de distribution prenant sa source au niveau du ballon tampon.

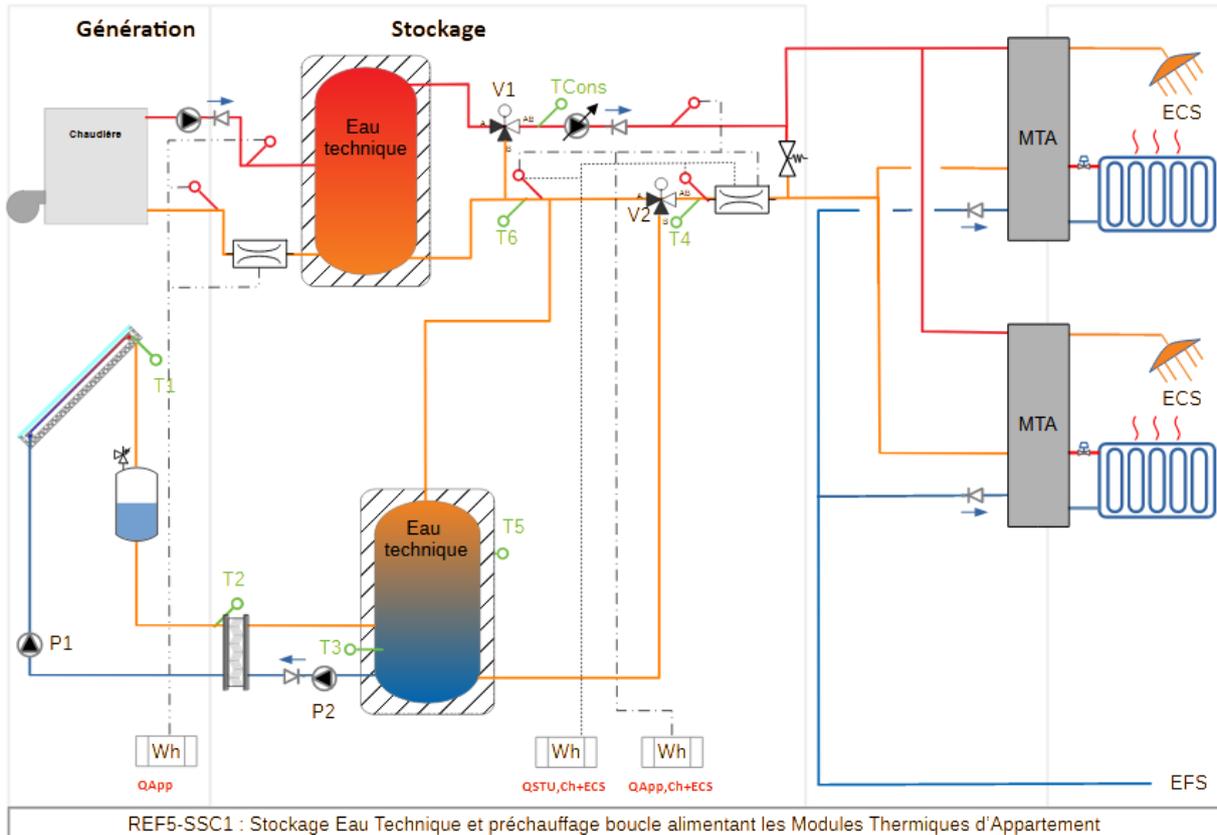


Figure 34. Schéma REF5-SSC1

4.7.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux immeubles de logements collectifs disposant de modules thermiques d'appartement, avec un ballon tampon sur le circuit de la chaudière.

4.7.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Ballon de stockage	Echangeur externe	Echangeur intégré	Cf page 95
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97

Tableau 16. Variantes possibles pour le schéma REF5-SSC1



4.7.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est relativement simple.

- Lorsque de l'énergie solaire thermique peut être récupérée au niveau des capteurs solaires, cette énergie est transférée au ballon de stockage.
- Lorsque la température de stockage est supérieure à la température au retour de la boucle de distribution, l'énergie solaire assure le préchauffage, voire le chauffage du fluide de la boucle de distribution.

4.7.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la température T3. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

Le circulateur P2 sera piloté par un différentiel entre la température T2 et la température T3.

Les circulateurs P1 et P2 seront à débit variable, et le pilotage sera préférablement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T1-T3) constant compris entre 10 et 15°C.

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.7.4.2 Boucle de décharge

La vanne V2 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T4 (température de retour du réseau de distribution) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T4, la vanne V2 bascule de la position AB>A vers la position AB>B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).
- L'écart entre la température T6 et la température de consigne Tcons : l'ouverture de la voie AB>B est également contrôlée de façon à ce que la température T6 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable en période estivale afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution.

4.7.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.7.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :

$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m²]

G_{Coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [kWh/m².an]



Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d'économie d'énergie satisfaisant.

4.7.5.2 Echangeur de chaleur de la boucle solaire

L'échangeur de chaleur de la boucle solaire sera dimensionné en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigel	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)		45
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	2 à 3 mCE

Tableau 17. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur devra résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. L'échangeur de chaleur devra être calorifugé.

Pour des petites installations, un échangeur de chaleur intégré au ballon de stockage pourra être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m²,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K

4.7.5.3 Ballon de stockage en eau technique

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m² de capteurs solaires, et préférentiellement compris entre 75 et 100 l/m² de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.7.5.4 Vanne de préchauffage solaire V2

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins d'une minute. Du fait des puisages d'eau chaude sanitaire, la variation de température de la boucle de distribution peut être relativement rapide ; il convient donc que la vitesse de la vanne soit adaptée à la vitesse de variation de température.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage.



- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB➤A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.7.5.5 Vase d'expansion de la boucle solaire

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.

4.7.5.6 Vase d'expansion de la boucle de distribution

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.7.6 Comptage de l'énergie

4.7.6.1 Comptage de l'énergie thermique envoyé sur le réseau de distribution

Le comptage de l'énergie thermique est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de distribution,
- De la mesure de trois températures (température de retour de la boucle de distribution, température de retour après le réchauffage solaire et température de départ vers la boucle de distribution).

Ce comptage permettra d'accéder à $Q_{STU,Ch+ECS}$ et à $Q_{App,Ch+ECS}$.

Une vigilance particulière doit être accordée sur la qualité de la métrologie :

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car le débit va varier entre le débit nominal et le débit de bypass (généralement fixé à 10% du débit nominal).
- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{min} est généralement de 3°C.

La sélection des composants et la mise en œuvre doivent donc être particulièrement soignées pour limiter les erreurs de mesure. Dans le cas de la mise en œuvre de compteurs d'énergie thermique, il est indispensable d'utiliser des compteurs de Classe 1 selon la Norme NF EN 1434.

Il sera utile de se reporter à [25], en particulier le chapitre 11.

4.7.6.2 Comptage de l'énergie thermique fournie par la chaudière

Le comptage de l'énergie thermique est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de la chaudière,
- De la mesure de deux températures (température de retour vers la chaudière, température au départ de la chaudière).

Ce comptage permettra d'accéder à Q_{App} .

4.7.6.3 Comptage de l'énergie électrique

Un comptage de l'énergie électrique des auxiliaires de la boucle solaire sera mis en œuvre : il permettra de mesurer la consommation des circulateurs P1 et P2, de la vanne V2, du régulateur solaire (le cas échéant) et des autres composants nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire, notamment les composants additionnels mis en œuvre dans certaines solutions de gestion des surchauffes (aérotherme, circulateur de la boucle de décharge, ...).



4.7.7 Calcul des indicateurs

4.7.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

L'expression du taux d'économie d'énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{Q_{App} + Q_{STU,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 34.

4.7.7.2 Productivité Prod

L'expression de la productivité est la suivante :

$$Prod(kWh/m^2) = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{S_{HT}} = \frac{Q_{STU,Ch+ECS}}{N_{coll} * A_G}$$

En référence à la Figure 34.

4.7.7.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

L'expression du taux de consommation d'auxiliaire Taux est la suivante :

$$T_{aux}(\%) = \frac{W_{AUX}}{Q_{STU,Ch+ECS}} = \frac{W_{P1} + W_{P2} + W_{V2} + W_{Controler}}{Q_{STU,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 34.

4.7.8 Méthode de prévision des performances

4.7.8.1 Polysun

Le schéma référencé « Variante 13a » est sensiblement identique à REF5-SSC1. Les deux principales différences résident :

- dans le fait que le fluide de chauffage passe systématiquement par le stockage,
- en l'absence de ballon tampon sur le circuit du générateur d'appoint.

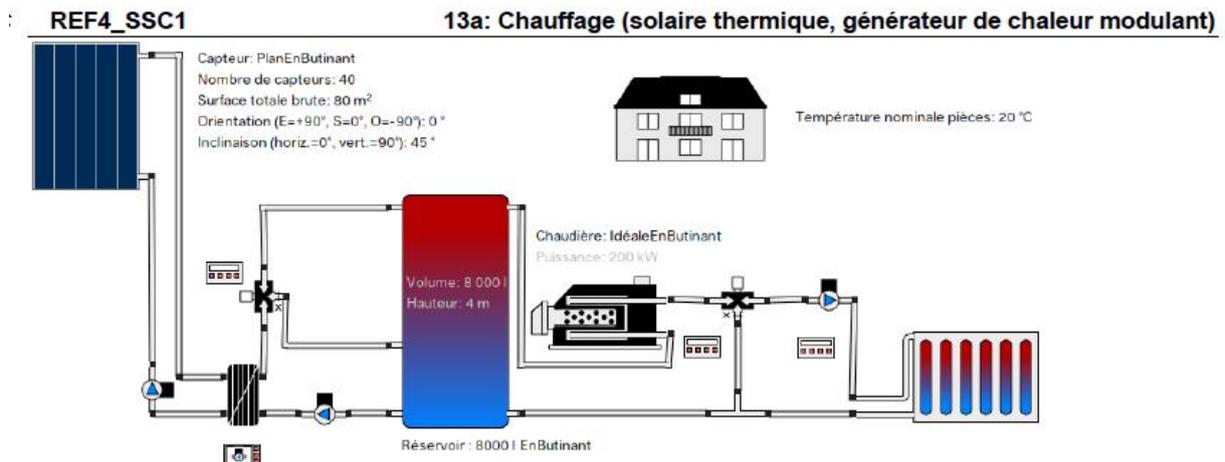


Figure 35. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF5-SSC1

Dans le cadre de l'utilisation de la « Variante 13a » pour simuler le système REF5-SSC1, il y a lieu de générer préalablement le fichier de charge (température départ et retour au niveau du local chaufferie, débit) avec un pas de temps d'une heure. Ce fichier est à utiliser pour remplacer la charge de chauffage du bâtiment.



Polysun fournit les résultats suivants :

- QSol : énergie solaire thermique fournie au ballon de stockage.
- QAux : énergie thermique fournie par le générateur d’appoint
- QUse : consommation énergétique

Pour accéder à Q_{STU}, il y a donc lieu de retirer les pertes thermiques du ballon. Par défaut, on peut considérer Q_{STU}=0.9 QSol.

Une autre option est de calculer Q_{STU}=QUSE-QAUX (en utilisant un générateur d’appoint avec un rendement de 1).

La variante 13a ne prenant pas en compte de ballon tampon, il y a donc lieu de calculer des pertes thermiques de référence du ballon tampon d’appoint Q_{losses,app}, à partir de ses caractéristiques techniques et des conditions de fonctionnement.

En fonction des hypothèses suivantes, l’expression du taux d’économie d’énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{QUSE - QAUX}{QUSE + Q_{losses,app}}$$

4.7.8.2 T*Sol

Cf paragraphe 4.6.8.2.

4.7.8.3 Méthode FSAV=f(FSC)

Pour le système REF5-SSC1, la méthode de calcul simplifié est adaptée de la méthode utilisée pour le système REF4-SSC1.

En effet, la compensation des pertes thermiques du ballon tampon appoint ne peut être assurée par l’énergie solaire dans cette configuration. Il convient donc d’adapter la méthode de calcul pour prendre en compte cet aspect. Il y a donc lieu de calculer des pertes thermiques de référence du ballon tampon d’appoint Q_{losses,app}, à partir de ses caractéristiques techniques et des conditions de fonctionnement.

Le coefficient FSC devient :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(\eta_{coll} S_{HT} G_{coll}, Q_{TOTAL} - Q_{losses,app})}{\sum_1^{12} (Q_{TOTAL} - Q_{losses,app})}$$

Avec

$$\eta_{coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η₀ : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a₁ : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) (W/m².K)

a₂ : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) (W/m².K²)



Un premier coefficient $FSAV_{PROV}$ est défini au travers de la relation suivante :

$$FSAV_{PROV} = SC \cdot (0.22FSC^2 + 0.66FSC)$$

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{110S_{HT}}\right)^{0.45} - 0.45 \left(\frac{V}{110S_{HT}}\right) + 0.45$$

Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres)

S_{HT} : surface hors tout du champ de capteur solaire (m^2)

Le coefficient FSAV est ensuite défini par :

$$FSAV = \frac{FSAV_{PROV} (Q_{Charge} - Q_{losses,app})}{Q_{Charge}}$$

4.7.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 18 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF5-SSC1.

Points forts	Points de vigilance
Simplicité de la solution solaire thermique et de son pilotage	Conception de la boucle de distribution pour assurer la température de retour la plus faible possible
Simplicité du comptage énergétique	Sélection des MTA pour la production d'ECS avec des températures de retour faibles
Surcoût solaire limité	<p>Limiter au maximum le débit de bypass pour éviter des températures de retour élevées</p> <p>Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température</p> <p>Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire</p> <p>Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique</p> <p>L'énergie solaire ne permet pas de compenser les pertes thermiques du ballon tampon appoint en période estivale. La variante REF5-SSC2 permet de lever cette limitation.</p>

Tableau 18. Points forts et points de vigilance de la solution REF5-SSC1



4.8 Schéma REF5-SSC2

4.8.1 Schéma-type de l'installation

Le schéma REF5-SSC2 est adapté aux installations utilisant des Modules Thermiques d'Appartement avec une chaudière alimentant un ballon tampon et une boucle de distribution prenant sa source au niveau du ballon tampon.

Le schéma REF5-SSC2 est une variante au schéma REF5-SSC1, permettant d'apporter l'énergie solaire au ballon tampon d'appoint en eau technique.

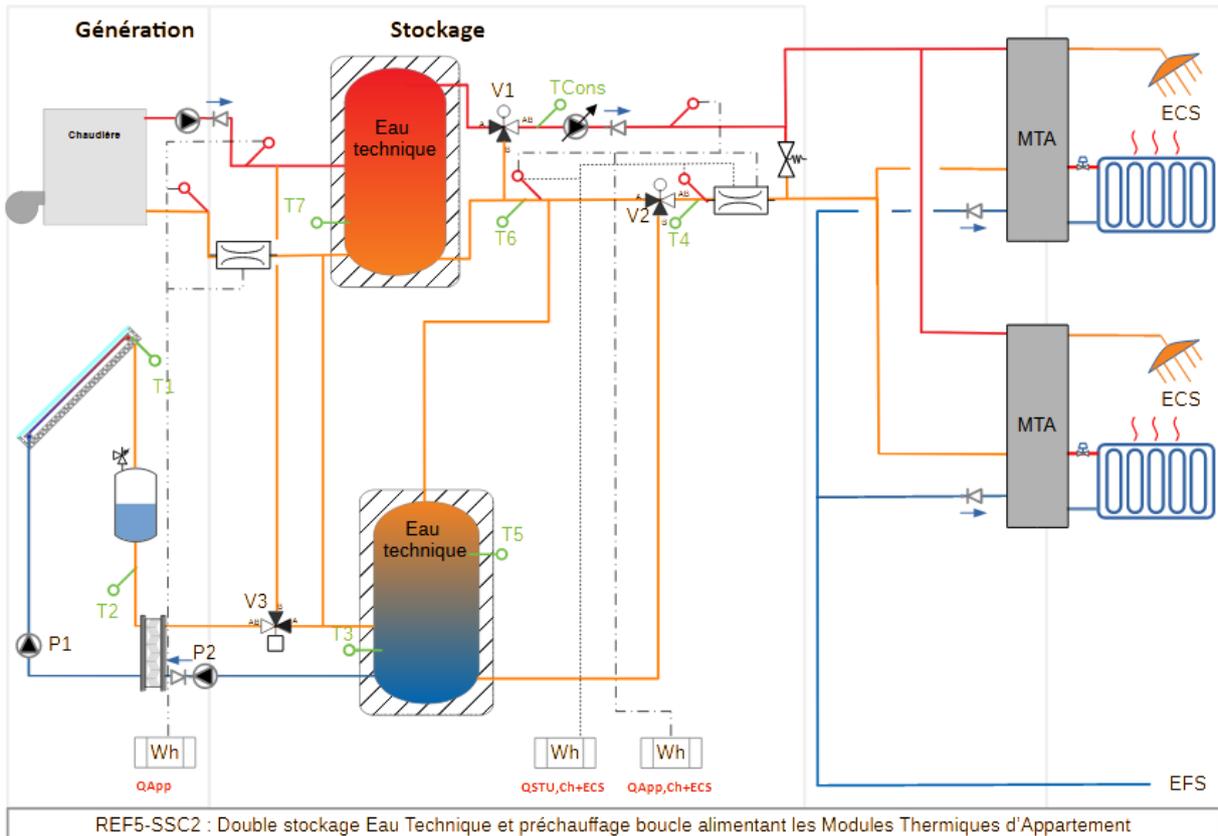


Figure 36. Schéma REF5-SSC2

4.8.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux immeubles de logements collectifs disposant de modules thermiques d'appartement, avec un ballon tampon sur le circuit de la chaudière.

4.8.3 Variantes possibles

Les variantes possibles pour ce schéma sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Des détails sur les variantes sont précisés en Annexe 2, à partir de la page 94.

Sous-Ensemble	Référence	Variante	Précision apportée
Boucle solaire	Boucle autovidangeable	Boucle sous pression	Cf page 94
Préchauffage solaire	Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Cf page 97

Tableau 19. Variantes possibles pour le schéma REF5-SSC2

4.8.4 Mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement de la partie solaire de l'installation est relativement simple.

- Lorsque de l'énergie solaire thermique peut être récupérée au niveau des capteurs solaires, cette énergie est transférée au ballon de stockage.
- Lorsque la température de stockage est supérieure à la température au retour de la boucle de distribution, l'énergie solaire assure le préchauffage, voire le chauffage du fluide de la boucle de distribution.
- En complément, et pour éviter le recours à la chaudière d'appoint en période estivale pour maintenir en température le ballon tampon d'appoint, l'énergie solaire peut également être dérivée vers ce ballon tampon d'appoint.

4.8.4.1 Boucle solaire

Usuellement, le circulateur P1 est piloté avec un différentiel entre la température T1 et la plus petite des températures T3 ou T7. En alternative, le circulateur P1 peut être asservi à une sonde d'irradiation et un enclenchement sur un seuil d'irradiation, lorsque la longueur des canalisations ou la taille du champ de capteurs est importante.

Selon la configuration « Installation sous-pression » ou « Circuit vidangeable », des spécificités sur le pilotage du circulateur P1 devront être mises en œuvre [12].

Le circulateur P2 sera piloté par un différentiel entre la température T2 et la plus petite des températures T3 ou T7.

Lorsque la température T2 est supérieure à la température T7, la vanne V3 bascule de la position AB►A vers la position AB►B. Cette fonction permet notamment en période estivale d'éviter le recours à la chaudière pour compenser les pertes thermiques du ballon tampon d'appoint. Une limitation

Les circulateurs P1 et P2 seront à débit variable, et le pilotage sera préférentiellement réalisé de façon à maintenir un écart de température (T1-T3) ou (T1-T7) constant compris entre 10 et 15°C.

Diverses fonctions complémentaires pourront être implémentées dans le pilotage de la boucle solaire, notamment dans le cadre de la gestion des surchauffes (cf paragraphe 3.3).

4.8.4.2 Boucle de décharge

La vanne V2 est une vanne modulante à ouverture rapide dont l'ouverture de la voie A (position de repos) vers la voie B est asservie à :

- L'écart entre la température T5 (haut du ballon de stockage) et la température T4 (température de retour du réseau de distribution) : lorsque la température T5 est supérieure à la température T4, la vanne V2 bascule de la position AB►A vers la position AB►B. Pour cette fonction, la commande est réalisée par un régulateur différentiel ($\Delta T_{\text{enclenchement}}$ compris entre 5 et 7°C, $\Delta T_{\text{arrêt}}$ compris entre 2 et 4°C).
- L'écart entre la température T6 et la température de consigne Tcons : l'ouverture de la voie AB►B est également contrôlée de façon à ce que la température T6 respecte au maximum la température de consigne Tcons. Ce contrôle est absolument indispensable en période estivale afin d'éviter de distribuer un fluide à trop haute température dans le réseau de distribution.

4.8.5 Dimensionnement des composants spécifiques

4.8.5.1 Capteurs solaires

Une première évaluation de la surface hors tout du champ de capteurs solaires peut être fournie par la relation suivante :



$$S_{HT} [m^2] = \left(0.7 + \frac{200}{G_{Coll} [kWh/m^2 \cdot an]} \right) * \frac{Q_{TOTAL} [kWh]}{1000}$$

Où S_{HT} désigne la surface hors tout du champ de capteurs solaires [m^2]

G_{Coll} désigne l'irradiation globale sur le plan des capteurs [$kWh/m^2 \cdot an$]

Q_{TOTAL} est la charge thermique (exprimée en kWh) correspond à l'énergie thermique produite par la chaufferie pour assurer les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et l'énergie nécessaire pour compenser les différentes pertes de réseau (réseau de chauffage, bouclage sanitaire) et de stockage (cela correspond à la référence [2bis] de la Figure 15). Dans cette expression, la charge thermique n'intègre pas le rendement de la chaudière.

Le dimensionnement devra être affiné avec les outils de modélisation pour atteindre un compromis Productivité/Taux d'économie d'énergie satisfaisant.

4.8.5.2 Echangeur de chaleur de la boucle solaire

L'échangeur de chaleur de la boucle solaire sera dimensionné en fonction de la surface hors tout de capteurs solaires (notée S_{HT}) sur les bases suivantes :

Puissance (kW)	0.70 * S_{HT}	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Fluide caloporteur antigel	Eau technique
Température entrée (°C)	50	
Température sortie (°C)	45	
Débit (l/h)	(30 à 40) * S_{HT}	(30 à 40) * S_{HT}
Pertes de charge maxi (mCE)	2 à 3 mCE	2 à 3 mCE

Tableau 20. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur devra résister aux températures atteintes dans la boucle solaire : cette dernière dépendra notamment de la solution technique mise en œuvre pour la gestion des surchauffes potentielles. L'échangeur de chaleur devra être calorifugé.

Pour des petites installations, un échangeur de chaleur intégré au ballon de stockage pourra être mis en œuvre. Cette solution sera admissible :

- Pour les installations dont la surface de capteurs est au plus égale à 20 m^2 ,
- Lorsque le coefficient d'échange de l'échangeur K_{Ech} est supérieur à (100 S_{HT}) W/K

4.8.5.3 Ballon de stockage en eau technique

Le ratio de stockage sera à minima de 50 l/m^2 de capteurs solaires, et préférablement compris entre 75 et 100 l/m^2 de capteurs solaires. Ce ratio sera affiné en fonction du dimensionnement de la surface de capteurs solaires et la zone climatique d'implantation.

Compte-tenu du niveau de température moyen, nettement plus élevé que pour les applications CESC, la qualité de l'isolation devra être particulièrement soignée. L'épaisseur devra être à minima de 100 mm de laine minérale ou équivalent y compris le fond inférieur, et les ponts thermiques devront être évités notamment au niveau des différents raccordements et accessoires mis en œuvre.

La température maximale de stockage sera la plus élevée possible, et à minima de 90°C.

4.8.5.4 Vanne de préchauffage solaire V2

La vanne de préchauffage solaire devra répondre aux exigences suivantes :



- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins d'une minute. Du fait des puisages d'eau chaude sanitaire, la variation de température de la boucle de distribution peut être relativement rapide ; il convient donc que la vitesse de la vanne soit adaptée à la vitesse de variation de température.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter que le retour de la boucle de distribution réchauffe le ballon de stockage.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB➤A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage.

4.8.5.5 Vanne de réchauffage du ballon tampon V3

La vanne de réchauffage du ballon tampon devra répondre aux exigences suivantes :

- Temps d'ouverture de 0 à 100% en moins de deux minutes.
- Etanchéité parfaite, afin d'éviter un débit de fuite vers le ballon tampon d'appoint en eau technique.
- Position de repos. La position de repos de la vanne devra être de AB➤A, afin d'éviter qu'un dysfonctionnement de celle-ci réchauffe le ballon de stockage solaire.

4.8.5.6 Vase d'expansion de la boucle solaire

Se référer à [14] pour le dimensionnement du vase d'expansion de la boucle solaire.

4.8.5.7 Vase d'expansion de la boucle de distribution

Le dimensionnement du vase d'expansion associé à la boucle de distribution devra prendre en compte le volume de stockage en eau technique ainsi que ses variations de température.

4.8.6 Comptage de l'énergie

4.8.6.1 Comptage de l'énergie thermique envoyé sur le réseau de distribution

Le comptage de l'énergie thermique est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de distribution,
- De la mesure de trois températures (température de retour de la boucle de distribution, température de retour après le réchauffage solaire et température de départ vers la boucle de distribution).

Ce comptage permettra d'accéder à $Q_{STU,Ch+ECS}$ et à $Q_{App,Ch+ECS}$.

Une vigilance particulière doit être accordée sur la qualité de la métrologie :

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car le débit va varier entre le débit nominal et le débit de bypass (généralement fixé à 10% du débit nominal).
- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{min} est généralement de 3°C.

La sélection des composants et la mise en œuvre doivent donc être particulièrement soignées pour limiter les erreurs de mesure. Dans le cas de la mise en œuvre de compteurs d'énergie thermique, il est indispensable d'utiliser des compteurs de Classe 1 selon la Norme NF EN 1434.

Il sera utile de se reporter à [25], en particulier le chapitre 11.



4.8.6.2 Comptage de l'énergie thermique fournie par la chaudière

Le comptage de l'énergie thermique est réalisé au moyen :

- D'une mesure de débit sur la boucle de la chaudière,
- De la mesure de deux températures (température de retour vers la chaudière, température au départ de la chaudière).

Ce comptage permettra d'accéder à Q_{App} .

4.8.6.3 Comptage de l'énergie électrique

Un comptage de l'énergie électrique des auxiliaires de la boucle solaire sera mis en œuvre : il permettra de mesurer la consommation des circulateurs P1 et P2, des vannes V2 et V3, du régulateur solaire (le cas échéant) et des autres composants nécessaires au fonctionnement de l'installation solaire, notamment les composants additionnels mis en œuvre dans certaines solutions de gestion des surchauffes (aérotherme, circulateur de la boucle de décharge, ...).

4.8.7 Calcul des indicateurs

4.8.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

Pour ce schéma, et avec le plan de comptage suggéré, l'évaluation de FSAV est plus complexe du fait de transfert de l'énergie solaire vers le ballon de stockage d'appoint, et de l'impossibilité de mesurer directement la part des pertes du ballon tampon d'appoint qui ont été compensés par le solaire.

Il y a donc lieu de calculer des pertes thermiques de référence du ballon tampon d'appoint $Q_{Losses,app}$, à partir de ses caractéristiques techniques et des conditions de fonctionnement.

Ainsi, on obtient l'expression suivante du taux d'économie d'énergie :

$$FSAV = 1 - \frac{Q_{App}}{Q_{Losses,App} + Q_{STU,Ch+ECS} + Q_{App,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 36.

On peut ainsi évaluer l'énergie solaire thermique utile total Q_{STU} :

$$Q_{STU} = FSAV (Q_{Losses,App} + Q_{STU,Ch+ECS} + Q_{App,Ch+ECS})$$

Avec les erreurs de mesure possible, il convient également de vérifier que Q_{STU} est bien supérieur à $Q_{STU,ECS+Ch}$.

4.8.7.2 Productivité Prod

L'expression de la productivité est la suivante :

$$Prod(kWh/m^2) = \frac{Q_{STU}}{S_{HT}} = \frac{Q_{STU}}{N_{coll} * A_G}$$

En référence à la Figure 36 Figure 17.

4.8.7.3 Taux de consommation d'auxiliaire Taux

L'expression du taux de consommation d'auxiliaire Taux est la suivante :

$$T_{aux}(\%) = \frac{W_{AUX}}{Q_{STU,Ch+ECS}} = \frac{W_{P1} + W_{P2} + W_{V2} + W_{V3} + W_{Controler}}{Q_{STU,Ch+ECS}}$$

En référence à la Figure 36.



4.8.8 Méthode de prévision des performances

4.8.8.1 Polysun

Le schéma référencé « Variante 13a » est sensiblement identique à REF5-SSC2. Les trois principales différences résident :

- dans le fait que le fluide de chauffage passe systématiquement par le stockage,
- en l'absence de ballon tampon sur le circuit du générateur d'appoint.
- l'impossibilité de réchauffer le ballon tampon d'appoint par l'énergie solaire

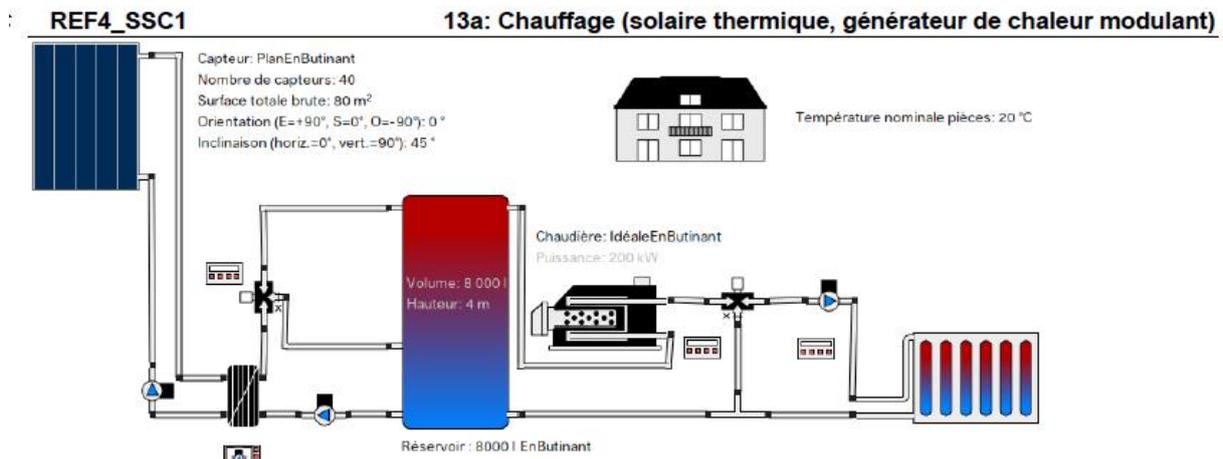


Figure 37. Schéma Polysun variante 13a similaire à REF5-SSC2

Dans le cadre de l'utilisation de la « Variante 13a » pour simuler le système REF5-SSC2, il y a lieu de générer préalablement le fichier de charge (température départ et retour au niveau du local chaufferie, débit) avec un pas de temps d'une heure. Ce fichier est à utiliser pour remplacer la charge de chauffage du bâtiment.

Polysun fournit les résultats suivants :

- QSol : énergie solaire thermique fournie au ballon de stockage.
- QAux : énergie thermique fournie par le générateur d'appoint
- QUse : consommation énergétique

Pour accéder à Q_{STU}, il y a donc lieu de retirer les pertes thermiques du ballon. Par défaut, on peut considérer Q_{STU}=0.9 QSol.

Une autre option est de calculer Q_{STU}=QUSE-QAUX (en utilisant un générateur d'appoint avec un rendement de 1).

La variante 13a ne prenant pas en compte de ballon tampon, il y a donc lieu de calculer des pertes thermiques de référence du ballon tampon d'appoint Q_{losses,app}, à partir de ses caractéristiques techniques et des conditions de fonctionnement.

En fonction des hypothèses suivantes, l'expression du taux d'économie d'énergie est la suivante :

$$FSAV = \frac{QUSE - QAUX}{QUSE + Q_{losses,app}}$$

4.8.8.2 T*Sol

Cf paragraphe 4.6.8.2.

4.8.8.3 Méthode FSAV=f(FSC)

Pour le système REF5-SSC2, la méthode de calcul simplifié est la suivante :

$$FSAV = SC. (0.22FSC^2 + 0.66FSC)$$

Où FSC est défini par :

$$FSC = \frac{\sum_1^{12} \min(\eta_{Coll} S_{HT} G_{Coll}, Q_{TOTAL})}{\sum_1^{12} Q_{TOTAL}}$$

Avec

$$\eta_{Coll} = \eta_0 - 0.07a_1 - 2.45 a_2$$

η_0 : coefficient optique du capteur (ramené à la surface hors tout A_G)

a_1 : coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K$)

a_2 : effet de la température sur le coefficient de perte thermique du capteur (ramené à la surface hors-tout A_G) ($W/m^2.K^2$)

Où SC est un coefficient de correction de stockage, défini par :

$$SC = \left(\frac{V}{110S_{HT}} \right)^{0.45} - 0.45 \left(\frac{V}{110S_{HT}} \right) + 0.45$$

Avec

V : volume de stockage en eau technique (litres)

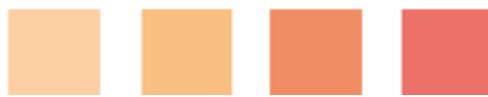
S_{HT} : surface hors tout de capteur solaire (m^2)

4.8.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 21 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution REF5-SSC2.

Points forts	Points de vigilance
Simplicité de la solution solaire thermique et de son pilotage	Conception de la boucle de distribution pour assurer la température de retour la plus faible possible
Simplicité du comptage énergétique	Sélection des MTA pour la production d'ECS avec des températures de retour faibles
Surcoût solaire limité	Limitier au maximum le débit de bypass pour éviter des températures de retour élevées
Valorisation de l'énergie solaire pour compenser une part des pertes du ballon tampon d'appoint	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour fonctionner à basse température
	Qualité de l'isolation de l'ensemble des composants de la boucle solaire
	Vigilance sur la sélection et la mise en œuvre des équipements de comptage énergétique

Tableau 21. Points forts et points de vigilance de la solution REF5-SSC2

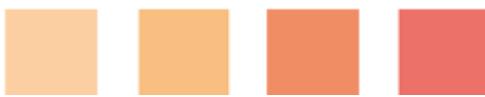


Bibliographie

- [1] ACR, Profluid, Energies et Avenir, et COSTIC, « Intelligence hydraulique - Guide pratique pour les installations hydrauliques », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://acr-regulation.com/index.php/hydraulique/intelligence-hydraulique-guide/>
- [2] SOCOL et ENERPLAN, « Ratios de dimensionnement des installations solaires collectives », déc. 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/Copie_de_BECS/221221_Fiche_ratios_de_dimensionnement_22.pdf
- [3] COSTIC et ADEME, « Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif », ADEME. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/2360-besoins-d-eau-chaude-sanitaire-en-habitat-individuel-et-collectif-les.html>
- [4] COSTIC, ADEME, et CEGIBAT, « Vers une meilleure connaissance des besoins en eau chaude sanitaire en tertiaire », sept. 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/3878-vers-une-meilleure-connaissance-des-besoins-en-eau-chaude-sanitaire-en-tertiaire.html>
- [5] CEGIBAT, « Schémathèque chaufferie gaz ». <https://cegibat.grdf.fr/simulateur/schematheque-chaufferie-gaz>
- [6] COSTIC, « Guide technique pour la mise en œuvre des modules thermiques d'appartement », Guide, 2016. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.costic.com/actualites/guide-technique-pour-la-mise-en-oeuvre-des-modules-thermiques-dappartements>
- [7] SOCOL et ENERPLAN, « SOCOL - Ressources », *La chaleur solaire collective performante et durable*. <https://www.solaire-collectif.fr/catalogue/les-livrets-techniques.htm>
- [8] Programme PACTE, « Production d'eau chaude sanitaire collective centralisée solaire : Conception et dimensionnement », sept. 2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.programmepacte.fr/sites/default/files/pdf/recommandation-pro-rage-production-ecs-collective-centralisee-solaire-01conception-2015-09.pdf>
- [9] Solar Heat Europe, « Database - Solar Keymark », 29 août 2021. <https://solarkeymark.eu/database/> (consulté le 28 juin 2023).
- [10] CSTB, « ATec Chauffage solaire », *CSTB Évaluation*. <http://evaluation.cstb.fr/fr/rechercher/produits-evalues/?evaluations=atec&familles=chauffage-solaire&tri=date> (consulté le 28 juin 2023).
- [11] Eurovent Certita, « Base de données capteurs certifiés QB ». https://www.eurovent-certification.com/fr/advancedsearch/result?program=QB39&product_type=QB39%2FF%2FC&keyword=#access-results
- [12] SOCOL et ENERPLAN, « Bibliothèque de schémas de principe pour l'eau chaude solaire collective performante et durable », févr. 2016. [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/3/Schematheque_SOCOL_ECS_Collective_Fev2016.pdf
- [13] AFNOR, « NF EN ISO 9806 : 2017 - Énergie solaire - Capteurs thermiques solaires - Méthodes d'essai », ISO, Norme, janv. 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-9806/energie-solaire-capteurs-thermiques-solaires-methodes-dessai/fa186052/80321>
- [14] SOCOL et ENERPLAN, « Le vase d'expansion d'une installation solaire thermique collective », juin 2019. [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/ISRCVE/190627_Vase_expansion_2019_VF.pdf
- [15] R. Hausner et C. Fink, « Technical Report - Stagnation behaviour of solar thermal systems », nov. 2002.
- [16] E. Frank, F. Mauthner, et S. Fischer, « Technical Report A.1.2 - Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications ».



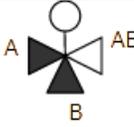
- [17] AFNOR, « ISO 9488 : 2022 - Énergie solaire - Vocabulaire », ISO, Norme, mars 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://m.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/iso-94882022/energie-solaire-vocabulaire/xs137454/322250>
- [18] « Vela Solaris », *Polysun by Vela Solaris*. <https://www.velasolaris.com/software/?lang=en>
- [19] « Valentin Software », *T*SOL*. <https://valentin-software.com/en/products/tsol/>
- [20] T. Letz, « Validation and background information on the FSC procedure », A report of IEA SHC Task26, déc. 2002. Consulté le: 20 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://task26.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/task26-validation_and_background_information.pdf
- [21] Energies et Avenir, « Guide de dimensionnement des radiateurs à eau chaude », Guide technique, 2010. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.energies-avenir.fr/etude/guide-de-dimensionnement-des-radiateurs-un-outil-pour-les-professionnels-de-la-filiere/>
- [22] PROFEEL, « Impact des choix de conception sur la performance énergétique des générateurs en habitat collectif », Guide, août 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://programmeprofeel.fr>
- [23] CEGIBAT, « 8 règles de conception et d'installation pour des performances maximisées », Dossier technique, oct. 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://cegibat.grdf.fr/dossier-techniques/maximiser-performance-condensation-chaudiere>
- [24] SOCOL et ENERPLAN, « Traitement du bouclage dans les installations de chaleur solaire collective », janv. 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/photo/img/2020/Bouclage/200127_bouclage_2020-VF.pdf
- [25] Programme PACTE, « Compteurs et Capteurs - Bonnes pratiques pour choisir et installer les points de mesure », juill. 2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.programmepacte.fr/sites/default/files/pdf/guide-rage-compteurs-capteurs-points-de-mesure-2015-07.pdf>
- [26] SOCOL et ENERPLAN, « Guide SOCOL sur les installations en eau technique ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/ET/221220_Livret_SOCOL_Eau_Technique_VF.pdf

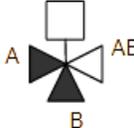
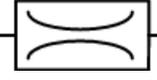


Annexe 1 : Schémathèque



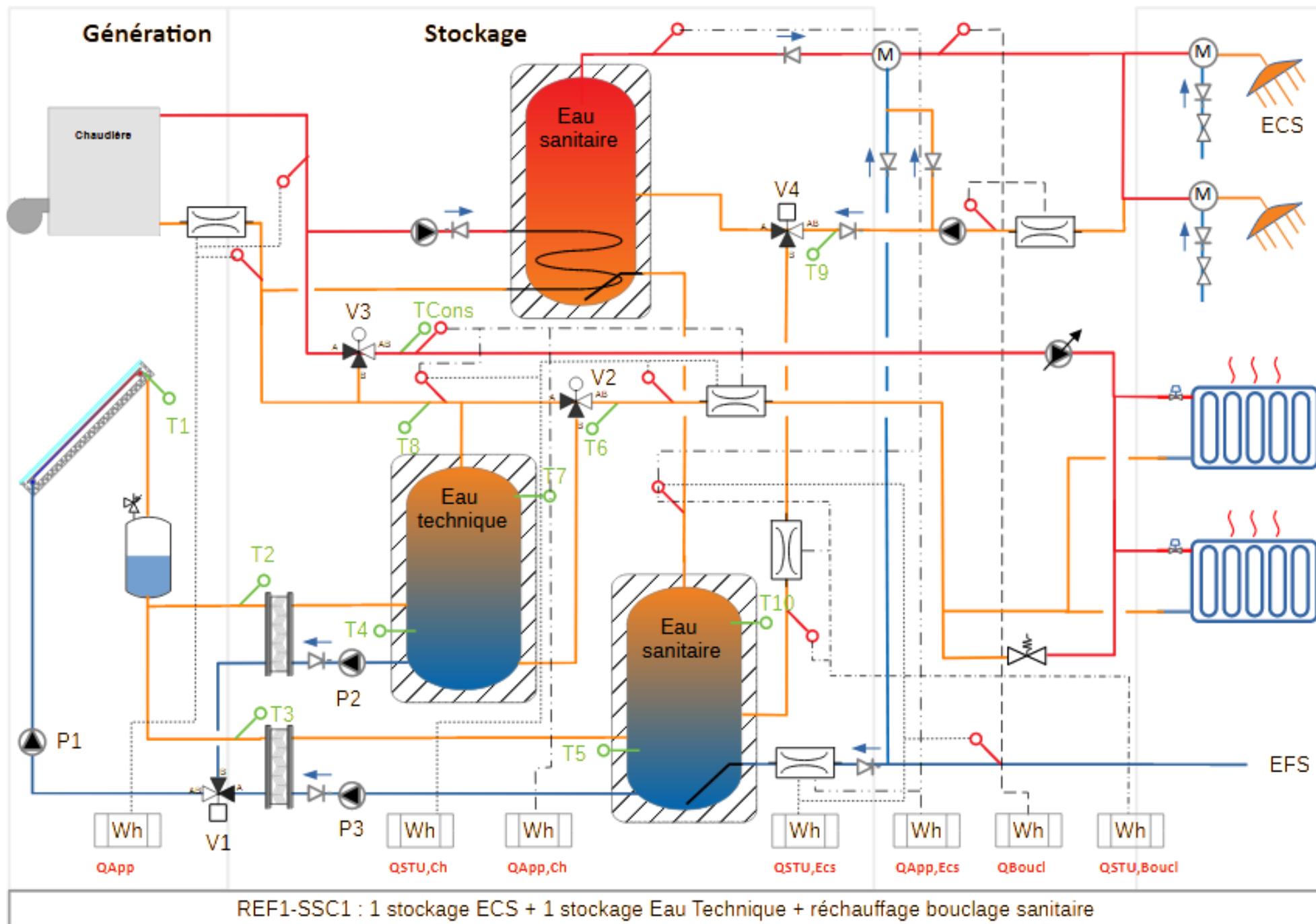
Légendes des symboles utilisés dans les schémas

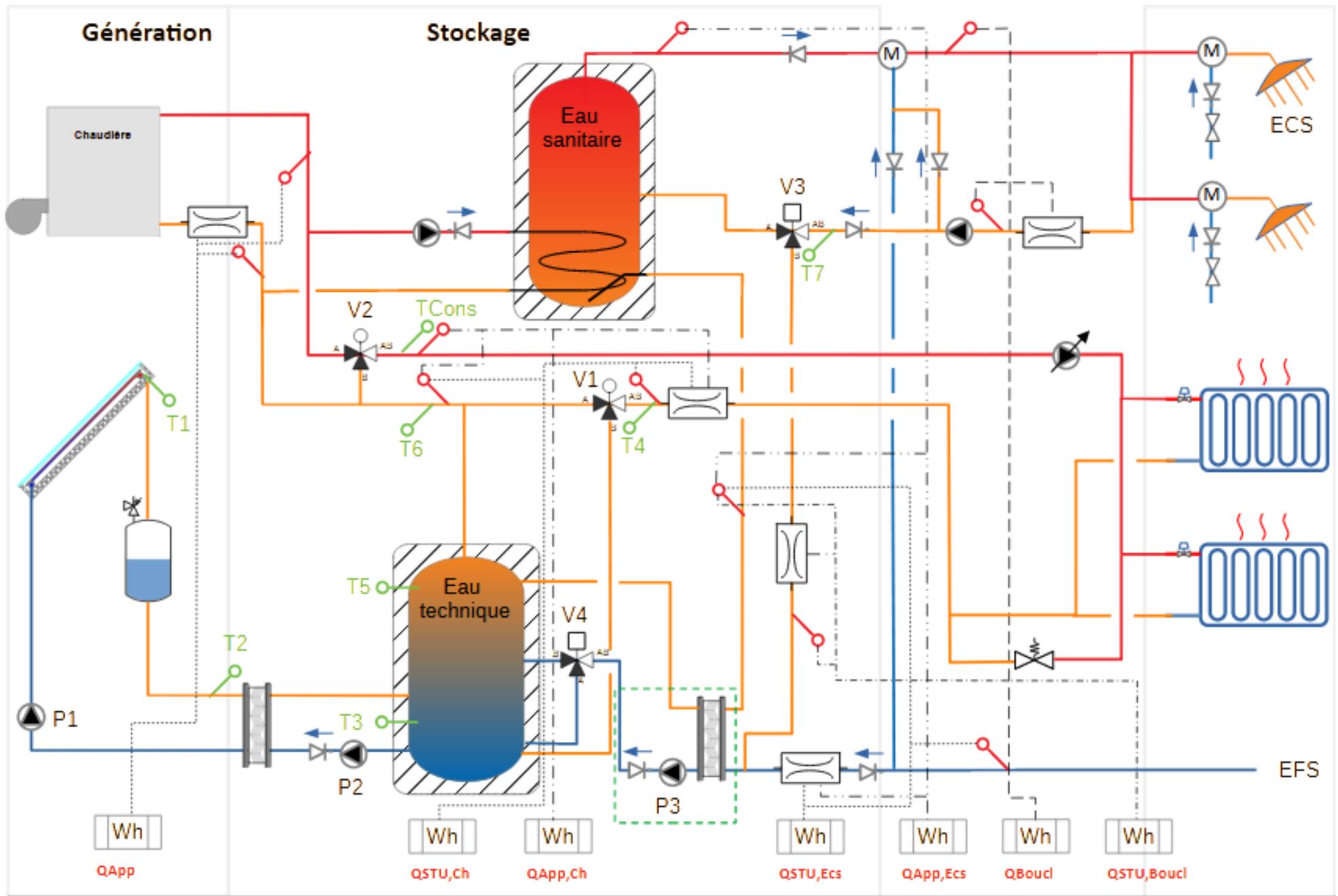
	Circulateur
	Circulateur à vitesse variable et à pression constante
	Clapet anti-retour
	Mitigeur thermostatique
	Vanne de régulation de pression différentielle
	Vanne 3 voies de régulation

	Vanne 3 voies directionnelle
	Mesureur de débit pour le comptage énergétique
	Sonde de température (utilisée pour le comptage énergétique)
	Sonde de température (utilisée pour la régulation du système)
	Intégrateur énergétique

Par souci de clarté, de nombreux composants ne sont pas représentés dans ces schémas de principe.

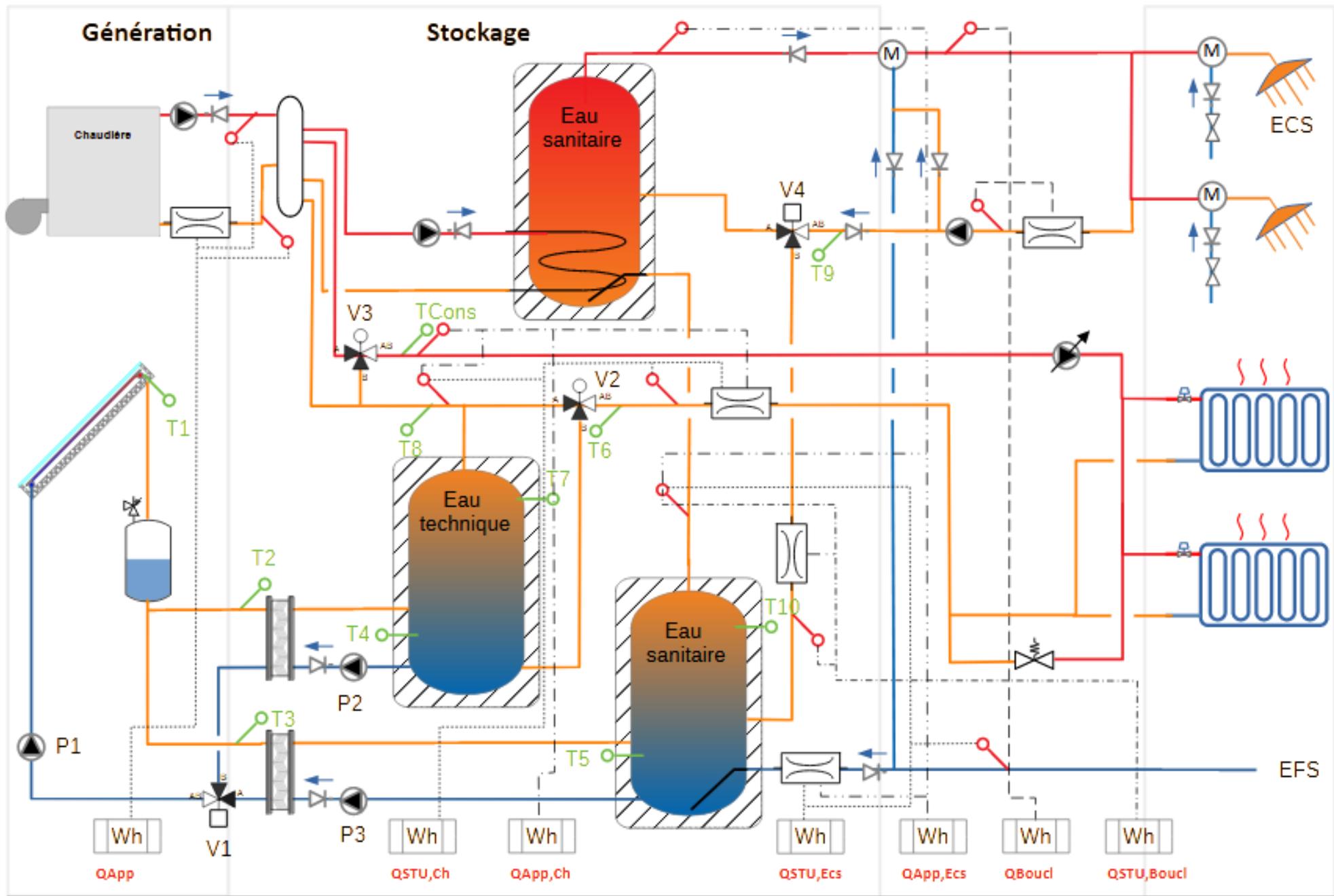






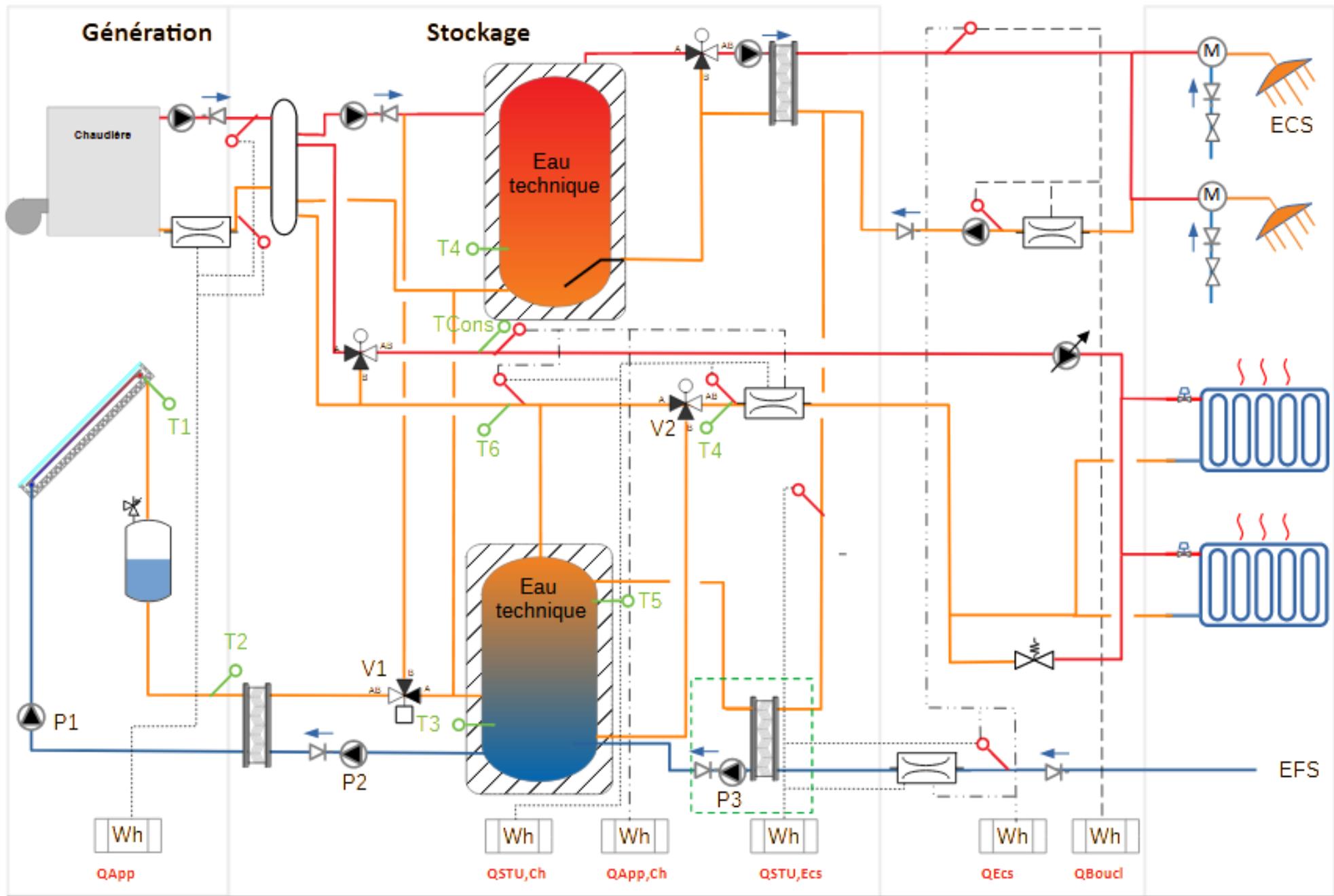
REF1-SSC2 : 1 stockage Eau Technique + préchauffage ECS instantané + réchauffage bouclage sanitaire



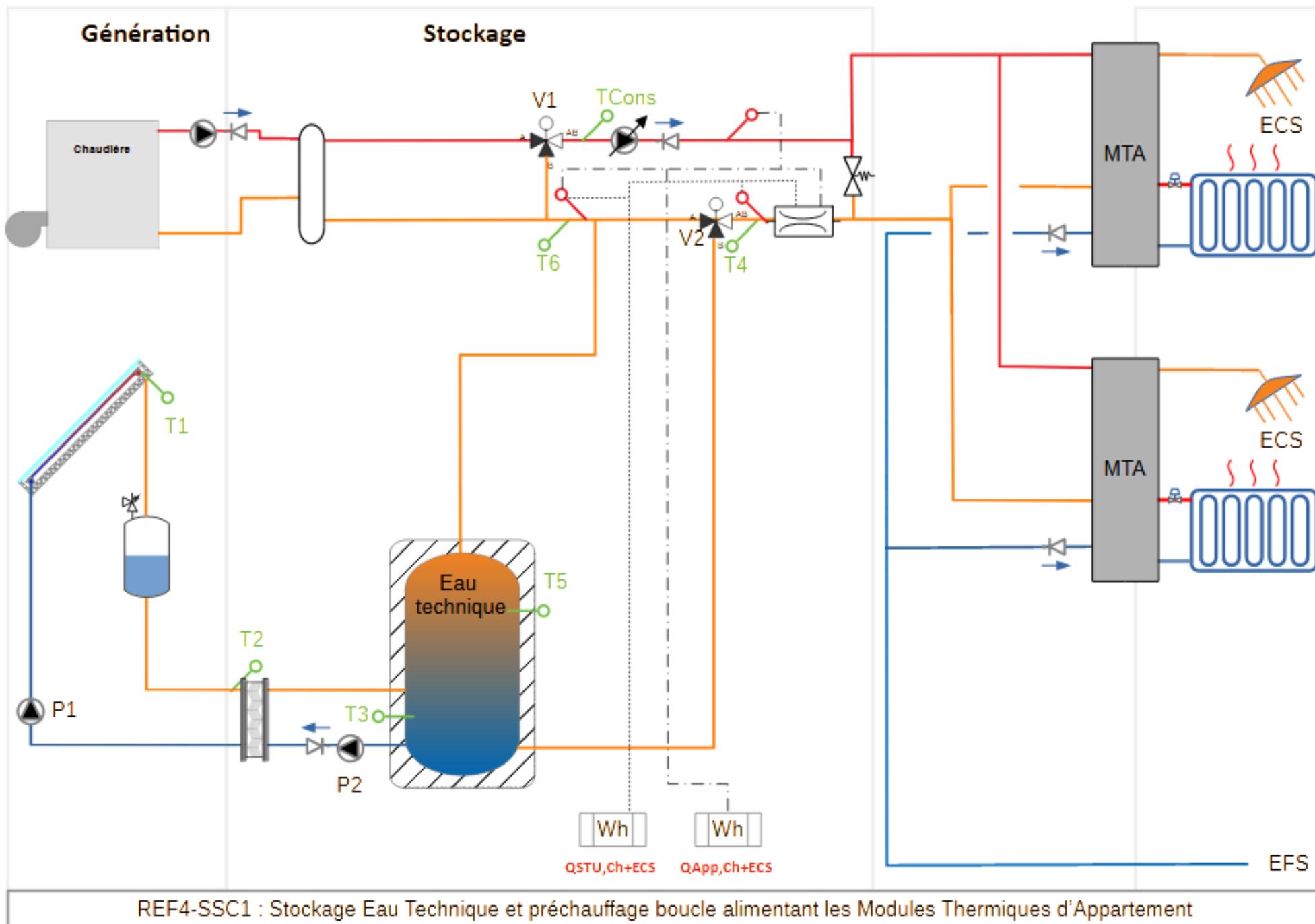


REF2-SSC1 : 1 stockage ECS + 1 stockage Eau Technique + réchauffage bouclage sanitaire

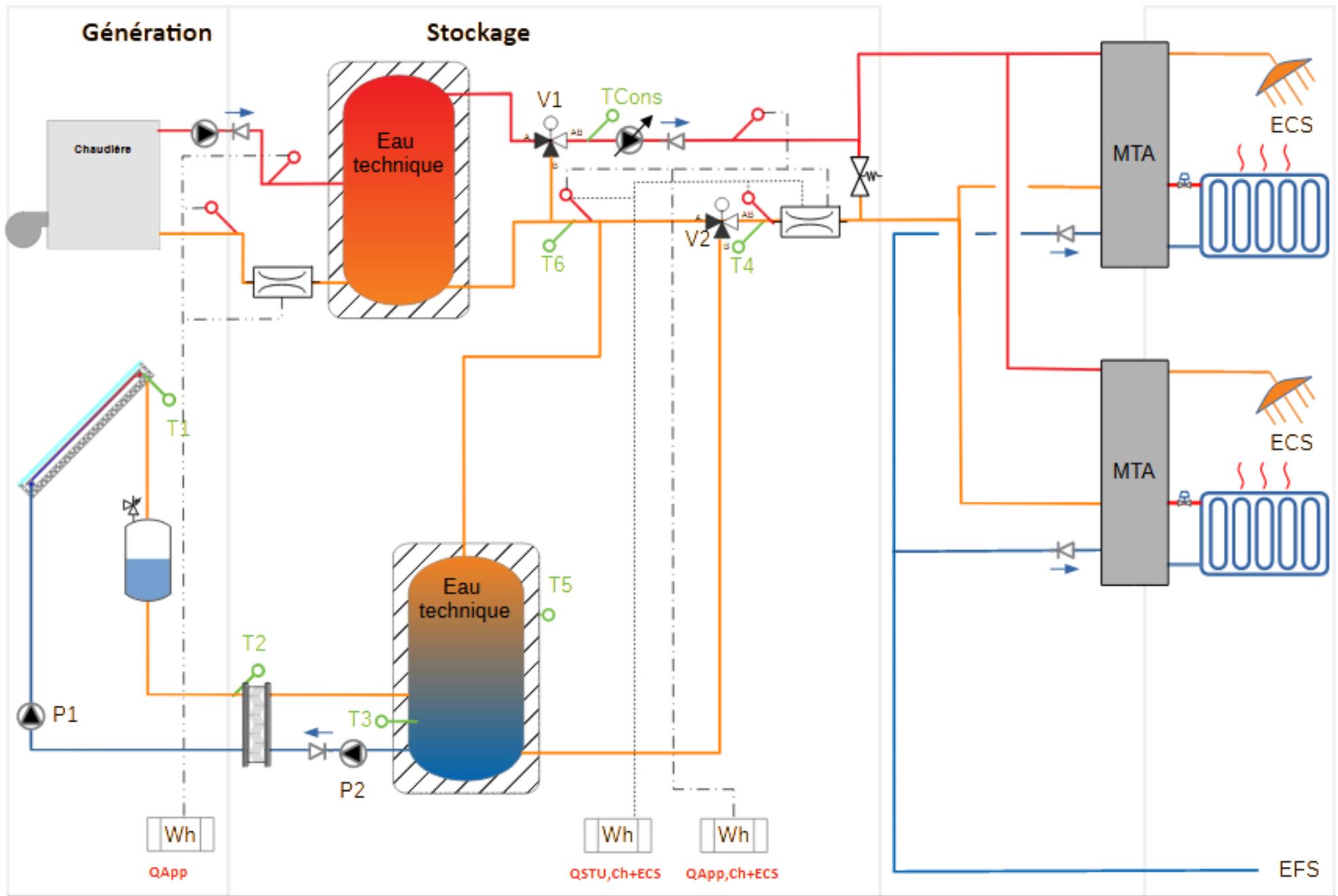




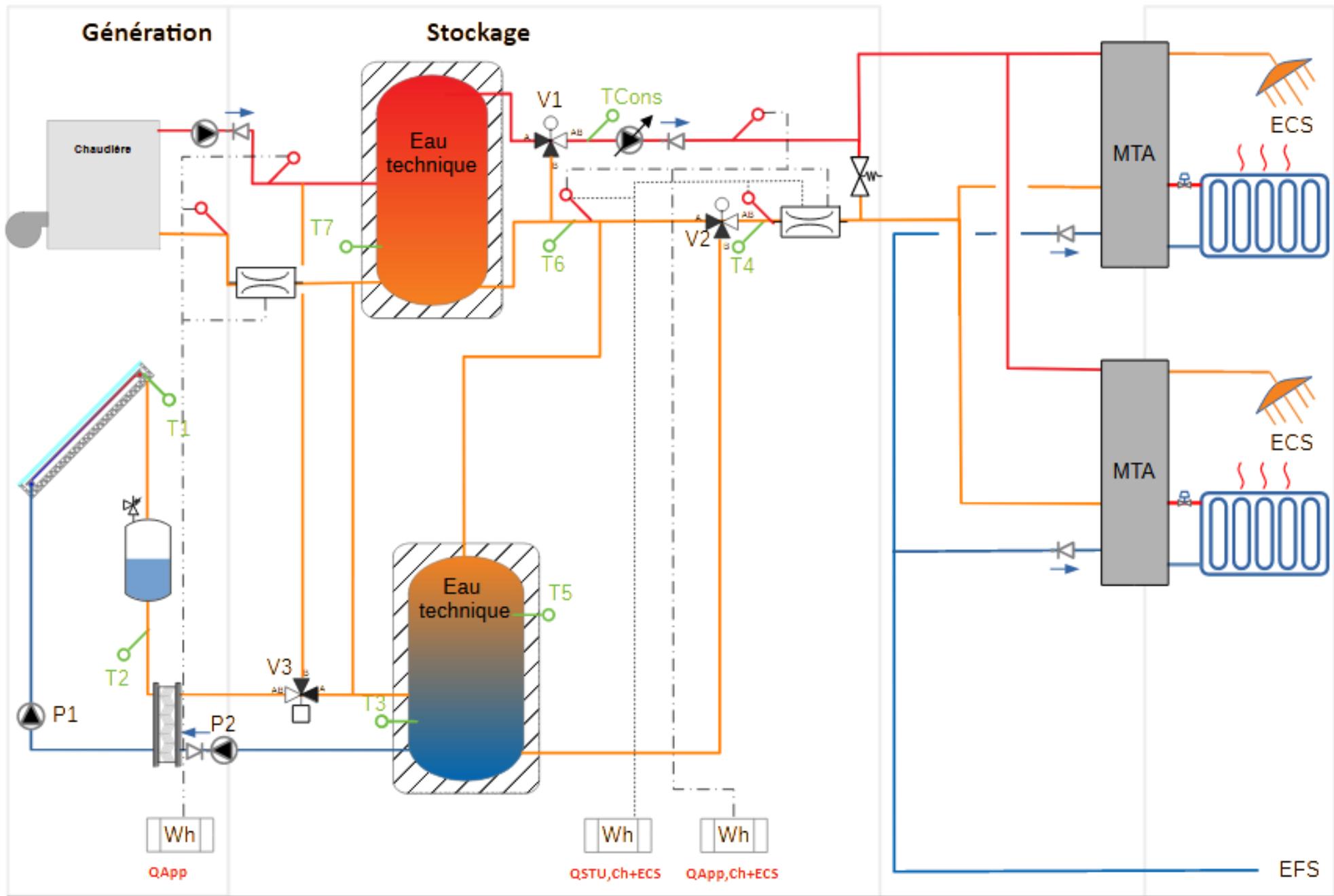
REF3-SSC1 : 1 stockage Eau Technique + préchauffage ECS instantané + réchauffage bouclage sanitaire



REF4-SSC1 : Stockage Eau Technique et préchauffage boucle alimentant les Modules Thermiques d'Appartement



REF5-SSC1 : Stockage Eau Technique et préchauffage boucle alimentant les Modules Thermiques d'Appartement

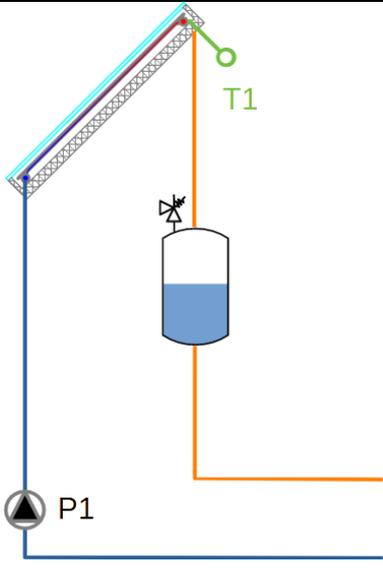
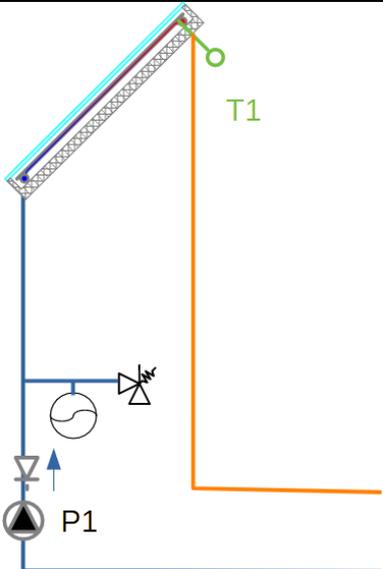


REF5-SSC2 : Double stockage Eau Technique et préchauffage boucle alimentant les Modules Thermiques d'Appartement



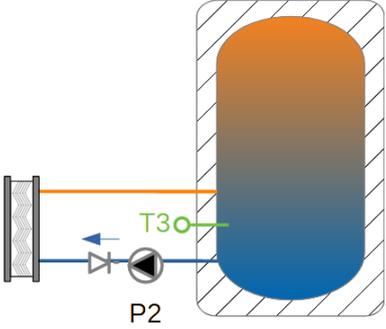
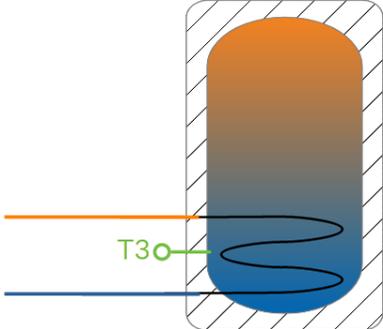
Annexe 2 : Variantes pour sous-ensembles

1. Boucle solaire

Boucle autovidangeable	Boucle sous-pression
	
<p>La boucle solaire autovidangeable permet de gérer les surchauffes potentielles.</p>	<p>Avec une boucle solaire sous-pression, la gestion des surchauffes devra être analysée. Le paragraphe 1.2.3 présente différentes solutions.</p>



2. Stockage

Stockage avec échangeur externe	Stockage avec échangeur intégré
	
	<p>Pour des volumes de stockage réduit (jusque 3000 litres maxi), l'utilisation de stockage avec échangeur intégré est possible. L'utilisation de ce type de stockage permet de simplifier la boucle de captage (suppression du circulateur P2), cependant, une vigilance doit être apportée aux performances thermiques de l'échangeur intégré.</p>

Note sur les échangeurs de chaleur intégré.

Le coefficient d'échange K_{Ech} devra être de l'ordre de 100 W/K/m^2 de capteur (par exemple, $K_{Ech} = 2000 \text{ W/K}$ pour 20 m^2 de capteurs), des coefficients d'échange plus faible conduiront à une baisse de la production solaire significative.

Par défaut, le coefficient d'échange K_{ech} d'un échangeur serpentin est évalué à $350 A_{éch}$ où $A_{éch}$ est la surface de l'échangeur. Ainsi, pour l'exemple précédent, la surface de l'échangeur serpentin devra être de l'ordre de 6 m^2 .

Généralement, les fabricants de ballon de stockage fournissent des indications sur les performances des échangeurs, cependant la valeur K_{ech} est rarement fournie ; il convient alors de l'estimer à partir des données fournies, notamment puissance et régime de température.

Exemple d'évaluation du coefficient K_{Ech} d'un échangeur intégré.

Les données techniques fournies dans la documentation fournisseur sont :

- La puissance P_{Ech} (kW) (par ex : $P_{Ech} = 58 \text{ kW}$)
- Le régime de température du côté primaire (chaud = T_{PC} , froid = T_{PF}) (par exemple $90/70^\circ\text{C}$)
- Le régime de température du côté secondaire (chaud = T_{SC} , froid = T_{SF}) (par exemple $10/60^\circ\text{C}$)
- La surface de l'échangeur A_{Ech} (par exemple, $A_{Ech} = 2 \text{ m}^2$)

Dans l'exemple, une première estimation de K_{Ech} à partir de la surface est :

$$K_{Ech} = 350 A_{Ech} = 700 \text{ W/K}$$



Dans ce cas, cet échangeur sera adapté pour une surface maximale de capteurs solaires de 7 m².

Une seconde estimation à partir du DTLM donne :

$$K_{Ech} = \frac{P_{Ech}}{DTLM}$$

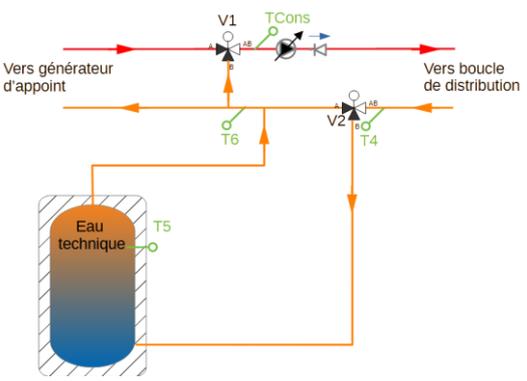
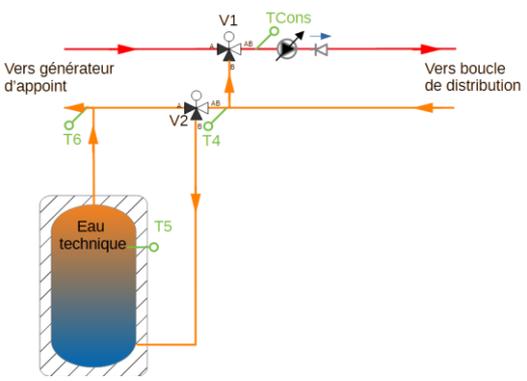
$$\text{Avec } DTLM = \frac{(T_{PC}-T_{SC})-(T_{PF}-T_{SF})}{Ln\left(\frac{(T_{PC}-T_{SC})}{(T_{PF}-T_{SF})}\right)}$$

Dans l'exemple ci-dessus, nous obtenons alors DTLM=43.2 K, et K_{Ech}=1340 W/K.

Avec cette nouvelle estimation de K_{Ech}, l'échangeur sera adapté pour une surface maximale de capteurs solaires de 14 m².

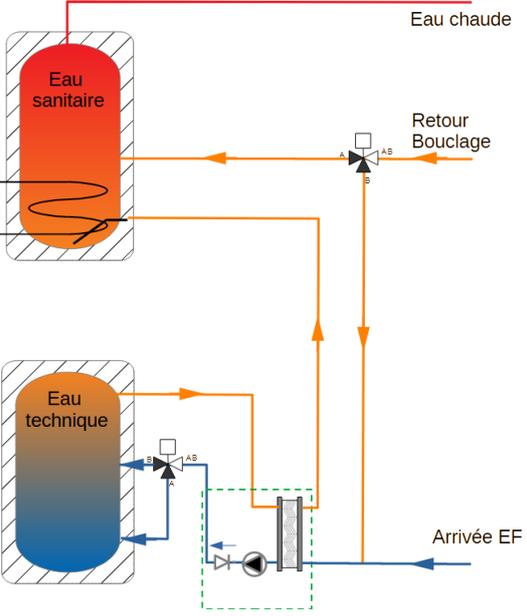
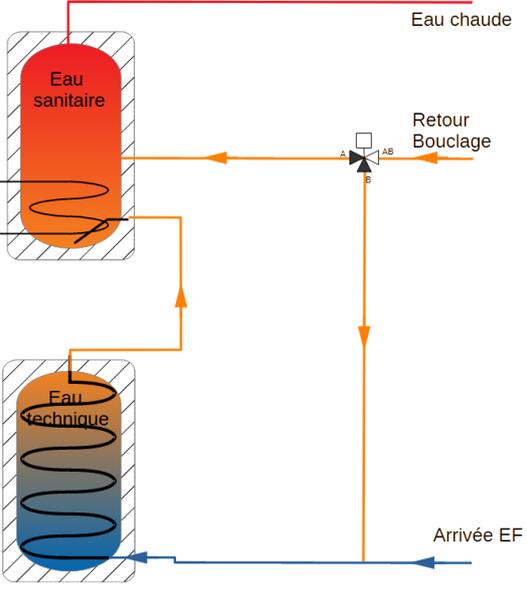


3. Préchauffage solaire

Avant le bypass de la vanne 3 voies chauffage	Après le bypass de la vanne 3 voies chauffage
	
<p>Cette solution suppose que le pilotage de la vanne modulante 3 voies V2 soit asservie à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'écart de température entre T5 et T4, • Au respect de la température T6 au niveau de la température de consigne Tcons <p>L'avantage de cette solution est que la température de consigne du générateur d'appoint n'aura aucun impact sur les performances solaires.</p>	<p>Cette solution suppose que le pilotage de la vanne modulante 3 voies V2 soit uniquement asservie à l'écart de température entre T5 et T4, Si la température T6 dépasse la température de consigne Tcons, la vanne V1 compensera en augmentant le débit bypassé.</p> <p>Cependant, en termes de valorisation solaire, la température de consigne du générateur d'appoint aura un impact significatif : plus haute sera réglée cette température de consigne, plus basse sera la récupération solaire. Pour cette raison, cette variante devra être mise en œuvre avec précaution.</p>



4. Production ECS Instantanée

Une station d'ECS instantanée	Un échangeur ECS instantané immergé dans le ballon de stockage
	
	<p>Dans ce cas, la station ECS est remplacée par un échangeur immergé. L'avantage de cette solution est sa simplicité par la réduction du nombre de composants. Cependant, une vigilance doit être apportée aux performances thermiques de l'échangeur intégré.</p>

Les informations présentées ci-après sont issues de [26].

Dimensionnement de l'échangeur immergé

Le dimensionnement de l'échangeur de décharge immergé doit être réalisé selon les conditions suivantes :

- Température du volume de stockage : 50°C
- Température d'eau froide : 10°C
- Température d'eau préchauffée : 45°C
- Débit de puisage : Débit 10 min $q_{10\text{min}}$
- Perte de charge maximale : 3 mCE sous $q_{10\text{min}}$

Généralement, les fiches techniques des constructeurs fournissent ces données pour une température de stockage de 60 ou 80°C, il y a donc lieu de convertir ces données pour une température de stock de 50°C avec une méthode DTLM.



A défaut de disposer des informations ci-dessus, il est possible de retenir l'approche alternative suivante :

Le dimensionnement de l'échangeur de décharge immergé doit être réalisé selon les conditions suivantes :

- Surface d'échange minimale : $(0.3 \times q_{10\min}) \text{ m}^2$ (avec $q_{10\min}$ en l/min)
- Perte de charge maximale : 3 mCE sous $q_{10\min}$

Evaluation de la puissance des échangeurs

Généralement, les caractéristiques thermiques de l'échangeur de chaleur dans les documentations fabricants sont données au travers :

- De la température du stock T_{stock} (généralement 60°C, 70°C ou 80°C). Le stock est maintenu à température constante grâce à un appoint apportant la puissance suffisante.
- De la température d'eau froide T_{ef} (généralement 10°C)
- De la température d'eau chaude T_{ss} (généralement 45°C)
- D'un débit de puisage ECS constant DE_{ecs}

Pour évaluer les performances de cet échangeur dans les conditions mentionnées ci-dessus, il y a lieu de convertir les performances.

Une hypothèse simplificatrice est de considérer que le coefficient de transfert UA de l'échangeur immergé est constant.

$$P = UA \text{DTLM} = Decs * CP * (T_{ss} - T_{ef})$$

Dans les conditions « Fabricants », on a donc :

$$P_{FAB} = UA \text{DTLM}_{FAB} = Decs_{FAB} * CP * (T_{ss_{FAB}} - T_{ef_{FAB}})$$

Dans les conditions « SOCOL », on a donc :

$$P_{SOCOL} = UA \text{DTLM}_{SOCOL} = Decs_{SOCOL} * CP * (T_{ss_{SOCOL}} - T_{ef_{SOCOL}})$$

Avec l'hypothèse simplificatrice du coefficient UA constant, on a :

$$P_{SOCOL} = \frac{P_{FAB}}{\text{DTLM}_{FAB}} \text{DTLM}_{SOCOL}$$

Soit

$$Decs_{SOCOL} = Decs_{FAB} \frac{(T_{ss_{FAB}} - T_{ef_{FAB}}) \text{DTLM}_{SOCOL}}{(T_{ss_{SOCOL}} - T_{ef_{SOCOL}}) \text{DTLM}_{FAB}}$$

Avec



$$DTLM_{FAB} = \frac{((Tstock_{FAB} - Tss_{FAB}) - (Tstock_{FAB} - Tef_{FAB}))}{Ln\left(\frac{Tstock_{FAB} - Tss_{FAB}}{Tstock_{FAB} - Tef_{FAB}}\right)}$$

Et

$$DTLM_{SOCOL} = \frac{((Tstock_{SOCOL} - Tss_{SOCOL}) - (Tstock_{SOCOL} - Tef_{SOCOL}))}{Ln\left(\frac{Tstock_{SOCOL} - Tss_{SOCOL}}{Tstock_{SOCOL} - Tef_{SOCOL}}\right)}$$

Dans le cas particulier où les températures Tef (10°C) et Tss (45°C) sont identiques, mais que seule la température Tstock est différente, on a les formules simplifiées suivantes :

- Avec $Tstock_{FAB}=60^{\circ}C$ $Decs_{SOCOL} = 0.57 Decs_{FAB}$
- Avec $Tstock_{FAB}=70^{\circ}C$ $Decs_{SOCOL} = 0.42 Decs_{FAB}$
- Avec $Tstock_{FAB}=80^{\circ}C$ $Decs_{SOCOL} = 0.33 Decs_{FAB}$

En réalité, ces coefficients sont encore plus pénalisants, car du fait du débit plus faible, le coefficient UA de l'échangeur est lui-aussi plus faible, mais cela permet, faute de données suffisantes, d'avoir une première approximation.

