



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

RAPPORT

**CHAUFFE-EAU SOLAIRES
COLLECTIFS AVEC STOCKAGE
EN EAU MORTE**

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

SEPTEMBRE 2014

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les Recommandations Professionnelles « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les Calepins de chantier « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les Rapports « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les Recommandations Pédagogiques « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

Introduction	5
1 - La problématique : la prévention du risque lié aux légionelles	7
1.1. • Ce que disent les textes ?.....	7
1.2. • Le stockage en eau morte : une réponse aux textes ?	8
2 - Les règles techniques existantes	10
2.1. • Le raccordement de l'appoint	10
2.2. • Le retour du bouclage de l'eau chaude sanitaire	11
2.3. • Le fonctionnement du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge	12
2.4. • Le débit du circuit au primaire de l'échangeur de décharge	14
2.5. • La puissance de l'échangeur de décharge	14
2.6. • Bilan	16
3 - Les hypothèses de simulations	17
4 - Les grandeurs analysées	21
5 - Les résultats : le schéma hydraulique à prescrire	22
5.1. • Quel retour pour la boucle d'eau chaude sanitaire ?	22
5.2. • Quelle intégration pour l'appoint ?	23
6 - Les résultats : quelle logique de régulation pour la boucle en eau morte ?	24
6.1. • Le pilotage du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge.....	24
6.2. • Le débit du circuit au primaire de l'échangeur de décharge	29
7 - Les résultats : quelle puissance pour l'échangeur de décharge ?	37
8 - Les références	39

Introduction



Le chauffe-eau solaire collectif avec stockage en eau morte est une solution préconisée et installée pour des installations collectives dans lesquelles le stockage d'eau sanitaire à température non maîtrisée est déconseillé. En effet, dans le contexte spécifique des établissements de santé et des établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées, des mesures spécifiques pour la prévention des légionelles existent.

Cette solution comporte un ou plusieurs ballons de stockage solaires collectifs et un appoint centralisé, de préférence de type instantané pour éviter un stockage sur le circuit d'appoint. L'eau stockée dans le ballon et réchauffée par le circuit solaire est physiquement séparée du circuit de distribution d'eau chaude sanitaire.

Cette séparation est réalisée par un échangeur de chaleur à plaques extérieur. Il est mis en œuvre entre le stockage solaire (un ballon tampon rempli d'eau morte ou d'eau technique) et la boucle d'eau chaude sanitaire. Ce type d'installation comprend ainsi trois boucles d'eau chaude :

- la boucle solaire : elle assure le transport d'énergie depuis les capteurs solaires vers le(s) ballon(s) de stockage solaire par le biais d'un échangeur de chaleur (incorporé ou non au stockage) ;
- la boucle « d'eau morte » permettant le stockage de l'énergie récupérée de la boucle solaire ;
- la boucle d'eau chaude sanitaire qui récupère l'énergie au travers d'un échangeur à plaques.

On parle d'installation de type « stockage en eau morte », en « eau technique » ou « double-échangeur » et autrement appelé « kit anti-légionellose ».

D'un point de vue technique, cette solution est proche du chauffe-eau solaire collectif (CESC). La production et le stockage solaires sont



soumis aux mêmes règles de conception, de dimensionnement, de mise en œuvre et de maintenance.

Pourtant de nombreux points sont encore mal appréhendés et notamment le découplage du circuit solaire et du circuit sanitaire. En effet, si les règles sont établies pour la boucle solaire, celles concernant la boucle en eau morte ne font pas consensus au sein de la filière.

Différentes questions se posent :

- quel schéma hydraulique prescrire ? Quelle intégration pour l'appoint ? Quel raccordement pour le retour du bouclage sanitaire ?
- quelle logique de régulation associée ? Quel pilotage pour le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge ? Quel débit au primaire de l'échangeur de décharge ?
- quelle puissance pour l'échangeur de décharge ?

Afin de répondre à ces questions, l'étude menée repose sur des simulations thermiques dynamiques réalisées avec le logiciel TRNSYS.

Différentes configurations sont modélisées afin d'étudier les niveaux de performances énergétiques obtenus pour chacune d'elles.

Ce travail a été réalisé par le COSTIC (Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques).

La problématique : la prévention du risque lié aux légionelles

1



1.1. • Ce que disent les textes ?

La prévention du risque lié aux légionelles fait l'objet de plusieurs circulaires de la Direction Générale de la Santé (DGS).

Dispositions générales

La circulaire DGS/SD7A/DSC/DGUHC/DGE/DPPR/126 du 3 avril 2007 relative à la mise en œuvre de l'arrêté du 30 novembre 2005 modifie l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public.

Il y est précisé les modalités permettant de limiter le risque lié au développement des légionelles dans les systèmes de distribution d'eau chaude. Les exigences suivantes doivent notamment être respectées pendant l'utilisation des systèmes de production et de distribution d'eau chaude sanitaire et dans les 24 heures précédant leur utilisation :

- lorsque le volume entre le point de mise en distribution et le point de puisage le plus éloigné est supérieur à 3 litres, la température de l'eau doit être supérieure ou égale à 50 °C en tout point du système de distribution, à l'exception des tubes finaux d'alimentation des points de puisage ;
- lorsque le volume total des équipements de stockage est supérieur ou égal à 400 litres, l'eau contenue dans les équipements de stockage, à l'exclusion des ballons de préchauffage, doit :
 - être en permanence à une température supérieure ou égale à 55°C à la sortie des équipements,
 - ou être portée à une température suffisante au moins une fois par 24 heures.



Dispositions spécifiques

En complément des dispositions générales, des dispositions spécifiques incombent aux responsables d'établissements qui accueillent des populations particulièrement vulnérables aux risques liés à la présence de légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire.

Commentaire

Parmi l'ensemble des cas de légionellose déclarés, les établissements de santé représentent un des principaux lieux de contamination où de surcroît les conséquences des légionelloses sont les plus graves. En outre, la fréquence des cas de légionellose déclarés est plus élevée chez les personnes âgées.

Ainsi, dans le contexte spécifique des établissements de santé et des établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées, des mesures spécifiques pour la prévention des légionelles sont recommandées par les circulaires :

- DGS/SD7A-DHOS/E4-DGAS/SD2 n°2005-493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées ;
- DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n°2002/243 du 22 avril 2002 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé.

Pour les installations avec réservoir de stockage d'eau préchauffée à partir d'un système de récupération d'énergie, les circulaires recommandent de supprimer tous les réservoirs de stockage préchauffés ou non à une température inférieure à 55°C.



Pour les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées et ceux de santé, la mise en place d'une production d'eau chaude sanitaire solaire implique d'étudier spécifiquement le concept de récupération d'énergie afin de considérer le risque lié aux légionelles.

1.2. • Le stockage en eau morte : une réponse aux textes ?

Pour les installations dans lesquelles le stockage d'eau sanitaire à température non maîtrisée est déconseillé, un stockage d'énergie dans un réseau primaire peut être proposé. On parle d'installation en « eau morte ».

L'eau stockée dans le ballon de stockage et réchauffée par la boucle solaire est physiquement séparée du circuit de distribution d'eau chaude sanitaire. Cette séparation est réalisée par un échangeur à plaques extérieur, placé entre le ballon de stockage solaire (rempli

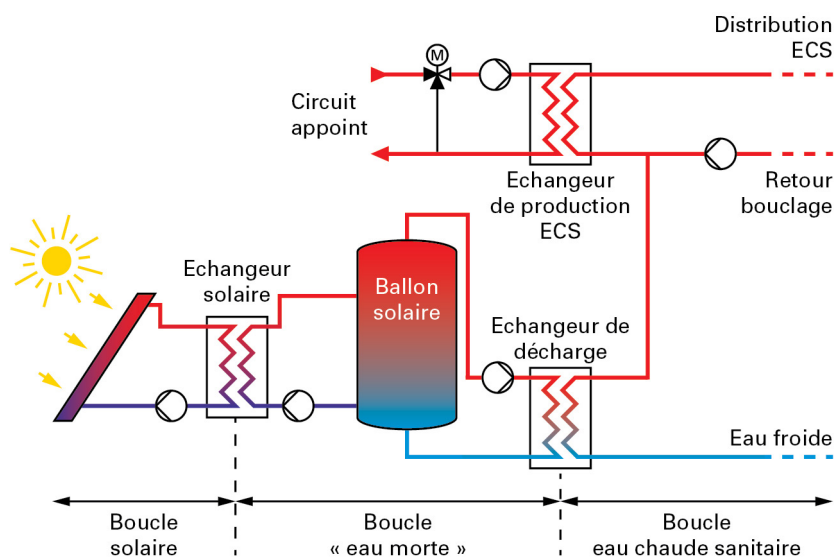
d'eau morte ou d'eau technique) et la boucle d'eau chaude sanitaire. Ce type d'installation comprend ainsi trois boucles d'eau chaude :

- la boucle solaire, généralement glycolée ;
- la boucle « d'eau morte » permettant le stockage de l'énergie récupérée de la boucle solaire ;
- la boucle d'eau chaude sanitaire qui récupère l'énergie récupérée de la boucle d'eau morte au travers d'un échangeur à plaques (échangeur de décharge).

On donne (Figure 1), un schéma de principe d'une installation de production d'ECS solaire collective avec stockage en eau morte.

Commentaire

Afin d'éviter tout risque légionelles, il est préférable de privilégier une production d'eau chaude sanitaire instantanée par échangeur à plaques, c'est-à-dire sans aucun stockage.



▲ Figure 1 : Schéma de principe d'une installation solaire de type stockage en eau morte



Les règles techniques existantes

2



D'un point de vue technique, une solution de chauffe-eau solaire en eau morte est proche de celle d'un chauffe-eau solaire collectif centralisé. La production et le stockage solaires de ces deux solutions sont soumis aux mêmes règles de conception, de dimensionnement, de mise en œuvre et de maintenance.

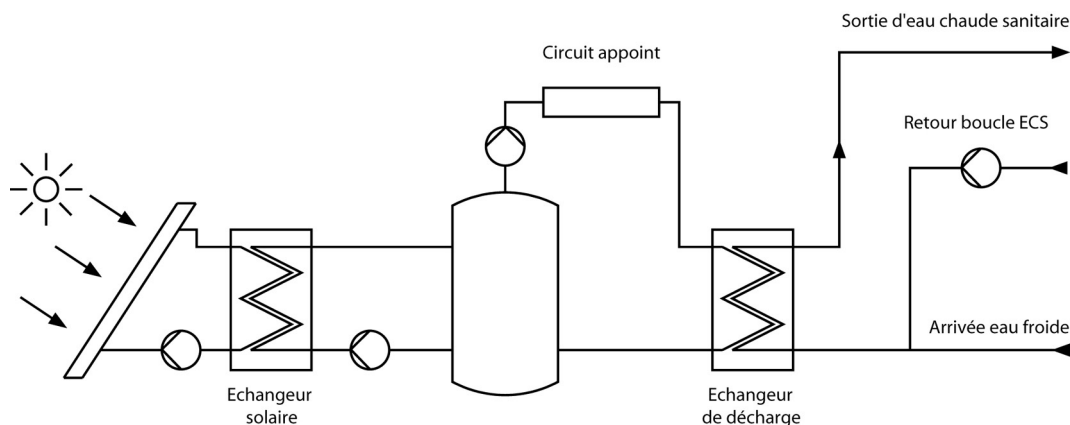
Si les règles sont établies pour la boucle solaire, celles existantes pour la boucle en eau morte ne font pas consensus au sein des acteurs de la filière solaire.

Une étude bibliographique permet de répertorier les pratiques actuelles, notamment sur la conception et le dimensionnement de cette boucle, et de conclure sur un certain nombre de points de vigilance.

2.1. • Le raccordement de l'appoint

Il est généralement préconisé d'intégrer la production d'appoint à la boucle d'eau chaude sanitaire. Certaines littératures proscrivent l'intégration du système d'appoint au circuit « eau morte » du fait de perturbations directes de l'appoint sur le ballon de stockage solaire. Le principe de fonctionnement de ce système est représenté (Figure 2).

Cette configuration requiert un fonctionnement permanent de l'appoint (à une température de sortie d'eau élevée) pour assurer le réchauffage de la boucle d'ECS (y compris en l'absence de soutirage). Les températures en sortie du primaire de l'échangeur de décharge peuvent perturber la stratification du ballon solaire. Les températures élevées en entrée du secondaire de l'échangeur solaire conduisent à une réduction de la récupération d'énergie au niveau des capteurs solaires.



▲ Figure 2 : Schéma de principe d'une installation solaire en eau morte avec production d'appoint intégré au « circuit eau morte »

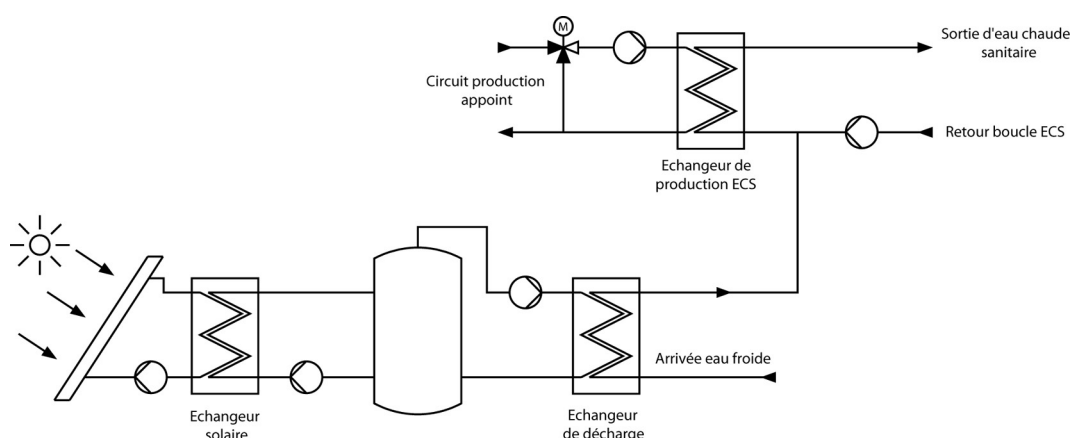
2.2. • Le retour du bouclage de l'eau chaude sanitaire

Retour de boucle d'ECS uniquement sur l'appoint

Le principe de fonctionnement de ce système est représenté (Figure 3). Cette configuration ne permet pas de valoriser l'énergie solaire pour compenser, au moins en partie, les pertes de bouclage. L'énergie solaire n'est transférée vers l'appoint que lors des soutirages.

Commentaire

Cette configuration repose sur un fonctionnement permanent ou non (asservissement au puisage, par exemple) du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge.



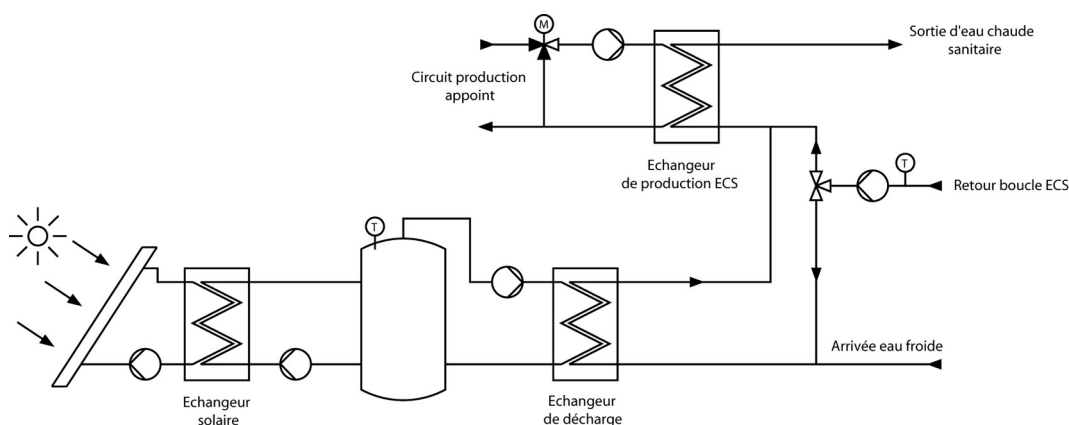
▲ Figure 3 : Schéma de principe d'une installation solaire en eau morte avec retour du bouclage uniquement sur l'appoint

Retour de boucle d'ECS sur l'appoint ou sur le solaire

Ce deuxième montage, plus complexe, permet de valoriser l'énergie solaire pour compenser une partie des pertes de la boucle d'eau chaude sanitaire. Le principe de fonctionnement de ce système est

représenté (Figure 4). Le circulateur sur le primaire de l'échangeur de décharge fonctionne en permanence. Une vanne à trois voies tout ou rien permet de diriger le retour du bouclage soit sur l'appoint soit en entrée du secondaire de l'échangeur de décharge. Le pilotage de cette vanne se fait comme suit :

- le retour du bouclage est dirigé vers l'entrée de l'échangeur de décharge si aucun puisage d'ECS n'est détecté et si la température de retour de boucle est inférieure à la température en haut de ballon solaire (une partie des pertes du bouclage sont compensées par le solaire) ;
- le retour du bouclage est dirigé vers l'échangeur d'appoint lorsqu'un puisage d'ECS est détecté ou si la température de retour de boucle est supérieure à la température en haut de ballon solaire (le retour du bouclage ne vient pas réchauffer l'arrivée d'eau froide).



▲ Figure 4 : Schéma de principe d'une installation solaire en eau morte avec retour du bouclage sur l'appoint ou sur l'échangeur de décharge

2.3. • Le fonctionnement du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge

Le circulateur situé au primaire de l'échangeur de décharge (représenté en (Figure 5)) peut faire l'objet de différentes stratégies de fonctionnement.

Asservissement au puisage

Le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge ne fonctionne pas en permanence. Il est déclenché lorsqu'un débit de puisage (ou un débit de circulation au secondaire de l'échangeur de décharge) est détecté par un compteur d'impulsions.

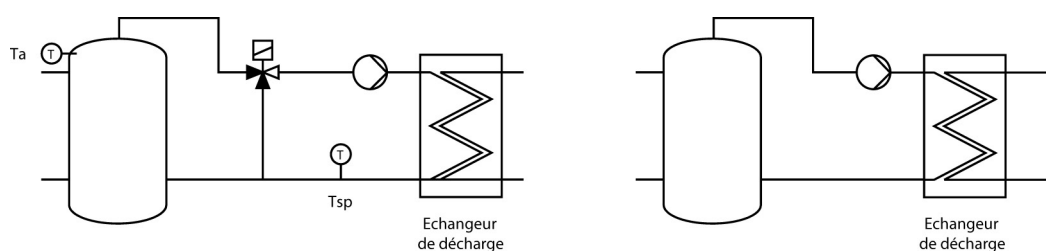
Fonctionnement permanent

Le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge fonctionne en permanence afin de maintenir l'échangeur en température. Ce

maintien permet de disposer d'eau chaude plus rapidement, notamment en début de puisage et d'optimiser la récupération de l'énergie solaire pour des puisages de courtes durées.

Le maintien en température de l'échangeur peut se faire avec ou sans vanne à trois voies. On donne (Figure 5), les schémas de principe associés.

Certaines littératures préconisent la mise en œuvre d'une vanne à trois voies permettant de réaliser un bouclage sur l'échangeur de décharge. Selon ces sources, ce fonctionnement permet de ne pas destratifier le ballon de stockage solaire avec des retours en sortie primaire d'échangeur trop chauds, ce qui pourrait être le cas avec un fonctionnement sans vanne à trois voies.



▲ Figure 5 : Schémas de principe d'une configuration de chauffe-eau solaire en eau morte avec maintien en température de l'échangeur de décharge, avec et sans vanne à trois voies

La vanne à trois voies présente un fonctionnement tout ou rien. Elle est commandée selon la valeur du différentiel de température (DT) entre la température en haut de ballon solaire (T_a) et celle en sortie du primaire de l'échangeur de décharge (T_{sp}) de sorte que :

- si $T_a - T_{sp} < DT$, la voie directe de la vanne à trois voies est fermée et il n'y a pas de circulation dans le ballon solaire ;
- si $T_a - T_{sp} > DT$, la voie directe de la vanne à trois voies s'ouvre et il y a circulation dans le ballon solaire.

Commentaire

La température de l'eau bouclée baisse du fait des pertes thermiques de l'échangeur lors de son maintien en température. Il est donc recommandé de calorifuger correctement l'échangeur de décharge.

Asservissement au circulateur de la boucle primaire solaire

Le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge ne fonctionne pas en permanence. Il est asservi au fonctionnement du circulateur de la boucle solaire qui alimente les capteurs solaires.

Commentaire

Dans le cas d'une installation avec échangeur solaire extérieur, le circulateur est commandé par la mise en route du circulateur du primaire de l'échangeur solaire.



Fonctionnement selon la température du ballon de stockage solaire

Le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge ne fonctionne pas en permanence. Il est asservi à la température de l'eau stockée dans le ballon solaire. Si la température en haut de stockage solaire (là où l'eau chaude est soutirée) est suffisante et supérieure à une consigne, le circulateur démarre.

Commentaire

Quand le circulateur est asservi à la température du ballon de stockage solaire, il démarre, par défaut, pour une température supérieure à 25°C.

2.4. • Le débit du circuit au primaire de l'échangeur de décharge

Fonctionnement du circulateur à débit fixe

Que le fonctionnement du circulateur soit permanent ou non, le débit au primaire de l'échangeur de décharge est fixe. Il est généralement considéré égal au débit de pointe côté sanitaire. Certaines littératures préconisent une valeur arbitraire de débit de 15 à 20% inférieure à ce débit de pointe.

Fonctionnement du circulateur à débit variable

Le débit au primaire de l'échangeur de décharge est variable et adapté au débit de puisage. Il est modulé afin de maintenir un écart de température (pincement) fixe entre l'entrée du primaire et la sortie du secondaire de l'échangeur de décharge.

2.5. • La puissance de l'échangeur de décharge

Dimensionnement à l'identique de l'échangeur à plaques de la boucle solaire

La puissance de l'échangeur de décharge est choisie égale à celle de l'échangeur de la boucle solaire. On rappelle les caractéristiques pour le calcul de cette puissance :

- dimensionnement en contre-courant ;
- température en entrée du primaire de l'échangeur : 40°C ;
- température en entrée du secondaire de l'échangeur : 20°C ;
- pincement de 2K ;



- dimensionnement avec débits calorifiques au primaire et au secondaire de l'échangeur de chaleur identiques (avec le débit primaire fonction de la surface de capteurs déterminée).

Commentaire

La puissance de l'échangeur doit respecter un minimum de 600 W/m² de capteurs solaires.

Dimensionnement à l'identique d'un système de production d'ECS instantanée par échangeur

La puissance d'un système de production d'ECS instantanée doit satisfaire les pointes de consommation maximales de 10 minutes V_{pm} . Elle est exprimée en kW et est égale à :

$$P = (1,16 / 1000) \cdot V_{pm} \cdot (T_{gen} - T_{ef}) / t_{pm}$$

Avec :

- V_{pm} : volume puisé maximal à la température de production d'ECS en litres ;
- T_{gen} : température de production d'ECS en °C ;
- T_{ef} : température minimale de l'eau froide sur le site considéré en °C ;
- t_{pm} : durée de la pointe de consommation extrême en heure, soit 1/6 heure.

Dimensionnement spécifique de l'échangeur de décharge : cas 1

Les caractéristiques pour le calcul de la puissance de l'échangeur de décharge sont les suivantes :

- dimensionnement en contre-courant ;
- température en entrée du primaire de l'échangeur : 50°C ;
- température en entrée du secondaire de l'échangeur : température d'eau froide ;
- pincement de 5 à 7K ;
- dimensionnement avec débits calorifiques au primaire et au secondaire de l'échangeur de décharge identiques (avec le débit équivalent à la pointe de consommation d'ECS maximale).

Dimensionnement spécifique de l'échangeur de décharge : cas 2

La puissance de l'échangeur de décharge est déterminée en regard :

- du débit de pointe d'eau chaude sanitaire ;
- de la température maximale pouvant être atteinte dans le ballon de stockage solaire ($T_{limite\ solaire}$).



La puissance est déterminée ici pour fournir à l'ECS la totalité de l'énergie disponible dans la boucle en eau morte. Elle est exprimée en kW et est égale à :

$$P = (1,16 / 1000) \cdot V_{pm} \cdot (T_{\text{limite solaire}} - T_{\text{ef}}) / t_{pm}$$

2.6. • Bilan

L'analyse des documentations des industriels montrent que les règles de calcul de la boucle en eau morte ne font pas consensus au sein de la filière.

L'objectif de la présente étude est d'affirmer ou d'infirmer les pratiques existantes et de définir les règles techniques pour la conception et le dimensionnement d'une installation de chauffe-eau solaire en eau morte.

Par rapport à une installation solaire classique (de type CESC notamment), une installation en eau morte engendre des performances moindres. Cette baisse de performance est due :

- à une efficacité de l'échangeur à plaques inférieure à 100% ;
- à une température en entrée de ballon de stockage solaire plus importante : sur une installation traditionnelle, le ballon solaire est directement alimenté par le réseau d'eau froide, permettant ainsi d'optimiser les performances solaires ;
- à un nombre de circulateurs plus important comparativement à une installation traditionnelle.

L'objectif est de limiter la baisse de performance en recherchant une efficacité maximale de l'échangeur de décharge et en garantissant une température d'entrée dans le ballon solaire la plus proche de celle de l'eau froide.

Les hypothèses de simulations

3



Le bâtiment et la situation géographique retenus

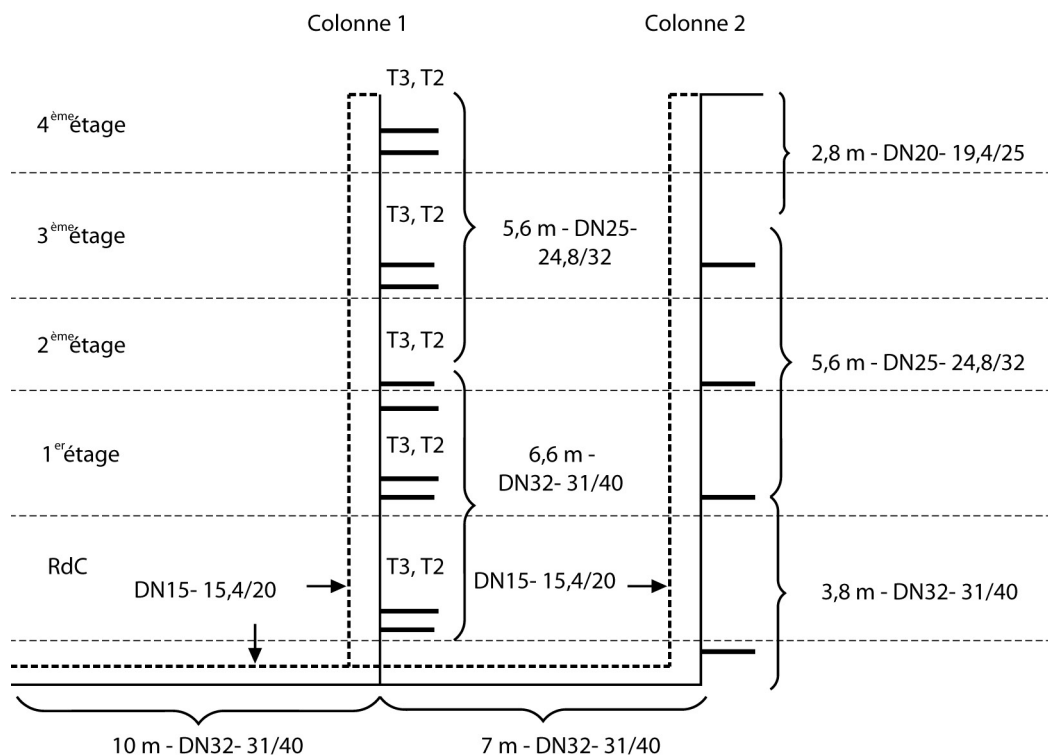
Le bâtiment retenu pour l'étude est une maison de retraite composée de 100 chambres (réparties sur 5 niveaux). Chaque chambre est équipée d'un lavabo et d'une douche. Les simulations sont réalisées pour 3 stations météorologiques (Strasbourg, Marseille et La Rochelle).

La distribution pour l'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est distribuée par deux colonnes montantes. Chaque colonne alimente 50 lits (10 à chaque niveau) ainsi que la moitié du service des repas (situé au rez-de-chaussée).

Les épaisseurs d'isolation et les coefficients de pertes thermiques de cette distribution correspondent à une classe d'isolation 3. Le coefficient U retenu est de 0,27 W/(m.K).

On donne (Figure 6) le schéma de principe de la distribution d'eau chaude sanitaire modélisée.



▲ Figure 6 : Schéma de principe de la distribution d'eau chaude sanitaire modélisée

Les consommations d'ECS et les profils de puisage

Les consommations d'ECS et les profils de puisage de l'installation sont conformes aux spécifications des Recommandations professionnelles « Production d'eau chaude sanitaire collective centralisée solaire » [B9].

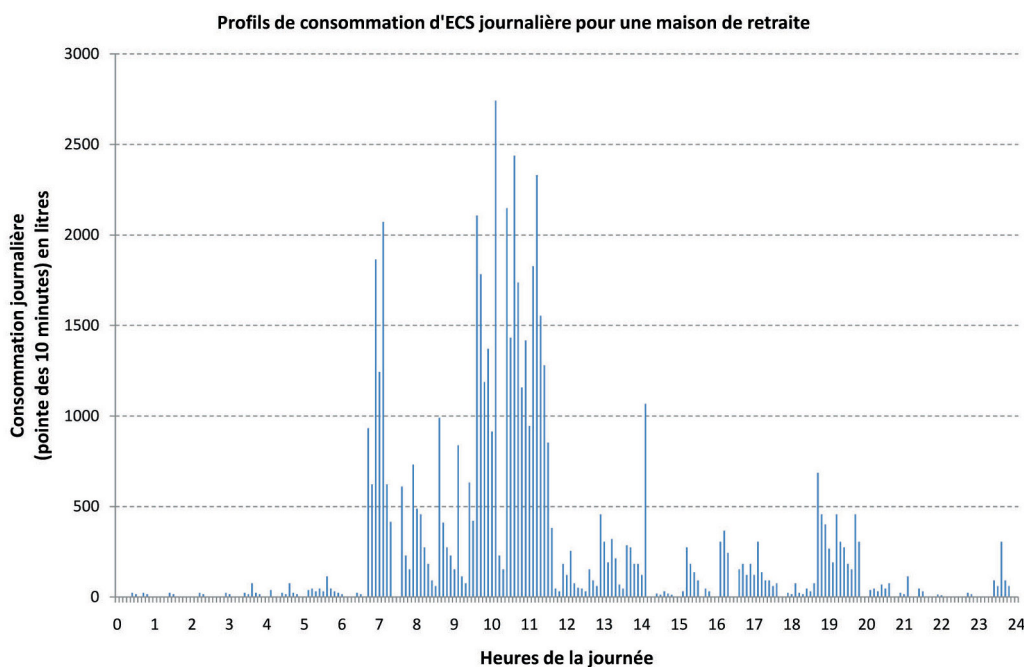
Les consommations d'ECS sont estimées à 60 litres par jour et par chambre à 60°C, soit une consommation de 6000 litres par jour. Ces consommations intègrent celles pour les repas (10 litres par repas) et pour la laverie (6 litres par kg de linge).

Le tableau de la (Figure 7) donne les variations saisonnières appliquées au profil de puisage.

Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Coefficients	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

▲ Figure 7 : Coefficients retenus pour l'estimation des profils mensuels de puisage d'ECS

La (Figure 8) donne la variation journalière appliquée au profil de puisage. Elle est issue d'une campagne de mesures sur site [B11]. Le profil de puisage journalier est donné pour la pointe des 10 minutes, c'est-à-dire pour le volume puisé maximal pour une durée de 10 minutes. On constate que la demande en eau chaude sanitaire n'est pas constante sur la journée : plus de 75% de l'eau chaude sanitaire est consommée de 7 à 12h. La pointe des 10 minutes maximale est de 458 litres (soit 2750 l/h).



▲ **Figure 8** : Profil de consommation d'eau chaude sanitaire journalière pour un bâtiment de type maison de retraite (mesures sur site [B11])

Commentaire

Le profil de puisage journalier peut avoir un impact sur la logique de régulation de l'installation et notamment sur la sélection du débit de la boucle primaire de l'échangeur de décharge. Différents profils de puisage journaliers sont ainsi appliqués dans la suite de l'étude.

Les configurations d'installations

Les configurations modélisées sont conformes à celles présentées précédemment (cf. 2) :

- intégration de l'appoint au circuit eau chaude sanitaire ;
- intégration de l'appoint au circuit eau morte ;
- retour de boucle d'ECS uniquement sur l'appoint ;
- retour de boucle d'ECS sur l'appoint ou sur le solaire.

Les logiques de régulation

Les configurations modélisées sont conformes à celles présentées précédemment (cf. 2) :

- fonctionnement permanent du circulateur de décharge, avec ou sans vanne à trois voies ;
- asservissement du circulateur de décharge au puisage, avec ou sans vanne à trois voies ;
- asservissement du circulateur de décharge au circulateur de la boucle primaire solaire ;
- fonctionnement du circulateur de décharge selon la température du ballon de stockage solaire ;
- fonctionnement du circulateur de décharge à débit fixe ;
- fonctionnement du circulateur de décharge à débit variable.



En complément, plusieurs études paramétriques sont réalisées :

- le débit au primaire de l'échangeur de décharge est variable et modulé afin de maintenir un pincement fixe de 2, 5, 8, 10, 15 et 20K ;
- le débit au primaire de l'échangeur de décharge est fixe. Le rapport entre ce débit et le débit maximal de puisage varie de -50 à +50%.

Le critère pour la modélisation de l'échangeur de décharge

L'échangeur est modélisé à partir d'un coefficient d'échange UA (en W/K) déterminé à chaque pas de temps et caractérisant un comportement proche de celui d'un échangeur à plaques réel.

Le dimensionnement de l'installation solaire

Le dimensionnement de l'installation (surface de capteurs et volume de stockage solaire) est réalisé conformément aux spécifications des Recommandations professionnelles « Production d'eau chaude sanitaire collective centralisée solaire » [B9]. Le paramètre dimensionnant est le taux de couverture solaire mensuel qui ne doit pas dépasser 85%.

La surface de capteurs est de 132, 100 et 80 m² respectivement pour Strasbourg, La Rochelle et Marseille. Le volume de stockage solaire est de 6000 litres (2 ballons en série de 3000 litres).



4

Les grandeurs analysées



Energie solaire utile E_{utile} (en kWh)

C'est l'énergie apportée par le chauffe-eau solaire et transférée à l'appoint via le soutirage et le bouclage (si le retour de boucle d'ECS est réalisé, en partie, sur le solaire).

Commentaire

Dans le cas d'une installation en eau morte, l'énergie solaire utile est déterminée aux bornes du secondaire de l'échangeur de décharge.

Dans le cas d'une installation de chauffe-eau solaire collectif centralisé traditionnelle (avec stockage en eau chaude sanitaire), l'énergie solaire utile est calculée en sortie de stockage solaire.

Productivité solaire P_{solaire} (en kWh/m² de capteurs solaires)

La productivité solaire est utilisée pour comparer les performances de différentes installations : on ramène simplement la production solaire utile à la surface de capteurs installés. Cet indicateur est représentatif du bon dimensionnement et de la bonne performance de l'installation solaire, mais il peut être pénalisé si la consommation d'ECS est trop faible par rapport aux capacités de l'installation.

Taux de couverture solaire T_{solaire} (en %)

Le taux de couverture solaire représente la part des besoins en ECS assurée par le chauffe-eau solaire. D'une manière générale, il est égal au rapport de l'énergie solaire utile sur le besoin en eau chaude sanitaire.



Les résultats : le schéma hydraulique à prescrire

5



5.1. • Quel retour pour la boucle d'eau chaude sanitaire ?

On rappelle que le retour de la boucle d'eau chaude sanitaire peut se faire :

- uniquement sur l'appoint (Figure 3) ;
- sur l'appoint et le solaire en fonction des conditions de fonctionnement et en utilisant une vanne à trois voies tout ou rien (Figure 4).

On donne (Figure 9) les performances obtenues pour les différentes configurations de retour de boucle (station de La Rochelle).

Commentaire

Le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge est asservi au puisage et le débit est considéré égal au débit maximum d'ECS.

Le retour du bouclage est dirigé vers l'entrée de l'échangeur de décharge si aucun puisage d'ECS n'est détecté et si la température de retour de boucle est inférieure de 10K à la température en haut de ballon solaire.

Modalités de retour de boucle	E_{utile} (kWh)	P_{solaire} (kWh/m ²)	T_{solaire} (%)
Uniquement sur l'appoint	57308	573	47
Sur l'appoint et le solaire	57682	577	48

▲ Figure 9 : Performances obtenues pour différentes configurations de retour de boucle d'eau chaude sanitaire

On constate que, quelle que soit la configuration, les performances sont similaires. L'intérêt énergétique d'une solution avec retour de boucle sur l'appoint et le solaire ne se justifie pas pour une application

de type maison de retraite (ou clinique) présentant des consommations continues sur la journée. En outre, la mise en œuvre d'une vanne à trois voies de commutation complexifie l'installation et risque d'être à l'origine de dysfonctionnements (réchauffage du ballon de stockage solaire notamment).

A retenir

Il est fortement recommandé d'assurer le retour de la boucle d'eau chaude sanitaire uniquement par l'appoint.

5.2. • Quelle intégration pour l'appoint ?

Certaines littératures proscrivent l'intégration du système d'appoint au circuit « eau morte » du fait de perturbations directes de l'appoint sur le ballon de stockage solaire.

Les résultats des simulations confirment la contre-performance d'une telle solution. On donne (Figure 10) l'énergie solaire récupérée aux bornes du secondaire de l'échangeur de la boucle solaire pour la station de Strasbourg. Les températures en sortie d'échangeur de décharge perturbent fortement la stratification du ballon solaire et donc la performance de l'installation solaire. On rappelle en effet que cette configuration requiert un fonctionnement permanent de l'appoint, à une température de sortie d'eau élevée, pour notamment assurer le réchauffage continu de la boucle d'ECS.

Types d'intégration de l'appoint	Energie solaire aux bornes du secondaire de l'échangeur solaire (kWh/an)
A la boucle en eau chaude sanitaire	56022
A la boucle en eau morte	43062

▲ Figure 10 : Performances obtenues pour différentes intégration de l'appoint

Commentaire

Intégrer l'appoint à la boucle en eau morte implique de ne plus caractériser les performances de l'installation avec l'indicateur énergie solaire utile mais avec l'énergie solaire aux bornes de secondaire de l'échangeur solaire.

A retenir

Il est recommandé d'intégrer la production d'appoint à la boucle d'eau chaude sanitaire.



Les résultats : quelle logique de régulation pour la boucle en eau morte ?

6



6.1. • Le pilotage du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge

On rappelle que le circulateur de la boucle primaire de l'échangeur de décharge peut fonctionner en permanence ou être asservi au puisage, à la température du ballon de stockage solaire ou au circulateur de la boucle primaire (cf. 2.3). Les configurations avec une vanne à trois voies permettent un bouclage sur l'échangeur de décharge en l'absence de puisage.

On donne (Figure 11) les performances obtenues pour les différentes configurations de fonctionnement du circulateur modélisées (station de La Rochelle).

Commentaire

Le débit de la boucle primaire de l'échangeur de décharge est considéré égal au débit maximum d'ECS.

Fonctionnement du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge		E _{utile} (kWh)	P _{solaire} (kWh/m ²)	T _{solaire} (%)	
Asservissement du circulateur	Au puisage	57308	573	47	
	Au circulateur de la boucle primaire solaire	Sans V3V (*)	20718	207	17
		Avec V3V (*)	20728	207	17
	A la température du ballon de stockage solaire (T _a >25°C)	Sans V3V (*)	56022	560	46
Avec V3V (*)		56168	562	46	
Fonctionnement permanent	Sans V3V (*)	56890	569	47	
	Avec V3V (*)	56938	569	47	

(*) Vanne à trois voies

▲ Figure 11 : Performances obtenues pour différentes configurations de fonctionnement du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge



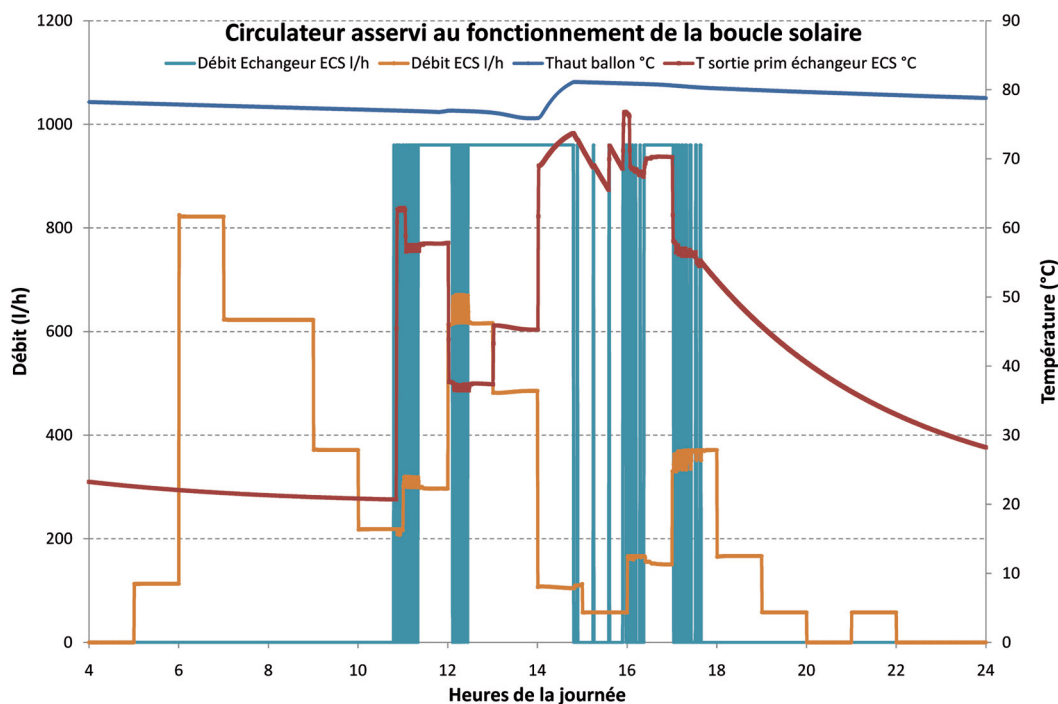
Asservissement au circulateur de la boucle primaire ? Une solution à exclure ?

On constate que le cas d'un asservissement au circulateur de la boucle primaire solaire (avec et sans vanne à trois voies) est la configuration présentant les moins bonnes performances : la production solaire annuelle est divisée par 3 comparativement aux autres solutions.

On donne (Figure 12) les évolutions des débits de puisage et de la boucle eau morte et des températures en haut de ballon solaire et à la sortie du primaire de l'échangeur de décharge.

On constate que pendant les périodes de non fonctionnement de la boucle solaire aucun transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS n'est possible.

De 5h à 11h et à partir de 17h, le fonctionnement du circulateur au primaire de l'échangeur de décharge est interdit, le circulateur de la boucle primaire n'étant pas dans sa plage de fonctionnement (ensoleillement insuffisant, température limite de fonctionnement du ballon de stockage atteinte). Plus de 60% des consommations d'ECS sont rencontrés pendant ces périodes : aucune décharge et valorisation de l'énergie solaire stockée dans le ballon solaire n'y est possible.



▲ Figure 12 : Evolution de la température en sortie primaire de l'échangeur de décharge pour une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent sans vanne à trois voies

Commentaire

On rappelle que le volume de stockage est dimensionné en regard de la consommation journalière d'ECS. En conséquence, l'installation solaire est sous-utilisée ce qui implique une production solaire limitée et des montées en température des capteurs solaires importantes.



A retenir

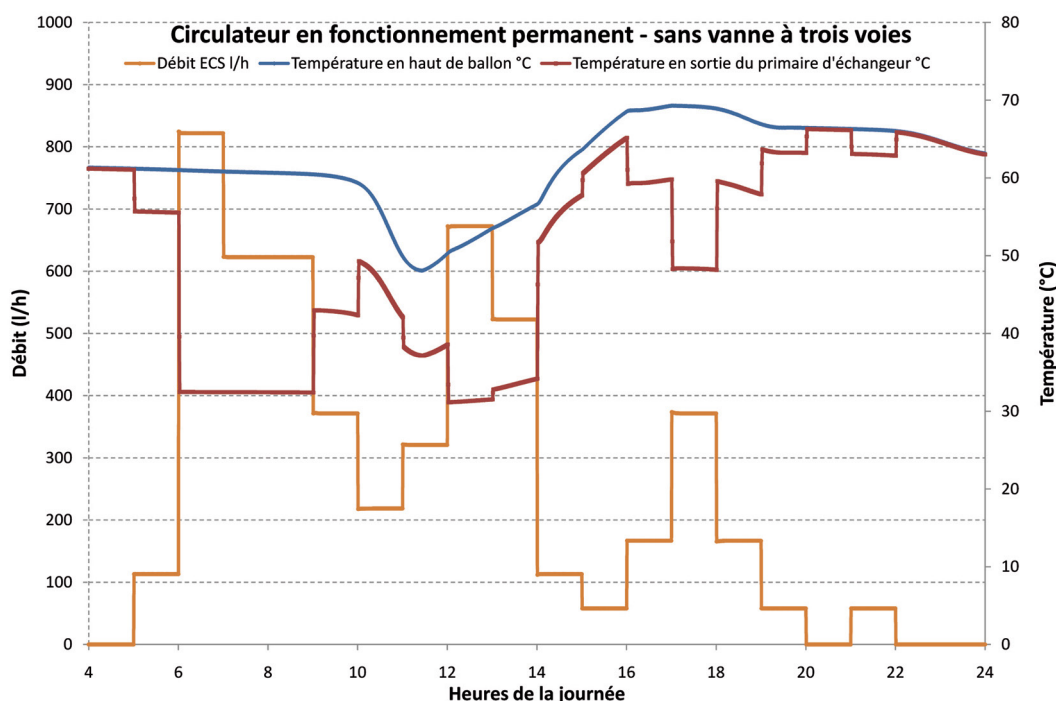
Il n'est pas recommandé d'asservir le circulateur de la boucle eau morte à celui de la boucle primaire solaire.

Un maintien en température, avec ou sans vanne à trois voies ?

Un maintien en température de l'échangeur de décharge peut impliquer, en période de non puisage, des températures en sortie de primaire de l'échangeur de décharge élevées et donc un risque de destratifier le ballon de stockage solaire.

On donne (Figure 13), pour une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent sans vanne à trois voies, les évolutions du débit de puisage et celles des températures en haut de ballon solaire et à la sortie du primaire de l'échangeur de décharge.

On constate qu'en période de non puisage, la température en sortie du primaire de l'échangeur de décharge est parfaitement corrélée à celle en haut de ballon solaire impliquant une destratification de ce dernier.



▲ Figure 13 : Evolution de la température en sortie primaire de l'échangeur de décharge pour une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent sans vanne à trois voies

La mise en place d'une vanne à trois voies permet d'assurer un bouclage sur l'échangeur pendant les périodes de non puisage. Ce bouclage doit permettre d'assurer le maintien en température de l'échangeur tout en évitant au maximum une destratification du ballon de stockage solaire.

On donne (Figure 14), pour une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent avec vanne à trois voies, les évolutions de débit et de températures. La vanne à trois voies est commandée en



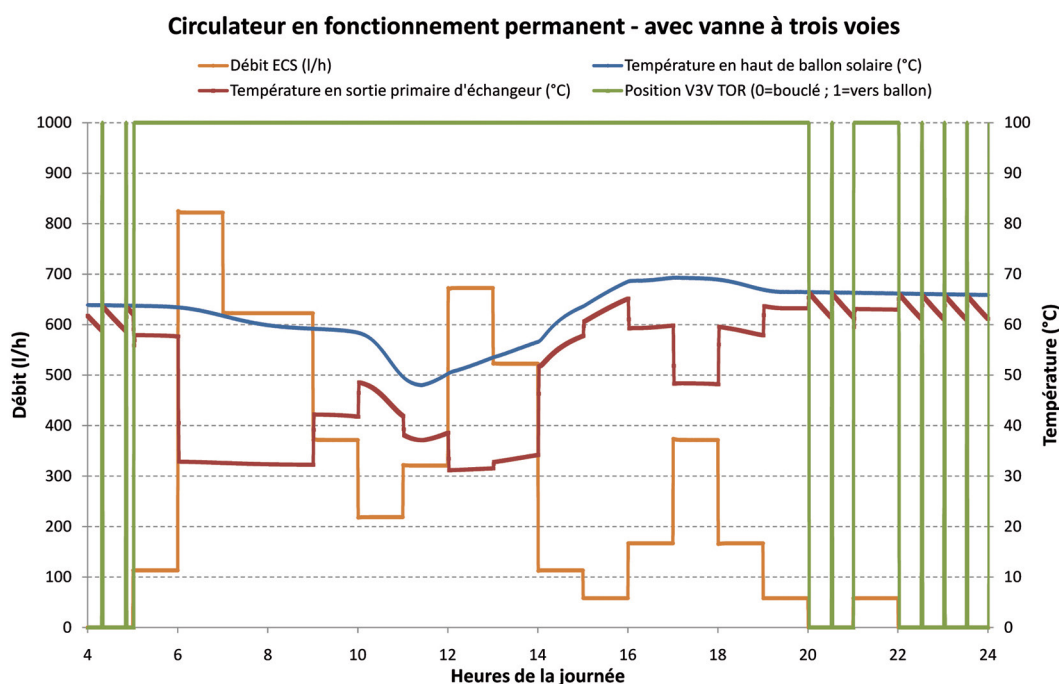
tout ou rien selon un différentiel de température de 5K (entre le haut du ballon solaire et la sortie du primaire de l'échangeur). Son fonctionnement est le suivant :

- lors d'un puisage d'ECS (période de 5h à 20h), le différentiel de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur est important (supérieur à 5K) : la voie directe de la vanne à trois voies s'ouvre complètement. L'échangeur est directement alimenté par l'eau préchauffée dans le ballon solaire ;
- lors de non puisage d'ECS (la nuit), l'eau boucle sur l'échangeur : la voie directe de la vanne à trois voies est fermée. Si le différentiel de température entre le haut du ballon et la sortie au secondaire de l'échangeur de décharge est atteint, la voie directe de la vanne à trois voies s'ouvre permettant ainsi de réchauffer la boucle et de maintenir en température l'échangeur (à la température du ballon solaire).

Commentaire

La température de l'eau bouclée baisse du fait des pertes thermiques de l'échangeur lors de son maintien en température. Il est donc recommandé de calorifuger correctement l'échangeur de décharge.

On constate qu'en période de non puisage, la température en sortie du primaire de l'échangeur de décharge n'est plus corrélée à la température en haut de ballon solaire. Le bouclage sur la vanne à trois voies permet de maintenir en température l'échangeur tout en abaissant (dans la limite du différentiel de 5K) la température en sortie du primaire de l'échangeur de décharge.



▲ Figure 14 : Evolution de la température en sortie primaire de l'échangeur de décharge pour une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent avec vanne à trois voies



Commentaire

Les performances solaires peuvent être améliorées en augmentant le différentiel de température pour l'ouverture de la vanne à trois voies. Attention cependant à maintenir en température l'échangeur pour disposer d'eau chaude plus rapidement.

A retenir

Dans le cas d'un maintien en température de l'échangeur de décharge, il est recommandé :

- d'utiliser une vanne à trois voies tout ou rien permettant un bouclage sur l'échangeur en cas de non puisage ;
- de calorifuger correctement l'échangeur de décharge pour limiter au maximum ses pertes thermiques.

Asservissement au puisage ? La solution la plus performante ?

Le tableau de la (Figure 11) montre que du point de vue de l'énergie solaire utile, asservir le fonctionnement du circulateur au puisage est la configuration la plus performante. De plus, comparativement à une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent, une solution avec circulateur asservi au puisage implique un temps de fonctionnement et donc une consommation de l'auxiliaire plus faible (30% de moins, soit plus de 700 kWh d'économie sur l'année).

Commentaire

Toutefois, une configuration avec un fonctionnement permanent du circulateur présente, suivant l'indicateur énergie solaire utile, des performances très proches (écart de moins de 1%).

Une configuration avec circulateur asservi au puisage ne permet pas, pendant les périodes de non puisage, le maintien en température de l'échangeur de décharge. Le temps de réponse en début de puisage peut être important et impacter le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS (cas de puisages de courtes durées notamment). Une configuration avec circulateur en fonctionnement permanent permet d'améliorer ce temps de réponse : il peut être réduit de moitié comparativement à une solution avec échangeur non maintenu en température.

Commentaire

Pour un échangeur non maintenu en température (cas d'un asservissement du circulateur au puisage notamment), le temps de réponse est compris entre 6 à 10 secondes suivant l'échangeur. Pour un échangeur maintenu en température, le temps de réponse est réduit de moitié (de 3 à 5 secondes).

Les simulations réalisées ne permettent pas de quantifier, suivant la configuration caractérisée, le gain d'un maintien en température de l'échangeur : ce dernier est instantanément en température.

A retenir

Il est recommandé d'asservir le circulateur du primaire de l'échangeur de décharge au puisage. Il est fortement recommandé d'assurer un maintien en température de l'échangeur pendant les périodes de non puisage en utilisant une vanne à trois voies non motorisée permettant un bouclage sur l'échangeur, correctement isolé.

6.2. • Le débit du circuit au primaire de l'échangeur de décharge

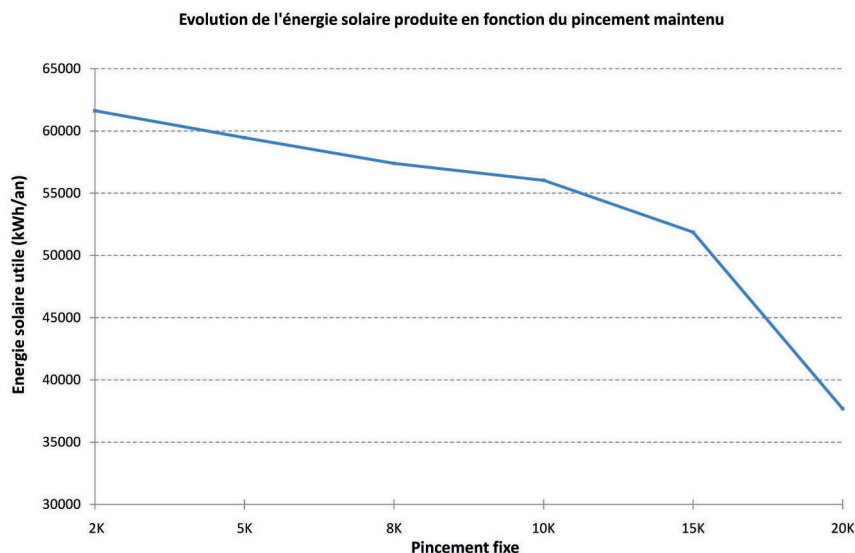
On rappelle que le circulateur de la boucle primaire de l'échangeur de décharge peut fonctionner à débit fixe ou variable (cf. 2.3).

Quelle performance avec un circulateur à débit variable ?

Dans ce cas, le débit au primaire de l'échangeur de décharge est variable et modulé afin de maintenir un pincement (écart de température entre l'entrée du primaire et la sortie du secondaire de l'échangeur de décharge) fixe de 2 à 20K.

On donne (Figure 15) l'évolution de l'énergie solaire produite en fonction des valeurs de pincements, pour la station de Marseille.

On constate naturellement une performance maximale (61621 kWh/an) pour une modulation à faible pincement : passer d'un pincement de 2 à 20K implique près de 40% de pertes en énergie solaire utile.



▲ Figure 15 : Evolution de l'énergie solaire utile produite pour un circulateur à débit variable modulé, pour différents pincements



Commentaire

On rappelle qu'il est recommandé, dans le cas d'un asservissement du circulateur au puisage, d'assurer un maintien en température de l'échangeur. Le fonctionnement est le suivant (Figure 5) :

- lorsqu'un puisage d'ECS est détecté, le débit au primaire de l'échangeur de décharge est variable et modulé afin de maintenir un pincement fixe de 2K ;
- en période de non puisage, la vanne à trois voies est fermée et permet un bouclage sur l'échangeur à faible débit fixe (par exemple 200 l/h). Si le différentiel de température entre le haut du ballon et la sortie de l'échangeur est atteint, la voie directe de la vanne à trois voies s'ouvre permettant ainsi de réchauffer la boucle et de maintenir en température l'échangeur (à la température du ballon solaire).

Quelle performance avec un circulateur à débit fixe ?

Pour un échange optimal, le rapport des débits calorifiques primaire et secondaire de l'échangeur doit être, dans la mesure du possible, égal à 1.

Commentaire

Un fonctionnement de l'échangeur de décharge avec des débits au primaire et au secondaire identiques permet d'optimiser la température en sortie du primaire de l'échangeur (la plus faible possible) et la température en sortie du secondaire de l'échangeur (la plus importante possible).

Les performances obtenues pour un fonctionnement de l'échangeur avec des débits au primaire et au secondaire identiques, avec circulateur à débit fixe asservi au puisage, est de 57548 kWh/an (pour la station de Marseille).



La difficulté réside dans la détermination du débit au primaire de l'échangeur de décharge qui est généralement considéré égal au débit de pointe d'ECS. Le débit de la boucle en eau morte peut être sous ou surestimé par rapport au débit de pointe réellement constaté. Le concepteur doit évaluer au mieux ce débit. Pour cela, il peut :

- idéalement, mesurer le profil de puisages réels du bâtiment concerné sur une journée type (cas d'une installation existante) ;
- se baser sur des profils de puisage établis à partir de statistiques de bâtiments existants similaires.



Quel impact d'un sous-débit au primaire de l'échangeur de décharge ?

On donne (Figure 16) l'évolution de l'énergie solaire produite quand le débit de la boucle en eau morte est choisi inférieur au débit maximal de puisage (pour la station de Marseille).

On constate que le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS est impacté par un sous-débit de la boucle eau morte de l'échangeur. Un débit divisé par 2 par rapport au débit maximal puisé engendre une perte de près de 7% de l'énergie solaire utile.

Débit eau morte/débit maximal d'ECS	E_{utile} (kWh)	P_{solaire} (kWh/m ²)	T_{solaire} (%)	Ecart (%)
Débit de la boucle eau morte = Débit maximal de puisage	57548	719	50	-
-10%	56643	708	49	- 1,6
-25%	55396	692	48	- 3,7
-50%	53635	670	46	- 6,8

▲ Figure 16 : Impact d'un sous-débit de la boucle eau morte sur l'évolution de l'énergie solaire utile produite

A retenir

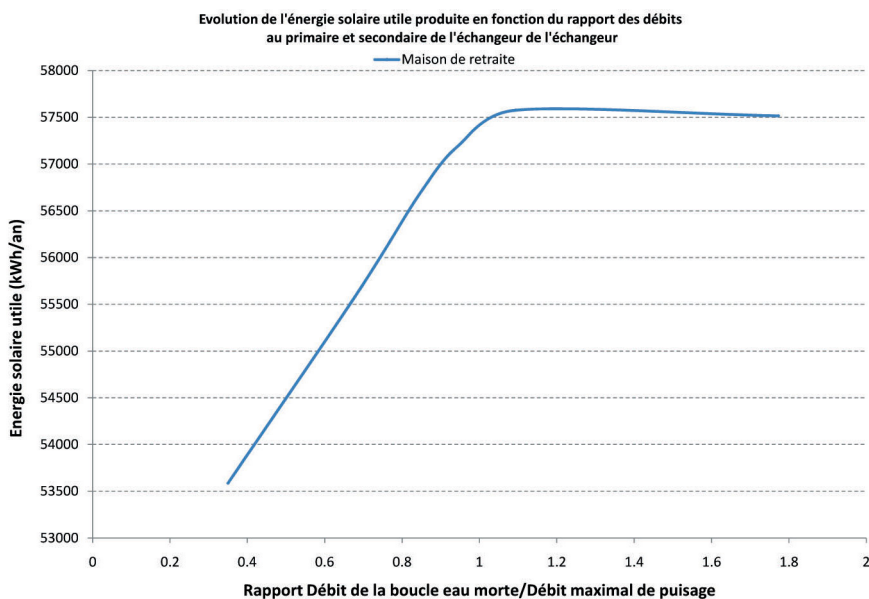
Si un fonctionnement avec des débits au primaire et au secondaire identiques n'est pas possible, le débit calorifique minimal doit être celui du circuit secondaire de l'échangeur. Le débit de la boucle ECS, et plus précisément le débit maximal puisé, ne doit jamais être supérieur au débit de la boucle en eau morte.

Quel impact d'un sur-débit au primaire de l'échangeur de décharge ?

La (Figure 17) présente l'évolution de l'énergie solaire produite pour différents rapports de débits et notamment pour des débits de la boucle en eau morte supérieurs au débit maximal de puisage. Cette évolution est donnée pour la station de Marseille et pour une maison de retraite présentant une pointe des 10 minutes maximale de 458 litres (soit 2750 l/h).

Comme vu précédemment, un fonctionnement en sous-débit (rapport des débits inférieur à 1) ne permet pas d'obtenir des performances optimales. Le rapport des débits calorifiques primaire et secondaire de l'échangeur doit être au moins égal à 1.

On constate en (Figure 17) que le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS n'est que très peu impacté par un sur-débit de la boucle eau morte de l'échangeur.



▲ Figure 17 : Evolution de la production d'énergie solaire utile en fonction du rapport des débits primaire et secondaire de l'échangeur de décharge pour un profil de puisage journalier de type maison de retraite

On donne (Figure 18) les évolutions de l'énergie solaire produite pour différents rapports de débits et pour différents profils de puisage journaliers issus de mesures sur site. Les profils retenus sont les suivants :

- une maison de retraite (Figure 8) [B11] : la demande en eau chaude sanitaire n'est pas constante sur la journée. On constate une pointe des 10 minutes maximale de 458 litres (soit 2750 l/h) ;
- une clinique [B11] : la demande en eau chaude sanitaire est élevée et continue sur une large plage horaire (6h à 21h), avec une succession de pics de consommation. On constate une pointe des 10 minutes maximale de 240 litres (soit 1450 l/h) ;
- un ensemble de logements [B11] : les pics de consommation sont concentrés le matin, le midi et le soir. On constate en soirée une pointe des 10 minutes maximale de 425 litres (soit 2550 l/h) ;
- une maison de retraite (selon la Revue Qualita [B10]) : la demande en eau chaude sanitaire n'est pas constante sur la journée. On constate une pointe des 10 minutes maximale de 160 litres (soit 960 l/h).

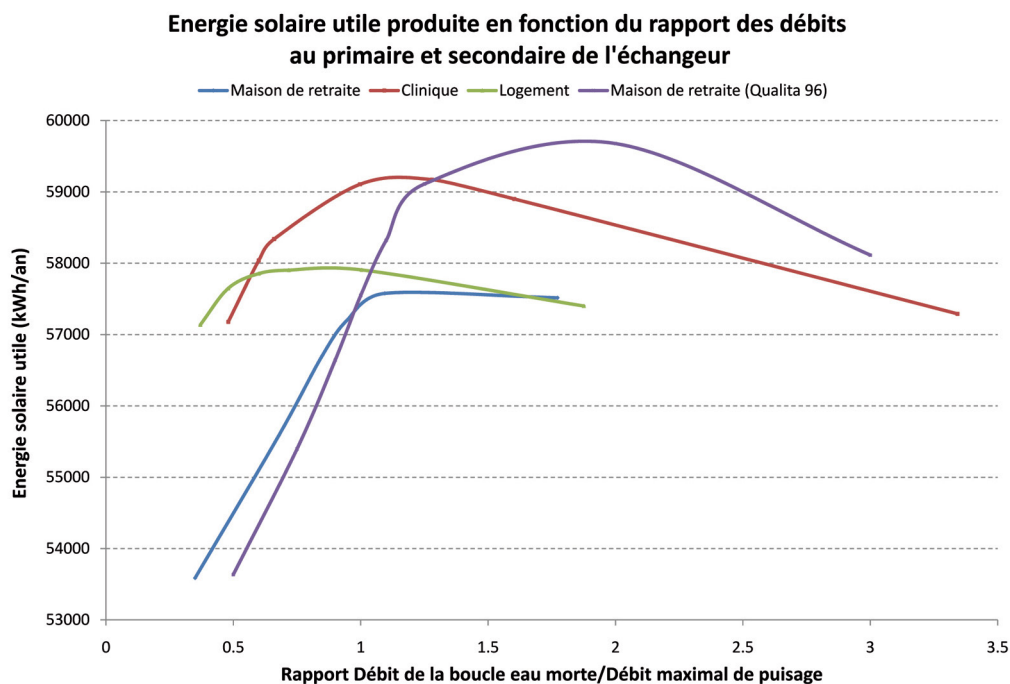
Le tableau de la (Figure 19) fournit, pour chaque profil simulé, le rapport des débits optimal ainsi que la plage admissible (caractérisée par une perte de production d'énergie solaire utile inférieure à 1%).

On constate que, suivant le profil de puisage modélisé, le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS peut être favorablement impacté par un sur-débit de la boucle eau morte de l'échangeur. On note également que :

- l'échange optimal est rencontré lorsque le rapport des débits calorifiques primaire et secondaire de l'échangeur est supérieur ou égal à 1 ;
- la plage admissible pour la sélection du sur-débit est relativement large pour chacune des configurations modélisées ;



- les performances, pour la configuration présentant un débit maximal de puisage faible (maison de retraite Qualita [B10]), sont optimales pour un fonctionnement en sur-débit ;
- les performances pour la configuration de type logement (demande en ECS non constante sur la journée) ne sont que faiblement impactées par un sous-débit.



▲ Figure 18 : Evolution de la production d'énergie solaire utile en fonction du rapport des débits primaire et secondaire pour différents profils de puisage journaliers, pour la station de Marseille

Différents profils de puisage	Rapport optimal débit boucle eau morte/débit maximal d'ECS	Plage admissible
Maison de retraite avec débit de pointe de 2750 l/h	1,1	0,9 à 2
Clinique avec débit de pointe de 1450 l/h	1,2	0,8 à 2
Logements avec débit de pointe de 2550 l/h	1	0,5 à 1,5
Maison de retraite avec débit de pointe de 960 l/h	1,8	1,2 à 2,5

▲ Figure 19 : Rapport optimal entre débit de la boucle eau morte et débit maximal puisé pour différentes configurations de profils de puisage journaliers

Incidence du débit au secondaire de l'échangeur solaire

D'autres simulations réalisées montrent que les performances de l'installation sont impactées par le rapport entre le débit de la boucle secondaire de l'échangeur solaire et le débit maximal d'ECS puisée (et donc celui de la boucle en eau morte dans le cas d'un fonctionnement avec débits calorifiques identiques).

Pour l'exemple considéré à Marseille, la surface de capteurs solaires installée est de 80 m², soit un débit au primaire de l'échangeur solaire de 4000 l/h et un débit au secondaire de l'échangeur solaire de 3425 l/h.



Dans le cas d'un profil de puisage faible induisant un rapport entre le débit au secondaire de l'échangeur solaire et le débit maximal d'ECS puisée important (cas de la maison de retraite avec débit maximal d'ECS puisée de 960 l/h), on constate qu'un sur-débit de la boucle en eau morte par rapport au débit maximal d'ECS puisée est très favorable à la performance solaire de l'installation.

Une formule permettant d'approcher la valeur optimale du sur-débit de la boucle en eau morte au primaire de l'échangeur de décharge a été établie, en fonction du débit au secondaire de l'échangeur solaire et du débit maximal d'ECS :

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

Les valeurs obtenues par cette formule sont comparées, dans le tableau de la (Figure 20), aux valeurs optimales obtenues par simulation (Figure 19). Elles permettent de valider cette formule.

Différents profils de puisage	Rapport débit boucle eau morte/débit maximal d'ECS	
	Valeur optimale	Valeur approchée par la formule
Maison de retraite avec débit de pointe de 2750 l/h	1,1	1,12
Clinique avec débit de pointe de 1450 l/h	1,2	1,53
Logements avec débit de pointe de 2550 l/h	1	1,15
Maison de retraite avec débit de pointe de 960 l/h	1,8	1,89

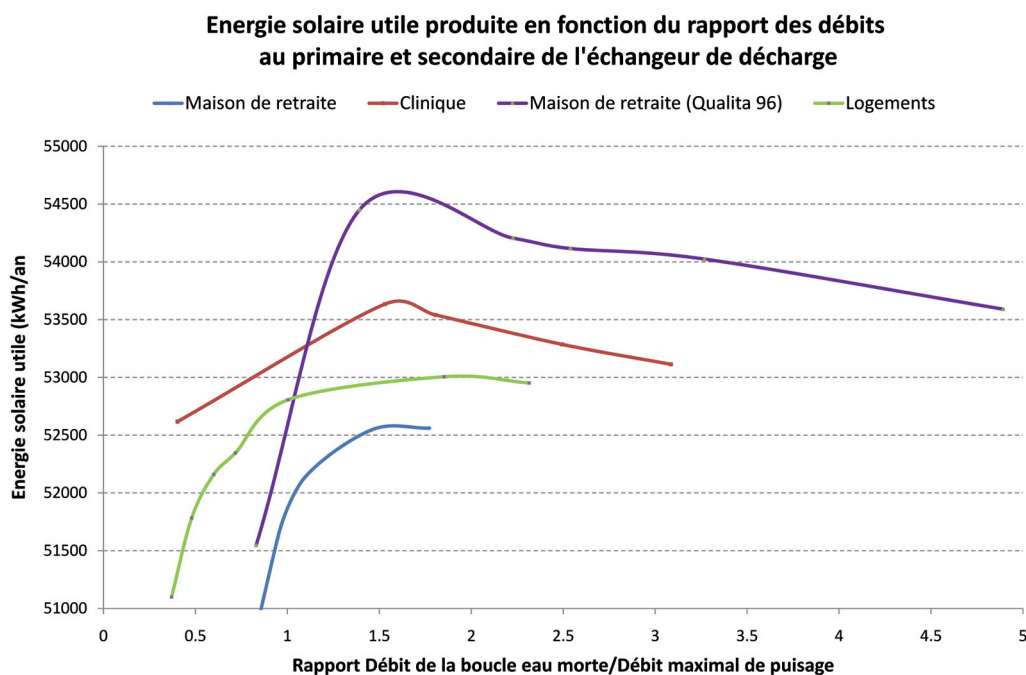
▲ Figure 20 : Comparaison entre le rapport optimal et la formule de calcul approchée établie, pour la station de Marseille

Des simulations complémentaires ont été réalisées pour la station de Strasbourg, c'est-à-dire pour un débit au primaire de l'échangeur solaire plus important que pour la station de Marseille. Le débit au secondaire de l'échangeur solaire est de 5653 l/h. Le rapport du débit de la boucle secondaire de l'échangeur solaire/débit maximal d'ECS puisée est donc plus élevé.

On donne (Figure 21) les évolutions de l'énergie solaire produite pour différents rapports de débit primaire et secondaire de l'échangeur de décharge et pour différents profils de puisage.

On constate que le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS est toujours favorablement impacté par un sur-débit de la boucle eau morte de l'échangeur.

L'échange optimal est rencontré lorsque le rapport des débits calorifiques primaire et secondaire de l'échangeur est supérieur à 1,5. Il est plus élevé que pour Marseille, ce qui est cohérent avec la formule établie.



▲ **Figure 21** : Evolution de la production d'énergie solaire utile en fonction du rapport des débits primaire et secondaire pour différents profils de puisage journaliers, pour la station de Strasbourg

A retenir

Suivant le profil de puisage journalier et la surface de capteurs solaires installée, le transfert de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte vers le circuit d'ECS peut être favorablement impacté par un sur-débit de la boucle eau morte de l'échangeur par rapport au débit maximal d'ECS puisée.

Le sur-débit optimal est fonction du rapport entre le débit de la boucle secondaire de l'échangeur solaire et le débit maximal d'ECS puisée.

Quelle solution préconiser ? Débit variable ou fixe ?

Les simulations montrent qu'assurer un débit au primaire de l'échangeur de décharge variable et modulé afin de maintenir un pincement fixe de 2K est la solution :

- la plus performante : de 4000 à 8000 kWh (soit de 7 à 13%) d'énergie solaire utile produite en plus comparativement à une configuration à débit fixe (respectivement pour un fonctionnement optimal et un fonctionnement avec un fort sous-débit de la boucle en eau morte) ;
- la plus fiable : elle s'affranchit de la nécessité de connaître précisément le débit maximal d'ECS puisée et le débit de la boucle solaire.



Commentaire

La solution avec débit variable au primaire de l'échangeur de décharge implique de sélectionner un kit intégrant l'échangeur, le circulateur, le régulateur et les sondes de température. Le surcoût entre une telle solution et une configuration à débit fixe est estimé approximativement à 2000 €, soit un retour sur investissement de 4 à 14 ans (respectivement pour un fonctionnement optimal et un fonctionnement avec un fort sous-débit de la boucle en eau morte), pour le cas pris en exemple.

A retenir

Il est recommandé un débit au primaire de l'échangeur de décharge variable et modulé afin de maintenir un pincement fixe de 2K. En période de non puisage, l'échangeur doit être maintenu en température avec la mise en œuvre d'une vanne à trois voies et le fonctionnement du circulateur à débit fixe.

Les résultats : quelle puissance pour l'échangeur de décharge ?

7



Les différentes méthodes de détermination de la puissance de l'échangeur de décharge sont présentées en chapitre 2.5 (cf. 2.5).

On considère une maison de retraite équipée de 100 chambres (avec lavabo et douche) telle que décrite au chapitre 3 (cf. 3). La consommation d'ECS est estimée à 60 litres par jour et par chambre à 55°C, soit une consommation de 6000 litres par jour.

Le débit de pointe d'eau chaude sanitaire est approché :

- à partir des recommandations de l'AICVF [B8] : le volume de puisage maximal associé à la durée de pointe de 10 min conduit à un débit de 4480 l/h ;
- par des mesures sur site [B11] : un débit de pointe de 2750 l/h est constaté.

On donne (Figure 22) les puissances de l'échangeur de décharge déterminées selon les différentes méthodes de dimensionnement, sur la station de Marseille, pour les deux débits de pointe.

Méthodes de dimensionnement (cf. 2.5)	Puissance de l'échangeur de décharge (kW)	
	Avec débit de pointe de 4480 l/h	Avec débit de pointe de 2750 l/h
Dimensionnement à l'identique de l'échangeur à plaques de la boucle solaire	87	
Dimensionnement à l'identique d'un système de production d'ECS instantanée par échangeur	260	160
Dimensionnement spécifique de l'échangeur de décharge : cas 1	176	112
Dimensionnement spécifique de l'échangeur de décharge : cas 2	364	224

Les puissances sont déterminées selon les méthodes décrites au (cf. 2.5), pour des conditions de fonctionnement spécifiques (températures en entrée du primaire de l'échangeur, en entrée et sortie du secondaire de l'échangeur)

▲ Figure 22 : Détermination de la puissance de l'échangeur de décharge pour différentes méthodes de dimensionnement



Des simulations ont été menées en parallèle sur ce bâtiment en considérant que le circulateur de la boucle primaire de l'échangeur de décharge fonctionne à débit fixe (au débit de pointe) et est asservi au puisage.

Les résultats pour la station de Marseille montrent que la puissance maximale échangée au circuit d'ECS est de 103 kW, en considérant que l'échangeur de décharge est capable de fournir la totalité de l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte.

La méthode de dimensionnement de l'échangeur de décharge qui consiste à choisir une puissance identique à celle de l'échangeur de la boucle solaire aboutit à une puissance de 87 kW (Figure 22). Elle est inférieure à la puissance maximale de 103 kW. Dans ce cas, l'énergie disponible dans la boucle d'eau morte n'est pas totalement fournie à la boucle d'ECS. Les simulations montrent une énergie solaire perdue de 420 kWh.

Les trois autres méthodes aboutissent à des puissances supérieures à 103 kW, quel que soit le débit de pointe considéré.

Le surdimensionnement de l'échangeur étant inutile et engendrant un surcoût, la méthode de dimensionnement conduisant aux plus faibles puissances (cas 1) est donc retenue.

A retenir

Au vu des calculs, il est conseillé de déterminer la puissance de l'échangeur de décharge avec les caractéristiques suivantes (cas 1, cf. 2.5) :

- dimensionnement en contre-courant ;
- température en entrée du primaire de l'échangeur : 50°C ;
- température en entrée du secondaire de l'échangeur : température d'eau froide ;
- pincement de 5 à 7K ;
- dimensionnement avec débits calorifiques au primaire et au secondaire de l'échangeur de décharge identiques (avec débit équivalent à la pointe de consommation d'ECS maximale).

Les références



- [B1] NF DTU 65.12 Installations solaires thermiques avec des capteurs vitrés – P1-1, Annexe E.2 – Décembre 2012
- [B2] Circulaire interministérielle DGS/SD7A/DSC/DGUHC/DGE/DPPR/126 du 3 avril 2007 relative à la mise en œuvre de l'arrêté du 30 novembre 2005 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public
- [B3] Circulaire DGS/SD7A-DHOS/E4-DGAS/SD2 n°2005-493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées
- [B4] Circulaire DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n°2002/243 du 22 avril 2002 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé
- [B5] Travaux réalisés dans le cadre de la plateforme collaborative SOCOL – Eau chaude sanitaire solaire thermique collective : Bibliothèque de schémas – Décembre 2012
- [B6] Production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire : Guide de conception des installations collectives – ADEME, EDF, Gaz de France, ICO – 2008
- [B7] Mesure de la qualité technique des installations solaires collectives – ADEME, Gaz de France, FFB, COSTIC – 2010
- [B8] Recommandation AICVF 02-2004 – Eau Chaude Sanitaire – Edition AICVF – 2004



- [B9] Recommandations professionnelles – Production d’eau chaude sanitaire collective centralisée solaire – Règles de l’Art Grenelle Environnement – 2014
- [B10] L'eau chaude sanitaire – Revue Qualita – Electricité de France – 1996
- [B11] Résultats de campagne de mesures sur site dans le cadre d’une Garantie de Résultats Solaires –TECSOL

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



CHAUFFE-EAU SOLAIRES
COLLECTIFS AVEC STOCKAGE
EN EAU MORTE

CONCEPTION
ET DIMENSIONNEMENT

SEPTEMBRE 2014

Ce rapport présente les résultats de simulations thermiques dynamiques réalisées pour différentes configurations de chauffe-eau solaires collectifs avec stockage en eau morte. Elles sont modélisées afin d'étudier les niveaux de performances énergétiques obtenus pour chacune d'elle et ainsi définir les règles de conception et de dimensionnement pour ce type d'installation.

Le chauffe-eau solaire collectif avec stockage en eau morte est une solution préconisée et installée pour des installations collectives dans lesquelles le stockage d'eau sanitaire à température non maîtrisée est déconseillé (établissements de santé, établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées).

Différentes questions se posent quant à la conception et au dimensionnement d'une telle installation et notamment concernant le découplage du circuit solaire au circuit sanitaire. En effet :

- quel schéma hydraulique prescrire ? Quelle intégration pour l'appoint ? Quel raccordement pour le retour du bouclage sanitaire ?
- quelle logique de régulation associée ? Quel pilotage pour le circulateur au primaire de l'échangeur de décharge ? Quel débit au primaire de l'échangeur de décharge ?
- quelle puissance pour l'échangeur de décharge ?



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

