22.03.2023

Eau chaude avec pompes à chaleur / Une bonne planification pour des installations hygiéniques

Suisse Energie
Office fédéral de l'énergie (OFEN)
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
Postadresse :
CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444
suisseenergie.ch

Auteurs
Manuel Prinzing, OST - Haute école spécialisée de Suisse orientale
Michel Haller, OST - Haute école spécialisée de Suisse orientale
Stefan Bertsch, OST - Haute école spécialisée de Suisse orientale

Cette étude a été réalisée sur mandat de SuisseEnergie.
Les auteurs sont responsables du contenu.

Table des matières

1. Définitions et domaines d'application 5
   1.1. Champ d'application 5
   1.2. Définitions des termes 5
2. Aides à l'interprétation 6
3. Variantes de systèmes et leur évaluation 7
   3.1. Réservoir à registre / Chauffage de l'eau du chauffe-eau 7
   3.2. Système de charge (Magro) 9
   3.3. Station de production d'eau chaude instantanée avec réservoir tampon 11
   3.4. Accumulateur Spira 13
   3.5. Accumulateur combiné – Tank-in-Tank 14
   3.6. Chauffe-eau pompe à chaleur / WPZ : PAC pour eau chaude sanitaire (chauffe-eau PAC) 16
   3.7. Aperçu des systèmes 17
4. Maintien en température 17
   4.1. Circulation de l'eau chaude 18
   4.2. Ruban chauffant de maintient 19
   4.3. Conditions pour un fonctionnement efficace 20
5. Stagnation 20
   5.1. Une approche différenciée de la stagnation 20
   5.2. Passage du chaud au froid 21
6. Mise en place 22
7. Stratégies de charge avec des pompes à chaleur 23
   7.1. Exigences pour la charge 23
   7.1.1 Hystérèse 23
   7.1.2 Fenêtre de charge et horaire journalier 24
   7.1.3 Absences, logements vacants et appartements de vacances 24
   7.2. Pompes à chaleur Inverter à vitesse variable / influence de la puissance de charge 25
   7.3. Réchauffement au moyen d'un corps-de-chauffe électrique 25
   7.4. Autoconsommation PV 26
   7.5. Régulation / surveillance 28
8. Le rôle de la stratification 28
9. Pertes de chaleur dans le réservoir et la circulation sanitaire 31
10. Autres points 32
11. Conclusions et bilan 33

Liste des abréviations

S	Surface [m^2]
OFEN	Office fédéral de l'énergie
COP	Coefficient of Performance (coefficient de performance)
EFH	Maison individuelle
EnFK	Conférence des services de l'énergie
EW	Centrale électrique
FriWa	Eau douce, eau potable
GSP	Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur
EF	Eau froide
MFH	Immeuble collectif
PV	Photovoltaïque
ACC	Accumulateur
SPF	Institut für Solartechnik (Haute école spécialisée OST)
SSIGE	Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux
T	Température (sonde)
Tin	Température d'entrée [C]
Tex	Température de sortie [C]
WNG	Taux d'utilisation de la chaleur
PAC	Pompe à chaleur
WPZ	Centre d'essai des pompes à chaleur
ECS	Eau chaude sanitaire

1. Définitions et domaines d'application

Le rapport suivant a pour but de présenter les avancées techniques dans le domaine de la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de pompes à chaleur. En tant que document de base, il vise à fournir des informations techniques permettant de rédiger des fiches techniques sur ce thème. Les thèmes juridiques, qui ne sont pas triviaux, surtout en ce qui concerne la location, sont élaborés dans un avis de droit séparé et ne font pas partie de ce rapport. En ce qui concerne l'exploitation des pompes à chaleur pour les installations d'eau chaude, nous renvoyons au document "Energiehandbuch für Hauswartinnen und Hauswachtinnen" (Manuel de l'énergie pour les concierges) d'EnFK et de SuisseEnergie.

1.1. Champ d'application

Les analyses et les recommandations sont destinées aux maisons individuelles et aux petits immeubles collectifs. Un simple maintien de la chaleur au moyen d'une circulation ou d'un ruban chauffant est également considéré. Les utilisations spéciales et les bâtiments avec des bains et des douches publics ne sont pas inclus. Les grands systèmes avec technologie particulière ne font pas non plus partie de cette analyse.

1.2. Définitions des termes

Pour la définition des termes relatifs aux systèmes d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments, notamment les zones d'accumulation et le dimensionnement des accumulateurs, nous renvoyons ici au rapport "Dimensionnement des accumulateurs d'eau chaude" (mandat OFEN SH8100415-01-01-19), élaboré parallèlement au présent rapport.

Certains termes importants sont néanmoins repris ici afin d'améliorer la lisibilité du rapport.

- Le ***volume de couverture de pointe*** sert à couvrir une pointe de référence à court terme et doit toujours être conservé. Cela implique qu'il est possible de déterminer quand la température à l'extrémité inférieure du volume de couverture de pointe n'est plus suffisante et qu'une recharge doit être lancée. C'est pourquoi le volume de couverture de pointe s'étend du haut jusqu'à la sonde de température qui déclenche la recharge. En général, la conception du volume de couverture de pointe s'oriente vers la plus grande pointe horaire attendue du prélèvement.
- Le ***volume de commande*** est le volume qui est chauffé en plus du volume de couverture de pointe lors de la recharge.
- Le ***volume d'attente*** est la somme du volume de couverture de pointe et du volume de commande. Il ne s'étend dans la partie inférieure de l'accumulateur que dans la mesure où celui-ci a été porté à la température de consigne après une charge.
- Le ***volume de l'accumulateur*** correspond au volume d'attente, pour autant que l'accumulateur atteigne la température de consigne après avoir été chargé jusqu'en bas (p. ex. par un échangeur de chaleur externe). Si ce n'est pas le cas, le volume de l'accumulateur doit être majoré du volume de disponibilité pour la partie de l'accumulateur qui n'atteint pas la température de consigne après la charge (zone mixte et zone froide).

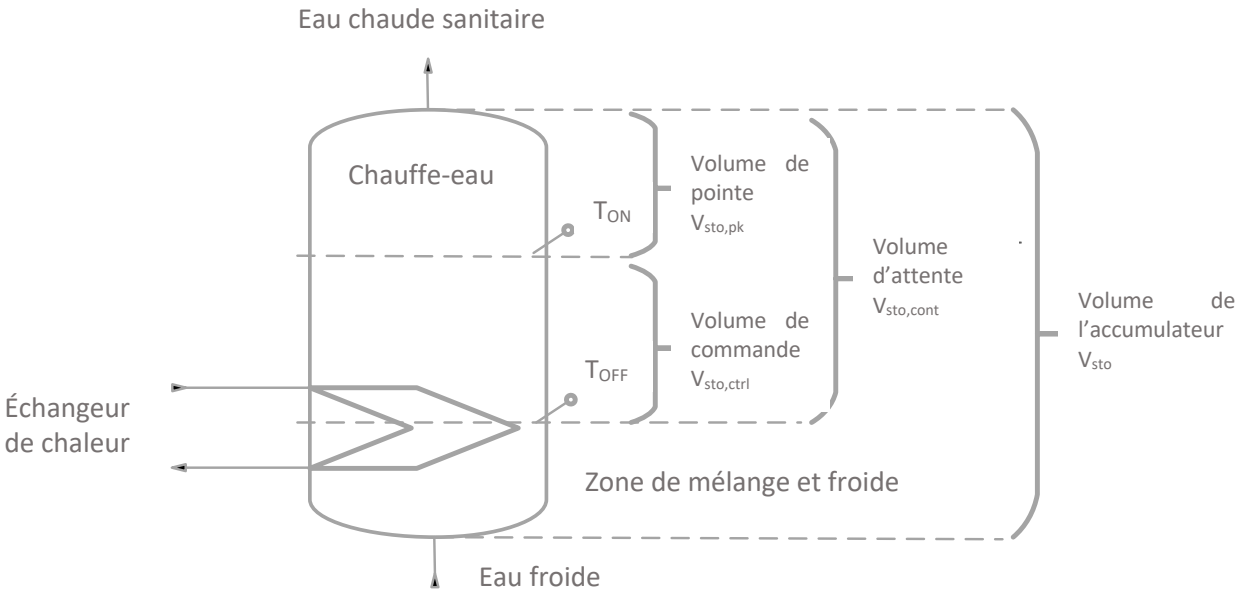


Figure 1 : Figure 1 : Représentation graphique du volume de couverture de pointe, du volume de commande, du volume d'attente, du volume de stockage ainsi que des zones de mélange et de refroidissement du réservoir d'eau chaude, sur la base de la norme SIA 385/2.

2. Aides à l'interprétation

Les normes ou directives suivantes existent pour la conception des systèmes d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments :

- SIA 385/1
- SIA 385/2
- SSIGE W3/E3
- EN-806-2

La procédure de dimensionnement de l'accumulateur de chaleur selon la norme SIA 385/2 est décrite dans le rapport séparé "Dimensionnement de l'accumulateur d'eau chaude". Les autres méthodes de dimensionnement ne sont pas abordées ici. Dans l'optique d'une optimisation énergétique, le texte mentionne surtout les températures de consigne SIA. Les températures de consigne SIA ne peuvent toutefois être appliquées que si les exigences de la norme SIA 385/1 sont également remplies. Les principales exigences à cet égard sont mentionnées dans les conclusions (chapitre 11). Ces exigences sont la condition pour que les températures SIA plus basses puissent être appliquées.

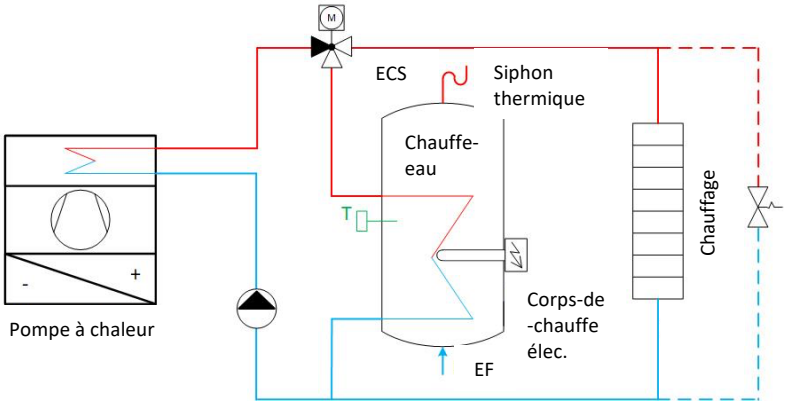
Ce rapport de traite pas du statut juridique des normes et lignes directrices mentionnées. Vous trouverez de plus amples informations dans le rapport de l'OFEN.

3. Variantes de systèmes et leur évaluation

Un système d'eau chaude planifié et réalisé dans les règles de l'art fonctionne de manière efficace sur le plan énergétique et irréprochable sur le plan de l'hygiène. Les systèmes d'accumulation permettent d'équilibrer les pics de soutirage et la puissance réduite du générateur de chaleur et de pallier également les interruptions (blocage de la centrale électrique, dégivrage, mode de chauffage ou de recharge). De manière générale, l'efficacité des pompes à chaleur est environ trois fois supérieure à celle des chauffe-eaux à chauffage électrique.

3.1. Réservoir à registre / Chauffage de l'eau du chauffe-eau

Le réservoir à registre se compose d'un réservoir résistant à la corrosion pour l'eau chaude sanitaire, dans lequel l'eau chaude sanitaire peut être prélevée directement et qui peut être chargée par un ou plusieurs registres tubulaires internes.



Caractéristiques :

- Mauvaise efficacité de la stratification, ce qui rend le système peu efficace.
- Surtout utilisé dans les maisons individuelles en raison de son faible coût.
- Capacité de stockage limitée - pas utilisé dans les grandes constructions.
- Surface d'échange de chaleur A = 0.4 m2 par kW de puissance de chauffage de la PAC.
- Ne pas régler l'hystérèse trop faiblement.
- L'activation/désactivation de la charge n'est souvent réglée que par une seule sonde dans le chauffe-eau.

Figure 2 : Chauffe-eau à registre

En raison des caractéristiques de ce type de chargement, les conséquences sont généralement les suivantes :

- Dans les maisons individuelles, ce type d'accumulateur est le plus répandu. Il est le plus simple à installer, tant sur le plan hydraulique que sur celui de la régulation, et constitue donc la variante d'installation la plus avantageuse.
- Un chargement bien stratifié n'est pas possible, car les serpentins doivent s'étendre profondément dans la partie inférieure de l'accumulateur pour un chargement complet, et la chaleur est pratiquement toujours diffusée sur toute la hauteur du serpentin. Cela conduit à un chargement non stratifié prononcé et à des systèmes inefficaces sur le plan énergétique.
- Lors du processus de chauffage avec un registre interne, tout le contenu du stockage est mélangé, ce qui est défavorable pour des raisons à la fois énergétiques et hygiéniques. Dans le cas de petits systèmes dans une maison unifamiliale, il ne s'agit généralement pas d'un problème d'hygiène, car la phase de chauffage coïncide rarement avec la prise d'une douche. Afin de réduire les inconvénients énergétiques, les fenêtres de charge par jour doivent être limitées, quel que soit le type de chauffage de l'eau ou la source d'énergie utilisée.
- Si le registre commence trop haut dans le réservoir, la première chose qui se passe lors du chargement est une réduction de la température dans la partie supérieure du

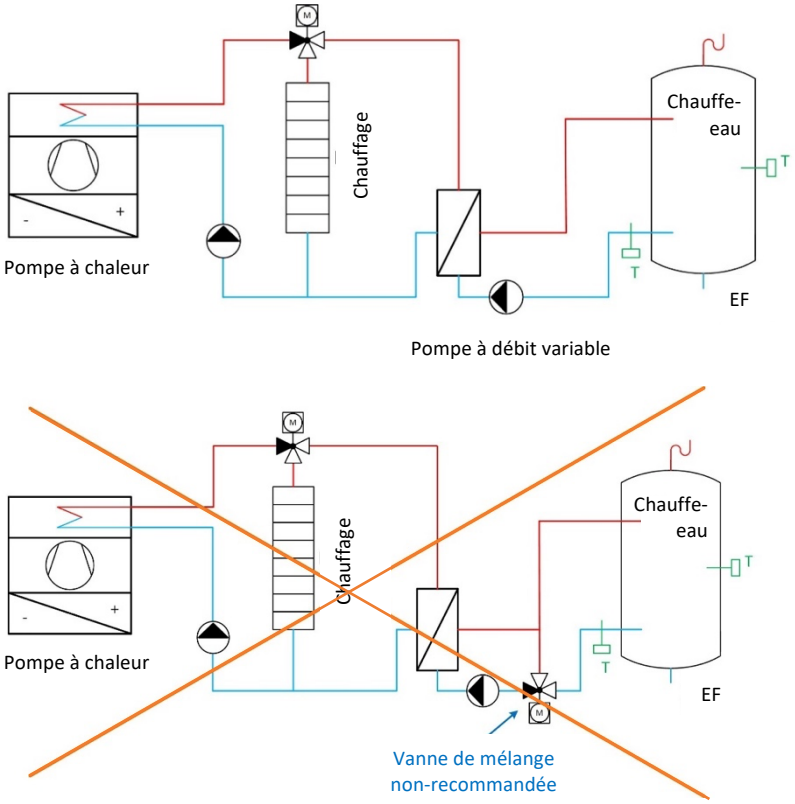
réservoir avant de la faire remonter avec tout le volume du réservoir. Bien que cela présente des inconvénients évidents en termes d'efficacité et d'hygiène, on trouve sur le marché des produits présentant ce défaut.

- En raison de ces déficits, ce type d'accumulateur doit être évité pour les objets abritant des personnes présentant des déficits immunitaires [Suissetec Merkblatt 10/2021].
- Si l'échangeur tubulaire se termine au-dessus du fond du réservoir, il n'est pas possible de charger complètement le réservoir jusqu'au fond du réservoir et l'eau dans le fond du réservoir n'est que tiède, voire froide, même après le chargement. Dans la pratique, on remédie à ce problème en abaissant les tubes de l'échangeur le plus bas dans le fond de l'accumulateur, ce qui permet de mieux exploiter ce dernier. Cependant, même avec ces systèmes, après le chargement, la température dans le fond du réservoir est largement inférieure à la température dans la partie supérieure du réservoir.
- Le retour de la circulation est généralement réintroduit dans le réservoir en dessous du volume de couverture de pointe, souvent à environ 50 - 70% de la hauteur du réservoir. Dans la pratique, la circulation entraîne généralement un mélange du réservoir et des cycles d'activation fréquents en raison de raccords trop petits et de vitesses d'entrée élevées.
- Selon le PAC Système-Module, la surface de l'échangeur interne doit être d'au moins $A=0{,}4m^2/kW$, pour la puissance thermique de la pompe à chaleur au point de fonctionnement A2/W55. Si une pompe à chaleur à puissance variable devait réduire la puissance thermique en mode de charge en été, il faut tenir compte de la puissance thermique maximale pendant la charge. Le mode de fonctionnement correspondant doit être pris en charge par la pompe à chaleur.
- Il en résulte des limites de conception et de fabrication pour les besoins importants en eau chaude. Pour les plages de puissance plus élevées, on utilise donc d'autres systèmes de charge (voir 3.2).
- L'emplacement du capteur de température (hauteur) ainsi que le choix d'une régulation de charge à une ou deux sondes sont d'une grande importance pour un fonctionnement efficace.
    - En raison de la "charge non stratifiée", les régulations à une sonde sont en principe possibles ici. Celles-ci fonctionnent avec une hystérésis afin de réduire la fréquence des enclenchements et de charger le volume de commande. Souvent, pour des raisons de "sécurité et de confort", le fabricant a réglé de petites hystérésis de 1 à 2 K. Ceux-ci entraînent des mises en marche et des arrêts très fréquents de la pompe à chaleur et une efficacité fortement réduite.
    - Dans les systèmes à deux sondes, les signaux de température permettent de définir un point d'activation et de désactivation clair sur la base des valeurs mesurées à différentes hauteurs de réservoir ou d'une sonde (de désactivation) supplémentaire dans le retour de la PAC. La plupart du temps, il est ainsi possible de bien supprimer le phénomène de "cadence" (mise en marche et arrêt fréquents de la pompe à chaleur).
    - Pour plus de détails, voir le thème Régulation au chapitre 7.

- Le débit volumique de la pompe de charge est déterminant pour la température de retour vers le générateur de chaleur. Un débit volumétrique trop élevé implique des températures de retour plus élevées dès le début de la charge et donc une efficacité moindre pour les pompes à chaleur.

3.2. Système de charge (Magro)

Le chargement magro utilise également un réservoir d'eau chaude sanitaire à partir duquel l'eau potable peut être directement prélevée. Contrairement à l'accumulateur à registre, le chargement s'effectue toutefois via un échangeur de chaleur externe.



Caractéristiques :

- Chargement par étapes et par couches possible
- Convient aux immeubles collectifs et aux grandes quantités d'eau chaude
- Respecter les sections de raccordement et les vitesses d'entrée.
- Régulation propre de la pompe recommandée pour une stratification optimale de l'eau chaude.
- La régulation par un seul programmateur ne fonctionne pas.

Figure 3 : Chargement avec échangeur de chaleur externe (en haut, bonne intégration, en bas avec mélange non recommandé)

Dans ce système, la charge doit impérativement être activée et désactivée par deux sondes différentes, car en raison de la bonne stratification de l'accumulateur obtenue ici, une seule sonde entraînerait des fréquences de charge élevées. Il faut faire la différence entre une charge par étapes et une charge par couches (stratifiée).

Lors de la **charge par étape**, le contenu de l'accumulateur situé en dessous du volume de couverture de pointe est mis en circulation avec un grand débit et chauffé par petites étapes de température avec un faible écart entre le départ et le retour de la PAC. Lors du processus de charge, le volume d'eau supérieur plus chaud (volume de couverture de pointe) ne doit pas être mélangé à la baisse. Les systèmes défectueux montent trop haut dans l'accumulateur avec le départ (dans le volume de couverture de pointe) ou ne disposent pas d'une stabilisation de l'écoulement, ce qui garantit un mélange de l'ensemble de l'accumulateur en cas de débits élevés. Avec de tels systèmes, il n'y a pas d'eau chaude ou seulement de l'eau tiède disponible pendant une longue période lors du processus de charge. Ces systèmes défectueux n'atteignent pas les avantages d'efficacité théoriquement possibles grâce à la charge progressive et ne maintiennent pas la barrière thermique pour les germes pathogènes éventuellement présents dans la partie inférieure du réservoir pendant le chargement.

Dans le cas de la **charge stratifiée**, le débit volumétrique est réglé de manière à ce que la température cible soit toujours chargée dans le ballon. Ainsi, l'entrée dans le ballon peut se

faire plus haut que dans le cas de la charge progressive. Néanmoins, il peut être avantageux ici aussi de ne pas placer l'entrée tout en haut, mais un peu en dessous du milieu du volume de couverture de pointe. Dans le cas de la charge stratifiée, il est préférable d'utiliser des pompes à chaleur à puissance variable et de réguler le débit volumétrique en premier lieu par le biais d'une pompe de circulation à vitesse variable. Souvent, cela ne suffit toutefois pas pour couvrir la largeur de bande nécessaire à l'étalement de la température et une vanne d'étranglement en série avec la pompe est également utilisée. L'un des avantages de cette stratégie de charge est le sous-refroidissement qu'elle permet d'obtenir dans le circuit de refroidissement, ce qui augmente l'efficacité (en fonction de la PAC).

Lors du processus de chargement du ballon, la stratification se fait également au début en haut avec la température de consigne élevée du ballon. Comme les débits sont faibles, surtout au début du chargement, les mélanges dans l'accumulateur n'ont généralement lieu que vers la fin du chargement et causent donc moins de dommages. Mais dans ce cas également, il est toujours préférable de calmer le flux à l'entrée. Comme la pompe du circuit de la pompe à chaleur doit fonctionner à une puissance moindre, la consommation de courant de la pompe est inférieure à celle de la charge par paliers. Toutefois, la charge stratifiée nécessite davantage de composants et de techniques de régulation que la charge par paliers et est donc plus complexe à mettre en œuvre. Elle est également plus exigeante dans sa mise en œuvre pratique et donne rapidement des résultats insatisfaisants en cas de planification et de mise en œuvre insuffisantes.

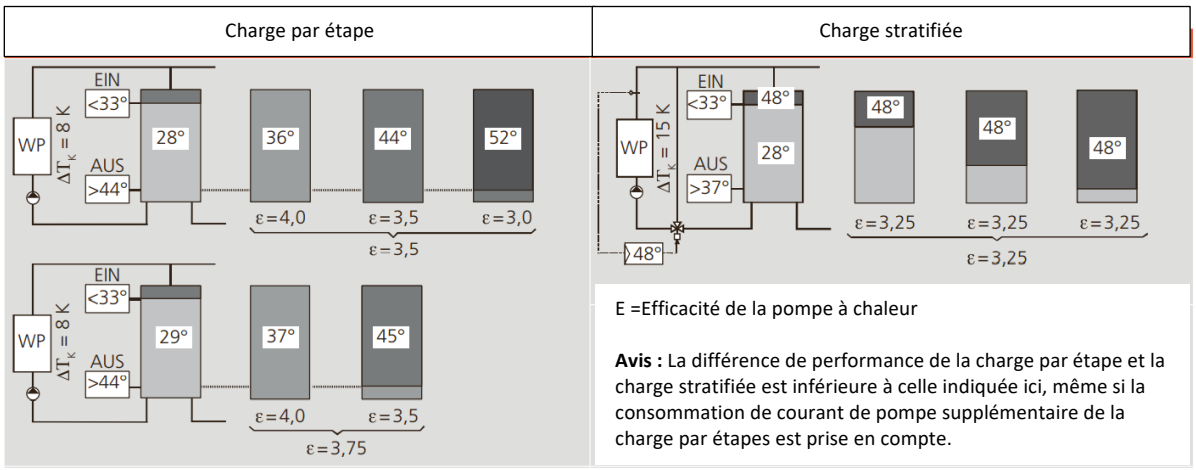


Figure 4 : Distinction entre charge stratifiée et charge en par étape (différence d'efficacité théorique). Source : Pompes à chaleur : planification I optimisation I exploitation I maintenance, OFEN 2018

- La charge par étape et la charge par stratification permettent toutes deux, si elles sont correctement réalisées, de charger le réservoir d'eau chaude sanitaire par stratification de la température avec un faible gradient de l'échangeur de chaleur et donc une efficacité nettement plus élevée (gain d'efficacité de l'ordre de deux chiffres par rapport au réservoir à registre tubulaire en combinaison avec une pompe à chaleur).
- Comme l'eau du circuit de charge de l'accumulateur peut être aspirée depuis le fond de l'accumulateur (raccordement par le bas ou par un tuyau qui aspire l'eau en partie basse de l'accumulateur), l'eau de l'accumulateur dans la zone du fond peut également être amenée à une température élevée vers la fin de la charge, qui n'est inférieure que de

quelques Kelvin à la température dans la zone supérieure (en fonction du débit volumique et de l'augmentation de la température dans le condenseur de la PAC).

- Si le départ du circuit de chargement est amené trop haut dans l'accumulateur ou si le débit est trop élevé sans stabilisation du flux à l'entrée, il en résulte également dans ces systèmes une chute significative de la température dans la partie supérieure de l'accumulateur au début du chargement, avec les inconvénients correspondants en termes d'énergie et d'hygiène.
- Les débits élevés habituels des pompes à chaleur doivent être stabilisés à une vitesse inférieure à 0,1 m/s à l'entrée de l'accumulateur, faute de quoi le volume de l'accumulateur sera brassé en raison d'un écoulement trop rapide, ce qui entraîne des pertes considérables en termes de confort, d'efficacité et d'hygiène. Sans stabilisation de l'écoulement à l'entrée, ces vitesses sont nettement dépassées, surtout lors de la charge par étape ou à la fin de la charge stratifiée (lorsque le débit volumique augmente en raison de la différence de température plus faible).
- Le retour de circulation (s'il y en a un) est généralement renvoyé dans le réservoir en dessous du volume de couverture de pointe, souvent à environ 50 - 70% du volume du réservoir.
- L'échangeur de chaleur externe, généralement un échangeur de chaleur à plaques, peut être conçu avec des puissances de charge nettement plus élevées que l'accumulateur à registre. C'est pourquoi ces systèmes conviennent mieux aux objets de grande taille, et des générateurs de chaleur avec des puissances calorifiques plus élevées peuvent être utilisés. Ici aussi, la puissance thermique minimale du générateur de chaleur détermine le dimensionnement de l'échangeur de chaleur, environ 0,25m^2/kW.
- Le système de charge nécessite une pompe de charge à stratification supplémentaire agréée pour l'eau potable.
- L'entartrage de l'échangeur de chaleur à plaques, une stratégie de régulation plus compliquée ainsi que des coûts d'investissement plus élevés sont à mentionner comme inconvénients par rapport à l'accumulateur à registre.
- La différence de température entre le côté primaire et le côté secondaire de la station de recharge doit être la plus faible possible. Des écarts de 2 à 5 K sont idéaux [livre de planification Stiebel].

3.3. Station de production d'eau chaude instantanée avec réservoir tampon

Au lieu de stocker de l'eau chaude sanitaire, les systèmes de production instantanée (FriWa) stockent l'eau dans un réservoir tampon qui ne contient pas d'eau potable. L'eau chaude sanitaire n'est chauffée qu'en cas de besoin, via un échangeur de chaleur externe alimenté par l'eau du réservoir tampon.

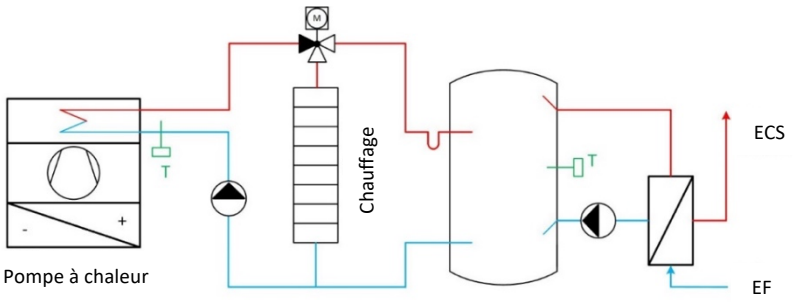


Figure 5 : Station d'eau fraîche

Caractéristiques :

- Convient pour les maisons individuelles et les immeubles collectifs.
- Respecter les sections de raccordement et les vitesses d'entrée.
- Régulation propre de la pompe secondaire recommandée
- Pas de stockage d'eau potable chaude
- La veinure de l'échangeur de chaleur FriWa est déterminante pour l'efficacité.
- Stabilisation du flux à l'entrée de l'accumulateur

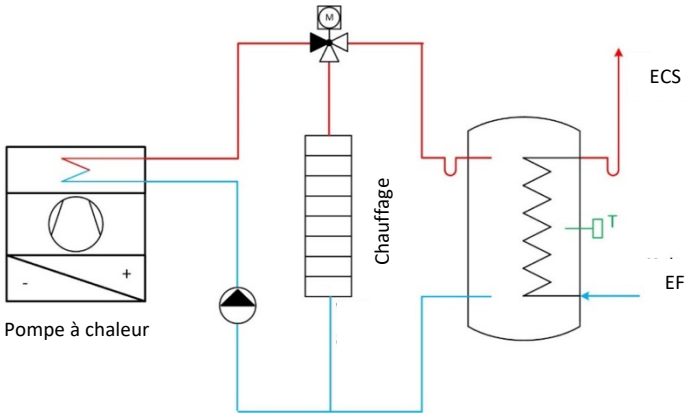
- Le chargement du ballon tampon se fait directement par la pompe à chaleur. Contrairement au chargement magro, aucun échangeur de chaleur supplémentaire n'est nécessaire entre la PAC et le réservoir.
- Comme pour la charge magro, l'entrée de la charge PAC dans le ballon ne doit pas être trop élevée et le fluide entrant doit être calmé à moins de 0,1 m/s (confort et efficacité).
- Ici aussi, une charge progressive et une charge par stratification sont possibles (voir ci-dessus), à la différence qu'il n'y a pas d'échangeur de chaleur entre la pompe à chaleur et le réservoir. Ici aussi, l'activation et la désactivation de la charge doivent se faire via deux sondes différentes.
- La gravité et la régulation de l'échangeur de chaleur du module de production d'eau instantanée sont déterminantes pour le confort et l'efficacité qui peuvent être obtenus grâce à une production instantanée.
- Le retour de circulation (si disponible) est chauffé soit par l'échangeur de chaleur FriWa, soit par un échangeur de chaleur de circulation séparé. Cette dernière solution présente l'avantage que le retour de l'échangeur de chaleur de circulation vers le réservoir peut alors également être ramené dans le réservoir à la bonne position, en dessous du volume de couverture de pointe. Si le chauffage de la circulation s'effectue via l'échangeur de chaleur FriWa, le dilemme est le suivant : le retour doit être introduit dans le réservoir tout en bas lorsqu'il y a un prélèvement d'eau chaude et une température de retour basse correspondante (20 - 25 °C), mais à peu près au milieu du volume du réservoir lorsque ce n'est pas le cas et que seules les pertes de circulation doivent être couvertes (55 - 60 °C). Comme le changement se fait rapidement, il est difficile de passer à deux hauteurs différentes.
- En cas de débit, le débit de soutirage est déterminé par la puissance de transmission de l'échangeur de chaleur. En termes d'hygiène, il faut mentionner l'absence de risque de stagnation, l'eau est chauffée en fonction des besoins au moment du prélèvement (source : Recknagel, Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 79e édition 2019/2020).
- Le système nécessite une pompe supplémentaire pour faire circuler l'eau de chauffage dans l'échangeur de chaleur (pompe de charge). Celle-ci est régulée par un microprocesseur en fonction du volume d'eau potable et de la température du réservoir.
- Les avantages sont un risque probablement plus faible de contamination par les légionelles en raison du faible volume d'eau chaude sanitaire maintenu en température (les études de terrain manquent à ce sujet), ainsi qu'une économie de coûts grâce à l'utilisation d'un accumulateur de chauffage, qui est toutefois compensée, du moins en partie, par les coûts du FriWa et de sa régulation. C'est surtout pour les petits volumes de stockage que le FriWa est généralement le système nettement plus coûteux.
- Un autre avantage est la plus grande flexibilité lors du chargement de l'accumulateur à différents états de charge (flexibilité), qui ne posent ici aucun problème d'hygiène, y compris le chargement à des températures plus élevées dans l'accumulateur (par exemple via une pompe à chaleur haute température) sans risque supplémentaire d'entartrage.
- Les inconvénients sont la quantité de soutirage limitée, l'entartrage des échangeurs thermiques pour de la production instantanée, la quantité d'énergie stockée par volume de stockage plus faible, ainsi que la technique de régulation plus complexe.
- Les défauts souvent observés sont
- Trop de gradients dans l'échangeur de chaleur

- Concepts hydrauliques et de régulation qui entraînent un débit trop élevé du côté primaire de l'échangeur de chaleur. Cela se produit par exemple lorsque la régulation tente d'atteindre une température de consigne qui n'est pas possible avec la température actuelle du réservoir. De ce fait, le débit volumique maximal du côté primaire s'établit, même si le débit du prélèvement d'eau est faible. Par conséquent, une grande quantité d'eau à température de retour élevée s'écoule dans la partie inférieure du réservoir et détruit la stratification du réservoir, ce qui a des conséquences sur le confort et l'efficacité.
- Absence de stabilisation de la circulation aux entrées de l'accumulateur
- Pas de distinction de la hauteur d'entrée de l'accumulateur du retour FriWa entre les périodes avec prélèvement (température de retour basse, tout en bas) et les périodes avec circulation (température de retour élevée, en dessous du volume de couverture de pointe)
- Régulation trop lente de la commutation du retour FriWa entre le prélèvement et le mode de circulation.
- Variations de température dues à la régulation à la sortie du module FriWa.

En plus de l'unité centrale du réservoir tampon et du FriWa, il est possible d'utiliser des modules de production d'eau chaude instantanée décentralisées dans les habitations collectives. Cela permet de renoncer à une distribution d'eau chaude sanitaire, même dans les maisons multifamiliales, ce qui présente des avantages en termes d'hygiène et d'efficacité.

3.4. Accumulateur Spira

L'accumulateur Spira est un accumulateur tampon qui est directement chargé par la pompe à chaleur comme l'accumulateur FriWa. Toutefois, le réchauffement de l'eau chaude sanitaire s'effectue ici par le biais d'un échangeur de chaleur interne à tubes en spirale, généralement un tube en spirale, d'où son nom. Ce type d'accumulateur est parfois appelé accumulateur hygiénique, car il ne contient qu'une petite quantité d'eau potable et présente des avantages hygiéniques par rapport à un accumulateur d'eau potable en raison d'un taux d'échange d'eau potable plus élevé.



Caractéristiques :

- Convient pour les maisons individuelles
- Tenir compte des sections de raccordement et des vitesses d'entrée lors du chargement de la PAC
- Volume de sortie déterminant pour l'efficacité
- Des modèles d'accumulateurs combinés sont également disponibles sur le marché

Figure 6 : Accumulateur Spira

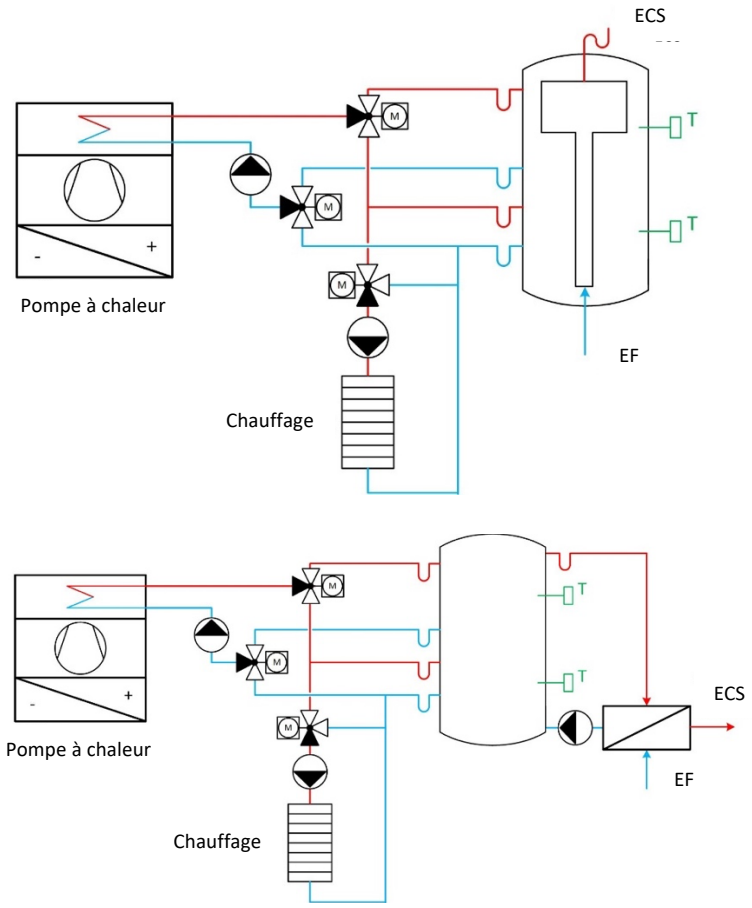
- En ce qui concerne le chargement et la stratification, les mêmes règles de stabilisation du flux et de hauteurs de raccordement que pour le chargement Magro doivent être respectées, des chargements étagés ou stratifiées sont possibles.
- Comme pour le chargement Magro, l'accumulateur peut être chargé pratiquement jusqu'en bas si la conception est adaptée.

- En raison de la capacité d'échange de chaleur limitée de l'échangeur de chaleur à tubes en spirale, la température mise à disposition à partir de l'accumulateur diminue considérablement après une première "traversée" du contenu du tube en spirale. La durée pendant laquelle la température peut être maintenue au-dessus d'une certaine valeur de consigne est ensuite une conséquence de la température dans la partie supérieure de l'accumulateur et de la longueur du tube spiralé dans cette zone d'accumulation. Les surfaces d'échange de chaleur trop faibles doivent être compensées par une température plus élevée de la charge, ce qui se fait au détriment de l'efficacité de la pompe à chaleur.
- Comme il n'est pas possible de procéder à une décharge stratifiée prononcée, il en résulte dans la partie inférieure de l'accumulateur des températures qui permettent le développement de légionelles pendant une période prolongée. Cet état de fait, combiné au fait que l'eau de cette zone de l'accumulateur n'est éventuellement chauffée que brièvement et généralement pas à une température très élevée avant d'être distribuée, est en contradiction avec la désignation "accumulateur hygiénique". Aucune étude scientifique n'a encore été menée pour savoir si, globalement, l'avantage d'avoir "moins" d'eau potable dans l'accumulateur peut compenser l'inconvénient d'une "courte durée à une température suffisamment élevée".
- Une combinaison avec un retour de circulation n'est possible que si une dérivation du tube spiralé est prévue au milieu du ballon, à laquelle le retour de circulation peut être raccordé. Pour cette raison, les réservoirs hygiéniques sont généralement utilisés dans les petites installations.

3.5. Accumulateur combiné – Tank-in-Tank

Le réservoir combiné classique du design Tank-in-Tank[1] se compose d'un réservoir d'eau chaude sanitaire monté dans la partie supérieure d'un volume de réservoir tampon. Selon le type de construction, l'eau chaude sanitaire est préchauffée par un tube droit de grand diamètre ou par des échangeurs de chaleur tubulaires en spirale (tubes lisses ou Spira) dans la partie inférieure du réservoir tampon. Le but de cette conception est de stocker simultanément de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire et de la chaleur pour le chauffage des locaux dans un accumulateur capable de séparer les deux zones de température grâce à la stratification thermique.

[1] Parfois, les accumulateurs spiralés ou les accumulateurs tampons avec module d'eau chaude instantanée sont également appelés accumulateurs combinés au sens large, lorsque, comme l'accumulateur combiné classique Tank-in-Tank, ils stockent dans le même accumulateur aussi bien de la chaleur pour l'eau chaude que de la chaleur pour le chauffage des locaux, en utilisant la stratification thermique.



Caractéristiques :

- Convient aux maisons individuelles et multifamiliales.
- Fabrications spéciales jusqu'à l'immeuble collectif, approvisionnement complet en énergie solaire (accumulateur annuel, éventuellement assisté par une pompe à chaleur) possible.
- Séparation propre de l'eau chaude et du chauffage essentielle
- Concept hydraulique importante, commutation du retour pour le chargement de l'eau chaude sanitaire obligatoire.
- Tenir compte des sections de raccordement et des vitesses d'entrée.

Figure 7 : Accumulateur combiné / En-haut "Tank-inTank" / En-bas "FriWa"

- Le chargement s'effectue par raccordement direct du générateur de chaleur. La hauteur de raccordement du départ en cas de charge d'eau chaude est moins critique, car la chaleur est transmise avec un retard considérable en raison de la puissance de transfert thermique limitée de l'eau du réservoir tampon vers le réservoir d'eau chaude sanitaire.
- Dans cette conception, il est important que le retour vers la pompe à chaleur soit prélevé au-dessus de la zone de chaleur ambiante de l'accumulateur lors de la charge d'eau chaude et que la sonde de température qui déclenche la charge d'eau chaude soit montée à une distance suffisante (min. 30 cm) au-dessus de la zone de chaleur ambiante. Dans le cas contraire, il en résulte des pertes d'efficacité considérables (Haberl et al. 2014, Haller et al.2014).
- En général, il faut s'attendre à des pertes d'efficacité importantes si le circuit de chauffage et le secteur de l'eau chaude sanitaire sont mélangés dans le réservoir (intégration hydraulique, diamètre de raccordement, position de la sonde, régulation).
- En raison de la très grande dépendance des coefficients de performance du système vis-à-vis de l'intégration hydraulique et de la capacité de stratification des accumulateurs combinés, le PAC Système-Module prévoit que des directives doivent être respectées pour l'intégration hydraulique (par ex. retour en cas de charge d'eau chaude au-dessus de la zone de chaleur ambiante) et que l'accumulateur doit disposer d'un certificat de stratification. Pour plus de détails, veuillez consulter les dispositions du PAC Système-Module.

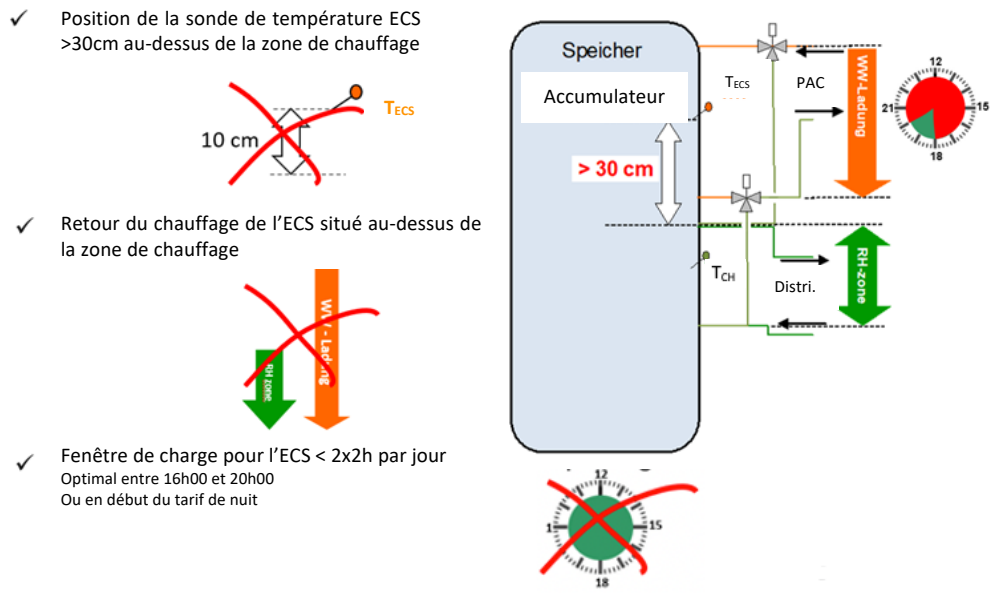


Figure 8 : Intégration hydraulique des accumulateurs combinés pour PAC (source : Ostschweizer Fachhochschule, Institut SPF)

Autres citations:

Haberl R, Haller MY, Reber A, Frank E. Combining Heat Pumps with Combistores: Detailed Measurements Reveal Demand for Optimization. Energy Procedia 2014;48:361-9. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.042.

Haller MY, Haberl R, Mojic I, Frank E. Hydraulic Integration and Control of Heat Pump and Combi-storage: Same Components, Big Differences. Energy Procedia 2014;48:571-80. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.067.

3.6. Chauffe-eau pompe à chaleur / WPZ : PAC pour eau chaude sanitaire (chauffe-eau PAC)

Les chauffe-eaux pompes à chaleur offrent une variante séparée et totalement découplée hydrauliquement du générateur de chaleur de chauffage. Pour les petites capacités jusqu'à 500 l environ, des appareils compacts sont proposés avec une pompe à chaleur placée sur le réservoir. La pompe à chaleur air/eau puise généralement la chaleur dans la pièce où elle est installée, mais il est possible de monter de courtes gaines de ventilation pour l'aspiration de l'air extérieur sur certains modèles. Il est recommandé d'avoir un volume de pièce d'au moins 15 m³/kW de puissance de pompe à chaleur installée (source : Guide de la production d'eau chaude sanitaire, BWP, 2019). La chaleur est transmise par un échangeur de chaleur dit de sécurité sous forme de tubes en cuivre enroulés à l'extérieur du réservoir. Le fluide frigorigène de la pompe à chaleur se condense dans ces tubes.

Pour des exigences de performance plus élevées, on trouve désormais de plus en plus d'appareils split ou monobloc. Dans ce cas, l'évaporateur de la pompe à chaleur se trouve à l'extérieur en raison de la circulation d'un volume d'air plus important. Une conduite remplie de fluide frigorigène ou d'eau de chauffage mène alors au réservoir d'eau chaude sanitaire.

- L'un des grands avantages de ces systèmes est qu'ils permettent de chauffer l'eau de manière autonome, indépendamment du chauffage, et que les erreurs d'installation sont quasiment impossibles.

- Il est possible de déshumidifier des caves ou des buanderies.
- En cas d'installation dans une zone chauffée, le chauffe-eau à pompe à chaleur tire son énergie de la chaleur ambiante fournie par le système de chauffage (ce que l'on appelle le vol de chaleur). Il convient donc d'accorder une attention particulière au local d'installation. L'installation doit impérativement se faire en dehors du volume chauffé (à l'exception des chauffe-eau PAC dont la source de chaleur est l'air extérieur).
- Un fonctionnement exclusivement à l'air extérieur n'est pas recommandé pour les appareils compacts. D'une part, les limites d'utilisation des appareils sont limitées à de légères températures de gel et la chaleur à des températures extérieures plus basses est produite par un registre électrique. D'autre part, les procédures de dégivrage sont beaucoup moins efficaces (dégivrage par gaz chaud) que les pompes à chaleur air/eau traditionnelles avec une inversion de cycle pour le dégivrage.

Une bonne vue d'ensemble de l'installation et de l'exploitation des chauffe-eaux à pompe à chaleur est disponible dans la fiche technique "Pompes à chaleur pour eau chaude : économiser de l'argent lors de la préparation de l'eau chaude", publiée en 2012 par GebäudeKlima Schweiz.

3.7. Aperçu des systèmes

	Maison individuelle	**Immeuble locatif**	**Très grand besoin en ECS**
Chauffe-eau	Compact	Variante split	Variante split sous condition
Chauffe-eau à registre	Très courant	Uniquement pour les petits immeubles locatifs	Trop peu de puissance
Chauffe-eau hygiénique	Oui	-	-
Chauffe-eau combiné	Oui	Seulement pour les maisons solaires actives	
Système de charge (Magro)	Possible	Oui	Oui
Production ECS instantanée (FriWa)	Possible	Oui	Oui
Maintien de la chaleur par ruban chauffant	-	Si nécessaire	Si nécessaire
Maintien de la chaleur par circulation	-	Si nécessaire	Si nécessaire

4. Maintien en température

Par maintien en température, on entend le maintien en température des conduites de distribution de l'eau chaude sanitaire. Cela est surtout nécessaire lorsque, sans maintien de la température, la durée nécessaire pour atteindre la température utile serait trop longue en raison de conduites longues et déjà refroidies depuis le dernier soutirage (par exemple dans les immeubles collectifs). Selon la norme SIA 385/1, cette durée est déterminée jusqu'à ce que la température atteigne 40 °C et s'élève au maximum à 15 secondes sans maintien en

température et à 10 secondes avec maintien en température. Tant pour des raisons d'hygiène[2] que d'efficacité énergétique, il convient de renoncer à un maintien en température de la distribution dans la mesure du possible (c'est-à-dire lorsque le confort peut être assuré sans maintien en température). Il existe plusieurs possibilités de maintenir la température des conduites de distribution.

Les plus courantes sont :

- Circulation de l'eau chaude
- Ruban chauffant

qui sont décrits plus en détail dans les sous-chapitres suivants.

En règle générale, pour les immeubles collectifs, tant la SIA 385/1 que la SSIGE W3/E3 stipulent que le maintien de la chaleur doit fonctionner sans interruption (24/24, 7/7) (c.-à-d. pas d'interruption pendant la nuit). Cette règle s'applique également aux maisons individuelles pour la SSIGE W3/E3, mais pas pour la SIA 385/1.
Des études de terrain ont en outre montré que les systèmes de distribution avec maintien de la chaleur sont généralement plus sensibles à la contamination par les légionelles (dans pratiquement toutes les études, et de manière significative dans certaines d'entre elles). Dans les maisons individuelles, des études de terrain ont montré qu'une interruption de la circulation ou du chauffage des conduites de distribution jusqu'à 8 heures par nuit n'entraîne PAS de risque accru. Dans les logements collectifs, une interruption pourrait être préjudiciable. En outre, le potentiel d'économie est plus faible pour les immeubles collectifs que pour les maisons individuelles, car la probabilité d'un prélèvement d'eau chaude pendant la nuit augmente avec le nombre de personnes. Pour les maisons individuelles, le potentiel d'économie d'énergie est toutefois élevé et, en outre, aucun inconvénient hygiénique n'est à prévoir sur la base des connaissances acquises lors des études de terrain (source : W. Mathys, J. Stanke, M. Harmuth, E. Junge-Mathys, Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating, International Journal of Hygiene and Environmental Health. 211 (2008) 179-185. doi:10.1016/j.ijheh)

Nous n'avons pas connaissance d'études systématiques qui auraient permis de déterminer si, en général, les bandes chauffantes ou la circulation conduiraient à un meilleur résultat hygiénique (légionelles aux points de prélèvement).

4.1. Circulation de l'eau chaude

La circulation d'eau chaude consiste à ramener une conduite du point de prélèvement d'eau le plus éloigné à l'accumulateur de chaleur et à veiller, à l'aide d'une pompe, à ce que l'eau chaude circule en permanence, ce qui permet de maintenir les conduites chaudes. Selon la taille et le nombre de colonnes montantes dans les bâtiments desservis, plusieurs lignes de circulation parallèles peuvent être desservies par une pompe. Cela nécessite un équilibrage hydraulique efficace, qui permet de maintenir le même débit ou - mieux encore - la même température de retour dans toutes les branches parallèles. Pour des raisons d'hygiène, tant la

[2] Dans la plupart des études de terrain sur les légionelles, qui distinguent la distribution avec maintien de la chaleur de la distribution sans maintien de la chaleur, les légionelles ont été trouvées plus fréquemment dans les systèmes avec distribution avec maintien de la chaleur que dans les autres systèmes.

SIA 385/1 que la SSIGE W3/E3 prescrivent, dans le cas standard, une température de retour de 55 °C dans toutes les branches partielles ainsi que dans la conduite collective avant l'entrée du ballon. Sur deux points, la W3/E3 est ici plus sévère et conduit à plus d'inefficacité et de consommation d'énergie que la SIA 385/1.

- La directive W3/E3 prescrit une température de départ de 60 °C en plus de la température de retour.
- La SIA autorise, pour des systèmes irréprochables sur le plan de l'hygiène et en tenant compte de l'autocontrôle, un abaissement à 55 °C pour le départ et à 52 °C pour le retour.
- En raison des débits élevés dans le conduit de circulation, il faut veiller à ce que le retour de circulation soit bien stratifié dans le réservoir.
- Une mauvaise stratification entraîne un grand nombre de démarrages de pompes à chaleur nécessaires et réduit significativement l'efficacité de la pompe à chaleur (parfois > 25% de consommation supplémentaire). (Source : étude de l'OFEN "Production d'eau chaude au moyen de pompes à chaleur dans les immeubles collectifs" de B. Vetsch et al. 2012). Il en va de même pour d'autres générateurs de chaleur, mais les études correspondantes font défaut.
- Si une circulation d'eau chaude est combinée avec un mélange central d'eau froide (par exemple en combinaison avec des installations solaires thermiques ou une surélévation de la température de l'accumulateur comme stratégie d'optimisation de la consommation propre PV), il faut veiller, pour des raisons d'hygiène, de confort et d'efficacité, à ce que le couplage hydraulique soit correct, conformément à la fiche technique suissetec 5/2021 "Combinaison d'une protection centrale contre les brûlures avec une circulation d'eau chaude".

4.2. Ruban chauffant de maintient

Au lieu d'un conduit de circulation, il est possible d'installer des chauffages électriques d'accompagnement pour le maintien de la chaleur. Comme pour les systèmes de circulation, ceux-ci doivent également maintenir la température de l'eau des conduites à une température minimale standard de 55 °C, facilitée par la norme SIA 52 °C. Les rubans chauffants d'accompagnement présentent à la fois des avantages et des inconvénients par rapport aux systèmes de circulation :

Avantages :

- Moins de longueur de conduite, car pas de conduite de retour. Cela entraîne moins de pertes de chaleur directement à partir des conduites ainsi que moins d'installations de tuyaux et de matériel d'isolation.
- Des longueurs de tuyaux plus courtes signifient aussi un risque plus faible de fuites.
- Installation plus rapide et donc généralement moins coûteuse.
- Installation Plug&play avec température autorégulée.
- Pas de retour dans le réservoir et donc pas d'influence sur la stratification du réservoir, pas d'équilibrage hydraulique en cas de plusieurs colonnes montantes, pas de réglage du débit de la pompe nécessaire.

Inconvénients :

- Ne peut pas bénéficier de la chaleur solaire ou d'un COP plus élevé d'une pompe à chaleur pour fournir la chaleur nécessaire pour couvrir les pertes de maintien en température.
- L'optimisation de l'autoconsommation PV n'est possible que de manière limitée pour le maintien de la chaleur (fonctionnement 24h/24 du ruban chauffant).
- En cas de panne, le coût de remplacement est nettement plus élevé que pour une circulation, où seule la pompe doit être remplacée.
- Des manques d'isolation sur certains tronçons ou même des zones non isolées peuvent conduire à des températures dans les canalisations plus basses en dehors des heures de soutirage que ce qui serait attendu avec la circulation d'eau chaude.

4.3. Conditions pour un fonctionnement efficace

Pour tous les systèmes de traçage électrique, il convient de respecter les points suivants :

- Isolation sans faille des conduites maintenues au chaud.
- Réaliser un système de conduites aussi court que possible (commence dès la planification)
- Ne pas surdimensionner les sections des câbles
- Utiliser des accumulateurs bien stratifiés
- Il est possible de renoncer à un thermosiphon au départ du ballon d'eau chaude dans les systèmes avec maintien de la température.

5. Stagnation

Il est généralement admis que la stagnation de l'eau dans les systèmes de distribution d'eau potable peut nuire à l'hygiène de l'eau. En cas de stagnation prolongée, la rouille ou d'autres substances se détachent des tuyaux et réservoirs en métal ou en plastique et affectent la turbidité et le goût de l'eau. Si la stagnation a lieu à une température qui favorise le développement de micro-organismes, ceux-ci peuvent se multiplier de manière excessive et mettre la santé en danger. Outre la stagnation proprement dite, trois autres facteurs jouent un rôle important :

- Température
- Nutriments
- Durée (temps)

5.1. Une approche différenciée de la stagnation

L'opinion quelque peu indifférenciée selon laquelle une stagnation prolongée entraîne automatiquement plus de problèmes de légionelles n'est certainement pas valable dans cette formulation simple. Plusieurs études l'ont déjà montré, et c'est pourquoi Hammes et d'autres [Source : Rhoads & Hammes 2021] concluent que le thème de la stagnation doit être abordé de manière plus différenciée. Voici quelques réflexions différenciées à ce sujet :

- Une augmentation de la rouille et d'autres dégradations dues à la dissolution de substances ou de matériaux (p. ex. métaux lourds) de l'accumulateur de chaleur ou des tuyaux est à prévoir pratiquement à chaque température et augmente certainement

avec la durée de la stagnation. De plus, les exigences organoleptiques de l'eau potable ne peuvent plus être respectées (turbidité, goût et odeur). C'est pourquoi une stagnation prolongée est toujours un problème d'hygiène et les installations doivent être correctement rincées au plus tard avant la mise en service.

- Une augmentation des légionnelles ou d'autres germes pathogènes n'est à prévoir que si l'eau stagnante, respectivement les surfaces en contact avec l'eau sur lesquelles un biofilm peut se former, présentent une température qui favorise cette croissance ET si une offre correspondante en nutriments - selon le micro-organisme, l'oxygène en fait également partie - est disponible.
- Il est peu probable que la concentration de légionelles augmente lorsque l'eau est stockée à plus de 50 °C pendant une période prolongée. C'est pourquoi les grandes quantités d'eau stockées en dehors de la zone de croissance des légionelles (c'est-à-dire < 20 °C[3] ou > 45 °C) ne posent pas de problème du point de vue de la prolifération des légionelles. Au contraire, il faut plutôt s'attendre à ce qu'un stockage prolongé à des températures supérieures à 50 °C fasse également baisser les concentrations de légionelles. Il n'est donc pas étonnant que les études de terrain révèlent plutôt une relation négative entre la taille ou le dimensionnement de l'accumulateur et la présence de légionelles qu'une relation positive, dans la mesure où la température de l'accumulateur est supérieure à 50 °C [Haller & Ruesch, 2019]. À des températures plus basses, qui se situent dans la zone de croissance, c'est plutôt l'inverse.
- Les légionelles sont des germes aérobies. Cela signifie qu'elles ne peuvent pas survivre sans oxygène. Toutefois, en cas de stagnation prolongée, l'oxygène est consommé par la corrosion (c'est-à-dire l'oxydation) des surfaces métalliques ou par d'autres micro-organismes, en particulier dans les conduites et les réservoirs métalliques. En l'absence d'apport d'oxygène, il faut donc partir du principe que les éventuelles populations de légionelles, même à des températures qui permettent ou favorisent la croissance, régressent après une phase initiale de croissance, dès que l'oxygène se fait rare ou est épuisé. Dans les systèmes qui ne sont pas utilisés pendant une longue période (par exemple un bâtiment vide), un prélèvement d'eau régulier par l'injection d'eau fraîche et oxygénée peut donc éventuellement favoriser la croissance des légionelles au lieu de l'empêcher ou de l'endiguer.

Rhoads WJ, Hammes F. Growth of Legionella during COVID-19 lockdown stagnation. Environmental Science : Water Research & Technology 2021;7:10-5. https://doi.org/10.1039/D0EW00819B.
Haller M, Ruesch F. LegioSafe - Sécurité contre les légionelles dans les installations solaires thermiques. Rapperswil : SPF Institut für Solartechnik ; 2019.

5.2. Passage du chaud au froid

Il est physiquement impossible de réaliser un système qui chauffe et éventuellement stocke de l'eau de moins de 20 °C à plus de 50 °C sans qu'il y ait des périodes de transition ou des passages locaux dans lesquels règne une température correspondant à la zone de croissance des légionelles. Pendant le chauffage ou le refroidissement, l'eau traverse la zone de température critique, et même entre les parties de l'installation qui sont à plus de 50 °C et

[3] Dans les recommandations de la SIA et de W3, la plage inférieure est indiquée par < 25 °C, car 20 °C sont rapidement dépassés à température ambiante. On sait que les légionelles peuvent aussi se multiplier en dessous de 20 °C, plus la température est basse, plus elle est lente.

celles qui sont à moins de 20 °C, il y a toujours quelque part la zone de transition locale, car la température n'est pas numérique et peut varier brusquement sur une distance infiniment petite. Pour la prolifération des légionelles, il est donc important d'endiguer ces zones localement et dans le temps, car il est impossible de les éviter complètement. Les mesures sont par exemple :

- Les conduites qui s'échauffent lors du prélèvement d'eau et qui ne sont pas maintenues chaudes en permanence doivent ensuite refroidir rapidement et ne devraient pas être isolées thermiquement.
- Les transitions entre les parties de l'installation chauffées en permanence et les parties de l'installation qui se refroidissent entre-temps ou qui sont toujours froides devraient être séparées thermiquement par un thermosiphon. Cela permet de réduire le trajet des tuyaux, sur lesquels se trouvent des températures qui favorisent la croissance des légionnelles.

Sur la base de ces réflexions, les points de prélèvement rarement utilisés doivent être considérés comme critiques, surtout si leur conduite d'éjection est raccordée à une conduite chaude en permanence, car dans ces cas, il y a localement une transition de température dans la zone critique pendant une longue période.

Un rinçage des conduites d'eau (eau chaude et eau froide) est absolument recommandé du point de vue de l'hygiène, surtout après des absences prolongées. Dans le cas des douches, il est recommandé d'effectuer le rinçage de l'eau chaude séparément du rinçage de l'eau froide, au moins pendant un certain temps, afin d'augmenter la température dans les robinets.

6. Mise en place

Le choix d'un local approprié pour l'installation de la technique de production d'eau chaude sanitaire influence les défis du maintien de la chaleur ainsi que la thématique de la stagnation. Généralement, les réservoirs d'eau chaude sanitaire sont installés dans ou à côté de la chaufferie classique. Il en résulte des conduites très courtes entre le générateur de chaleur et le réservoir, mais les conduites d'eau potable sont très longues.
Un concept alternatif consiste à placer le ballon dans la pièce d'habitation, au centre entre la cuisine et la salle de bains. Il en résulte des conduites d'eau potable très courtes avec des temps d'écoulement très faibles. Cela permet en outre de réduire la consommation d'eau et de renoncer à un maintien de la température. L'effet secondaire est que les pertes de chaleur de l'accumulateur contribuent au chauffage des pièces en hiver.
Comme la conduite menant au générateur de chaleur est beaucoup plus longue dans ce type d'installation, le nombre de recharges du ballon devrait être réduit au minimum pour minimiser les pertes de chaleur en réchauffant la conduite.

Pour les chauffe-eaux à pompe à chaleur, il faut renoncer à les installer dans un local chauffé en raison de l’utilisation de la chaleur ambiante.

Les systèmes décentralisés de production d'eau chaude au moyen de PAC sont également de plus en plus utilisés dans les immeubles collectifs. Selon le système, la chaleur est récupérée à partir du retour du chauffage, d'un réseau d'énergie ou de l'air évacué. Certains de ces

systèmes sont tout à fait intéressants, tant pour des raisons d'hygiène que d'efficacité énergétique.

- Conduites de soutirage courtes
- Temps de soutirage court
- Consommation d'eau réduite
- Utilisation des pertes de chaleur des locaux chauffés

Figure 9: Réservoir d'eau chaude placé dans la zone d'habitation pour réduire les temps de soutirage

7. Stratégies de charge avec des pompes à chaleur

7.1. Exigences pour la charge

7.1.1 Hystérèse

Dans les systèmes à sonde unique, la demande de réchauffage de l'eau chaude s'effectue sur la base d'une différence de température entre la température de consigne et la température réelle de l'eau chaude. Cette différence est appelée hystérésis. La température mesurée de l'eau chaude réservée est fortement déterminée par l'emplacement et le montage de la sonde de température. En outre, le comportement des couches dans le réservoir a une grande influence. La régulation à une sonde ne fonctionne en principe pas avec un système qui effectue une "charge par stratification" très efficace.
Certains régulateurs proposent également un réglage pour différentes hystérèses, par exemple entre le jour et la nuit ou, dans le cas d'une installation solaire thermique, en liaison avec une prévision météorologique. Cela permet de retarder une recharge matinale et de faire en sorte que la recharge soit effectuée par l'installation solaire. Une charge optimisée supplémentaire peut être effectuée au moyen d'une régulation à deux sondes. La sonde supérieure du ballon déclenche la demande de charge, lorsque le ballon est entièrement chargé jusqu'au tiers inférieur, la sonde inférieure ou une sonde dans le retour de la pompe à chaleur termine la charge. Pour une gestion optimisée du ballon, par exemple par un gestionnaire d'énergie en autoconsommation, deux sondes sont plus appropriées.

7.1.2 Fenêtre de charge et horaire journalier

En plus de la valeur réglée pour cette hystérèse, la recharge peut être bloquée ou libérée par une fenêtre de temps. En bloquant la recharge, l'accumulateur continue à se refroidir de la même manière qu'avec une hystérèse plus élevée. Le générateur de chaleur pour la recharge n'est libéré qu'à un moment plus favorable, par exemple : en cas de tarif d'électricité de nuit, en cas d'offre d'électricité PV, de température extérieure de l'air plus élevée pour les pompes à chaleur air/eau, etc. Pour les pompes à chaleur air/eau en particulier, l'efficacité de la production d'eau chaude est la plus faible aux premières heures de la journée en raison de la température la plus froide. De plus, des dégivrages supplémentaires peuvent être nécessaires en cas de gel, ce qui n'est plus le cas à midi, lorsque les températures sont nettement plus élevées. Un simple réglage via la minuterie permet ici d'exploiter une grande partie du potentiel.

Dans l'exemple suivant, on constate que la recharge juste après midi a pour conséquence que la température extérieure est plus élevée de 10 K que lors d'une recharge pendant la nuit. Cela correspond à un avantage d'efficacité d'environ 25%.

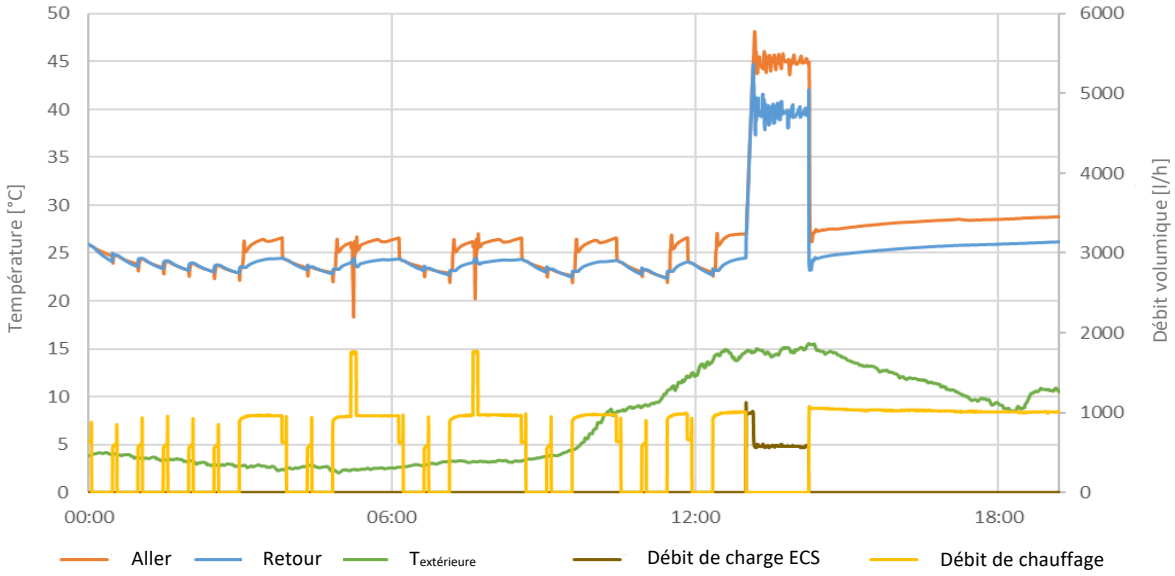


Figure 10 : Chargement de l'eau chaude après-midi : optimal par rapport à l'utilisation de l'électricité PV propre et à la température extérieure.

7.1.3 Absences, logements vacants et appartements de vacances

En cas d'absence de courte durée (jusqu'à un mois environ), nous recommandons de ne pas modifier la régulation de la production d'eau chaude sanitaire. En cas d'absence prolongée, le système peut être désactivé. La désactivation n'est toutefois pas conforme aux recommandations de la SSIGE. En règle générale, après une longue période d'inutilisation, l'eau du robinet doit être rincée à fond avant d'être utilisée, voir chapitre 5 Stagnation. En cas de non-utilisation de longue durée, un prélèvement d'échantillons pour analyse de légionelles peut également être envisagé après la remise en service (idéalement avant la première utilisation).

7.2. Pompes à chaleur Inverter à vitesse variable / influence de la puissance de charge

La puissance thermique des pompes à chaleur modernes inverter peut être adaptée en ajustant la vitesse de rotation du compresseur dans le cadre de la plage de modulation. Cette régulation est particulièrement importante pour les pompes à chaleur air/eau. En raison des grandes différences de température de l'air extérieur entre l'hiver et l'été, il en résulte une différence de puissance importante de la pompe à chaleur lorsque la vitesse n'est pas adaptée. C'est ce que montre l'illustration suivante pour l'installation de mesure de terrain 16 (source : mesures de terrain de l'OFEN pour les pompes à chaleur par le WPZ). En été, tant la puissance du compresseur que la puissance de recharge thermique sont supérieures de près de 50% à celles en hiver, car le régime n'est pas réduit. En raison de la puissance plus élevée et de la surface inchangée de l'échangeur de chaleur (surface du registre ou surface de l'échangeur de chaleur à plaques), une température de départ plus élevée s'établit du côté primaire de la pompe à chaleur. Dans le cas de l'installation 16, celle-ci est augmentée de 7,8 K en été, ce qui a pour conséquence une efficacité nettement plus faible, car le COP des pompes à chaleur diminue d'environ 2-3% par Kelvin de température.

En comparaison, dans l'installation 3, la puissance est réduite à environ 50% en été, ce qui conduit à une efficacité significativement meilleure. Comme la durée de la recharge n'est typiquement pas critique en été, la réduction de la puissance est recommandée lorsque la température extérieure est supérieure à 5°C. En fonction de la taille de l'installation, cela peut bien sûr aussi se faire à des températures extérieures plus basses (p. ex. 0°C), car la puissance de la pompe à chaleur augmente lorsque les températures extérieures sont plus élevées et les besoins en chaleur pour le chauffage du bâtiment diminuent.

En règle générale, la charge des pompes à chaleur à modulation de puissance doit être effectuée à un régime moyen maximal afin d'obtenir une efficacité élevée. Ce n'est qu'en cas de besoins très élevés en eau chaude que la régulation devrait demander une puissance de charge plus élevée.

Installation	été/hiver		Différence de température été/hiver	Janvier 2021			Juin 2021		
	$P_{élec}$	P_{therm}		P_elek.	P_therm.	T_VL_AL	P_elek.	P_therm.	T_VL_AL
	[%]	[%]	[K]	[W]	[W]	[°C]	[W]	[W]	[°C]
3	51%	79%	-0.67	4607	11790	50.07	2333	9272	49.40
16	148%	146%	7.83	3544	10398	45.07	5238	15186	52.90

Figure 11 : Amélioration de l'efficacité par la réduction de la puissance lors de la charge ECS (source : OFEN pompes à chaleur mesures sur le terrain WPZ)

7.3. Réchauffement au moyen d'un corps-de-chauffe électrique

Si la limite d'utilisation de la pompe à chaleur est atteinte sans que la température de consigne requise pour des raisons d'hygiène ne soit atteinte, de nombreuses installations utilisent un corps-de-chauffe électrique pour chauffer l'eau jusqu'au niveau de température souhaité dans le réservoir d'eau chaude. En cas d'eau potable très dure, le corps-de-chauffe de la pompe à chaleur est moins sensible à l'entartrage, car les éléments chauffants très chauds ne sont pas en contact direct avec l'eau potable. Les pertes de chaleur par la conduite de charge sont

généralement faibles tant que le réservoir d'eau chaude est installé à proximité de la pompe à chaleur et que la régulation de l'eau chaude est bien réglée.
Pour un chauffage d'appoint permanent au moyen d'une résistance intégrée, celle-ci doit être placée dans le tiers/la moitié supérieure. Les "corps-de-chauffe de secours" situés tout en bas chargent l'ensemble de l'accumulateur et la PAC peut ainsi travailler nettement moins, l'efficacité de l'installation diminue en conséquence.
Il est important de commander correctement la résistance. Celui-ci ne doit être activé qu'après avoir chauffé l'accumulateur avec la pompe à chaleur. Une commande externe temporaire entraîne de nettes pertes d'efficacité, car l'élément chauffant fonctionne souvent plus longtemps sans le préchauffage par la pompe à chaleur. En outre, il convient de noter que la norme SIA 385/1 ne recommande plus la fonction anti-légionellose.
Selon la norme SIA 385/1:2020, chapitre 3.2.5.3, il est toutefois exigé de recourir à un procédé préventif reconnu pour le respect de l'hygiène de l'eau potable lorsque des parties de la distribution d'eau chaude ne sont pas conçues pour les températures recommandées, mais en principe pour des températures plus basses. Dans ce cas, il est encore nécessaire de clarifier quels procédés sont utilisés de manière optimale, car l'augmentation périodique de la température est controversée. Il en va de même pour les échangeurs de chaleur ou d'autres éléments de la distribution d'eau chaude, lorsque les températures de consigne ne sont régulièrement pas atteintes.

- 0 kWh Besoin élec. corps-de-chauffage
- 0% charge électrique
- 51.8°C Température ECS
- WNG : 3.11

- 612 kWh Besoin élec. corps-de-chauffage
- 56% charge électrique, programme anti-légionnelle journalier
- 53.1°C Température ECS
- WNG : 1.74

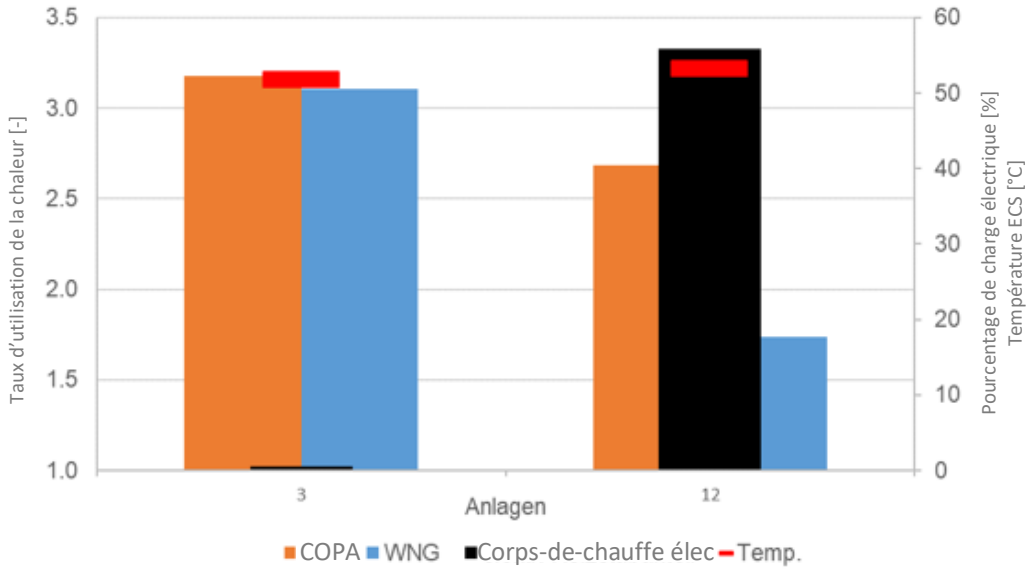


Figure 12 : Comparaison de l'efficacité de deux installations similaires. À gauche, l'élément chauffant est commandé par la PAC / À droite, l'élément chauffant est commandé indépendamment de la PAC. (Source : OFEN pompes à chaleur mesures sur le terrain par le WPZ)

7.4. Autoconsommation PV

L'énergie photovoltaïque générée localement peut être autoconsommée de manière forcée par le biais de pompes à chaleur pour la production d'eau chaude et/ou le chauffage des locaux. Les publications sur ce thème sont par exemple :

- CombiVolt (Programme Pompes à chaleur de l'OFEN)
- Autoconsommation PV - Optimisation avec production de chaleur (SuisseEnergie, en cours d'élaboration).
- https://www.energieschweiz.ch/gebaeude/eigenverbrauch
- Guide de l'autoconsommation, SuisseEnergie, juillet 2021
- Pompes à chaleur et PV - Bases de planification pour les bâtiments d'habitation (EFH et MFH), SuisseEnergie, octobre 2021
- SAVOIR MINERGIE : Refroidir avec le PV - Technique du bâtiment en option pour le bâtiment Minergie, (https://www.minergie.ch/media/minergie_kuehlung_d.pd).

La possibilité la plus simple d'augmenter la consommation propre des pompes à chaleur utilisées pour la production d'eau chaude est de décaler la fenêtre de charge l'après midi. L'idéal est de tenir compte également de la disponibilité de l'électricité photovoltaïque ce jour-là. Pour ce type d'augmentation de l'autoconsommation, il n'est pas nécessaire d'augmenter la taille de l'accumulateur, mais celui-ci doit pouvoir couvrir les besoins d'une journée après une seule charge. Si le stockage est surdimensionné, les pertes de chaleur supplémentaires l'emportent sur les avantages de l'optimisation de l'autoconsommation PV.

Un chauffage supplémentaire avec un corps-de-chauffe électrique ne devrait être effectué que si la pompe à chaleur seule n'est pas en mesure d'atteindre la température requise selon la norme SIA 385/1. Dans ces cas, il est important, pour des raisons d'efficacité, que le corps-de-chauffe ne soit mis en marche que lorsque la pompe à chaleur a terminé sa charge.

Les combinaisons de produits de différents fabricants entraînent souvent des dysfonctionnements. L'association allemande des pompes à chaleur (Bundesverband Wärmepumpen e.V.) a créé et introduit SG Ready comme interface de communication, qui n'est toutefois pas encore utilisé de manière uniforme. L'association suisse Smart Grid définit des possibilités plus étendues pour l'augmentation de la consommation propre. Elle définit également la possibilité de moduler la puissance et d'envoyer des messages en retour de la PAC au régulateur central. Les commandes qui ne permettent d'augmenter la température de l'eau chaude qu'au moyen d'un corps-de-chauffe électrique ne sont pas recommandées.

Les pompes à chaleur ne peuvent chauffer le réservoir que jusqu'à la température maximale de départ de la pompe à chaleur pendant le chargement. Pour les pompes à chaleur air-eau, la température maximale de départ est souvent de l'ordre de 58-60°C. En raison de l'état de saturation de l'échangeur de chaleur intermédiaire, la température du réservoir d'eau chaude sanitaire n'atteint souvent que 55 °C après le chargement. Si, par une journée ensoleillée, l'énergie solaire reste disponible jusqu'à cette température après le chargement, il est tentant de charger le ballon à des températures encore plus élevées à l'aide d'un corps-de-chauffe électrique. Des études ont toutefois montré que le résultat est une perte financière pour le client final : comme le thermoplongeur électrique génère ce jour-là de la chaleur que la pompe à chaleur aurait normalement pu générer le lendemain, il faut plus de trois fois plus d'électricité. Il en résulte que c'est surtout l'injection d'électricité PV dans le réseau qui diminue, et non pas - ou seulement dans une moindre mesure - l'achat d'électricité du réseau. La perte de rémunération du photovoltaïque n'est pas compensée par une baisse correspondante des coûts d'achat du réseau électrique, et c'est le client qui paie.

7.5. Régulation / surveillance

Pour un fonctionnement efficace de la production d'eau chaude sanitaire, un monitoring est fortement recommandé. Certains fabricants de pompes à chaleur proposent déjà des systèmes simples et intégrés. Ceux-ci permettent par exemple d'observer l'évolution de la température de l'eau chaude sanitaire, les indices d'efficacité, etc. par le biais d'un accès Internet. Des concepts de surveillance externes sont également largement proposés (ex. : WP Cockpit du canton de Saint-Gall).
Mais un système de surveillance n'est pas seulement utile pour optimiser l'efficacité, mais aussi pour garantir le fonctionnement. Par exemple, lors des mesures de pompes à chaleur effectuées sur le terrain par le WPZ, la résistance électrique servant à réchauffer l'eau chaude était déjà défectueuse après une courte période de fonctionnement en raison d'un fort entartrage. Sans système de surveillance, ce défaut serait resté inaperçu pendant des mois, car il n'y avait pas de restriction de confort. Il aurait toutefois entraîné une augmentation des besoins en électricité et donc des coûts d'électricité.

Figure 13 : Un thermoplongeur entartré a pu être détecté sur la base du monitoring. (Source : OFEN pompes à chaleur mesures sur le terrain par le WPZ)

8. Le rôle de la stratification

On parle de stratification thermique de l'accumulateur lorsqu'il existe différentes zones de température dans l'accumulateur, clairement séparées les unes des autres par des couches de rupture thermique. L'eau chaude (au-dessus de 4 °C) étant plus légère que l'eau froide, une certaine stratification thermique s'installe automatiquement. Les systèmes à bonne stratification thermique exploitent mieux la capacité de stockage et conduisent à des solutions nettement plus efficaces sur le plan énergétique. La stratification thermique est particulièrement importante pour les systèmes utilisant l'énergie solaire thermique et/ou les pompes à chaleur. La stratification thermique permet de conserver l'exergie (efficacité exergétique élevée) et de réduire la production d'entropie dans le réservoir.
En combinaison avec des pompes à chaleur, l'efficacité exergétique de l'intégration du système et de l'accumulateur joue un rôle nettement plus important que les pertes de chaleur du système. En effet, l'inefficacité exergétique (= production d'entropie dans le système) est toujours compensée par des températures plus élevées de l'émission de chaleur (condenseur de départ) de la pompe à chaleur. Une augmentation de 10 K de la température de départ de la pompe à chaleur entraîne toutefois une augmentation de 20 à 30 % de la consommation d'énergie électrique du compresseur. L'efficacité du système augmente également dans le

même ordre de grandeur si l'on utilise un accumulateur à bonne stratification au lieu d'un accumulateur à mauvaise stratification. La stratification n'est toutefois pas le seul facteur déterminant pour une efficacité énergétique élevée, l'intégration hydraulique et la régulation le sont également.

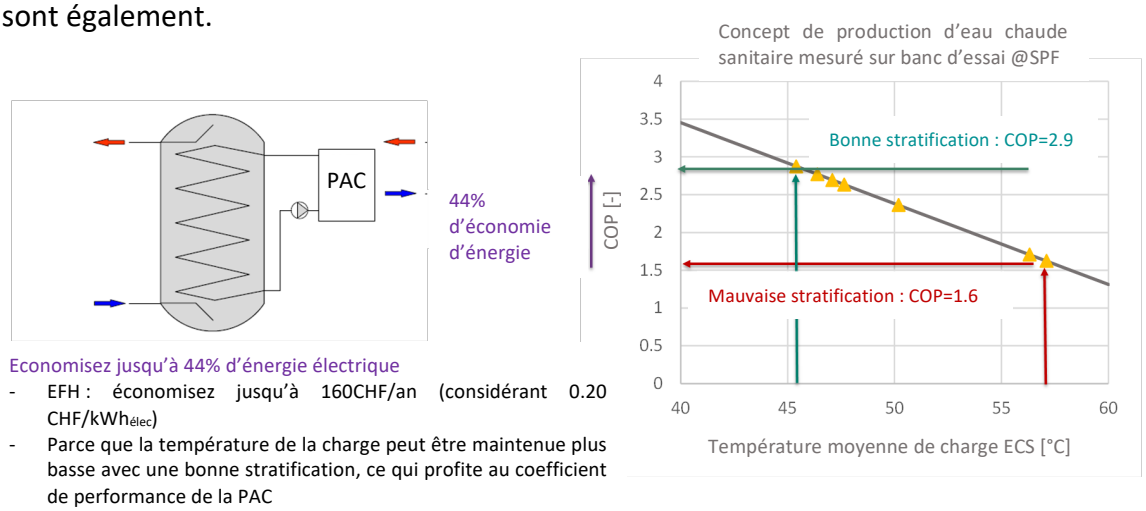


Figure 14 : Influence de l'efficacité exergétique de différents systèmes de stockage de l'eau chaude sur le coefficient de performance du processus de charge de l'accumulateur : un système avec des pertes d'énergie élevées atteint un coefficient de performance de 1,6, un système à bonne stratification avec peu de pertes d'énergie un coefficient de travail de 2,9. Ainsi, il faut 44% d'énergie électrique en moins pour fournir la même quantité d'eau chaude à la même température finale. Source : SPF.

Une bonne stratification de l'accumulateur est en outre avantageuse pour l'hygiène :

- Une bonne stratification de l'accumulateur se traduit par une couche de température très nette (voir figure 14 à gauche). En cas de bonne stratification, la couche d'origine de la température s'étend sur une hauteur moins importante de l'accumulateur et, par conséquent, la zone dans laquelle la croissance des légionelles est possible (température comprise entre 25 et 45 °C) s'étend sur une zone moins importante de l'accumulateur.
- Une bonne stratification, c'est-à-dire un chargement et un déchargement en couches, signifie que la couche à température élevée se déplace vers le bas lors du chargement, puis vers le haut lors du déchargement. Ainsi, la zone de l'accumulateur où la température est critique ne reste jamais longtemps à la même hauteur. La prolifération des légionelles a lieu principalement dans le biofilm sur les surfaces. Ces surfaces sont toutefois fixes et ne se déplacent pas avec la couche fragile. C'est pourquoi, dans un réservoir bien stratifié, il n'y a pas de biofilms qui pourraient permettre la croissance de légionelles sur une longue période. La plupart du temps, la température à un endroit fixe est soit trop chaude, soit déjà trop froide pour les légionelles.

À l'exception des accumulateurs combinés certifiés en Suisse pour le PAC Système-Module, les planificateurs, les installateurs et les clients finaux n'ont pratiquement aucune possibilité d'évaluer l'efficacité de la stratification d'un accumulateur lors de son achat. De l'extérieur, on ne voit pas si un accumulateur stratifie bien ou non et, à l'exception mentionnée, il n'existe aucune obligation pour les fabricants de faire mesurer et d'indiquer l'efficacité de la stratification selon une procédure normalisée. Ce manque de compétence de la part du client peut être considéré comme un problème non résolu, tant pour l'efficacité énergétique des installations (il est possible d'économiser jusqu'à 30% de l'énergie électrique, été comme

hiver, même pour les accumulateurs d'eau chaude) que pour l'hygiène (les accumulateurs bien stratifiés offrent moins de possibilités de prolifération de légionelles).

Pour ceux qui conçoivent des accumulateurs, il existe des recommandations claires (Gwerder e.a. 2016, Battaglia e.a. 2018, Haberl e.a. 2019) :, www.spf.ch/diffstrat, www.spf.ch) :

- Le chargement et le déchargement directs ont le potentiel d'obtenir une meilleure stratification que les échangeurs de chaleur internes.
- Là où le fluide pénètre dans le volume de stockage en cas de chargement direct, la vitesse doit être réduite à moins de 0,1 m/s.
- Il est recommandé d'utiliser des chicanes et des déviations suivies d'une section de stabilisation d'une longueur d'au moins 6 x le diamètre hydraulique.
- Pour les grands accumulateurs, il est possible d'utiliser des tubes coudés qui laissent entrer le fluide en direction du fond ou du couvercle, en combinaison avec des tôles perforées qui séparent la zone d'entrée du reste de l'accumulateur.
- Les tôles perforées peuvent également être utilisées dans d'autres configurations afin de séparer d'autres zones de l'accumulateur de la zone de l'écoulement d'entrée et de les soustraire ainsi en grande partie à l'influence de mouvements de fluide indésirables dans l'accumulateur. Cela peut également présenter un avantage en termes d'hygiène, car une tôle perforée située sous le volume de couverture de pointe empêche les mauvais flux de fluides froids provenant de la zone inférieure de l'accumulateur, qui ne sont éventuellement pas exempts de parois hygiéniques, de pénétrer dans la distribution d'eau chaude sanitaire.
- Les tuyaux diffuseurs horizontaux ne sont pas adaptés pour obtenir une bonne stratification.

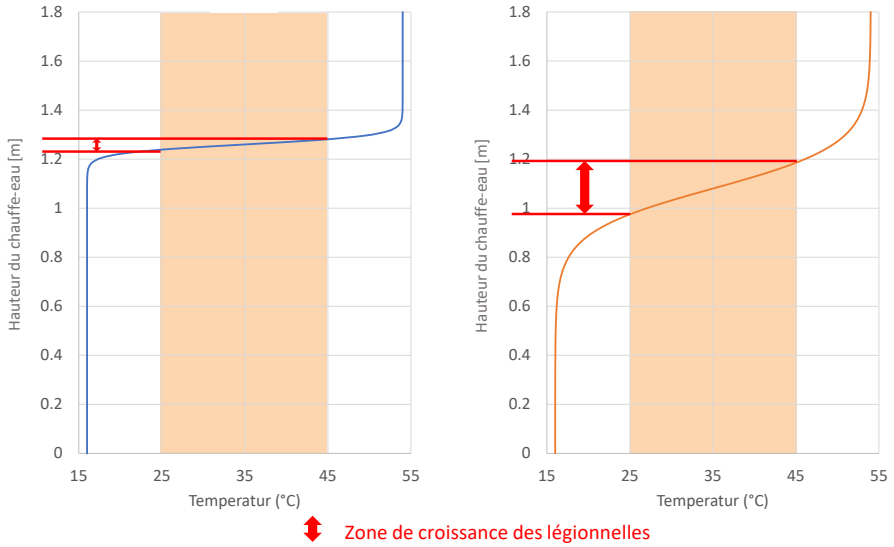


Figure 15 : Réservoir très bien stratifié (à gauche) et moyennement stratifié (à droite) pendant un chargement ou un déchargement. Dans un réservoir bien stratifié, la zone dans laquelle la croissance de légionelles est possible en raison des températures est nettement plus faible. Image : SPF.

Battaglia M, Züllig L, Haller M. BigStrat - Stratification de grands accumulateurs de chaleur. Rapperswil : SPF Institut für Solartechnik ; 2018 ; https://www.ost.ch/de/projekt/spf-bigstrat.

Haberl R, Amstad D, Haller M. DiffStrat 2 - Stratification des accumulateurs thermiques par conception de diffuseurs : CFD et validation. Rapperswil : SPF Institut für Solartechnik ; 2021 ; https://www.ost.ch/de/projekt/spf-diffstrat.
Gwerder C, Lötscher L, Podhradsky J, Kaufmann M, Huggenberger A, Boller S, et al. Horizontal Inlets of Water Storage Tanks With Low Disturbance of Stratification. J Sol Energy Eng 2016 ; 138:051008-051008. https://doi.org/10.1115/1.4034228.

9. Pertes de chaleur dans le réservoir et la circulation sanitaire

Dans la SIA 385/2, la valeur par défaut pour les pertes thermiques des conduites sanitaires maintenues en température est de 0,12 - 0,15 kWh par m et par jour. Si la mise en œuvre est bonne, ces valeurs correspondent relativement bien aux valeurs mesurées dans les études de terrain (source : étude de l'OFEN "Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern" de B. Vetsch et al. 2012). En revanche, les valeurs de perte des accumulateurs varient parfois fortement, comme le montrent les mesures effectuées sur le terrain avec des pompes à chaleur (graphique suivant). On voit bien que plus les besoins en eau chaude diminuent, plus les pertes de chaleur augmentent en valeur relative. Les besoins totaux en énergie sont naturellement faibles en cas de faible quantité de soutirage.

Objet	Caractéristiques	Contenance chauffe-eau [l]	Besoins journaliers en ECS [l]	Pertes de chaleur moyennes par jour [kWh/j]	Pertes d'énergie de charge ECS [%]
22	SW, Sa, d	925	527	-8.16	-27%
1	LW, NB, fix	388	261	-1.28	-10%
2	SW, NB, d		259	-8.99	-48%
3	LW, Sa, d	495	240	-1.51	-13%
5	LW, NB, fix	408	200	-2.44	-23%
10	SW, Sa, fix	495	181	-3.21	-26%
15	LW, Sa, d	300	156	-1.43	-24%
21	SW, Sa, d	362	153	-1.44	-21%
16	LW, Sa, d	476	134	-3.35	-38%
11	LW, Sa, d	423	113	-2.25	-31%
7	SW, Sa, fix	388	110	-3.12	-38%
20	LW, Sa, fix	388	98	-3.35	-45%
17	LW, Sa, d	344	96	-2.34	-38%
24	LW, Sa, d	372	89	-7.41	-70%
13	SW, Sa, d	362	83	-1.90	-34%
12	LW, Sa, d	344	55	-2.65	-51%
4	SW, Sa, d	276	11	-6.02	-95%

Figure 16 : Pertes de stockage dans les ballons d'eau chaude sanitaire (Mesures sur le terrain des pompes à chaleur, WPZ)

Comme mentionné, la circulation de l'eau chaude a un effet très négatif sur l'efficacité de la production d'eau chaude, comme le montre le graphique ci-dessous. Même avec des valeurs de prélèvement d'eau très élevées, plus de 50% de l'énergie de charge est perdue.

Dans de nombreux cas, il n'est pas facile de trouver les raisons des pertes de chaleur élevées. Les points suivants doivent toutefois être respectés pour une bonne installation.

- Une bonne isolation sans faille de l'accumulateur et de toutes les conduites sanitaires maintenues en température.
- Nombre de raccords le plus faible possible sur le réservoir.
- Siphon thermique sur les conduites d'eau chaude (à l'exception des conduites de maintien de la chaleur).
- Conduites courtes entre le générateur de chaleur (pompe à chaleur) et le chauffe-eau.

Outre une bonne efficacité énergétique, ces points permettent également d'améliorer l'hygiène, car l'eau chaude reste chaude et l'eau froide reste froide. Dans la pratique, une augmentation excessive de la température de départ n'entraîne souvent pas l'amélioration souhaitée de l'hygiène, mais peut avoir pour effet secondaire d'augmenter la température de l'eau froide. Cela peut à son tour entraîner un risque pour l'hygiène.

10. Autres points

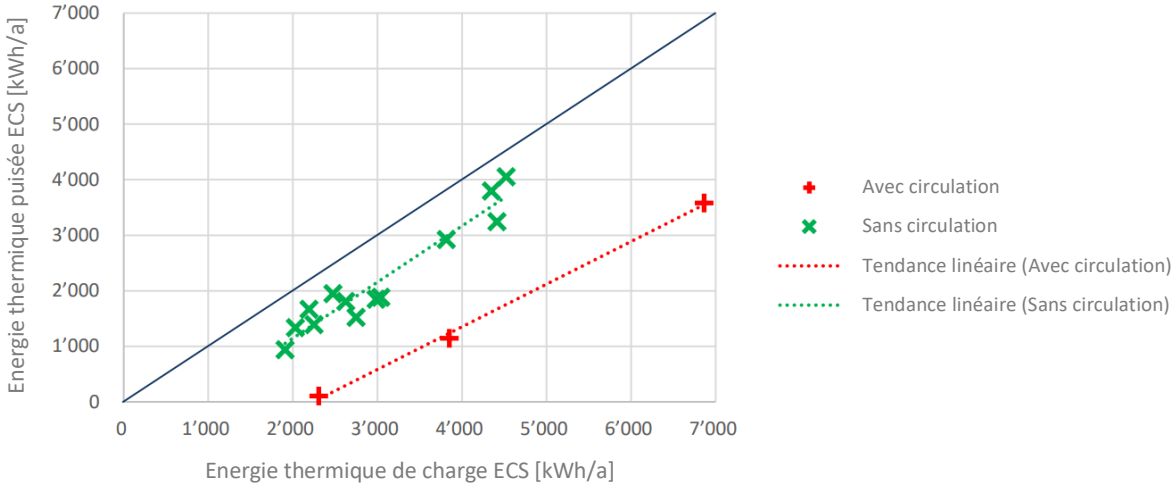


Figure 17 : Efficacité de la production d'eau chaude (source : mesures de pompes à chaleur sur le terrain, WPZ)

Pour obtenir des systèmes efficaces et hygiéniques, il serait également judicieux de miser davantage sur des systèmes complets (PAC et accumulateur en tant que paquet global). De tels systèmes sont très répandus, notamment sur le marché japonais. Le grand avantage de ces systèmes est qu'ils peuvent être réglés de manière optimale en laboratoire et qu'en cas de mise en œuvre optimale, tous les composants sont adaptés les uns aux autres. De plus, la responsabilité globale de tels systèmes est automatiquement clarifiée. Ce qui n'est souvent pas le cas pour les systèmes composés de plusieurs composants individuels.

Des études ont montré que les systèmes qui ne peuvent pas atteindre des températures d'eau chaude de 50°C au point de sortie présentent un risque plus élevé d'infestation par les légionelles. Parallèlement, la température de l'eau froide doit être inférieure à 20°C. Les

utilisateurs peuvent en déduire un autotest relativement simple. Si les températures de l'eau chaude et de l'eau froide sont atteintes, le risque est relativement faible. Si les températures ne peuvent pas être respectées, il est recommandé de vérifier les réglages de la pompe à chaleur et de les adapter si nécessaire. Si les températures ne sont toujours pas atteintes, un test de légionellose peut être effectué sur demande.

11. Conclusions et bilan

Ce rapport donne un aperçu de l'état de la technique en matière de production d'eau chaude par pompe à chaleur. Il s'est notamment penché sur les différents concepts de stockage ainsi que sur les stratégies de charge et de décharge et a résumé les principales conclusions concernant les paramètres qui influencent l'efficacité et l'hygiène.

Certaines caractéristiques des systèmes de production d'eau chaude sanitaire sont avantageuses tant du point de vue de l'efficacité que de l'hygiène, et il y a convergence des objectifs (donc pas de conflit d'objectifs). Les avantages tant pour l'hygiène que pour l'efficacité sont par exemple :

- Des conduites de soutirage et de distribution courtes.
- Si possible (maisons individuelles, petits immeubles collectifs), renonciation de la circulation sanitaire.
- Bonne isolation thermique sans faille de tous les composants maintenus en température en permanence.
- Siphonage entre les composants du système d'eau chaude sanitaire qui sont chauds en permanence et ceux qui sont froids ou qui se refroidissent entre-temps.
- Concepts d'accumulateurs bien stratifiés ainsi que chargement et déchargement avec le moins de pertes d'exergie possible (surfaces d'échange de chaleur suffisamment grandes)
- Le moins possible de transfert de chaleur du réservoir et des conduites d'eau chaude vers les conduites d'eau froide.

Un conflit d'objectifs entre l'hygiène et l'efficacité énergétique n'existe qu'en ce qui concerne les températures qui, pour des raisons d'hygiène, sont plus élevées que ce qui serait nécessaire pour des raisons de confort.

Il existe un manque de compétence du commanditaire, respectivement un manque d'informations fiables, en ce qui concerne la capacité de stratification des accumulateurs de chaleur (à l'exception des accumulateurs combinés autorisés par le PAC Système-Module, qui ne sont toutefois pas très nombreux sur le marché).