



Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif

Guide technique

Guide réalisé par le COSTIC



COSTIC

Comité Scientifique et Technique
des Industries Climatiques

Référence ADEME

010888

ISBN N°978-2-36301-015-5

Juin 2019

sommaire

AVANT - PROPOS	4
INTRODUCTION	5
1. LES SYSTÈMES INDIVIDUELS	6
1.1. Les chauffe-eau gaz et les chaudières double-service	6
1.2. Les ballons électriques	8
1.3. Les chauffe-eau solaires individuels	9
1.4. Les systèmes solaires combinés	10
1.5. Les chauffe-eau thermodynamiques	11
1.6. Les pompes à chaleur double-service	12
2. LES SYSTÈMES COLLECTIFS	13
2.1. Les systèmes collectifs de production associés à des chaudières	14
2.1.1. Les besoins d'ECS dimensionnants et le nombre de logements standards	14
2.1.2. Les systèmes de production instantanée par échangeur	16
2.1.3. Les systèmes de production par échangeur et ballons de stockage d'ECS	18
2.1.4. Les systèmes de production par ballon à échangeur	31
2.1.5. Les systèmes de production avec un stockage primaire et un échangeur externe au stockage	37
2.1.6. Les systèmes de production avec un stockage primaire et un échangeur interne au stockage	42
2.2. Les accumulateurs gaz	42
2.3. Les systèmes collectifs de production par pompe à chaleur dédiée à l'ECS	43
2.3.1. Les pompes à chaleur au CO ₂	44
2.3.2. Les pompes à chaleur à échange direct avec un stockage d'ECS à « stratification dynamique »	46
2.3.3. Les pompes à chaleur associées à un échangeur externe et des ballons de stockage d'ECS	48
2.3.4. Les pompes à chaleur associées à un ballon à échangeur	50
2.4. Les ballons d'ECS électriques collectifs	52
2.5. Les chauffe-eau solaires centralisés	53
3. LES SYSTÈMES COLLECTIFS INDIVIDUALISÉS	55
3.1. Les chauffe-eau solaires collectifs individualisés	55
3.2. Les modules thermiques d'appartements	57



Avant-propos

Cet ouvrage s'inscrit dans la continuité du guide ADEME sur les besoins d'ECS en habitat, publié en 2016 [\[en ligne ici\]](#). Il présente de nouvelles méthodes de dimensionnement de référence des systèmes collectifs de production d'ECS en habitat.

Pourquoi de nouvelles méthodes de dimensionnement ?

- Les nouvelles valeurs de référence de besoins d'ECS en habitat collectif du guide ADEME de 2016 sont plus faibles que les valeurs utilisées jusqu'à lors dans les méthodes de dimensionnement existantes,
- Le marché a fortement évolué depuis ces 15 dernières années, compte tenu tout d'abord des contraintes liées au risque légionelles et puis plus récemment sous l'impulsion du contexte énergétique. Les solutions de production d'ECS se sont multipliées,
- Les méthodes de dimensionnement des systèmes de production d'ECS datent généralement de plusieurs dizaines d'années et donnent des résultats variés. Elles reposent sur des valeurs anciennes de besoins et ne traitent pas des solutions qui se sont développées ces dernières années telles que les systèmes de stockage primaire et les PAC dédiées à l'ECS.

C'est pourquoi des travaux ont été menés afin d'établir de nouvelles méthodes de dimensionnement des systèmes collectifs.

L'originalité de ces travaux, une première en soit par rapport aux méthodes existantes est :

- de s'appuyer sur de nouvelles valeurs de besoins plus complètes que tout ce que l'on possédait jusqu'à lors,
- de tenir compte, en plus de la satisfaction des besoins, d'exigences de température en sortie de production vis-à-vis de la prévention des risques liés aux légionelles,
- de mieux tenir compte du comportement des systèmes grâce à l'usage de la simulation thermique dynamique lors des travaux de développement des méthodes.

Ces travaux ont été réalisés par le COSTIC en collaboration avec un groupe de travail composé de l'ADEME, d'EDF, de GRDF, de constructeurs d'appareils de production d'ECS (BDR THERMEA FRANCE, CHAROT, DAIKIN, HELIOPAC, LACAZE ENERGIES et MITSUBISHI ELECTRIC), du bureau d'études AMOES et de ANTAGUA (CAPRIS). L'objectif était d'établir de nouvelles méthodes de référence pour les systèmes collectifs en habitat.

Ce guide à destination de tous les acteurs de la filière : industriels, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, installateurs ; présente le fruit de ces travaux. Il décrit également les méthodes de dimensionnement de référence existantes des systèmes individuels et collectifs individualisés de production d'ECS.

INTRODUCTION

Quel est le contenu de ce guide ?

Ce guide traite du dimensionnement des systèmes de production d'ECS pour l'habitat. Il aborde successivement le dimensionnement :

- des systèmes individuels pour une maison ou pour un appartement,
- des systèmes collectifs pour les immeubles d'habitation,
- des systèmes collectifs individualisés qui réalisent à partir d'une source de chaleur commune à l'ensemble de l'immeuble, une production d'ECS individuelle pour chaque appartement.

De nouvelles méthodes de dimensionnement sont données pour les systèmes de production d'ECS collectifs associés à des chaudières (ou à une sous-station) et pour les pompes à chaleur collectives dédiées à l'ECS. Pour les autres systèmes, une description des méthodes de dimensionnement de référence existantes est présentée.

Comment utiliser ce guide ?

Pour chacun des systèmes, sont présentés successivement :

- une brève description du système visé,
- un ou plusieurs schémas de principe de ce système à titre d'illustration,
- des informations éventuelles sur le fonctionnement du système,
- la méthode de dimensionnement et ses limites d'application,
- des exemples d'application éventuels de cette méthode de dimensionnement permettant de mieux comprendre son utilisation concrète,
- des informations complémentaires éventuelles afin d'appréhender plus finement l'influence de certains paramètres tels que le bouclage et la position de la sonde de régulation.

Une bibliographie, à la fin du guide, indique les références des ouvrages cités dans ce guide.

Quelles recommandations pour une meilleure maîtrise des consommations énergétiques des systèmes de production ?

Vis-à-vis des performances énergétiques, il importe :

- d'éviter le surdimensionnement des systèmes de production d'ECS à la fois au niveau du volume de stockage et de la puissance. Le surdimensionnement est préjudiciable aussi bien sur la performance énergétique de l'installation que sur sa pérennité,
- d'éviter le recours à un bouclage pour une maison ou un appartement qui conduit à une dégradation des performances du système de production et à une très forte augmentation des consommations,
- d'optimiser, en habitat collectif, la conception du bouclage de manière à avoir des pertes thermiques et des débits de bouclage les plus faibles possibles. Outre l'influence importante du bouclage sur les consommations énergétiques de l'installation, la prise en charge du bouclage par le système collectif de production d'ECS influe de manière importante sur son dimensionnement. La puissance supplémentaire à prévoir pour ce réchauffage de la boucle est généralement très supérieure à la valeur de pertes thermiques du bouclage. C'est pourquoi se pose également la question de la pertinence de la prise en charge ou non de celui-ci par la production,
- de calorifuger l'ensemble de l'installation de production d'ECS (collecteurs et canalisations du circuit primaire et ECS, échangeur, vannes, circulateur),
- d'opter pour des ballons présentant des pertes thermiques limitées,
- de limiter le plus possible, pour une production collective, le nombre de ballons pour un même volume de stockage afin de réduire les pertes thermiques,
- de gérer de manière optimale les appoints dans le cas des systèmes ENR.

1. LES SYSTEMES INDIVIDUELS

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les systèmes qui assurent une production individuelle d'ECS pour une maison ou un appartement. Ce chapitre traite ainsi successivement du dimensionnement :

- des chauffe-eau gaz et des chaudières double-service,
- des ballons électriques,
- des chauffe-eau solaires individuels,
- des systèmes solaires combinés,
- des chauffe-eau thermodynamiques,
- des pompes à chaleur double-service.

Pour les deux premiers systèmes, des tableaux, issus des méthodes de référence existantes, qui permettent un dimensionnement rapide sont donnés. Pour les autres systèmes, une brève description des méthodes de dimensionnement de référence est présentée.

1.1. Les chauffe-eau gaz et les chaudières double-service

Quels systèmes visés ?

Les appareils visés dans ce chapitre sont les générateurs individuels à simple ou double-service, à combustible gaz ou fioul :

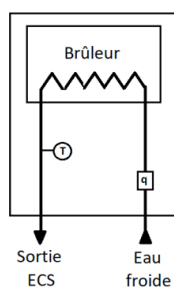
- les chauffe-eau ou chauffe-bains gaz instantanés,
- les accumulateurs gaz,
- les chaudières double-service gaz ou fioul assurant le chauffage et la production d'ECS. Ces chaudières peuvent être murales ou au sol.

Les chaudières peuvent assurer une production d'ECS :

- instantanée,
- à micro-accumulation grâce à un petit ballon de moins d'une dizaine de litres ou à leur échangeur sanitaire maintenu en température,
- à accumulation avec un ou deux ballons, intégrés sous le même habillage que la chaudière ou bien séparés. Il peut s'agir d'un ballon avec un échangeur à serpentin ou à double enveloppe ou de bien de ballon tampon à régénération directe raccordé à l'échangeur sanitaire de la chaudière.

Figure 1 **Chauffe-eau gaz instantané**

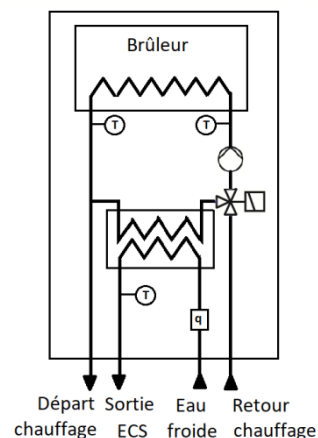
Exemple



©COSTIC

Figure 2 **Chaudière murale instantanée double-service**

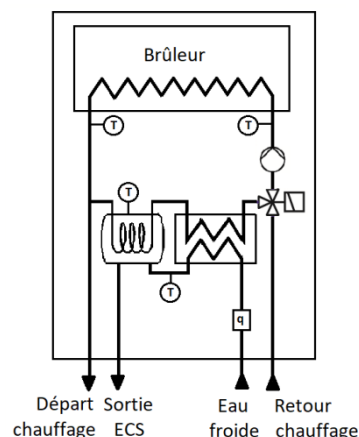
Exemple



©COSTIC

Figure 3 **Chaudière murale à micro-accumulation double-service**

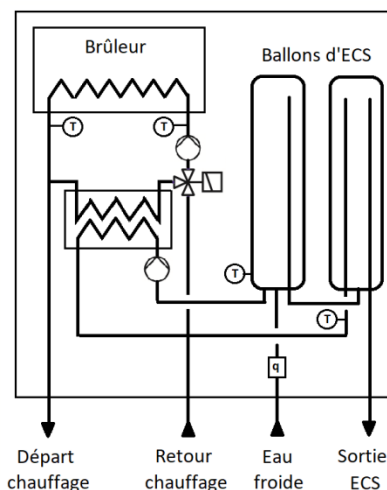
Exemple



©COSTIC

Figure 4 **Chaudière murale à accumulation double-service**

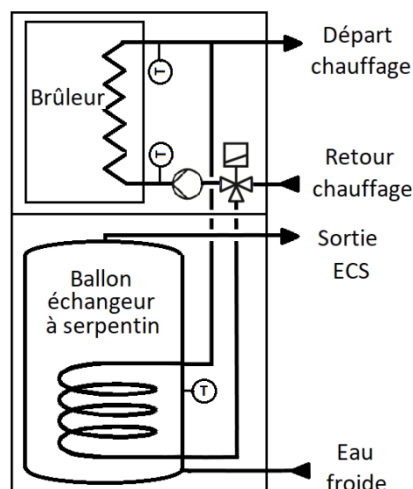
Exemple d'une chaudière murale avec deux petits ballons tampons d'ECS à régénération directe



©COSTIC

Figure 5 Chaudière au sol à accumulation double-service

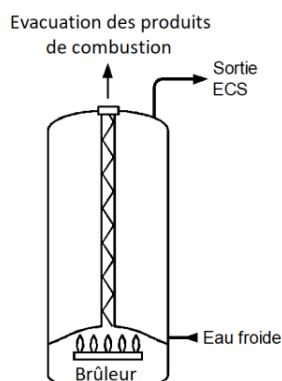
Exemple d'une chaudière au sol dotée d'un ballon d'ECS avec un échangeur à serpentin



©COSTIC

Figure 6 Accumulateur gaz

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Les générateurs gaz ou fioul sont choisis de manière à satisfaire des exigences de débit spécifique d'ECS fixées en fonction des appareils sanitaires du logement. Les exigences de débit spécifique indiquées dans le tableau ci-après sont les valeurs spécifiées dans le référentiel NF habitat & NF habitat HQE™ [11].

Le débit spécifique d'ECS est une caractéristique propre à chaque appareil, mesurée selon la norme NF EN 13203-1 [2] pour les générateurs à gaz et la norme NF EN 303-6 [3] pour les appareils au fioul. C'est le débit maximal que peut fournir un appareil avec une élévation de température moyenne de 30K, au cours de deux puisages successifs. La durée normée de ces deux puisages est de 10 minutes, avec un temps d'attente de 20 minutes entre chaque puisage.

Figure 7 Débits spécifiques minimaux requis

Exigences de la méthode de dimensionnement de référence de la certification NF Habitat & NF Habitat HQE™ [11]

Appareils sanitaires de la maison ou de l'appartement	Débits spécifiques minimaux ($\Delta T=30K$)
- Un évier, un lavabo, - une baignoire - ou une douche	12 l/min
- Au moins un évier, un lavabo, - une baignoire - et une douche	14 l/min
- Au moins un évier, un lavabo, - deux baignoires (ou une baignoire et deux douches)	16 l/min

Le débit spécifique dépend de la capacité de stockage et de la puissance du générateur. Le tableau figure 8 ci-après présente, à titre d'illustration, des exemples de valeurs pour différents types de chaudières double-service (ce tableau ne figure pas dans le référentiel NF habitat & NF habitat HQE™).

Figure 8 Exemples de solutions

Débit spécifique en l/min	Exemples de puissances minimales ECS et volumes requis pour des chaudières double-service		
	Chaudières instantanées ou micro-accumulées	Chaudières associées à un ballon	
12 l/min	25 kW		
14 l/min	29 kW	25 kW + 15 l	
16 l/min	34 kW	22 kW + 50 l	20 kW + 80 l
20 l/min		35 kW + 50 l	15 kW + 125 l
22 l/min			22 kW + 120 l

1.2. Les ballons électriques

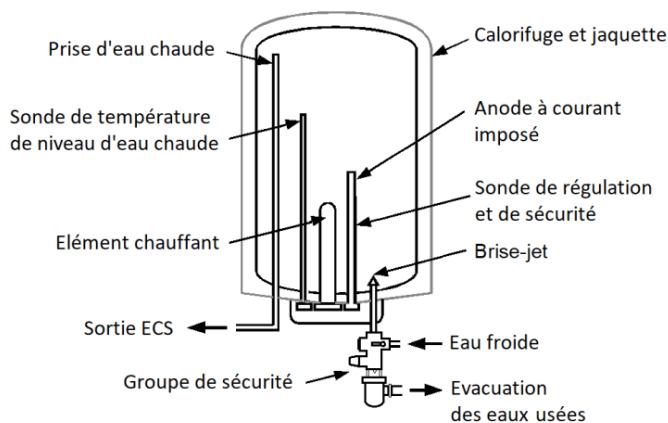
Quels systèmes visés ?

Les appareils visés dans ce chapitre sont les chauffe-eau électriques à accumulation, asservis aux heures creuses de la tarification, destinés à alimenter une maison ou un appartement. Ils peuvent être :

- **verticaux** (voir figure ci-après),
- **horizontaux** ; ces modèles présentent une moins bonne stratification des températures que les ballons verticaux. A capacité de stockage égale, leur volume utile d'eau chaude est plus faible que dans un ballon vertical. Ils ne sont préconisés que si l'installation d'un ballon vertical s'avère impossible, pour des raisons de disponibilité d'emplacement,
- **à double puissance** ; ces appareils sont dotés d'une seconde résistance électrique permettant un réchauffage rapide en cas de besoins exceptionnels,
- **à chauffe accélérée** ; ces modèles comportent une seule résistance mais d'une puissance plus élevée que les ballons standards. Ils permettent, comme les appareils à double-puissance, un réchauffage rapide en cas de besoins exceptionnels.

Figure 9 Ballon électrique vertical

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Le tableau ci-après indique directement la capacité minimale du ballon en fonction du type d'appareil et du nombre de pièces du logement. Ces indications sont données dans le cadre du label Promotelec [12] pour des appareils asservis aux heures creuses de la tarification.

La capacité des appareils est déterminée pour satisfaire :

- les besoins maximaux du logement, pour les ballons standards verticaux ou horizontaux,
- des besoins plus faibles, dans le cas des ballons à double-puissance ou à chauffe accélérée. En effet, ces derniers permettent un réchauffage rapide en cas de besoins exceptionnels et sont à compléter pour les grands logements par des chauffe-eau de faibles capacités, afin d'alimenter les points de soutirage les plus éloignés du ballon.

Figure 10

Capacités minimales requises des chauffe-eau électriques à accumulation

Exigences de la méthode de dimensionnement de référence du label Promotelec [12]

	Capacité totale minimale du chauffe-eau électrique à accumulation				
	Type de logement ⁽¹⁾				
	Chambre individuelle et studio	2 pièces	3 pièces	4 pièces	5 pièces et plus
Ballon vertical	90 l	130 l	170 l	215 l	260 l
Ballon horizontal	90 l	130 l	170 l	-	-
Ballon à double puissance	70 l	90 l	110 l	130 l	130 ⁽²⁾ ou 170 l
Ballon à chauffe accélérée	70 l	90 l	130 l	170 l	170 l ⁽²⁾

(1) Il convient à minima de considérer que le nombre de pièces correspond au nombre de chambres + 1

(2) Cela implique la mise en œuvre d'un chauffe-eau électrique complémentaire de faible capacité, d'au moins 15 litres en cuisine ou 30 à 50 litres en salle d'eau

1.3. Les chauffe-eau solaires individuels

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les chauffe-eau solaires individuels (CESI) à circulation forcée destinés à assurer la production d'ECS d'une maison. Ces systèmes sont composés :

- de capteurs solaires vitrés,
- d'une boucle primaire qui assure le transfert d'énergie depuis les capteurs vers le ballon via l'échangeur intégré dans ce réservoir,
- d'un ballon solaire,
- d'un appoint.

Les capteurs peuvent être remplis en permanence ou l'installation peut être autovidangeable. Dans ce cas, à l'arrêt de la pompe, le liquide caloporteur contenu dans les capteurs est vidé automatiquement par gravité dans un dispositif de récupération.

L'appoint peut être :

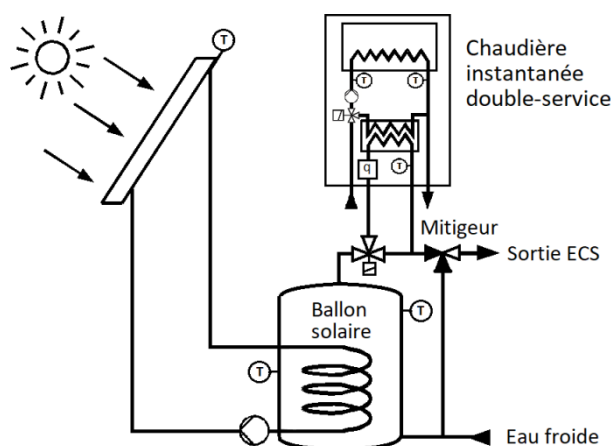
- intégré au ballon solaire. Il peut s'agir d'une résistance électrique ou bien d'un échangeur en partie haute du ballon alimenté par une chaudière. Le ballon est alors biénergie,
- séparé du ballon solaire. Cet appoint, placé en série en aval du ballon solaire, peut être un ballon électrique, un ballon à échangeur raccordé à un générateur de chaleur ou bien encore une chaudière instantanée ou à micro-accumulation.

Dans le cas d'un appoint par une chaudière, le ballon solaire peut être intégré sous le même habillage que le générateur.

Pour la mise en place des capteurs d'un CESI, il est nécessaire de posséder une surface suffisante, correctement orientée ($\pm 45^\circ$ par rapport au sud) sans effet d'ombrage.

Figure 11 **Chauffe-eau solaire individualisé**

Exemple de CESI avec un appoint par une chaudière instantanée



©COSTIC

Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces chauffe-eau solaires individuels, se référer aux Recommandations professionnelles RAGE : Chauffe-eau solaires en habitat individuel [5] (téléchargeable sur <https://www.programmepacte.fr/> ou <https://www.costic.com/>).

Ces Recommandations présentent les critères à prendre en compte pour le dimensionnement et indiquent des ratios pour une estimation rapide du volume de ballon et de la surface de capteurs solaires à prévoir pour des familles de 2 à 10 personnes.

La capacité de ballon est à dimensionner en fonction du nombre d'occupants, de leurs besoins journaliers d'ECS et du type de ballon (ballon solaire ou biénergie avec un asservissement ou non de l'appoint).

La surface de capteurs est à déterminer en fonction du volume de stockage solaire et de la zone climatique pour obtenir une productivité solaire annuelle comprise entre 400 et 500 kWh par m² de capteurs solaires (suivant la zone climatique).

L'appoint doit être dimensionné de manière à pouvoir couvrir seul les besoins en l'absence d'ensoleillement.

Le tableau ci-après synthétise 2 tableaux des Recommandations qui donnent des valeurs de volume de ballon et de surface de capteurs solaires pour des familles de 2 à 7 personnes ayant des consommations journalières d'ECS de 47 et 67 l à 40°C par personne.

L'utilisation de logiciel permet d'affiner ces valeurs.

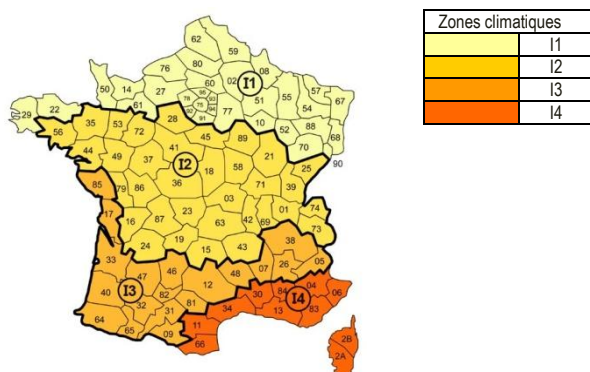
Figure 12 **Volume de ballon et surface de capteurs solaires en fonction du nombre d'occupants**

Ratios indiqués dans les Recommandations professionnelles RAGE sur les CESI [5] pour des consommations journalières par personne de 47 à 67 l à 40°C

		Nombre d'occupants					
		2	3	4	5	6	7
Volume du ballon solaire sans appoint intégré		100 l	100 à 150 l	150 à 200 l	200 à 250 l	200 à 300 l	250 à 400 l
		150 l	150 à 250 l	200 à 300 l	250 à 400 l	300 à 450 l	400 à 500 l
Surface de capteurs plans vitrés selon la zone climatique en m ²	I1	2	2 à 3	3 à 4	4 à 5,5	4 à 6,5	5 à 8
	I2	1,5 à 2	2 à 3	3 à 4	3 à 5	4 à 6	5 à 8
	I3	1,5 à 2	2 à 3	2,5 à 4	3 à 5	4 à 6	4 à 7
	I4	1,5 à 2	2 à 3	2 à 3	2,5 à 4	3 à 5	4 à 6

(1) Il s'agit soit d'un appoint électrique autorisé tout au long de la journée ou bien d'un appoint par un autre générateur via un échangeur intégré dans le ballon

Figure 13 Les 4 zones climatiques



©COSTIC

Eviter le surdimensionnement :

- Une surface de capteurs plus importante conduit à une faible augmentation de la couverture des besoins pour un surcoût plus élevé et des risques de surchauffe plus importants.
- **Privilégier une productivité solaire optimale** des capteurs entre 400 et 500 kWh par an et par m² de capteurs au taux de couverture des besoins.

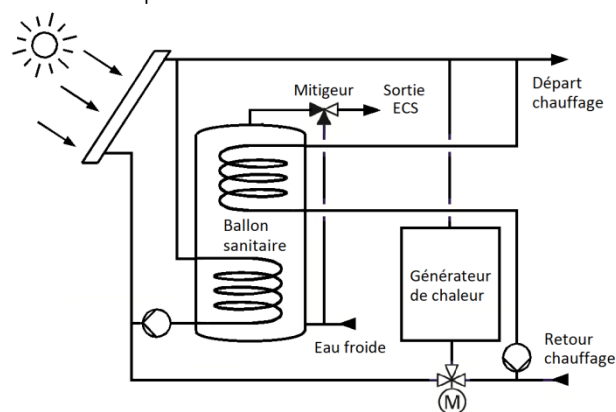
1.4. Les systèmes solaires combinés**Quels systèmes visés ?**

Les appareils visés dans ce chapitre sont les systèmes solaires combinés (SSC) indirects destinés à assurer la production d'ECS et le chauffage d'une maison. Ces systèmes dont les configurations sont multiples sont composés :

- de capteurs solaires vitrés. Les capteurs peuvent être remplis en permanence ou l'installation peut être autovidangeable.
Pour la mise en place des capteurs, outre la nécessité de disposer d'une surface suffisante correctement orientée ($\pm 45^\circ$ par rapport au sud) sans effet d'ombrage comme pour les CESI, une forte inclinaison des capteurs de SSC (entre 45 et 60°) est également recommandée pour optimiser la récupération d'énergie solaire durant la saison de chauffe et la minimiser en période estivale,
- d'une boucle primaire qui assure le transfert d'énergie depuis les capteurs vers le réservoir de stockage via un échangeur externe ou interne au stockage,
- d'un réservoir de stockage d'ECS ou d'eau de chauffage réchauffée par l'énergie solaire et par l'appoint (si nécessaire). Le réservoir d'eau peut intégrer pour la production d'ECS soit un échangeur sanitaire ou bien un ballon placé en partie haute de ce réservoir en bain-marie,
- d'un appoint assuré par une chaudière.

Figure 14 Système solaire combiné

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Pour le dimensionnement de ces systèmes solaires combinés, se référer aux Recommandations professionnelles RAGE : systèmes solaires combinés en habitat individuel [6] (téléchargeable sur <https://www.programmepacte.fr/> ou <https://www.costic.com/>).

Ces Recommandations donnent des indications pour le dimensionnement de la surface de capteurs solaires et du volume du réservoir de stockage.

La surface des capteurs est à déterminer en fonction des besoins annuels de chauffage et d'ECS de la maison. Le ratio moyen de dimensionnement indiqué est de 1 m² de capteur pour 1000 kWh de besoins annuels (chauffage et ECS). Cette surface peut être modulée en fonction de l'irradiation disponible, du type de SSC choisi et des préconisations du constructeur.

Pour le dimensionnement du ballon solaire, le ratio indiqué est de 50 à 100 l par m² de capteurs plans vitrés.

En ce qui concerne le système d'appoint, il doit être dimensionné de manière à pouvoir couvrir seul les besoins de chauffage et d'ECS en l'absence d'ensoleillement.

Eviter le surdimensionnement. Cela conduit à un coût plus élevé et engendre d'importants problèmes de surchauffe l'été avec une altération du liquide antigel et une usure prématurée des matériaux.

1.5. Les chauffe-eau thermodynamiques

Quels systèmes visés ?

Les appareils visés dans ce chapitre sont les chauffe-eau thermodynamiques individuels destinés à assurer la production d'ECS d'une maison ou d'un appartement. Ils sont composés d'un ballon d'ECS réchauffé par une pompe à chaleur (PAC) dédiée à cet usage.

La PAC peut utiliser, comme source froide, l'air ambiant d'un local non chauffé, l'air extérieur ou bien encore l'air extrait. Il s'agit généralement d'une PAC monobloc intégrée au dessus du ballon ou bien encore dans le cas de PAC sur air extérieur de modèle bi-bloc (voir figure ci-après).

L'appoint et/ou secours peut être assuré par une résistance électrique, par un échangeur intégré dans le ballon raccordé à une chaudière ou par une chaudière instantanée.

Les modes de régulation peuvent être variés. Le réchauffage de l'ECS peut être autorisé :

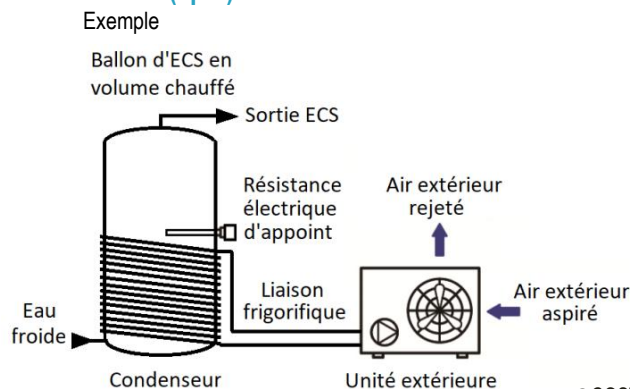
- uniquement sur la période nocturne ; c'est généralement le mode de fonctionnement adopté pour les modèles sur air ambiant et air extérieur,
- ou bien tout au long de la journée ; plus particulièrement dans le cas des modèles sur air extrait, dont la puissance est généralement moins élevée, compte tenu des plus faibles débits d'air.

De plus, le NF DTU 65.16 P1-1 sur les installations de pompes à chaleur [1] impose que les chauffe-eau thermodynamiques disposent au moins des deux modes de régulation suivants :

- un mode « thermodynamique » qui n'autorise que le fonctionnement de la PAC pour la production de l'ECS,
- un mode « automatique » avec un enclenchement automatique de la PAC et de l'appoint, avec une priorité à la PAC.

A noter que les temps de réchauffage de l'ECS avec des chauffe-eau thermodynamiques sont généralement plus longs qu'avec des ballons électriques car leurs puissances, globalement, sont plus faibles.

Figure 15 **Chauffe-eau thermodynamiques sur air extérieur bi-bloc (split)**



Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces chauffe-eau thermodynamiques, se référer au **NF DTU 65.16 P1-1** sur les installations de pompes à chaleur [1].

Ce NF DTU spécifie les besoins d'ECS journaliers moyens à considérer pour le dimensionnement des chauffe-eau thermodynamiques en fonction du nombre d'occupant du logement.

Il impose que l'appareil soit dimensionné de manière à satisfaire ces besoins d'ECS journaliers sans sollicitation de l'appoint.

En ce qui concerne la méthode de dimensionnement, celle-ci est présentée en annexe informative de ce NF DTU (pages 142 à 147).

Il s'agit de la méthode du cahier des charges des chauffe-eau thermodynamiques autonomes NF Electricité Performance LCIE 103-15/B [13]. Le principe de cette méthode consiste :

- tout d'abord, en fonction des caractéristiques propres d'un modèle de chauffe-eau thermodynamique (volume réel du réservoir, durée de mise en température, température de référence), à déterminer la quantité d'eau chaude à 40°C qui peut être fournie par la PAC de ce chauffe-eau sur la durée de fonctionnement autorisée,
- puis à vérifier que cette quantité est suffisante pour couvrir les besoins sans l'appoint.

En plus des formules de calcul, des tableaux sont également donnés pour permettre une application simplifiée de cette méthode dans le cas :

- de chauffe-eau sur air ambiant et sur air extérieur avec un asservissement heures creuses de 8h (pages 144 à 145).
- de chauffe-eau sur air extrait avec un fonctionnement autorisé sur 24h (pages 146 à 147).

1.6. Les pompes à chaleur double-service

Quels systèmes visés ?

Les appareils visés dans ce chapitre sont les pompes à chaleur (PAC) individuelles conçues pour assurer le chauffage et la production d'ECS d'une maison ou d'un appartement. Il peut s'agir de PAC air extérieur /eau ou eau /eau.

Ces PAC sont associées pour la production d'ECS à un ballon à échangeur le plus fréquemment à serpentin voire à double-enveloppe, avec un appoint électrique situé, en général, dans le ballon d'ECS.

Ce ballon peut être intégré sous le même habillage que la PAC ou bien séparé.

Comme les chaudières individuelles double-service, elles réalisent généralement une production de chaleur alternée pour le chauffage et l'ECS. Durant la saison de chauffe, pour produire l'ECS, le chauffage est arrêté et vice-versa. L'eau en sortie de condenseur de la PAC alimente soit l'échangeur du ballon d'ECS soit le circuit de chauffage (voir figure ci-après).

A la différence des chaudières double-service, les puissances sont généralement plus faibles et les capacités des ballons plus grandes si bien que les temps de réchauffage de l'ECS sont plus importants.

Afin de limiter les risques d'inconfort thermique ou en ECS, la chauffe du ballon peut être entrecoupée de relances pour le chauffage et l'appoint éventuellement sollicité.

Les régulations peuvent être variées selon les modèles. Ainsi, le réchauffage de l'ECS peut être autorisé tout au long de la journée ou seulement durant des plages horaires (par exemple, la nuit ou bien après la pointe du matin et du midi).

Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces pompes à chaleur individuelles double-service, se référer au **NF DTU 65.16 P1-1** sur les installations de pompes à chaleur [1].

Ce NF DTU spécifie les consommations d'ECS journalières à considérer pour déterminer la capacité du ballon en fonction du nombre d'occupants du logement et de la stratégie de programmation du réchauffage de l'ECS adopté.

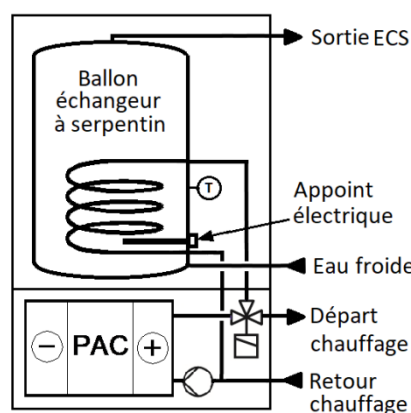
Il impose également pour limiter les risques d'inconfort, que la puissance de la PAC, à la température extérieure de base, permette de produire les besoins d'ECS, à la température de consigne considérée :

- en moins de 3 h dans le cas d'un réchauffage uniquement en période nocturne,
- en moins de 1,5 h dans les autres cas.

Il exige par ailleurs la présence d'un appoint dimensionné pour couvrir à lui seul les besoins d'ECS journaliers.

Figure 16 Pompes à chaleur double-service

Exemple



©COSTIC

2. LES SYSTEMES COLLECTIFS

Quels sont les systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les systèmes qui assurent une production collective d'ECS dans les immeubles d'habitation. Ce chapitre traite ainsi successivement :

- des systèmes collectifs associés à des chaudières ou à une sous-station (ballon à échangeur, échangeur associé à un stockage d'ECS ou primaire). Pour ces systèmes, de nouvelles méthodes de dimensionnement sont présentées,
- des pompes à chaleur (PAC) dédiées à la production collective d'ECS. Pour ces PAC, de nouvelles méthodes de dimensionnement sont également données,
- des ballons électriques collectifs. Pour ces appareils, de nouvelles valeurs de besoins de référence sont indiquées pour leur dimensionnement,
- des chauffe-eau solaires centralisés. Pour ces chauffe-eau, une méthode existante de dimensionnement de référence est décrite brièvement.

Comment se présentent les nouvelles méthodes de dimensionnement ?

Ces nouvelles méthodes de dimensionnement des systèmes associés à des chaudières ou des PAC ECS collectives se présentent sous forme d'abaques. Ces abaques indiquent pour chaque système, l'ensemble des couples puissances ECS / volumes de stockage permettant de satisfaire les exigences de dimensionnement fixées.

Les valeurs de puissances ECS sont données pour un système n'assurant pas le réchauffage d'un bouclage ECS.

Dans le cas des systèmes associés à des chaudières (ou une sous-station), une valeur de puissance supplémentaire à prévoir pour le réchauffage du bouclage par le système de production est indiquée.

Pour les PAC ECS, ce guide traite du dimensionnement des PAC qui assurent uniquement le réchauffage des besoins d'ECS, pas le réchauffage du bouclage (celui-ci n'étant généralement pas assuré par celles-ci).

Pour chacun des systèmes de production d'ECS, le champ d'application de ces méthodes est précisé (volumes limites, type de régulation,...).



Ce guide permet également de déterminer la puissance que devront être capables de fournir les chaudières (ou sous-station) pour la production d'ECS.

Par contre, il ne donne pas de méthode permettant de déterminer la puissance totale de la chaufferie, à partir de cette puissance pour la production d'ECS et de la puissance requise pour le chauffage.

Quel couple puissance ECS / volume de stockage choisir ?

Pour un bâtiment d'habitation donné, le couple puissance ECS / volume de stockage du système adopté sera choisi en fonction des contraintes propres au projet :

- emplacement pour les ballons disponible,
- puissance de la chaufferie existante,
- contraintes économiques,...

Vis-à-vis des performances énergétiques, il importe d'éviter un surdimensionnement des systèmes.

Quelles sont les exigences de dimensionnement considérées ?

L'originalité de ces nouvelles méthodes par rapport aux méthodes existantes est de s'appuyer sur de nouvelles valeurs de besoins de pointes et de tenir en compte en plus de la satisfaction de ces nouvelles valeurs, d'exigences de température en sortie de production d'ECS vis-à-vis de la prévention des risques liés aux légionelles.

Les couples puissances ECS / volumes de stockage donnés ont été déterminés pour :

- satisfaire les valeurs de référence de besoins de pointes en habitat collectif du guide ADEME de 2016 [10], avec une température d'eau froide de 10°C,
- obtenir une température en sortie de production, d'au moins 55°C, pour une consigne de production de 60°C, de manière à satisfaire les exigences de prévention du risque lié aux légionelles.

Comment ont été établies ces nouvelles méthodes de dimensionnement ?

Elles ont été établies à partir de simulations thermiques dynamiques. En effet, la diminution importante des besoins dimensionnants nécessitait de mieux prendre en compte le comportement des systèmes que dans les méthodes existantes.

Les simulations des différents cas traités ont été réalisées pour des profils journaliers de soutirage comportant l'ensemble des besoins de pointes pour des immeubles d'habitation de différentes tailles.

Des études de sensibilité ont été également menées afin de voir l'impact de différents paramètres sur le dimensionnement des systèmes.

2.1. Les systèmes collectifs de production associés à des chaudières

Ce chapitre présente des abaques pour le dimensionnement des systèmes qui assurent une production collective d'ECS à partir de chaudières ou d'une sous-station. Il traite successivement des systèmes de production d'ECS :

- instantanée par échangeur,
- par échangeur et ballons de stockage d'ECS,
- par ballon à échangeur,
- avec un stockage en eau primaire et un échangeur externe au stockage.

Avant d'aborder le dimensionnement de chacun de ces systèmes, un premier chapitre indique :

- les besoins d'ECS considérés pour l'établissement de ces abaques,
- comment déterminer le nombre de logements standards nécessaire pour l'utilisation de celles-ci,
- quelle modulation du nombre de logements standards prendre en compte si les besoins de pointes du site sont connus.

Par ailleurs, il est important de noter que la prise en charge du réchauffage du bouclage par le système de production impacte sur son dimensionnement. La question de la pertinence de la prise en charge ou non de celui-ci par la production se pose. La puissance supplémentaire pour la production d'ECS à prévoir pour le bouclage est souvent beaucoup plus élevée que la puissance des pertes thermiques de bouclage.

En effet, le bouclage ne joue pas seulement sur le bilan énergétique du système mais aussi sur les débits et les températures au sein du ballon où à l'entrée de l'échangeur. Pour satisfaire l'exigence de dimensionnement d'une température en sortie de production d'au moins 55°C, ajouter seulement la puissance de pertes thermiques de la boucle est généralement insuffisant.

La puissance supplémentaire à prendre en compte est spécifique à chaque système car l'influence du bouclage varie d'un système à l'autre.



Si le système de production d'ECS assure également le réchauffage du bouclage, il est indispensable pour appliquer ces méthodes de dimensionnement et éviter un surdimensionnement inutile, de connaître au préalable le débit de bouclage et la puissance de pertes thermiques de bouclage de l'installation à dimensionner.

N.B. : Le bouclage d'un immeuble d'habitation doit être dimensionné selon le NF DTU 60.11 P1-2 [4]. Sa conception doit être optimisée de manière à avoir des pertes thermiques et des débits de bouclage les plus faibles possibles.

2.1.1. Les besoins d'ECS dimensionnants et le nombre de logements standards

Les besoins de pointes dimensionnants des systèmes de production collectifs d'ECS associés à des chaudières ou des PAC ECS varient selon le volume de stockage. Pour les faibles volumes, ce sont les besoins de pointe sur 10 minutes à 1h qui impactent sur le dimensionnement. Pour les plus grands volumes, c'est l'ensemble des besoins de pointes sur plusieurs heures jusqu'à plus d'une dizaine d'heures qui influent.

Les abaques de dimensionnement de ces systèmes collectifs donnés dans ce guide ont été établis pour les valeurs de besoins de pointes du guide ADEME de mai 2016 [10]. Ces besoins étant fonction du nombre de logements standards de l'immeuble, les puissances indiquées sur les abaques de dimensionnement dépendent également du nombre de logements standards.

Le tableau ci-dessous, issu du guide ADEME [10], indique les coefficients d'équivalence à utiliser pour déterminer ce nombre de logements standards, comme explicité dans l'exemple ci-après. Par définition, le logement standard correspond à un T3 en habitat collectif social (voir le guide ADEME [10] pour plus d'informations).

Figure 17

Les coefficients d'équivalence permettant de calculer le nombre de logements standards

Par exemple, un appartement T4 dans un immeuble du parc social est considéré égal à 1,4 logement standard.

Type de logements	Coefficients d'équivalence	
	Parc social	Parc privé
T1	0,6	0,6
T2	0,7	0,7
T3	1	0,9
T4	1,4	1,1
T5	1,8	1,3
T6 ou plus	1,9	1,4

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble en habitat social de 32 logements
- 14 T2, 12 T3 et 6 T4

Résultat :

Nombre et type de logements	Coefficients d'équivalence correspondants	Nombre de logements standards correspondant
14 T2	0,7	9,8
12 T3	1	12
6 T4	1,4	8,4
Total		30,2 arrondis à 30

Cet immeuble de 32 logements en habitat social correspond à un immeuble de 30 logements standards.

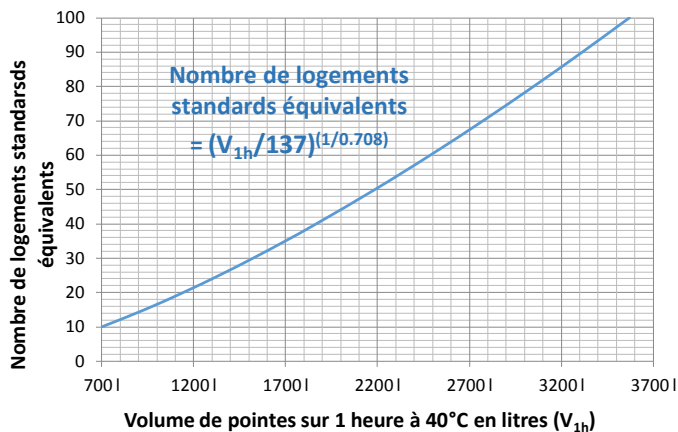
Si les besoins du site sont connus

Il est possible également d'utiliser les abaques pour dimensionner ces systèmes pour des valeurs de besoins de pointes différentes de celles prises en compte. Il suffit pour cela de moduler le nombre de logements standards considéré. Ainsi si les besoins de pointes du site sont plus faibles que ceux pris en compte pour l'établissement des abaques, cela correspondra à un immeuble avec un nombre de logements standards équivalents plus faible.

Par simplification, la pointe retenue comme indicateur pour la détermination de ce nombre de logements standards équivalents est la pointe sur 1 heure. Les besoins de pointes dimensionnants sont supposés varier dans les mêmes proportions quelle que soit leur durée. Ainsi, si la pointe sur 1 h du site considéré est 20% plus faible que la pointe sur 1 h prise en compte pour l'établissement des abaques, les pointes sur 2, 3 h, ... du site sont supposées également 20% moins élevées que les pointes sur 2, 3 h, ... prises en compte pour élaborer les abaques.

Le graphe ci-après, permet de trouver directement la correspondance entre le besoin de pointe sur 1 heure et le nombre de logements standards équivalents à prendre en compte pour l'utilisation des abaques, comme explicité dans l'exemple après ce graphe.

Figure 18 **Nombre de logements standards équivalents en fonction du besoin de pointe sur 1 heure**



Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements (correspondants à 30 logements standards)
- Débit de pointe sur 1 heure mesuré pour cet immeuble existant : 1 370 l à 40°C

Résultat :

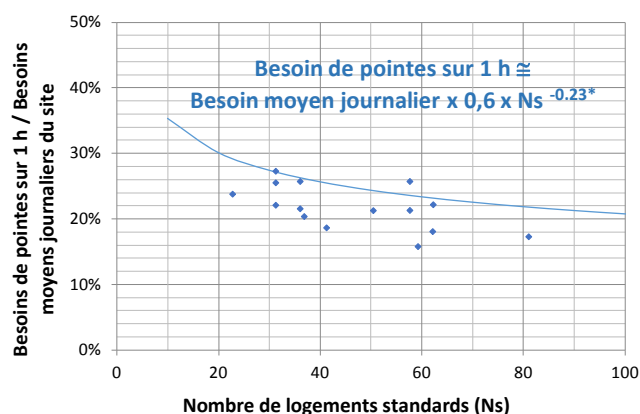
Nombre de logement équivalent (N_{se}) à considérer pour l'utilisation des abaques de dimensionnement des systèmes de production d'ECS associé à des chaudières ou des PAC ECS :

$$N_{se} = \left(\frac{1\,370}{137} \right)^{\frac{1}{0.708}} \approx 26$$

Remarque : Les besoins de pointes sur 1 heure de cet immeuble sont 10% plus faibles que ceux d'un immeuble de 30 logements standards ($V_{1h} = 137 \times N_s^{0.708} = 1\,522$ l). Cela correspond à une diminution du nombre de logements standards de 13% ((26-30)/30).

Si seuls les besoins moyens de l'immeuble sont connus, la valeur des besoins de pointes sur 1h de cet ensemble de logements peut être estimée à partir du graphe ci-dessous. Ce graphe a été établi à partir de l'exploitation des mêmes télésondages d'ensembles de logements que le guide ADEME de mai 2016 [10]. Il permet d'estimer, en fonction du nombre de logements standards, le pourcentage des besoins moyens de l'ensemble de logements correspondant à la pointe sur 1h.

Figure 19 **Pourcentages des besoins moyens journaliers correspondant aux besoins de pointes sur 1 h**
 Résultats obtenus pour 21 sites ayant fait l'objet de télésondages.



(*) Equation de la courbe représentée permettant d'estimer les besoins de pointes sur 1 h à partir du besoin moyen journalier

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements correspondants à 30 logements standards
- Volume de besoins moyens journaliers à 40°C de cet immeuble mesuré sur l'année :
 5 100 l par jour pour l'immeuble (soit 170 l par logement standard)
 équivalent à 3 060 l à 60°C ($5\,100 \times (40-10)/(60-10)$)

Résultat :

Volume de pointe à 40°C sur 1 heure estimé à partir de l'équation de la courbe indiquée sur le graphe ci-avant :

$$V_{1h} = 5\,100 \times 0,6 \times 30^{-0.23} = 5\,100 \times 27\% = 1\,400 \text{ l}$$

La température d'eau froide

La température d'eau froide considérée pour le dimensionnement est de **10°C**, quelle que soit la localisation géographique.

2.1.2. Les systèmes de production instantanée par échangeur

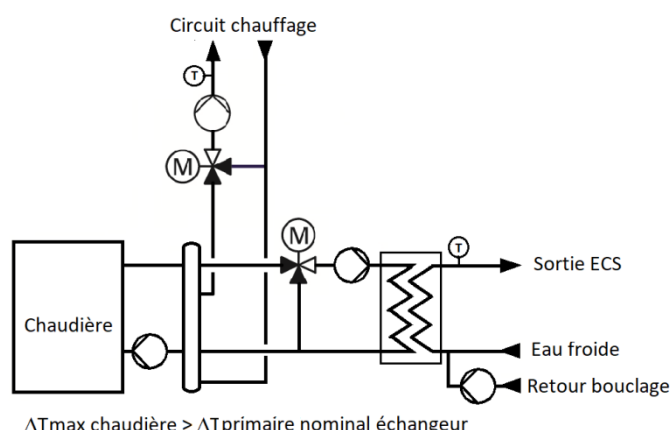
Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les systèmes de production collective instantanée par échangeur, sans stockage d'ECS ou d'eau primaire. Ils sont composés :

- d'un échangeur à plaques (voire tubulaire).
Le circuit primaire de cet échangeur est alimenté par la production de chaleur assurée par une ou plusieurs chaudières (ou une sous-station) avec une bouteille de découplage.
A l'entrée du circuit secondaire de l'échangeur est raccordé l'arrivée d'eau froide et le retour de bouclage éventuel. En sortie du circuit secondaire ressort l'ECS.
La température de consigne de production d'ECS fixée est de 60°C.
La chute de température nominale sur le circuit primaire de cet échangeur est inférieure (ou égale) à la chute de température maximale des chaudières, pour éviter que cette dernière vienne réduire la température en entrée primaire d'échangeur et conduise à une température en sortie secondaire d'échangeur de moins de 60°C,
- d'un circulateur sur le circuit primaire de l'échangeur, à l'entrée ou à la sortie, fonctionnant en continu, à vitesse fixe ou variable,
- d'une vanne à trois voies en amont de l'échangeur montée en mélange. Cette vanne module la température à l'entrée primaire de l'échangeur de manière à maintenir la température de consigne en sortie secondaire d'échangeur de 60°C.
La régulation de la température d'ECS peut être également assurée grâce à la variation de débit sur le primaire de l'échangeur qui vient compléter ou remplacer la régulation en mélange réalisée par la vanne à trois voies.

Figure 20 Production collective instantanée d'ECS par échangeur sans stockage

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

La puissance nominale minimale de l'échangeur, pour une production d'ECS à 60°C avec une eau froide à 10°C, est déterminée en fonction du débit maximal instantané d'ECS à satisfaire. Le débit de pointe maximal instantané est considéré égal à 1,3 fois la valeur du débit de pointe sur 10 minutes indiquée dans le guide ADEME de mai 2016 [10] ou à la valeur du débit maximal du site si connue.

Si l'échangeur assure également le réchauffage du bouclage, les pertes de boucle sont également à ajouter.

$$P_{ECS} = \frac{1,16 \cdot q_{\max} \cdot (60 - 10)}{1000} + P_{\text{boucle}}$$

$$\cong 27,1 \cdot n^{0,503} + P_{\text{boucle}}$$

P_{ECS} : Puissance nominale de l'échangeur ECS requise, pour une température de sortie ECS de 60°C et une température d'entrée d'eau froide de 10°C, en kW

n : Nombre de logements du site (et non le nombre de logements standards)

$q_{\max}$: Débit de pointe instantané en l/h à 60°C de l'ensemble de logements. Ce débit sur 1 minute est considéré égal à 1,3 fois le débit de pointe sur 10 minutes du guide ADEME [10] soit à $468 \times n^{0,503}$ ou bien à la valeur de débit maximal du site si connue

P_{boucle} : Pertes thermiques du bouclage en kW à ajouter si son réchauffage est assuré par l'échangeur

Cette valeur de puissance P_{ECS} correspond également à la valeur de puissance que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS par ce système. La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

A noter par ailleurs, que ces débits maximaux instantanés sont valides pour des appartements avec des équipements standards.

Dans le cas d'appartements de luxe avec des équipements présentant de très forts débits (ciel de douche, douches multi-jets...) ces valeurs seront à adapter par le concepteur en fonction des débits de ces équipements.



Cette solution requiert une puissance très élevée des générateurs de chaleur pour assurer les besoins de pointes rarement rencontrés.

Cela conduit à un fonctionnement des générateurs à très faibles taux de charge, particulièrement en été, avec des cycles marche-arrêt préjudiciables en termes de performances, de maintien de la température de bouclage et de pérennité des générateurs. C'est pourquoi **cette solution n'est pas recommandée**, sans stockage sur le primaire.

Le débit nominal du circulateur au primaire de l'échangeur est déterminé en fonction de la puissance ECS et de la chute de température nominale fixée au primaire.

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{ECS}}}{1,16 \cdot \Delta T_{\text{primaire}}}$$

q_{primaire} : Débit nominal au primaire de l'échangeur en l/h

P_{ECS} : Puissance nominale de l'échangeur ECS, pour une température de sortie ECS de 60°C et une température d'entrée d'eau froide de 10°C, en kW

$\Delta T_{\text{primaire}}$: Chute de température nominale fixée au primaire de l'échangeur, en K



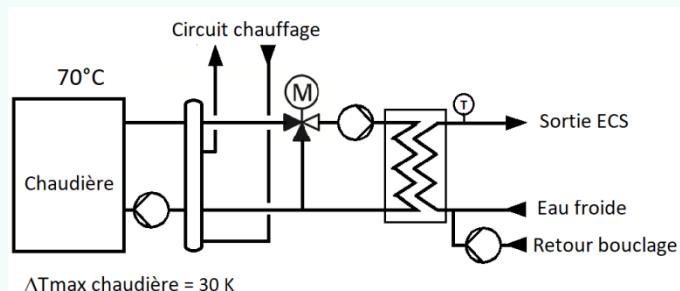
La chute de température nominale adoptée au primaire de l'échangeur doit être inférieure (ou égale) à la chute maximale des générateurs pour garantir une température en sortie de production de 60°C.

N.B. : La chute maximale de température des chaudières peut varier de 20 K pour les générateurs disposant d'un corps de chauffe de très faible capacité en eau (chaudières murales, par exemple) à 40 K, voire plus, pour les chaudières présentant un fort volume en eau.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements
- Production d'ECS instantanée par échangeur
- Réchauffage du bouclage assuré par la production d'ECS
- Pertes thermiques du bouclage de 3,6 kW
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C



Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C :

$$P_{\text{ECS}} = \frac{1,16 \times 468 \times 32^{0,503} \times (60 - 10)}{1000} + 3,6 = 159 \text{ kW}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec cet échangeur : idem, 159 kW

La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Régime nominal de température adopté au primaire de l'échangeur : 70/40°C soit une chute nominale de 30 K.

Ce régime satisfait la contrainte d'avoir une chute nominale au primaire inférieure ou égale à la chute maximale de la chaudière.

Débit au primaire de l'échangeur pour la chute de température nominale de 30 K :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 159}{1,16 \times 30} = 4\,569 \text{ l/h}$$

2.1.3. Les systèmes de production par échangeur et ballons de stockage d'ECS

Ce chapitre traite du dimensionnement des systèmes de production par échangeur associé à des ballons de stockage d'ECS. Il est décomposé en 4 parties :

- La 1^{ère} partie porte sur le dimensionnement de ces systèmes dans le cas d'une circulation permanente des circulateurs au primaire et au secondaire de l'échangeur, sans bouclage,
- La 2^{ème} partie traite du dimensionnement de ces systèmes dans le cas d'une circulation non continue de ces circulateurs, sans bouclage,
- La 3^{ème} partie porte sur l'impact de la prise en charge du réchauffage du bouclage par ces systèmes sur leur dimensionnement, dans le cas d'un retour de bouclage raccordé entre le tiers supérieur et le milieu du stockage,
- La 4^{ème} partie traite de l'impact d'un raccordement du retour de boucle en bas du stockage.

En effet, selon que les circulateurs au primaire et au secondaire de l'échangeur fonctionnent en permanence ou non, la prise en charge ou non du réchauffage du bouclage par ce système et la position du retour de bouclage, la puissance requise diffère.

A noter par ailleurs, que dans le cas d'un raccordement du bouclage en bas du stockage d'ECS, le régime de température au secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement diffère.

Production par échangeur et ballons d'ECS, avec une circulation permanente

En bref

Le couple puissance / volume de stockage d'ECS est à déterminer à partir des abaques figures 25 et 26 page 20.

Si le système assure le réchauffage du bouclage, ajouter la puissance supplémentaire indiquée par :

- l'équation figure 32, page 25, dans le cas d'un retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du stockage d'ECS
- ou bien par l'équation figure 36, page 27, dans le cas d'un retour de bouclage en bas du stockage d'ECS. La température d'entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement diffère dans ce cas. Elle est à calculer comme spécifié page 28.

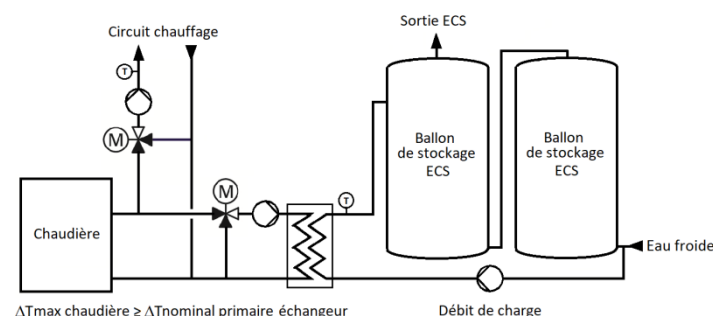
Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans cette partie sont les systèmes de production collective d'ECS par échangeur associé à des ballons de stockage d'ECS, avec une circulation continue au primaire et au secondaire de l'échangeur. Ils sont composés :

- d'un échangeur à plaques (voire tubulaire). Le circuit primaire de cet échangeur est alimenté par la production de chaleur assurée par une ou plusieurs chaudières (ou une sous-station). Dans le circuit secondaire passe l'eau sanitaire. La sortie secondaire de l'échangeur est raccordée au milieu, en haut du stockage d'ECS ou entre les deux.
La température de consigne de production d'ECS fixée est de 60°C.
La chute de température nominale sur le circuit primaire de cet échangeur est inférieure (ou égale) à la chute de température maximale des chaudières, pour éviter que cette dernière vienne réduire la température en entrée primaire d'échangeur et conduise à une température en sortie secondaire d'échangeur de moins de 60°C,
- d'un circulateur sur le circuit primaire de l'échangeur, à l'entrée ou à la sortie, fonctionnant en continu, à vitesse fixe ou variable,
- d'une vanne à trois voies en amont de l'échangeur montée en mélange. Cette vanne module la température à l'entrée primaire de l'échangeur de manière à obtenir une température de 60°C en sortie secondaire d'échangeur,
- d'un circulateur de charge du ballon de stockage d'ECS situé sur le circuit secondaire de l'échangeur, sur la sortie ou l'entrée. Ce circulateur fonctionne en continu et à vitesse fixe,
- d'un ou plusieurs ballons de stockage d'ECS (appelés également ballons tampons). Ces ballons sont raccordés en série (voir figure ci-après).
- l'arrivée d'eau froide est raccordée à l'entrée du circuit secondaire de l'échangeur ou bien en bas de ballon

Figure 21 **Production par échangeur et ballons d'ECS avec une circulation continue**

Exemple avec deux ballons de stockage



©COSTIC

Quel fonctionnement ?

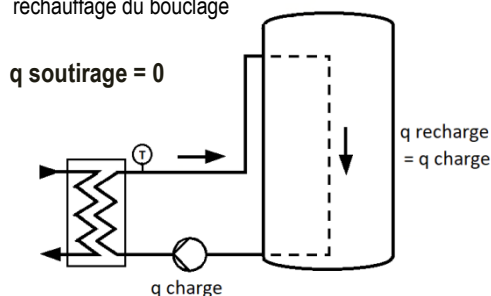
Les deux schémas ci-après expliquent le fonctionnement de cette installation, à travers le cas le plus simple, à savoir un seul ballon et sans réchauffage d'un bouclage par la production d'ECS.

En fonction des débits de soutirages, les sens de circulation dans le ballon varient :

- Pour un débit de soutirage nul, en l'absence de puisage, l'intégralité du débit de charge transite par le ballon. Le stockage se recharge. Le débit de recharge du ballon est égal au débit de charge (voir figure 22, ci-après),
- Pour de faibles débits de soutirages inférieurs au débit de charge, tout le débit d'eau froide est réchauffé par l'échangeur. C'est l'échangeur qui fournit l'énergie nécessaire pour répondre aux besoins. Le ballon également se recharge mais moins vite que précédemment. En effet, le débit de recharge du ballon correspond au débit de charge diminué du débit de soutirage à fournir (voir figure 23, ci-après),
- Pour des débits de soutirages importants, supérieurs au débit de charge, une partie seulement du débit d'eau froide est réchauffée par l'échangeur. L'autre partie vient décharger le ballon. C'est l'échangeur et le ballon qui fournissent l'énergie nécessaire pour assurer les besoins. Le débit de décharge du ballon est égal au débit de soutirage auquel vient se soustraire le débit de charge (voir figure 24, ci-après)

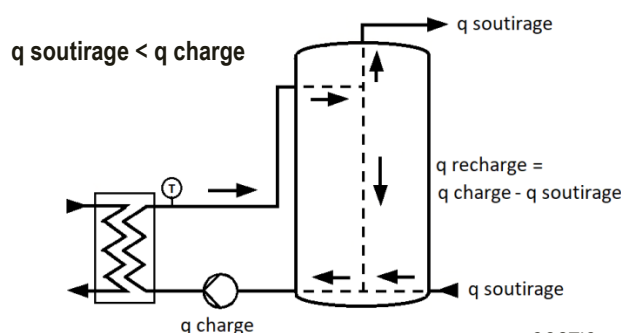
Figure 22 **Fonctionnement de ce système en l'absence de soutirage**

Dans cet exemple, ce n'est pas la production qui assure le réchauffage du bouclage



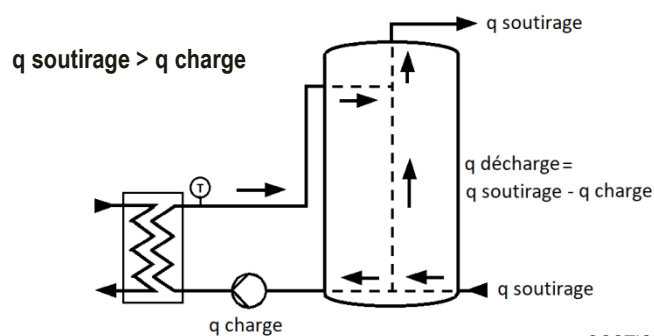
©COSTIC

Figure 23 **Fonctionnement de ce système pour un débit de soutirage inférieur au débit de charge**



©COSTIC

Figure 24 **Fonctionnement de ce système pour un débit de soutirage supérieur au débit de charge**



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

L'abaque ci-après, figure 25, permet de dimensionner ce système avec un fonctionnement continu des circulateurs, dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage. Il indique la puissance nominale de l'échangeur requise, pour cette production sans bouclage, en fonction du volume de stockage d'ECS. Cette puissance est exprimée en kW par logement standard pour une eau froide à l'entrée de l'échangeur à 10°C et une température de production d'ECS de 60°C.

Un deuxième abaque ci-après, figure 26, donne les valeurs de puissances correspondantes en kW pour 10, 30, 50, 70 et 100 logements standards.

Ces valeurs de puissances correspondent également aux valeurs de puissances que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS par ce système, dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage.

La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

A noter par ailleurs que ces deux abaques permettent aussi de déterminer pour une puissance nominale d'échangeur ECS donnée, pour une eau froide à l'entrée de l'échangeur à 10°C et une température de production d'ECS de 60°C, la capacité minimale de stockage d'ECS nécessaire, sans bouclage.

Ces abaques sont applicables pour un immeuble d'habitation comportant au moins 10 logements standards.

! Si le **réchauffage du bouclage** est assuré par cette production, une puissance supplémentaire est à ajouter (voir pages 25 à 30). Cette puissance dépend de l'endroit où le retour de bouclage est raccordé sur la production. Dans le cas d'un retour de bouclage en bas du stockage d'ECS, la température d'entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement diffère également.

Figure 25

Puissance nominale minimale de l'échangeur requise en kW par logement standard, en fonction du volume de stockage en litres, pour le système de production par échangeur associé à un stockage d'ECS, avec une circulation permanente

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage

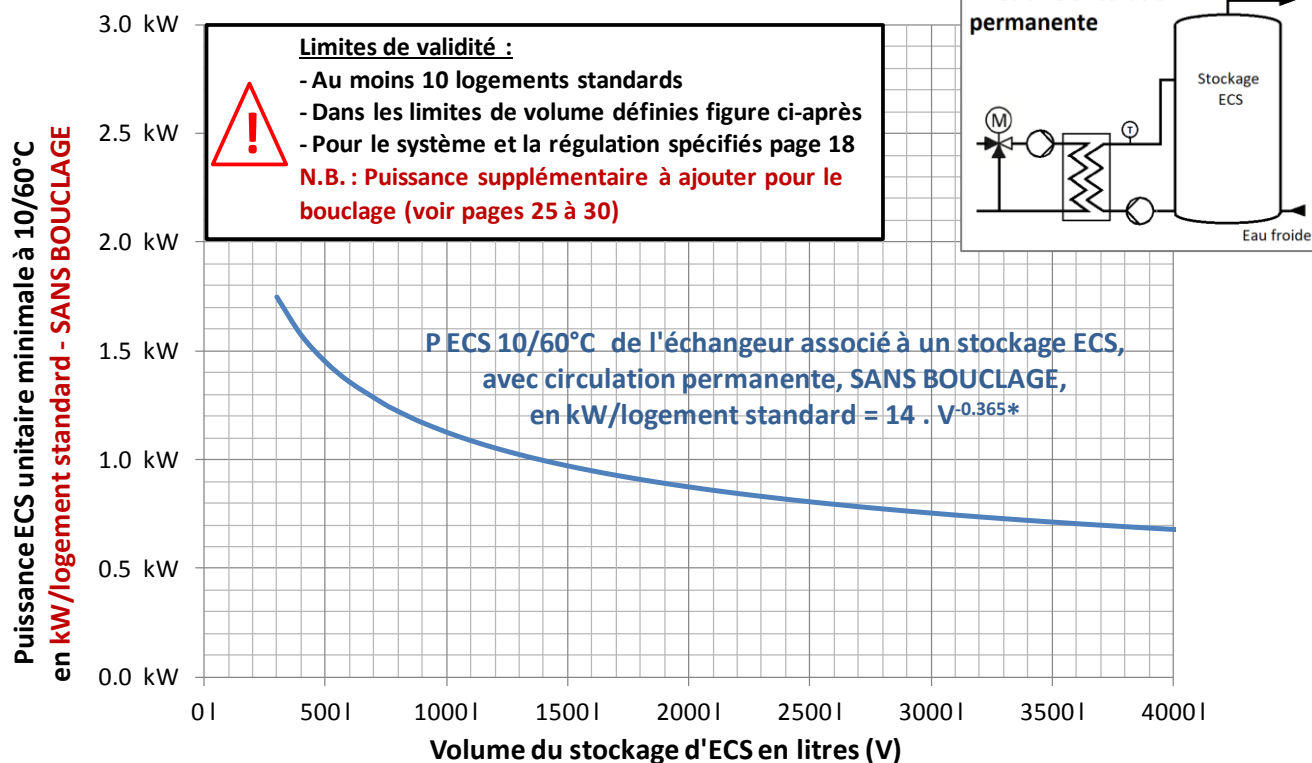
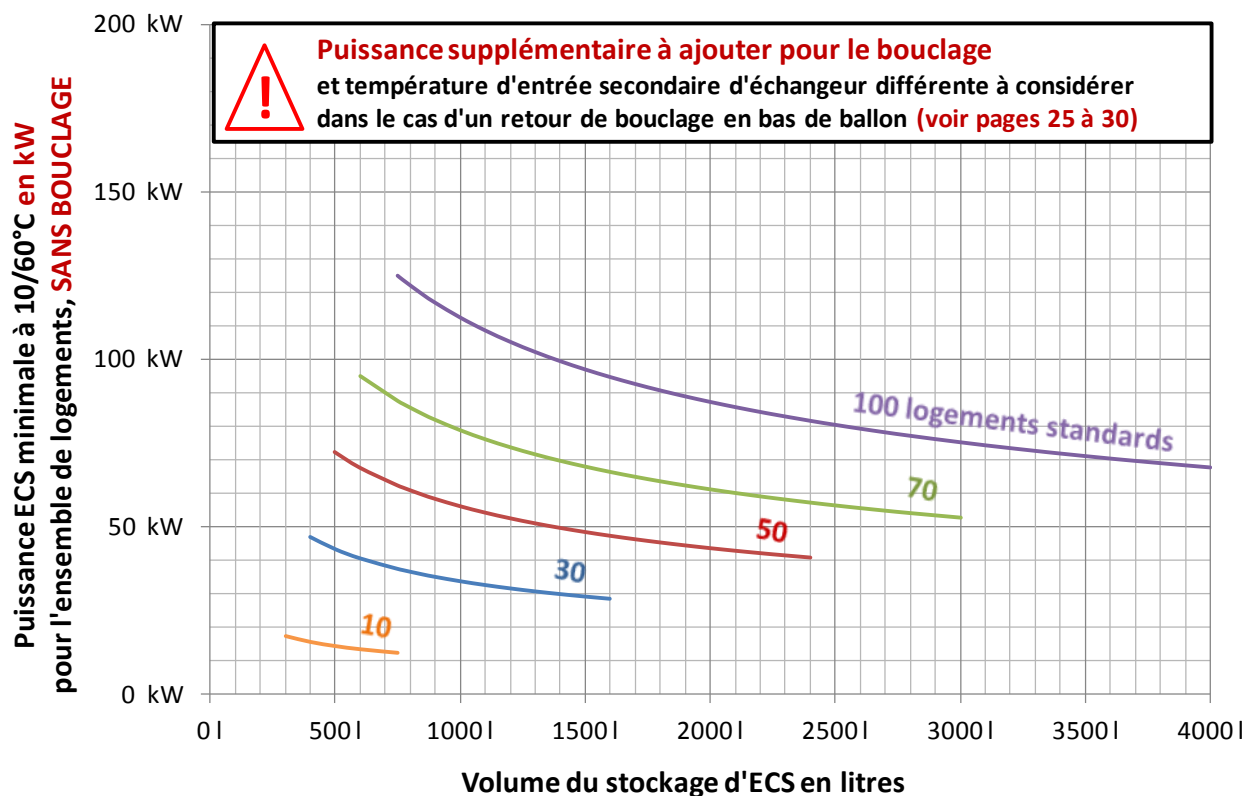


Figure 26

Puissance ECS en kW correspondante pour 10, 30, 50, 70 et 100 logements standards et limites de volumes pour l'application de l'équation indiquée figure ci-avant (*)

Puissances déterminées à partir de l'équation du graphe ci-dessus pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) L'équation donnée figure ci-avant n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe ; par exemple pour 10 logements, de 300 à 750 l. Au-delà de ces limites de volumes, l'application de l'équation peut conduire à un sous-dimensionnement (voire dans certains cas à un surdimensionnement) important.

Le débit du circulateur de charge est déduit de la puissance nominale de l'échangeur. C'est le débit maximal que peut réchauffer l'échangeur de 10 à 60°C, soit de 50 K.

$$q_{charge} = \frac{1000 \cdot P_{ECS}}{1,16 \cdot (60 - 10)} \cong 17,2 \cdot P_{ECS}$$

q_{charge} : Débit de charge en l/h

P_{ECS} : Puissance nominale de l'échangeur ECS, pour une température de sortie ECS de 60°C et une température d'entrée d'eau froide de 10°C, déterminée à partir des abaques ci-avant, en kW

Le débit nominal du circulateur au primaire de l'échangeur est déterminé en fonction de la puissance nominale de l'échangeur et de la chute de température nominale fixée au primaire.

$$q_{primaire} = \frac{1000 \cdot P_{ECS}}{1,16 \cdot \Delta T_{primaire}}$$

$q_{primaire}$: Débit nominal au primaire de l'échangeur en l/h

P_{ECS} : Puissance nominale de l'échangeur ECS, pour une température de sortie ECS de 60°C et une température d'entrée d'eau froide de 10°C, déterminée à partir des abaques ci-avant, en kW

$\Delta T_{primaire}$: Chute de température nominale fixée au primaire de l'échangeur, en K

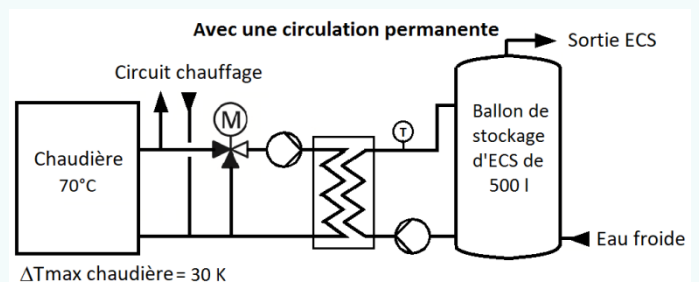


La chute de température nominale adoptée au primaire de l'échangeur doit être inférieure (ou égale) à la chute maximale des générateurs pour éviter que cette dernière ne conduise à une température en sortie secondaire d'échangeur de moins de 60°C.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Production d'ECS par échangeur associé à un ballon d'ECS avec une circulation permanente
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Volume de stockage : 500 litres soit 17 l par logement standard
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C



Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C déterminée à partir de l'équation figure 25 page précédente :

$$P_{ECS} = 14 \times 500^{-0.365} = 1,45 \text{ kW par logement standard}$$

soit pour les 30 logements standards 43 kW

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS par ce système dans ce cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage: idem, 43 kW

La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Débit de charge du ballon d'ECS :

$$q_{charge} = \frac{1000 \times 43}{1,16 (60 - 10)} = 741 \text{ l/h}$$

Régime nominal de température adopté au primaire de l'échangeur : 70/40°C soit une chute nominale de 30 K.

Ce régime satisfait la contrainte d'avoir une chute nominale au primaire inférieure ou égale à la chute maximale de la chaudière.

Débit nominal au primaire de l'échangeur pour la chute de température nominale de 30 K :

$$q_{primaire} = \frac{1000 \times 43}{1,16 \times 30} = 1\,236 \text{ l/h}$$

Production par échangeur et ballons d'ECS, avec arrêts de la circulation

En bref

Le couple puissance / volume de stockage ECS est à déterminer à partir des abaques figures 29 et 30 page 24.

Si le système assure le réchauffage du bouclage, ajouter la puissance supplémentaire indiquée par :

- l'équation figure 32, page 25, dans le cas d'un retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du stockage d'ECS
- ou bien par l'équation figure 36, page 27, dans le cas d'un retour de bouclage en bas du stockage d'ECS. La température d'entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement diffère dans ce cas. Elle est à calculer comme spécifié page 28.

Quels systèmes visés ?

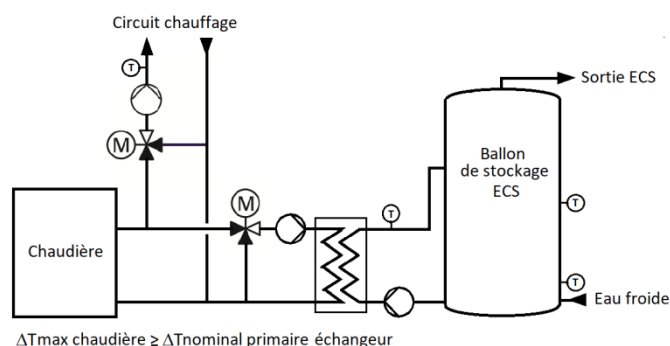
Les systèmes visés dans cette partie sont les systèmes de production collective d'ECS par échangeur associé à des ballons de stockage d'ECS, avec une circulation non continue au primaire et au secondaire de l'échangeur.

Ce système est constitué des mêmes équipements que le système avec une circulation permanente présenté ci-avant (voir page 18), ce qui diffère par contre c'est sa régulation. L'enclenchement et l'arrêt des circulateurs au primaire et au secondaire de l'échangeur sont asservis aux températures du stockage d'ECS. Le circulateur au secondaire est à vitesse fixe. Le circulateur au primaire fonctionne à vitesse fixe ou variable.

Les volumes de stockage d'ECS sont généralement plus importants que pour le système avec une circulation permanente.

Figure 27 Production par échangeur et ballons d'ECS avec arrêts de la circulation au primaire et secondaire de l'échangeur

Exemple. La sortie secondaire de l'échangeur est raccordée au milieu, en haut du stockage d'ECS ou entre les deux



©COSTIC

Quel fonctionnement ?

Les circulateurs sont arrêtés lorsque les températures mesurées au sein du ballon dépassent les consignes fixées. La ou les chaudières utilisées pour la production d'ECS s'arrêtent

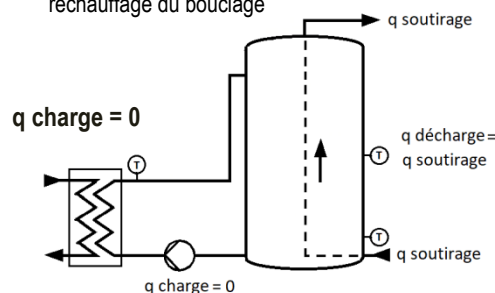
ou ne fonctionnent alors plus que pour le chauffage. Pendant l'arrêt des circulateurs, le ballon se décharge au fur et à mesure des soutirages (voir figure ci-après, le fonctionnement décrit est dans le cas où le système n'assure pas le réchauffage du bouclage).

Lorsque la température de stockage mesurée au milieu du ballon descend en dessous du différentiel, le circulateur primaire et secondaire ainsi que la chaudière sont enclenchés. Le fonctionnement est alors similaire à celui décrit précédemment pour le système avec une circulation continue (voir page 19). La vanne à trois voies en entrée d'échangeur module la température primaire de manière à obtenir une température de 60°C en sortie d'échangeur.

Le stockage se recharge lorsque les débits de soutirages sont inférieurs au débit de charge. Il se décharge lorsque les débits de soutirages dépassent le débit de charge.

Figure 28 Fonctionnement de ce système de production lors de soutirages, durant l'arrêt des circulateurs primaires et secondaires

Dans cet exemple, ce n'est pas la production qui assure le réchauffage du bouclage



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de dimensionner ce système avec une circulation non permanente, dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage. Ils indiquent la puissance nominale de l'échangeur requise, pour cette production sans bouclage, en fonction du volume de stockage d'ECS, pour une eau froide à l'entrée de l'échangeur à 10°C et une température de production d'ECS de 60°C.

Ces valeurs de puissances correspondent également aux valeurs de puissances que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS par ce système, dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage. La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

A noter par ailleurs que ces deux abaques permettent aussi de déterminer pour une puissance nominale d'échangeur ECS donnée pour une eau froide à l'entrée de l'échangeur à 10°C et une température de production d'ECS de 60°C, la capacité minimale de stockage d'ECS nécessaire, sans bouclage.

Ces abaques sont applicables pour un immeuble comportant au moins 10 logements standards.



Ce système avec arrêts de la circulation requiert un **volume minimal de stockage**. Celui-ci est fonction des besoins maximaux de pointe de 10 minutes et des pertes de bouclage (voir ci-après).



Si le **réchauffage du bouclage** est assuré par cette production, une puissance supplémentaire est à ajouter (voir pages 25 à 30). Cette puissance dépend l'endroit où le retour de bouclage est raccordé sur la production. Dans le cas d'un retour de bouclage en bas du stockage d'ECS, la température d'entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement diffère également.



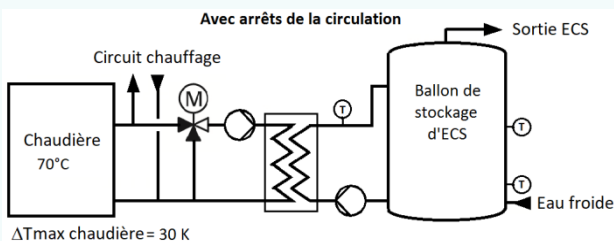
Ces courbes sont valides pour un **différentiel de régulation ≤ 5 K** et des sondes positionnées telles qu'indiqué figure 27.

Le débit du circulateur de charge et du circulateur au primaire de l'échangeur est déterminé comme indiqué précédemment pour le système avec une circulation permanente (voir page 21).

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements correspondants à 30 logements standards
- Production d'ECS par échangeur associé à un ballon d'ECS avec une circulation non permanente
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C



Résultat :

Volume minimal de stockage requis (voir formule ci-après) :

$$V_1 = 32^{0.503} \times 144 = 823 \text{ l}$$

Volume de stockage choisi pour cet exemple (supérieur au volume minimal) : 1 500 litres (soit 50 l par logement standard)

Puissance nominale de l'échangeur requise, pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C, avec le volume de stockage de 1 500 l,

déterminée à partir de l'équation figure 29 page 24 ci-après :

$$P_{ECS} = 17 \times 1\,500^{-0.385} = 1 \text{ kW par logement standard}$$

soit pour 30 logements standards 30 kW.

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS par ce système dans ce cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage: idem, 30 kW

La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Débit de charge du ballon d'ECS :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 30}{1,16 \times (60 - 10)} = 517 \text{ l/h}$$

Régime nominal de température adopté au primaire de l'échangeur : 70/40°C soit une chute nominale de 30 K.

Ce régime satisfait la contrainte d'avoir une chute nominale au primaire inférieure ou égale à la chute maximale de la chaudière.

Débit au primaire de l'échangeur pour la chute de 30 K :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 30}{1,16 \times 30} = 862 \text{ l/h}$$

Quel est le volume minimal de stockage requis pour ce système avec arrêts de la circulation ?

Le volume minimal de stockage requis est fonction des besoins maximaux de pointe de 10 minutes du cas considéré et des pertes de bouclage si celui-ci est réchauffé par le système de production d'ECS.

Il est déterminé à partir de l'équation indiquée ci-après :

$$V_1 = V_{10\text{min}} (2,4 + 0,18 P_{\text{boucle}}) = n^{0.503} (144 + 10,8 P_{\text{boucle}})$$

V_1 : Volume minimal de stockage requis pour ce système en litres

n : Nombre de logements de l'immeuble d'habitation

$V_{10\text{min}}$: Besoin de pointes sur 10 minutes en litres à 60°C du guide ADEME [10] égal à $60 \times n^{0.503}$ pour une eau froide à 10°C

P_{boucle} : Pertes thermiques du bouclage d'ECS, en kW

Plus les pertes de bouclage sont importantes plus le volume minimal requis est élevé. Le cas avec des pertes nulles correspond à un réchauffage de bouclage non pris en charge par la production d'ECS.

La particularité de ce système par rapport à un système avec un fonctionnement continu, c'est qu'il doit également couvrir les besoins d'ECS lorsque les circulateurs et le générateur sont arrêtés ce qui devient impossible si le volume est trop petit.

Plus le volume de ballon est faible, plus il y a de séquences marche-arrêt et plus il y a de probabilité pour que les circulateurs soient arrêtés au début d'un puisage important et que le stock soit déchargé trop rapidement avant démarrage du générateur.

Figure 29

Puissance nominale minimale de l'échangeur requise en kW par logement standard, en fonction du volume de stockage en litres, pour le système de production par échangeur associé à un stockage d'ECS, avec arrêts de la circulation

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage

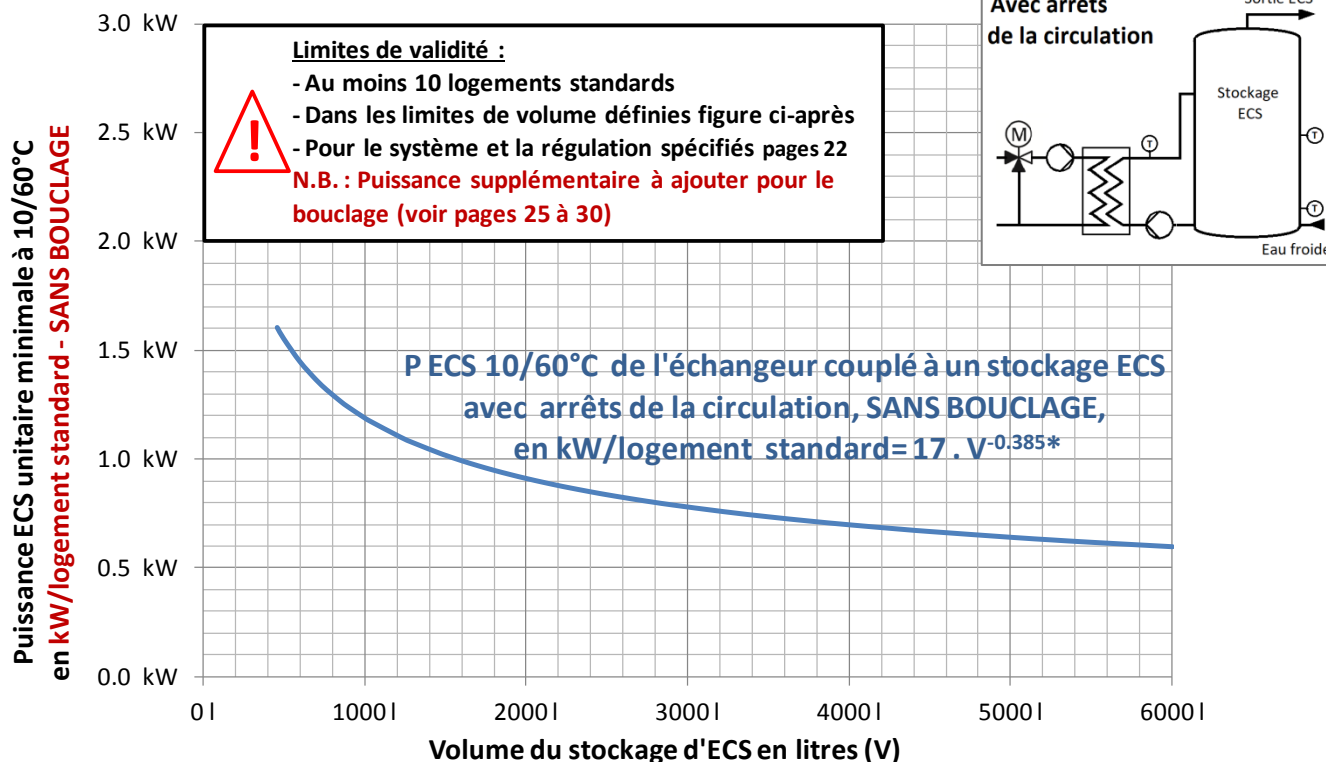
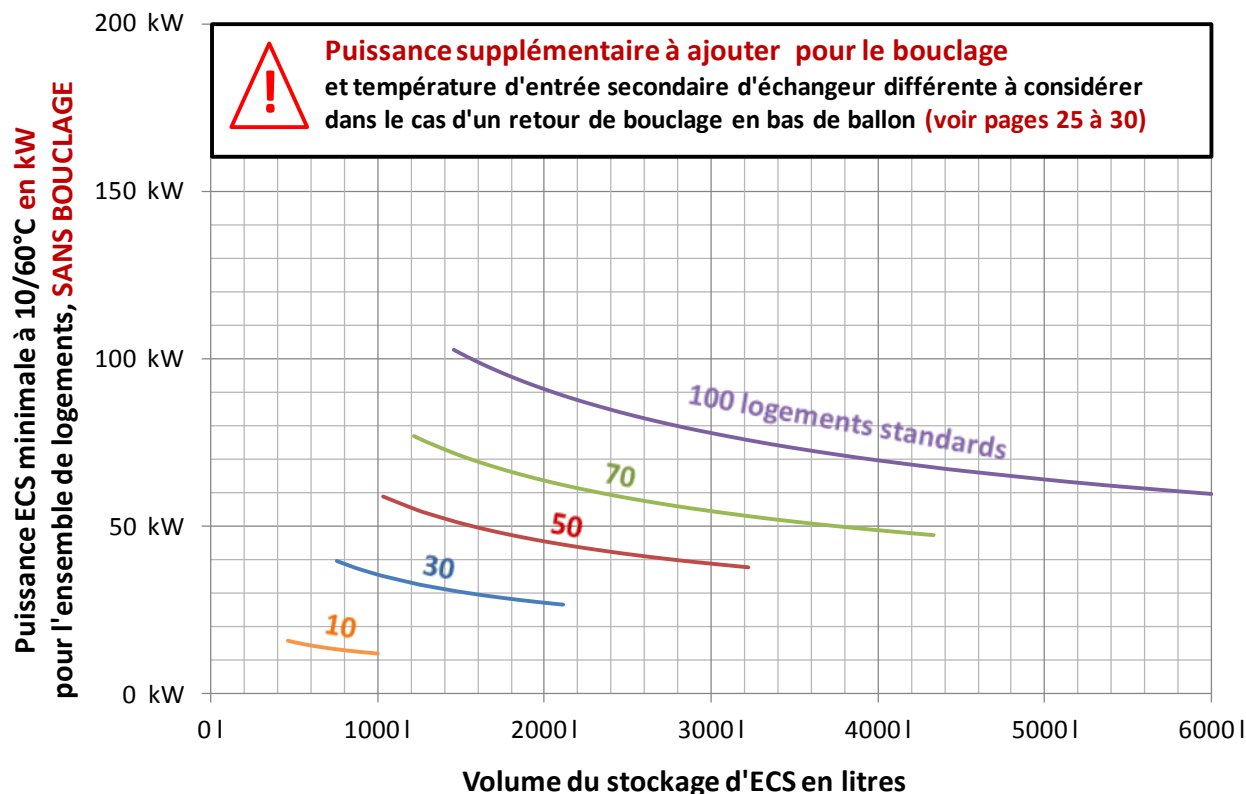


Figure 30

Puissance ECS en kW correspondante pour 10, 30, 50, 70 et 100 logements standards et limites de volumes pour l'application de l'équation indiquée figure ci-avant (*)

Puissances déterminées à partir de l'équation du graphe ci-dessus pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) L'équation donnée figure ci-avant n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe ; par exemple pour 10 logements, de 460 à 1000 l. En dessous du volume minimal, la probabilité de non satisfaction des exigences de dimensionnement augmente (voir page ci-avant).

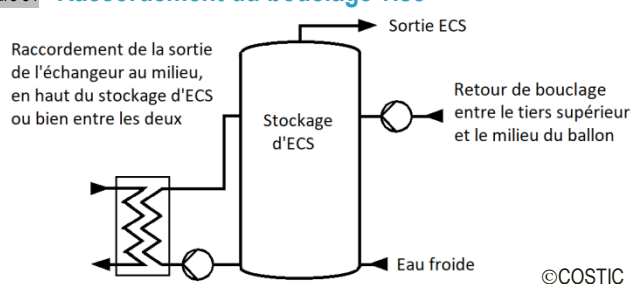
Impact du raccordement du retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du stockage d'ECS

L'impact du bouclage dépend de l'endroit où le retour bouclage est raccordé sur la production. Ci-après est présenté le cas d'un retour de bouclage raccordé au tiers supérieur du ballon, au même niveau que la sortie de l'échangeur.

Les valeurs de puissance supplémentaire indiquée restent également applicables pour une configuration de raccordement avec la sortie de l'échangeur au milieu, en haut de stockage d'ECS ou entre les deux ou bien encore le retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du stockage d'ECS.

Ce sont des cas rencontrés plus typiquement pour le système de production par échangeur associé à un stockage, avec arrêts de la circulation.

Figure 31 Raccordement du bouclage visé



Quelle puissance supplémentaire ajouter pour le bouclage ?

La puissance de l'échangeur requise est égale à la puissance de l'échangeur nécessaire sans bouclage (voir pages 20 et 24) à laquelle est ajoutée une puissance supplémentaire pour que ce système de production d'ECS puisse assurer également le réchauffage du bouclage.

Cette puissance supplémentaire à prévoir est déterminée à partir de l'équation ou de la courbe figure suivante, en fonction pertes de bouclage et de la puissance ECS sans bouclage. Cette puissance supplémentaire est identique que le système soit à circulation permanente ou non.

$$P_{\text{ECS avec bouclage}} = P_{\text{ECS sans bouclage}} + P_{\text{supplémentaire}}$$

$$= P_{\text{ECS sans bouclage}} + \frac{27,3 \times (P_{\text{bouclage}})^2}{P_{\text{ECS sans bouclage}}}$$

$P_{\text{ECS avec bouclage}}$: Puissance nominale de l'échangeur, en kW, requise pour un régime secondaire 10/60°C, dans le cas d'un retour de bouclage entre le tiers et le milieu du ballon

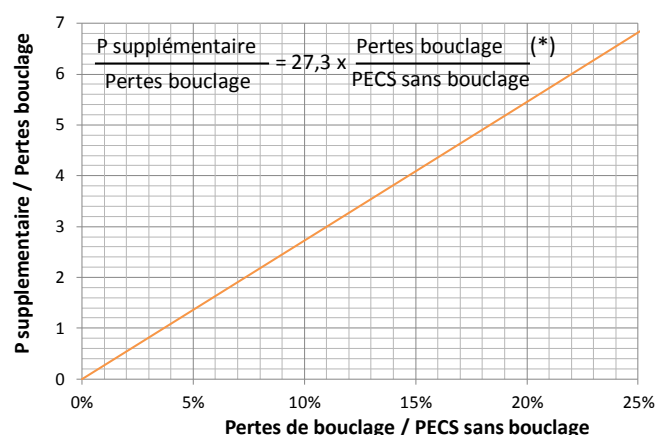
$P_{\text{ECS sans bouclage}}$: Puissance nominale de l'échangeur, en kW, nécessaire pour un régime secondaire 10/60°C lorsque le système n'assure pas le réchauffage du bouclage. Cette puissance est déterminée, en fonction du volume de stockage adopté, à partir des abaques figures 25 et 26, page 20, dans le cas d'un système avec une circulation continue et des abaques figures 29 et 30, page 24, dans le cas d'une circulation non permanente

$P_{\text{supplémentaire}}$: Puissance supplémentaire de l'échangeur requise pour la prise en charge du réchauffage de la boucle d'ECS par ce système de production, en kW

P_{bouclage} : Pertes thermiques du bouclage, en kW

Cette puissance ECS avec bouclage correspond également à la puissance que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS par ce système, dans le cas d'un retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du ballon. La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Figure 32 Puissance supplémentaire requise pour le bouclage dans le cas d'un raccordement du retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du stockage



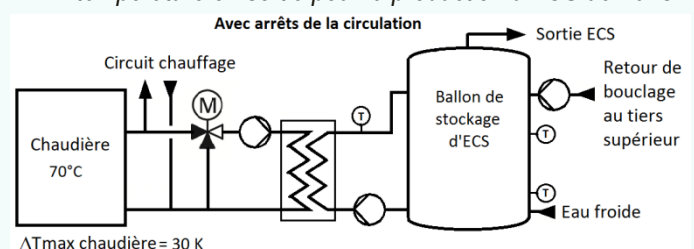
(*) Par exemple, si les pertes de bouclage représentent 10% de la puissance ECS requise sans bouclage, la puissance supplémentaire à ajouter pour le bouclage correspondra à 2,7 fois les pertes de bouclage (27,3 x 10%)

Les débits de charge et au primaire de l'échangeur sont déterminés comme indiqués précédemment page 21.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements correspondants à 30 logements standards
- Production par un échangeur associé à un ballon de stockage d'ECS avec une circulation non permanente
- Pertes thermiques du bouclage de 3,6 kW.
- Retour de bouclage raccordé au tiers haut du ballon.
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K, et une température en sortie pour la production d'ECS de 70°C



Résultat :

Volume minimal de stockage requis (voir formule page 23) :

$$V_1 = 32^{0.503} (144 + 10,8 \times 3,6) = 1\,045 \text{ l}$$

Volume de stockage choisi pour cet exemple (supérieur au volume minimal) : 1 500 litres (soit 50 l par logement standard)

Puissance nominale de l'échangeur requise, pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C, sans bouclage, avec ce volume de stockage de 1 500 l (voir exemple précédent page 23) : 30 kW

Puissance supplémentaire à prévoir pour le bouclage (d'après la figure 32 page 25) :

$$P_{\text{bouclage}} / P_{\text{ECS sans bouclage}} = 3,6 / 30 = 12\%$$

$$P_{\text{supplémentaire}} / P_{\text{bouclage}} = 27,3 \times (3,6 / 30) = 3,3$$

$$\text{soit } P_{\text{supplémentaire}} = 3,3 \times 3,6 = 12 \text{ kW}$$

Puissance nominale de l'échangeur requise, pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C, avec ce bouclage : 30 + 12 = 42 kW

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS par ce système dans ce cas : idem, 42 kW

La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Débit de charge du ballon d'ECS :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 42}{1,16 (60 - 10)} = 724 \text{ l/h}$$

Régime nominal de température adopté au primaire de l'échangeur : 70/40°C soit une chute nominale de 30 K. Ce régime satisfait la contrainte d'avoir une chute nominale au primaire inférieure ou égale à la chute maximale de la chaudière.

Débit au primaire de l'échangeur pour la chute de 30 K :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 42}{1,16 \times 30} = 1\,207 \text{ l/h}$$

Pourquoi cet impact du bouclage ?

Selon l'endroit où le retour de bouclage est raccordé, l'impact est différent. Les figures ci-après montrent que pour un raccordement au tiers supérieur du ballon du bouclage et de la sortie secondaire de l'échangeur, le débit de bouclage n'influe pas sur le débit de décharge et de recharge du ballon contrairement à un raccordement en bas de ballon (voir figures 40 et 41 page 30).

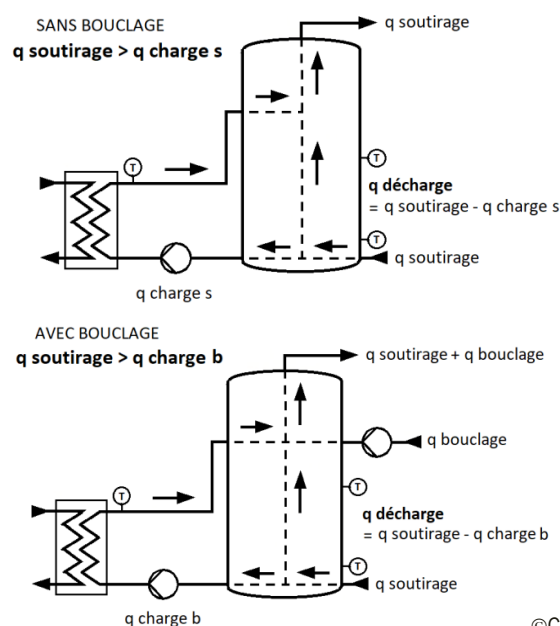
Par contre, avec cette configuration, l'eau provenant du retour de bouclage vient refroidir le ballon et abaisser la température en sortie de production. Cette température en sortie de ballon durant les pointes de soutirages, est une résultante entre l'eau provenant du retour de boucle, l'eau déchargée du ballon et l'eau fournie par l'échangeur qui est à 60°C. Pour compenser cette chute de température générée par le retour de bouclage, un débit de charge et donc une puissance de l'échangeur plus importante que dans le cas sans bouclage est requise.

La puissance supplémentaire à prévoir pour le bouclage est liée à la perte de bouclage et non à la chute de température choisie pour la boucle. Pour une même perte de bouclage, quelle que soit la chute et donc le débit de bouclage, les résultats obtenus sont similaires car cela conduit à la même température de mélange.

Cette puissance supplémentaire est liée également au débit de charge requis sans bouclage, c.a.d. à la puissance ECS nécessaire dans le cas sans bouclage.

Figure 33 Impact du bouclage durant la pointe maximale de soutirages

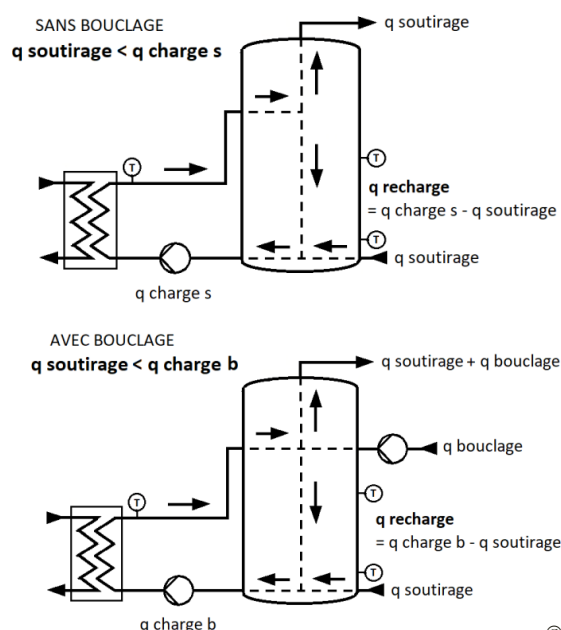
Comparaison entre le cas sans et avec réchauffage du bouclage par la production. Dans le cas avec bouclage considéré, le retour de boucle est raccordé au même niveau que la sortie de l'échangeur, au tiers supérieur du ballon



©COSTIC

Figure 34 Impact du bouclage durant la recharge du ballon

Comparaison entre le cas avec et sans réchauffage du bouclage par la production.



©COSTIC

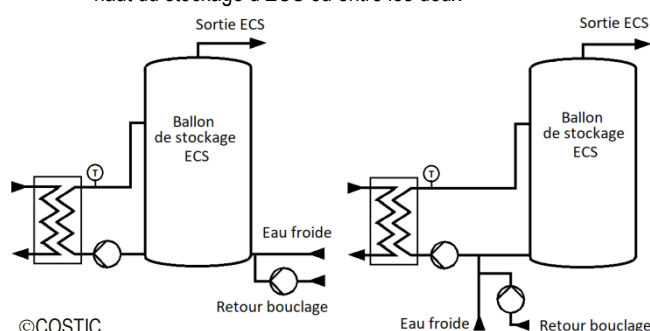
Impact du raccordement du retour de bouclage en bas du stockage d'ECS

Ci-après est traité le cas d'un retour de bouclage et d'une arrivée d'eau froide raccordée en bas de ballon ; cas qui se rapproche également d'un raccordement du retour de bouclage et de l'arrivée d'eau froide à l'entrée du circuit secondaire de l'échangeur tel que représenté figure ci-après.

Ces cas font partie des configurations types rencontrées pour le système de production par échangeur associé à un stockage d'ECS avec une circulation permanente. On les retrouve également dans des cas de fonctionnement de ces systèmes avec arrêts de la circulation.

Figure 35 Raccordements du retour de bouclage et de l'arrivée d'eau froide visés

La sortie secondaire de l'échangeur est raccordée au milieu, en haut du stockage d'ECS ou entre les deux



©COSTIC

Quel échangeur prévoir dans ce cas ?

Dans ce cas, la méthode de sélection de l'échangeur consiste à déterminer :

- tout d'abord la puissance de l'échangeur requise, en fonction du volume de stockage adopté et du débit de bouclage,
- puis le débit de charge du stockage ECS,
- la température en entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement,
- les températures et le débit au primaire de l'échangeur,
- et enfin à sélectionner l'échangeur

! Dans le cas d'un raccordement du retour de bouclage et de l'arrivée d'eau froide en bas de stockage ECS, la puissance de l'échangeur est déterminée pour une température d'entrée secondaire d'échangeur supérieure à 10°C (voir page 28).

La puissance de l'échangeur requise est égale à la puissance de l'échangeur nécessaire sans bouclage (voir pages 20 et 24) à laquelle est ajoutée une puissance supplémentaire pour que ce système de production d'ECS puisse assurer également le réchauffage du bouclage.

Cette puissance supplémentaire à prévoir est déterminée à partir de l'équation ou de la courbe figure ci-après, en fonction du débit de bouclage. Cette puissance supplémentaire est identique que le système soit à circulation permanente ou non.

$$P_{\text{ECS avec bouclage}} = P_{\text{ECS sans bouclage}} + P_{\text{supplémentaire}}$$

$$= P_{\text{ECS sans bouclage}} + 0,70 \times (q_{\text{bouclage}})^{0,50}$$

$P_{\text{ECS avec bouclage}}$: Puissance, en kW, de l'échangeur requise dans le cas d'un retour de bouclage et d'une arrivée d'eau froide en bas de ballon. Cette puissance est déterminée pour une température de sortie secondaire de 60°C et une température d'entrée secondaire égale à la valeur calculée comme indiqué ci-après

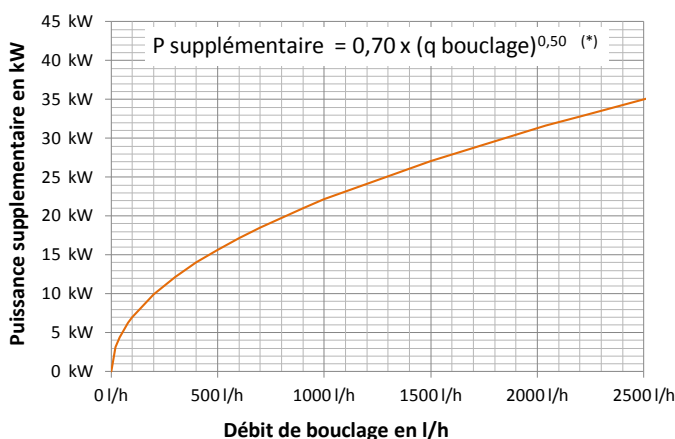
$P_{\text{ECS sans bouclage}}$: Puissance, en kW, de l'échangeur nécessaire pour un régime secondaire 10/60°C lorsque le système n'assure pas le réchauffage du bouclage. Cette puissance est déterminée, en fonction du volume de stockage adopté, à partir des abaques figures 25 et 26, page 20, dans le cas d'un système avec une circulation continue et des abaques figures 29 et 30, page 24, dans le cas d'une circulation non permanente

$P_{\text{supplémentaire}}$: Puissance supplémentaire, en kW, de l'échangeur requise pour la prise en charge du réchauffage de la boucle d'ECS par ce système de production

q_{bouclage} : Débit de bouclage en l/h

Cette puissance ECS avec bouclage correspond également à la puissance que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS par ce système, dans le cas d'un retour de bouclage et d'une arrivée d'eau froide en bas de ballon. La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Figure 36 Puissance supplémentaire requise pour le bouclage dans le cas d'un raccordement du retour de boucle et de l'arrivée d'eau froide en bas du stockage ECS



(*) Par exemple, si le débit de bouclage est de 400 l/h, la puissance supplémentaire à ajouter pour le bouclage correspondra à 14 kW ($0,7 \times 400^{0,5}$)

Le débit de charge au secondaire de l'échangeur est égal à la somme du débit de bouclage et du débit de charge obtenu dans le cas où le système n'assure pas le réchauffage du bouclage.

$$q_{\text{charge avec bouclage}} = q_{\text{charge sans bouclage}} + q_{\text{bouclage}}$$

$$= \frac{1000 \cdot P_{\text{ECS sans bouclage}}}{1,16 \cdot (60 - 10)} + q_{\text{bouclage}}$$

$q_{\text{charge avec bouclage}}$: Débit de charge au secondaire de l'échangeur, en l/h, dans le cas où le système de production assure le réchauffage du bouclage

$q_{\text{charge sans bouclage}}$: Débit de charge au secondaire de l'échangeur, en l/h, dans le cas où le système de production n'assure pas le réchauffage du bouclage.

q_{bouclage} : Débit de bouclage en l/h

$P_{\text{ECS sans bouclage}}$: Puissance, en kW, de l'échangeur nécessaire pour le volume de stockage adopté, pour un régime secondaire 10/60°C, lorsque le système n'assure pas le réchauffage du bouclage.

La température en entrée secondaire d'échangeur à considérer pour son dimensionnement est déterminée à partir de l'équation indiquée ci-après, en fonction de la puissance ECS et du débit de charge calculés.

Cela conduit à une taille d'échangeur supérieure à celle qui serait obtenue pour un régime 10/60°C au secondaire avec la même puissance ECS et le même régime de température au primaire.

$$T_{\text{entrée secondaire}} = 60 - \frac{1000 \cdot P_{\text{ECS avec bouclage}}}{1,16 \cdot q_{\text{charge avec bouclage}}}$$

$T_{\text{entrée secondaire}}$: Température d'entrée secondaire de l'échangeur à considérer pour son dimensionnement, en °C

$P_{\text{ECS avec bouclage}}$: Puissance de l'échangeur requise, en kW, pour le volume de stockage adopté, dans le cas d'un retour de bouclage et d'une arrivée d'eau froide en bas de ballon. Cette puissance est pour une température de sortie secondaire de 60°C et la température d'entrée secondaire calculée

$q_{\text{charge avec bouclage}}$: Débit de charge au secondaire de l'échangeur, en l/h, dans le cas où le système de production assure le réchauffage du bouclage (déterminé comme indiqué ci-avant)

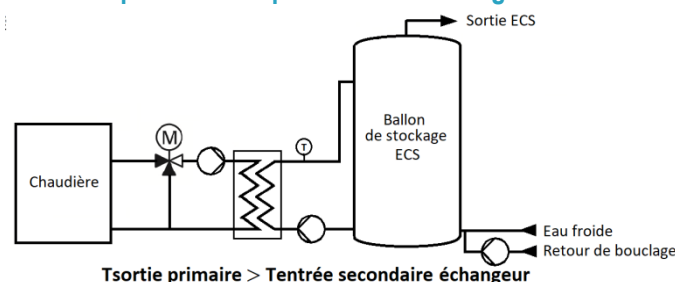
Le régime de température choisi au primaire de l'échangeur doit tenir compte des contraintes liées :

- à la température d'entrée secondaire de l'échangeur. La température de sortie primaire ne peut être inférieure à la température d'entrée secondaire de l'échangeur.

- à la chute maximale de températures des chaudières. La chute de température nominale adoptée au primaire de l'échangeur doit être inférieure (ou égale) à la chute maximale des générateurs pour éviter que cette dernière vienne réduire la température en entrée primaire d'échangeur.

Figure 37

Les contraintes à respecter pour le choix des températures au primaire de l'échangeur



$$\Delta T_{\text{max chaudière}} \geq \Delta T_{\text{nominale primaire échangeur}}$$

©COSTIC

Le débit nominal du circulateur au primaire de l'échangeur est déterminé à partir de la puissance ECS de l'échangeur et de la chute de température nominale fixée au primaire.

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{ECS avec bouclage}}}{1,16 \cdot \Delta T_{\text{primaire}}}$$

q_{primaire} : Débit nominal au primaire de l'échangeur, en l/h

$P_{\text{ECS avec bouclage}}$: Puissance de l'échangeur requise, en kW, pour le volume de stockage adopté, dans le cas d'un retour de bouclage et d'une arrivée d'eau froide en bas de ballon. Cette puissance est pour une température de sortie secondaire de 60°C et la température d'entrée secondaire calculée.

$\Delta T_{\text{primaire}}$: Chute de température nominale fixée au primaire de l'échangeur en K

La sélection de l'échangeur est la dernière étape de cette méthode. L'échangeur est sélectionné pour fournir la puissance ECS avec bouclage calculée, pour :

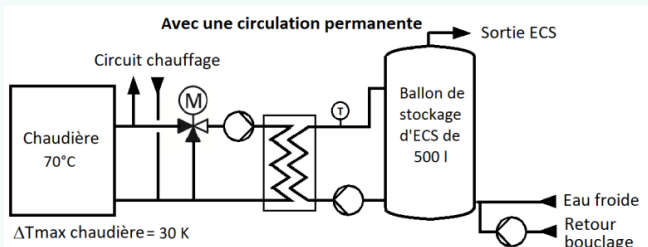
- au secondaire, la température d'entrée déterminée, 60°C en sortie et le débit de charge avec bouclage correspondant,
- au primaire, le régime de température fixé et le débit nominal au primaire correspondant.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Production par un échangeur associé à un ballon de stockage, avec une circulation permanente
- Volume de stockage : 500 litres
- Bouclage avec une perte thermique de 3,6 kW, une chute de température de 5 K et un débit donc de 620 l/h.

- Retour de bouclage et arrivée d'eau froide raccordés en bas de ballon.
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C



Résultat :

Puissance de l'échangeur requise, sans bouclage, pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C, pour le volume de stockage de 500 l (voir exemple précédent page 21) : 43 kW

Puissance supplémentaire à prévoir pour le bouclage :

$$P_{\text{supplémentaire}} = 0,70 \times (620)^{0,50} = 17 \text{ kW}$$

Puissance de l'échangeur requise, avec le bouclage, pour la température d'entrée secondaire calculée ci-après et une température de sortie ECS de 60°C, pour le volume de stockage de 500 l : 43 + 17 = 60 kW

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS par ce système dans ce cas : idem, 60 kW
La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Débit de charge du ballon d'ECS :

$$q_{\text{charge avec bouclage}} = \frac{1000 \times 43}{1,16 \times (60 - 10)} + 620$$

$$= 741 + 620 = 1\,361 \text{ l/h}$$

Température en entrée secondaire d'échangeur à considérer pour son dimensionnement

$$T_{\text{entrée secondaire}} = 60 - \frac{1000 \times 60}{1,16 \times 1\,361} = 22^\circ\text{C}$$

Régime nominal de température adopté au primaire de l'échangeur : 70/40°C, soit une chute nominale de 30 K

Ce régime satisfait bien les deux exigences suivantes :

- une température nominale de sortie primaire (40°C) supérieure à la température d'entrée secondaire de l'échangeur calculée (22°C),
- une chute nominale au primaire inférieure ou égale à la chute maximale de la chaudière.

Débit au primaire de l'échangeur pour la chute de 30 K :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 60}{1,16 \times 30} = 1\,724 \text{ l/h}$$

L'échangeur sélectionné devra donc fournir une puissance ECS de 60 kW, pour :

- au secondaire, 22°C en entrée, 60°C en sortie et un

débit de charge correspondant de 1 361 l/h,

- au primaire, 70°C en entrée, 40°C en sortie et le débit nominal primaire correspondant de 1 724 l/h.

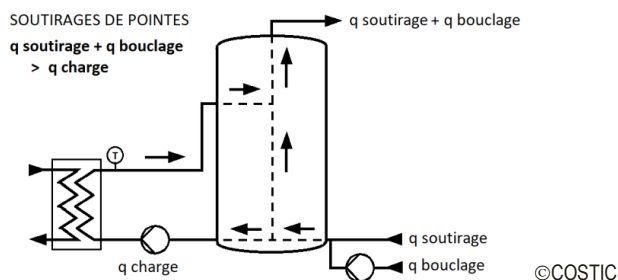
Pourquoi cet impact du bouclage ?

Le raccordement du retour de bouclage et de l'arrivée d'eau froide en bas de stockage influe sur les températures au sein du stockage et à l'entrée secondaire de l'échangeur. Il impacte également sur les débits de recharge et de décharge du stockage.

La température à l'entrée secondaire de l'échangeur résulte du mélange entre l'eau de retour de bouclage, l'eau froide et l'eau en bas de ballon (voir figure 38 ci-après). Durant les soutirages de pointes dimensionnants, lors de la décharge du ballon, cette température n'est donc pas égale à la température d'eau froide de 10°C mais plus élevée. C'est pourquoi, pour le dimensionnement de l'échangeur dans ce cas, une température d'entrée secondaire supérieure à 10°C est considérée.

Cela diffère des cas sans bouclage ou avec un retour de bouclage entre le tiers et le milieu supérieur du stockage. Pour ces cas, durant les soutirages de pointes dimensionnants, la température à l'entrée secondaire est égale à la température d'eau froide de 10°C. C'est pourquoi dans ces cas, l'échangeur est dimensionné pour une température d'entrée secondaire de 10°C.

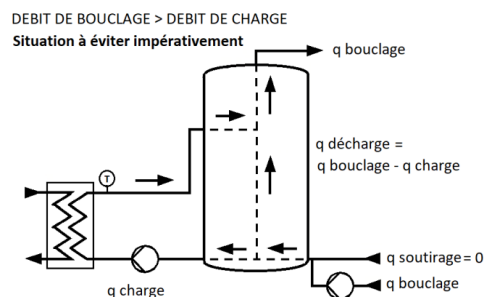
Figure 38 Fonctionnement lors des puisages de pointes



Le débit de charge au secondaire de l'échangeur doit impérativement être nettement supérieur au débit de bouclage de manière à pouvoir recharger le stockage. Si le débit de charge est inférieur au débit de bouclage, le stockage fonctionne constamment en décharge, les températures en sortie de production chutent très fortement durant les soutirages de pointes.

Figure 39 Impact d'un débit de bouclage supérieur au débit de charge

Situation à éviter impérativement qui conduit à une décharge continue du ballon, même en l'absence de soutirage



Le débit de charge fixé dans la méthode de dimensionnement, dans le cas d'un raccordement du retour de bouclage et de l'arrivée d'eau froide en bas de stockage, conduit à des débits de décharge et recharge du stockage identique avec et sans bouclage, comme le montre la figure ci-après.

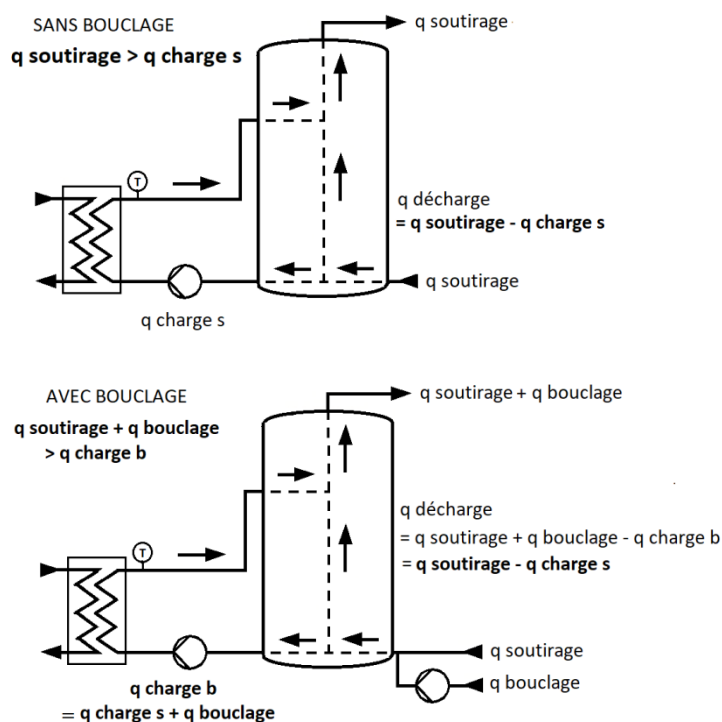
En effet, dans ce cas avec bouclage, pour satisfaire les exigences de températures de 55°C en sortie de production, il est nécessaire d'avoir, à minima, les mêmes débits de décharge (pas au-delà) et recharge du stockage (pas en deçà) que dans le cas sans bouclage.

Au delà de ce débit de décharge ou en deçà de ce débit de recharge, les exigences de températures ne sont plus satisfaites. Ainsi, si durant les soutirages de pointes, le débit de décharge est plus élevé alors on déstocke des strates du stockage plus basses et plus froides si bien que la température en sortie de stockage devient insuffisante. Si le débit de recharge est plus faible, alors le stockage ne sera pas suffisamment rechargé.

Pour avoir les mêmes débits de décharge et de recharge dans le cas avec bouclage que sans bouclage, cela implique, comme le montre la figure ci-après, que dans l'échangeur transite en plus du débit de charge requis sans bouclage, un débit équivalent au débit de bouclage.

Figure 40 **Impact du débit de retour de bouclage durant la pointe maximale de soutirages**

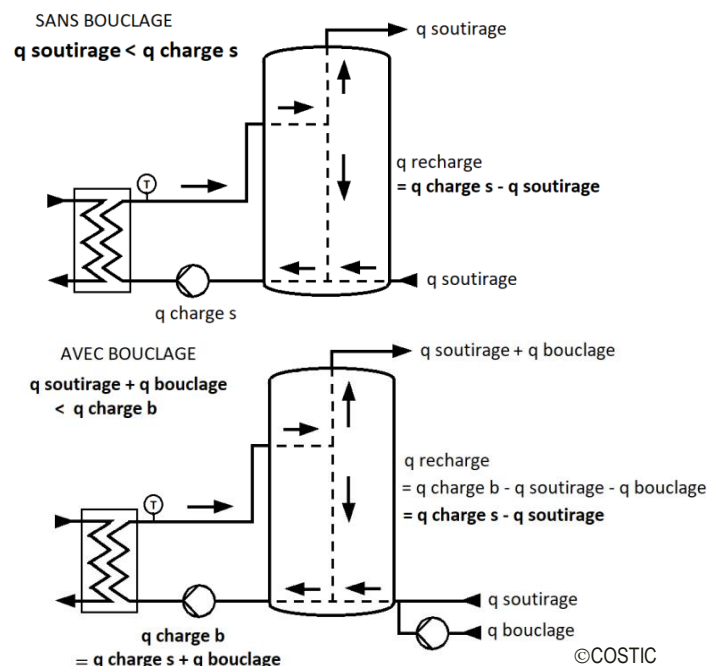
Comparaison entre le cas sans et avec réchauffage du bouclage par la production



©COSTIC

Figure 41 **Impact du débit de retour de bouclage durant la recharge du stockage**

Comparaison entre le cas sans et avec réchauffage du bouclage par la production



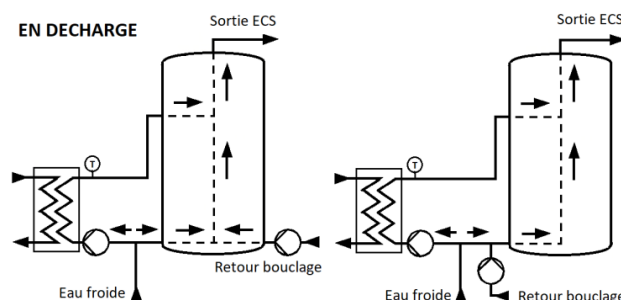
©COSTIC

Dans le cas d'un raccordement de l'eau froide à l'entrée de l'échangeur, tel que représenté sur le schéma ci-après, le même échangeur, avec les mêmes débits primaire et secondaire, que celui déterminé dans le cas précédent (avec un retour de bouclage et un raccordement de l'eau froide en bas de ballon) conviendra.

Par contre, la puissance que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS dans ce cas sera un peu plus élevée. Pour cette configuration, durant les soutirages de pointes dimensionnants, lors de la décharge du stockage, la température en entrée secondaire de l'échangeur est de 10°C. Elle est plus froide que dans le cas d'un raccordement en bas de ballon ce qui requiert donc une puissance des générateurs plus élevée, pour le même débit de charge, vis-à-vis des contraintes de températures minimales en sortie.

Figure 42 **Autres configurations de raccordement lors d'un fonctionnement en décharge durant la pointe maximale de soutirages**

Ces configurations nécessitent une puissance à fournir par les chaudières pour la production d'ECS un peu plus élevée, non pas vis-à-vis du bilan énergétique mais pour satisfaire l'exigence fixée pour le dimensionnement d'une température minimale de 55°C en sortie de production d'ECS.



©COSTIC

2.1.4. Les systèmes de production par ballon à échangeur

En bref

Le couple puissance / volume du ballon à échangeur est à déterminer à partir des abaques figures 45 et 46, page 32.

Si le système assure le réchauffage du bouclage, ajouter la puissance supplémentaire indiquée figure 49, page 35.

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les ballons avec un échangeur intégré qui assurent une production collective d'ECS. Ces systèmes sont constitués :

- d'un ou plusieurs ballons d'ECS avec un échangeur incorporé au ballon. Il peut s'agir d'un échangeur à serpentin ou bien d'un échangeur tubulaire. Cet échangeur peut être constitué d'un ou plusieurs tubes.
- d'un circulateur qui assure le transfert d'énergie de la production de chaleur (chaudières ou sous-station) vers l'échangeur du ou des ballons.

Le fonctionnement de ce circulateur à vitesse fixe est asservi à la température mesurée au sein du ballon. La production de chaleur et ce circulateur sont enclenchés pour le réchauffage de l'ECS lorsque la température mesurée chute en dessous du différentiel. Ils sont arrêtés lorsque cette température passe au dessus de 60°C.

Figure 43 Production d'ECS par un ballon à échangeur à serpentin

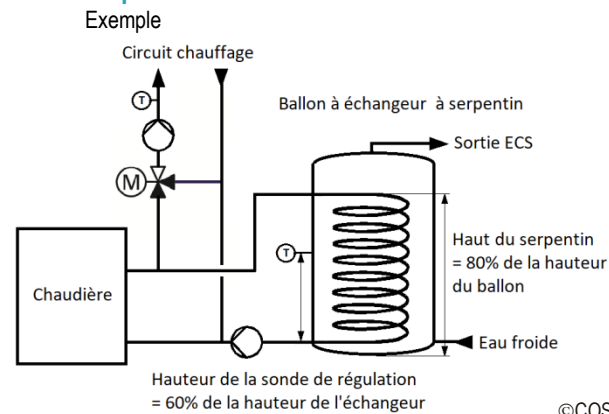
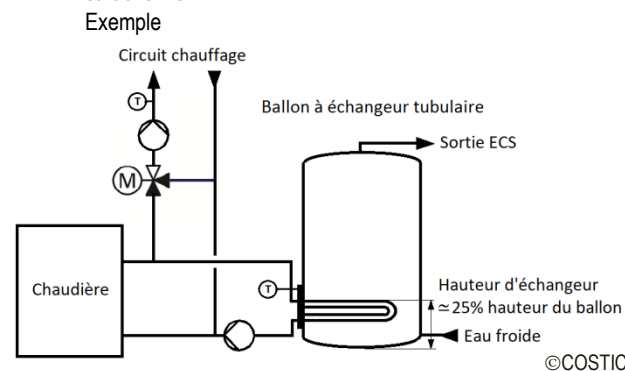


Figure 44 Production d'ECS par un ballon à échangeur tubulaire



Le débit du circulateur conduit à une chute de température au primaire de l'échangeur, pour un régime 10/45°C au secondaire, inférieure (ou égale) à la chute de température maximale des chaudières.

Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de dimensionner ce système dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage. Elle indique la puissance nominale requise des échangeurs en fonction du volume des ballons, sans bouclage. La puissance de l'échangeur est donnée pour un régime de température de 60°C en sortie avec une eau froide à 10°C en entrée.



Si le **réchauffage du bouclage** est assuré par cette production, une puissance supplémentaire est à ajouter (voir page 34).

Cette abaque est applicable pour un ballon avec :

- un échangeur à serpentin allant du bas de la cuve jusqu'à une hauteur variable comprise entre 40% et 80% de la hauteur du ballon (par rapport au bas du ballon), avec une sonde située entre 50% et 70% de la hauteur de l'échangeur (par rapport au bas de l'échangeur).
- un échangeur tubulaire dont le haut de l'échangeur est localisé à 25% de la hauteur du ballon et la sonde juste au dessus de l'échangeur tel que représenté figure 44. Si cet échangeur est situé plus bas ou plus haut, une correction à appliquer est indiquée figure 47, page 34.



Pour le dimensionnement indiqué, il est déconseillé de :

- régler le **différentiel de régulation** à plus de 6 K
- placer la **sonde** en partie haute du ballon.

Cela risque très fortement de conduire à des chutes importantes de la température en sortie de production durant les pointes de soutirage.

Les chaudières doivent disposer pour la production d'ECS d'une puissance supérieure à la puissance de l'échangeur pour un régime 10/60°C au secondaire. En pratique, la puissance que devront être capables de fournir les chaudières pour la production d'ECS sera prise égale à la puissance de l'échangeur du ballon sélectionné, pour un régime secondaire de température de 45°C en sortie avec une eau froide à 10°C en entrée.

La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Il convient également de vérifier que, pour cette puissance en 10/45°C, la chute de température obtenue au primaire de l'échangeur pour son débit primaire, est bien inférieure (ou égale) à la chute de température maximale des chaudières.

Figure 45

Puissance nominale minimale de l'échangeur requise en kW par logement standard, en fonction du volume en litres, du ballon à échangeur à serpentin ou tubulaire

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage

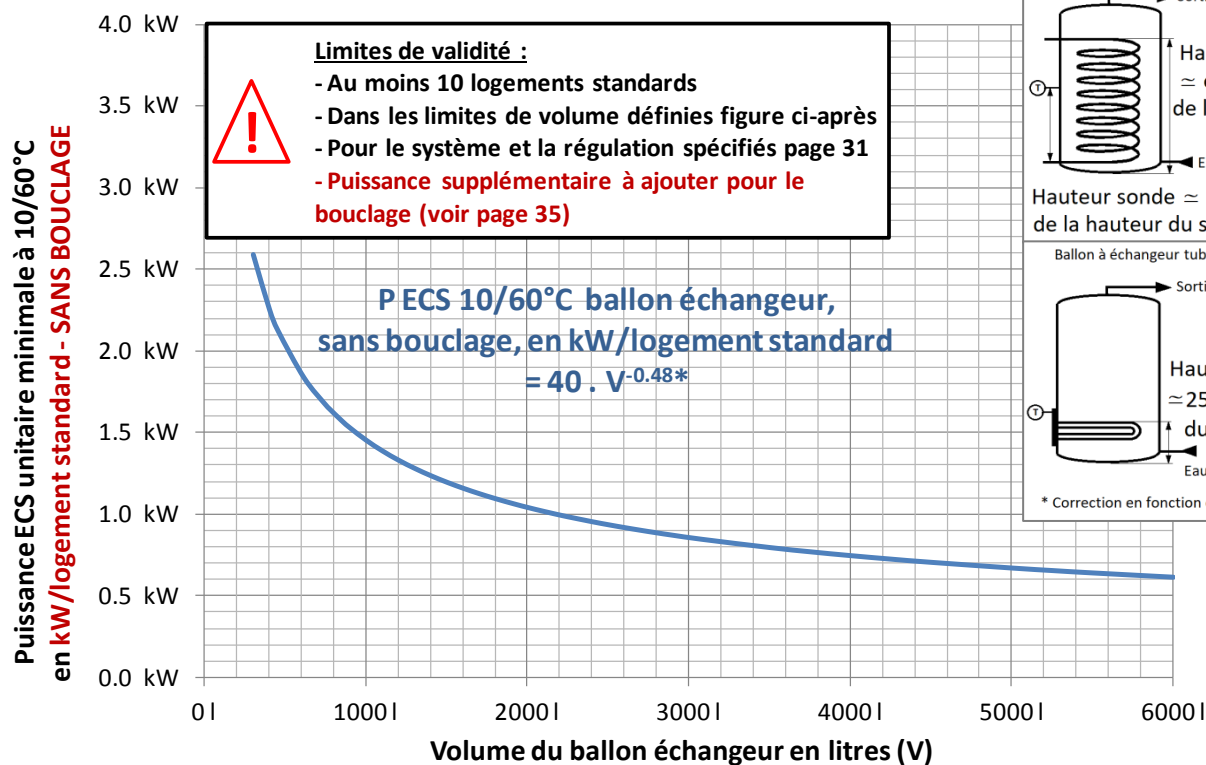
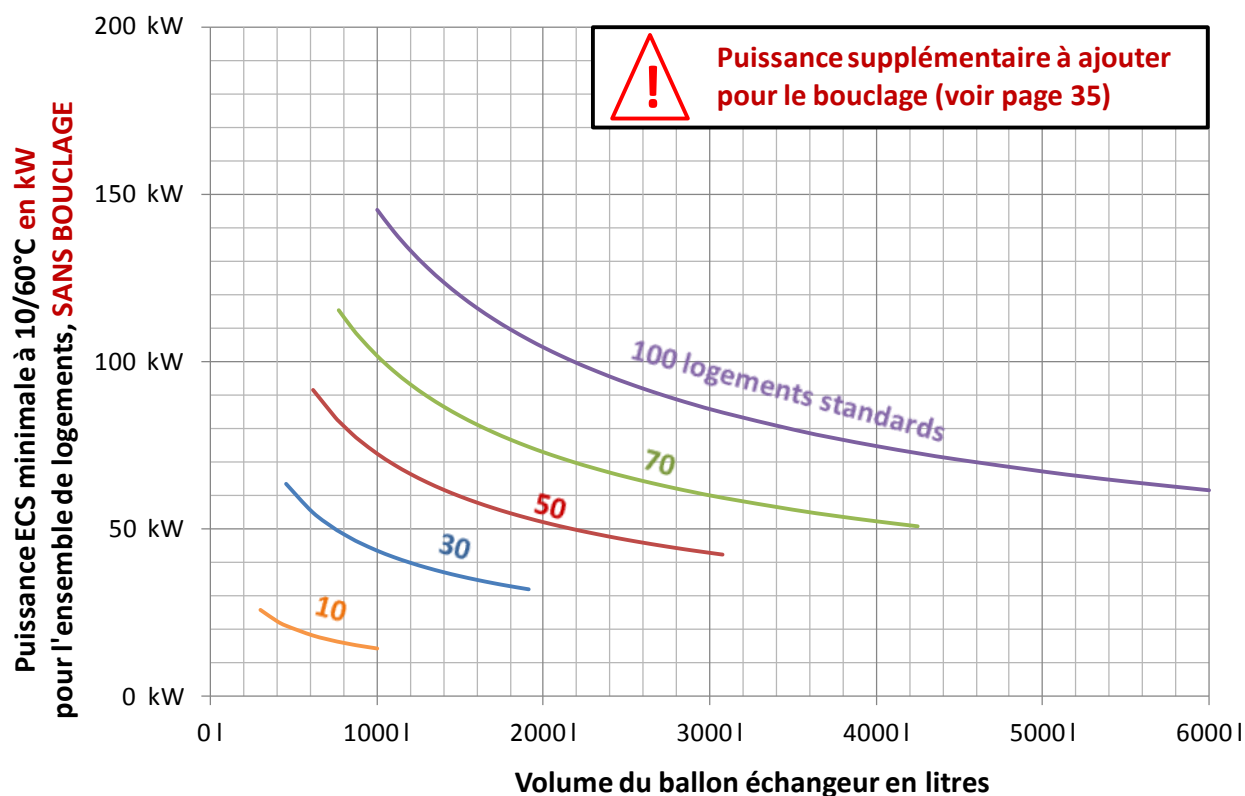


Figure 46

Puissance ECS en kW correspondante pour 10, 30, 50, 70 et 100 logements standards et limites de volumes pour l'application de l'équation indiquée figure ci-avant (*)

Puissances déterminées à partir de l'équation du graphe ci-dessus pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) L'équation donnée figure ci-avant n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe ; par exemple pour 10 logements, de 300 à 1000 l. Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement (voire dans certains cas à un surdimensionnement) important.

Exemple 1Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C
- Critère de sélection choisi : l'appareil satisfaisant les critères de dimensionnement, le moins onéreux de la gamme de produit indiquée dans le tableau ci-après.

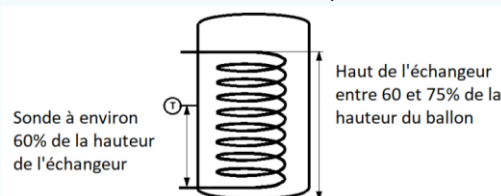
Caractéristiques des produits de la gamme de ballon à échangeur à serpentin sélectionnée (1) (2)

Volume en litres	Débit (3) primaire en m³/h	Température d'entrée primaire			
		70°C		80°C	
		Puissance en 10/60°C		Puissance en 10/45°C	
500	4	55	78	81	99
750	5	68	95	99	121
1 000	5	79	110	115	140
1 500	5	98	134	141	170

(1) Ballons échangeur à serpentin classés par ordre de prix croissant.

(2) Puissance de l'échangeur du ballon pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C, une température ECS de sortie de 60°C et une température entrée primaire de 70°C ou 80°C.

(3) Les débits primaires conduisent pour un régime 10/45°C à une chute de température au primaire de l'échangeur de moins de 30 K, soit inférieure à la chute maximale de température de la chaudière.



Les produits de cette gamme disposent d'une sonde de régulation située à environ de 60% de la hauteur de l'échangeur. Les serpentins de ces produits vont du bas de la cuve jusqu'à une hauteur variable comprise entre 60% et 75% de la hauteur du ballon.

Résultat

Caractéristiques des produits pour une température d'entrée primaire de 70°C			Puissance ECS requise en 10/60°C satisfaisant les critères de dimensionnement (1)	
Volume en litres	Débit primaire en m³/h	Puissance en 10/60°C en kW	En kW/logement standard	En kW
500	4	55	2,03	61
750	5	68	1,67	50
1 000	5	79	1,45	43
1 500	5	98	1,20	36

(1) Valeurs déterminées à partir des abaques des figures 45 ou 46 de la page 32. La position de la sonde et du haut de l'échangeur de ces produits sont bien dans la plage d'application de ces abaques

L'appareil le moins onéreux de cette gamme satisfaisant les critères de dimensionnement, avec une température d'entrée primaire de 70°C, est le ballon échangeur de 750 litres avec un débit primaire de 5 m³/h. Pour un régime 10/60°C et ce débit primaire, sa puissance de 68 kW est supérieure à la puissance requise satisfaisant les critères de dimensionnement de 50 kW.

Au-delà de 750 litres, les appareils satisfont les exigences de dimensionnement mais sont plus onéreux et surdimensionnés.

Le ballon échangeur de 500 litres est moins onéreux mais ne permet pas de satisfaire les critères de dimensionnement pour le débit primaire de 4 m³/h. Pour un régime 10/60°C et ce débit primaire, sa puissance est de 55 kW et la puissance requise de 61 kW.

La puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec le ballon échangeur de 750 l, avec un débit primaire de 5 m³/h, correspond à sa puissance pour un régime secondaire 10/45°C et une température d'entrée primaire de 70°C soit 95 kW (environ 1,4 fois la puissance de l'échangeur en 10/60°C). La puissance totale de cette chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Pour cette puissance en 10/45°C, la chute de température obtenue au primaire de l'échangeur pour le débit de 5 m³/h est de 16 K (95 kW / (1,16 x 5 m³/h)), soit inférieure à la chute de température maximale des chaudières de 30 K.

Exemple 2Description du cas traité :

- Idem, excepté la température de sortie chaudière pour la production d'ECS de 80°C au lieu de 70°C

Résultat :

Caractéristiques des produits pour une température d'entrée primaire de 80°C			Puissance ECS requise en 10/60°C satisfaisant les critères de dimensionnement (1)	
Volume en litres	Débit primaire en m³/h	Puissance en 10/60°C en kW	En kW/logement standard	En kW
500	4	81	2,03	61
750	5	99	1,67	50
1 000	5	115	1,45	44
1 500	5	141	1,20	36

(1) Valeurs déterminées à partir des abaques des figures 45 ou 46 de la page 32

L'appareil le moins onéreux de cette gamme satisfaisant les critères de dimensionnement, avec une température d'entrée primaire de 80°C, est le ballon échangeur de 500 litres avec un débit primaire de 4 m³/h

La puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec ce ballon échangeur de 500 l, avec un débit primaire de 4 m³/h, correspond à sa puissance pour un régime 10/45°C et une température d'entrée primaire de 80°C, soit 99 kW (environ 1,2 fois la puissance de l'échangeur en 10/60°C).

Pour cette puissance en 10/45°C, la chute de température obtenue au primaire de l'échangeur pour le débit de 4 m³/h est de 21 K (99 kW / (1,16 x 4 m³/h)), soit inférieure à la chute de température maximale des chaudières de 30 K.

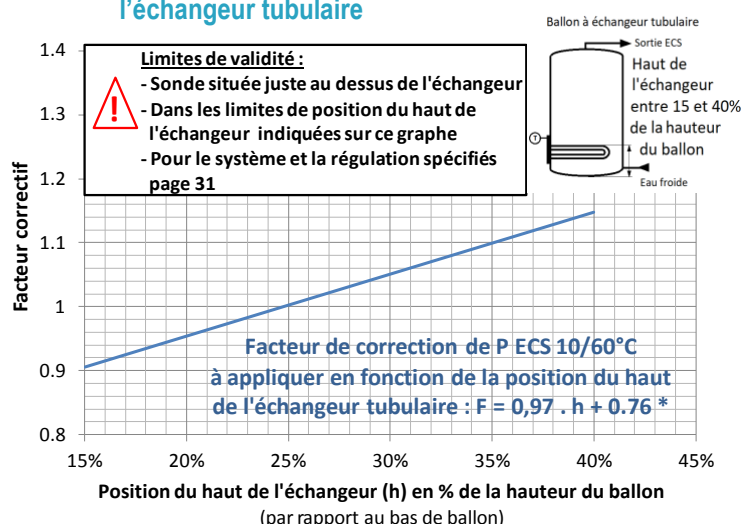
Quelle correction en fonction de la position de l'échangeur tubulaire ?

Si la partie haute de l'échangeur tubulaire n'est pas localisée à environ 25% de la hauteur du ballon, la puissance obtenue à partir des abaques page 32 est à multiplier par le facteur correctif indiqué figure ci-après.

Cette correction est fonction de la position du haut de l'échangeur tubulaire. Plus il est placé haut, plus la puissance requise est importante.

Cette correction est donnée pour une sonde de régulation située juste au dessus de l'échangeur (à une distance du haut de l'échangeur de moins de 10% de la hauteur du ballon).

Figure 47 **Correction à appliquer aux valeurs de puissance ECS en fonction de la position du haut de l'échangeur tubulaire**



(*) Par exemple, si le haut de l'échangeur est à 35% de la hauteur du ballon, par rapport au bas de ballon, la puissance ECS obtenue à partir de l'abaque figure 45 page 32 est à multiplier par 1,1 (0,97 x 0,35 + 0,76)

Quel est l'impact de la position de la sonde ?

Plus la sonde est placée en partie haute de l'échangeur et du ballon, plus la puissance requise augmente surtout en haut de ballon. C'est pourquoi, il est déconseillé de placer la sonde en partie haute du ballon.

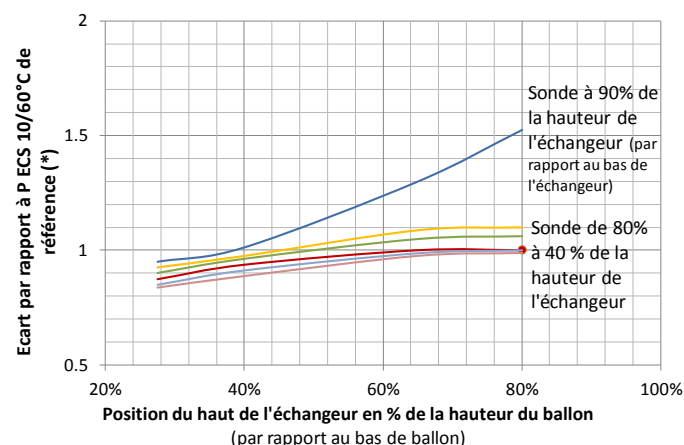
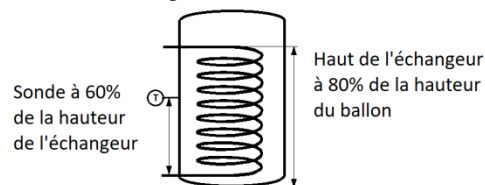
Plus l'échangeur est bas, plus la puissance requise est faible pour une même position de sonde au sein de l'échangeur.

La figure ci-après présente un exemple de résultats obtenus pour un ballon à échangeur à serpentin illustrant cette influence de la position de la sonde.

Figure 48 **Influence de la position de la sonde sur les puissances ECS requises**

Exemple de résultats obtenus pour un ballon à échangeur à serpentin de 750 l, dans le cas d'un immeuble de 27 logements, pour différentes positions de l'échangeur et de la sonde, par rapport à une position de référence

Position de l'échangeur et de la sonde de référence



(*) L'écart a été déterminé par rapport à la valeur de puissance obtenue pour le ballon de référence représenté ci-dessus (point rouge sur le graphe).

Par exemple, si la sonde est placée à 90% de la hauteur de l'échangeur (par rapport au bas de l'échangeur) pour un échangeur arrivant à 60% de la hauteur du ballon (par rapport au bas du ballon), la puissance requise est 1,25 fois plus élevée que dans le cas de référence.

Quelle puissance supplémentaire ajouter pour le bouclage ?

Pour que ce système de production d'ECS puisse assurer également le réchauffage de ce bouclage, il est nécessaire d'ajouter une puissance supplémentaire à la valeur de puissance ECS donnée précédemment, sans bouclage (page 32).

Cette puissance supplémentaire à prévoir est indiquée, figure ci-après, pour un retour de bouclage compris entre le tiers supérieur et le milieu de ballon. Elle est exprimée en fonction des pertes de bouclage.

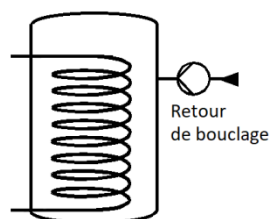
Cette puissance supplémentaire est supérieure à la perte thermique de la boucle car il s'agit de compenser également la chute de température générée par le retour de boucle au sein du ballon, de manière à maintenir en sortie une température d'au moins 55°C (le critère de dimensionnement fixé).

Si le retour de bouclage arrive au dessus de l'échangeur, dans ce cas la puissance supplémentaire à ajouter, pour augmenter les températures en sortie d'échangeur, est plus importante que s'il arrive au niveau du serpentin, comme indiqué figure ci-après.

Figure 49 **Puissance supplémentaire à ajouter pour un retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du ballon**

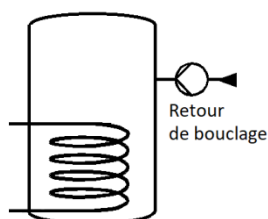
Retour de bouclage entre le tiers supérieur et le milieu du ballon

au niveau du serpent



P supplémentaire
= 3 x Pertes bouclage

au dessus de l'échangeur à serpent ou tubulaire



P supplémentaire
= 5 x Pertes bouclage

Un raccordement du retour de bouclage en bas de ballon génère de l'eau « tiède » en partie basse du ballon ce qui requiert une puissance supplémentaire plus élevée qu'un raccordement entre le tiers supérieur et le milieu du ballon, au niveau du serpent. Cette puissance est dépendante du débit de bouclage.

Exemple 1

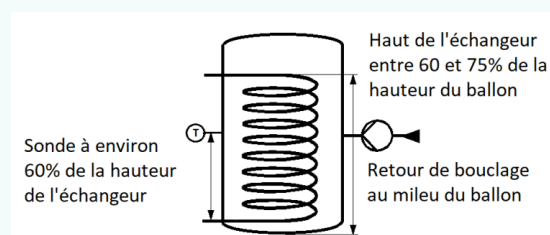
Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Réchauffage du bouclage assuré par le ballon à échangeur.
- Retour de bouclage raccordé au milieu du ballon
- Pertes de bouclage : 3,6 kW
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 30 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C
- Critère de sélection choisi : l'appareil satisfaisant les critères de dimensionnement, le moins onéreux de la gamme de produit indiquée dans le tableau ci-après.

Caractéristiques des produits de la gamme de ballon à échangeur à serpent sélectionnée (1) (2)

Volume en litres	Débit (3) primaire en m³/h	Température d'entrée primaire			
		70°C		80°C	
		Puissance en 10/		Puissance en 10/	
		60°C	45°C	60°C	45°C
500	4	55	78	81	99
750	5	68	95	99	121
1 000	5	79	110	115	140
1 500	5	98	134	141	170

- (1) Ballons échangeur à serpent classés par ordre de prix croissant.
 (2) Puissance de l'échangeur du ballon pour une température d'entrée d'eau froide de 10°C, une température ECS de sortie de 60°C et une température entrée primaire de 70°C ou 80°C.
 (3) Les débits primaires conduisent pour un régime 10/45°C à une chute de température au primaire de l'échangeur de moins de 30 K, soit inférieure à la chute maximale de température de la chaudière.



Les produits de cette gamme disposent d'une sonde de régulation située à environ de 60% de la hauteur de l'échangeur.

Les serpentins de ces produits vont du bas de la cuve jusqu'à une hauteur variable comprise entre 60% et 75% de la hauteur du ballon.

Résultat :

Puissance supplémentaire ajoutée pour le bouclage :

3 fois les pertes de bouclage, d'après la figure 49, compte tenu du point de raccordement du bouclage au milieu du ballon au niveau de l'échangeur.

Caractéristiques des produits de la gamme pour une température d'entrée primaire de 70°C			Puissance ECS en kW requise en 10/60°C satisfaisant les critères de dimensionnement (1)
Volume en litres	Débit primaire en m³/h	Puissance en 10/60°C en kW	
500	4	55	$61 + 3 \times 3,6 = 72$
750	5	68	$50 + 3 \times 3,6 = 61$
1 000	5	79	$44 + 3 \times 3,6 = 55$
1 500	5	98	$36 + 3 \times 3,6 = 47$

(1) Valeurs déterminées à partir des abaques figures 45 ou 46 de la page 32 (voir exemple page 33) auxquelles sont ajoutées 3 fois les pertes de bouclage. La position de la sonde et du haut de l'échangeur de ces appareils sont bien dans la plage d'application de ces abaques.

L'appareil le moins onéreux de cette gamme satisfaisant les critères de dimensionnement, avec une température d'entrée primaire de 70°C, est le ballon échangeur de 750 litres avec un débit primaire de 5 m³/h. Pour un régime 10/60°C et ce débit primaire, sa puissance de 68 kW est supérieure à la puissance requise satisfaisant les critères de dimensionnement de 61 kW.

Au-delà de 750 litres, les appareils satisfont les exigences de dimensionnement mais sont plus onéreux et surdimensionnés.

Le ballon échangeur de 500 litres est moins onéreux mais ne permet pas de satisfaire les critères de dimensionnement pour le débit primaire de 4 m³/h. Pour un régime 10/60°C et ce débit primaire, sa puissance est de 55 kW et la puissance requise de 72 kW.

La puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec le ballon échangeur de 750 l, pour un débit primaire de 5 m³/h, correspond à sa puissance pour un régime 10/45°C et une température d'entrée primaire de 70°C, soit 95 kW (environ 1,4 fois la puissance de l'échangeur en 10/60°C).

Pour cette puissance en 10/45°C, la chute de température obtenue au primaire de l'échangeur pour le débit de 5 m³/h est de 16 K ($95 \text{ kW} / (1,16 \times 5 \text{ m}^3/\text{h})$), soit inférieure à la chute de température maximale des chaudières de 30 K.

Exemple 2**Description du cas traité :**

- Idem, excepté la température de sortie chaudière pour la production d'ECS de 80°C au lieu de 70°C

Résultat :

Caractéristiques des produits pour une température d'entrée primaire de 80°C			Puissance ECS requise en 10/60°C, en kW, satisfaisant les critères de dimensionnement (1)
Volume en litres	Débit primaire en m³/h	Puissance en 10/60°C en kW	
500	4	81	$61 + 3 \times 3,6 = 72$
750	5	99	$50 + 3 \times 3,6 = 61$
1 000	5	115	$44 + 3 \times 3,6 = 55$
1 500	5	141	$36 + 3 \times 3,6 = 47$

(1) Valeurs déterminées à partir des abaques des figures 45 ou 46 de la page 32 (voir exemple page 33) auxquelles sont ajoutées 3 fois les pertes de bouclage

L'appareil le moins onéreux de cette gamme satisfaisant les critères de dimensionnement, avec une température d'entrée primaire de 80°C, est le ballon échangeur de 500 litres, avec un débit primaire de 4 m³/h.

La puissance que doit être capable de fournir la chaudière avec ce ballon échangeur de 500 l, avec un débit primaire de 4 m³/h, correspond à sa puissance pour un régime 10/45°C et une température d'entrée primaire de 80°C, soit 99 kW (environ 1,2 fois la puissance de l'échangeur en 10/60°C).

Pour cette puissance en 10/45°C, la chute de température obtenue au primaire de l'échangeur pour le débit de 4 m³/h est de 21 K ($99 \text{ kW} / (1,16 \times 4 \text{ m}^3/\text{h})$), soit inférieure à la chute de température maximale des chaudières de 30 K.

2.1.5. Les systèmes de production avec un stockage primaire et un échangeur externe au stockage

En bref

Le couple puissance ECS / volume de stockage d'eau primaire est à déterminer à partir des abaques figures 54 et 55, page 39.

Si le système assure le réchauffage du bouclage, ajouter la puissance supplémentaire indiquée par la formule page 41.

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les systèmes de production collective d'ECS par échangeur associé à un stockage d'eau primaire. Ils sont composés :

- d'un échangeur à plaques (voire tubulaire) assurant le réchauffage de l'ECS. Le circuit primaire de cet échangeur est alimenté par le stockage primaire. A l'entrée du circuit secondaire est raccordé l'arrivée d'eau froide et le retour de bouclage éventuel. En sortie du circuit secondaire ressort l'ECS,
- d'un circulateur sur le circuit primaire de l'échangeur, à l'entrée ou à la sortie, fonctionnant à vitesse fixe,
- d'une vanne à trois voies en amont de l'échangeur montée en mélange. Cette vanne module la température à l'entrée primaire de l'échangeur de manière à maintenir la température de consigne en sortie secondaire d'échangeur de 60°C.

Cette régulation conduit à une variation du débit en amont de la vanne à trois voies, en sortie de stockage,

- d'un ou plusieurs ballons de stockage d'eau primaire qui alimentent l'échangeur sanitaire.

Ce stockage est réchauffé par une ou plusieurs chaudières (ou une sous-station). La température de consigne de stockage correspond à la température de consigne des générateurs de chaleur pour la production d'ECS et également à la température nominale requise en entrée du circuit primaire de l'échangeur.

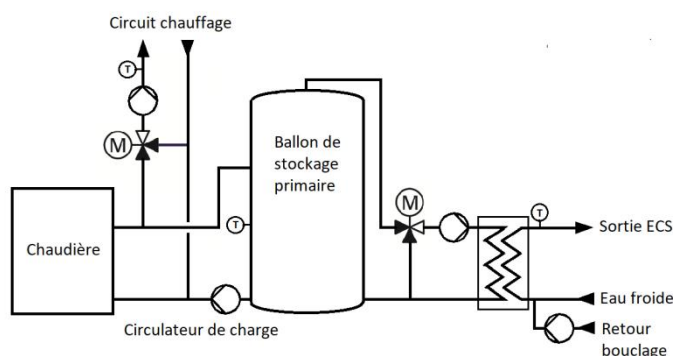
Si plusieurs ballons sont présents, ils sont raccordés en série,

- d'un circulateur de charge du stockage primaire situé entre ce stockage et la production de chaleur, sur le circuit aller ou retour.

Le fonctionnement de ce circulateur à vitesse fixe est asservi à la température de stockage.

Figure 50 Production collective d'ECS par échangeur et ballon de stockage primaire

Exemple



©COSTIC

Quel fonctionnement ?

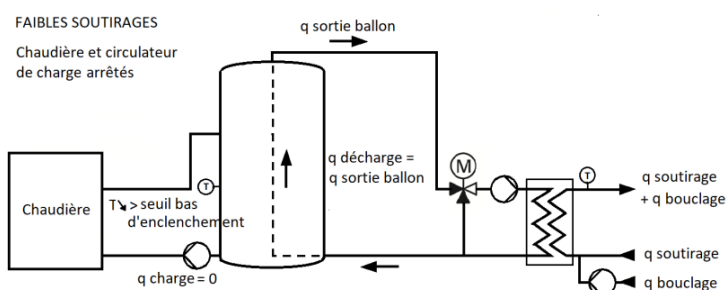
Les schémas ci-après expliquent le fonctionnement de cette installation, dans le cas d'un réchauffage du bouclage d'ECS assuré par cette production.

En fonction du débit en sortie de ballon (en amont de la vanne à trois voies) et du débit de charge, les sens de circulation dans le ballon varient :

- en l'absence de puisage ou pour de faibles soutirages, si le circulateur de charge et la chaudière sont arrêtés compte tenu de la température de stockage, c'est le stockage qui fournit l'intégralité de l'énergie nécessaire au réchauffage de l'ECS et du bouclage (voir figure 51, ci-après),

Figure 51 Fonctionnement de ce système en l'absence ou pour de faibles soutirages, circulateur de charge et chaudière à l'arrêt

Exemple

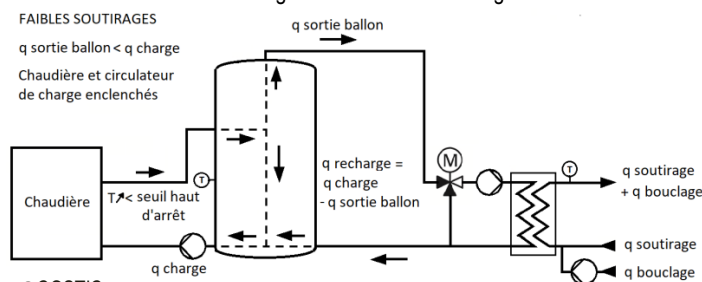


©COSTIC

- en l'absence de puisage ou pour de faibles soutirages, si le circulateur de charge et la chaudière sont enclenchés, c'est la chaudière (et le haut du stockage) qui fournissent l'énergie nécessaire pour le réchauffage de l'ECS et du bouclage, si le débit en sortie de ballon (en amont de la vanne à trois voies) reste inférieur au débit de charge. Le stockage se recharge (voir figure 52, ci-après).

Figure 52 Fonctionnement de ce système en l'absence ou pour de faibles soutirages, circulateur de charge et chaudière en fonctionnement

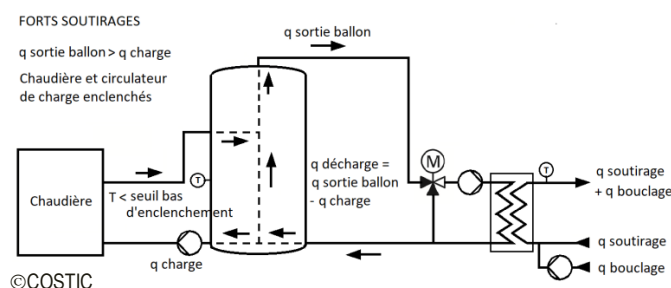
Dans ce cas, le débit en sortie de ballon est inférieur au débit de charge du stockage, compte tenu de la faible puissance requise au niveau de l'échangeur. Le ballon se recharge.



- pour des soutirages importants, le circulateur et la chaudière sont enclenchés par la décharge rapide du ballon, s'ils ne l'étaient pas déjà. C'est alors la chaudière et le stockage qui fournissent l'énergie requise pour le réchauffage de l'ECS et du bouclage, pour un débit en sortie de ballon supérieur au débit de charge (voir figure 53, ci-après).

Figure 53 Fonctionnement de ce système pour de forts soutirages, circulateur de charge et chaudière en fonctionnement

Dans ce cas, le débit en sortie de ballon est supérieur au débit de charge du stockage compte tenu de la puissance élevée requise au niveau de l'échangeur. Le ballon se décharge.



Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de dimensionner ce système dans le cas où il n'assure pas le réchauffage du bouclage. Ils indiquent les puissances que devront être capables de fournir les chaudières pour cette production d'ECS à 60°C, avec une eau froide à 10°C, sans bouclage, en fonction de la capacité de stockage primaire. La puissance totale des chaudières dépendra de cette puissance pour la production d'ECS ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

Différentes courbes sont données selon :

- la température nominale d'eau au primaire de 70 ou 80°C. Cette température au primaire correspond à la fois à la température de consigne du générateur pour la production d'ECS, à la température consigne pour le stockage d'eau primaire et à la température nominale requise en entrée du circuit primaire de l'échangeur,
- la chute de température nominale au primaire de l'échangeur de 25 ou 40 K,

- la chute de température nominale des générateurs fixée pour la production d'ECS de 20 ou 25 K. Cela correspond à la chute adoptée pour le calcul du débit de charge du stockage primaire.

Si le réchauffage du bouclage est assuré par cette production, une puissance supplémentaire est à ajouter (voir page 41).

Ces abaques sont applicables pour :

- un raccordement du circuit de sortie de la chaudière entre le tiers supérieur et le haut du ballon,
- le raccordement du circuit d'entrée primaire de l'échangeur entre le haut du ballon et 80% de la hauteur par rapport au bas de ballon,
- des raccordements du circuit de sortie primaire de l'échangeur et du circuit d'entrée chaudière entre le bas du ballon et 15% de la hauteur du ballon par rapport au bas de ballon,
- La sonde de température de régulation placée entre le tiers inférieur et le milieu du ballon.
- un différentiel de régulation inférieur ou égal à 6 K pour une température primaire de 70°C et à 12 K pour 80°C.

La puissance nominale de l'échangeur est déterminée comme indiqué page 16 pour un système de production d'ECS instantanée.

Le débit du circulateur au primaire de l'échangeur est déterminé en fonction de la puissance nominale de l'échangeur et de la chute de température nominale fixée au primaire.

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{Echangeur}}}{1,16 \cdot \Delta T_{\text{primaire échangeur}}}$$

q_{charge} : Débit au primaire de l'échangeur en l/h

$P_{\text{Echangeur}}$: Puissance nominale de l'échangeur ECS, en kW, pour une température de sortie ECS de 60°C et une eau froide à 10°C en entrée

$\Delta T_{\text{primaire échangeur}}$: Chute de température nominale fixée au primaire de l'échangeur (25 ou 40 K)

Le débit du circulateur de charge est déterminé en fonction de la chute nominale fixée et la puissance du générateur requises pour la production d'ECS.

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{ECS Chaudière}}}{1,16 \cdot \Delta T_{\text{ECS chaudière}}}$$

q_{charge} : Débit de charge du ballon de stockage primaire en l/h

$P_{\text{ECS chaudière}}$: Puissance que devra être capable de fournir la chaudière (ou les chaudières) pour la production d'ECS, en kW

$\Delta T_{\text{ECS chaudière}}$: Chute de température nominale des générateurs fixée pour la production d'ECS de 20 ou 25 K. Cette chute doit être inférieure ou égale à la chute de température maximale des chaudières.

Figure 54

Puissance nominale minimale à fournir par les chaudières pour la production d'ECS, par échangeur associé à un stockage d'eau primaire, en kW par logement standard, en fonction du volume de stockage en litres

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage

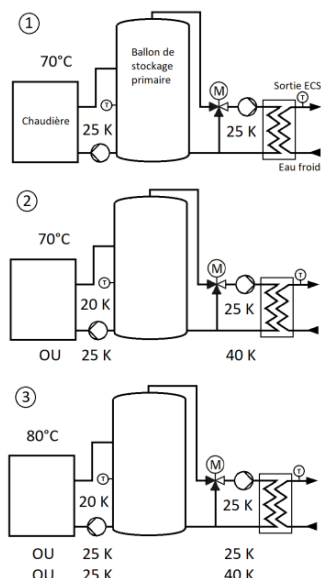
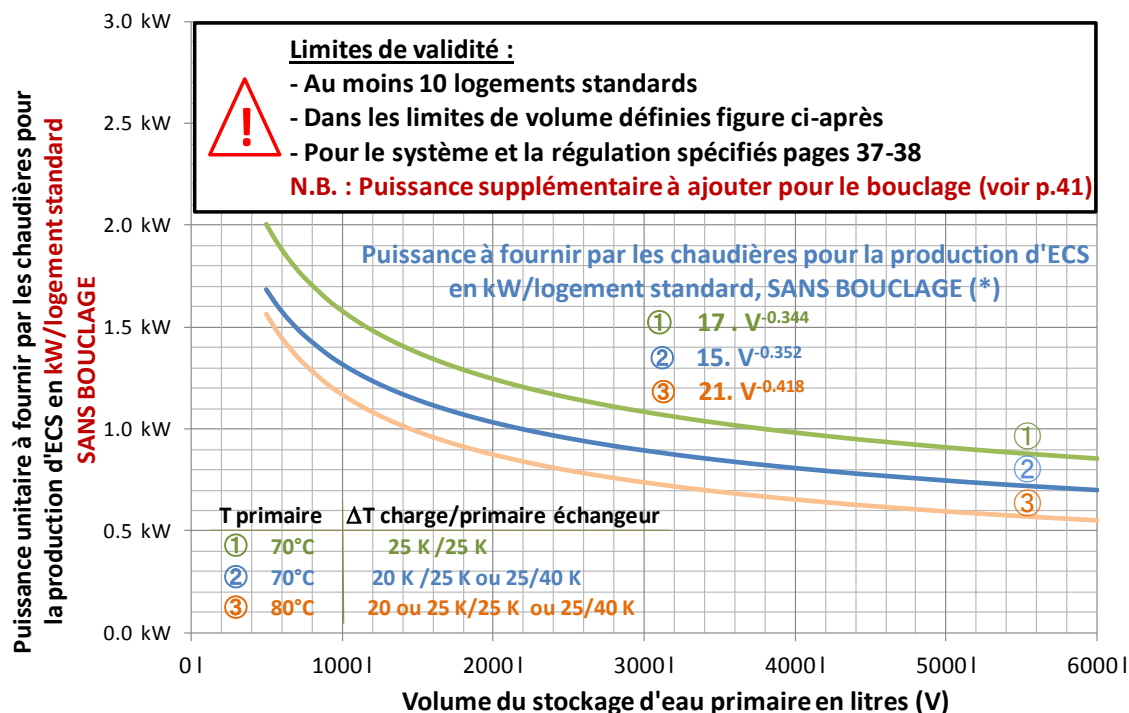
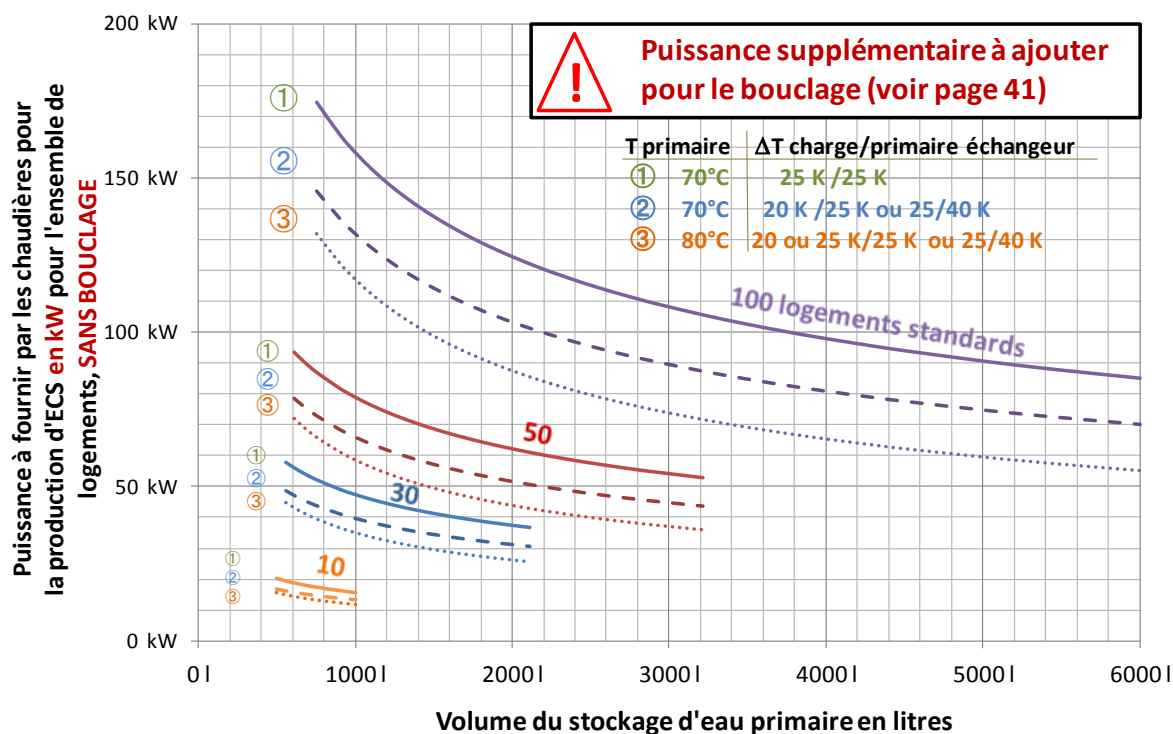


Figure 55

Puissance en kW correspondante pour 10, 30, 50, 70 et 100 logements standards et limites de volumes pour l'application de l'équation indiquée figure ci-avant (*)

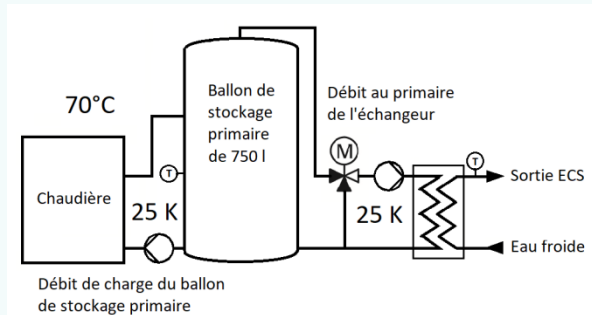
Puissances déterminées à partir de l'équation du graphe ci-dessus pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) Les équations données figure ci-avant ne sont valides que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe ; par exemple pour 10 logements de 500 à 1000 l. Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement (voire dans certains cas à un surdimensionnement) important.

Exemple 1Description du cas traité :

- Immeuble de 32 logements correspondants à 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Volume de stockage d'eau primaire : 750 litres soit 16,5 l par logement standard
- Production de chaleur assurée par une chaudière avec une chute maximale de température de 25 K
- Température de sortie chaudière pour la production d'ECS : 70°C
- Une chute de température nominale de 25 K pour la charge du stockage primaire
- Une chute de température nominale au primaire de l'échangeur de 25 K

Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée primaire de 70°C, une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C (voir équation page 16) :

$$P_{ECS} = \frac{1,16 \times 468 \times 32^{0,503} \times (60 - 10)}{1000} = 155 \text{ kW}$$

Débit au primaire de l'échangeur pour une température d'entrée primaire d'échangeur de 70°C et une chute au primaire de 25K, soit une température de sortie primaire de 45°C :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 155}{1,16 \times 25} = 5\,345 \text{ l/h}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS déterminée à partir de l'équation donnée sur l'abaque de la figure 54 page 39 pour le cas 1. La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage :

$$P_{ECS} = 17 \times 750^{-0,344} = 1,74 \text{ kW / logement standard}$$

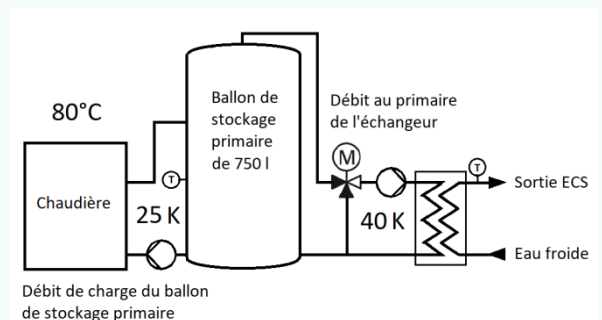
soit pour les 30 logements standards 52 kW

Débit de charge du ballon de stockage primaire pour une chute nominale de température de 25 K pour la charge du stockage primaire :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 52}{1,16 \times 25} = 1\,793 \text{ l/h}$$

Exemple 2Description du cas traité :

- Même immeuble et même volume de stockage d'eau primaire que pour l'exemple 1
- Une température de sortie chaudière pour la production d'ECS de 80°C (au lieu de 70°C pour l'exemple 1)
- Une chute de température nominale de 25 K pour la charge du stockage primaire
- Une chute de température nominale au primaire de l'échangeur de 40 K (au lieu de 25 K pour l'exemple 1)

Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée primaire de 80°C, une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C : 155 kW

Débit au primaire de l'échangeur pour une température d'entrée primaire d'échangeur de 80°C et une chute nominale au primaire de 40 K, soit une température de sortie primaire de 40°C :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 155}{1,16 \times 40} = 3\,341 \text{ l/h}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS déterminée à partir de l'équation donnée sur l'abaque de la figure 54 page 39 pour le cas 3 :

$$P_{ECS} = 21 \times 750^{-0,418} = 1,32 \text{ kW / logement standard}$$

soit pour les 30 logements standards 40 kW

Débit de charge du ballon de stockage primaire pour une chute nominale de température de 25 K pour la charge du stockage primaire :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 40}{1,16 \times 25} = 1\,379 \text{ l/h}$$

Quelle puissance supplémentaire ajouter pour le bouclage ?

Pour que ce système de production d'ECS puisse assurer également le réchauffage de ce bouclage, il est nécessaire d'ajouter une puissance supplémentaire à la valeur de puissance du générateur pour la production ECS indiquée précédemment, sans bouclage, pour une sortie d'ECS à 60°C et une eau froide à 10°C. Cette puissance supplémentaire, correspond à 2,5 fois les pertes de bouclage.

$$P_{\text{supplémentaire}} = 2,5 \times P_{\text{boucle}}$$

$P_{\text{supplémentaire}}$: Puissance supplémentaire des générateurs de chaleur requise pour pouvoir assurer également le réchauffage de la boucle d'ECS, en kW

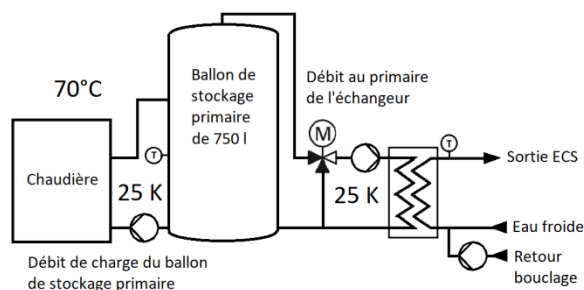
P_{boucle} : Pertes thermiques du bouclage d'ECS, en kW

La puissance nominale de l'échangeur, le débit de charge du stockage primaire et le débit au primaire de l'échangeur sont déterminés comme indiqué précédemment.

Exemple 1

Description du cas traité :

- Idem à l'exemple 1, page précédente, avec en plus le réchauffage du bouclage assuré par la production d'ECS dont les pertes thermiques sont de 3,6 kW



Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée primaire de 70°C, une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C (voir équation page 16) :

$$P_{\text{ECS}} = \frac{1,16 \times 468 \times 32^{0,503} \times (60 - 10)}{1000} + 3,6 = 159 \text{ kW}$$

Débit au primaire de l'échangeur pour une température d'entrée primaire d'échangeur de 70°C et une chute nominale au primaire de l'échangeur de 25 K, soit une température de sortie primaire de 45°C :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 159}{1,16 \times 25} = 5483 \text{ l/h}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS sans bouclage (voir exemple 1 précédent) : 52 kW

Puissance supplémentaire requise pour la prise en charge du réchauffage du bouclage par ce système de production :

$$P_{\text{supplémentaire}} = 2,5 \times 3,6 = 9 \text{ kW}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec le bouclage : 52 + 9 = 61 kW

La puissance totale de la chaudière dépendra de cette puissance ainsi que de la puissance requise pour le chauffage.

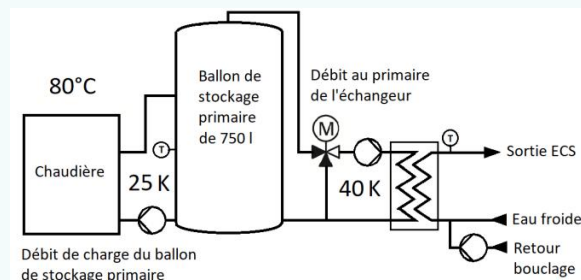
Débit de charge du ballon de stockage primaire pour une chute nominale de température de 25 K pour la charge du stockage primaire :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 61}{1,16 \times 25} = 2103 \text{ l/h}$$

Exemple 2

Description du cas traité :

- Idem à l'exemple 2, page précédente, avec en plus le réchauffage du bouclage assuré par la production d'ECS dont les pertes thermiques sont de 3,6 kW



Résultat :

Puissance nominale de l'échangeur requise pour une température d'entrée primaire de 80°C, une température d'entrée d'eau froide de 10°C et une température de sortie ECS de 60°C : 159 kW

Débit au primaire de l'échangeur pour une température d'entrée primaire d'échangeur de 80°C et une chute au primaire de l'échangeur de 40 K soit une température de sortie primaire de 40°C :

$$q_{\text{primaire}} = \frac{1000 \times 159}{1,16 \times 40} = 3427 \text{ l/h}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS sans bouclage (voir exemple 2 page précédente) : 40 kW

Puissance supplémentaire requise pour la prise en charge du réchauffage du bouclage par ce système de production :

$$P_{\text{supplémentaire}} = 2,5 \times 3,6 = 9 \text{ kW}$$

Puissance que doit être capable de fournir la chaudière pour la production d'ECS avec le bouclage : 40 + 9 = 49 kW

Débit de charge du ballon de stockage primaire pour une chute de température nominale de 25 K pour la charge du stockage primaire :

$$q_{\text{charge}} = \frac{1000 \times 49}{1,16 \times 25} = 1690 \text{ l/h}$$

2.1.6. Les systèmes de production avec un stockage primaire et un échangeur interne au stockage

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les ballons primaires couplés à une chaudière qui assurent à l'aide d'un échangeur sanitaire immergé dans le stockage la production d'ECS d'un immeuble d'habitation. Ces systèmes sont constitués :

- d'un ballon de stockage d'eau primaire. Ce ballon peut être raccordé soit directement au circuit de la chaudière dédié à son réchauffage soit par l'intermédiaire d'un échangeur intégré dans le stockage,
- d'un échangeur sanitaire immergé dans le primaire ballon qui assure le réchauffage de l'ECS. En partie basse de cet échangeur arrive l'eau froide et en partie haute sort l'ECS. Cet échangeur est généralement à serpentin. Il peut également s'agir d'un échangeur tubulaire.

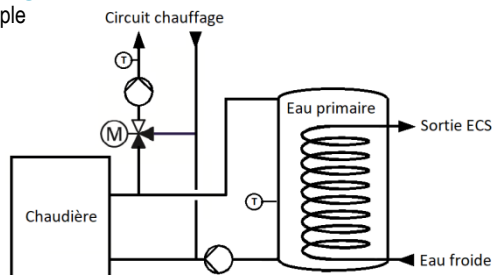
Le réchauffage du ballon par la chaudière est commandé par une sonde ou un thermostat placé dans le stockage.

Un préchauffage du ballon de stockage primaire peut être également réalisé par l'énergie solaire par l'intermédiaire d'un échangeur externe ou interne au ballon.

Pour produire plus d'ECS, plusieurs ballons de stockage primaire peuvent être raccordés en parallèle (sur le primaire et sur le circuit sanitaire).

Figure 56 Ballon de stockage d'eau primaire, raccordé directement à la chaudière, doté d'un échangeur immergé pour la production d'ECS

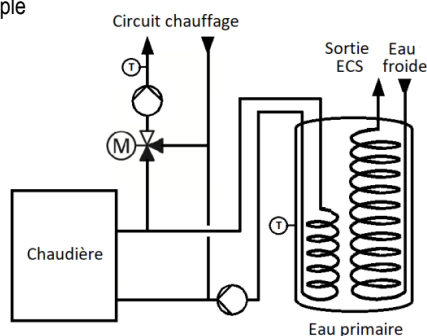
Exemple



©COSTIC

Figure 57 Ballon de stockage d'eau primaire, raccordé via un échangeur à la chaudière, doté d'un échangeur immergé pour la production d'ECS

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Seules des méthodes de dimensionnement spécifiques à chaque constructeur existent pour ces appareils.

2.2. Les accumulateurs gaz

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les accumulateurs gaz collectifs conçus pour assurer une production d'ECS d'un immeuble d'habitation, indépendante du chauffage.

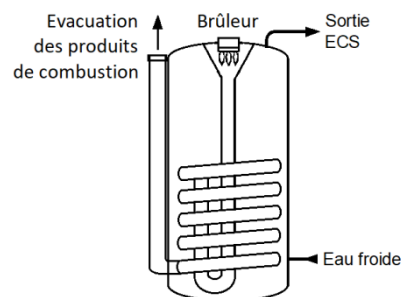
Ces appareils sont constitués :

- d'un réservoir de stockage,
- d'un brûleur gaz placé en partie basse, haute ou médiane du réservoir. Ce brûleur peut fonctionner en tout ou rien, en 2 allures ou être modulant. Il peut s'agir d'un brûleur atmosphérique ou à prémélange total à condensation. Une sonde placée dans le réservoir commande le fonctionnement du brûleur,
- d'un échangeur produits de combustion/ eau qui assure le réchauffage de l'ECS. Cet échangeur immergé dans le réservoir peut être à serpentin ou bien tubulaire.

Afin d'augmenter la capacité de ces accumulateurs, ils peuvent être couplés à un ballon de stockage d'ECS. Plusieurs accumulateurs peuvent être également raccordés en parallèle.

Figure 58 Accumulateur gaz à serpentin

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Ces appareils sont dimensionnés selon des méthodes spécifiques à chaque constructeur.

2.3. Les systèmes collectifs de production par pompe à chaleur dédiée à l'ECS

Ce chapitre traite du dimensionnement des pompes à chaleur (PAC) dédiées à la production d'ECS collective.

Quels sont les systèmes visés ?

Les systèmes traités successivement ci-après, représentatifs de l'offre de constructeurs sur le marché français, sont :

- les PAC au CO₂,
- les PAC à échange direct avec un stockage d'ECS à « stratification dynamique »,
- les PAC associées à un échangeur externe et des ballons de stockage d'ECS,
- les PAC couplées à un ballon à échangeur.

Seules les PAC autorisées à fonctionner tout au long de la journée, non asservies aux heures creuses de la tarification sont traitées.

Dans le cas de la présence d'un appoint, seules les PAC avec appoint électrique sont visées dans ce guide.

 Ce guide traite du dimensionnement des PAC qui assurent uniquement le réchauffage des besoins d'ECS, pas le réchauffage du bouclage, ni le chauffage des bâtiments.

Pour les systèmes visés dans ce guide, l'énergie nécessaire au maintien en température de la distribution collective est fournie par un dispositif spécifique (réchauffeur de boucle par exemple).

Le réchauffage du bouclage peut être également assuré par la PAC à condition que celle-ci soit adaptée pour cet usage. Cette configuration, moins rencontrée, est hors du champ d'application des abaques de dimensionnement présentés dans ce guide.

Quelle est la méthode de dimensionnement ?

La méthode est similaire pour tous les systèmes visés. Ils sont dimensionnés, comme les systèmes associés aux chaudières, pour satisfaire les besoins de pointes et l'exigence de température minimale en sortie de production d'ECS de 55°C vis-à-vis du risque lié aux légionelles.

Si la PAC ne dispose pas d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance de la PAC à la température extérieure de base du site doit être au moins égale à la puissance ECS nécessaire pour satisfaire les exigences de dimensionnement. Cette puissance P_{ECS} , spécifique à chaque système visé, est déterminée à partir des abaques présentés dans les chapitres ci-après.

$$P_{PAC \text{ à Température de base}} \geq P_{ECS}$$

$P_{PAC \text{ à Température de base}}$: Puissance de la PAC à la température extérieure de base du site où la PAC est installée. Le cas visé ici est celui d'une PAC ne disposant pas d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables.

P_{ECS} : Puissance ECS nécessaire pour satisfaire les besoins de pointes et l'exigence de température minimale en sortie de production d'ECS de 55°C. Cette puissance est déterminée en fonction du volume de stockage à partir des abaques :

- page 45 pour les PAC au CO₂,
- page 47 pour les PAC à échange direct avec un stockage d'ECS à « stratification dynamique »,
- page 49 pour les PAC couplées à un échangeur externe et des ballons d'ECS,
- page 51 pour les PAC associées à un ballon échangeur.

Si la PAC dispose d'un appoint électrique permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC doit être supérieure ou égale à 70 % de la puissance ECS nécessaire.

$$P_{\text{ nominale PAC}} \geq 70 \% P_{ECS}$$

De plus, la puissance de l'appoint électrique et de la PAC à la température extérieure de base doit être au moins égale à 120% de la puissance ECS.

$$P_{\text{ appoint}} + P_{PAC \text{ à Température de base}} \geq 120 \% P_{ECS}$$

Ce qui équivaut à : $P_{\text{ appoint}} \geq P_{ECS} (120\% - a \times b)$

avec $a = P_{\text{ nominale PAC}} / P_{ECS}$

$$b = P_{PAC \text{ à Température de base}} / P_{\text{ nominale PAC}}$$

$P_{\text{ appoint}}$: Puissance de l'appoint électrique permettant de couvrir les conditions les plus défavorables

$P_{\text{ nominale PAC}}$: Puissance nominale de la PAC

$P_{PAC \text{ à Température de base}}$: Puissance de la PAC à la température extérieure de base du site. Si cette température extérieure de base est inférieure à la température d'arrêt de la PAC alors $P_{PAC \text{ à Température de base}} = 0$

a : Coefficient de modulation de P_{ECS} adopté. Par exemple, si $P_{\text{ nominale PAC}} = 70\% P_{ECS}$ alors $a = 70\%$

b : Coefficient de dégradation de la puissance nominale de la PAC à la température extérieure de base. Par exemple si $P_{PAC \text{ à Température de base}} = 70\% P_{\text{ nominale PAC}}$, alors $b = 70\%$

Quelles sont les valeurs de besoins d'ECS considérées ?

Les abaques de dimensionnement donnés ci-après ont été établis pour les valeurs de besoins de pointes du guide ADEME de mai 2016 [10].

Il est possible d'utiliser les abaques pour dimensionner ces systèmes pour des besoins de pointes différents si ces besoins sont connus pour le cas traité. Il suffit pour cela de moduler le nombre de logements standards considéré comme indiqué au chapitre 2.1.1. pages 14 et 15.

2.3.1. Les pompes à chaleur au CO₂

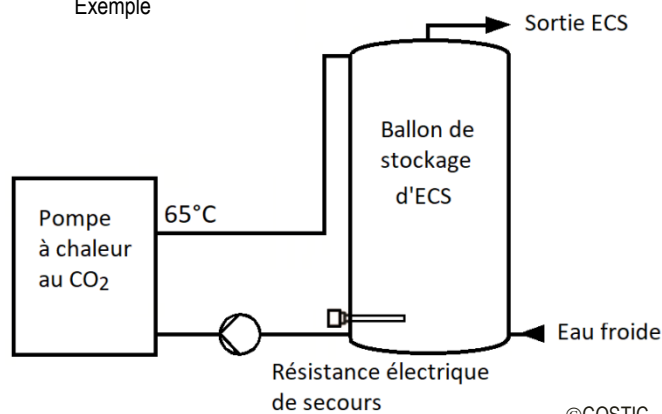
Quels sont les systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les PAC au CO₂ destinées à la production collective d'ECS. Ces systèmes comportent :

- une PAC au CO₂ qui assure, le réchauffage de l'ECS, avec une température en sortie de PAC de 65°C. Ce réchauffage est réalisé directement grâce à un condenseur double paroi ou bien par l'intermédiaire d'un échangeur externe avec un très faible pincement (moins de 1 K).
- La chute nominale de température de l'eau, entre le départ et le retour, au niveau de la PAC, est d'au moins 50 K,
- un ou plusieurs ballons de stockage d'ECS,
- un ou plusieurs circulateurs,
- une gestion du système autorisant un réchauffage du stockage par la PAC à tout moment de la journée (pas d'asservissement aux heures creuses),
- une ou plusieurs résistances électriques dans le stockage d'ECS contribuant éventuellement à la couverture des besoins pour les conditions les plus défavorables (si présence d'un appoint) et au secours.

Figure 59 **PAC au CO₂ à échange direct couplée à un ballon de stockage d'ECS**

Exemple

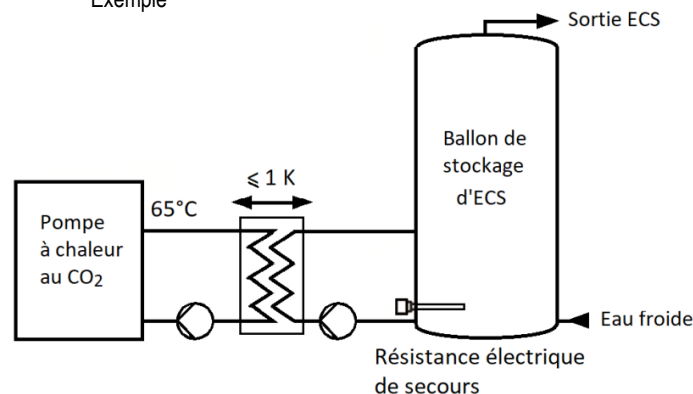


©COSTIC

Figure 60

PAC au CO₂ associée à un ballon de stockage d'ECS par l'intermédiaire d'un échangeur présentant un très faible pincement

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de déterminer la puissance ECS requise en fonction de la capacité de stockage adoptée ou vice-versa.

Ils indiquent les couples puissances ECS / volumes de stockage ECS qui satisfont les critères de dimensionnement fixés.

La puissance de la PAC est déterminée à partir de la puissance ECS selon la méthode décrite au début du chapitre 2.3 page 43.

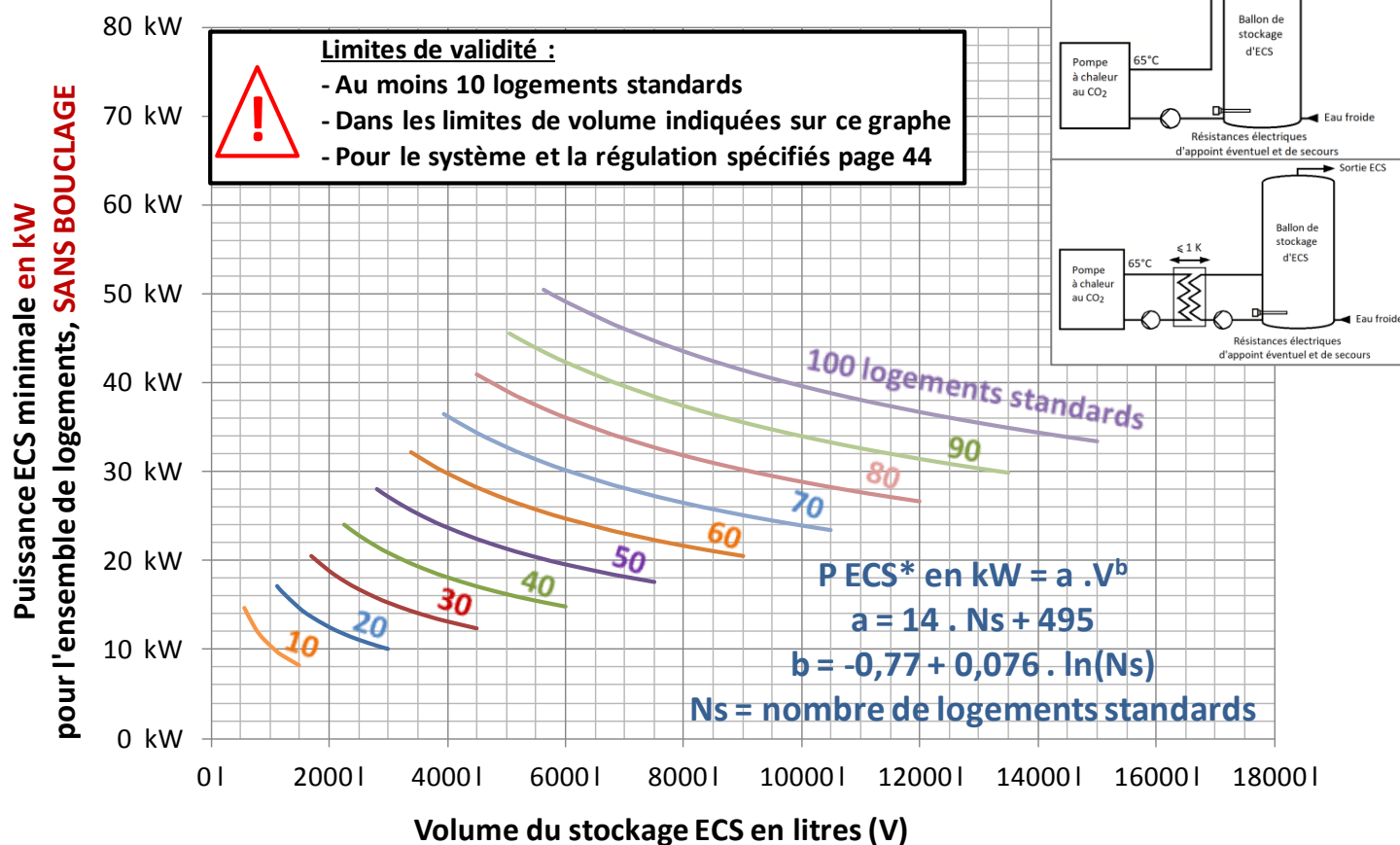
Si la PAC ne dispose pas d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance de la PAC doit être au moins égale à la puissance ECS pour les conditions les plus défavorables.

Si la PAC dispose d'un appoint électrique permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC doit être supérieure ou égale à 70 % de la puissance ECS.

L'appoint électrique doit être dimensionné pour couvrir, avec la PAC, au moins 120% de la puissance ECS dans les conditions les plus défavorables.

Figure 61 Puissance ECS minimale requise en kW, en fonction du volume de stockage, en litres, pour le système de production d'ECS avec une PAC au CO₂

Pour une température en sortie de PAC de 65°C et un pincement de l'échangeur externe éventuel de moins de 1K. Cette production n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) L'équation indiquée n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe, par exemple pour 20 logements standards, de 1 125 à 3 000 l (de 0,75 à 2 fois les besoins moyens journaliers de 75 l à 60°C par logement standard). Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement ou un surdimensionnement important.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production d'ECS assurée par une PAC air/eau au CO₂, sans appoint, associée à un ballon de stockage d'ECS par l'intermédiaire d'un échangeur présentant un très faible pincement (moins de 1K).
- Température de sortie de la PAC de 65°C
- Volume de stockage d'ECS : 3 000 litres soit 100 litres par logement standard
- Température extérieure de base du site : -5°C

Résultat :

Puissance ECS nécessaire déterminée à partir de l'équation indiquée sur l'abaque figure 61 ci-avant :

$$(14 \times 30 + 495) \times 3000^{(-0,77 + 0,076 \times \ln(30))} = 15 \text{ kW}$$

La puissance requise pour cette PAC au CO₂, sans appoint, sera donc d'au moins 15 kW pour la température extérieure de base du site de -5°C.

2.3.2. Les pompes à chaleur à échange direct avec un stockage d'ECS à « stratification dynamique »

Quels sont les systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les PAC dédiées à la production collective d'ECS qui assurent un réchauffage direct des ballons de stockage d'ECS avec une « stratification dynamique ». Ces systèmes comportent :

- une PAC avec un condenseur double paroi permettant de réchauffer l'ECS à au moins 60°C, avec, dans les conditions les plus défavorables, un appoint électrique dans le stockage.
La chute nominale de température de l'eau entre le départ et le retour au niveau de la PAC est de l'ordre de 5 K,
- un ou plusieurs ballons de stockage d'ECS,
- un circulateur qui assure la charge du stockage d'ECS,
- une régulation permettant de réchauffer la partie haute du stockage d'ECS en priorité,
- une gestion du système autorisant un réchauffage du stockage par la PAC à tout moment de la journée (pas d'asservissement aux heures creuses),
- des résistances électriques dans les ballons de stockage contribuant à la couverture des besoins pour les conditions les plus défavorables et au secours.

Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de déterminer la puissance ECS requise en fonction de la capacité de stockage adoptée ou vice-versa.

Ils indiquent les couples puissances ECS / volumes de stockage ECS qui satisfont les critères de dimensionnement fixés.

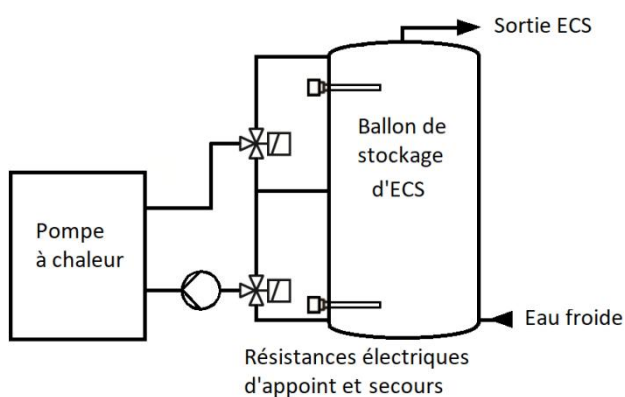
La puissance de la PAC est déterminée à partir de la puissance ECS selon la méthode décrite au début du chapitre 2.3 page 43.

La puissance nominale de la PAC doit être supérieure ou égale à 70 % de la puissance ECS nécessaire.

L'appoint électrique doit être dimensionné pour couvrir, avec la PAC, au moins 120% de la puissance ECS dans les conditions les plus défavorables.

Figure 62 PAC à échange direct avec un stockage d'ECS à « stratification dynamique »

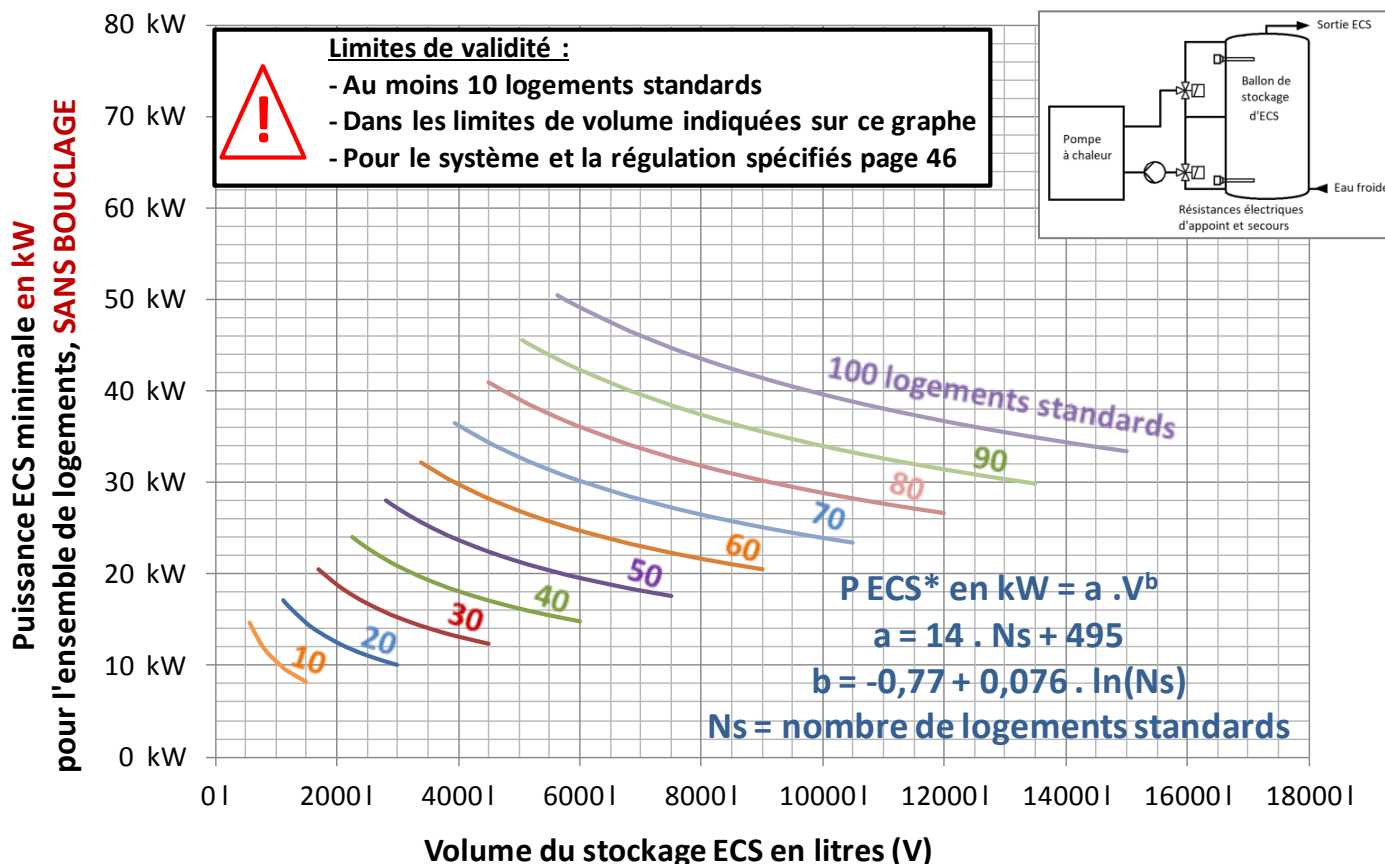
Exemple



©COSTIC

Figure 63 Puissance ECS minimale requise en kW, en fonction du volume de stockage, en litres, pour le système de production par PAC à échange direct avec un stockage ECS « à stratification dynamique »

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) L'équation indiquée n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe, par exemple pour 20 logements standards, de 1 125 à 3 000 l (de 0,75 à 2 fois les besoins moyens journaliers de 75 l à 60°C par logement standard). Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement ou un surdimensionnement important.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production d'ECS assurée par une PAC sur capteurs atmosphériques, à échange direct, avec un stockage ECS à « stratification dynamique ». Cette PAC permet de réchauffer l'ECS à au moins 60°C, avec, dans les conditions les plus défavorables, un appoint électrique dans le stockage.
- Volume de stockage d'ECS : 2 500 litres soit 83 litres par logement standard
- Température extérieure de base du site : -5°C

Résultat :

Puissance ECS nécessaire déterminée à partir de l'équation indiquée sur l'abaque figure 63 ci-avant :

$$(14 \times 30 + 495) \times 2500^{(-0,77 + 0,076 \times \ln(30))} = 16,7 \text{ kW}$$

Pour cette PAC à « stratification dynamique » sur capteurs atmosphériques, avec un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC requise à une température d'eau glycolée de +10°C doit donc être supérieure ou égale à 70% de P_{ECS} soit à 11,7 kW

Compte tenu des gammes de puissances proposées par le constructeur, une PAC avec une puissance nominale de 12 kW est sélectionnée. Le coefficient a de modulation de P_{ECS} est donc égal à :

$$a = P_{\text{ nominale PAC}} / P_{ECS} = 12 / 16,7 = 72\%$$

A la température extérieure de base du site de -5°C, la puissance de cette PAC est de 7 kW d'après les données constructeur. Le coefficient b de dégradation de la puissance nominale de la PAC à la température extérieure de base est donc égal à :

$$b = P_{\text{ PAC à Température de base}} / P_{\text{ nominale PAC}} = 7 / 12 = 58\%$$

La puissance de l'appoint sera donc au moins égal à :

$$P_{\text{ appoint}} = P_{ECS} \times (120\% - a \times b) = 16,7 \times (120\% - 72\% \times 58\%) = 16,7 \times 78\% = 13 \text{ kW}$$

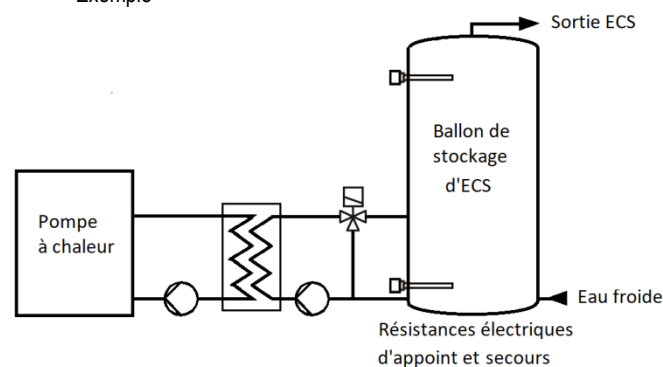
2.3.3. Les pompes à chaleur associées à un échangeur externe et des ballons de stockage d'ECS

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les PAC dédiées à la production collective d'ECS qui assurent un réchauffage des ballons de stockage d'ECS par l'intermédiaire d'un échangeur externe. Ces systèmes comportent :

- une PAC permettant de réchauffer l'ECS à au moins 60°C seule ou avec un appoint électrique. La chute nominale de température du fluide calorifique entre le départ et le retour au niveau de la PAC est de l'ordre de 5 à 7 K,
- un échangeur à plaques ou tubulaire qui assure le transfert d'énergie entre la PAC et le ballon,
- un ou plusieurs ballons de stockage d'ECS,
- un circulateur fonctionnant à vitesse fixe ou variable au primaire de l'échangeur et un second circulateur au secondaire de l'échangeur qui assure la charge du stockage d'ECS,
- une vanne à 3 voies directionnelle éventuelle orientant l'eau en sortie d'échangeur soit vers l'entrée secondaire de l'échangeur soit vers le stockage d'ECS selon la température d'eau en sortie d'échangeur,
- une gestion du fonctionnement de la PAC autorisant un réchauffage du stockage par la PAC à tout moment de la journée (pas d'asservissement aux heures creuses),
- un appoint électrique géré de manière à avoir l'ensemble du stockage à 60°C avant la pointe du matin, si la PAC seule ne le permet pas. Par exemple, en fin de nuit, enclenchement d'un appoint dans le bas du ballon d'ECS pour porter le stockage à 60°C,
- un autre appoint électrique complémentaire, si nécessaire, contribuant à la couverture des besoins de pointes pour les températures extérieures les plus froides, si la PAC seule ne le permet pas. Par exemple, enclenchement d'un appoint complémentaire en haut de ballon si les températures dans cette zone sont insuffisantes.
- un autre appoint éventuel de secours.

Figure 64 PAC associée à un échangeur externe et des ballons de stockage d'ECS

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de déterminer la puissance de la PAC requise en fonction de la capacité de stockage adoptée ou vice-versa.

Ils indiquent les couples puissances ECS / volumes de stockage ECS qui satisfont les critères de dimensionnement fixés.

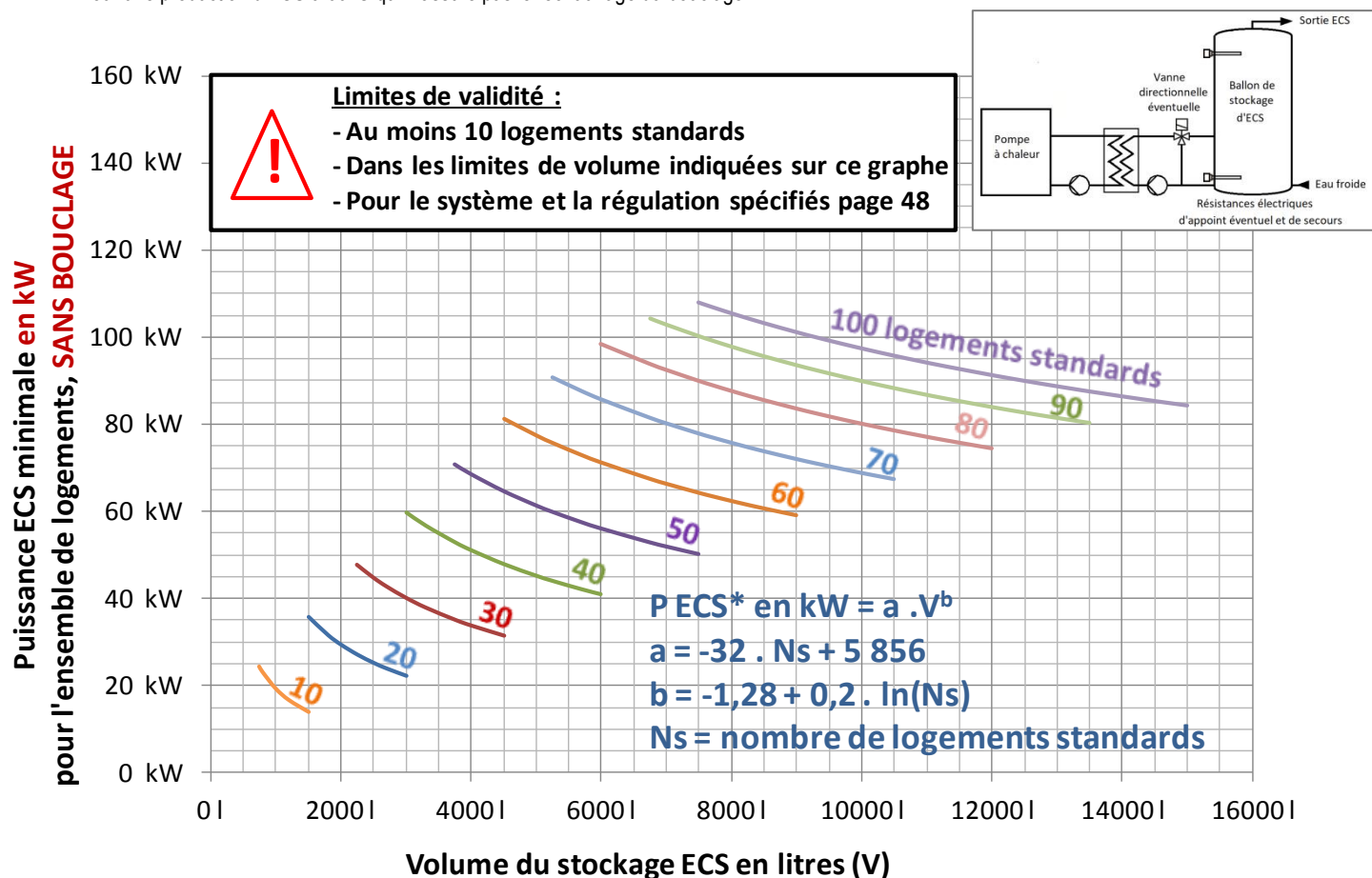
La puissance de la PAC est déterminée à partir de la puissance ECS selon la méthode décrite au début du chapitre 2.3 page 43.

Si la PAC ne dispose pas d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance de la PAC doit être au moins égale à la puissance ECS pour les conditions les plus défavorables.

Si la PAC dispose d'un appoint électrique permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC doit être supérieure ou égale à 70 % de la puissance ECS nécessaire.

L'appoint électrique doit être dimensionné pour couvrir, avec la PAC, au moins 120% de la puissance ECS dans les conditions les plus défavorables.

Figure 65 Puissance ECS minimale requise en kW, en fonction du volume de stockage, en litres, pour le système de production par PAC avec échangeur externe associé à un stockage ECS
Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) Cette équation n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe, par exemple pour 20 logements standards, de 1 500 à 3 000 l (de 1 à 2 fois les besoins moyens journaliers de 75 l à 60°C par logement standard). Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement ou un surdimensionnement important.

Exemple:

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production d'ECS par une PAC air / eau associée à un échangeur externe et un stockage d'ECS. Cette PAC permet de réchauffer l'ECS à au moins 60°C avec, si nécessaire, un appoint électrique dans le stockage. La régulation permet de porter l'ensemble du stockage à 60°C avant la pointe du matin.
- Volume de stockage d'ECS : 3 000 litres soit 100 litres par logement standard
- Température extérieure de base du site : -7°C

Résultat :

Puissance ECS nécessaire déterminée à partir de l'équation indiquée sur l'abaque figure 65 ci-avant :

$$(-32 \times 30 + 5\,856) \times 3000^{(-1,28 + 0,2 \times \ln(30))} = 40 \text{ kW}$$

Pour cette PAC air / eau disposant d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC requise à +7°C extérieure doit être supérieure ou égale à 70% de P_{ECS} soit à 28 kW.

Compte tenu des gammes de puissances proposées par le constructeur, une PAC d'une puissance nominale de 30 kW est sélectionnée. Le coefficient a de modulation de P_{ECS} est donc de :

$$a = P_{\text{ nominale PAC}} / P_{ECS} = 30 / 40 = 75\%$$

A la température extérieure de base du site de -7°C, la puissance de cette PAC est de 21 kW d'après les données constructeur. Le coefficient b de dégradation de la puissance nominale de la PAC à la température extérieure de base est donc :

$$b = P_{\text{ PAC à } T_{\text{ extérieure de base}}} / P_{\text{ nominale PAC}} = 21 / 30 = 70\%$$

La puissance de l'appoint sera donc au moins égal à :

$$P_{\text{ appoint}} = P_{ECS} \cdot (120\% - a \times b) = 40 \times (120\% - 75\% \times 70\%) = 40 \times 68\% = 27 \text{ kW}$$

2.3.4. Les pompes à chaleur associées à un ballon à échangeur

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les PAC dédiées à la production collective d'ECS couplée à des ballons à échangeur. Ces systèmes comportent :

- une PAC permettant de réchauffer l'ECS à au moins 60°C seule ou avec un appoint électrique.
La chute nominale de température du fluide calorifique entre le départ et le retour au niveau de la PAC est de l'ordre de 5 à 7 K,
- un ou plusieurs ballons à échangeur à serpentin,
- un ou plusieurs circulateurs fonctionnant à vitesse fixe ou variable qui assure le transfert d'énergie de la PAC vers l'échangeur,
- une gestion du fonctionnement de la PAC autorisant un réchauffage du stockage par la PAC à tout moment de la journée (pas d'asservissement aux heures creuses),
- un appoint électrique intégré au stockage (voir exemple figure 67) ou dans le volume tampon de la PAC (voir exemple figure 66) géré de manière à avoir l'ensemble du stockage à 60°C avant la pointe du matin, si la PAC seule ne le permet pas. Par exemple, en fin de nuit, enclenchement d'un appoint dans le ballon d'ECS pour porter le stockage à 60°C. L'appoint dans le ballon peut être associé à un circulateur d'homogénéisation enclenché pour cette remontée en température, s'il n'est pas situé en partie basse du stockage (voir exemple figure 67),
- un autre appoint électrique complémentaire, si nécessaire, contribuant à la couverture des besoins de pointes pour les températures extérieures les plus froides, si la PAC seule ne le permet pas. Par exemple, enclenchement d'un appoint complémentaire en haut de ballon si les températures dans cette zone sont insuffisantes,
- un autre appoint électrique éventuel de secours.

Figure 66 **PAC couplée à un ballon à échangeur avec un appoint électrique intégré dans le volume tampon de la PAC**

Exemple

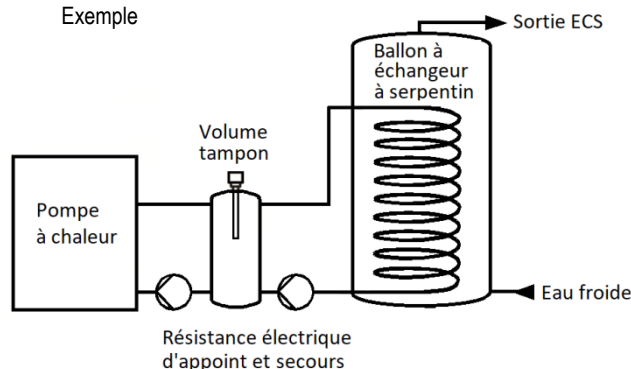
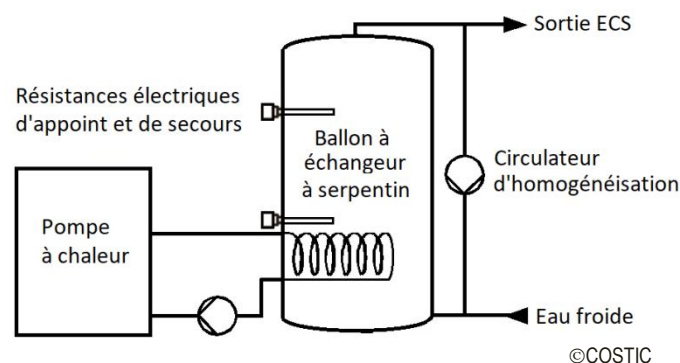


Figure 67 **PAC couplée à un ballon à échangeur avec un appoint électrique dans le ballon et un circulateur d'homogénéisation**

Exemple



Quel dimensionnement ?

Les abaques ci-après permettent de déterminer la puissance de la PAC requise en fonction de la capacité de stockage adoptée ou vice-versa.

Ils indiquent les couples puissances ECS / volumes de stockage ECS qui satisfont les critères de dimensionnement fixés.

La puissance de la PAC est déterminée à partir de la puissance ECS selon la méthode décrite au début du chapitre 2.3 page 43.

Si la PAC ne dispose pas d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance de la PAC doit être au moins égale à la puissance ECS pour les conditions les plus défavorables.

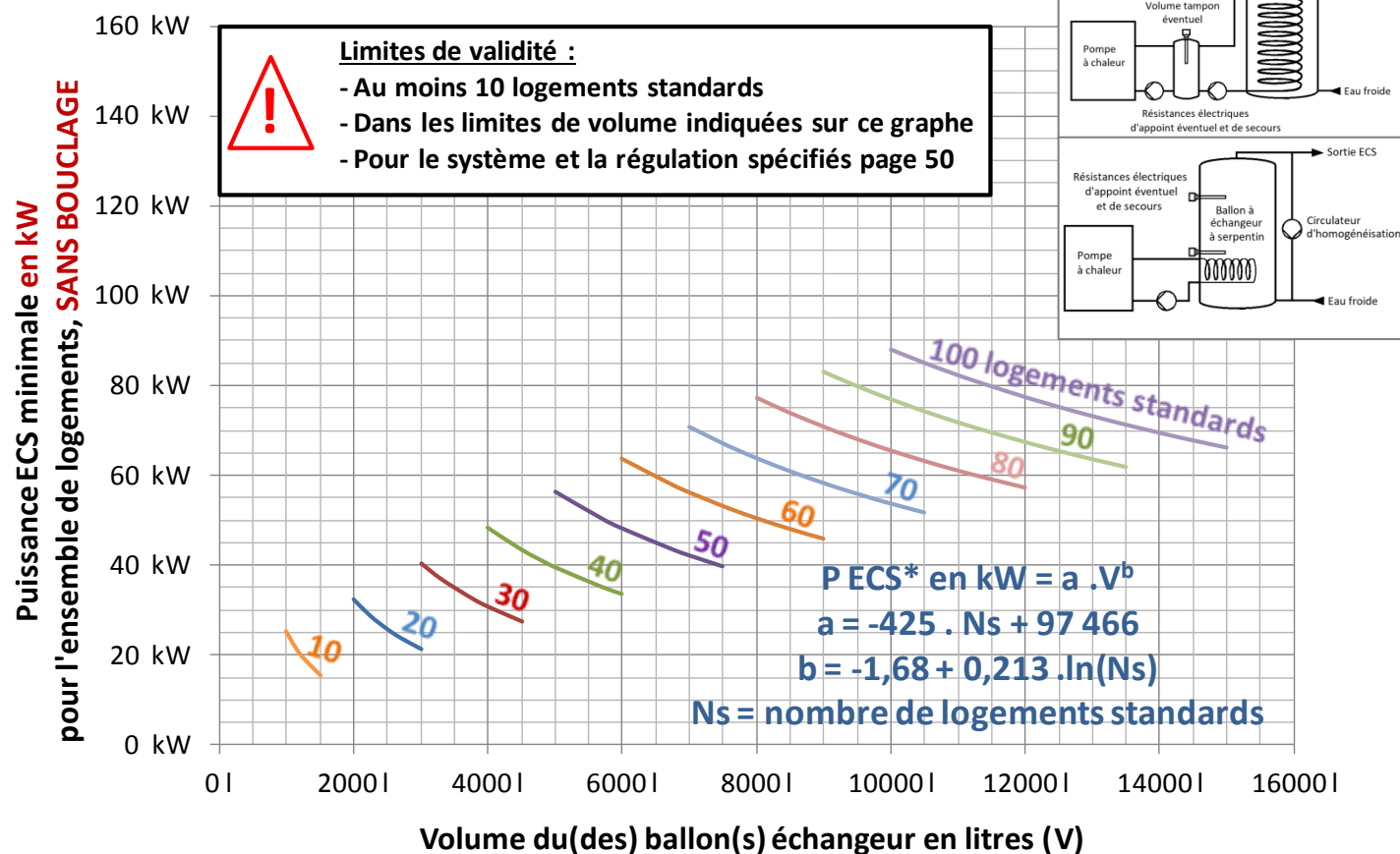
Si la PAC dispose d'un appoint électrique permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC doit être supérieure ou égale à 70 % de la puissance ECS nécessaire.

L'appoint électrique doit être dimensionné pour couvrir, avec la PAC, au moins 120% de la puissance ECS dans les conditions les plus défavorables.

Figure 68

Puissance ECS minimale requise en kW en fonction du volume du ballon échangeur en litres pour le système de production par PAC associée à un ballon à échangeur

Pour une production d'ECS à 60°C qui n'assure pas le réchauffage du bouclage



(*) Cette équation n'est valide que dans les limites de volumes indiquées sur ce graphe, par exemple pour 20 logements standards, de 2 000 à 3 000 l (de 4/3 à 2 fois les besoins moyens journaliers de 75 l à 60°C par logement standard). Au-delà de ces limites de volumes, l'application des équations peut conduire à un sous-dimensionnement ou un surdimensionnement important.

Exemple

Description du cas traité :

- Immeuble de 30 logements standards
- Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle
- Production d'ECS par une PAC air / eau associée à un ballon à échangeur d'ECS. Cette PAC permet de réchauffer l'ECS à au moins 60°C avec, si nécessaire, un appoint électrique dans le stockage. La régulation permet de porter l'ensemble du stockage à 60°C avant la pointe du matin.
- Volume du ballon à échangeur : 3 000 litres soit 100 litres par logement standard
- Température extérieure de base du site : -7°C

Résultat :

Puissance ECS nécessaire déterminée à partir de l'équation indiquée sur l'abaque figure 68 ci-avant :

$$(-425 \times 30 + 97\,466) \times 3000^{(-1,68 + 0,213 \times \ln(30))} = 40 \text{ kW}$$

Pour cette PAC air / eau disposant d'un appoint permettant de couvrir les conditions les plus défavorables, la puissance nominale de la PAC requise à +7°C extérieure doit être supérieure ou égale à 70% de P_{ECS} soit à 28 kW.

Compte tenu des gammes de puissances proposées par le constructeur, une PAC de 29 kW à +7°C extérieure est choisie. Le coefficient a de modulation de P_{ECS} est donc de :

$$a = P_{\text{ nominale PAC}} / P_{ECS} = 29 / 40 = 73\%$$

A la température extérieure de base du site de -7°C, la puissance de cette PAC est de 20 kW d'après les données constructeur. Le coefficient b de dégradation de la puissance nominale de la PAC à la température extérieure de base est donc :

$$b = P_{\text{ PAC à T extérieure de base}} / P_{\text{ nominale PAC}} = 20 / 29 = 69\%$$

La puissance de l'appoint sera donc au moins égal à :

$$P_{\text{ appoint}} = P_{ECS} \cdot (120\% - a \times b) = 40 \times (120\% - 73\% \times 69\%) = 40 \times 70\% = 28 \text{ kW}$$

2.4. Les ballons d'ECS électriques collectifs

Quels systèmes visés ?

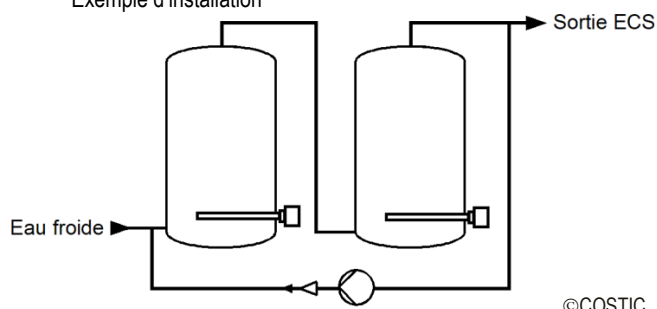
Les systèmes visés dans ce chapitre sont les chauffe-eau électriques collectifs à accumulation, **asservis aux heures creuses** de la tarification, destinés à assurer la production d'ECS d'un immeuble d'habitation. Les installations de chauffe-eau électriques à accumulation peuvent comporter :

- un ou plusieurs ballons. Ces ballons sont raccordés en série (voir figure ci-après),
- un ou plusieurs éléments chauffants dans chaque ballon. Il peut s'agir d'une résistance électrique blindée directement plongée dans l'eau ou bien d'une résistance stéatite placée dans un fourreau,
- un circulateur d'homogénéisation. Ce circulateur raccordé entre la sortie d'eau chaude et l'arrivée d'eau froide (voir figure ci-après) est programmé pour brasser l'eau des ballons durant la période de réchauffage afin que l'intégralité du stockage soit réchauffée.

L'énergie nécessaire pour le maintien en température de la distribution collective d'ECS est fournie par un dispositif spécifique et non par la production.

Figure 69 **Production collective d'ECS par ballons électriques**

Exemple d'installation



Quel dimensionnement ?

La **capacité de stockage** de ces chauffe-eau électriques à accumulation asservis aux heures creuses doit être au moins égale aux besoins journaliers maximaux de l'ensemble de logements desservi.

A défaut de données sur les besoins maximaux du site sur lequel sera installée cette production, ces besoins sont déterminés en fonction du nombre et du type de logement à partir du tableau ci-après, figure 70. Ils correspondent à 2 fois les besoins moyens indiqués dans le guide ADEME de 2016 [10] pour une production collective d'ECS.

La **puissance totale des résistances électriques** nécessaire (P_{ECS}) est déterminée pour reconstituer le volume de stockage, sur une durée comprise entre 6 et 8 h, après soutirage des besoins journaliers maximaux (V_{ECS}).

$$P_{ECS} = \frac{1,16 \cdot V_{ECS} \cdot (60 - 10)}{1000 \cdot t_r}$$

P_{ECS} : Puissance totale des résistances nécessaire en kW

V_{ECS} : Besoins journaliers maximaux du site à 60°C en litres pour une température d'eau froide de 10°C

t_r : Temps de reconstitution du stockage en h compris entre 6 et 8 h

Cela correspond à une puissance comprise entre 1,45 et 1,1 kW par logement standard pour une durée de reconstitution respectivement entre 6 et 8 h.

Figure 70 **Valeurs de besoins journaliers maximaux à 60°C à utiliser pour le dimensionnement des ballons électriques asservis aux heures creuses**

Valeurs à l'échelle de l'immeuble tenant compte du foisonnement

Type de logement	Besoins journaliers maximaux en l à 60°C	
	Parc privé	Parc social
T1	90 l	90 l
T2	105 l	105 l
T3	135 l	150 l (le logement standard)
T4	165 l	210 l
T5	195 l	270 l
T6 ou plus	210 l	285 l

! Ce dimensionnement est valide uniquement dans le cas où l'énergie nécessaire pour le maintien en température de la distribution collective d'ECS est fournie par un autre système et non par la production d'ECS, solution recommandée.

Exemple

Description du cas traité :

Immeuble en habitat social de 30 logements avec 10 T2, 10 T3 et 10 T4:

Distribution collective maintenue en température par un réchauffeur de boucle

Résultat :

Volume minimal de stockage nécessaire à 60°C (égal aux besoins journaliers maximaux de l'immeuble) :

$$10 \times 105 + 10 \times 150 + 10 \times 210 = 4\,650 \text{ l}$$

Puissance totale requise des résistances électriques pour un temps de reconstitution de 8 h :

$$P_{ECS} = \frac{1,16 \times 4\,650 (60 - 10)}{1000 \times 8} = 34 \text{ kW}$$

2.5. Les chauffe-eau solaires centralisés

Quels systèmes visés ?

Les systèmes visés dans ce chapitre sont les chauffe-eau solaires collectifs centralisés (CESC) destinés à assurer la production d'ECS d'un immeuble d'habitation. Ces systèmes sont composés :

- d'un champ de capteurs solaires plans vitrés,
- d'une boucle primaire qui assure le transfert d'énergie depuis les capteurs vers le ou les ballons solaires, via un échangeur généralement externe au stockage. L'échangeur peut être également intégré au stockage pour les plus petites installations,
- d'un ou plusieurs ballons solaires selon le nombre de logement desservis et l'emplacement disponible. Ce stockage peut être en eau sanitaire ou en eau primaire (eau technique),
- d'un ensemble de décharge (échangeur, circulateur,...) dans le cas d'un stockage en eau primaire,
- d'un appoint.

Les capteurs peuvent être remplis en permanence ou l'installation peut être autovidangeable.

L'appoint peut être :

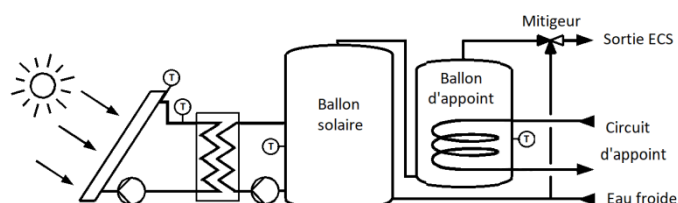
- intégré au ballon solaire pour les petites installations avec un stockage en eau sanitaire. Il peut s'agir, comme pour les chauffe-eau solaires individuels, d'une résistance électrique ou bien d'un échangeur en partie haute du ballon alimenté par une production de chaleur (chaudières, PAC, réseau de chaleur).
- séparé du ou des ballons solaires (cas le plus courant). Dans le cas d'un stockage en eau sanitaire, cet appoint est placé en série, en aval, des ballons solaires (voir figure 71 ci-après). Il peut s'agir d'un ballon électrique, d'un accumulateur gaz ou d'un système associé à une production de chaleur : un échangeur, un ballon à échangeur ou bien encore d'un ballon d'ECS avec un échangeur externe.

Dans le cas d'un stockage en eau primaire, l'appoint est assuré par un échangeur sanitaire (éventuellement associé à un stockage primaire) placé en série en aval de l'échangeur de décharge (voir figure 72 ci-après)

Pour la mise en place des capteurs, comme pour tout chauffe-eau solaire, il est nécessaire de posséder une surface suffisante, correctement orientée ($\pm 45^\circ$ par rapport au sud) sans effet d'ombrage.

Figure 71 **Chauffe solaire centralisé avec un stockage en eau sanitaire**

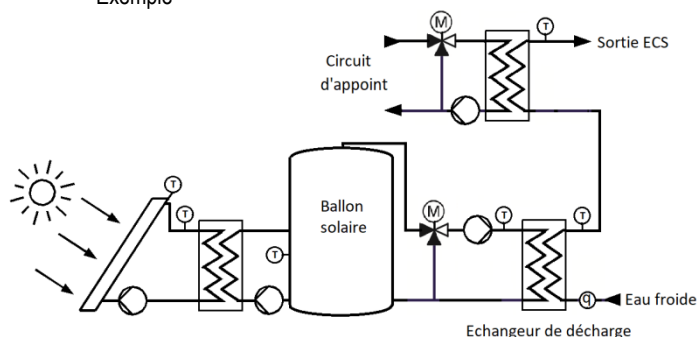
Exemple avec un appoint réalisé par un ballon à échangeur



©COSTIC

Figure 72 **Chauffe solaire centralisé avec un stockage en eau primaire**

Exemple



©COSTIC

Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces chauffe-eau, se référer aux Recommandations professionnelles RAGE : production d'eau chaude sanitaire collective centralisée [7] (téléchargeable sur <https://www.programmepacte.fr/> ou <https://www.costic.com/>).

La méthode de dimensionnement du champ de capteurs et des ballons solaires décrite dans ces Recommandations consiste :

- dans une 1^{ère} étape, à réaliser un prédimensionnement des volumes des ballons et de la surface de capteurs solaires,
- dans une 2^{ème} étape, à ajuster ce prédimensionnement en utilisant un logiciel ou une méthode de calcul des performances d'une installation solaire thermique adaptée.

L'objectif est de trouver un compromis entre une productivité solaire utile importante (entre 400 et 600 kWh par m² de capteurs par an) et un taux de couverture solaire suffisant pour justifier cette installation solaire (40 à 60% annuel).

A noter, que même si pour des raisons d'encombrement, il n'est pas possible d'installer une surface de capteurs permettant d'atteindre 50% de taux de couverture, un projet peut quand même être viable compte tenu d'une meilleure productivité.

Pour le prédimensionnement des ballons solaires, il est préconisé dans ces Recommandations de prendre un volume correspondant à la consommation moyenne journalière d'ECS sur les 3 mois d'été ; la période la plus défavorable de l'année (faible consommation d'ECS et fort ensoleillement).

Pour prédimensionner les surfaces de capteurs, les Recommandations donnent des ratios (volume de stockage solaire / surface de capteur) en fonction de la zone climatique. Ces ratios sont identiques à ceux indiqués pour les chauffe-eau solaires individuels ou collectifs individualisés (voir figure 75, chapitre 3.1, page 56).

Pour les échangeurs de décharge des systèmes en eau primaire, les Recommandations préconisent de dimensionner ces échangeurs pour le débit maximal de pointe d'ECS, en prenant une température d'entrée primaire de cet échangeur de 50°C et une température sortie secondaire de 43 à 45°C.

En ce qui concerne le système d'appoint, il doit être dimensionné de manière à pouvoir couvrir seul les besoins en l'absence d'ensoleillement.

Les Recommandations indiquent également comment dimensionner les différents accessoires de l'installation : circulateurs, canalisations, vase d'expansion ou dans le cas d'une installation autovidangeable réservoirs de récupération,...



Eviter le surdimensionnement de l'installation solaire qui conduit à une faible augmentation du taux de couverture et entraîne des risques de surchauffe plus importants.

3. LES SYSTEMES COLLECTIFS INDIVIDUALISES

Ce chapitre traite des systèmes collectifs individualisés. Ces systèmes présentent la particularité de réaliser à partir d'une source de chaleur commune à l'ensemble de l'immeuble, une production d'ECS individuelle pour chaque logement. Les deux systèmes visés dans ce chapitre sont :

- les chauffe-eau solaires collectifs individualisés,
- les modules thermiques d'appartements.

Ce chapitre indique pour ces deux systèmes, les méthodes de dimensionnement de référence existantes.

3.1. Les chauffe-eau solaires collectifs individualisés

Quels systèmes visés ?

Les installations visées dans ce chapitre sont les chauffe-eau solaires collectifs individualisés (CESCI) conçus pour assurer une production d'ECS individuelle dans chaque appartement, à partir d'un champ de capteurs solaires commun à l'ensemble de l'immeuble d'habitation.

Ces installations sont composées :

- de capteurs solaires vitrés, généralement situés en toiture,
- d'une boucle primaire qui assure le transfert d'énergie depuis les capteurs vers les ballons installés dans chaque logement, via les échangeurs intégrés dans ces réservoirs. Cette distribution est de type parapluie (ou pieuvre)
- de ballons de stockage solaires individuels dans chaque appartement.
- d'un système d'appoint individuel qui peut être intégré ou non à ces ballons.

Les capteurs peuvent être remplis en permanence ou l'installation peut être autovidangeable.

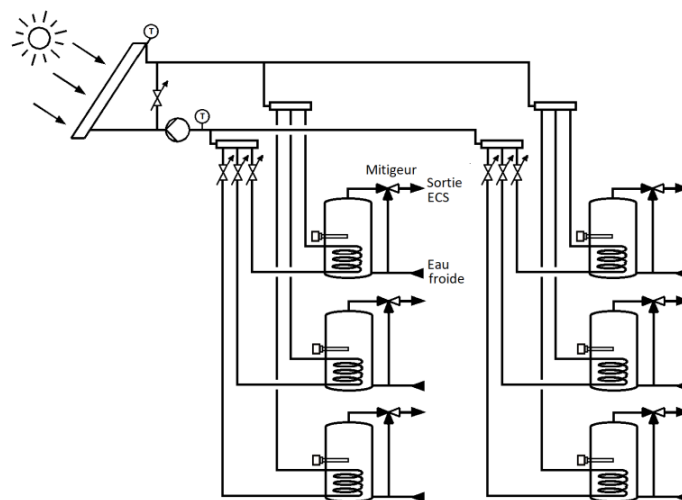
L'appoint peut être assuré :

- dans le cas d'un ballon biénergie, par une résistance électrique ou bien un échangeur en partie haute du ballon alimenté par la chaudière gaz du logement,
- dans le cas d'un appoint séparé, par une chaudière gaz individuelle (instantanée, à micro-accumulation ou à accumulation) montée en série en aval du ballon.

Pour la mise en place des capteurs, comme pour tout chauffe-eau solaire, il est nécessaire de posséder une surface suffisante, correctement orientée ($\pm 45^\circ$ par rapport au sud) sans effet d'ombrage.

Figure 73 **Chauffe-eau solaires collectifs individualisés (CESCI)**

Exemple d'installation avec une distribution primaire en parapluie



©COSTIC

Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces installations, se référer aux Recommandations professionnelles RAGE : Production d'eau chaude sanitaire collective individualisée solaire [8] (téléchargeable sur <https://www.programmepacte.fr/> ou <https://www.costic.com/>).

La méthode de dimensionnement du champ de capteurs et des ballons décrite dans ces Recommandations consiste :

- dans une 1^{ère} étape, à prédimensionner les volumes de ballon et la surface de capteurs solaires à partir de ratios en fonction du type d'appartement, d'appoint et de la zone climatique,
- dans une 2^{ème} étape, à ajuster ce prédimensionnement en utilisant un logiciel ou une méthode de calcul des performances d'une installation solaire thermique adaptée.

L'objectif est de trouver un compromis entre une productivité solaire utile importante (entre 400 et 600 kWh par m² de capteurs par an) et un taux de couverture solaire suffisant pour justifier cette installation solaire.

Comme pour toute installation solaire, il importe d'éviter un surdimensionnement.

Les deux tableaux ci-après présentent les valeurs de ratios indiquées dans ces Recommandations pour le prédimensionnement des volumes de ballon et de la surface de capteurs.

Si des volumes plus faibles sont adoptés, pour des raisons d'encombrement par exemple, le dimensionnement de la surface de capteurs doit être revu en conséquence.

En ce qui concerne l'appoint, il doit être dimensionné de manière à pouvoir couvrir seul les besoins en l'absence d'ensoleillement.

Dans ces Recommandations, des indications sont également données pour dimensionner l'ensemble des accessoires de l'installation : circulateurs, canalisations, vase d'expansion ou dans le cas d'une installation autovidangeable réservoirs de récupération,...

Figure 74 **Volume de ballon en fonction du type de logement et de l'appoint**

Ratios indiqués dans les Recommandations professionnelles RAGE sur les CESC [8] pour un prédimensionnement

Type de logement	Volume total du ballon solaire sans appoint intégré	Volume total du ballon biénergie		
		Avec appoint électrique et abonnement		Avec appoint gaz
		heures creuses/ heures pleines	Heures pleines	
Studios et 1 pièce	80 l	200 l	100 l	100 l
2 pièces	100 l	200 l	150 l	200 l
3 pièces	150 l	300 l	200 l	300 l
4 pièces	200 l	400 l	250 l	400 l
5 pièces et plus	200 l	400 l	300 l	400 l

Figure 75 **Surface de capteurs**

Ratios indiqués dans les Recommandations professionnelles RAGE sur les CESC [8] pour un prédimensionnement. Ces ratios sont identiques à ceux indiqués dans les Recommandations sur les chauffe-eau solaires individuels [5] ou collectifs centralisés [7]

Zone climatique (1)	Volume de stockage solaire / surface de capteurs
I1	45 l/m ²
I2	55 l/m ²
I3	65 l/m ²
I4	75 l/m ²

(1) Voir figure 13 page 10 pour la détermination des zones climatiques

3.2. Les modules thermiques d'appartements

Quels systèmes visés ?

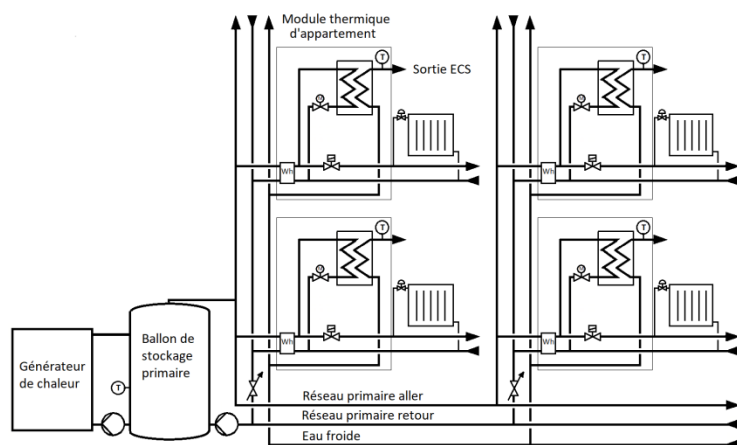
Les appareils visés dans ce chapitre sont les modules thermiques d'appartements (MTA) destinés à assurer une production individuelle d'ECS et généralement le chauffage de chaque logement, à partir d'une source de chaleur commune à l'ensemble de l'immeuble d'habitation. Les installations avec des MTA sont ainsi composées :

- d'une génération de chaleur collective (chaufferie, réseau de chaleur) associée éventuellement à un système de récupération de chaleur (capteurs solaires thermiques,...),
 - d'une distribution primaire collective qui alimente l'ensemble des modules thermiques d'appartement,
 - de modules thermiques d'appartement assurant une production d'ECS individuelle soit instantanée à partir d'échangeurs à plaques ou bien plus rarement accumulée à partir de ballons à échangeurs à serpentin pour chaque appartement.
- Ces modules peuvent également assurer le chauffage soit en simultané avec la production d'ECS soit en alterné. Le circuit de chauffage peut être ou non découplé du circuit primaire collectif par l'intermédiaire d'un échangeur ou d'un bypass.

Dans le cas d'une production d'ECS à accumulation, le réchauffage de l'ensemble des ballons individuels à échangeur est asservi à une programmation horaire. Deux à trois fois par jour, la température du réseau primaire est augmentée afin de pouvoir réaliser la reconstitution des stockages.

Figure 76 Installation avec des modules thermiques d'appartements (MTA)

Exemple de MTA assurant une production instantanée d'ECS par des échangeurs à plaques et le chauffage



Quel dimensionnement ?



Pour le dimensionnement de ces installations, se référer au guide technique pour la mise en œuvre des modules thermiques d'appartements [14] (téléchargeable sur www.acr-regulation.com/ ou <https://www.costic.com/>).

Ce guide technique présente une méthode de dimensionnement permettant de déterminer successivement :

- la puissance des échangeurs individuels ou les volumes de ballons à échangeur nécessaires pour chaque logement,
- les diamètres des canalisations de distribution primaire,
- la puissance requise en chaufferie et le volume du ballon de stockage primaire éventuel.

Les deux tableaux ci-après présentent les valeurs indiquées dans ce guide pour le dimensionnement des échangeurs individuels et des ballons.

Les valeurs de puissances dépendent des appareils sanitaires présents dans le logement et du niveau de confort souhaité.

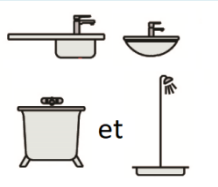
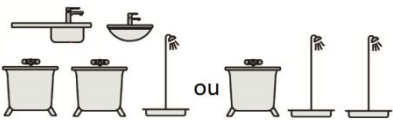
Les échangeurs sont dimensionnés pour fournir les débits de puisage correspondant à ces valeurs de puissances à une température ECS en sortie de :

- 40°C pour un confort standard,
- 50°C pour un niveau de confort élevé. Cette température ECS plus élevée requiert des surfaces d'échange plus importantes, à température d'entrée primaire et puissance identiques.

Par exemple, dans le cas d'une température d'entrée primaire de 60°C, pour obtenir une puissance de 33,5 kW, la taille de l'échangeur nécessaire sera plus importante si la température désirée en sortie secondaire est de 50°C au lieu de 40°C.

Figure 77 **Puissances des échangeurs ECS individuels des MTA requises**

Exigences indiquées dans le guide technique de référence pour la mise en œuvre des MTA [14]

Appareils sanitaires de l'appartement	Confort standard	Confort élevé
	Puissance de l'échangeur (*) pour une ECS à la sortie à	
	40°C	50°C
- Un évier, un lavabo, - Une baignoire ou une douche 	25,1 kW	33,5 kW
- Un évier, un lavabo, - Une baignoire et une douche 	29,3 kW	41,9 kW
- Un évier, un lavabo, - deux baignoires et une douche (ou une baignoire et deux douches) 	33,5 kW	46 kW

(*) Pour une température d'eau froide en entrée de l'échangeur, à déterminer en fonction de la localisation du site

Les volumes de ballons individuels à échangeur indiqués sont fonction du type d'appartement.

Figure 78 **Capacités minimales des ballons à échangeur des MTA requises**

Exigences indiquées dans le guide technique de référence pour la mise en œuvre des MTA [14]

Type de logement	1 pièce	2 pièces	3 pièces	4 pièces	5 pièces et plus
Capacité minimale des ballons des MTA	80 l	80 l	80 l	120 l	120 l

Bibliographie

Normes

- [1] **NF DTU 65.16 P1-1** : Installations de pompes à chaleur - Partie 1-1 : cahier des clauses techniques types - Juin 2017
- [2] **NF EN 13203-1** : Appareils domestiques produisant de l'eau chaude sanitaire utilisant les combustibles gazeux - Partie 1 : évaluation de la performance en puisage d'eau chaude - Décembre 2015
- [3] **NF EN 303-6** : Chaudières de chauffage - Partie 6 : chaudières avec brûleurs à air soufflé - Exigences spécifiques à la fonction eau chaude sanitaire des chaudières à deux services avec brûleurs fioul à pulvérisation dont le débit calorifique nominal est inférieur ou égal à 70 kW - Mars 2000
- [4] **NF DTU 60.11 P1-2** : Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et d'eaux pluviales - Partie 1-2 : Conception et dimensionnement des réseaux bouclés - aout 2013

Recommandations professionnelles du programme RAGE (Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012
téléchargeables librement sur <https://www.programmepacte.fr>
ou <https://www.costic.com>)

- [5] **Chauffe-eau solaires en habitat individuel** - Conception et dimensionnement - Juillet 2013
- [6] **Systèmes solaires combinés en habitat individuel** - Conception et dimensionnement - Juillet 2013
- [7] **Production d'eau chaude sanitaire collective centralisée solaire** - Conception et dimensionnement - septembre 2015
- [8] **Production d'eau chaude sanitaire solaire collective individualisée** - Conception et dimensionnement - Octobre 2015

Guide du programme RAGE

(téléchargeable librement sur <https://www.programmepacte.fr>
ou <https://www.costic.com>)

- [9] **Installations d'eau chaude sanitaire** - Confort, prévention des risques et maîtrise des consommations - Novembre 2014

Autres ouvrages

- [10] **COSTIC : Guide technique - Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat collectif et individuel** - ADEME - Mai 2016 (téléchargeable librement sur <https://www.ademe.fr> ou <https://www.costic.com/>)
- [11] **Le référentiel Qualité : NF Habitat & NF Habitat HQE™** - Certification construction logement - Annexe rubrique Performance Énergétique - Version Novembre 2016 (téléchargeable librement sur <https://www.qualite-logement.org>)
- [12] **Label Promotelec habitat neuf** - Référentiel version octobre 2018 (téléchargeable librement sur <https://professionnels.promotelec.com>)
- [13] **Cahier des charges des chauffe-eau thermodynamiques autonomes NF Électricité Performance LCIE 103-15/B éligibles aux Labels Promotelec** – Juillet 2015
- [14] **COSTIC : Guide technique pour la mise en œuvre des modules thermiques d'appartements** - Avril 2016 (téléchargeable librement sur www.acr-regulation.com ou <https://www.costic.com>)