



La chaleur solaire collective performante et durable



Livret technique

Les PAC Solaires sur
capteurs solaires non vitrés ou
PVT



Contributeurs

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

Ont ainsi apporté leur contribution :

- Quentin FONDEUR**, Héliopac
- Sixte FROISSARD**, Héliopac
- Xavier MARTINEZ**, Héliopac
- Jean-Marie NOUGARET**, Giordano Industries

La rédaction a été assurée par :

- Philippe PAPILLON**, En butinant l'énergie

La coordination a été assurée par :

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

Version 4.1 du 08 décembre 2023

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



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



Table des matières

Contributeurs	2
Table des figures.....	5
Table des tableaux.....	5
Introduction.....	7
Avertissement	7
1 La technique	8
1.1 Présentation générale de la technique	8
1.2 Les applications	9
2 Les éléments clés de la conception communs à toutes les solutions	9
2.1 Les capteurs non vitrés.....	9
2.1.1 La mise en œuvre des capteurs non vitrés	9
2.2 Le capteur PVT.....	10
2.3 La PAC.....	11
2.4 Le stockage	13
2.5 L’appoint.....	13
2.6 Les indicateurs de performance	13
2.6.1 Définition des grandeurs thermiques utilisées pour le calcul des indicateurs	13
2.6.2 Le taux d’économie d’énergie d’appoint FSAV	15
2.6.3 Le COP moyen annuel.....	15
2.6.4 La part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC	15
2.6.5 Le coefficient de performance saisonnier SCOP	15
2.7 Le comptage énergétique.....	16
2.8 Les méthodes de prévision de performance	16
3 Conception des installations	17
3.1 Les différentes applications traitées dans ce guide.....	17
3.2 ECS1 : Préchauffage d’ECS avec stockage en ECS.....	19
3.2.1 Schéma type des installations.....	19
3.2.2 Domaine d’application.....	19
3.2.3 Mode de fonctionnement.....	19
3.2.4 Dimensionnement des composants spécifiques	20
3.2.5 Comptage énergétique	21
3.2.6 Calcul des indicateurs	21
3.2.7 Points forts, points de vigilance, spécificités	21
3.3 ECS2 : Production d’ECS avec stockage en ECS	22
3.3.1 Schéma type des installations.....	22
3.3.2 Domaine d’application.....	22
3.3.3 Variante	22
3.3.4 Mode de fonctionnement.....	24
3.3.5 Dimensionnement des composants spécifiques	25
3.3.6 Comptage énergétique	27
3.3.7 Calcul des indicateurs	27
3.3.8 Points forts, points de vigilance, spécificités	28
3.4 ECS3 : Préchauffage d’ECS avec stockage en eau technique.....	29
3.4.1 Schéma type des installations.....	29
3.4.2 Domaine d’application.....	29
3.4.3 Mode de fonctionnement.....	30
3.4.4 Dimensionnement des composants spécifiques	31
3.4.5 Comptage énergétique	32



3.4.6	Calcul des indicateurs	33
3.4.7	Points forts, points de vigilance, spécificités	33
3.5	PISCINE1 : Chauffage des bassins de piscine	34
3.5.1	Schéma type des installations.....	34
3.5.2	Domaine d'application.....	34
3.5.3	Variante n°1	34
3.5.4	Variante n°2	35
3.5.5	Mode de fonctionnement.....	36
3.5.6	Dimensionnement des composants spécifiques	37
3.5.7	Comptage énergétique	37
3.5.8	Calcul des indicateurs	38
3.5.9	Points forts, points de vigilance, spécificités	38
3.6	PISCINE3 : Chauffage des bassins de piscine et production d'eau chaude sanitaire.....	39
3.6.1	Schéma type des installations.....	39
3.6.2	Domaine d'application.....	39
3.6.3	Mode de fonctionnement.....	39
3.6.4	Dimensionnement des composants spécifiques	40
3.6.5	Comptage énergétique	41
3.6.6	Calcul des indicateurs	41
3.6.7	Points forts, points de vigilance, spécificités	42
3.7	CHAUFFAGE1 : PAC double service en relè de chaudière AVEC modules thermiques d'appartement	43
3.7.1	Schéma type des installations.....	43
3.7.2	Domaine d'application.....	43
3.7.3	Mode de fonctionnement.....	43
3.7.4	Dimensionnement des composants spécifiques	44
3.7.5	Comptage énergétique	45
3.7.6	Calcul des indicateurs	45
3.7.7	Points forts, points de vigilance, spécificités	46
3.8	CHAUFFAGE2 : PAC double service en relè de chaudière SANS modules thermiques d'appartement	47
3.8.1	Schéma type des installations.....	47
3.8.2	Domaine d'application.....	47
3.8.3	Mode de fonctionnement.....	48
3.8.4	Dimensionnement des composants spécifiques	48
3.8.5	Comptage énergétique	49
3.8.6	Calcul des indicateurs	49
3.8.7	Points forts, points de vigilance, spécificités	50
3.9	CHAUFFAGE3 : PAC double service AVEC modules thermiques d'appartement.....	51
3.9.1	Schéma type des installations.....	51
3.9.2	Domaine d'application.....	51
3.9.3	Mode de fonctionnement.....	51
3.9.4	Dimensionnement des composants spécifiques	52
3.9.5	Comptage énergétique	52
3.9.6	Calcul des indicateurs	53
3.9.7	Points forts, points de vigilance, spécificités	53
3.10	CHAUFFAGE4 : PAC double service SANS modules thermiques d'appartement.....	54
3.10.1	Schéma type des installations.....	54
3.10.2	Domaine d'application.....	54
3.10.3	Mode de fonctionnement.....	54
3.10.4	Dimensionnement des composants spécifiques	55
3.10.5	Comptage énergétique	55
3.10.6	Calcul des indicateurs	56



3.10.7 Points forts, points de vigilance, spécificités	56
Bibliographie	57
Annexe 1 : Schémathèque.....	59

Table des figures

Figure 1. Exemple de capteurs non vitrés	10
Figure 2. Exemples d'arrangement de capteurs non vitrés en nappes superposés	10
Figure 3. Schéma de principe d'un capteur PVT	11
Figure 4. Contrôle des températures d'utilisation côté évaporateur	11
Figure 5. Montage de trois PAC en parallèle (à gauche) et de 2 PAC en parallèle côté évaporateur et en série côté condenseur (au centre) et de 4 PAC dont 2 groupées en série, et chaque groupe de 2 en parallèle (à droite).....	12
Figure 6. Représentation schématique des flux énergétiques avec une PAC Solaire	14
Figure 7. Représentation schématique des flux énergétiques de la solution de référence	15
Figure 8. Schéma de la solution ECS1.....	19
Figure 9. Schéma de la solution ECS2.....	22
Figure 10. Schéma de la variante ECS2 avec un seul ballon de stockage.....	23
Figure 11. Schéma de la variante ECS2 avec de multiples ballons de stockage.....	24
Figure 12. Evaluation de PECS en fonction du nombre de logements et du volume de stockage (extrait de [8])	26
Figure 13. Schéma de la solution ECS3.....	29
Figure 14 : Régulation par pilotage d'une vanne 3 voies et d'un circulateur à vitesse variable.....	30
Figure 15. Schéma de la solution PISCINE1	34
Figure 16. Schéma de la variante PISCINE1 avec fonctionnement solaire direct	35
Figure 17. Schéma de la variante PISCINE2 avec utilisation du solaire direct pour le préchauffage de l'eau de renouvellement	36
Figure 18. Schéma de la solution PISCINE3	39
Figure 19. Schéma de la solution CHAUFFAGE1.....	43
Figure 20. Schéma de la solution CHAUFFAGE2.....	47
Figure 21. Schéma de la solution CHAUFFAGE3.....	51
Figure 22. Schéma de la solution CHAUFFAGE4.....	54

Table des tableaux

Tableau 1. Ratio de dimensionnement de la surface de capteurs en fonction de la puissance de la PAC	10
Tableau 2. Définition des grandeurs figurant sur les schémas	14
Tableau 3. Les différents schémas traités dans ce guide.	17
Tableau 4. Désignation des grandeurs énergétiques	21
Tableau 5. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	21
Tableau 6. Points forts et points de vigilance de la solution ECS1	21
Tableau 7. Désignation des grandeurs énergétiques	27
Tableau 8. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	27



Tableau 9. Points forts et points de vigilance de la solution ECS2	28
Tableau 10. Désignation des grandeurs énergétiques	32
Tableau 11. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	33
Tableau 12. Points forts et points de vigilance de la solution ECS1	33
Tableau 13. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	37
Tableau 14. Désignation des grandeurs énergétiques	37
Tableau 15. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	38
Tableau 16. Points forts et points de vigilance de la solution PISCINE1	38
Tableau 17. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur	41
Tableau 18. Désignation des grandeurs énergétiques	41
Tableau 19. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	41
Tableau 20. Points forts et points de vigilance de la solution PISCINE3	42
Tableau 21. Désignation des grandeurs énergétiques	45
Tableau 22. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	45
Tableau 23. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE1	46
Tableau 24. Désignation des grandeurs énergétiques	49
Tableau 25. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	49
Tableau 26. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE2	50
Tableau 27. Désignation des grandeurs énergétiques	52
Tableau 28. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	53
Tableau 29. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE3	53
Tableau 30. Désignation des grandeurs énergétiques	55
Tableau 31. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs	56
Tableau 32. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE4	56



Introduction

Coupler des pompes à chaleur avec des capteurs solaires thermiques (couramment appelé PAC Solaire) est une technique éprouvée pour la production de chaleur avec une grande efficacité. Pourtant, peu de publications techniques adressent à ce jour cette technologie, et c'est l'ambition de ce livret technique que de proposer une information technique actuelle, avec des exemples d'applications.

L'objectif de ce livret technique sera donc de fournir des informations sur les points clés de l'intégration des PAC Solaire pour la production d'eau chaude et le chauffage des locaux ou des piscines.

L'architecture de ce livret repose sur :

- La présentation d'informations génériques sur les PAC Solaire, et d'éléments communs à toutes les conceptions.
- Le recensement de schémas hydrauliques usuels adressant divers usages, au travers de fiches spécifiques synthétiques listant les principaux points-clés.

Avertissement

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

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

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



1 La technique

1.1 Présentation générale de la technique

Les « PAC Solaires sur capteurs solaires non vitrés ou PVT », plus couramment connu sous le vocable « PAC Solaire », reposent sur l'utilisation combinée de capteurs solaires non vitrés ou PVT, raccordés à l'évaporateur d'une PAC eau glycolée /eau.

Les capteurs solaires non vitrés ou PVT récupèrent la chaleur du rayonnement solaire, mais aussi la chaleur de l'environnement extérieur. L'énergie ainsi récupérée par les capteurs est transférée aux groupes thermodynamiques de la PAC. Celle-ci assure alors le transfert de cette énergie du circuit primaire à « basse température » vers le circuit secondaire à « haute température ». Le circuit secondaire est connecté aux ballons de stockage ou plus généralement aux charges thermiques du bâtiment ou des process.

Comparées aux systèmes solaires thermiques traditionnels, la « PAC Solaire » se caractérise par :

- Une utilisation des capteurs solaires possible 24h/24, avec l'utilisation de l'énergie solaire, mais également la récupération de la chaleur de l'environnement,
- L'absence de risque de surchauffe, liée à l'utilisation de capteurs non vitrés,
- La capacité à garantir, dans sa plage de fonctionnement, une fourniture d'énergie à la température de consigne quelles que soient les conditions d'ensoleillement.

Comparées aux systèmes de PAC dites « traditionnelles », la « PAC Solaire » se caractérise par :

- La valorisation directe de l'énergie solaire incidente, permettant d'atteindre des températures plus élevées à l'évaporateur et favorisant le COP de la PAC.

Par rapport aux PAC aérothermiques, les différences majeures sont :

- La consommation des auxiliaires (le ventilateur est substitué par un circulateur)
- La taille de la surface d'échange
- La valorisation du rayonnement solaire
- La moindre sensibilité au givrage
- L'absence de bruit

Enfin, par rapport aux PAC géothermiques, les différences majeures sont :

- La plus grande facilité de mise en œuvre, dans la mesure où il n'y a ni forage ni terrassement,
- L'utilisation de la toiture ou d'une surface en surface plutôt que le sous-sol environnant
- Des températures de source froides légèrement plus faibles en hiver, mais plus élevées en mi-saison et en été
- L'absence de risque d'épuisement du sol
- Une limite de fonctionnement en cas de neige sur les capteurs.
- Des températures du fluide caloporteur inférieures à la température extérieure la nuit et donc pouvant descendre assez bas en hiver dans les climats continentaux



1.2 Les applications

Les PAC Solaires permettent de couvrir l'ensemble des applications ayant un besoin de chaleur à une température maximale de 60°C, que ce soit en préchauffage ou en chauffage intégral.

Dans le secteur résidentiel, les applications de préchauffage ou chauffage de l'eau chaude sanitaire ainsi que le chauffage des locaux seront des applications privilégiées.

Dans le secteur tertiaire, la contribution au chauffage des piscines couvertes ou de plein air seront également des cibles d'utilisation pertinentes.

Enfin, dans le secteur industriel ou agricole, les PAC Solaire trouveront également leur place pour toutes les applications avec un préchauffage à 60°C : eau de lavage, réchauffage de liquide, ...

Dans ce livret, un certain nombre d'applications standardisées a été sélectionné, mais en aucun cas, il ne s'agit d'une limitation d'usage mais bien d'une sélection des applications les plus courantes.

2 Les éléments clés de la conception communs à toutes les solutions

2.1 Les capteurs non vitrés

Le plus simple des capteurs solaires thermiques, le capteur solaire non vitré est, en général, réduit à un simple absorbeur solaire, démuné d'isolation en face arrière et de vitrage en face avant.

D'un point de vue thermique, la conséquence de cette conception sera notamment :

- la sensibilité importante des performances thermiques aux conditions d'environnement (température, vent, pluie, ...) en plus des conditions d'irradiation,
- la faible température de stagnation.

Comme l'ensemble des capteurs solaires, les capteurs solaires non vitrés peuvent disposer d'un avis technique du CSTB et/ou d'une Solar Keymark, permettant de certifier les caractéristiques techniques des produits.

Les normes d'évaluation (Norme NF EN ISO 9806 :2017 [1]), associées à la certification, sont les mêmes que pour les capteurs vitrés ou à tubes sous vide, mais des spécifications complémentaires prennent en compte la différence de technologie : ils entrent dans la catégorie WISC (Wind and/or Infrared Sensitive Collectors), signifiant qu'ils sont impactés par le vent et/ou les pertes thermiques par infrarouge. A ce titre, les capteurs non vitrés sont caractérisés par un nombre plus important de paramètres que les capteurs plans ou à tubes sous vide, prenant en compte la vitesse du vent ainsi que les échanges radiatifs de grande longueur d'onde avec l'environnement (sol, voute céleste).

Les modèles les plus courants de capteurs non vitrés sont en matériau polymère (EPDM ou Polypropylène), sont souples. Ils peuvent être posés au sol, en toiture terrasse et en toiture.

2.1.1 La mise en œuvre des capteurs non vitrés

Dans certains cas, plusieurs nappes de capteurs solaires non vitrés peuvent être superposés en laissant un espace libre entre les nappes, comme illustré sur la Figure 2. Selon les arrangements, les nappes inférieures ne seront pas exposées au rayonnement solaire, elles n'auront alors qu'un rôle d'échangeur thermique avec les conditions environnantes. En conséquence, la superposition de 2 nappes ne permet pas de diviser par 2 la surface d'encombrement.

Le Tableau 1 fournit une indication du ratio de surface et d'encombrement pour différentes mises en œuvre. Disposer de surfaces de capteurs plus importantes améliorera légèrement les performances



globales, mais avec un investissement plus important. Seules les simulations détaillées permettront d'atteindre la surface optimale.

	Mode de pose	Surface requise	Encombrement
1 nappe	Posée au sol	6 m ² /kW	6 m ² /kW
1 nappe	Sur châssis surélevé du sol	4 m ² /kW	4 m ² /kW
2 nappes	Sur châssis surélevé du sol	Entre 5 et 6 m ² /kW	Entre 2.5 et 3 m ² /kW
4 nappes	Sur châssis surélevé du sol	Entre 6 et 8 m ² /kW	Entre 1.5 et 2 m ² /kW
8 nappes	Sur châssis surélevé du sol	Entre 10 et 12 m ² /kW	Entre 1.3 et 1.5 m ² /kW

Tableau 1. Ratio de dimensionnement de la surface de capteurs en fonction de la puissance de la PAC

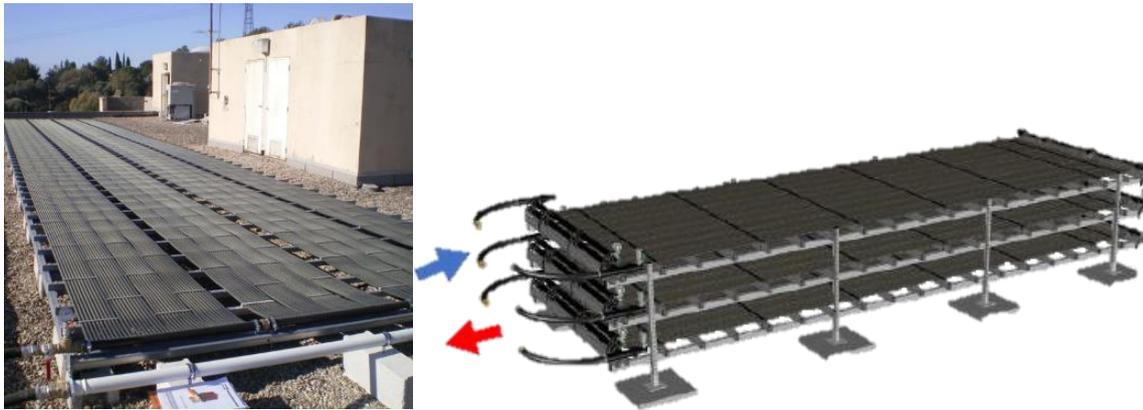


Figure 1. Exemple de capteurs non vitrés

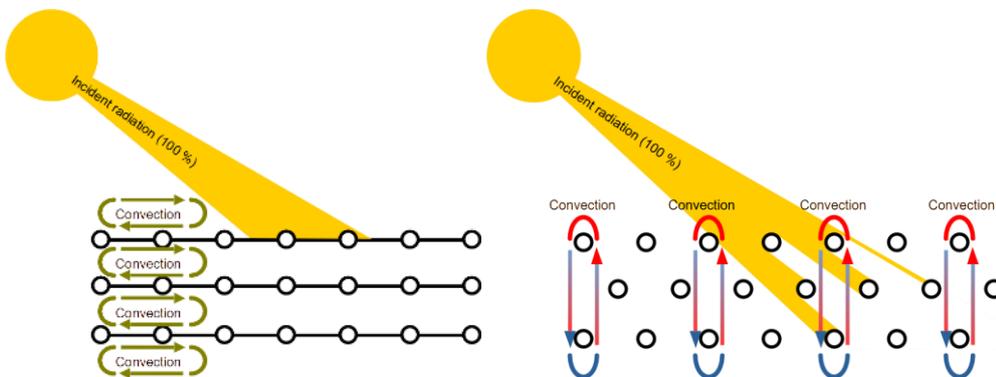


Figure 2. Exemples d'arrangement de capteurs non vitrés en nappes superposés

2.2 Le capteur PVT

En alternative au capteur solaire non vitré, les capteurs PVT (ou capteurs solaires hybrides) peuvent être utilisés en combinaison avec une PAC.

Le principe le plus courant de capteurs PVT consiste en un module photovoltaïque équipé en face arrière d'un échangeur de chaleur et d'une grille hydraulique, qui permet de valoriser une partie de la chaleur absorbée par le module photovoltaïque.



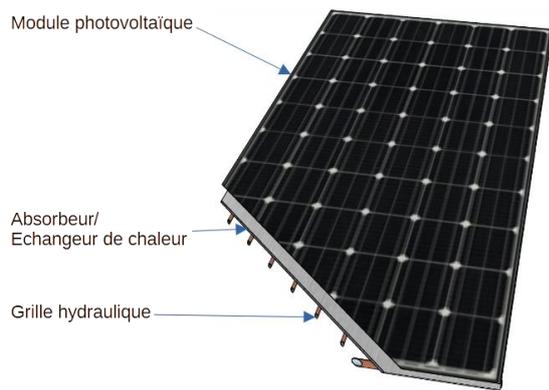


Figure 3. Schéma de principe d'un capteur PVT

Comme les capteurs solaires non vitrés, les capteurs PVT peuvent disposer d'un avis technique du CSTB et/ou d'une Solar Keymark, permettant de certifier les caractéristiques techniques des produits. Les capteurs PVT entrent également dans la catégorie WISC.

2.3 La PAC

Les PAC utilisées dans les applications de PAC Solaire sont des pompes à chaleur eau glycolée/eau, qui sont, dans une première approche, relativement similaire aux PAC Géothermiques.

Cependant, leur différence majeure réside dans leur plage de fonctionnement. Usuellement, les PAC Eau glycolée/Eau acceptent une température de fluide côté évaporateur comprise entre -5 et 25°C. Pour les PAC solaire, la plage de fonctionnement en température côté évaporateur doit être beaucoup plus large pour optimiser le COP de la machine lors des belles journées ensoleillées. Par ailleurs, les PAC doivent être capables de fonctionner à des basses températures hivernales. La plage de fonctionnement doit donc être à minima de -10 à +50°C pour des capteurs non vitrés, et plutôt de 60°C pour des capteurs PVT.

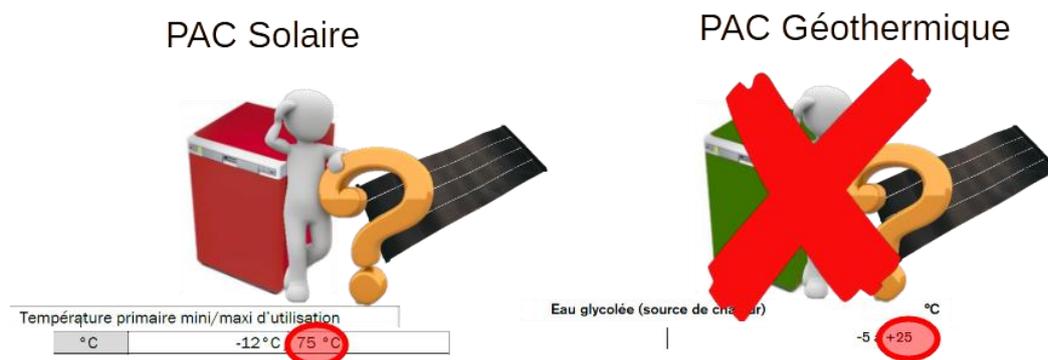


Figure 4. Contrôle des températures d'utilisation côté évaporateur

Au niveau des performances, les PAC Solaire sont couvertes comme les autres PAC par la norme NF EN 14511 ([2], [3], [4] et [5]). Une catégorie de la certification NF PAC est réservée aux PAC Solaire, permettant ainsi d'obtenir les caractéristiques certifiées des performances, notamment les puissances



thermiques et COP pour différentes conditions de fonctionnement (Typiquement SC(10-7)/W(40-45) et SC(10-7)/W(55-65)¹).

Selon la puissance des PAC mises en œuvre, et les puissances requises pour l'application visée, des montages associant plusieurs PAC peuvent être mis en œuvre. Selon les cas, il s'agira de montages parallèles et/ou série, en fonction des applications visées et des niveaux de températures requis.

Dans les fiches spécifiques dédiés aux applications, seule une PAC est représentée. La Figure 5 présente différentes possibilités d'assemblage de PAC.

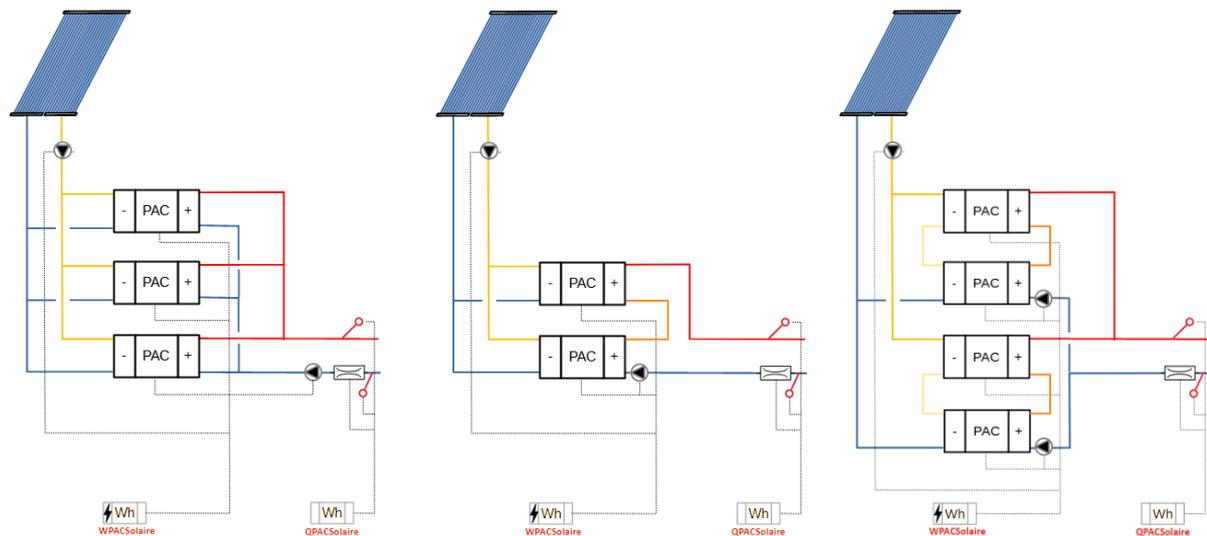


Figure 5. Montage de trois PAC en parallèle (à gauche) et de 2 PAC en parallèle côté évaporateur et en série côté condenseur (au centre) et de 4 PAC dont 2 groupées en série, et chaque groupe de 2 en parallèle (à droite)

Dans le cas de montage en parallèle ou en série, il y aura lieu de veiller :

- à l'équilibrage des différents circuits dans le cas d'un montage en parallèle,
- aux pertes de charge des circuits et à la sélection des circulateurs,
- au pilotage des compresseurs (notamment dans une logique de cascade de PAC pour moduler la puissance),
- aux limites techniques en fonction des PAC utilisées (nombre de PAC en parallèle et/ou en série)

La mise en œuvre, la conception et le dimensionnement des PAC Solaire devront notamment respecter :

- La norme NF DTU65.16 Travaux de bâtiment - Installations de pompes à chaleur[6],
- Les recommandations professionnelles RAGE « Pompes à chaleur en habitat collectif et tertiaire – Conception et dimensionnement »[7].

¹ L'expression SC(10-7)/W(40-45) signifie que le régime de température est de 10 à 7°C sur le côté évaporateur alimenté par les capteurs solaires (SC=Solar Collector) et de 40 à 45°C sur le côté condenseur alimenté par une boucle d'eau (W=Water).



2.4 Le stockage

La puissance thermique des PAC étant limitée pour des raisons technico-économiques d'une part, et des puissances électriques installées d'autre part, un stockage thermique sera indispensable dans la plupart des applications pour pallier l'intermittence des besoins.

Le dimensionnement du stockage sera réalisé pour assurer la meilleure adéquation possible entre un temps de fonctionnement des compresseurs très long et un stockage suffisant pour assurer la couverture des besoins de pointe. Le dimensionnement du stockage prendra également en compte la part des besoins énergétiques pouvant être couverts par l'installation de PAC Solaire.

Dans le cas de la production d'eau chaude sanitaire, des préconisations sont fournies dans [8].

2.5 L'appoint

Dans toutes les applications, un système d'appoint sera indispensable, en particulier en cas de neige, cependant les exigences sur le système d'appoint différeront selon la part énergétique que le système d'appoint devra assurer.

C'est dans cette logique qu'une distinction a été faite entre des applications où le service est assuré dans son intégralité, ou alors si la solution PAC Solaire n'assure qu'un préchauffage.

Si la PAC Solaire est prévue pour assurer au-delà de 90% des besoins énergétiques concernés, le système d'appoint sera présent pour répondre aux pointes de consommation ponctuelles. Dans ce cas, l'utilisation de système d'appoint à effet Joule par résistance électrique pourra être envisagé.

Par contre, lorsque la PAC Solaire assure moins de 90% des besoins énergétiques, le système d'appoint doit être choisi de façon à minimiser les consommations énergétiques en énergie finale et en énergie primaire, ainsi que les coûts d'exploitation. A ce titre, les appoints par effet Joule, ne pouvant pas répondre à ces objectifs, seront à éviter dans la mesure du possible.

En cas de rénovation d'une chaufferie existante dont la production d'ECS est réalisée par des ballons électriques, le seuil de 90% pourra être abaissée si les conditions technico-économiques l'imposent.

2.6 Les indicateurs de performance

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

- Le taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV
- Le COP moyen annuel
- La part de la production thermique assurée par la PAC Solaire

Un quatrième indicateur pourra être également utilisé lorsque la PAC Solaire est dimensionnée pour assurer la totalité des besoins, il s'agit du SCOP.

2.6.1 Définition des grandeurs thermiques utilisées pour le calcul des indicateurs

Les Figure 6 et Figure 7 représentent des schémas d'une installation avec PAC Solaire et d'une installation de référence.



Le Tableau 2 précisent les grandeurs prises en compte dans le calcul des indicateurs.

	Nomenclature	Désignation
1	$Q_{ECS} + Q_{Bouclage}$ $Q_{Chauffage}$	Charge thermique adressée par la PAC Solaire. Selon les schémas retenus, la charge thermique sera composée : <ul style="list-style-type: none"> • Des besoins d'ECS et des pertes de bouclage sanitaire • Des besoins thermiques pour le chauffage (y compris les pertes de distribution du réseau de chauffage) • D'autres usages éventuels comme le réchauffage des bassins de piscine
2	W_{PAC}	Consommation électrique du ou des compresseurs
3	W_{AUX}	Consommation électrique des auxiliaires nécessaires au fonctionnement de la PAC
4		Energie d'appoint fournie à l'entrée du générateur d'appoint (Energie commerciale, facturée au maître d'ouvrage)
5	$Q_{PAC\text{Solaire}}$	Energie thermique fournie au condenseur de la PAC
6	$Q_{Appoint}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint (Energie utile)
7		Energie fournie à l'entrée du générateur dans la solution de référence

Tableau 2. Définition des grandeurs figurant sur les schémas

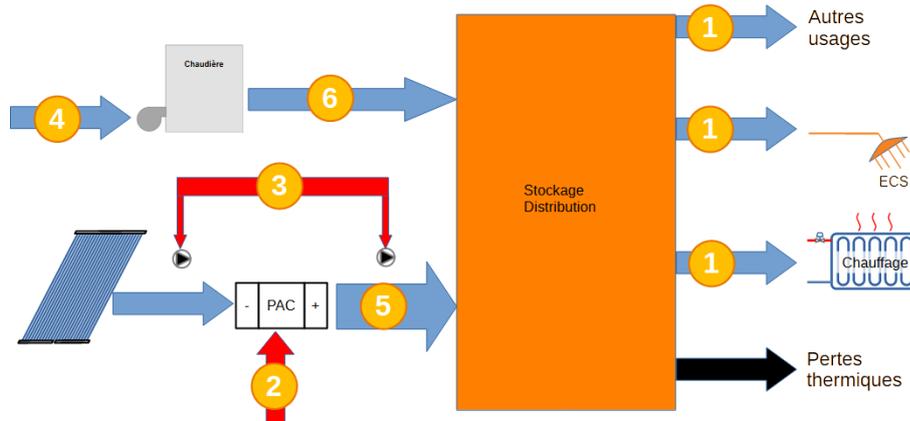


Figure 6. Représentation schématique des flux énergétiques avec une PAC Solaire



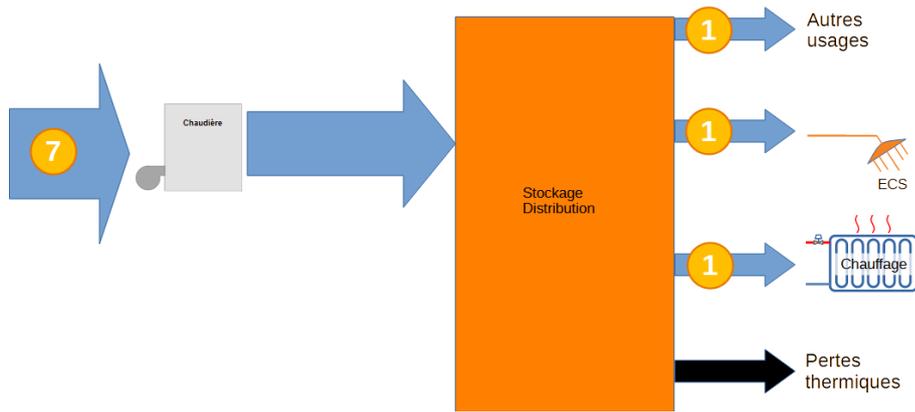


Figure 7. Représentation schématique des flux énergétiques de la solution de référence

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

Le taux d'économie d'énergie d'appoint FSAV, correspondant à la part d'économie d'énergie assurée par le système énergétique intégrant une PAC solaire par rapport à un système de référence, dont la génération de chaleur est assurée uniquement par l'appoint.

$$FSAV = 1 - \frac{[2] + [3] + [4]}{[8]}$$

La mesure de FSAV étant impossible, une variante de cet indicateur est utilisée :

$$FSAV = 1 - \frac{[2] + [3] + [6]}{[5] + [6]}$$

2.6.3 Le COP moyen annuel

Le COP moyen annuel, noté \overline{COP} . Le \overline{COP} est limité au périmètre de la PAC Solaire.

$$\overline{COP} = \frac{Q_{CH}}{(W_{COMP} + W_{AUX})} = \frac{[5]}{[2] + [3]}$$

2.6.4 La part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

La part de la production thermique assurée par la PAC Solaire, noté FPAC. Cet indicateur est destiné principalement à définir les exigences sur le système d'appoint devant être mis en œuvre, et à renseigner sur l'aptitude de l'installation de PAC Solaire à assurer une plus ou moins grande partie des besoins énergétiques considérés.

$$FPAC = \frac{[5]}{[5] + [6]}$$

2.6.5 Le coefficient de performance saisonnier SCOP

Mentionné à titre indicatif, le SCOP (ou SPF) traduit la performance globale du système thermique.

Lorsqu'il s'agit de systèmes avec appoint, **cet indicateur n'est pas pertinent** pour évaluer les performances des PAC Solaire puisque son périmètre intègre également l'ensemble des efficacités du



système thermique (pertes de distribution, pertes de stockage, qualité du générateur d'appoint). Par contre, il offre une grande pertinence pour évaluer la performance globale de la solution thermique mise en œuvre pour assurer l'ensemble des besoins énergétiques d'un bâtiment.

$$SCOP = \frac{[1]}{[2] + [3] + [4]}$$

2.7 Le comptage énergétique

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

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

- Pour la mesure du débit, la dynamique du compteur doit être étendue car les débits peuvent varier de façon significative.
- Pour la mesure des températures, en raison des faibles écarts de températures, la qualité de la mesure d'une part, et la qualité de la mise en œuvre d'autre part doivent être particulièrement soignées. Pour la plupart des compteurs d'énergie thermique, le ΔT_{\min} est généralement de 3°C.

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

Il sera utile de se reporter à [9], en particulier le chapitre 11.

2.8 Les méthodes de prévision de performance

A ce jour, les outils logiciels usuels utilisés pour l'énergie solaire thermique (T*SOL, Polysun, SOLO2018) ne permettent pas de traiter les systèmes de PAC Solaire.

En conséquence, seuls sont disponibles les outils génériques de modélisation dynamique (comme TRNSYS [10]) sous réserve de disposer des composants adaptés (notamment le capteur solaire non vitré ou PVT et la PAC).

Des outils développés en interne par les industriels sont également disponibles (diffusable ou non) : dans ce dernier cas, une vigilance sera apportée à la qualité de la modélisation, et une exigence sur la modélisation dynamique avec un pas de temps maximum d'une heure sera requise, permettant de prendre en compte la variabilité temporelle des besoins thermiques et des conditions climatiques.

En complément, il est également possible de recourir aux méthodes de calcul développées dans le cadre des Titres V des réglementations thermiques ([11], [12] et [13]), mais ces derniers sont attachés à des solutions techniques proposées par des industriels. Même si ces méthodes de calcul sont développées pour une application réglementaire, on peut présager favorablement de la qualité du noyau de calcul pour être utilisé dans un cadre de prévision de performance, sous réserve que les conditions aux limites (besoins thermiques et conditions climatiques) soient représentatives du contexte d'installation.



Une des conséquences de l'absence d'outils génériques en l'état actuel est que le concepteur d'une installation de PAC Solaire devra faire appel aux industriels et fournisseurs de technologie pour disposer des performances prévisionnelles des installations : sans que cela ne pénalise d'aucune façon la qualité des études, cet aspect est pénalisant par la perte d'autonomie des concepteurs.

3 Conception des installations

3.1 Les différentes applications traitées dans ce guide

Ce guide est principalement destiné au secteur du bâtiment/tertiaire, et vise donc un nombre restreint d'applications pour des raisons de simplicité. Ainsi, les besoins énergétiques visés par ce guide sont :

- Les besoins d'eau chaude sanitaire
- Les piscines au travers des usages liés au réchauffage de l'eau des bassins ou de l'eau chaude des douches.
- Les besoins de chauffage des locaux et de production d'eau chaude sanitaire

Cependant, pour chaque application cible, différentes variantes de schémas peuvent être proposées en fonction de contraintes spécifiques à l'usage, ou de variantes de dimensionnement du système.

Schéma	Application	Commentaire
ECS1	Préchauffage d'ECS avec stockage en ECS	
ECS2	Production d'ECS avec stockage en ECS	
ECS3	Préchauffage d'ECS avec stockage en eau technique	Schéma adapté aux établissements de santé
PISCINE1	Chauffage des bassins de piscine	
PISCINE2	Chauffage des bassins de piscine et eau de renouvellement	
PISCINE3	Chauffage des bassins de piscine et production d'eau chaude sanitaire	
CHAUFFAGE1	PAC double service en relèvement de chaudière	AVEC utilisation de modules thermiques d'appartement
CHAUFFAGE2	PAC double service en relèvement de chaudière	SANS utilisation de modules thermiques d'appartement
CHAUFFAGE3	PAC double service	AVEC utilisation de modules thermiques d'appartement
CHAUFFAGE4	PAC double service	SANS utilisation de modules thermiques d'appartement

Tableau 3. Les différents schémas traités dans ce guide.

Précision :

Pour la production d'eau chaude sanitaire, deux cas bien distincts sont présentés :

- Les installations de **préchauffage d'ECS** correspondent aux installations où la PAC n'est pas en mesure d'assurer intégralement la production d'eau chaude sanitaire et de compenser les pertes de distribution. Dans ce cas, l'appoint est sollicité chaque jour de l'année. Cela correspond notamment aux cas où la surface disponible pour les capteurs n'est pas



suffisante. En ce sens, ces installations se rapprochent des chauffe-eau solaires collectifs, où l'appoint doit toujours être traité avec soin. Ces installations seront caractérisées par un indicateur FPAC inférieur à 75%. Il est possible d'avoir une V3V sur retour de bouclage qui permet à la PAC d'agir ponctuellement sur la perte de bouclage (ex : période de l'année de faible puisage).

- Les installations de **production d'ECS** correspondent aux installations dimensionnées pour assurer l'intégralité des besoins énergétiques pour l'eau chaude sanitaire (production d'ECS et compensation des pertes de distribution) au moins une partie de l'année. Ces installations disposent également d'un système d'appoint, mais le recours à celui-ci ne doit être qu'exceptionnel (température extérieure exceptionnellement basse, pointe de puisage exceptionnelle, remplacement de la PAC solaire en cas de problème sur cette dernière par exemple), et ne doit représenter qu'une part très marginale des apports énergétiques à l'année. Ces installations seront caractérisées par un indicateur FPAC supérieur à 75%.

Dans tous les cas, les systèmes de production d'ECS (PAC+ appoint) doivent être en mesure d'assurer la charge totale pour l'ECS du bâtiment, dont les 2 composantes principales sont :

- Le besoin utile : énergie nécessaire pour chauffer l'eau qui est consommée
- La compensation des pertes thermiques de la boucle de distribution, qui représente typiquement 30 à 50% du besoin total et peut être bien plus importante selon les applications/usages.

Pour les installations dédiées au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire, nous retrouvons ces deux cas bien distincts :

- Les installations de « **PAC double service en relève de chaudière** » correspondent aux installations dont le dimensionnement de la PAC solaire ne permet pas de compenser l'ensemble des besoins thermiques chaque jour de l'année. Par simplicité, nous pouvons évoquer les zones climatiques « Continental » où ces installations seront adaptées. Ces installations seront également caractérisées par un indicateur FPAC inférieur à 90%.
- Les installations de « **PAC double service** » dimensionnées pour assurer l'intégralité des besoins énergétiques. Par simplicité, nous pouvons évoquer les zones climatiques « Océanique » ou « Méditerranée » où ces installations seront adaptées. L'indicateur FPAC de ces installations sera supérieur à 90%.



3.2 ECS1 : Préchauffage d'ECS avec stockage en ECS

3.2.1 Schéma type des installations

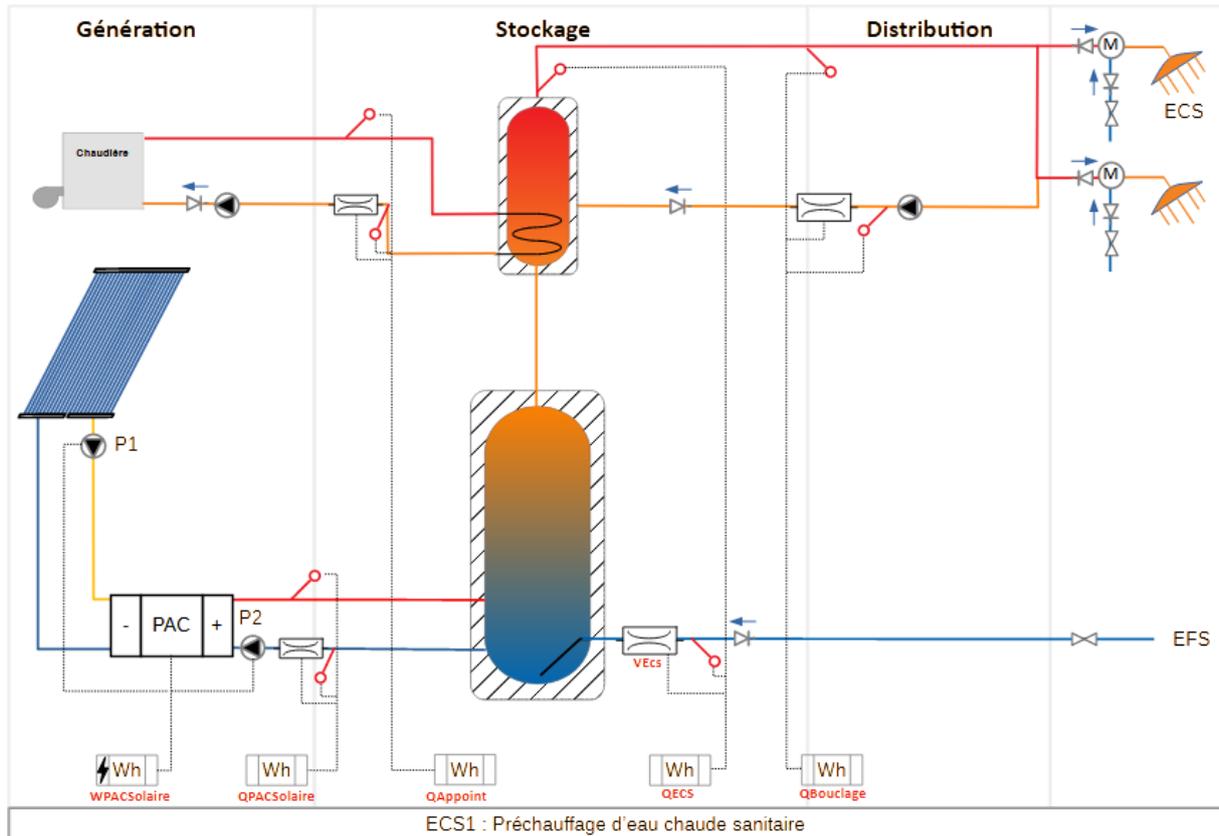


Figure 8. Schéma de la solution ECS1

3.2.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté à la plupart des bâtiments avec des besoins d'eau chaude sanitaire important. Ici, le système PAC solaire assurera un préchauffage de l'eau chaude sanitaire soutirée, et un système d'appoint complémentaire devra assurer la montée en température de l'eau préchauffée jusqu'à la température de distribution. Le système d'appoint devra également compenser les pertes du bouclage sanitaire. A ce titre, les performances énergétiques du système d'appoint devront être prises en compte avec vigilance.

En alternative à ce schéma, et si les conditions techniques permettent d'implanter suffisamment de capteurs solaires non vitrés ou PVT, il pourra être préférable de recourir à [ECS2](#) où l'ensemble des besoins d'eau chaude sanitaire y compris la compensation des pertes du bouclage sanitaire pourra être pris en charge par le système de PAC Solaire.

Ce schéma est adapté lorsque le stockage peut être assuré directement en eau chaude sanitaire (déconseillé dans le secteur de la Santé). Si ce n'est pas le cas, il conviendra de recourir au schéma [ECS3](#).

3.2.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.

3.2.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :



- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Pour le fonctionnement du compresseur de la PAC, plusieurs logiques de fonctionnement peuvent être envisagées :
 - le fonctionnement du compresseur peut être quasiment permanent pour assurer une part de préchauffage ECS la plus importante possible. Dans ce cas, la température du ballon de stockage sera une résultante de ce fonctionnement.
 - Le compresseur est mis en service pour atteindre une température de consigne relativement faible pour assurer des COP les plus élevés possible. Ce fonctionnement sera notamment mis en œuvre lorsque le système d'appoint est « vertueux » (typiquement biomasse)
 - les conditions de température sur la boucle solaire sont suffisantes pour assurer le fonctionnement de la PAC avec un COP suffisant (typiquement supérieur à 2.5 ou 3).

3.2.4 Dimensionnement des composants spécifiques

Pour les installations de préchauffage, le dimensionnement est généralement limité par les surfaces disponibles pour la mise en œuvre des capteurs et/ou par une limitation de la capacité d'investissement.

3.2.4.1 La pompe à chaleur

Pour ce schéma, il n'y a pas de critère spécifique pour le dimensionnement de la PAC. Sa puissance sera définie en fonction de la surface de capteurs solaires mise en œuvre (cf ci-dessous), ou en fonction de la capacité d'investissement.

Cependant, cette puissance devra être suffisante pour assurer un taux d'économie d'énergie FSAV supérieur à 30%.

3.2.4.2 Le ballon de stockage

Le volume du ballon de stockage sera adaptée en fonction de la puissance de la PAC et du fonctionnement du système en semi-accumulation. Au maximum, il sera de l'ordre de grandeur de la consommation d'ECS journalière permettant un fonctionnement au plus bas niveau de température possible. Mais des volumes de stockage significativement plus petits (limités à l'énergie susceptible d'être fourni par la PAC pour un fonctionnement 24h/24) pourront être favorables en limitant les pertes thermiques de stockage.

3.2.4.3 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.2.4.4 L'appoint

L'appoint doit être dimensionné pour pouvoir assurer 100% des besoins ECS.



3.2.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 8.

	Désignation	Unité
$Q_{PACSolaire}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
$Q_{Appoint}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le ballon d'appoint	kWh
Q_{ECS}	Energie thermique pour la préparation d'eau chaude sanitaire	kWh
V_{ECS}	Volume d'ECS consommé	m ³
$Q_{Bouclage}$	Energie thermique dissipée dans le bouclage sanitaire (Pertes thermiques)	kWh
$W_{PACSolaire}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 4. Désignation des grandeurs énergétiques

Le Tableau 5 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{PACSolaire}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{Appoint}$	Requis		Requis
Q_{ECS}			
$Q_{Bouclage}$			
$W_{PACSolaire}$	Requis	Requis	

Tableau 5. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.2.6 Calcul des indicateurs

3.2.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.2.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.2.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.2.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 6 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution ECS1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Dimensionnement pour atteindre un FSAV supérieur à 30%
Permet un Fonctionnement à basse température	
Absence de mitigeur général (sous réserve du dimensionnement et du fonctionnement adapté de l'appoint) optimisant les performances	

Tableau 6. Points forts et points de vigilance de la solution ECS1



3.3 ECS2 : Production d'ECS avec stockage en ECS

3.3.1 Schéma type des installations

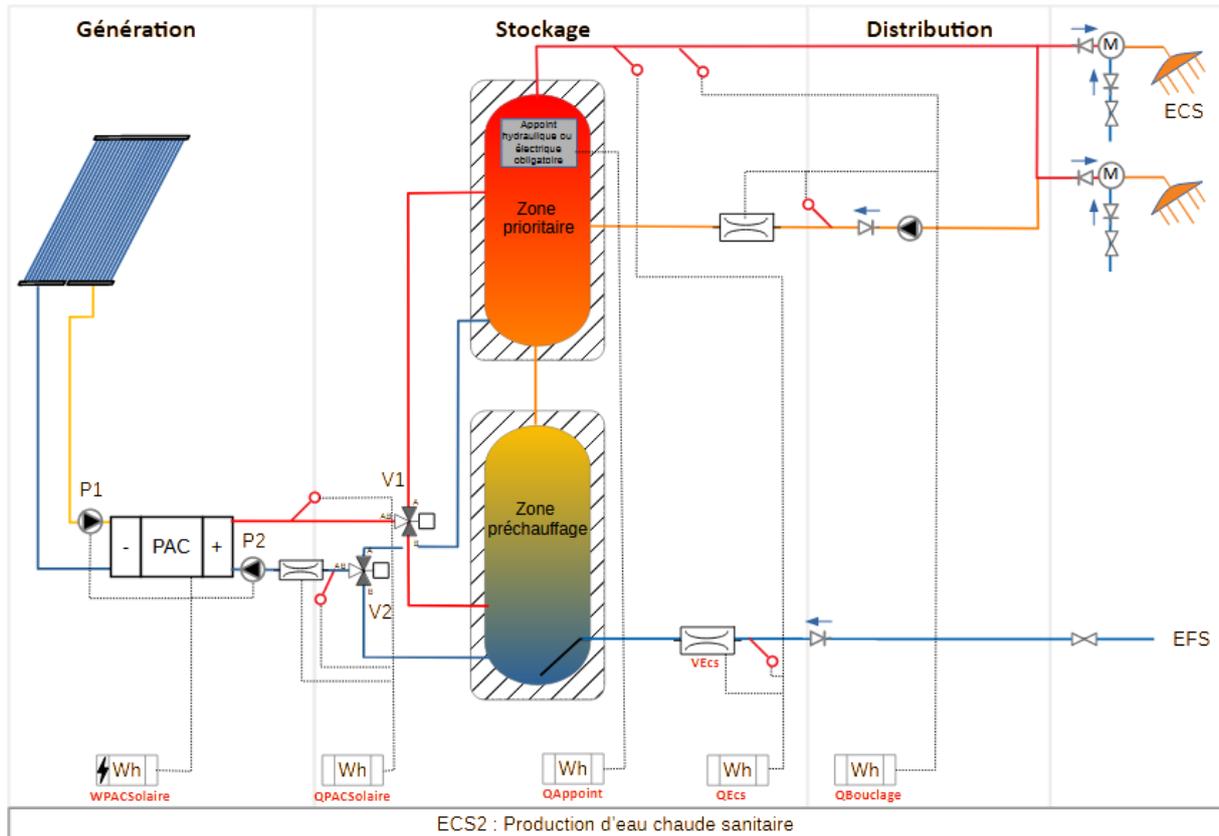


Figure 9. Schéma de la solution ECS2

3.3.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté à la plupart des bâtiments avec des besoins d'eau chaude sanitaire importants. Ici, le système PAC solaire assure quasi-intégralement la production d'eau chaude sanitaire soutirée ainsi que la fourniture de l'énergie nécessaire pour compenser les pertes de bouclage sanitaire. Un système d'appoint intégré au/dans le ballon est présent, mais le recours à celui-ci ne doit être qu'exceptionnel (température extérieure exceptionnellement basse, pointe de puisage exceptionnel, neige sur les capteurs, remplacement de la PAC solaire en cas de problème sur cette dernière par exemple), et ne doit représenter qu'une part très marginale des apports énergétiques à l'année.

En alternative à ce schéma, et si les conditions techniques ne permettent pas d'implanter suffisamment de capteurs solaires thermiques, il pourra être préférable de recourir à [ECS1](#) où seulement un préchauffage d'eau chaude sanitaire est assuré par le système PAC solaire.

Ce schéma est adapté lorsqu'il n'y a pas de contraintes réglementaires sur l'eau chaude sanitaire, et que le stockage peut être assuré directement en eau chaude sanitaire.

3.3.3 Variante

3.3.3.1 Variante 1 seul ballon

En variante, il est possible de ne disposer que d'un seul ballon de stockage d'ECS sanitaire pour les installations de taille modeste. Dans ce cas, le raccordement de la PAC au ballon de stockage permettra de distinguer une zone prioritaire et une zone de préchauffage. Pour assurer une bonne stratification dans le ballon de stockage, la recommandation sera de prendre un ballon de stockage dont la hauteur H est supérieure ou égale à 3 fois le diamètre.



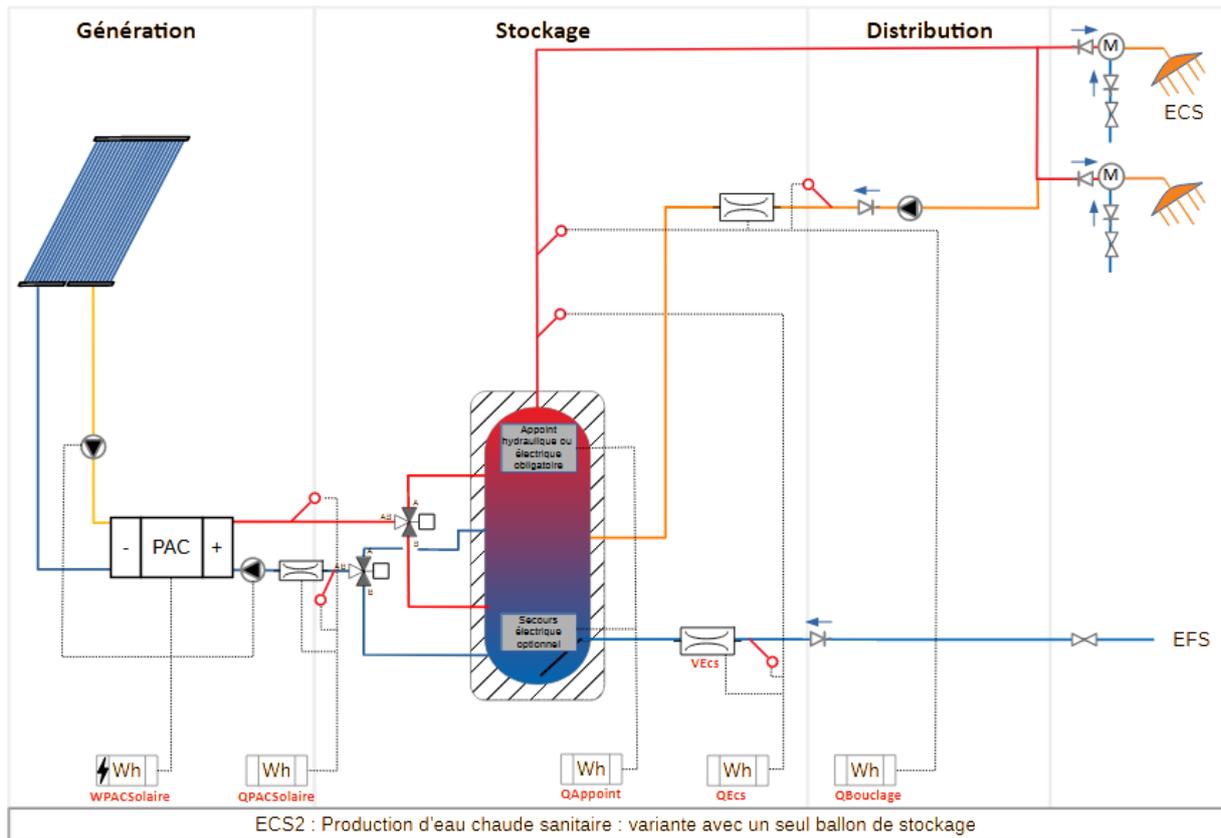


Figure 10. Schéma de la variante ECS2 avec un seul ballon de stockage

3.3.3.2 Variante ballons multiples

Lorsque le volume de stockage à mettre en œuvre est important, il est possible de diviser en de multiples ballons de stockage. La règle sera de toujours dissocier une zone prioritaire et une zone de préchauffage. Pour chacune des zones, les ballons seront montés en série pour assurer une stratification de température.



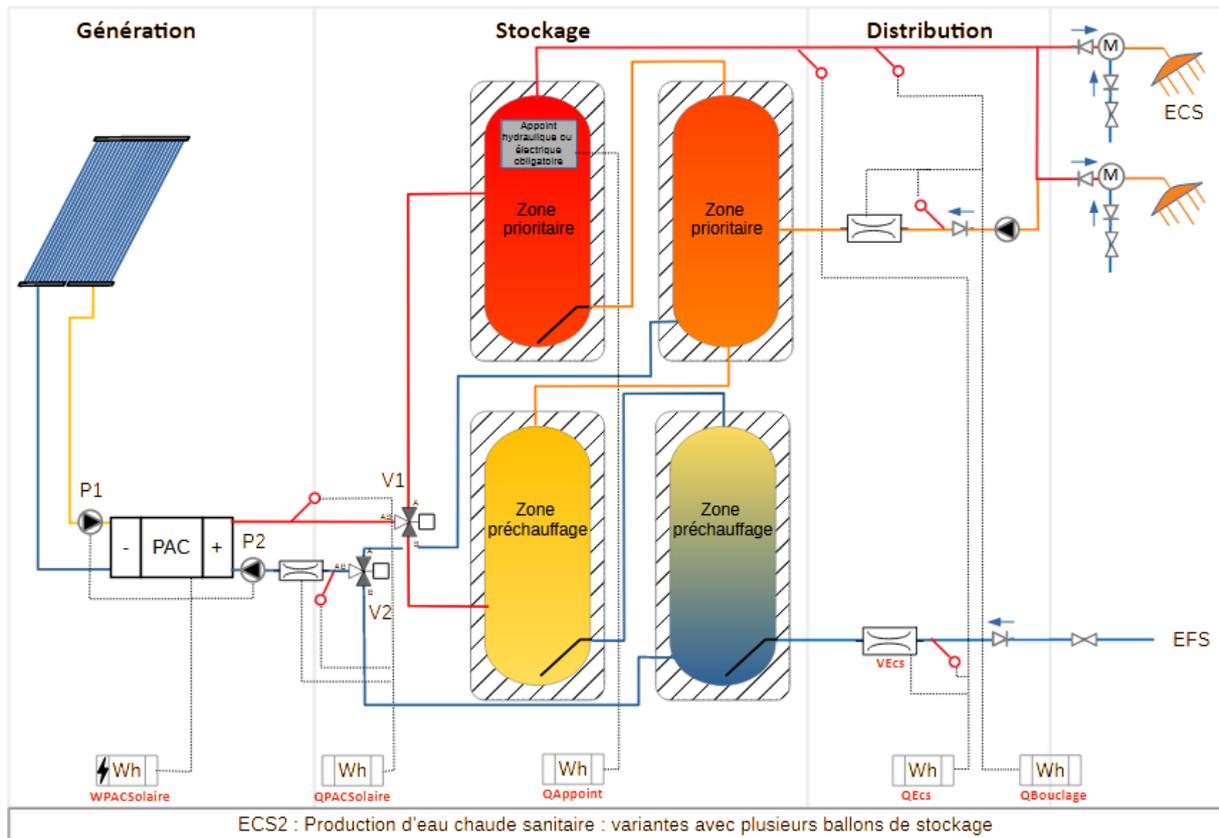


Figure 11. Schéma de la variante ECS2 avec de multiples ballons de stockage

3.3.4 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.

3.3.4.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge des ballons P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Le compresseur de la PAC est mis en service lorsque :
 - la température du ballon de stockage « Zone prioritaire » n'atteint pas la température de consigne T_{ConsPAC} fixée pour la production d'eau chaude sanitaire (typiquement 55 à 60°C)
 - la température du ballon de stockage « Zone préchauffage » n'atteint pas la température de consigne T_{ConsPAC} . Selon les volumes de stockage, la température de consigne pour ce ballon peut être plus faible.
- Des vannes 3 voies tout ou rien V1 et V2 permettent d'orienter le fluide à la sortie du condenseur de la PAC vers le ballon supérieur (Zone prioritaire) ou inférieur (Zone de préchauffage).
 - Les vannes V1 et V2 sont positionnées sur la position AB \rightarrow A lorsque la température de consigne T_{ConsPAC} du ballon supérieur (Zone prioritaire) n'est pas atteinte.



- Ces vannes V1 et V2 basculent vers la position AB➤B lorsque la température du ballon supérieur (Zone prioritaire) dépasse la température de consigne T_{ConsPAC} avec un différentiel de 2 à 3°C

3.3.4.2 Dispositif d'appoint

Le mode de fonctionnement du dispositif d'appoint est asservi à une température de consigne appoint T_{ConsApp} avec un différentiel d'arrêt : le bon réglage des différentes températures de consigne est primordial pour assurer des performances satisfaisantes du système, et un recours limité à l'appoint. Les règles de l'art recommandent :

- Une température de consigne appoint T_{ConsApp} inférieur de 2 à 3°C à la température de consigne PAC T_{ConsPAC} soit $T_{\text{ConsApp}} = T_{\text{ConsPAC}} - (2 \text{ à } 3^\circ\text{C})$
- que le pilotage de la PAC et du générateur d'appoint soit réalisé par le même régulateur

Des algorithmes plus évolués et plus performants sont possibles en fonction des industriels.

3.3.5 Dimensionnement des composants spécifiques

Pour ces installations de production d'eau chaude sanitaire, le dimensionnement doit permettre d'assurer la fourniture intégrale du service Eau chaude, ainsi que compenser les pertes de bouclage.

Les préconisations de dimensionnement mentionnées ci-dessous sont données à titre indicatif, et devront être validées par le concepteur et le fabricant.

3.3.5.1 La pompe à chaleur et les ballons de stockage

La puissance de la PAC et le volume des ballons de stockage sont liés.

La méthode de dimensionnement pour ces 2 composants est présentée au Chapitre 2.3.2 (p 46) du Guide Technique « Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif »[8], dont un extrait est repris ci-dessous, avec adaptation pour prendre en compte les pertes de bouclage sanitaire.

- Evaluation du nombre de logements standards du bâtiment : **Ns**. Le nombre de logements standards est évalué à partir de [14] pour les immeubles de logements collectifs et de [15] pour les bâtiments tertiaires.
- Evaluation de la puissance P_{ECS} minimale (sans prise en compte des pertes de bouclage sanitaire) en fonction du volume de stockage retenu et du nombre de logements standards **Ns** à partir du graphique suivant.



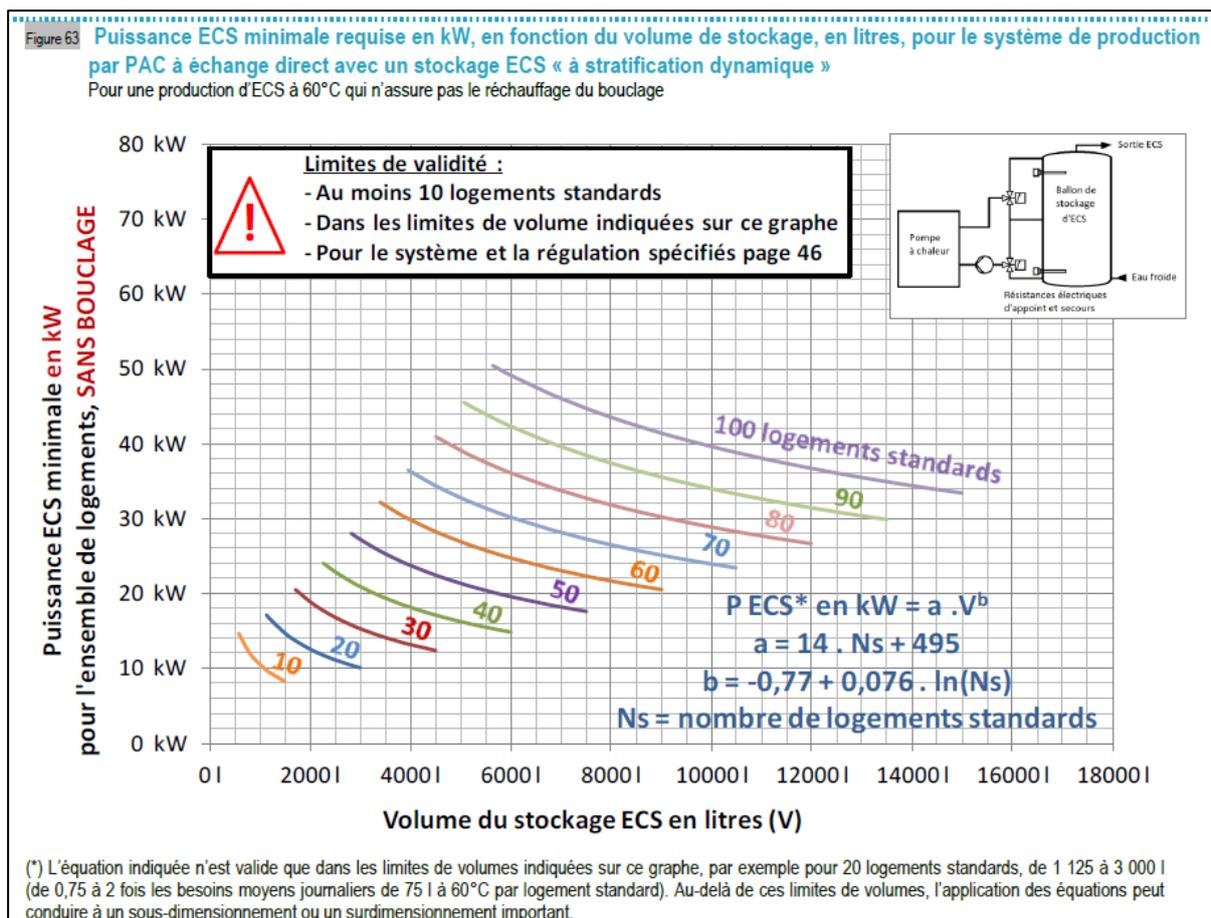


Figure 12. Evaluation de PECS en fonction du nombre de logements et du volume de stockage (extrait de [8])

- Intégration d'une puissance supplémentaire pour prendre en compte la puissance des pertes de bouclage sanitaire P_{Boucl} aboutissant ainsi à la puissance de dimensionnement $P_{DIM} = P_{ECS} + P_{Boucl}$
- Sélection de la puissance calorifique de la ou des PAC (pour le régime de température 10/65°C) de façon à respecter les critères suivants :

$$P_{NominalePAC} = 0.7 P_{ECS} + P_{Boucl}$$

Ce dimensionnement doit impérativement être validé par des simulations thermiques dynamiques avec un outil adapté.

3.3.5.2 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.3.5.3 Le dispositif d'appoint

Le dispositif d'appoint ne doit être utilisé que très ponctuellement dans cette configuration. Néanmoins, il devra compléter la puissance fournie par la PAC lors de puisages importants, ou dans des conditions climatiques très défavorables.

L'appoint doit être dimensionné pour pouvoir assurer 100% des besoins ECS.



Le dimensionnement de la puissance du dispositif d'appoint est également présenté au Chapitre 2.3.2 (p 46) du Guide Technique « Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif »[8], dont est adapté la formulation suivante.

A partir de la puissance nominale de la ou des PAC $P_{\text{nominalePAC}}$, évaluation de sa puissance à la température extérieure de base $P_{\text{PACTextbase}}$ à partir des données constructeurs.

Pour les climats océaniques et méditerranéens ou avec faible risque de neige, la puissance de l'appoint P_{Appoint} doit être telle que :

$$P_{\text{Appoint}} + P_{\text{PACTextbase}} > 1.2 (P_{\text{ECS}} + P_{\text{Boucl}})$$

Pour les climats continentaux ou avec fort risque de neige, la puissance de l'appoint P_{Appoint} doit être telle que :

$$P_{\text{Appoint}} > 1.2 (P_{\text{ECS}} + P_{\text{Boucl}})$$

3.3.6 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 9.

	Désignation	Unité
$Q_{\text{PACSolaire}}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
Q_{Appoint}	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le ballon d'appoint	kWh
Q_{ECS}	Energie thermique pour la préparation d'eau chaude sanitaire	kWh
V_{ECS}	Volume d'ECS consommé	m ³
Q_{Bouclage}	Energie thermique dissipée dans le bouclage sanitaire (Pertes thermiques)	kWh
$W_{\text{PACSolaire}}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 7. Désignation des grandeurs énergétiques

Le Tableau 8 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{\text{PACSolaire}}$	Requis	Requis	Requis
Q_{Appoint}	Requis		Requis
Q_{ECS}			
Q_{Bouclage}			
$W_{\text{PACSolaire}}$	Requis	Requis	

Tableau 8. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.3.7 Calcul des indicateurs

3.3.7.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{\text{UTILE}} = 1 - \frac{W_{\text{PACSolaire}} + Q_{\text{Appoint}}}{Q_{\text{PACSolaire}} + Q_{\text{Appoint}}}$$

3.3.7.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{\text{PACSolaire}}}{W_{\text{PACSolaire}}}$$



3.3.7.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

Selon la valeur de FPAC, des exigences différentes pourront être appliquées au dispositif d'appoint.

Si FPAC est inférieur à 0.9, l'appoint ne pourra pas être réalisé par effet Joule. En cas de rénovation d'une chaufferie existante dont la production d'ECS est réalisée par des ballons électriques, le seuil de 90% pourra être abaissée si les conditions technico-économiques l'imposent.

3.3.8 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 9 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution ECS1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Dimensionnement pour atteindre un FPAC supérieur à 90%
Fonctionnement à basse température	Pilotage du dispositif d'appoint, avec notamment une centralisation des fonctions de contrôle-commande et une température de consigne appoint $T_{ConsApp}$ inférieur de 2 à 3°C à la température de consigne PAC $T_{ConsPAC}$
Absence de mitigeur général (sous réserve du dimensionnement et du fonctionnement adapté de l'appoint) optimisant les performances	

Tableau 9. Points forts et points de vigilance de la solution ECS2



3.4 ECS3 : Préchauffage d'ECS avec stockage en eau technique

3.4.1 Schéma type des installations

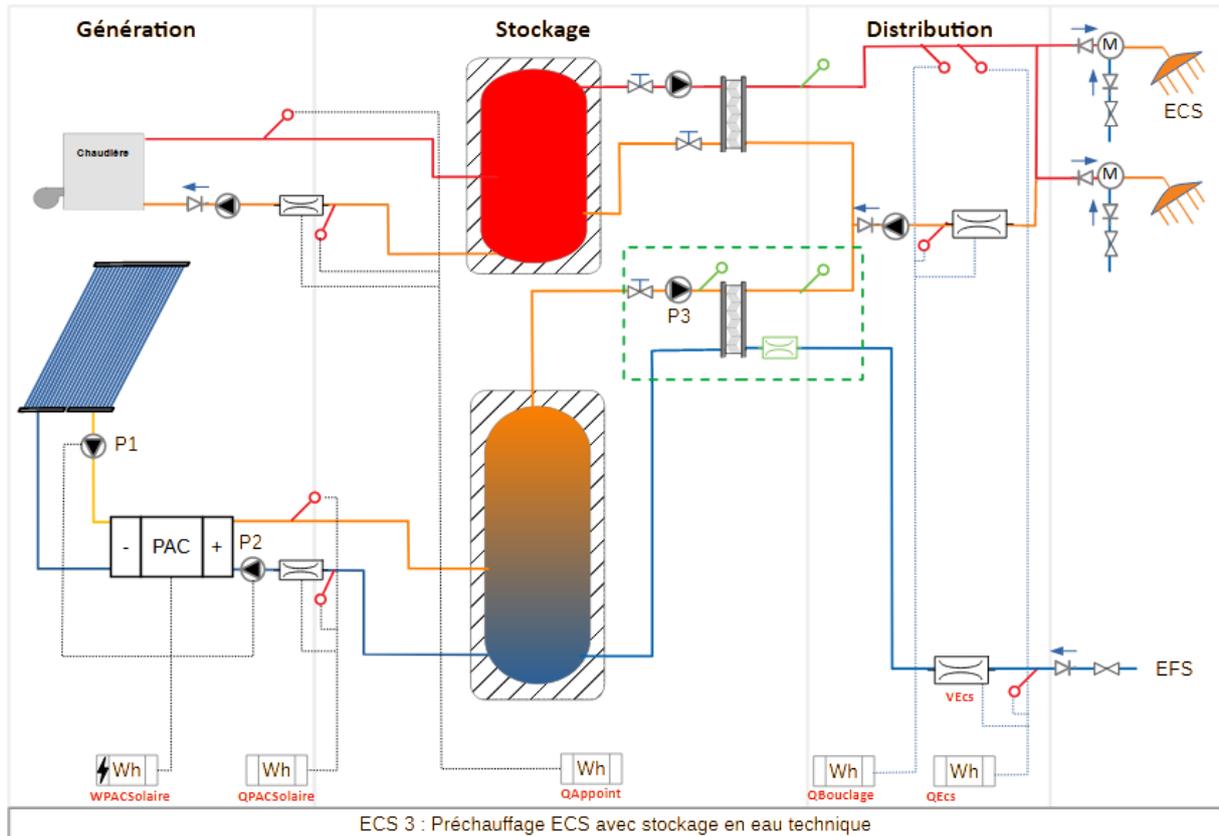


Figure 13. Schéma de la solution ECS3

3.4.2 Domaine d'application

Dans les établissements de santé (hôpitaux, EHPAD, ...) et afin de prévenir le risque de développement des légionnelles, les circulaires de la Direction Générale de la Santé ([16]et [17] notamment, et plus généralement on pourra se référer utilement à [18]) sur les équipements de production d'eau chaude sanitaire recommandent la suppression des ballons de stockage (préchauffé ou non) à une température inférieure à 55°C, dans la mesure où ces températures favorisent le développement bactérien. Ces circulaires recommandent les dispositifs par échanges thermiques.

Les installations de PAC solaire pour le préchauffage ou la production d'ECS tombent sous le coup de ces circulaires, ce qui a conduit à développer des solutions avec un stockage de l'énergie en eau technique, et une production d'ECS préchauffée en instantané via un échangeur alimenté à partir du stockage en eau technique.

Ces installations requièrent donc 3 boucles fluides :

- La boucle solaire ou boucle de charge qui assure le transfert de l'énergie solaire vers l'Evaporateur de la PAC
- La boucle « Eau technique » comprenant notamment le condenseur de la PAC, le volume du stockage, et les éventuels circuits entre les échangeurs
- La boucle ECS ou boucle de décharge où l'ECS est réchauffée via un échangeur de chaleur par l'eau technique.



3.4.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.

3.4.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Pour le fonctionnement du compresseur de la PAC, plusieurs logiques de fonctionnement peuvent être envisagées :
 - le fonctionnement du compresseur peut être quasiment permanent pour assurer une part de préchauffage ECS la plus importante possible. Dans ce cas, la température du ballon de stockage sera une résultante de ce fonctionnement.
 - Le compresseur est mis en service pour atteindre une température de consigne relativement faible pour assurer des COP les plus élevés possible. Ce fonctionnement sera notamment mis en œuvre lorsque le système d'appoint est « vertueux » (typiquement biomasse)
 - les conditions de température sur la boucle solaire sont suffisantes pour assurer le fonctionnement de la PAC avec un COP suffisant (typiquement supérieur à 2.5 ou 3).

3.4.3.2 Boucle de préchauffage ECS

Le préchauffage de l'ECS sera assuré par une station préfabriquée de production d'ECS en instantané (représenté par le cadre vert en tiret pointillé sur le schéma de la Figure 13), intégrant l'ensemble des composants nécessaires au pilotage le plus efficient possible du circulateur P3. Un schéma type de ces stations est représenté sur la Figure 14.

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

- Ajustement du débit du circulateur en fonction du débit de puisage et de la température d'eau préchauffée en sortie de l'échangeur ECS
- Maintien de l'échangeur en température en dehors des puisages

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

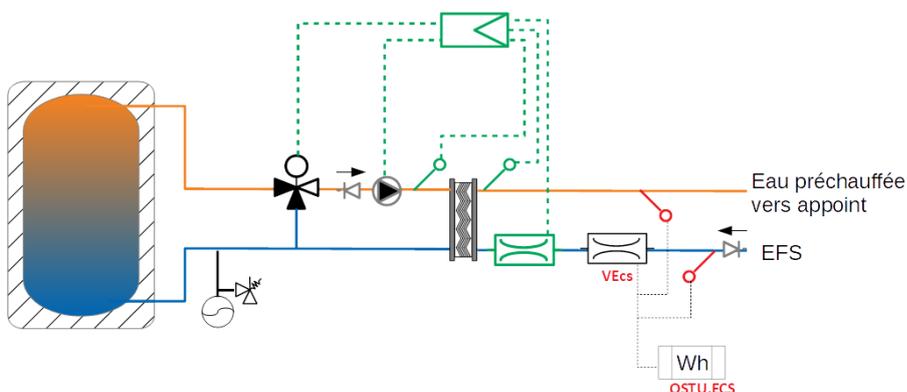


Figure 14 : Régulation par pilotage d'une vanne 3 voies et d'un circulateur à vitesse variable



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

- La vanne 3 voies module la température de l'eau technique à l'entrée chaude de l'échangeur, notamment pour limiter les risques d'entartrage de l'échangeur. Avec l'utilisation de PAC Solaire, cette vanne 3 voies n'est pas nécessaire pour le contrôle de la température à l'entrée chaude de l'échangeur (car la température de production des PAC est limitée).
- Le circulateur de décharge P3 est asservi en vitesse variable à la mesure du débit de puisage : cela permet de maintenir l'équi-débit entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Des corrections à la vitesse du circulateur peuvent être apportées en fonction de la température de l'eau technique en entrée d'échangeur, et de la température d'eau sanitaire préchauffée.
- Le maintien en température en dehors des périodes de puisage est assuré au travers de la mise en service de la pompe de décharge à vitesse réduite, et avec la vanne 3 voies en recyclage, et est contrôlée par la mesure de la température sur le circuit chaud du primaire, qui permet ou non l'ouverture de la vanne 3 voies.

On trouvera plus de détail sur le fonctionnement de cette boucle au paragraphe 3.4.3 du Livret Technique SOCOL dédié aux installations en eau technique[19], qui seront également applicables aux PAC Solaire.

3.4.4 Dimensionnement des composants spécifiques

Pour les installations de préchauffage, le dimensionnement est généralement limité par les surfaces disponibles pour la mise en œuvre des capteurs ou en local technique et/ou par une limitation de la capacité d'investissement.

3.4.4.1 La pompe à chaleur

Pour ce schéma, il n'y a pas de critère spécifique pour le dimensionnement de la PAC. Sa puissance sera définie en fonction de la surface de capteurs solaires mise en œuvre (cf ci-dessous), ou en fonction de la capacité d'investissement.

Cependant, cette puissance devra être suffisante pour assurer un taux d'économie d'énergie FSAV supérieur à 30%.

3.4.4.2 Le ballon de stockage

Le volume du ballon de stockage sera adaptée en fonction de la puissance de la PAC et du fonctionnement du système en semi-accumulation. Au maximum, il sera de l'ordre de grandeur de la consommation d'ECS journalière permettant un fonctionnement au plus bas niveau de température possible. Mais des volumes de stockage significativement plus petits (limités à l'énergie susceptible d'être fourni par la PAC pour un fonctionnement 24h/24) pourront être favorables en limitant les pertes thermiques de stockage.

3.4.4.3 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}



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

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

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

En fonction du dimensionnement de la PAC Solaire, les températures d'entrée au primaire de l'échangeur et de sortie au secondaire pourront être ajustés, tout en maintenant un écart maximal de 5°C entre ces deux températures.

En logement :

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

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

Pour plus de détail sur l'évaluation débit 10 min q_{10min} , se référer au paragraphe 1.1.1 du Livret Technique SOCOL dédié aux installations en eau technique [19] ou au Guide COSTIC ADEME sur les besoins en eau chaude sanitaire [14].

3.4.4.5 Le circulateur primaire P3 de l'échangeur ECS

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

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

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

3.4.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 13.

	Désignation	Unité
$Q_{PACSolaire}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
$Q_{Appoint}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le ballon d'appoint	kWh
Q_{ECS}	Energie thermique pour la préparation d'eau chaude sanitaire	kWh
V_{ECS}	Volume d'ECS consommé	m ³
$Q_{Bouclage}$	Energie thermique dissipée dans le bouclage sanitaire (Pertes thermiques)	kWh
$W_{PACSolaire}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 10. Désignation des grandeurs énergétiques



Le Tableau 11 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{PACSolaire}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{Appoint}$	Requis		Requis
Q_{ECS}			
$Q_{Bouclage}$			
$W_{PACSolaire}$	Requis	Requis	

Tableau 11. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.4.6 Calcul des indicateurs

3.4.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.4.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.4.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.4.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 12 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution ECS1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Dimensionnement pour atteindre un FSAV supérieur à 30%
Solution adaptée aux établissements de santé	Dimensionnement, contrôle-commande et sélection des stations préfabriquées de production d'ECS en instantané
Fonctionnement à basse température	
Absence de mitigeur général (sous réserve du dimensionnement et du fonctionnement adapté de l'appoint) optimisant les performances	

Tableau 12. Points forts et points de vigilance de la solution ECS1



3.5 PISCINE1 : Chauffage des bassins de piscine

3.5.1 Schéma type des installations

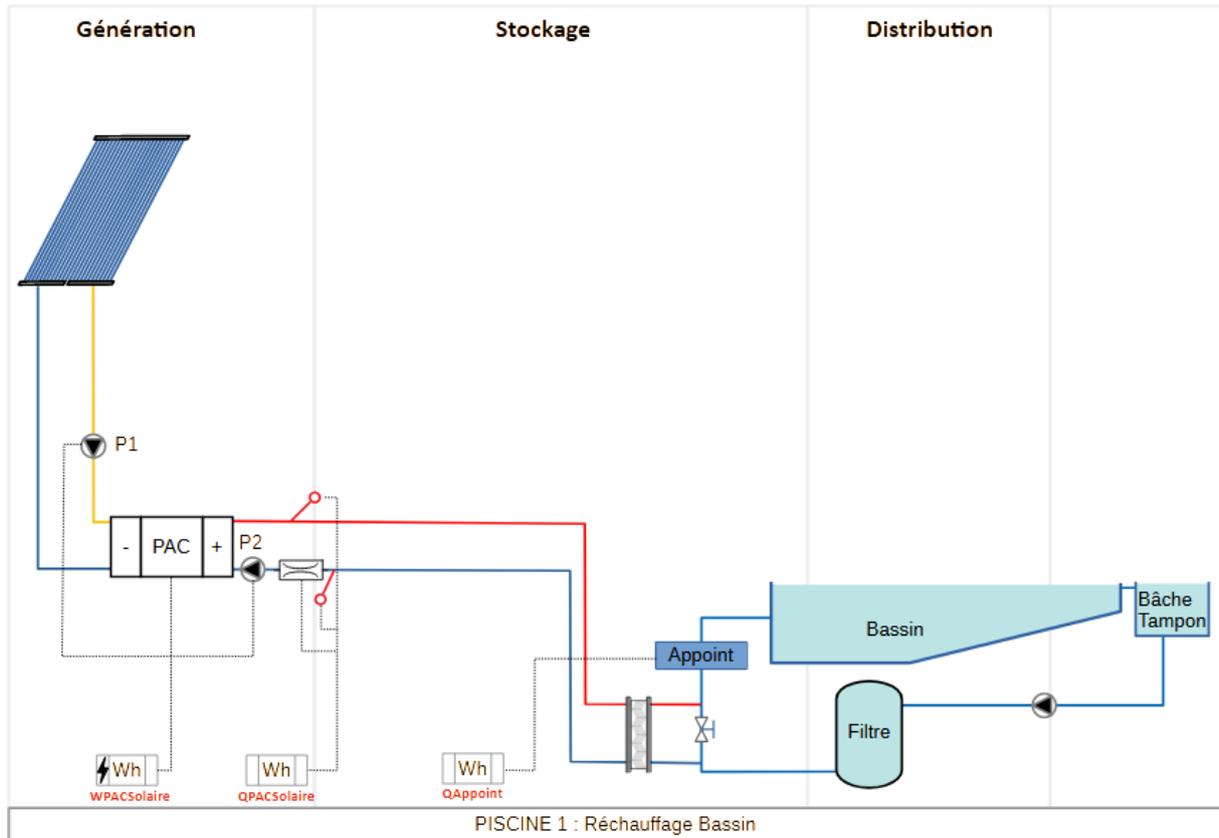


Figure 15. Schéma de la solution PISCINE1

Ce schéma est générique. Selon qu'il s'agisse d'une piscine de camping ou d'hôtel avec un seul bassin ou d'un vaste complexe aquatique avec de multiples bassins, de nombreuses configurations différentes pourront être mises en œuvre.

3.5.2 Domaine d'application

Largement adapté pour un usage dans le cas des piscines dites « 4 saisons », ces installations présentent un très grand niveau de simplicité, ainsi que des performances remarquables compte-tenu des faibles niveaux de température à atteindre.

Des informations sont fournies dans les annexes du « livret SOCOL sur la production de chaleur solaire pour les piscines collectives » [20] sur l'évaluation des besoins thermiques des piscines, et des outils logiciels permettant de les évaluer.

3.5.3 Variante n°1

Dans certains cas, il pourra être pertinent d'envisager un fonctionnement uniquement avec l'énergie solaire thermique. En effet, en période estivale, les capteurs non vitrés ou PVT seuls pourront assurer le maintien en température des bassins seuls, ou en complémentarité de la PAC.



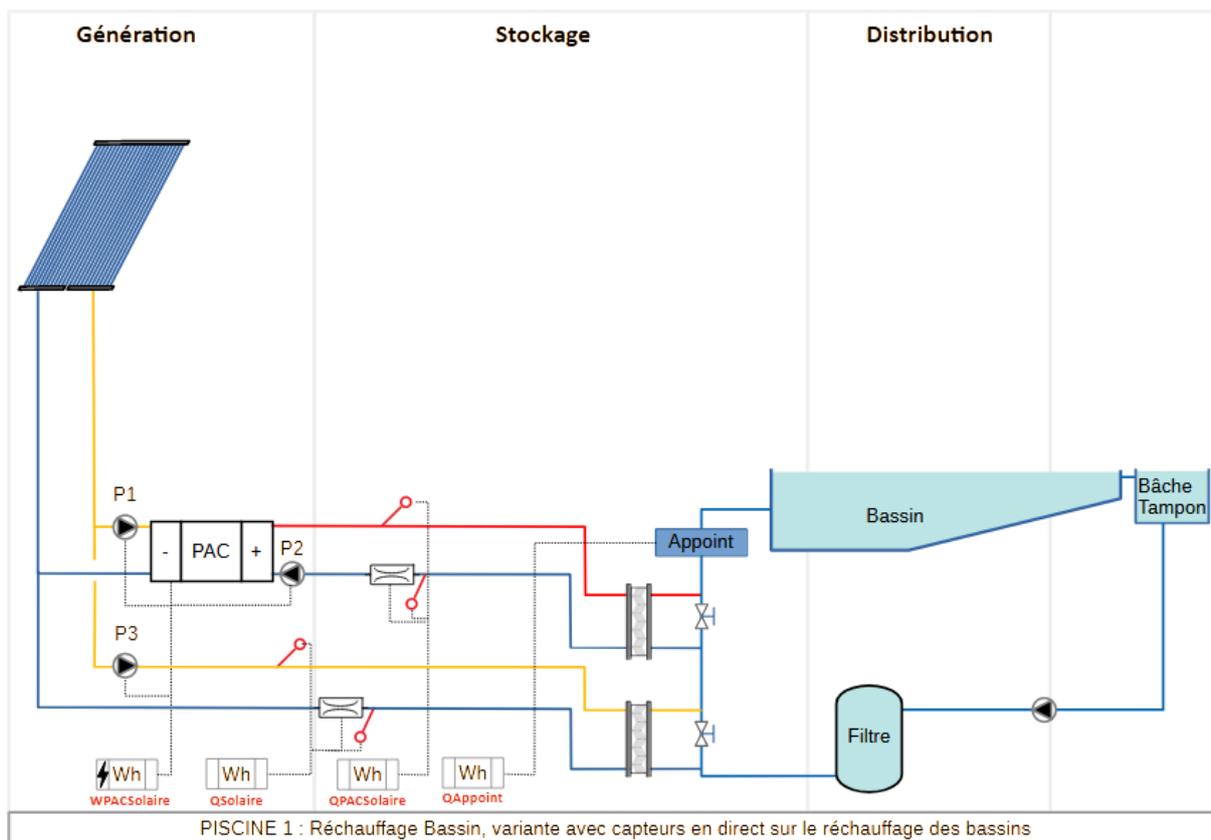


Figure 16. Schéma de la variante PISCINE1 avec fonctionnement solaire direct

3.5.4 Variante n°2

En alternative à l'utilisation de l'énergie solaire direct pour le réchauffage du bassin, cette utilisation directe peut être mise à profit pour le préchauffage de l'eau de renouvellement des bassins.



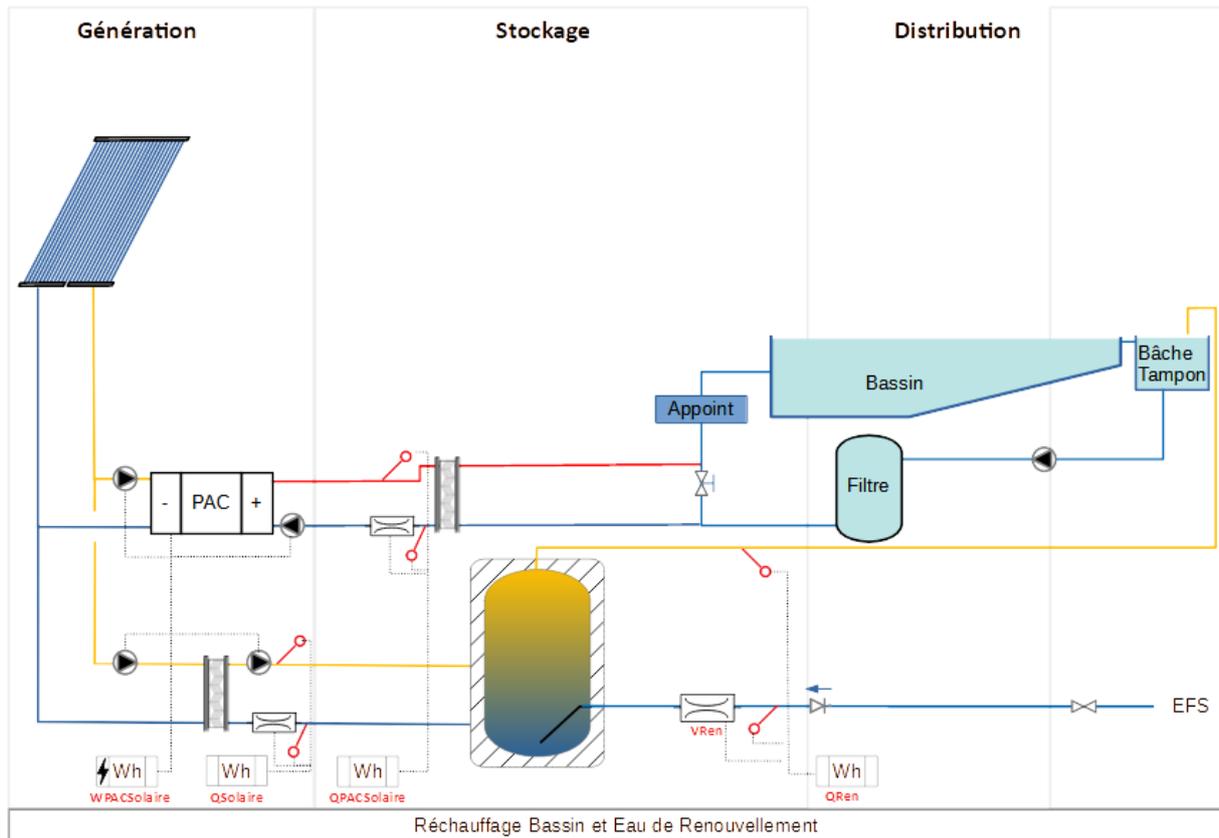


Figure 17. Schéma de la variante PISCINE2 avec utilisation du solaire direct pour le préchauffage de l'eau de renouvellement

Pour certaines configurations, l'utilisation du solaire direct sur le renouvellement d'eau du bassin pourra être plus pertinente énergétiquement que sur le bassin lui-même, compte-tenu des plus bas niveaux de température.

Et lorsqu'il y a plusieurs bassins, il peut être plus simple de travailler en solaire direct sur un renouvellement d'eau mutualisé que sur plusieurs circuits de filtration avec plusieurs échangeurs.

3.5.5 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.

3.5.5.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Le compresseur de la PAC est mis en service lorsque la température des bassins n'atteint pas la température de consigne fixée (typiquement 26 à 32°C selon les usages des bassins)

3.5.5.2 Capteur solaire en direct pour le réchauffage des bassins

Lorsque la température des capteurs solaires est suffisante pour assurer le réchauffage des bassins, le circulateur P3 est mis en service. Le pilotage de ce circulateur P3 est assuré par un régulateur différentiel entre la température des capteurs solaires et la température du bassin.



3.5.6 Dimensionnement des composants spécifiques

3.5.6.1 La pompe à chaleur

Face à la diversité des solutions, il n'est pas possible de définir une puissance nominale de la PAC Solaire simplement.

Pour les petites installations (type hôtel), le dimensionnement est généralement réalisé pour assurer la fourniture intégrale du réchauffage des bassins. Dans ces conditions, la puissance calorifique nominale de la PAC $P_{\text{ nominale PAC}}$ sous le régime de température 10/35°C sera compris entre 100 (Sud de la France) et 120% (Nord de la France) des puissances de déperditions des bassins et de renouvellement d'eau.

Pour les grandes installations (complexe aquatique), il s'agira le plus souvent d'assurer une part significative des besoins de chaleur sans viser la fourniture intégrale. Dans ce cas, la logique sera plutôt du préchauffage, et le dimensionnement intégrera différentes notions technico-économiques, qui devront faire l'objet d'une étude spécifique.

3.5.6.2 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.5.6.3 Le ou les échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur seront dimensionnés selon les conditions suivantes :

Puissance (kW)	$P_{\text{ nominale PAC}}$	
	Primaire	Secondaire
Circuit	Eau technique	Eau de piscine
Fluide	Eau technique	Eau de piscine
Température entrée (°C)	33	
Température sortie (°C)		30
Débit (l/h)	Débit nominal au condenseur de la ou des PAC	Débit nominal au condenseur de la ou des PAC

Tableau 13. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

Les pertes de charges maximales de l'échangeur devront être précisées lors de l'étude.

3.5.7 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 15 ou la Figure 16.

	Désignation	Unité
$Q_{\text{ PAC Solaire}}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers l'échangeur de piscine	kWh
$Q_{\text{ Appoint}}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint pour le réchauffage des bassins	kWh
$Q_{\text{ Solaire}}$	Energie solaire thermique directe envoyée vers l'échangeur de piscine	kWh
$W_{\text{ PAC Solaire}}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires y compris le circulateur P3	kWh

Tableau 14. Désignation des grandeurs énergétiques



Le Tableau 15 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{PACSolaire}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{Appoint}$	Requis		Requis
$Q_{Solaire}$	Requis		Requis
$W_{PACSolaire}$	Requis	Requis	

Tableau 15. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.5.8 Calcul des indicateurs

3.5.8.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Solaire} + Q_{Appoint}}$$

3.5.8.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire} + Q_{Solaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.5.8.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire} + Q_{Solaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Solaire} + Q_{Appoint}}$$

3.5.9 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 16 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution PISCINE1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Précision sur le réglage des points de consigne PAC et appoint (et sur les régulateurs) afin de limiter les consommations d'appoint : une erreur de 1°C entraîne de grandes consommations d'énergie. La sonde de température de pilotage devra être commune à la PAC et à l'appoint.
Fonctionnement à très basse température	
Possibilité de valoriser l'énergie solaire thermique en direct	

Tableau 16. Points forts et points de vigilance de la solution PISCINE1



3.6 PISCINE3 : Chauffage des bassins de piscine et production d'eau chaude sanitaire

3.6.1 Schéma type des installations

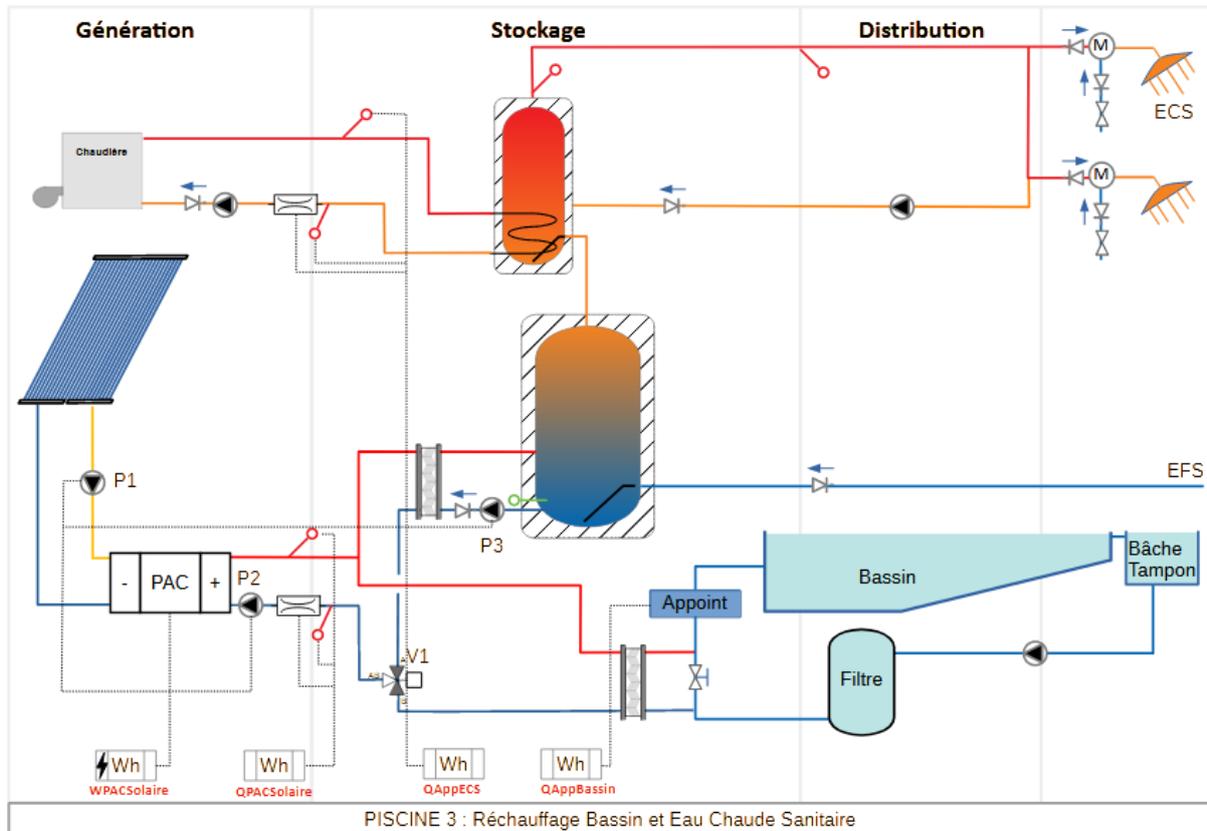


Figure 18. Schéma de la solution PISCINE3

Ce schéma est générique. Selon qu'il s'agisse d'une piscine de camping ou d'hôtel avec un seul bassin ou d'un vaste complexe aquatique avec de multiples bassins, de nombreuses configurations différentes pourront être mises en œuvre.

3.6.2 Domaine d'application

Largement adapté pour un usage dans le cas des piscines dites « 4 saisons », ces installations présentent un très grand niveau de simplicité, ainsi que des performances remarquables compte-tenu des faibles niveaux de température à atteindre.

Des informations sont fournies dans les annexes du « livret SOCOL sur la production de chaleur solaire pour les piscines collectives » [20] sur l'évaluation des besoins thermiques des piscines, et des outils logiciels permettant de les évaluer.

Par rapport à la solution PISCINE1, cette solution intègre également le préchauffage d'eau chaude sanitaire pour les douches adressant ainsi une gamme d'usage plus importante.

3.6.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.



3.6.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Le compresseur de la PAC est mis en service :
 - lorsque la température des bassins n'atteint pas la température de consigne fixée (typiquement 26 à 32°C selon les usages des bassins)
 - lorsque du préchauffage sanitaire est requis (température du ballon de stockage inférieur à la température de consigne ECS : typiquement 55 à 60°C)
- Une vanne 3 voies tout ou rien V1 permet d'orienter le fluide à la sortie du condenseur de la PAC vers le ballon d'eau chaude sanitaire ou vers la piscine. Selon le dimensionnement de la PAC, plusieurs stratégies de fonctionnement peuvent être mises en œuvre pour donner la priorité à la production d'ECS ou à la production au plus bas niveau de température possible. Lorsque la vanne est basculée sur la position AB➤A, le circulateur P3 est également mis en service.

3.6.4 Dimensionnement des composants spécifiques

Les préconisations de dimensionnement mentionnées ci-dessous sont données à titre indicatif, et devront être validées par le concepteur et le fabricant.

3.6.4.1 La pompe à chaleur

Face à la diversité des solutions, il n'est pas possible de définir une puissance nominale de la PAC Solaire simplement.

Pour les petites installations (type hôtel), le dimensionnement est généralement réalisé pour assurer la fourniture intégrale du réchauffage des bassins. Dans ces conditions, la puissance calorifique nominale de la PAC $P_{\text{nominale PAC}}$ sous le régime de température 10/35°C sera compris entre 100 (Sud de la France) et 120% (Nord de la France) des puissances de déperditions des bassins et de renouvellement d'eau, à laquelle sera ajoutée une puissance complémentaire pour la production d'ECS

Pour les grandes installations (complexe aquatique), il s'agira le plus souvent d'assurer une part significative des besoins de chaleur sans viser la fourniture intégrale. Dans ce cas, la logique sera plutôt du préchauffage, et le dimensionnement intègrera différentes notions technico-économiques, qui devront faire l'objet d'une étude spécifique.

3.6.4.2 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}



3.6.4.3 L'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur sera dimensionné selon les conditions suivantes :

Puissance (kW)	$P_{\text{ nominale PAC}}$	
Circuit	Primaire	Secondaire
Fluide	Eau technique	Eau de piscine
Température entrée (°C)	33	
Température sortie (°C)	30	
Débit (l/h)	Débit nominal au condenseur de la ou des PAC	Débit nominal au condenseur de la ou des PAC

Tableau 17. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

Les pertes de charges maximales de l'échangeur devront être précisées lors de l'étude.

3.6.4.4 Le ballon de stockage

Le volume du ballon de stockage sera adaptée en fonction de la puissance de la PAC et du fonctionnement du système en semi-accumulation. Au maximum, il sera de l'ordre de grandeur de la consommation d'ECS journalière permettant un fonctionnement au plus bas niveau de température possible. Mais des volumes de stockage significativement plus petits pourront être favorables en limitant les pertes thermiques de stockage..

3.6.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 18.

	Désignation	Unité
$Q_{\text{ PAC Solaire}}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers l'échangeur de piscine	kWh
$Q_{\text{ App Bassin}}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint pour le réchauffage des bassins	kWh
$Q_{\text{ App ECS}}$	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint pour le la production d'eau chaude	kWh
$W_{\text{ PAC Solaire}}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires y compris le circulateur P3	kWh

Tableau 18. Désignation des grandeurs énergétiques

Le Tableau 19 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{\text{ PAC Solaire}}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{\text{ App Bassin}}$	Requis		Requis
$Q_{\text{ App ECS}}$	Requis		Requis
$W_{\text{ PAC Solaire}}$	Requis	Requis	

Tableau 19. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.6.6 Calcul des indicateurs

3.6.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{\text{ UTILE}} = 1 - \frac{W_{\text{ PAC Solaire}} + Q_{\text{ App Bassin}} + Q_{\text{ App ECS}}}{Q_{\text{ PAC Solaire}} + Q_{\text{ App Bassin}} + Q_{\text{ App ECS}}}$$

3.6.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{\text{ PAC Solaire}}}{W_{\text{ PAC Solaire}}}$$



3.6.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

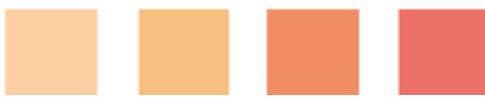
$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{AppBassin} + Q_{AppECS}}$$

3.6.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 20 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution PISCINE1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Réchauffage bassin : Précision sur le réglage des points de consigne PAC et appoint (et sur les régulateurs) afin de limiter les consommations d'appoint : une erreur de 1°C entraîne de grandes consommations d'énergie. La sonde de température de pilotage devra être commune à la PAC et à l'appoint.
Fonctionnement à très basse température pour une large partie des besoins	Pilotage des usages de la PAC (Vannes V1) à maîtriser correctement pour une efficacité optimale

Tableau 20. Points forts et points de vigilance de la solution PISCINE3



3.7 CHAUFFAGE1 : PAC double service en relève de chaudière AVEC modules thermiques d'appartement

3.7.1 Schéma type des installations

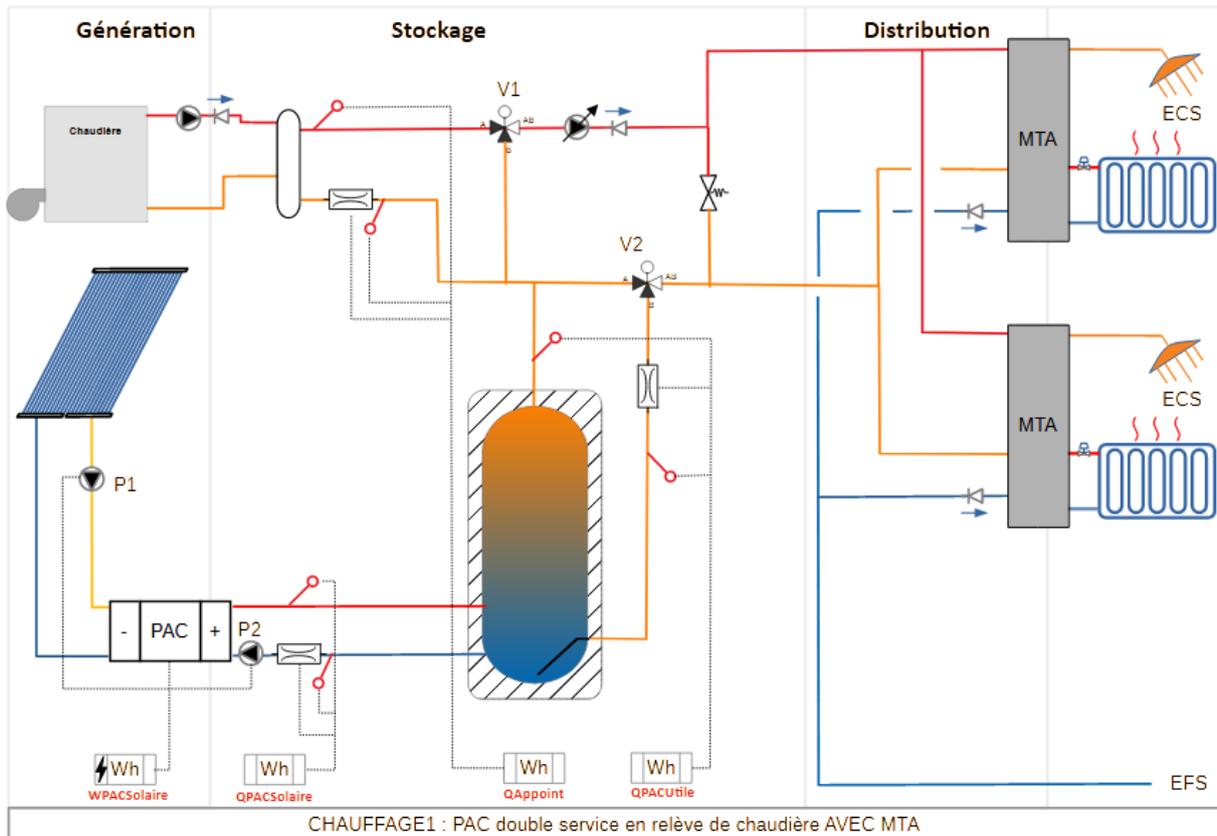


Figure 19. Schéma de la solution CHAUFFAGE1

3.7.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux installations de chauffage et de production d'ECS :

- où la production d'ECS et la distribution de chauffage au niveau de chaque logement est assuré par un Module Thermique d'Appartement,
- lorsque le dimensionnement de la PAC ne permet pas d'assurer l'ensemble des besoins de chaleur et qu'un appoint, dimensionné sur la puissance de base, assure le complément, notamment lorsque les températures extérieures sont basses.

Ce schéma sera généralement mis en œuvre dans les régions climatiques « Continental », où la température extérieure de base est faible, ou lorsque les conditions d'installation (notamment les surfaces disponibles pour installer les capteurs non vitrés ou PVT) ne sont pas favorables.

Le dimensionnement des MTA et des émetteurs de chaleur devra permettre d'assurer une température maximale de la boucle de distribution de 60 à 65°C.

3.7.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.



3.7.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Pour le fonctionnement du compresseur de la PAC, et en fonction de la nature du générateur d'appoint, plusieurs logiques de fonctionnement peuvent être envisagées :
 - le fonctionnement du compresseur peut être quasiment permanent pour assurer une part de préchauffage la plus importante possible. Dans ce cas, la température du ballon de stockage sera une résultante de ce fonctionnement.
 - Le compresseur est mis en service pour atteindre une température de consigne relativement faible pour assurer des COP les plus élevés possible. Ce fonctionnement sera notamment mis en œuvre lorsque le système d'appoint est « vertueux » (typiquement biomasse)
 - les conditions de température sur la boucle solaire sont suffisantes pour assurer le fonctionnement de la PAC avec un COP suffisant (typiquement supérieur à 2.5 ou 3).

3.7.3.2 Vanne modulante V1

La vanne modulante V1 permet de moduler la température de départ en fonction

- des conditions climatiques (notamment température extérieure), prenant en compte le dimensionnement et la nature des émetteurs de chaleur,
- de la température nécessaire à la production d'ECS, et du dimensionnement des échangeurs intégrés aux MTA pour la production d'eau chaude sanitaire

Selon [21], cette température sera idéalement limitée à 60°C.

3.7.3.3 Vanne modulante V2

Lorsque la température du réseau de distribution est inférieure à la température du ballon tampon, la vanne V2 est orientée de position AB►B pour assurer le préchauffage de la boucle de distribution.

La vanne V2 est également contrôlée de façon à ce que la température sur la voie B de la vanne V1 ne soit pas supérieure à la température de consigne au départ de la boucle de distribution.

3.7.4 Dimensionnement des composants spécifiques

Pour les installations de préchauffage, le dimensionnement est généralement limité par les surfaces disponibles pour la mise en œuvre des capteurs et/ou par une limitation de la capacité d'investissement.

3.7.4.1 La pompe à chaleur

Pour ce schéma, il n'y a pas de critère spécifique pour le dimensionnement de la PAC. Sa puissance sera définie en fonction de la surface de capteurs solaires mise en œuvre (cf ci-dessous), ou en fonction de la capacité d'investissement.

Cependant, cette puissance devra être suffisante pour assurer un taux d'économie d'énergie FSAV supérieur à 30%.

3.7.4.2 Le ballon de stockage

Le volume du ballon tampon sera dimensionné pour :

- Empêcher les courts-cycles de la PAC (à minima 20 minutes de fonctionnement en l'absence de puisage de chaleur).



- Idéalement, pour absorber les pointes de puisage ECS et/ou assurer la production d'ECS et compenser les pertes de distribution en période estivale.

Le volume du ballon tampon devra être validé par des simulations thermiques dynamiques.

3.7.4.3 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.7.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 19.

	Désignation	Unité
Q_{PAC}Solaire	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
Q_{Appoint}	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le réseau de distribution	kWh
Q_{PAC}Utile	Energie thermique utile de la PAC envoyée vers le réseau de distribution	kWh
W_{PAC}Solaire	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 21. Désignation des grandeurs énergétiques

Le Tableau 22 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
Q_{PAC}Solaire		Requis	
Q_{Appoint}	Requis		Requis
Q_{PAC}Utile	Requis		Requis
Q_{Bouclage}			
W_{PAC}Solaire	Requis	Requis	

Tableau 22. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.7.6 Calcul des indicateurs

3.7.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PAC\text{Solaire}} + Q_{Appoint}}{Q_{PAC\text{Utile}} + Q_{Appoint}}$$

3.7.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PAC\text{Solaire}}}{W_{PAC\text{Solaire}}}$$

3.7.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PAC\text{Utile}}}{Q_{PAC\text{Utile}} + Q_{Appoint}}$$

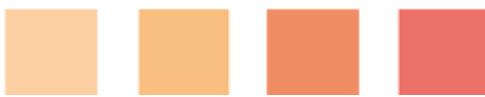


3.7.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 23 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution CHAUFFAGE1.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Dimensionnement pour atteindre un FSAV supérieur à 30%
	Sélection des MTA (et des émetteurs de chaleur) pour assurer le niveau de température de la boucle de distribution le plus bas possible
	Fonctionnement de la boucle de distribution à une température relativement élevée au regard des performances des PAC

Tableau 23. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE1



3.8 CHAUFFAGE2 : PAC double service en relèvement de chaudière SANS modules thermiques d'appartement

3.8.1 Schéma type des installations

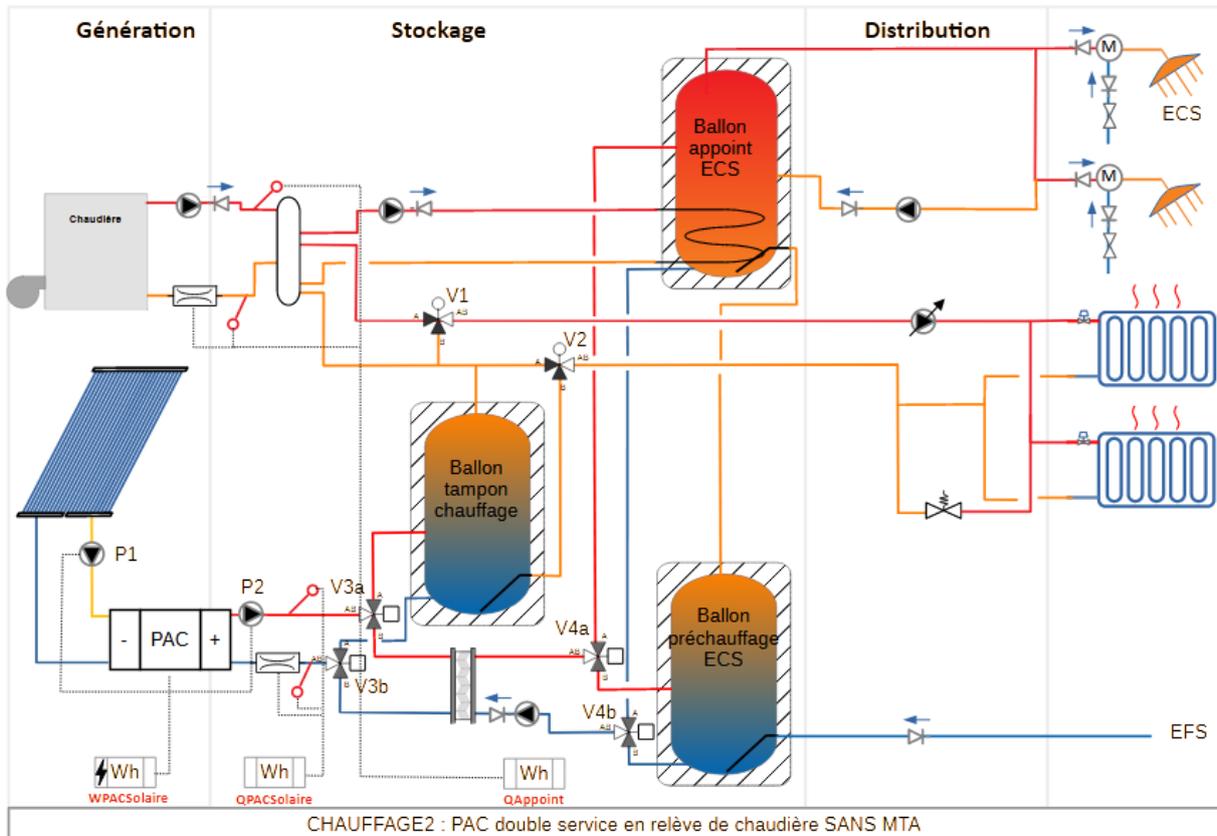


Figure 20. Schéma de la solution CHAUFFAGE2

3.8.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux installations de chauffage et de production d'ECS :

- lorsque la production d'ECS et la distribution de chauffage sont assurées par deux boucles hydrauliques distinctes,
- lorsque le dimensionnement de la PAC ne permet pas d'assurer l'ensemble des besoins de chaleur et qu'un appoint, dimensionné sur la puissance de base, assure le complément, notamment lorsque les températures extérieures sont basses.

Ce schéma sera généralement mis en œuvre dans les régions climatiques « Continental », où la température extérieure de base est faible, ou lorsque les conditions d'installation (notamment les surfaces disponibles pour installer les capteurs non vitrés ou PVT) ne sont pas favorables.

Le dimensionnement des émetteurs de chaleur et de la boucle de distribution chauffage associée devra permettre d'assurer une température maximale de départ de 60 à 65°C à la température extérieure de base.

Il est à noter que selon le dimensionnement de la PAC et des capteurs solaires, il pourra être préférable de s'orienter vers les solutions [ECS1](#) ou [ECS2](#).



3.8.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.

3.8.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Le compresseur de la PAC est mis en service lorsque :
 - la température du ballon de préchauffage ECS n'atteint pas la température de consigne fixée (typiquement 55 à 60°C)
 - la température du ballon d'appoint ECS n'atteint pas la température de consigne fixée (typiquement 55 à 60°C)
 - la température du ballon tampon chauffage n'atteint pas la température de consigne fixée pour la boucle de distribution chauffage (uniquement en période de chauffage : en dehors de la période de chauffage, le réchauffage du ballon tampon chauffage doit être interdit).

La priorité sera donnée à la production à plus basse température possible afin d'optimiser le COP de la PAC.

3.8.3.2 Vannes directionnelles V3 et V4

Les vannes directionnelles V3 et V4 permettront de diriger le fluide provenant du condenseur de la PAC vers le ballon de stockage dont la température sera la plus basse. Généralement, il s'agira du ballon de préchauffage ECS, puis du ballon tampon chauffage et enfin du ballon d'appoint ECS.

En période estivale, les vannes V4 permettront que la PAC Solaire assure à la fois le réchauffage intégral de la production d'eau chaude sanitaire, mais également le réchauffage du bouclage sanitaire.

3.8.3.3 Vanne modulante V1

La vanne modulante V1 permet de moduler la température de départ en fonction des conditions climatiques (notamment température extérieure), prenant en compte le dimensionnement et la nature des émetteurs de chaleur.

3.8.3.4 Vanne modulante V2

Lorsque la température du réseau de distribution est inférieure à la température du ballon tampon, la vanne V2 est orientée de position AB ➤ B pour assurer le préchauffage de la boucle de distribution.

La vanne V2 est également contrôlée de façon à ce que la température sur la voie B de la vanne V1 ne soit pas supérieure à la température de consigne au départ de la boucle de distribution.

3.8.4 Dimensionnement des composants spécifiques

Pour les installations de préchauffage, le dimensionnement est généralement limité par les surfaces disponibles pour la mise en œuvre des capteurs et/ou par une limitation de la capacité d'investissement.

3.8.4.1 La pompe à chaleur

Pour ce schéma, il n'y a pas de critère spécifique pour le dimensionnement de la PAC. Sa puissance sera définie en fonction de la surface de capteurs solaires mise en œuvre (cf ci-dessous), ou en fonction de la capacité d'investissement.



Cependant, cette puissance devra être suffisante pour assurer un taux d'économie d'énergie FSAV supérieur à 30%.

3.8.4.2 Le ballon tampon chauffage

Le volume du ballon tampon sera dimensionnée de façon à empêcher les courts-cycles de la PAC (à minima 20 minutes de fonctionnement en l'absence de puisage de chaleur).

3.8.4.3 Le ballon de préchauffage ECS

Le volume du ballon de stockage sera adaptée en fonction de la puissance de la PAC et du fonctionnement du système en semi-accumulation. Au maximum, il sera de l'ordre de grandeur de la consommation d'ECS journalière permettant un fonctionnement au plus bas niveau de température possible. Mais des volumes de stockage significativement plus petits (limités à l'énergie susceptible d'être fourni par la PAC pour un fonctionnement 24h/24) pourront être favorables en limitant les pertes thermiques de stockage.

3.8.4.4 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.8.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 20.

Désignation		Unité
Q_{PAC}Solaire	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
Q_{Appoint}	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le réseau de distribution	kWh
W_{PAC}Solaire	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 24. Désignation des grandeurs énergétiques

Le Tableau 25 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
Q_{PAC}Solaire	Requis	Requis	Requis
Q_{Appoint}	Requis		Requis
W_{PAC}Solaire	Requis	Requis	

Tableau 25. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.8.6 Calcul des indicateurs

3.8.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

Pour cette configuration, il existe plusieurs difficultés pour évaluer FSAV compte-tenu du plan de comptage proposé :

- Dans la solution de référence, les pertes thermiques du ballon appoint ECS seraient intégralement compensées par la chaudière, alors que dans cette solution, une partie de ces déperditions est compensée par la PAC Solaire
- Dans la solution de référence, les ballons tampon chauffage et de préchauffage ECS n'existent pas.



En conséquence, l'estimation proposée ci-après est biaisée. En toute rigueur, il conviendrait d'évaluer les pertes thermiques des différents ballons de stockage.

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.8.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.8.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACUtile} + Q_{Appoint}}$$

3.8.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 26 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution CHAUFFAGE2.

Points forts	Points de vigilance
Prend en compte l'ensemble des besoins thermiques du bâtiment	Dimensionnement pour atteindre un FSAV supérieur à 30%
Fonctionne à basse température pour le préchauffage de l'ECS	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour assurer le niveau de température de la boucle de chauffage le plus bas possible
Fonctionne à basse température pour le chauffage en période de mi-saison	Schéma relativement complexe
	Plan de comptage simplifié mais n'offrant pas une estimation satisfaisante de FSAV

Tableau 26. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE2



3.9 CHAUFFAGE3 : PAC double service AVEC modules thermiques d'appartement

3.9.1 Schéma type des installations

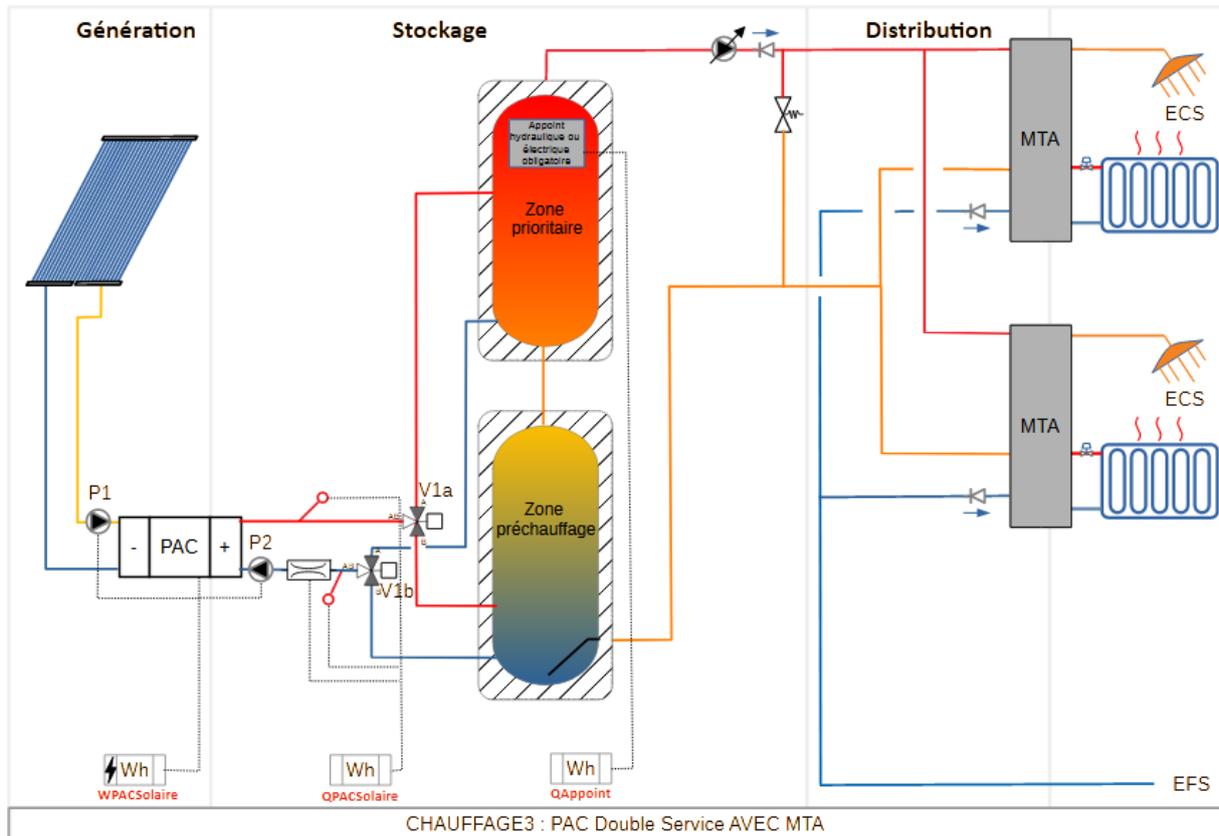


Figure 21. Schéma de la solution CHAUFFAGE3

3.9.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux installations de chauffage et de production d'ECS :

- où la production d'ECS et la distribution de chauffage au niveau de chaque logement est assuré par un Module Thermique d'Appartement,
- lorsque le dimensionnement de la PAC assure l'ensemble des besoins de chaleur
- lorsque l'appoint n'est sollicité que de manière très ponctuelle (pour moins de 10% de la fourniture énergétique).

Ce schéma sera généralement mis en œuvre dans les régions climatiques « Océanique » ou « Méditerranéenne », où la température extérieure de base est supérieure à -5°C , et où le risque de neige n'existe pas.

Le dimensionnement des MTA et des émetteurs de chaleur devra permettre d'assurer une température maximale de la boucle de distribution de 60°C . Outre le dimensionnement des émetteurs de chaleur, cela impactera la sélection des échangeurs de production ECS des MTA.

3.9.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.



3.9.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
 - Le compresseur de la PAC est mis en service lorsque la température de stockage n'atteint pas la température de consigne fixée pour le réchauffage du ballon tampon (typiquement 60 à 65°C)
- Des vannes 3 voies tout ou rien V1a et V1b permettent d'orienter le fluide à la sortie du condenseur de la PAC vers le ballon supérieur (Zone prioritaire) ou inférieur (Zone de préchauffage).
 - Les vannes V1 et V2 sont positionnées sur la position AB>A lorsque la température de consigne T_{ConsPAC} du ballon supérieur (Zone prioritaire) n'est pas atteinte.
 - Ces vannes V1 et V2 basculent vers la position AB>B lorsque la température du ballon supérieur (Zone prioritaire) dépasse la température de consigne T_{ConsPAC} avec un différentiel de 2 à 3°C

3.9.4 Dimensionnement des composants spécifiques

3.9.4.1 La pompe à chaleur et les ballons de stockage

Il n'existe pas de méthode de dimensionnement spécifique adaptée à cette configuration. Le travail du concepteur devra notamment se baser sur le DTU 65.16[6], le guide COSTIC[8] et les recommandations professionnelles RAGE[7].

En complément de ce travail préalable, des modélisations détaillées devront être réalisées pour optimiser le dimensionnement de ces trois composants majeurs, à savoir la puissance de la PAC, les volumes du ballon tampon « zone prioritaire » et du ballon tampon « zone de préchauffage ».

3.9.4.2 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.9.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 21.

	Désignation	Unité
$Q_{\text{PACSolaire}}$	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
Q_{Appoint}	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le réseau de distribution	kWh
Q_{PACUtile}	Energie thermique utile de la PAC envoyée vers le réseau de distribution	kWh
$W_{\text{PACSolaire}}$	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 27. Désignation des grandeurs énergétiques



Le Tableau 28 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{PACSolaire}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{Appoint}$	Requis		Requis
$Q_{Bouclage}$			
$W_{PACSolaire}$	Requis	Requis	

Tableau 28. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.9.6 Calcul des indicateurs

3.9.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.9.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.9.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

3.9.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 29 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution CHAUFFAGE3.

Points forts	Points de vigilance
Solution simple	Dimensionnement pour atteindre un critère FPAC supérieur à 90%
	Sélection des MTA (et des émetteurs de chaleur) pour assurer le niveau de température de la boucle de distribution le plus bas possible (maximum 60°C en température de départ, et idéalement 55°C)
	Fonctionnement à un niveau de température de la boucle de distribution à une température relativement élevée au regard des performances des PAC
	En l'absence de méthode de dimensionnement courante, le dimensionnement des principaux composants devra être réalisé avec rigueur, notamment au travers de simulation thermique dynamique.

Tableau 29. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE3



3.10 CHAUFFAGE4 : PAC double service SANS modules thermiques d'appartement

3.10.1 Schéma type des installations

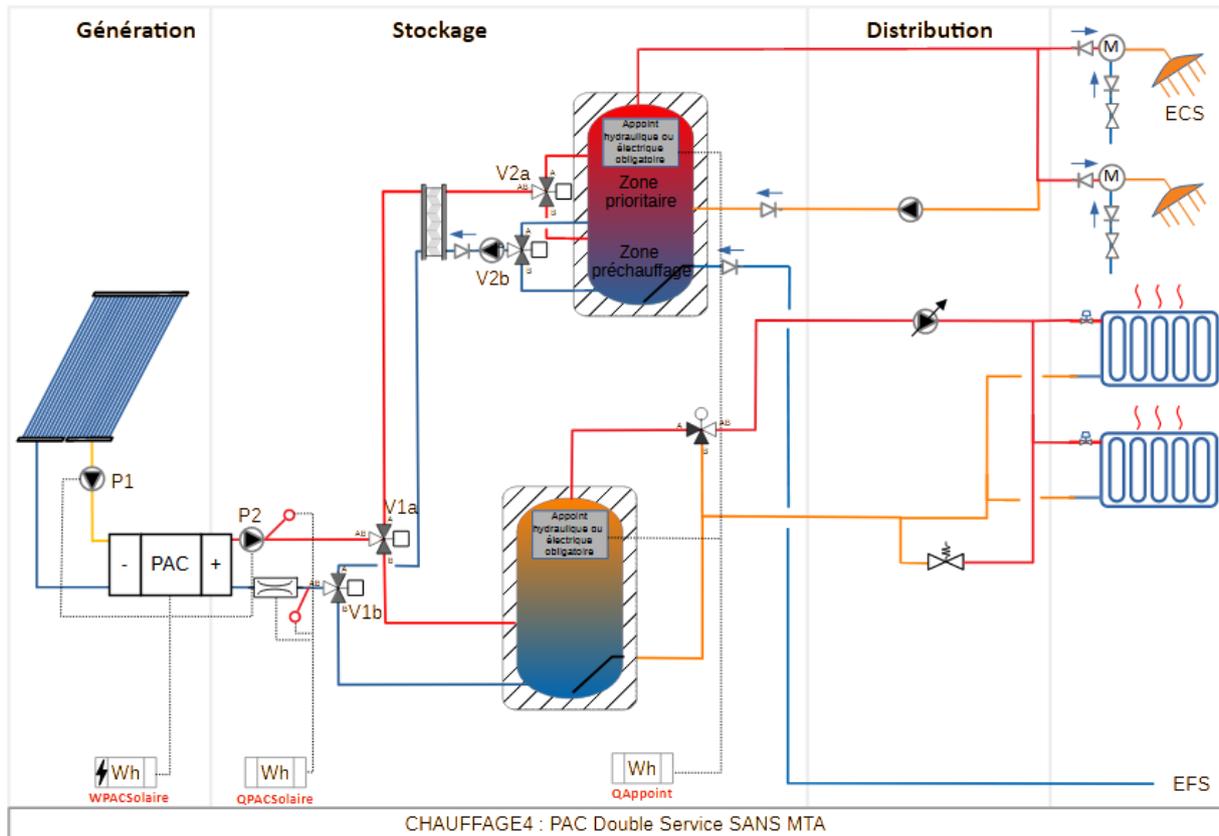


Figure 22. Schéma de la solution CHAUFFAGE4

3.10.2 Domaine d'application

Ce schéma est adapté aux installations de chauffage et de production d'ECS :

- lorsque la production d'ECS et la distribution de chauffage sont assurées par deux boucles hydrauliques distinctes,
- lorsque le dimensionnement de la PAC assure l'ensemble des besoins de chaleur
- lorsque l'appoint n'est sollicité que de manière très ponctuelle (pour moins de 10% de la fourniture énergétique).

Ce schéma sera généralement mis en œuvre dans les régions climatiques « Océanique » ou « Méditerranéenne », où la température extérieure de base est supérieure à -5°C , et où le risque de neige n'existe pas.

Le dimensionnement des émetteurs de chaleur devra permettre d'assurer une température maximale de la boucle de distribution de 60°C .

3.10.3 Mode de fonctionnement

Cette partie fournit des principes généraux de fonctionnement des installations. En fonction des développements industriels, des modes de fonctionnement plus performants peuvent être proposés.



3.10.3.1 PAC, boucle solaire et boucle condenseur

Le mode de fonctionnement de la partie PAC solaire de l'installation est le suivant :

- Le fonctionnement du circulateur de la boucle capteur P1 et du circulateur de charge du ballon de préchauffage P2 est asservi au fonctionnement du compresseur.
- Le compresseur de la PAC est mis en service lorsque :
 - la température du ballon d'eau chaude sanitaire n'atteint pas la température de consigne fixée (typiquement 55 à 60°C)
 - la température du ballon tampon chauffage n'atteint pas la température de consigne fixée pour la boucle de distribution chauffage (uniquement en période de chauffage : en dehors de la période de chauffage, le réchauffage du ballon tampon chauffage doit être interdit).

La priorité sera donnée à la production d'eau chaude sanitaire.

3.10.3.2 Vannes directionnelles V1 et V2

Les vannes directionnelles V1 permettront de diriger le fluide provenant du condenseur de la PAC vers le ballon de stockage d'ECS ou le ballon tampon chauffage. La priorité sera donnée à la production d'eau chaude sanitaire.

Lors de la production d'eau chaude sanitaire, les vannes directionnelles V2 permettront de réchauffer en priorité la « zone prioritaire » puis la « zone de préchauffage » pour disposer d'un stock d'énergie suffisant pour absorber la pointe des débits de puisage.

3.10.4 Dimensionnement des composants spécifiques

3.10.4.1 La pompe à chaleur et les ballons de stockage

Il n'existe pas de méthode de dimensionnement spécifique adaptée à cette configuration. Le travail du concepteur devra notamment se baser sur le DTU 65.16[6], le guide COSTIC[8] et les recommandations professionnelles RAGE[7].

En complément de ce travail préalable, des modélisations détaillées devront être réalisées pour optimiser le dimensionnement de ces quatre composants majeurs, à savoir la puissance de la PAC, les volumes du ballon ECS « zone prioritaire », du ballon ECS « zone de préchauffage » et du ballon tampon « Chauffage ».

3.10.4.2 Les capteurs

La surface de capteurs solaires sera de l'ordre de :

- Pour des capteurs non vitrés : 4 à 6 m²/kW_{PAC} (1 seule nappe de capteurs non vitrés, cf Tableau 1 dans le cas de plusieurs nappes superposées)
- Pour des capteurs PVT : 3 à 6 m²/kW_{PAC}

3.10.5 Comptage énergétique

Les compteurs d'énergie sont représentés sur la Figure 22.

	Désignation	Unité
Q_{PACsolaire}	Energie thermique fournie par le condenseur de la PAC et envoyée vers le ballon de préchauffage	kWh
Q_{Appoint}	Energie thermique fournie par le générateur d'appoint et envoyée vers le réseau de distribution	kWh
W_{PACsolaire}	Consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires	kWh

Tableau 30. Désignation des grandeurs énergétiques



Le Tableau 31 synthétise les points de comptage et leur utilisation pour l'évaluation des indicateurs.

	FSAV	\overline{COP}	FPAC
$Q_{PACSolaire}$	Requis	Requis	Requis
$Q_{Appoint}$	Requis		Requis
$W_{PACSolaire}$	Requis	Requis	

Tableau 31. Liste des points de comptage et utilisation pour l'évaluation des indicateurs

3.10.6 Calcul des indicateurs

3.10.6.1 Taux d'économie d'énergie FSAV

- En énergie utile :

$$FSAV_{UTILE} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}{Q_{PACSolaire} + Q_{Appoint}}$$

- En énergie « commerciale » :

$$FSAV_{COM} = 1 - \frac{W_{PACSolaire} + \frac{Q_{Appoint}}{\eta_{GEN}}}{\frac{Q_{PACSolaire}}{\eta_{GEN}} + \frac{Q_{Appoint}}{\eta_{GEN}}}$$

Avec η_{GEN} correspondant au rendement moyen de génération du système d'appoint.

3.10.6.2 COP moyen annuel

$$\overline{COP} = \frac{Q_{PACSolaire}}{W_{PACSolaire}}$$

3.10.6.3 Part de la production thermique assurée par la PAC Solaire FPAC

$$FPAC = \frac{Q_{PACSolaire}}{Q_{PACUtile} + Q_{Appoint}}$$

3.10.7 Points forts, points de vigilance, spécificités

Le Tableau 32 synthétise les points forts et les points de vigilance de la solution CHAUFFAGE4.

Points forts	Points de vigilance
Prend en compte l'ensemble des besoins thermiques du bâtiment	Dimensionnement pour atteindre un critère FPAC supérieur à 90%
Fonctionne à basse température pour le préchauffage de l'ECS	Dimensionnement des émetteurs de chaleur pour assurer le niveau de température de la boucle de chauffage le plus bas possible
Fonctionne à basse température pour le chauffage en période de mi-saison	En l'absence de méthode de dimensionnement courante, le dimensionnement des principaux composants devra être réalisé avec rigueur, notamment au travers de simulation thermique dynamique.

Tableau 32. Points forts et points de vigilance de la solution CHAUFFAGE4



Bibliographie

- [1] AFNOR, « NF EN ISO 9806 : 2017 - Énergie solaire - Capteurs thermiques solaires - Méthodes d'essai », ISO, Norme, janv. 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-9806/energie-solaire-capteurs-thermiques-solaires-methodes-dessai/fa186052/80321>
- [2] AFNOR, « NF EN 14511-1 Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur pour le chauffage et le refroidissement des locaux et refroidisseurs industriels avec compresseur entraîné par moteur électrique - Partie 1 : Termes et définitions ». octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-145111/climatiseurs-groupes-refroidisseurs-de-liquide-et-pompes-a-chaleur-pour-le-/fa198326/336070>
- [3] AFNOR, « NF EN 14511-2 Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur pour le chauffage et le refroidissement des locaux et refroidisseurs industriels avec compresseur entraîné par moteur électrique - Partie 2 : Conditions d'essai ». septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-145112/climatiseurs-groupes-refroidisseurs-de-liquide-et-pompes-a-chaleur-pour-le-/fa198327/336081>
- [4] AFNOR, « NF EN 14511-3 Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur pour le chauffage et le refroidissement des locaux et refroidisseurs industriels avec compresseur entraîné par moteur électrique - Partie 3 : Méthodes d'essai ». septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-145113/climatiseurs-groupes-refroidisseurs-de-liquide-et-pompes-a-chaleur-pour-le-/fa198328/336068>
- [5] AFNOR, « NF EN 14511-4 Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur pour le chauffage et le refroidissement des locaux et refroidisseurs industriels avec compresseur entraîné par moteur électrique - Partie 4 : Exigences ». septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-145114/climatiseurs-groupes-refroidisseurs-de-liquide-et-pompes-a-chaleur-pour-le-/fa198329/336079>
- [6] AFNOR, « DTU 65.16 - Travaux de bâtiment - Installations de pompes à chaleur - Partie 1-1 : cahier des clauses techniques types - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux - Partie 2 : cahier des clauses administratives spéciales types ». AFNOR, juin 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-dtu-6516/dtu-6516-travaux-de-batiment-installations-de-pompes-a-chaleur-partie-11-ca/fa192685/79890>
- [7] Programme PACTE, « Pompes à chaleur en habitat collectif et tertiaire - Conception et dimensionnement », sept. 2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.programmepacte.fr/sites/default/files/pdf/recommandation-pro-rage-pac-habitat-collectif-et-tertiaire-01conception-neuf-2015-09.pdf>
- [8] COSTIC, « Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif », juin 2019. [En ligne]. Disponible sur: https://librairie.ademe.fr/cadic/774/guide-dimensionnement-ecs-habitat_010888.pdf
- [9] Programme PACTE, « Compteurs et Capteurs - Bonnes pratiques pour choisir et installer les points de mesure », juill. 2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.programmepacte.fr/sites/default/files/pdf/guide-rage-compteurs-capteurs-points-de-mesure-2015-07.pdf>
- [10] S. A. Klein et al, « TRNSYS 18 : A Transient System Simulation Program ». University of Wisconsin, Madison, USA. [En ligne]. Disponible sur: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>
- [11] Arrêté du 26 juin 2015 abrogeant et remplaçant l'arrêté du 5 octobre 2012 relatif à l'agrément de la demande de titre V relative à la prise en compte du système « Solar Pump® » dans la réglementation thermique 2012. [En ligne]. Disponible sur: https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0028698/met_20150013_0000_0010.pdf



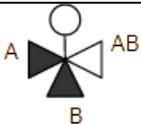
- [12] Arrêté du 28 août 2017 relatif à l'agrément des modalités de prise en compte des systèmes Heliopacsystem®, Heliopacsystem+® et Geopacsystem® dans la réglementation thermique 2012. [En ligne]. Disponible sur: https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0029909/met_20170014_0000_0009.pdf
- [13] Titre V Th-BCE 2020 – Annexe à la méthode de calcul détaillée – C_GEN_THERMODYNAMIQUE_HELIOPAC. [En ligne]. Disponible sur: https://rt-rebatiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2022_12_18_transfert_tv_re2020_ajouts_methode_th_bce_vsite.pdf
- [14] COSTIC et ADEME, « Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif », ADEME. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/2360-besoins-d-eau-chaude-sanitaire-en-habitat-individuel-et-collectif-les.html>
- [15] COSTIC, ADEME, et CEGIBAT, « Vers une meilleure connaissance des besoins en eau chaude sanitaire en tertiaire », sept. 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/3878-vers-une-meilleure-connaissance-des-besoins-en-eau-chaude-sanitaire-en-tertiaire.html>
- [16] Direction Générale de la santé, *Circulaire DGS/SD7A/SD5C-DHOS/E4 no 2002-243 du 22 avril 2002 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé*. [En ligne]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2002/02-18/a0181819.htm>
- [17] Direction Générale de la santé, *Circulaire DGS/SD7A/DHOS/E4/DGAS/SD2 no 2005-493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'hébergement pour personnes âgées*. [En ligne]. Disponible sur: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/IES_externe-synthese-2partie.pdf
- [18] TECSOL, COSTIC, CSTB, et EDF, « Projet Legiosol : Intégration du solaire thermique dans le secteur médico-social : analyses et préconisations », Rapport final, 2019.
- [19] SOCOL et ENERPLAN, « Guide SOCOL sur les installations en eau technique ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/ET/221220_Livret_SOCOL_Eau_Technique_VF.pdf
- [20] SOCOL et ENERPLAN, « Guide SOCOL sur la production de chaleur solaire pour les piscines collectives ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.solaire-collectif.fr/ftp/pgiArticle/PCSPC/210302_Livret_SOCOL_Piscine_VFF.docx
- [21] COSTIC, « Guide technique pour la mise en œuvre des modules thermiques d'appartement », Guide, 2016. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.costic.com/actualites/guide-technique-pour-la-mise-en-oeuvre-des-modules-thermiques-dappartements>

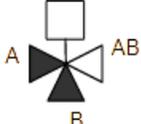


Annexe 1 : Schémathèque



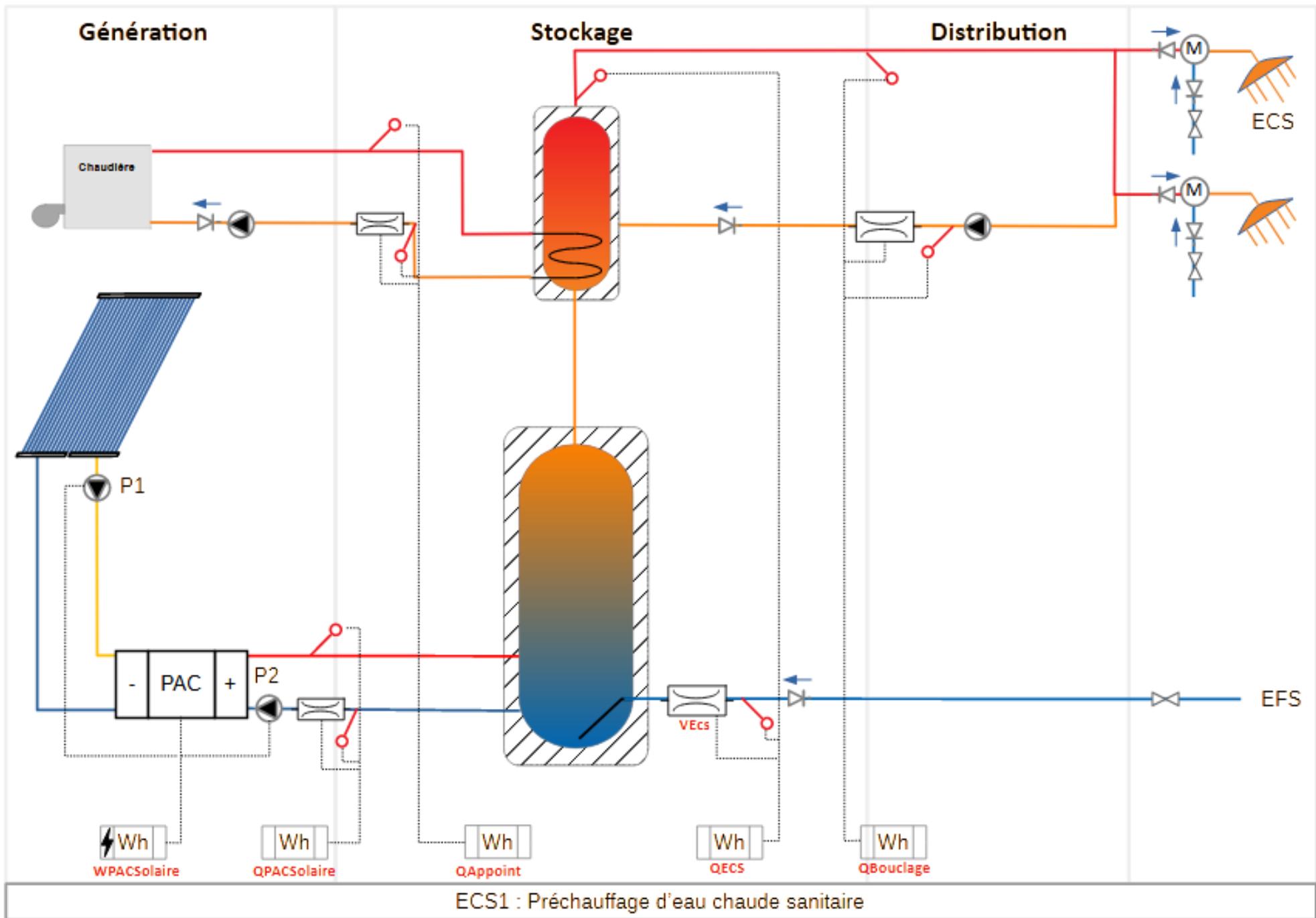
Légendes des symboles utilisés dans les schémas

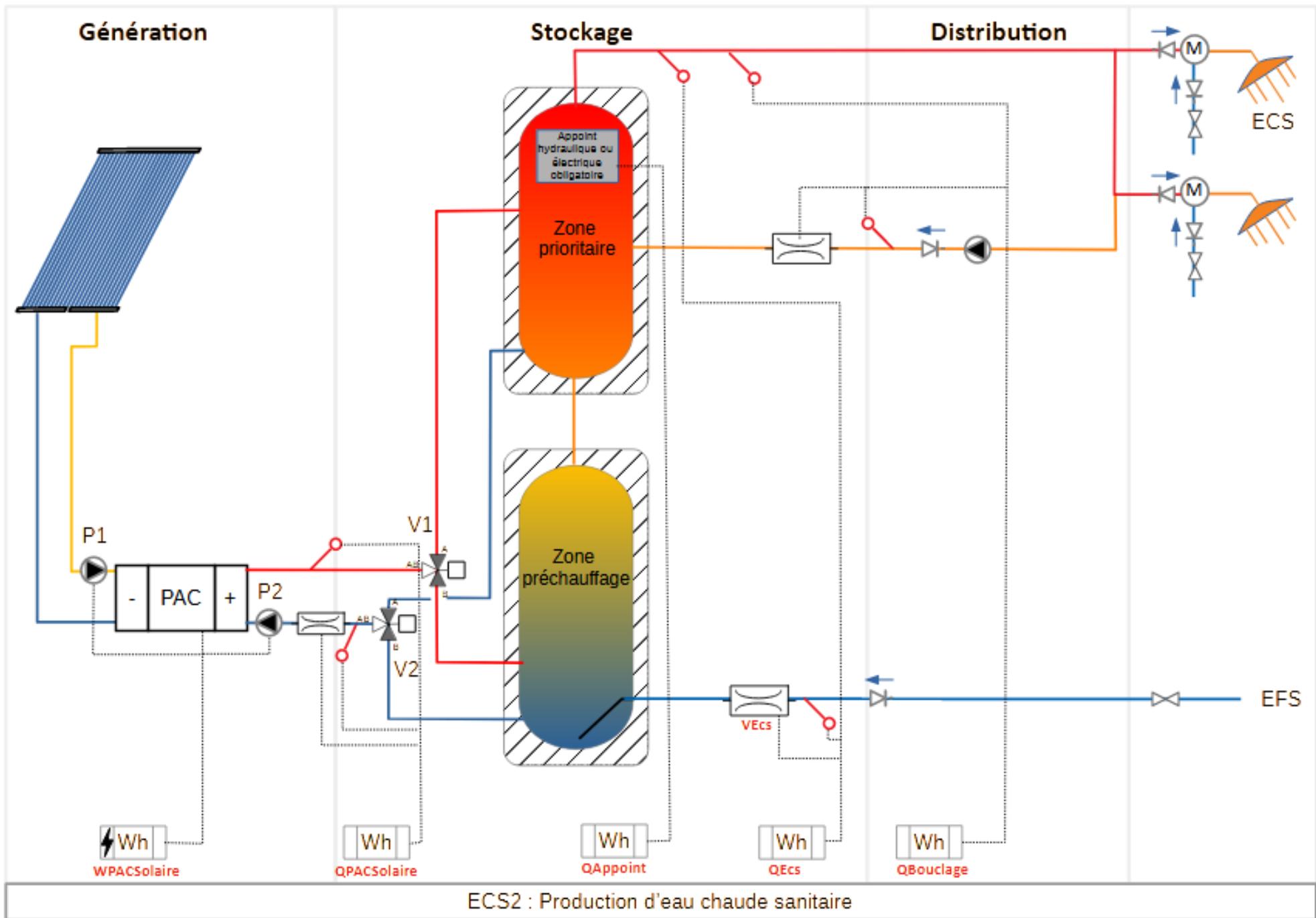
	Circulateur
	Circulateur à vitesse variable et à pression constante
	Clapet anti-retour
	Mitigeur thermostatique
	Vanne de régulation de pression différentielle
	Vanne 3 voies de régulation

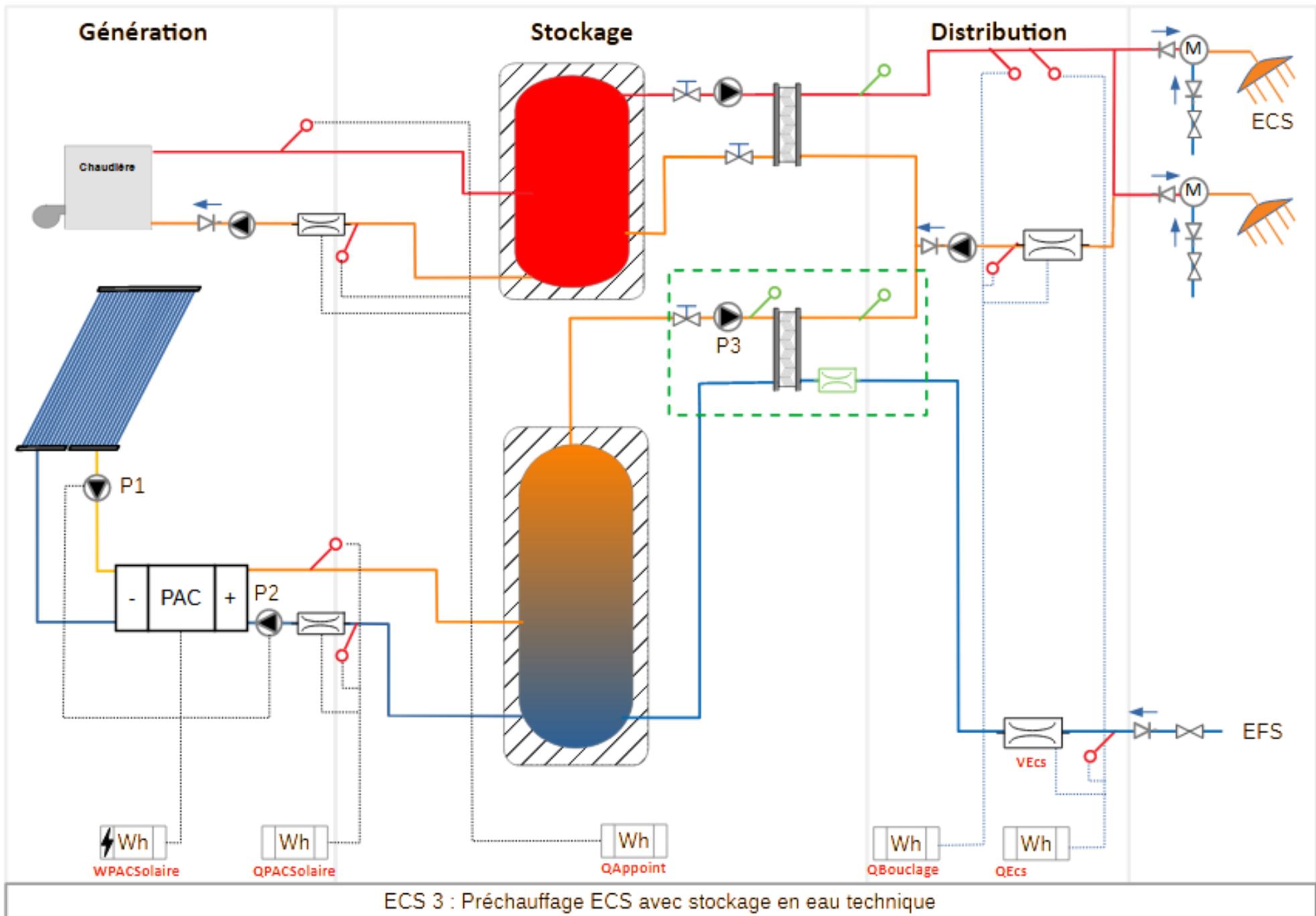
	Vanne 3 voies directionnelle
	Mesureur de débit pour le comptage énergétique
	Sonde de température (utilisée pour le comptage énergétique)
	Sonde de température (utilisée pour la régulation du système)
	Intégrateur énergétique

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

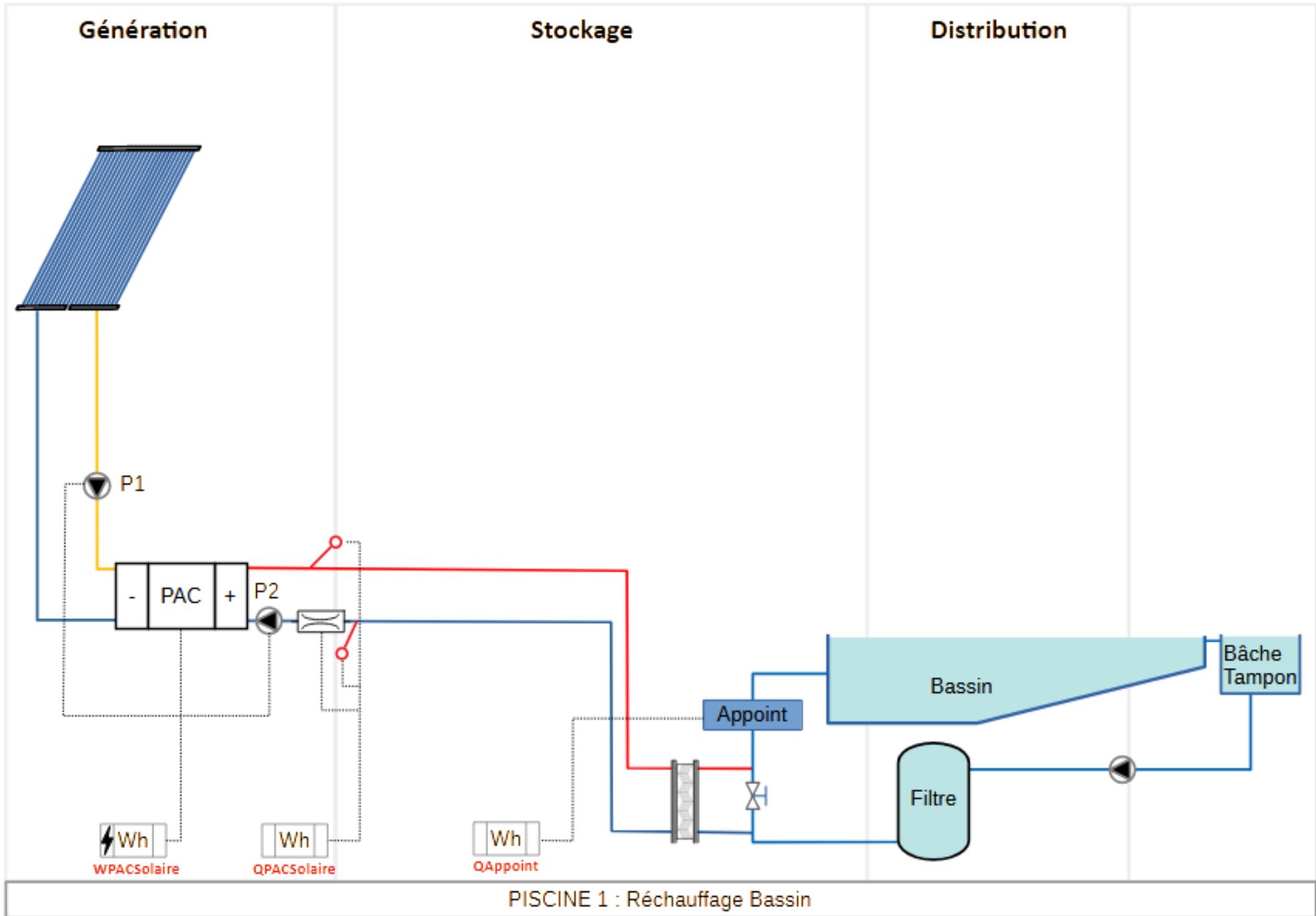


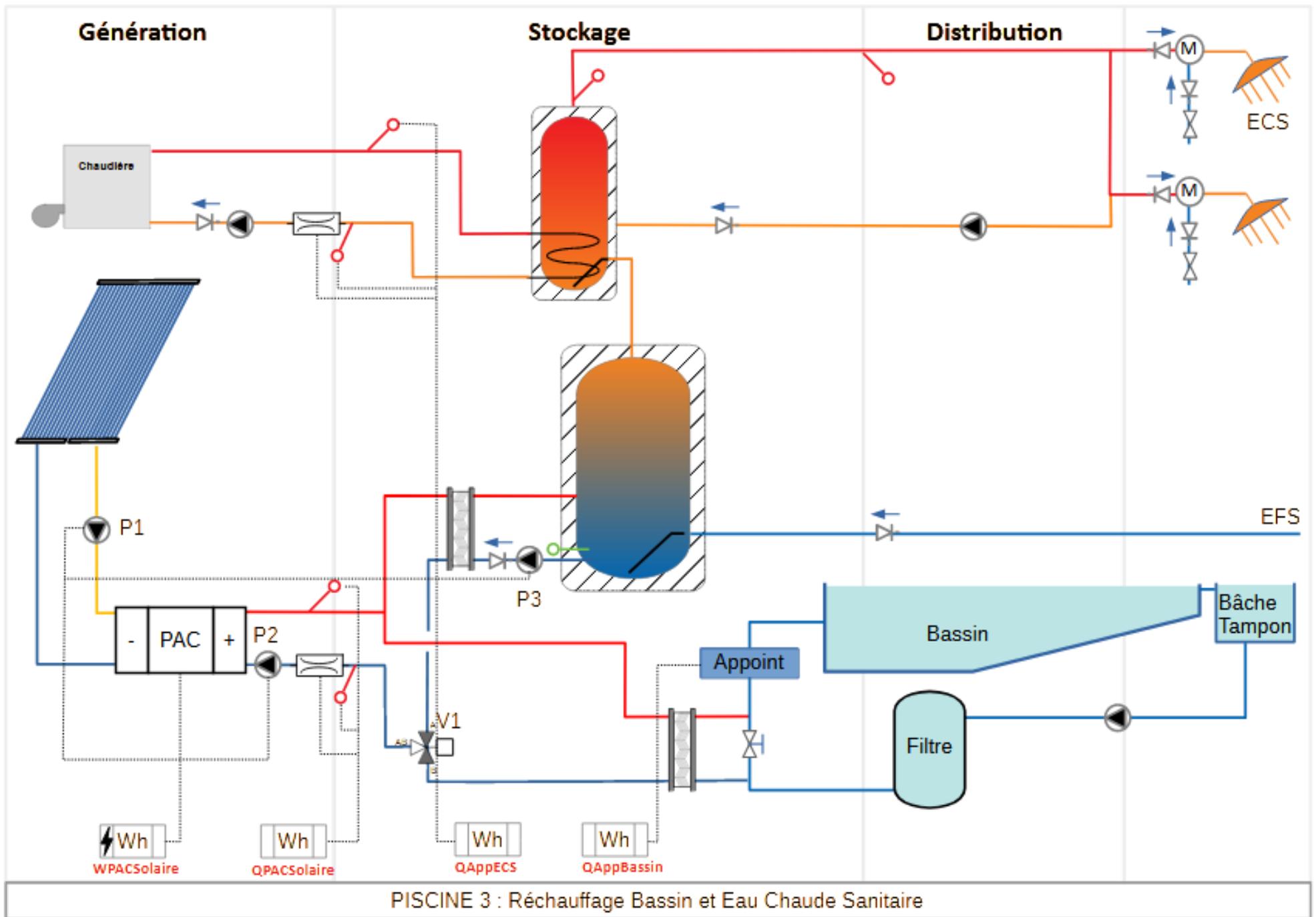




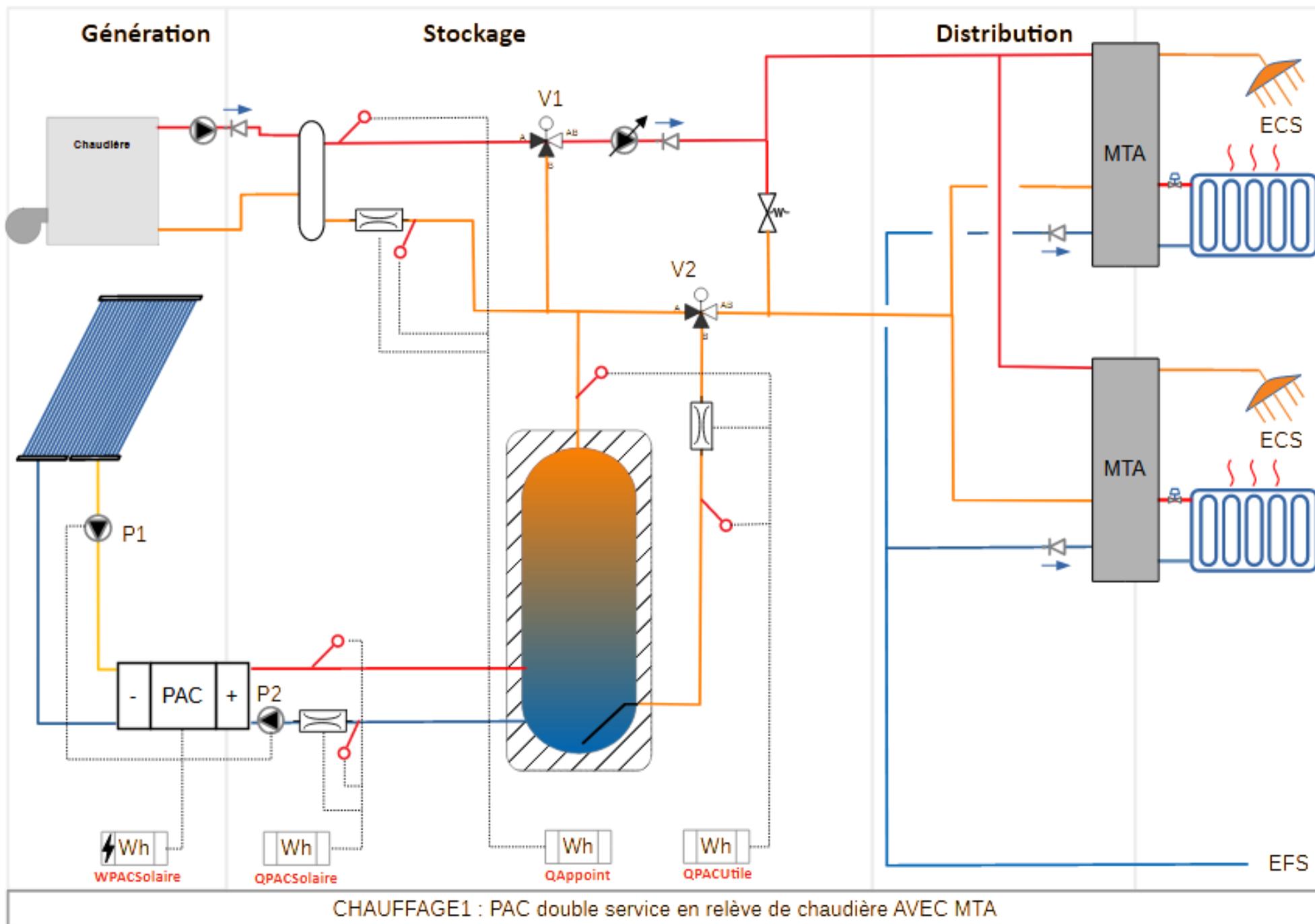


ECS 3 : Préchauffage ECS avec stockage en eau technique

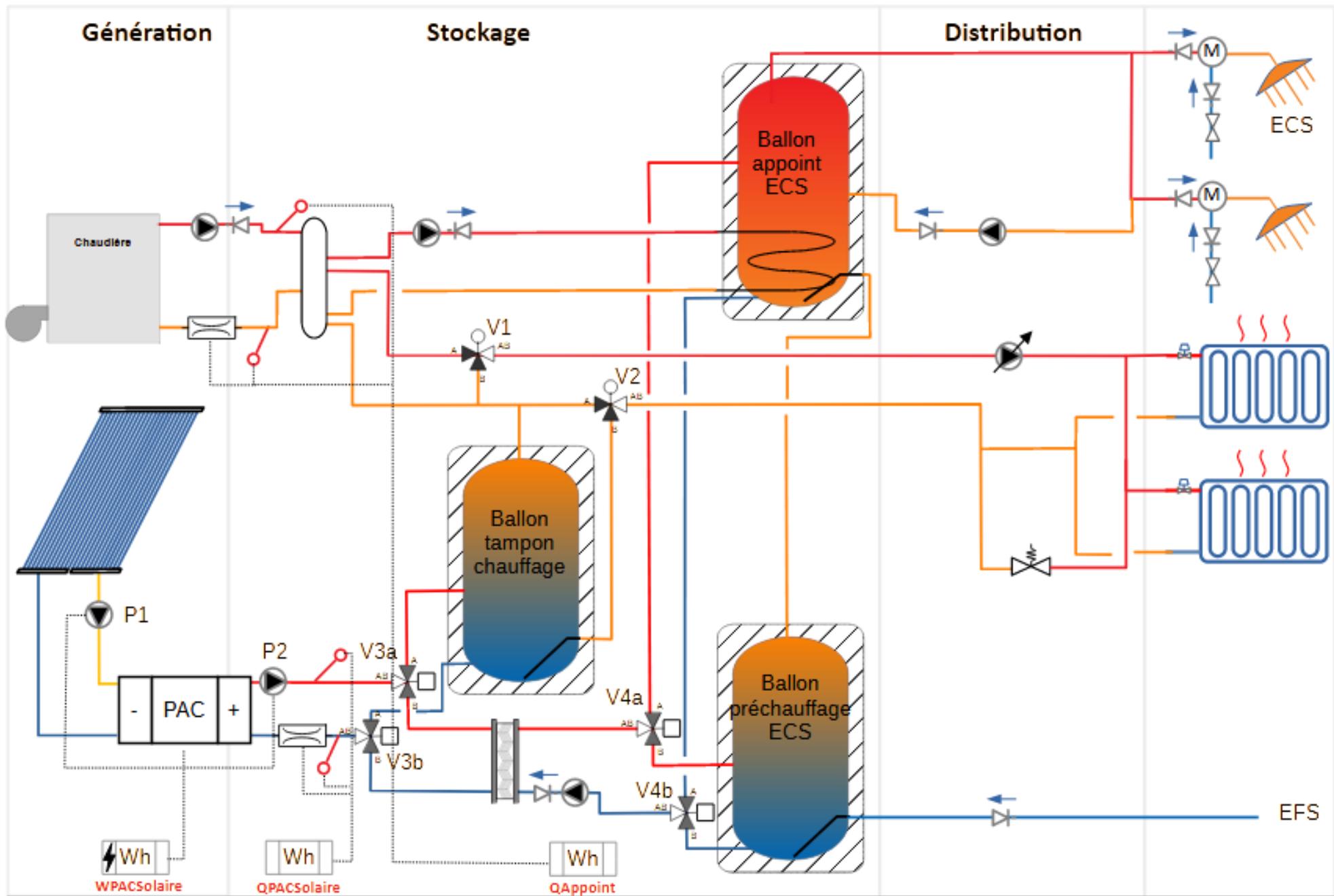




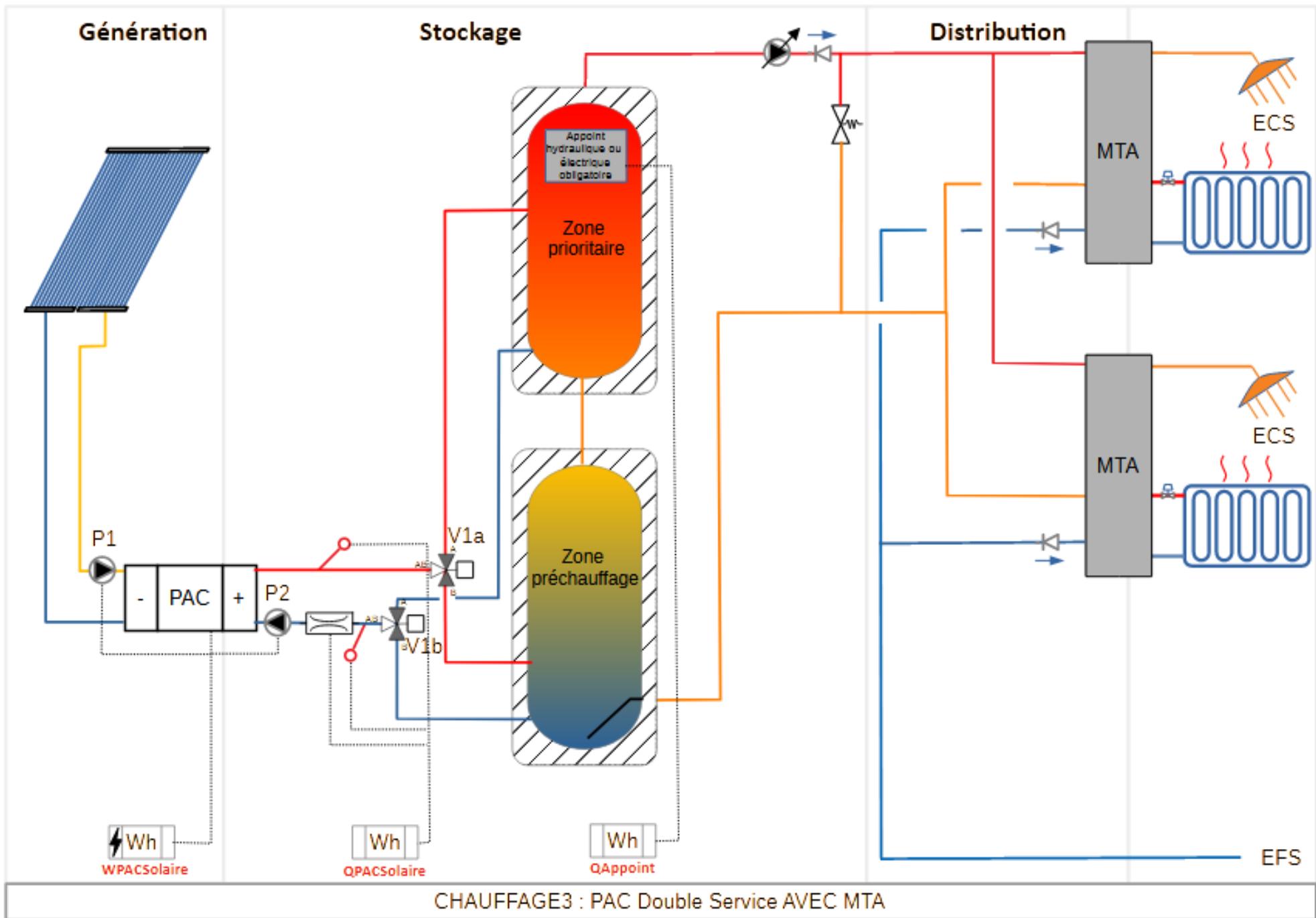
PISCINE 3 : Réchauffage Bassin et Eau Chaude Sanitaire

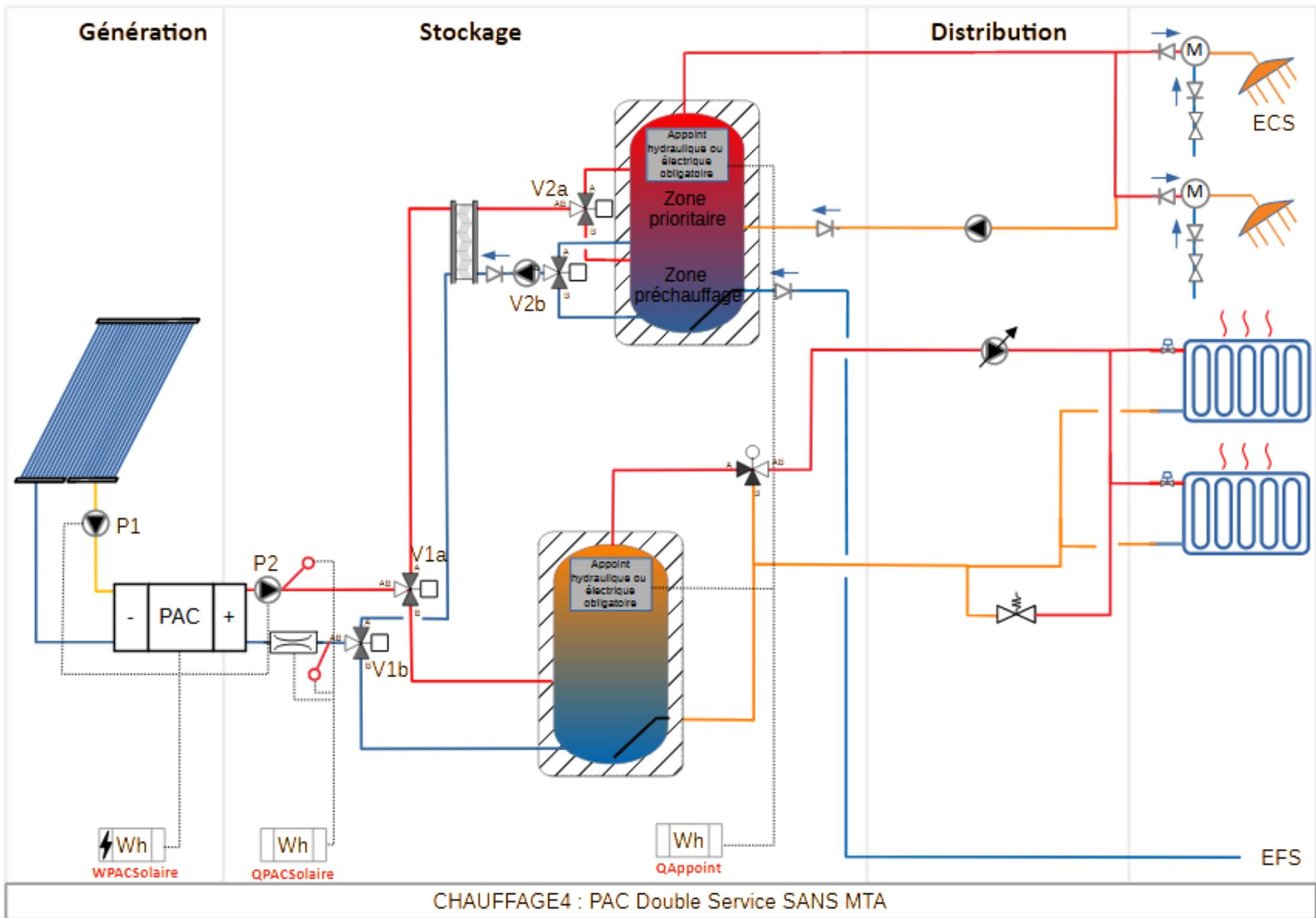


CHAUFFAGE1 : PAC double service en relèvement de chaudière AVEC MTA



CHAUFFAGE2 : PAC double service en relèvement de chaudière SANS MTA





CHAUFFAGE4 : PAC Double Service SANS MTA