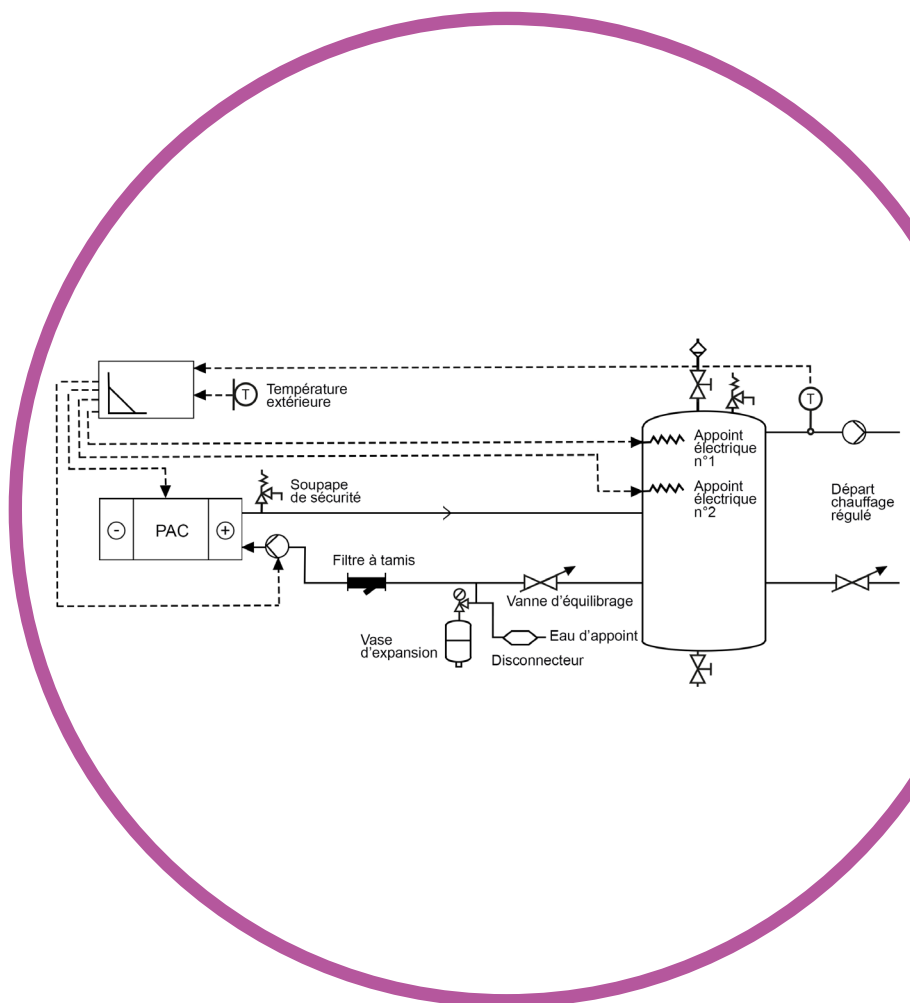


JANVIER 2026



AVANT-PROPOS

Avec le programme PROFEEL, la filière Bâtiment s'est rassemblée pour répondre collectivement aux défis de la rénovation énergétique. 16 organisations professionnelles ont été à l'initiative de cette démarche et continuent aujourd'hui à la porter activement.

PROFEEL se compose concrètement de 8 projets, positionnés sur trois grands enjeux : favoriser le déclenchement des travaux de rénovation, garantir la qualité des travaux réalisés et consolider la relation de confiance entre les professionnels. Ces projets s'appuient sur l'innovation, qu'elle soit technique ou numérique, afin de mieux outiller les professionnels du bâtiment, d'améliorer les pratiques sur le marché de la rénovation énergétique et de garantir la qualité des travaux réalisés. Ces outils permettront d'accompagner les acteurs durant toutes les étapes d'un projet de rénovation : en amont, pendant et après les travaux.

Dans le cadre du projet RENO'BOX, un des 8 projets PROFEEL, 17 nouveaux outils pratiques sont développés pour accompagner les professionnels dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance de solutions techniques, clés ou innovantes de rénovation énergétique. Cette nouvelle collection d'outils s'inscrit dans la continuité des référentiels techniques produits dans le cadre de précédents programmes portés par la filière Bâtiment : PACTE et RAGE.

Le présent document est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Pour plus d'information : <https://programmeprofeel.fr/>

PARTENAIRES PROFEEL :

Pouvoirs Publics



Porteurs



Financiers



Filière Bâtiments

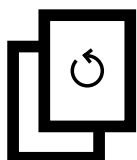


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

○	AVERTISSEMENT	4
○	INTRODUCTION	5
①	RÈGLES GÉNÉRALES POUR OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES PAC	6
②	ANALYSE ET OPTIMISATION DES RÉSEAUX EXISTANTS	9
③	LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RÉNOVATION	15
④	LES SOLUTIONS DE RACCORDEMENT	19
⑤	LES POINTS D'ATTENTION, AU-DELÀ DE L'HYDRAULIQUE	62



VERSION

DATE DE LA PUBLICATION

MODIFICATIONS



AVERTISSEMENT

Ce document traite du raccordement hydraulique des pompes à chaleur centralisées pour la production de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire, que l'installation soit mono-énergie (PAC 100 % électrique) ou multi-énergie (PAC hybride).

Il présente les solutions standards les plus pertinentes et ne dresse par conséquent pas une liste exhaustive des raccordements possibles. Les schémas proposés sont volontairement simples, permettant un fonctionnement satisfaisant. La schémathèque ainsi dressée rassemble des schémas de raccordement robustes. Ceux plus incertains nécessitant notamment une régulation plus complexe n'ont pas été retenus.

Avant usage des schémas-types décrits dans ce document, il revient au lecteur de vérifier s'ils sont applicables vis-à-vis des spécifications techniques de la PAC et des schémas proposés par le fabricant.



INTRODUCTION

Cette schémathèque a pour vocation d'être un outil pratique et pédagogique de choix et de conception des installations de pompes à chaleur centralisées.

Elle s'applique pour les installations de production de chauffage seule et de production de chauffage et d'ECS, pour les bâtiments de type habitat collectif ou tertiaire, que les installations soient neuves ou rénovées.

Chaque raccordement hydraulique est traité sous forme de fiche qui en fournit une description, sur la base d'un schéma type expliqué et argumenté en insistant sur son fonctionnement hydraulique et sa régulation. Plusieurs variantes au montage général sont déclinées et justifiées.

La schémathèque est organisée autour des solutions :

- 100 % électriques ;
- hybrides avec chaudière en relèvement ;
- pour une production simple service (Chauffage) ;
- pour une production double service (ECS et Chauffage).

Elle s'applique aux pompes à chaleur air/eau et eau/eau, tout ou rien et à variation de vitesse. Le rafraîchissement par la pompe à chaleur n'est pas traité.

Elle présente :

- des règles générales permettant d'optimiser le fonctionnement d'une installation de PAC centralisée. Les hypothèses conduisant à des schémas hydrauliques performants et au respect du fonctionnement des matériels sont listés. On retrouve ainsi des notions de performances, de courts cycles, de maîtrise de température de retour et de débit, ... ;
- les schémas types, en nombre limité, qui constituent le cœur du guide. Ils sont expliqués et argumentés selon le domaine d'application défini par le type de PAC, les caractéristiques de l'installation, avec ou sans production d'ECS, en insistant sur le fonctionnement hydraulique et la régulation.

Chaque fiche schéma type est composée :

- du schéma hydraulique complet avec accessoires correspondant au cas général et sa régulation ;
- des spécificités du schéma, pour répondre à la question « Avez-vous choisi le bon schéma ? » ;
- de l'explication du fonctionnement hydraulique et de la régulation, en mettant en avant les points de vigilance éventuels ;
- de schémas en variante au schéma général : production d'eau chaude sanitaire, autres types d'émetteurs ;
- des conseils de dimensionnement des principaux équipements hydrauliques de la liste argumentée des accessoires hydrauliques obligatoires ou conseillés.

En complément des fiches, des points d'attention, au-delà de l'hydraulique sont fournis : prévention de l'embouage, puissance électrique, niveau acoustique, fluides frigorigènes, suivi de fonctionnement.

1

RÈGLES GÉNÉRALES POUR OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES PAC

1 1

DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT CONTRAINTES

Le fonctionnement d'une pompe à chaleur diffère de celui d'une chaudière. Si une chaudière :

- justifie d'un écart de fonctionnement relativement élevé (de l'ordre de 20K) ;
- dispose d'une capacité de production (puissance thermique) indépendante des conditions de fonctionnement ;
- sait moduler relativement bas (20 % voire 10 % de taux de charge).

Les PAC sont quant à elles relativement contraintes par les conditions de fonctionnement. Avec notamment :

- une puissance fournie et une température de production limitées, fonction des conditions de fonctionnement (température extérieure faible, température d'usage des réseaux importantes) ;
- une capacité de modulation relativement faible et particulièrement contrainte pour de faibles besoins ou pour des températures extérieures relativement élevées ;
- une élévation de température par la PAC limitée (de l'ordre de 5K à +7°C et plutôt 3K à température extérieure de base), avec une forte influence de la température de retour ;
- un écart de température (retour – départ PAC) de fonctionnement minimum de la PAC contraignant (de l'ordre de 1,5K à +7°C et plutôt 2,5K en fin de saison de chauffe) ;
- des débits hydrauliques qui traversent le générateur beaucoup plus important du fait d'écart de température de fonctionnement de la PAC relativement faible.

Optimiser le fonctionnement d'une PAC implique donc de respecter un ensemble de règles spécifiques, certaines relevant de la conception (choix des émetteurs par exemple), d'autres de l'exploitation (réglage des consignes notamment).

1

2

DISPOSER D'UNE INERTIE SUFFISANTE

Il existe un volume minimal d'eau auquel doit être raccordée la PAC. Ce volume (appelé volume tampon) permet d'assurer une inertie suffisante pour la PAC et de maintenir un temps de fonctionnement minimal du compresseur, évitant une usure prématurée provoquée par les cycles marche/arrêt trop fréquents. Pour les PAC avec compresseur à vitesse variable, le volume d'eau minimal requis est plus faible que pour un compresseur contrôlé en tout ou rien puisque sa puissance peut être modulée.

Lorsque le volume du réseau primaire raccordé à la PAC est insuffisant, un volume est mis en place sur l'installation. Il peut s'agir d'un volume en série (dit volume tampon) ou en parallèle (dit volume hydraulique).

Si un volume en série est retenu, il est de type 2 piquages. Il est placé de préférence en sortie de PAC afin de limiter les incidences du dégivrage par inversion de cycle du compresseur qui font chuter la température en sortie de groupe et donc au départ du circuit de chauffage. Cet emplacement est impératif si le volume tampon comprend un appoint électrique. En outre, la mise en place d'un découplage entre la production et les réseaux de distribution s'avère nécessaire, le volume 2 piquages ne permettant pas d'imposer le débit du côté de la PAC (ce quelle que soit la demande du côté des émetteurs).

Si un volume en parallèle est retenu, il peut être à :

- 2, 3 ou 4 piquages dans le cas où la PAC est raccordée en préchauffage de l'appoint (électrique ou chaudière) ;
- 6 ou 8 piquages si l'appoint est raccordé directement au volume d'eau.

Ce dernier choix est généralement motivé par la possibilité d'assurer les fonctions de découplage (entre primaire et secondaire) et de gestion des phénomènes de courts-cycles de la PAC par un seul et même équipement.

Néanmoins, ce type de volume, impliquant des capacités plus élevées, peuvent être le siège de phénomènes (de bi-circulation notamment) néfastes à la performance des installations. Ces derniers peuvent en effet conduire à un mauvais fonctionnement de la PAC avec une inertie disponible insuffisante pouvant provoquer des cycles marche/arrêt trop fréquents.

Pour limiter un maximum ces effets, il est important de sélectionner un volume de capacité suffisante. Les prescriptions du fabricant doivent être suivies.

1

3

MAÎTRISER LES DÉBITS

Le maintien dans la PAC de son débit nominal permet de garantir ses performances.

En outre, il convient de vérifier l'adéquation entre le débit nécessaire au bon fonctionnement de la PAC et celui des réseaux qu'elle alimente. En effet, les PAC fonctionnent en régime nominal à un écart de températures faible entre le départ et le retour (de l'ordre de 5K), ce qui implique des débits d'eau très élevés en comparaison avec ceux des réseaux conçus pour travailler sur des écarts de températures plus importants (de l'ordre de 10 à 20K). La mise en place d'un découplage entre la production et les émetteurs s'avère généralement nécessaire pour fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs.

Les PAC actuelles réclament généralement un débit minimal (de l'ordre de 40 % du débit nominal).

Ce découplage peut prendre différentes formes : un bypass, une bouteille de découplage ou encore un volume hydraulique (raccordé en vis-à-vis de la production).

Dans tous les cas, afin de maintenir un débit au secondaire du système de découplage, il convient de sélectionner une consigne départ PAC la plus proche possible de la température appelée au départ de la V3V. La V3V est ainsi maintenue la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC, dans les meilleures conditions.

1

4

MAÎTRISER LES TEMPÉRATURES

Pour assurer la performance d'une PAC, il faut minimiser les températures à son entrée (et à sa sortie). Cela s'obtient en observant les recommandations suivantes :

- choisir une température de départ de la PAC glissante plutôt qu'une température de départ constante en adoptant une régulation en fonction de l'extérieur agissant directement sur la PAC (si la production d'ECS éventuellement assurée par la PAC le permet) ;
- dimensionner les émetteurs en conséquence (65-50, 60-45 ou 55-45°C pour des radiateurs et 45-35°C pour les planchers chauffants) et les réguler. En rénovation, le raccordement d'une PAC peut se justifier sur des réseaux à plus hautes températures mais uniquement à condition qu'ils soient régulés avec une loi d'eau permettant que les régimes d'eau de l'installation soient le plus souvent compatibles avec le fonctionnement de l'installation ;
- organiser les réseaux de distribution par niveau de température (en jouant sur les hauteurs de piquages au niveau du volume hydraulique ou sur la logique de relève par l'appoint) ;
- autant que faire se peut, réduire les débits dans la distribution pour augmenter la chute de température en :
 - évitant les surdimensionnements de puissance, de pertes de charges, de débits, de circulateur ;
 - adoptant un fonctionnement des circulateurs à vitesse variable ;
- éviter les recyclages d'eau chaude des départs vers les retours (le sur-débit au primaire de la PAC dans le cas d'un schéma avec volume hydraulique est limité un maximum) ;
- adapter le schéma de production ECS en évitant les solutions nécessitant un fonctionnement permanent de la PAC à une température de sortie d'eau élevée (solution de production instantanée ou par échangeur extérieur et ballon de faible capacité). répartir de manière homogène la puissance sur plusieurs PAC. Particulièrement pour les solutions de type PAC 100 % électrique), cette répartition permet d'augmenter la plage de modulation globale de l'installation.

La solution retenue pour la gestion du découplage peut conduire à certaines difficultés dans la maîtrise des températures au retour de la PAC (mais aussi celle de départ des réseaux secondaires), particulièrement quand cette même solution gère également les phénomènes de courts-cycles de la PAC,

Les volumes hydrauliques en parallèle, du fait de capacités plus élevées, peuvent en effet être le siège de phénomènes (de bi-circulation notamment) néfastes à la performance des installations. Ces derniers peuvent en effet conduire à un mauvais fonctionnement de la PAC avec :

- un abaissement de la température de départ du chauffage ;
- un réchauffement de la température en entrée de PAC.

Pour limiter un maximum ces effets, il est important :

- de privilégier une géométrie du volume justifiant d'un rapport hauteur/diamètre élevé ;
- d'assurer un débit primaire légèrement supérieur au débit (sur-débit au primaire limité à 5-10 % dans les conditions de dimensionnement) ;
- de justifier d'un régime de fonctionnement de la PAC (d'un point de vue température) proche de celui des réseaux.

2

ANALYSE ET OPTIMISATION DES RÉSEAUX EXISTANTS

L'intégration d'une PAC dans une installation implique de se poser un certain nombre de questions, particulièrement dans le cadre d'une rénovation.

Au-delà de l'analyse des critères de faisabilité nécessaire à la bonne réalisation d'une installation de PAC (encombrement, niveau acoustique, raccordement électrique, ...), l'analyse de la qualité hydraulique des installations, notamment existantes, est primordiale pour s'assurer que la PAC justifiera d'un bon fonctionnement et de bonnes performances.

Il est encore trop souvent constaté un niveau de qualité des installations hydrauliques insuffisants (mauvais réglage de débit et de consigne, mauvais paramétrage des lois d'eau). Si une chaudière peut s'adapter (plus au moins bien) à ce niveau de qualité, il est plus difficile pour une PAC d'en faire de même.

Une analyse doit être menée sur :

- le poids que représente l'usage ECS (comparativement à celui de l'usage chauffage) ou le poids de certains réseaux de chauffage (comparativement à d'autres fonctionnant à plus haute température) ;
- les départs chauffage notamment vis-à-vis de leurs niveaux de température, leur régulation ou encore du réglage de leurs débits ;
- la solution de production d'ECS notamment vis-à-vis du type de système, de son pilotage, de la puissance appelée ou encore du volume mis en jeu ;
- la distribution d'eau chaude sanitaire notamment vis-à-vis des puissances de réchauffage requises (fonction du nombre de boucles, du linéaire, du niveau d'isolation) ou encore du réglage du débit ;
- le système de régulation (dans le cas d'une solution de type PAC hybride) notamment vis-à-vis de ces caractéristiques de pilotage propres, de son paramétrage (lois d'eau, ralenti, gestion de l'inoccupation, ...).

2

1

ADAPTER LES RÉSEAUX DE CHAUFFAGE À LA PAC

L'analyse des réseaux de chauffage doit permettre de statuer sur la faisabilité d'intégrer une PAC à l'installation de chauffage et de définir la solution de raccordement la plus pertinente :

- PAC 100 % électrique ou PAC hybride ;
- hybridation totale des circuits (la PAC récupère le retour général de l'installation) ou une hybridation partielle (la PAC récupère une partie seulement des retours chauffage).

Pour rappel, optimiser le fonctionnement de la PAC suppose d'avoir :

- un retour d'eau le plus froid possible à la PAC ;
- un débit d'usage de la PAC au plus proche du débit nominal.

2.1.1 GESTION DES TEMPÉRATURES

Le raccordement d'une PAC se justifie sur des réseaux de chauffage régulés en appliquant aux circuits de chauffage des régimes de température les plus bas possibles. En effet, une température d'eau trop élevée implique une diminution de ses performances thermodynamiques ainsi qu'une limitation de sa puissance thermique fournie. La PAC peut ne pas couvrir la totalité des besoins non pas du fait d'un manque de puissance mais du fait (mais pas que) d'une température de sortie d'eau appelée trop importante. Dans tous les cas, la température de retour du réseau doit être inférieure à la température de production de la PAC (au ΔT min de fonctionnement de la PAC).

Pour les PAC 100 % électrique, les circuits régulés doivent avoir une température départ maximum (conformément aux caractéristiques techniques de la PAC) afin de limiter l'usage des appoints les jours les plus froids de la saison de chauffe et ainsi ne pas dégrader la performance globale de l'installation. Une attention particulière doit être portée à la température maximale de départ de la PAC dans le cas de circuit avec départ à température constante (afin de rester dans l'enveloppe de fonctionnement de son compresseur).

Pour les PAC hybrides, il est préférable que les circuits régulés justifient également d'une température départ maximum afin de limiter l'usage des chaudières. Néanmoins, la température de départ de la PAC peut être abaissée (ne pas être choisie en regard des départs à trop haute température) et le complément par la chaudière augmenté, permettant ainsi de ne pas contraindre la PAC à fonctionner sur un régime de température trop élevé.

CAS D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE AVEC RÉSEAU DE CHAUFFAGE RÉGULÉ

Si l'installation de chauffage alimente un ou plusieurs réseaux de chauffage régulé, il convient de choisir, quand cela est possible, une température de production glissante plutôt qu'une température de départ constante, en adoptant une régulation en fonction de l'extérieur agissant directement sur le(s) générateur(s).

Il convient alors de sélectionner une consigne départ production (après l'appoint) la plus proche possible de celle du départ de la vanne à trois voies (V3V), et ce pour conserver une V3V la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC.

CAS D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE AVEC UN DÉPART NON RÉGULÉ HAUTE TEMPÉRATURE

Si l'installation de chauffage présente deux circuits de chauffage dont l'un est non régulé (à température constante) comme par exemple, une sous-station, une centrale de traitement d'air (CTA) ou un aérotherme, il peut être plus pertinent d'assurer :

- avec la PAC (et la chaudière en complément), l'alimentation du réseau de chauffage régulé ;
- avec la chaudière, l'alimentation du circuit haute température.

On parle d'hybridation partielle. Ce principe de raccordement est pertinent dès l'instant où la chaudière se maintient à un niveau de température élevé pour un circuit chauffage constant (ou pour une charge ECS) qui travaille à plus haute température. Il permet de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

Pour une CTA, une autre solution peut consister à créer un talon bas (une « petite loi d'eau »). Par exemple, alimenter la CTA à 80°C par température extérieure basse et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée, maintenir une alimentation à 50°C (voire moins selon le dimensionnement de la CTA) pour satisfaire la température de soufflage. Cette solution rend possible des retours d'eau à la PAC plus froids durant de nombreux jours de la période de chauffe et améliore la régulation sur l'air dû à un différentiel de température plus faible sur la batterie. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

2.1.2 GESTION DES DÉBITS

La PAC doit être optimisée d'un point de vue température mais aussi d'un point de vue débit.

CAS D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE AVEC UN SEUL RÉSEAU DE CHAUFFAGE RÉGULÉ (OU DEUX CIRCUITS RÉGULÉS AVEC DES LOIS D'EAU STRICTEMENT IDENTIQUES)

Si la ou les V3V de régulation des circuits de chauffage ne sont pas maintenues en place, le fonctionnement de la PAC est optimisé en température mais aussi en débit.

CAS D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE AVEC UN DÉPART NON RÉGULÉ HAUTE TEMPÉRATURE

Si la PAC assure seulement l'alimentation du réseau de chauffage régulé (la chaudière assure l'alimentation du circuit haute température), il est pertinent de prévoir un raccordement de la PAC après la V3V de régulation du réseau de chauffage à alimenter. Le débit de retour chauffage vu par la PAC est donc constant peu importe la position de la V3V du circuit de chauffage (à la fermeture des robinets thermostatiques près). L'objectif est de conserver une V3V la plus fermée possible afin de solliciter un maximum la PAC et de minimiser la sollicitation de la chaudière. L'avantage est donc de maximiser le débit de retour circuit chauffage vers la PAC, peu importe le niveau de température de la chaudière. L'inconvénient est de travailler principalement sur un seul circuit et non sur l'ensemble de l'installation (le taux de couverture global de l'installation est dégradé mais la performance de la PAC est améliorée).

2

2

ADAPTER LA SOLUTION DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE À LA PAC

Une PAC dédiée à l'usage ECS est recommandée, notamment lorsque les profils de demande ECS et chauffage sont très différents. Si la puissance nécessaire pour assurer l'ECS ne conduit pas à sélectionner une PAC avec une puissance pour le chauffage extrêmement élevée par rapport à celle réellement requise, alors les performances énergétiques en chauffage seront similaires que la PAC assure le chauffage ou le chauffage et l'ECS.

Une installation assurant à la fois le chauffage et l'ECS est possible et permet de minimiser le coût de l'opération, le poste production de chaleur étant commun au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire.

Néanmoins, quelques inconvénients :

- la priorité ECS peut impliquer des relances et remontées en température de la PAC et donc défavoriser les périodes de fonctionnement à basse température de cette dernière (pour assurer le chauffage) ;
- la puissance nécessaire pour assurer l'ECS peut conduire à sélectionner une PAC avec une puissance pour le chauffage élevée par rapport à celle réellement requise ;
- le système de production de chaleur fonctionne en période de non-chauffage (en mi-saison et en été). Le rendement est dégradé suite au fonctionnement en cycles courts plus fréquent de la PAC ;
- du fait d'une température de sortie de production plus faible avec une PAC (comparativement à une chaudière), et donc d'une puissance de l'échangeur plus faible, la capacité de stockage d'ECS (ou primaire) doit être plus importante (ou bien un ballon avec un échangeur de plus grande taille).

Les choix adoptés pour la production d'ECS impactent sur les performances du générateur de chaleur dans le cas de PAC assurant les 2 services. La maîtrise des consommations pour la production d'ECS ne peut être abordée indépendamment de celle du chauffage.

Pour assurer la production collective d'ECS, il existe essentiellement 4 types de systèmes qui peuvent être alimentés par le ou les générateurs de chaleur. L'impact sur le fonctionnement sur la PAC dépend du système mis en place :

SI LA PRODUCTION EST INSTANTANÉE (PAR ÉCHANGEUR À PLAQUES)

Ce système nécessite un fonctionnement permanent de la PAC à une température de sortie d'eau élevée, y compris en l'absence de soutirage, pour assurer le réchauffage de la boucle d'ECS. Néanmoins, selon l'échangeur sanitaire choisi, des températures de retour suffisamment faibles peuvent être obtenues lors des soutirages notamment lors des pointes, pour des régimes de température sur le secondaire de 10/60°C ou 10/55°C.

Ce système requiert une puissance très élevée des générateurs de chaleur pour assurer les besoins de pointes rarement rencontrés. Pendant une très grande partie du temps, les puissances appelées sont très faibles. Ce surdimensionnement sera d'autant plus important dans les bâtiments fortement rénovés avec de faibles besoins de chauffage. Cela aura pour conséquence de faire fonctionner plus souvent la PAC à de très faibles taux de charge, avec des séquences marche-arrêt. Cela conduit à un fonctionnement des générateurs à très faibles taux de charge, particulièrement en été, avec des cycles marche-arrêt préjudiciables en termes de performances, de maintien de la température de bouclage ou encore de pérennité des générateurs.

SI LA PRODUCTION EST ASSURÉE PAR UN BALLON ÉCHANGEUR

Ce système de production est adapté aux PAC capables de fournir des très hautes températures (PAC au CO₂ par exemple), notamment du fait de l'important pincement de l'échangeur (de l'ordre de 10K).

Ce système de production d'ECS ne requiert pas un fonctionnement permanent de la PAC à une température de sortie d'eau élevée. La PAC n'est pas contrainte de fonctionner en permanence pour réchauffer le bouclage comme dans le cas d'une production d'ECS instantanée. Il ne conduit pas obligatoirement à un surdimensionnement de la puissance à installer. Cela dépend de la capacité du stockage et de la puissance échangeur choisies.

Elle peut fonctionner en mode priorité ECS pour réchauffer le ballon. Lorsque la consigne de température est atteinte, la pompe primaire est coupée. Ce qui permet de glisser en température et d'optimiser le fonctionnement de la PAC hors période de relance. La capacité du système de production d'ECS à combattre les déperditions sans réenclencher tient au volume de stockage, au différentiel de la sonde ECS ou encore aux déperditions du bouclage ECS. En dehors des périodes de soutirage, entre chaque relance (un délai qui pourra atteindre quelques heures), le système pourra fonctionner avec des températures les plus basses possibles. Et lors de l'enclenchement, la remontée de température du ballon de quelques degrés demandera à la PAC de fournir une eau à température plus élevée sur une période relativement courte seulement.

L'emplacement du retour du bouclage au niveau du ballon peut impacter le fonctionnement de la PAC. Il peut être privilégié un retour du bouclage entre le milieu et le tiers haut du ballon.

SI LA PRODUCTION ASSOCIE ÉCHANGEUR À PLAQUES ET UN BALLON DE STOCKAGE EN ECS

Par rapport à un système instantané, l'ajout d'un stockage d'ECS permet de limiter la puissance requise pour la production d'ECS. Deux modes de fonctionnement de ces systèmes existent :

- soit un fonctionnement permanent des circulateurs au primaire et secondaire de l'échangeur ; c'est généralement le cas des systèmes avec de faibles capacités de stockage et une puissance élevée. Ce mode de fonctionnement présente comme contrainte de maintenir la PAC en permanence à température élevée pour la production d'ECS. En l'absence de soutirage, la puissance appelée est très faible ;
- soit un fonctionnement non continu des circulateurs asservi à la température de stockage d'ECS. Les circulateurs sont enclenchés pour le réchauffage et ensuite arrêté. Ce mode de fonctionnement nécessite d'avoir un volume de stockage plus important de manière à disposer d'un stockage d'ECS suffisant en cas de forts soutirages. Ce stockage plus important implique une réduction plus importante de la puissance ECS. A contrario, les pertes par stockage sont plus importantes et plus le temps de reconstitution du stockage est élevé. Ces temps plus longs peuvent ne pas permettre de fonctionner en mode priorité ECS.

L'emplacement du retour du bouclage au niveau du ballon peut impacter le fonctionnement de la PAC (d'un point de vue de la température de retour à la PAC, du nombre d'enclenchement de la PAC pour assurer la remise en température du ballon mais aussi du risque sanitaire). Il peut dans ce cas être privilégié un retour du bouclage en partie basse du ballon.

Le choix d'une solution avec échangeur à plaques (comparativement à une solution avec ballon échangeur) permet de travailler avec un pincement très faible de l'ordre du degré (contre un pincement de près de 10°C avec ballon échangeur). Ainsi, pour produire

une eau chaude à 58°C, la température de production de la PAC sera de l'ordre de 60°C pour une solution avec échangeur extérieur contre 68°C pour celle avec échangeur intégré. En outre, le choix d'une solution avec échangeur à plaques va également permettre de limiter la destratification dans le ballon de stockage et donc de renvoyer des températures de retour à la PAC plus faibles.

SI LA PRODUCTION EST ASSURÉE PAR UN ÉCHANGEUR À PLAQUES ET UN BALLON TAMPON SUR LE PRIMAIRE

Ces systèmes ne nécessitent pas une production de chaleur en permanence à haute température. Ils permettent de limiter le surdimensionnement du système pour assurer les besoins de pointe d'ECS.

Ce principe de stockage d'énergie, non plus au secondaire mais sur le primaire, est notamment un moyen de valoriser les PAC sur des sites sensibles comme les locaux de santé, où l'utilisation d'une production ECS instantanée est souvent recommandée.

BILAN

En conclusion, dans le cas d'une PAC assurant les 2 usages, il est recommandé :

- de proscrire une solution de production d'ECS en instantanée ;
- d'ajouter un stockage d'ECS ou sur le primaire. Cela permet de réduire fortement les puissances requises (plus ou moins selon le volume de stockage) et de limiter les cycles marche-arrêt et de pouvoir fonctionner éventuellement en mode priorité ECS. En effet, un volume de stockage suffisant permet à la production de se déclencher moins souvent pour combattre les pertes de bouclage. L'installation est donc plus longtemps en mode chauffage donc avec des températures plus froides à gérer. Attention, augmenter de manière trop importante la taille du ballon de stockage peut aller à l'encontre d'un fonctionnement en mode priorité ECS (en plus de conduire à des pertes de stockage plus importantes) : plus les puissances ECS requises sont faibles et plus les temps de reconstitution du stockage sont longs ;
- de préférer des solutions de production avec échangeur extérieur plutôt qu'une solution avec ballon échangeur (solution adaptée aux PAC très hautes températures) ;
- d'opter pour un raccordement du retour du bouclage au niveau du ballon adapté au système de production d'ECS en place ;
- d'opter pour des échangeurs de plus grande efficacité ;
- de travailler sur un préchauffage de l'eau chaude sanitaire afin de travailler sur la température la plus froide de l'usage. En effet, un schéma hydraulique proposant un raccordement en série de la production ECS et des départs chauffage va impliquer des retours chauds avec possible arrêt de la PAC. Il est dans ce cas plutôt envisagé une hybridation partielle en se concentrant juste sur les réseaux de chauffage.

2

3

ADAPTER LE PILOTAGE DE L'INSTALLATION

Quand l'installation le permet (production d'ECS assurée par la PAC ou non), il est pertinent de choisir une température de départ pour la PAC glissante plutôt qu'une température de départ constante.

La régulation en fonction de la température extérieure agissant sur la consigne de température de retour et/ou de départ de la PAC permet de produire de l'eau à température plus basse, favorable à la performance de la machine. La PAC n'est plus maintenue en température inutilement élevée et les pertes thermiques sont réduites. De plus, dans certaines configurations, il est fait l'économie d'une vanne à trois voies de régulation.

Cette régulation en fonction de l'extérieur est généralement assurée par le régulateur intégré à la PAC. Il s'agit de demander à la pompe à chaleur de produire une température d'eau variable selon la température extérieure mesurée. Cette fonction peut aussi être assurée par les régulateurs localisés en tableau électrique.

La température obtenue dans l'installation, notamment dans une configuration de PAC hybride, est principalement la conséquence de la loi d'eau du circuit de distribution et du réglage de la consigne de l'appoint. La PAC apporte son DT et la température de production, dans certaines configurations, sera très souvent inférieure à la consigne.

Il convient d'être attentif :

- au réglage de la loi d'eau du circuit de distribution. Elle doit être paramétrée à un niveau suffisant pour répondre aux besoins, sans plus. On portera d'autant plus d'attention à ce réglage en cas d'émetteurs surdimensionnés ;
- à l'emplacement de la sonde de température extérieure : au nord ou nord-ouest.

Certains régulateurs permettent de raccorder une sonde de température ambiante pour compenser la température d'eau délivrée au circuit de distribution. Elle sert à adapter la courbe de chauffe pour atteindre la consigne d'ambiance fixée.

Une régulation en fonction de la température extérieure est également conseillée pour les circuits de ventilo-convecteurs ou de CTA en fixant toutefois un seuil minimal pour conserver une émission satisfaisante.

L'automate de régulation doit justifier de fonctions avancées : optimisation des temps de relance, fonction de l'exposition ou des apports internes, Les plages horaires sont adaptées en fonction de l'occupation et selon l'activité. Par exemple, pour des bâtiments tertiaires il convient :

- d'abaisser le plus possible les températures ambiantes (vacances scolaires dans les établissements d'enseignement, nuits et les week-ends, bureaux inoccupés en permanence et ponctuellement, locaux peu occupés (salle de réunion, de restauration, ...) ;
- mais aussi limiter la température des locaux occupés (abaisser en hiver et augmenter en été).

Dans le cas d'une PAC hybride, il est recommandé d'assurer le pilotage de la PAC et de la chaudière à partir d'un même automate et d'une même sonde extérieure (notamment pour s'assurer de la bonne harmonisation des paramètres de chauffe des deux générateurs).

3

LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RÉNOVATION

3

1

EVALUER LA FAISABILITÉ D'UNE INSTALLATION DE PAC

Que ce soit en configuration 100 % électrique ou en configuration hybride, l'intégration d'une PAC implique de considérer :

- son encombrement à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. A l'intérieur, vis à vis du module hydraulique (si existant, fonction de la PAC retenue), du volume hydraulique (si existant, de quelques centaines à plusieurs milliers de litres en fonction de la PAC retenue). Il est à noter que la surface requise sera variable selon le nombre de PAC retenu ainsi que la puissance choisie ;
- l'impact acoustique de l'unité extérieure de la PAC. Les puissances acoustiques des PAC sont très variables et dépendent notamment de la puissance thermique de la PAC, du nombre d'unités fonctionnant en simultanéité et de son régime de fonctionnement (régime maximal, nominal, réduit ou encore lors des cycles de dégivrage). Une étude acoustique (avec mesure du bruit environnant notamment) dès l'esquisse du projet sera nécessaire pour définir le positionnement de la PAC et les mesures acoustiques éventuellement nécessaires (par exemple, des panneaux acoustiques, des plots anti vibratiles ou encore une désolidarisation des tuyauteries). Le niveau de puissance acoustique global en dB(A) des unités extérieures pour différents modes de fonctionnement doit être connu ;
- l'incidence des PAC sur le réseau électrique au sein du bâtiment (alimentation électrique de la PAC en toiture terrasse) ;
- l'incidence des PAC en termes de raccordement au réseau électrique. La mise en place d'une PAC entraîne une hausse de la puissance électrique appelée. Or, la puissance électrique disponible, notamment dans le cas d'un bâtiment existant, peut le plus souvent ne pas être suffisamment haute. La puissance maximale après rénovation par une PAC doit être comparée à la puissance électrique disponible sur le raccordement existant. Seules les conclusions issues d'une étude du gestionnaire réseau engagent la définition des travaux à prévoir (si travaux il y a). Il est conseillé de réaliser cette étude en phase de conception ;
- l'état et la qualité de fonctionnement de l'installation de production existante ;
- les températures de fonctionnement des différents réseaux hydrauliques ainsi que leur qualité de fonctionnement ;
- de considérer les exigences liées aux règles d'urbanisme, de copropriétés et à l'architecte des bâtiments de France.

3

2

SOLUTIONS 100 % ÉLECTRIQUES OU SOLUTIONS HYBRIDES

Différentes solutions techniques de rénovation par pompe à chaleur sont possibles :

- une solution 100 % électrique : une PAC (ou plusieurs) est installée(s) en substitution de chaudière et permet de couvrir la plus grande partie, voire la totalité, des besoins. L'appoint, généralement électrique, est utilisé pour les jours les plus froids. Plus la température maximale d'eau produite par la PAC est élevée plus les possibilités de réaliser une substitution directe sont grandes ;
- une solution hybride : une PAC (ou plusieurs) est associée(s) à une chaudière qui assure l'appoint. La PAC fonctionne prioritairement, la chaudière est en relèvement. Pour les températures extérieures les plus basses, la chaudière fonctionne en relèvement de la PAC pour couvrir le complément des besoins (solution avec un fonctionnement simultané), voire la totalité (solution avec un fonctionnement alterné).

Différents critères peuvent aider à orienter le choix de la solution technique à retenir :

- dans le cas d'une rénovation, prise en compte de l'existant (cf. 2.1) ;
- le poids de l'usage eau chaude sanitaire vis-à-vis de celui de chauffage et la volonté d'assurer chacun de ces usages par la PAC ;
- le critère de performance visé (taux de couverture thermodynamique élevé, performance optimale de la PAC, impact carbone faible, facture) ;
- la recherche d'une sécurisation de l'approvisionnement en chaleur (par une cascade de PAC ou par la chaudière) ;
- les coûts d'exploitation recherchés ;
- coûts d'investissement et aides financières disponibles ;
- le positionnement réglementaire.

On donne ci-dessous les avantages mais aussi les limites et les précautions à prendre en fonction de la solution technique retenue :

	Avantages	Limites et précautions
Solution 100 % électrique	<ul style="list-style-type: none"> - souplesse dans l'intégration du système et de sa régulation - encombrement requis pour l'intégration du système plus faible (notamment dans le local technique) - facilite l'atteinte des objectifs fixés par le « Décret Tertiaire », notamment ceux pour 2050 - conduit généralement à une bonne performance économique 	<ul style="list-style-type: none"> - peut-être sujet à un surcoût à l'investissement important - nécessite la mise en cascade de plusieurs PAC permettant ainsi une meilleure modulation de la puissance installée (et une meilleure gestion du dégivrage) - peut impliquer des solutions dédiées à la production d'ECS (notamment dans le cas d'un système de production existant) - implique une réflexion plus approfondie sur les mesures spécifiques à mettre en place pour limiter l'impact en termes de bruit, de structure ou encore de raccordement au réseau électrique
Solution hybride	<ul style="list-style-type: none"> - pour les bâtiments existants, la solution s'adapte en prévision de rénovations futures et de réductions de la charge thermique - permet à la PAC de fonctionner dans sa plage de fonctionnement optimale (la chaudière prenant le relais pour les conditions les plus défavorables) - relance plus rapide suite à une inoccupation - permet de réduire les impacts en termes d'encombrement, de bruit, de structure ou encore de raccordement électrique (en recherchant les puissances électriques les plus faibles) 	<ul style="list-style-type: none"> - présente une complexité plus élevée en termes de concept hydraulique et de régulation, du fait notamment d'une mise en cascade avec une chaudière (existante ou non) - nécessite un suivi de la production thermodynamique lors de la conduite de l'installation. En effet, un défaut sur la partie thermodynamique peut passer inaperçu si l'appoint « fait son travail » conduisant ainsi à un besoin couvert intégralement par l'appoint, des performances prévisionnelles non atteintes ou encore un bilan économique dégradé

3

3

POUR QUELS USAGES ? CHAUFFAGE, EAU CHAUDE SANITAIRE OU LES DEUX ?

En fonction du type d'installation (neuve ou existante), des usages à couvrir (installation simple ou double usage), en fonction du poids que représente chaque usage et notamment celui en ECS, différents schémas hydrauliques peuvent être envisagés.

SI LES 2 USAGES CHAUFFAGE ET ECS SONT ÉQUILIBRÉS (CAS DU NEUF OU D'UN BÂTIMENT THERMIQUEMENT RÉNOVÉ) :

Dans le cas d'une PAC 100 % électrique, même si une PAC unique peut assurer l'ECS et le chauffage, il est recommandé de privilégier une PAC par usage (notamment si plusieurs PAC en cascade doivent être mise en place) :

- une PAC (ou plusieurs) est dédiée au chauffage et une autre à l'ECS. Cela permet de travailler sur la PAC dédiée au chauffage à des températures d'eau plus basses et donc sur des plages de fonctionnement plus favorables ;
- une PAC dédiée à l'ECS est quant à elle à une température de départ plus élevée. On pourra donc sélectionner une PAC haute température dédiée à cet usage.

Attention, cette solution nécessite un nombre d'équipements plus important (plusieurs PAC, plusieurs ballons de stockage), une emprise au sol plus conséquente et donc un investissement plus important.

Dans le cas d'une PAC hybride, les deux usages peuvent être hybridés avec une PAC unique. Il peut être pertinent dans ce cas de diminuer la température de départ de la PAC et d'augmenter le complément fait par la chaudière. La chaudière permet de ne pas contraindre la PAC à fonctionner sur un régime de température plus élevé.

SI L'USAGE ECS EST FAIBLE (CAS DE L'EXISTANT, SANS RÉNOVATION THERMIQUE PARTICULIÈRE)

Il est recommandé dans ce cas de dédier une PAC au chauffage et d'assurer la production d'ECS par une chaudière, notamment si le préparateur ECS existant (dimensionné pour la chaudière) implique des puissances appelées pour la PAC trop importantes. À l'inverse, pour des puissances de production d'ECS modérées, il peut être fait le choix d'une PAC dédiée à l'ECS.



DES SOLUTIONS DE RACCORDEMENT ADAPTÉES AU RÉSEAU EXISTANT

L'installation de raccordement doit en outre être adaptée au réseau hydraulique existant. Le tableau ci-après permet de trouver la bonne fiche en fonction de des caractéristiques de l'installation existante.

L'INSTALLATION ASSURE UNIQUEMENT LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE

Configuration hydraulique (situation de base)	Solutions de rénovation	Fiches
Production 100 % électrique	- Réseaux de chauffage régulés	- PAC 100 % électrique
Production par chaudière	- Réseau de chauffage régulé	- PAC 100 % électrique - Hybridation totale
	- Réseaux de chauffage régulés et réseaux à température constante	- Hybridation partielle

L'INSTALLATION ASSURE LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE ET CELLE D'ECS

Configuration hydraulique (situation de base)	Solutions de rénovation	Fiches
Production 100 % électrique	- 1 PAC par usage	- PAC 100 % électrique
Production par chaudière	- ECS instantanée	- Hybridation simple usage
	- ECS avec ballon échangeur	- Hybridation simple usage
	- ECS avec échangeur extérieur et ballon ECS/primaire	- Hybridation simple usage (si fonctionnement continu des pompes de charge) - Hybridation double usage (si marche/arrêt des pompes de charge)

4

LES SOLUTIONS DE RACCORDEMENT

Chaque raccordement hydraulique est traité sous forme de fiche qui en fournit une description, sur la base d'un schéma technique. A des fins pédagogiques et dans un but de lisibilité, l'ensemble des schémas proposés sont des schémas de fonctionnement. Ils ne comportent que les composants principaux, utiles à sa compréhension (générateurs, pompes, vannes de régulation notamment).

Un schéma général est proposé au § 4.2 déclinant :

- un schéma de fonctionnement ;
 - un schéma avec l'ensemble des composants hydrauliques nécessaires à son bon fonctionnement ;
 - un schéma avec la régulation associée.
- Chacune des fiches proposées dresse les avantages ainsi que les limites et précautions pour chaque schéma. Plusieurs variantes au montage général sont déclinées et justifiées.

Des informations complémentaires sont apportées sur les points suivants : la régulation et la gestion en séquence des générateurs, le dimensionnement des composants, l'équilibrage hydraulique, les contraintes particulières d'exploitation, ...

Ce document présente les solutions standards les plus communes et ne dresse par conséquent pas une liste exhaustive des raccords possibles.

4

1

LES SYMBOLES GRAPHIQUES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS

Le schéma doit être de compréhension aisée. Les symboles utilisés doivent être connus de tous.

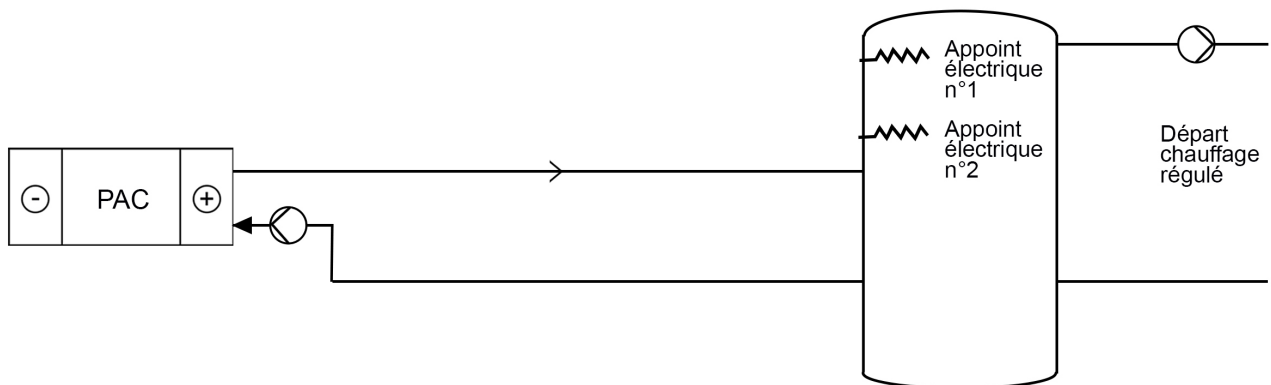
Symbole	Signification	Symbole	Signification	Symbole	Signification
	Vanne à deux voies		Vanne ou robinet d'équilibrage	T	Réglage manuel
	Vanne à trois voies		Moteur à action tout ou rien		Moteur électrique à action progressive
	Circulateur		Echangeur eau-eau		Chaudière à condensation
	Ventilateur		Batterie de chauffage eau-air		Chaudière basse température à air soufflé
	Sonde de température (sortie analogique)		Thermostat (sortie tout ou rien)		Ballon de stockage
	Sonde de température extérieure		Régulateur pour boucle ouverte		Régulateur pour boucle fermée

4

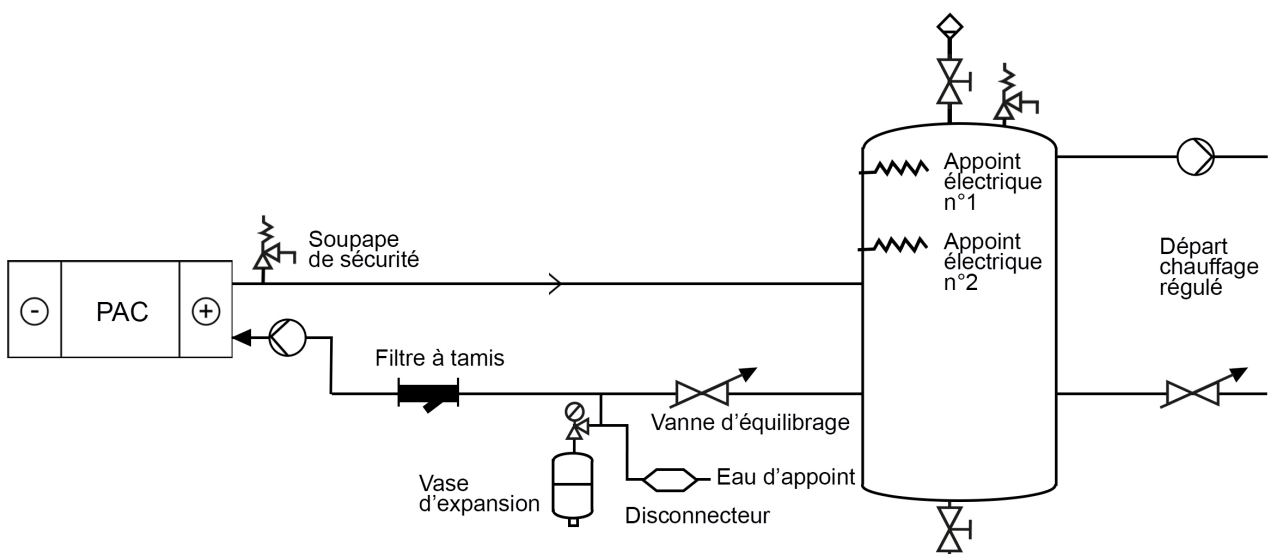
2

EXEMPLE DE SCHÉMA COMPLET

4.2.1 SCHÉMA FONCTIONNEL

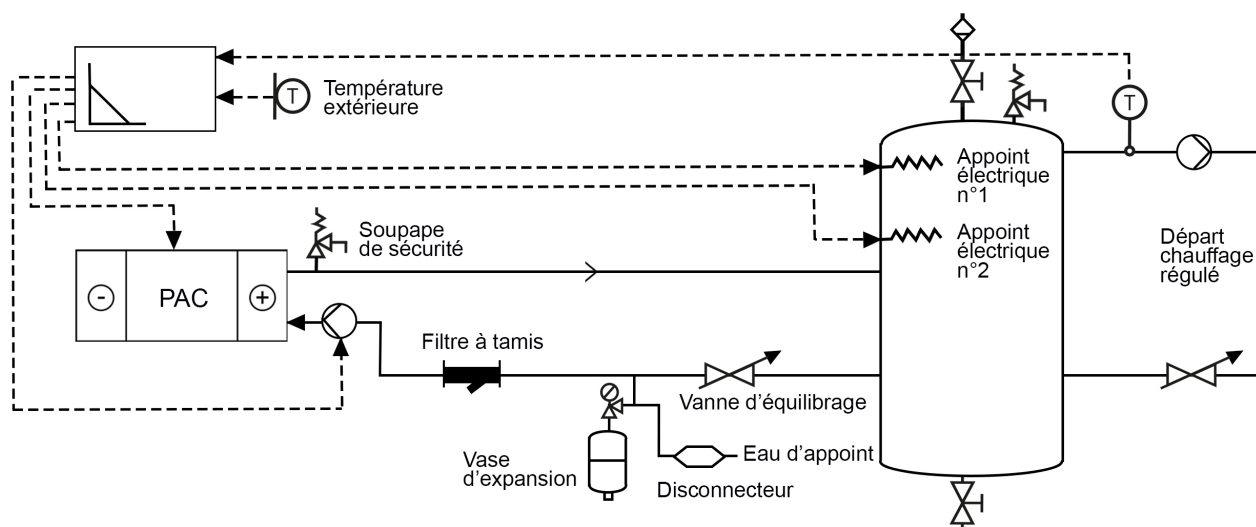
Figure 1 : Installation de production de chauffage seule par PAC 100 % électrique – Schéma fonctionnel

4.2.2 SCHÉMA AVEC COMPOSANTS HYDRAULIQUES

Figure 2 : Installation de production de chauffage seule par PAC 100 % électrique – Schéma avec composants hydrauliques

4.2.3 SCHÉMA AVEC RÉGULATION ASSOCIÉE

Figure 3 : Installation de production de chauffage seule par PAC 100 % électrique – Schéma avec régulation associée



4

3

INSTALLATION ASSURANT LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE UNIQUEMENT

4.3.1 SCHEMA-TYPE A : PAC 100 % ÉLECTRIQUE

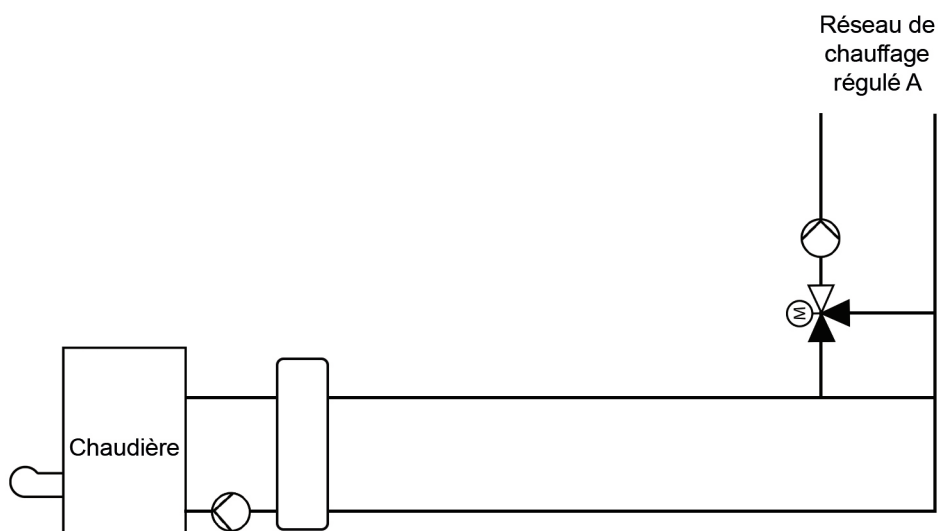
Ce schéma comprend une PAC et un appoint électrique. Ils assurent ensemble la production de chauffage. Aucune production d'eau chaude sanitaire ou de froid n'est assurée par l'installation.

POUR QUELLES CONFIGURATIONS HYDRAULIQUES DE BASE ?

Situation initiale

- la chaudière est simple usage (production de chauffage uniquement) ;
- la chaudière est contrainte en débit ;
- l'installation d'une bouteille de découplage associée à un circulateur permet une totale indépendance hydraulique de la chaudière vis-à-vis du réseau de chauffage ;
- le réseau de chauffage est unique et régulé par sa V3V.

Figure 4 : Installation de production de chauffage seule par chaudière



DESCRIPTION GÉNÉRALE ET SCHÉMA DE PRINCIPE

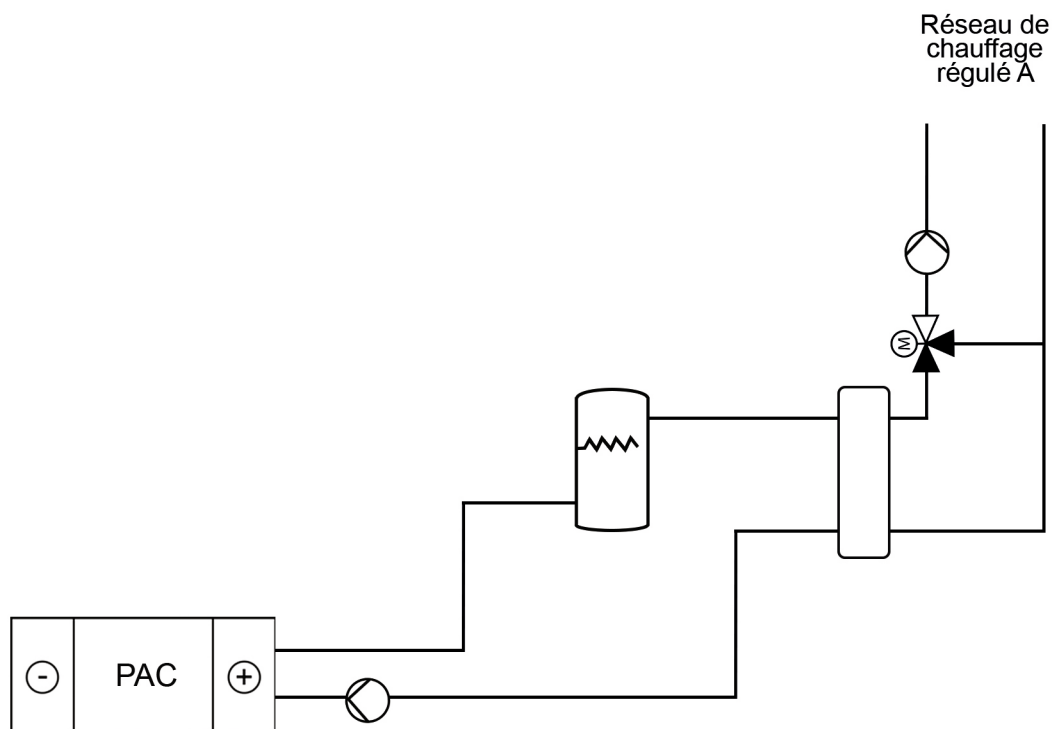
- Solution de rénovation : schéma de base

La PAC est installée en substitution de chaudière. Un ou plusieurs appoints électriques sont utilisés pour les jours les plus froids.

L'installation comporte :

- une PAC raccordée en dérivation sur le retour du circuit primaire et alimentée en direct par les retours du circuit de chauffage régulé ;
- un volume en série (volume tampon) placé en sortie de la PAC ;
- un système de découplage (une bouteille par exemple) ;
- un circuit de distribution de chauffage travaillant à faible température, régulé en fonction de l'extérieur par V3V.

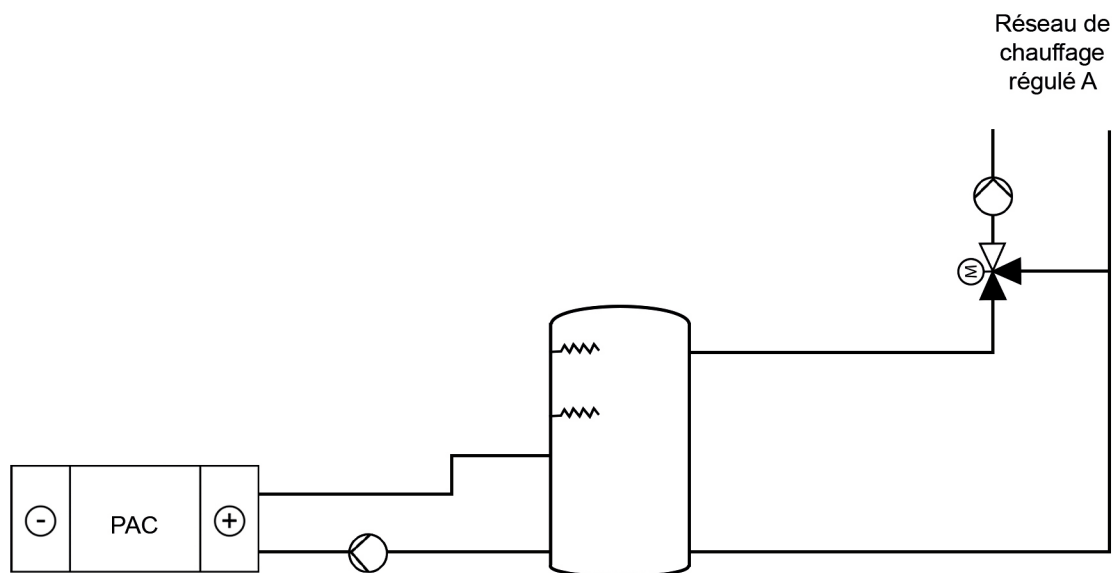
Figure 5 : Installation de production de chauffage par une PAC 100 % électrique – Volume tampon en série et bouteille de découplage – réseau de chauffage unique régulé par V3V



Solution de rénovation : variante n°1

Un volume hydraulique placé à la sortie de la PAC et raccordé en vis-à-vis de la production peut être préféré. Il permet à la fois de gérer une totale indépendance hydraulique de la PAC mais aussi d'éviter tous phénomènes de courts-cycles de cette dernière.

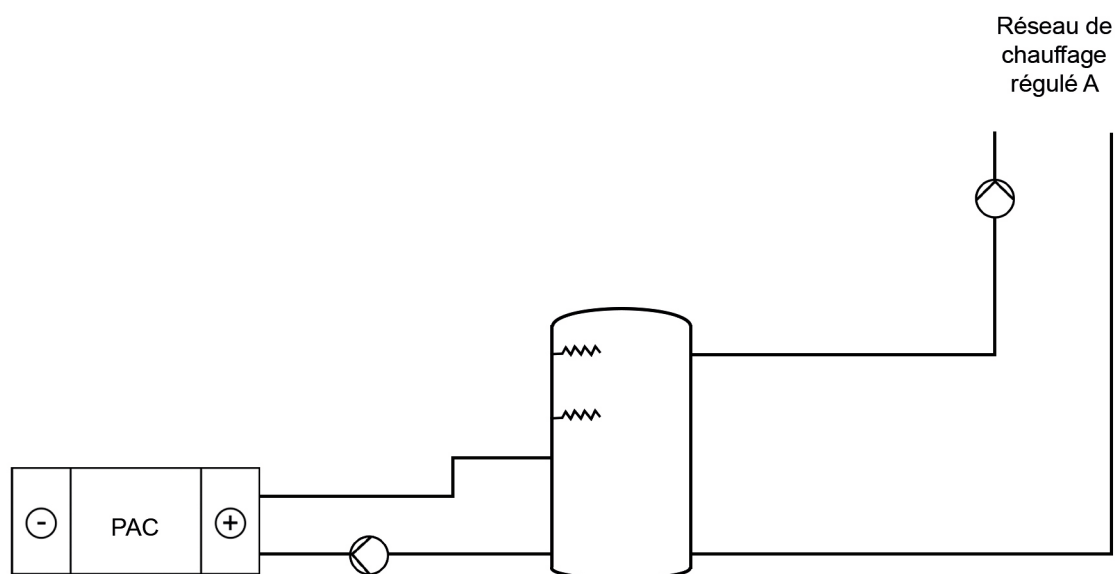
Figure 6 : Installation de production de chauffage par une PAC 100 % électrique – Volume hydraulique 4 piquages – réseau de chauffage unique régulé par V3V



Solution de rénovation : variante n°2

La régulation de température produite par la PAC en fonction de l'extérieur permet d'éviter la mise en place d'une vanne à trois voies de régulation au départ du circuit de chauffage.

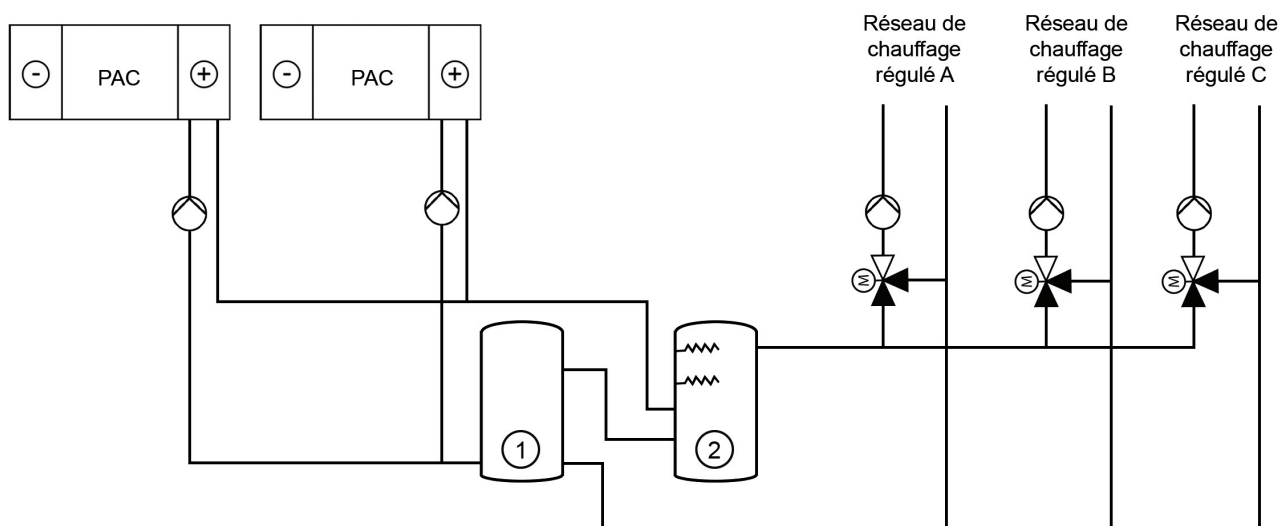
Figure 7 : Installation de production de chauffage par une PAC 100 % électrique - Volume hydraulique 4 piquages - réseau de chauffage unique régulé directement par la production



SOLUTION DE RÉNOVATION : VARIANTE N°3

Une mise en cascade de plusieurs PAC peut être préférée. Chaque PAC est équipée de sa propre pompe de charge. Un second volume hydraulique peut également être intégré permettant ainsi d'assurer une inertie suffisante pour les PAC.

Figure 8 : Installation de production de chauffage par une PAC 100 % électrique - 2 Volumes hydrauliques 4 piquages - 3 réseaux de chauffage régulés par V3V



POUR QUELLE APPLICATION ?

Ces solutions de rénovation peuvent être mises en œuvre en rénovation et en neuf. Elles peuvent être appliquées en habitat collectif et en tertiaire.

La PAC est raccordée sur le retour général des circuits de chauffage. Le retour du circuit de chauffage est raccordé au volume (bouteille ou volume hydraulique). Seuls les circuits régulés avec loi d'eau sont autorisés pour ce schéma.

Plus la température maximale d'eau que peut produire la PAC est élevée plus les possibilités de réaliser une substitution directe sont grandes.

Un montage en cascade de plusieurs PAC est à privilégier systématiquement. En effet, la répartition homogène de la puissance sur plusieurs PAC permet :

- de sécuriser la production en cas de défaillance d'une des machines (jusqu'à des températures extérieures relativement basses) ;
- d'augmenter la plage de modulation globale de l'installation ;
- d'optimiser les performances en fonctionnement normal (risque de cyclage des PAC limité) ;
- permet, lors de séquence de dégivrage d'une des PAC, de conserver de la puissance disponible pour le réseau et d'éviter un refroidissement du circuit primaire trop important.

Si l'installation d'une pac unique est préférée (cas de projet justifiant des faibles puissances appelées et/ou avec contraintes d'encombrement fortes), il convient de sélectionner une pac avec deux compresseurs et, dans l'idéal, deux circuits frigorifiques indépendants.

QUEL FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ?

- Zoom sur l'appoint électrique

L'appoint électrique est placé :

- au primaire de l'installation (directement intégré à la PAC ou placé sur le réseau primaire (dans le volume tampon ou le volume hydraulique par exemple) ;
- ou au secondaire de l'installation, après la bouteille de découplage (ou le volume hydraulique).

Si l'appoint électrique est intégré dans le volume tampon (au primaire de l'installation), ce dernier est implanté en sortie de la PAC. Si l'appoint électrique est intégré dans le volume hydraulique, il est placé au-dessus de l'arrivée de la PAC.

Plusieurs appoints électriques peuvent être nécessaires en fonction notamment du dimensionnement de la PAC et des températures extérieures de base. Dans ce cas, l'appoint principal est placé au plus proche du départ du ou des circuits de chauffage.

Si l'appoint est intégré au secondaire de l'installation, il est placé au départ du ou des circuits de chauffage.

Il convient de prévoir :

- un appoint comportant à minima deux résistances au-delà d'une puissance de 3 kW ;
- un dispositif de délestage de l'appoint électrique. Un gestionnaire d'énergie est généralement utilisé si l'appoint comprend plusieurs résistances ;
- une soupape de sécurité est nécessaire sur le volume hydraulique dès lors qu'il est équipé d'un appoint électrique.

- Zoom sur la PAC

La PAC est raccordée en dérivation sur le retour général de l'installation de chauffage. La PAC est de ce fait optimisée en température.

Si le ou les réseaux de chauffage sont pilotés en fonction de la température extérieure par la ou les V3V, la PAC est raccordée sur un circuit dont le débit varie, notamment selon l'ouverture de la vanne à trois voies du circuit de chauffage (cf. Schéma de base).

Si la régulation de température en fonction de l'extérieur est directement gérée par la PAC, la mise en place de V3V de régulation au départ du ou des circuits de chauffage (présentant strictement la même loi d'eau) ne sont plus nécessaires. La PAC est donc raccordée à un circuit à débit constant (aux robinets thermostatiques près). La PAC est de ce fait optimisée en température mais aussi en débit (cf. Schéma variante n°2).

Si la puissance appelée par l'installation de chauffage est répartie sur plusieurs PAC (cf. Schéma variante n°3), ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle.

- Zoom sur le volume hydraulique

Un volume hydraulique est placé à la sortie de la PAC. Ce volume, de par sa capacité et son mode de raccordement, doit permettre :

La mise en place d'un découplage entre la production et les émetteurs s'avère généralement nécessaire pour fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs.

- de fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs ;
- de créer une inertie suffisante afin d'éviter tous phénomènes de courts-cycles.

Le volume hydraulique peut assurer seul les fonctions de découplage et d'inertie (cf. schéma de base). Il est dans ce cas généralement de type parallèle 4 piquages et est raccordé en vis-à-vis des circuits de distribution de chauffage.

La capacité de ce volume doit être suffisante pour éviter tous phénomènes de courts-cycles. Elle est généralement supérieure à celle d'un volume tampon (ballon en série).

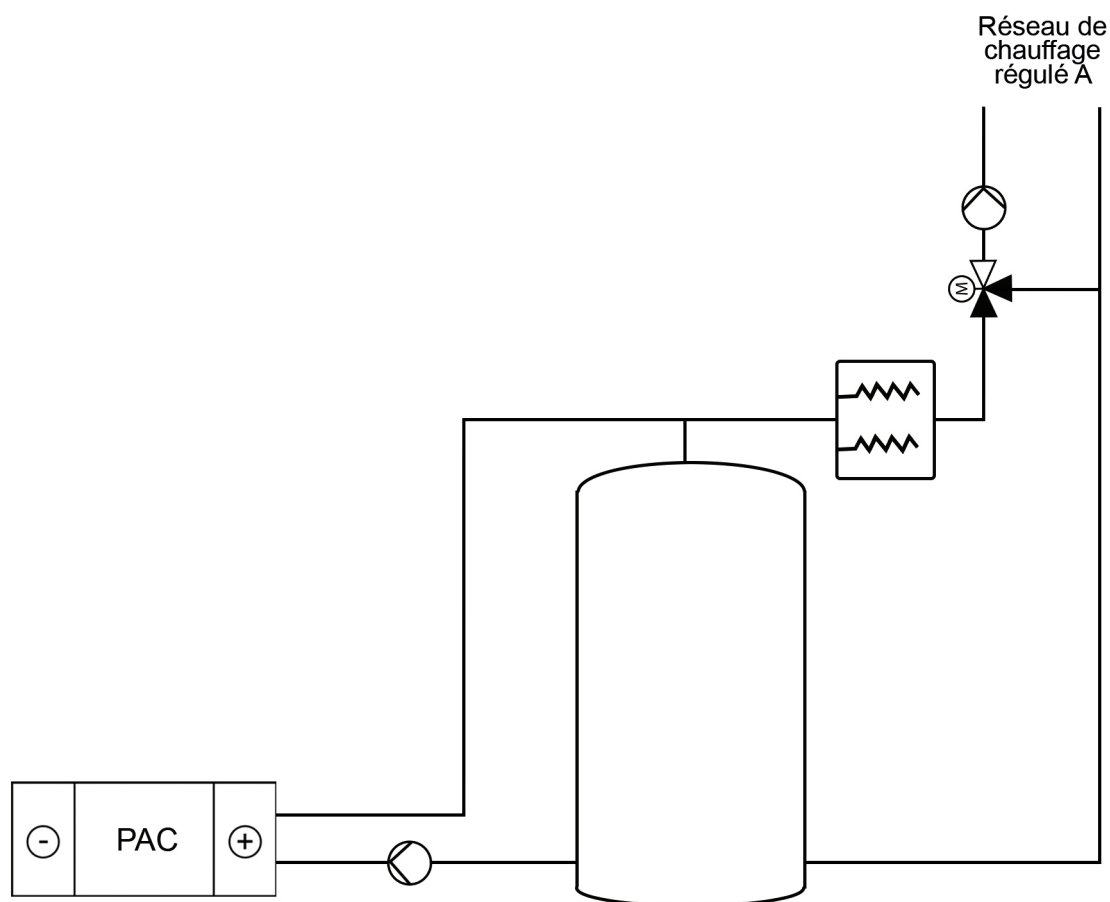
La bonne maîtrise de la stratification thermique au sein du volume est l'élément principal pour assurer une bonne gestion et une meilleure performance de l'installation globale. Elle doit permettre d'obtenir :

- une température de retour à la PAC la plus basse possible ;
- une température de départ du réseau secondaire la plus proche de la température de production de la PAC.

Une attention particulière doit être portée (sur les niveaux de piquages des différents réseaux, la géométrie du ballon, le volume dédié à la PAC et à celui à la chaudière) afin d'assurer une stratification optimale dans le volume hydraulique, pour éviter tout risque de mélange dans le volume et conserver un bas de ballon le plus froid possible.

Il peut être préféré au ballon 4 piquages, un ballon 3 piquages. Un raccordement type est proposé ci-dessous :

Figure 9 : Installation de production de chauffage par une PAC 100 % électrique – Volume hydraulique 3 piquages



Ce montage (comparativement à un montage 4 piquages) permet un débit traversant plus faible, une meilleure stratification (avec un remplissage de bas en haut), une température de retour PAC plus froide et une température de départ secondaire plus élevée.

Si le volume d'inertie nécessaire au bon fonctionnement de la ou des PAC est insuffisant avec un seul ballon, un second ballon doit être ajouté. Dans ce cas, il est raccordé en série entre le premier volume hydraulique et les PAC (cf. Schéma variante n°3).

Les fonctions de découplage et d'inertie peuvent être gérées séparément (cf. schéma variante n°1). Un volume tampon en série (2 piquages) couplé à un système de découplage peut être en effet préféré. Dans ce cas, le ballon (où est intégré l'appoint électrique) est placé en sortie de PAC.

- Zoom sur les circuits de distribution de chauffage

Le ou les réseaux de chauffage sont régulés et travaillent à faible température.

Le circuit de chauffage alimente plusieurs colonnes montantes ou bien une seule dans le cas d'une installation de CIC (Chauffage individuel Centralisé).

Si un réseau de chauffage unique est alimenté et que la régulation en fonction de la température extérieure est réalisée sur la PAC, la V3V au départ du réseau peut être supprimée.

Quand plusieurs réseaux de chauffage sont alimentés, leurs retours sont raccordés sur un collecteur unique.

Si les réseaux de chauffage sont régulés et présentent strictement la même loi d'eau, les V3V au départ de chacun des réseaux peuvent être supprimées. Par contre,

Si les réseaux de chauffage présentent des lois d'eau différentes, une régulation de température de production en fonction de l'extérieur évite la mise en place de la V3V de régulation sur le circuit alimenté aux températures les plus élevées (circuit radiateurs comparativement à un réseau plancher chauffant par exemple).

Si l'installation de chauffage présente plusieurs circuits de chauffage dont l'un est non régulé (à température constante) comme par exemple, une sous-station, une centrale de traitement d'air ou un aérotherme, il peut être envisagé de raccorder ce dernier à la PAC uniquement si :

- si le réseau est régulé ;
- la température maximale de départ de la PAC (à température extérieure de base) est au moins égale à la loi d'eau du réseau haute température (voir légèrement supérieure si une marge de sécurité doit être prévue).

Pour une CTA par exemple, une solution consiste à créer un talon bas (une « petite loi d'eau »). Alimenter la CTA à 70°C par température extérieure basse et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée, maintenir une alimentation à 50°C (voir moins selon le dimensionnement de la CTA) pour satisfaire la température de soufflage. Cette solution rend possible des retours d'eau à la PAC plus froids durant de nombreux jours de la période de chauffe. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

QUEL FONCTIONNEMENT DE LA RÉGULATION ?

- Zoom sur la PAC

La température de départ pour la PAC est préférée glissante. Cette régulation en fonction de l'extérieur est généralement assurée par le régulateur intégré à la PAC. Il s'agit de demander à la pompe à chaleur de produire une température d'eau variable selon la température extérieure mesurée.

La PAC module en puissance et en température pour satisfaire la consigne de température visée. Son fonctionnement est généralement commandé soit par la sonde de température placée en sortie de volume hydraulique (ou de bouteille de découplage selon le schéma hydraulique retenu) soit par la température de retour de la PAC. Certains fabricants proposent de mesurer en plusieurs points la température du volume hydraulique.

La bonne gestion des températures doit également permettre d'assurer le rendement maximal d'une PAC. Il convient de sélectionner une consigne départ PAC la plus proche possible de celle départ V3V, et ce pour conserver une V3V la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC, dans les meilleures conditions.

Dans le cas de plusieurs réseaux de chauffage présentant des lois d'eau différentes, la PAC produit la température de consigne la plus élevée, appelée par le réseau le plus demandeur.

La régulation peut être gérée par un régulateur externe. Ce dernier gère les circuits de chauffage et communique à la PAC l'information de la température de consigne à satisfaire (par l'intermédiaire d'un signal 0-10V ou d'un bus).

Il convient d'être attentif :

- au réglage de la courbe de chauffe. Elle doit être paramétrée à un niveau suffisant pour répondre aux besoins, sans plus. On portera d'autant plus d'attention à ce réglage en cas d'émetteurs surdimensionnés ;
- à l'emplacement de la sonde de température extérieure : au nord ou nord-ouest.

Certains régulateurs permettent de raccorder une sonde de température ambiante pour compenser la température d'eau délivrée. Elle sert à adapter la courbe de chauffe pour atteindre la consigne d'ambiance fixée.

La régulation doit justifier de fonctions avancées : optimisation des temps de relance, fonction de l'exposition ou des apports internes, Les plages horaires sont adaptées en fonction de l'occupation et selon l'activité. Par exemple, pour des bâtiments tertiaires il convient :

- d'abaisser le plus possible les températures ambiantes (vacances scolaires dans les établissements d'enseignement, nuits et les week-ends, bureaux inoccupés en permanence et ponctuellement, locaux peu occupés (salle de réunion, de restauration, ...) ;
- mais aussi limiter la température des locaux occupés (abaisser en hiver et augmenter en été).

Le circulateur fonctionne généralement en permanence. La mise en marche ou à l'arrêt du circulateur peut être automatisée selon un seuil de température extérieure. Le circulateur peut être placé en entrée de la pompe à chaleur, comme sur le schéma, ou en sortie.

Si plusieurs PAC sont nécessaires, elles sont mises en cascade. Cette dernière est hiérarchique (ou avec priorité). Si la consigne de température n'est pas satisfaite, lorsque la première PAC (la PAC maître) dépasse un certain niveau de taux de charge (80 % par exemple), le régulateur va libérer la seconde PAC (la PAC esclave) à sa charge minimale. Les deux PAC vont ensuite moduler jusqu'à atteindre leur taux de charge maximum. Si ce n'est pas suffisant, la régulation libère la demande d'appoints électriques.

Si le choix d'utiliser une PAC unique est retenu, il est préconisé de privilégier une gestion de la PAC par la régulation du fabricant (notamment en cas de PAC inverter). Cette gestion optimise le COP global de l'installation en engageant la deuxième machine avant que la première ne soit limitante et ainsi profiter des performances plus élevées à charge partielle.

Si la PAC est arrêtée par grands froids, la pompe d'irrigation reste en fonctionnement et un traçage des canalisations extérieures peut être prévu (natif si le module hydraulique est intégré à la PAC, à prévoir dans l'automate sinon).

- Zoom sur l'appoint électrique

La gestion de l'appoint est réalisée par la régulation de la PAC ou par l'automate du local technique. Celle réalisée directement par la régulation de la PAC permet de plus facilement intégrer les états de fonctionnement de la PAC (dégivrage en cours ou venant de se terminer, gestion des cycles compresseurs, état de charge des compresseurs, ...).

La sonde de régulation est généralement placée en sortie du volume hydraulique (ou du volume tampon). Lorsque la consigne de température d'eau n'est pas atteinte par la PAC, la ou les résistances d'appoint sont commandées en marche/arrêt pour assurer la consigne souhaitée.

L'appoint est généralement sollicité lorsque la température d'eau mesurée est inférieure d'environ 3 K à la température demandée, afin d'éviter une mise en marche intempestive. Une temporisation à l'enclenchement peut être prévue en complément en cas de dégivrage ou lors des phases de relance pour ne pas engendrer des surconsommations inutiles.

Le fonctionnement de l'appoint n'est généralement pas autorisé au-dessus d'un seuil de température extérieure, appelé point d'équilibre, qui doit être réglé.

Si plusieurs appoints électriques sont présents, ils s'enclencheront de façon étagée grâce aux relais temporisés par le fabricant. Les contacteurs de puissance ainsi que les relais temporisés sont raccordés au niveau de l'armoire électrique.

CONSEILS DE DIMENSIONNEMENT DES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES

- Circulateurs

La hauteur manométrique du circulateur de la PAC est égale aux pertes de charges de la PAC et de son circuit. Le débit du circulateur de la PAC est calculé pour la puissance de la PAC et pour la chute de température imposée par le fabricant. Il doit être supérieur au débit du réseau de chauffage pour éviter un mélange en sortie de bouteille horizontale qui conduirait à une température inférieure à celle produite par la PAC. Par contre, le sur débit ne doit pas être excessif afin de ne pas trop augmenter la température en entrée de PAC par recyclage d'eau chaude et risquer la mise en sécurité de la machine. Un sur débit de 5 % est recommandé.

Le débit du circulateur du réseau d'émetteurs est calculé pour la puissance installée et pour la chute de température nominale de dimensionnement des émetteurs. La hauteur manométrique du circulateur secondaire est égale aux pertes de charges de la branche la plus défavorisée du circuit d'émetteurs, et ce sans oublier la branche de la PAC. Pour limiter la variation de débit dans le circuit de chauffage et donc ne pas placer d'organe d'équilibrage sur la voie bipasse de la vanne à trois voies de régulation, il faut vérifier que la perte de charge dans le circuit de la PAC est inférieure au quart de la hauteur manométrique du circulateur.

- Vanne de régulation du circuit de chauffage

Pour assurer une autorité suffisante, de l'ordre de 0,5, la vanne de régulation doit être choisie avec une perte de charge au moins équivalente à la perte de charge de la PAC.

- Volume hydraulique et tampon

Le volume d'eau du réseau primaire doit pouvoir emmagasiner l'énergie fournie par la PAC durant son temps minimal de fonctionnement, généralement fourni dans les notices constructeurs.

ACCESSOIRES HYDRAULIQUES OBLIGATOIRES OU CONSEILLÉS

- Vannes d'équilibrage

Une vanne d'équilibrage placée en série avec le circulateur, généralement sur le retour de la bouteille de découplage, est nécessaire pour ajuster le point de fonctionnement du circulateur à vitesse constante afin que le débit soit conforme à celui spécifié par le fabricant de la PAC. Le réglage de la vanne permet d'éviter des sur débits qui engendrent des températures de retour plus élevées en entrée de PAC, préjudiciables à sa performance.

Des vannes d'équilibrage doivent également être placées sur le retour du réseau de radiateurs et sur le retour du plancher. Dans le cas d'un réseau de planchers chauffants, des vannes d'équilibrage doivent être installées sur chaque plancher (au niveau du distributeur ou du collecteur).

- Purgeur

L'installation doit comporter un purgeur situé au point haut du réseau. Il est également conseillé d'équiper le volume hydraulique par un purgeur en partie haute.

- Disconnecteur sur le réseau d'alimentation en eau

Pour une installation de chauffage seul, si le produit ajouté est utilisable pour une installation assurant la production d'ECS (par échange simple paroi) alors l'ensemble de protection doit être un Ca minimum. Si le produit ajouté est très toxique (DL 50 > 200 mg/kg), l'ensemble de protection doit être de type BA.

- Pot de décantation et filtre à tamis

L'installation d'un pot de décantation et d'un filtre à tamis est fortement conseillée en amont de la PAC (à minima le pot de décantation), sur la canalisation du réseau de chauffage, pour protéger la PAC de l'embouage et préserver un échange thermique optimal.

Le filtre à tamis doit avoir un diamètre au moins égal au diamètre du réseau de distribution.

L'installation d'une chasse est conseillée en bas de la bouteille pour permettre d'évacuer les boues.

- Thermostat de sécurité sur le départ du plancher

La mise en place d'un thermostat de sécurité sur le départ des planchers chauffants est obligatoire. Il doit être à réarmement manuel, indépendant de la régulation et fonctionnant mécaniquement, sans alimentation électrique. En cas de dépassement de température, il doit arrêter la PAC, l'appoint électrique et éventuellement le circulateur.

- Vase d'expansion

Un vase d'expansion doit être positionné, de préférence en amont de la PAC et entre la bouteille et la PAC.

- Robinets thermostatiques

Des robinets thermostatiques doivent équiper les radiateurs. Une soupape de pression différentielle représentée permet d'éviter le fonctionnement du circulateur à un point trop élevé sur sa caractéristique et les nuisances sonores induites lorsque les robinets thermostatiques se ferment. Dans ce cas, elle s'ouvre sous l'effet de l'augmentation de pression différentielle. Elle doit être réglée à la hauteur manométrique du point de fonctionnement nominal du circulateur.

L'ensemble constitué du circulateur à vitesse fixe et de la soupape de pression différentielle peut être remplacé par un circulateur à vitesse variable car la présence du volume hydraulique à quatre piquages assure le découplage hydraulique avec le circuit primaire. Le débit est donc maintenu dans la PAC.

4.3.2 SCHEMA-TYPE B : HYBRIDATION TOTALE AVEC CHAUDIÈRE EN RELEVÉ

Ce schéma comprend une PAC et une chaudière (en relèvement) assurant ensemble la production de chauffage. Aucune production d'eau chaude sanitaire ou de froid n'est assurée par l'installation.

Ce montage est pertinent si la chaudière se maintient à une température relativement basse pour alimenter un ou plusieurs réseaux de chauffage régulés travaillant à faible température.

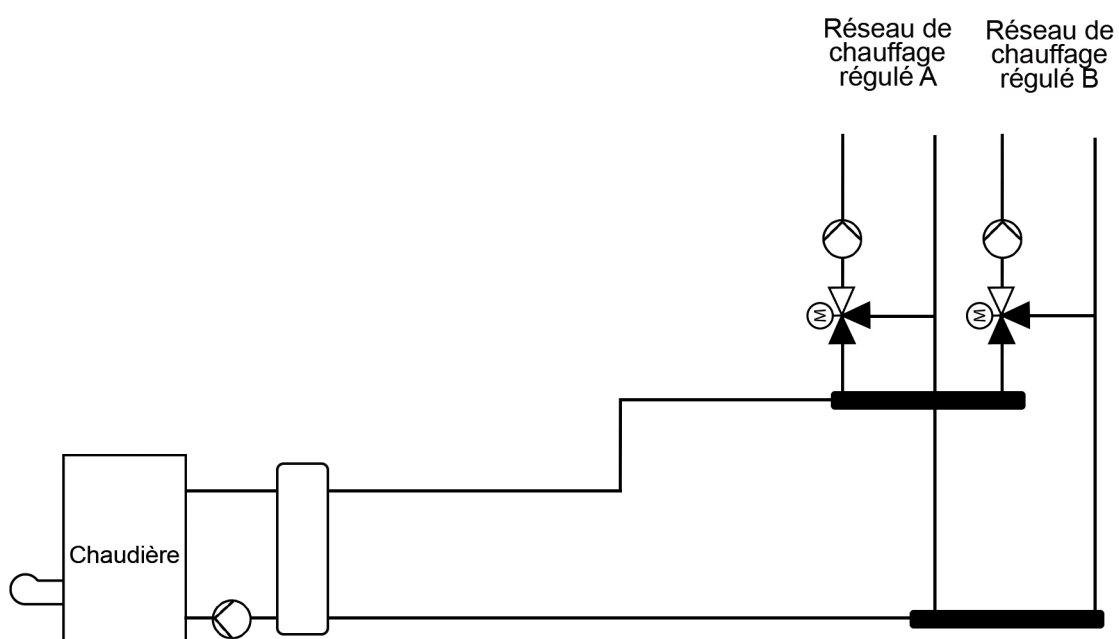
Seuls les circuits régulés avec loi d'eau sont autorisés pour ce schéma. Ceci pour permettre de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

POUR QUELLES CONFIGURATIONS HYDRAULIQUES DE BASE ?

Situation initiale

- la chaudière est simple usage (production de chauffage uniquement) ;
- la chaudière produit à température fixe ou variable ;
- la chaudière est contrainte en débit (équipée d'une pompe de charge en série raccordée à une bouteille de découplage) ;
- chaque réseau de chauffage est équipé d'une V3V de régulation.

Figure 10 : Installation de production de chauffage seule par une chaudière avec bouteille de découplage

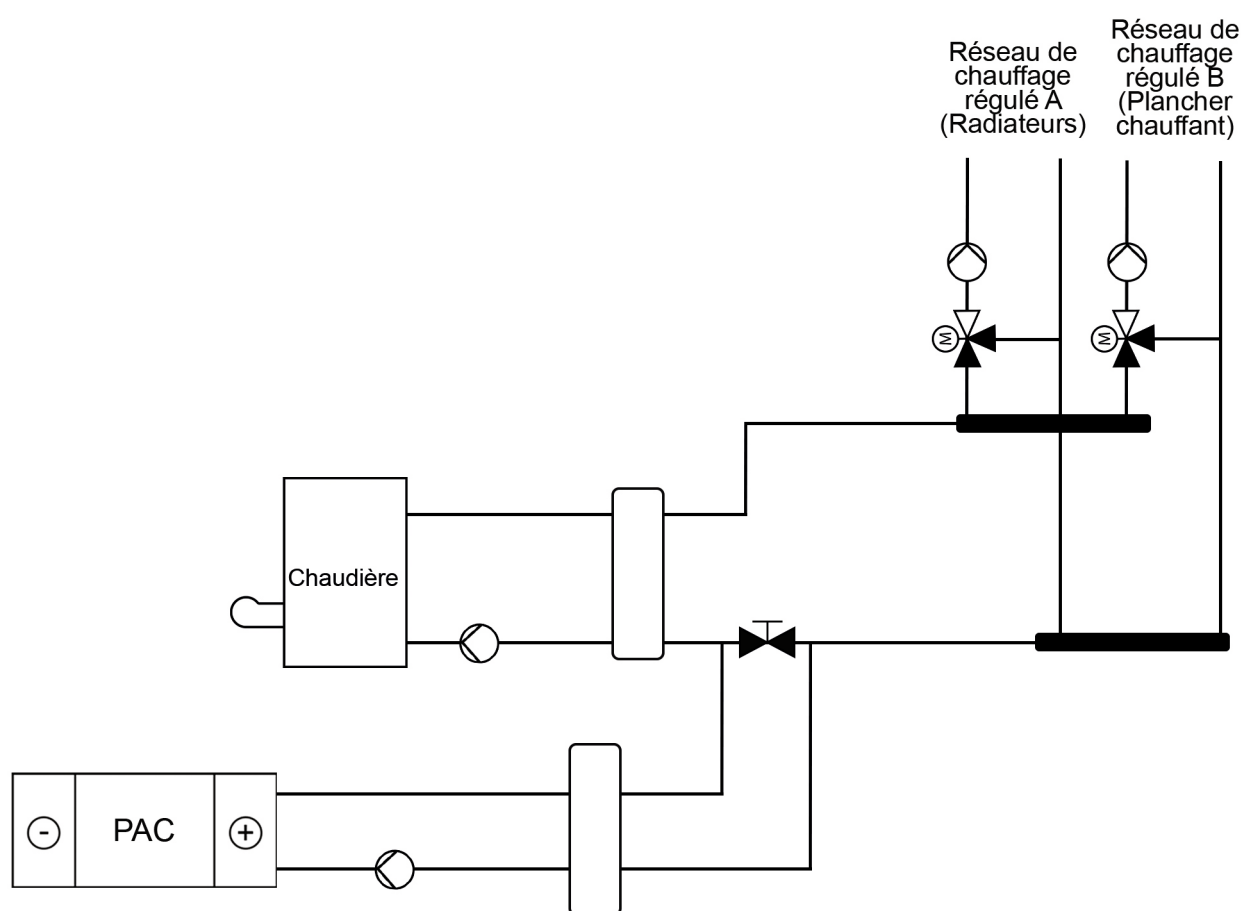


DESCRIPTION GÉNÉRALE ET SCHÉMA DE PRINCIPE

Solution de rénovation : schéma de base

Il convient pour des chaudières avec contrainte de débit. Il est de type « raccordement en série par réchauffage des retours de chaudière ».

Figure 11 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière avec bouteille de découplage – PAC AVEC volume hydraulique



L'installation de chauffage comporte :

- une PAC raccordée en dérivation sur le retour du circuit primaire et alimentée en direct par les retours des circuits de chauffage ;
- un volume hydraulique placé à la sortie de la PAC et raccordé en vis-à-vis. Il permet à la fois de gérer une totale indépendance hydraulique de la PAC mais aussi d'éviter tous phénomènes de courts-cycles de cette dernière ;
- une chaudière, raccordée en série (la PAC est en préchauffage des retours chaudière). La chaudière est équipée d'une pompe de charge en série raccordée à une bouteille de découplage ;
- une vanne à trois voies directionnelle en sortie de chaudière ;
- deux circuits de distribution de chauffage travaillant à faible température, raccordés par un ensemble collecteur-distributeur et régulés en fonction de l'extérieur par V3V.

Il convient de choisir, quand cela est possible, une température de production glissante plutôt qu'une température de départ constante, en adoptant une régulation en fonction de l'extérieur agissant directement sur le(s) générateur(s).

Solution de rénovation : schéma variante 1

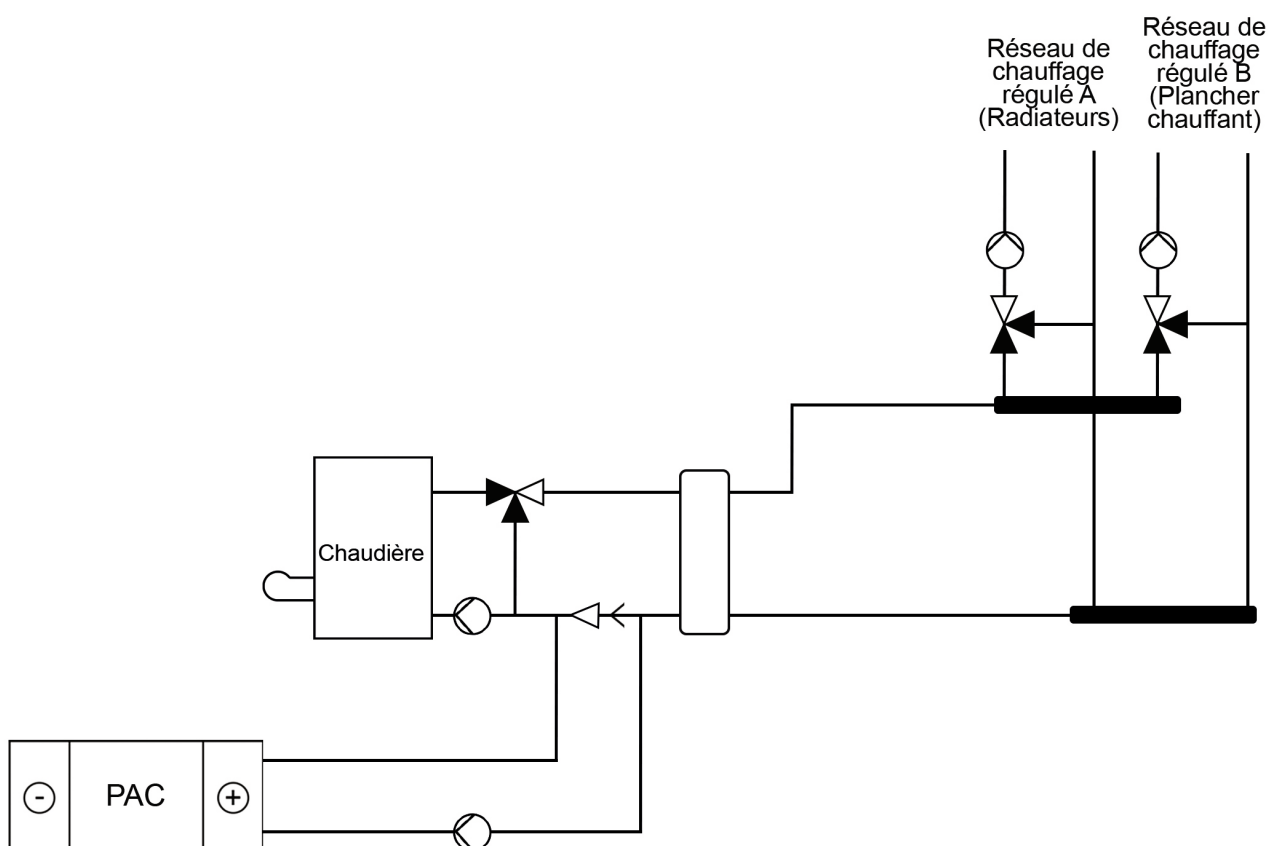
La PAC est raccordée en dérivation sur le retour du circuit primaire. La volume hydraulique raccordé à la PAC est remplacé par un bypass avec clapet anti-retour. Ce dernier est impératif pour éviter un recyclage en entrée de PAC en cas de fermeture de la vanne à trois voies.

Pour les variantes 1 et 2, une compatibilité entre le débit traversant la PAC et celui traversant la chaudière doit être trouvée. Attention, à la puissance de la PAC comparativement à celle de la chaudière. Pour rappel, les PAC fonctionnent avec un faible écart de température entre le départ et le retour (de l'ordre de 5K), ce qui implique des débits d'eau très élevés en comparaison avec ceux mis en jeu dans le fonctionnement de la chaudière.

Lorsque la vanne est fermée, il convient de vérifier que les pertes de charge du circuit n'engendrent pas de réduction notable du débit de la pompe de la PAC et que le débit est suffisant pour éviter les phénomènes de retour inverse dans la bouteille de découplage de l'installation.

- Une vanne à trois voies directionnelle est placée en sortie de chaudière.

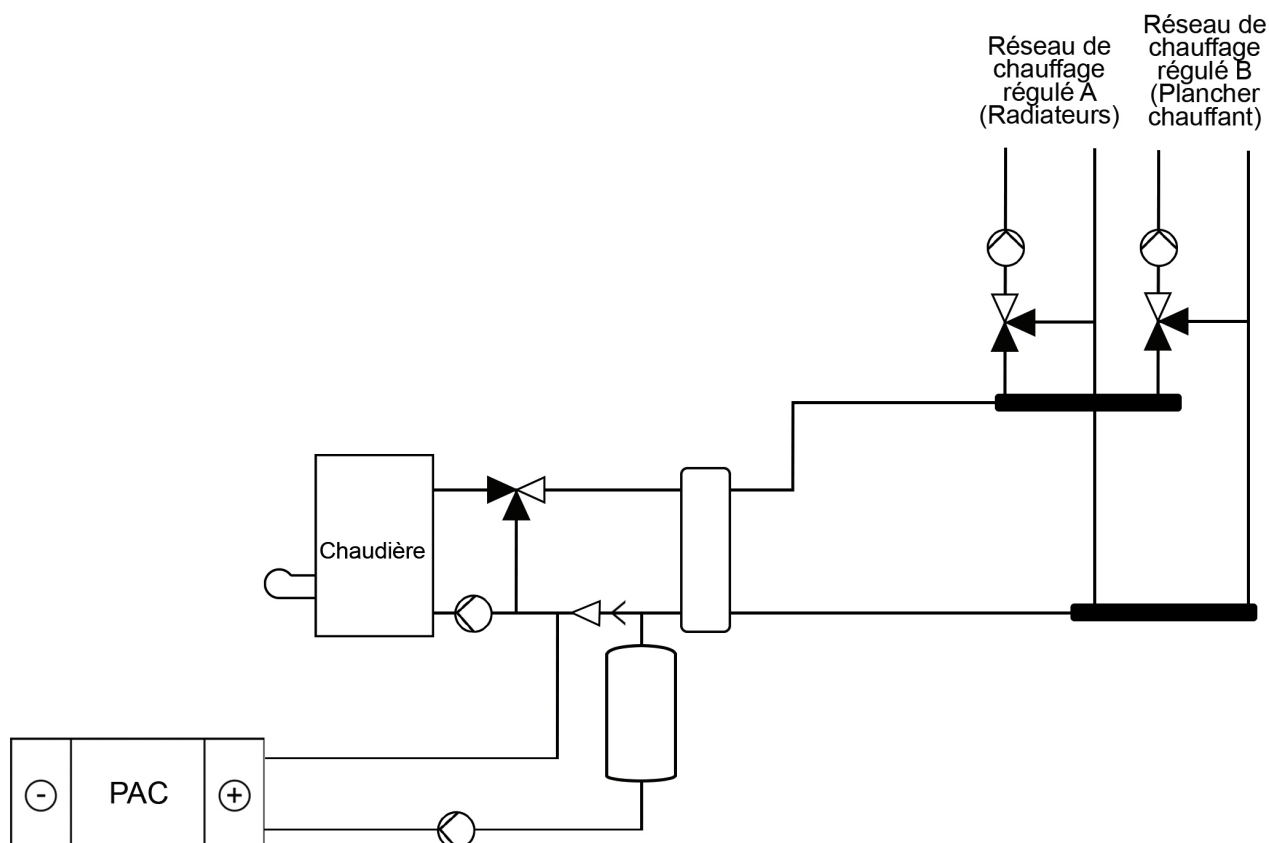
Figure 12 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière avec bouteille de découplage – PAC SANS volume tampon



Solution de rénovation : schéma variante 2

Lorsque l'inertie thermique est insuffisante, l'installation d'une capacité tampon en série avec la PAC peut être envisagée.

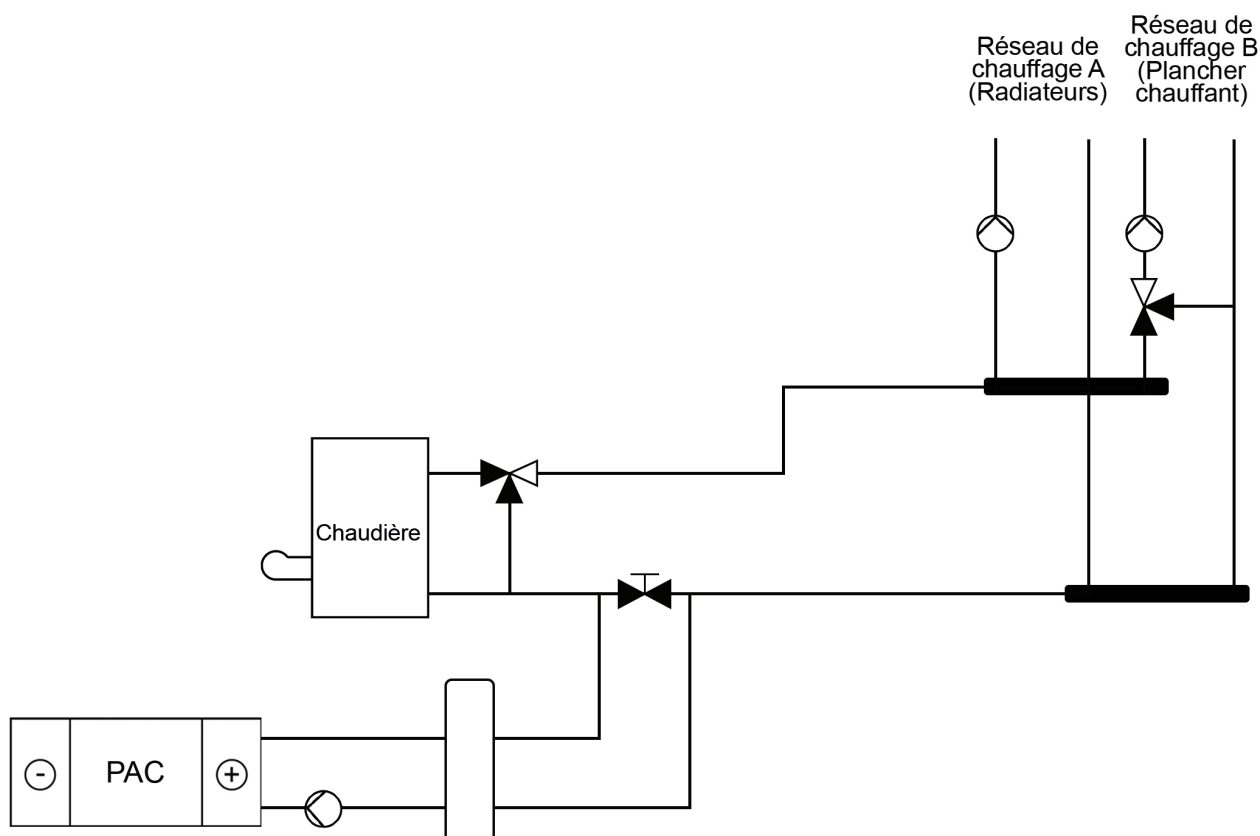
Figure 13 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière à température fixe – PAC avec volume tampon



Solution de rénovation : schéma variante 3

Si la chaudière n'est pas contrainte ni en débit, ni en température et que sa production se fait à température glissante en fonction de la température extérieure, le schéma hydraulique suivant peut être suivi :

Figure 14 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière SANS bouteille de découplage – Températures de production glissantes



L'installation comporte deux circuits de distribution de chauffage travaillant à faible température, raccordés par un ensemble collecteur-distributeur et régulés en fonction de l'extérieur par la production pour le circuit à plus haute température ou par V3V pour l'autre. Si l'ensemble des réseaux de chauffage alimentés justifie de la même loi d'eau, l'ensemble des V3V de régulation peuvent être supprimées. Dans ce cas, le débit au secondaire du volume hydraulique est constant.

Le volume hydraulique placé à la sortie de la PAC et raccordé en vis-à-vis II permet à la fois de gérer une totale indépendance hydraulique de la PAC mais aussi d'éviter tous phénomènes de courts-cycles de cette dernière.

POUR QUELLE APPLICATION ?

Ce montage peut être mis en œuvre en rénovation (que la chaudière soit existante ou non) et en neuf. Il peut être appliqué en habitat collectif et en tertiaire.

La PAC est raccordée sur le retour général des circuits de chauffage. Seuls les circuits régulés avec loi d'eau sont autorisés pour ce schéma.

Ce montage est pertinent si la chaudière se maintient à une température relativement basse pour alimenter un ou plusieurs réseaux de chauffage régulés travaillant à faible température.

QUEL FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ?

- Zoom sur la chaudière

La chaudière est placée en série sur le départ des circuits de chauffage. Elle assure l'appoint en élevant la température d'eau pré-chauffée par la PAC.

La chaudière est de type un seul retour. Sa température de départ est fixe ou glissante (à privilégier).

Le débit est variable dans la chaudière selon l'ouverture des vannes à trois voies de régulation.

Si la puissance appelée par la chaufferie est répartie sur plusieurs chaudières, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle.

Pour éviter une irrigation permanente de la chaudière, une vanne à trois voies directionnelle est prévue en sortie de chaudière (sauf pour le schéma de base où la présence d'une bouteille de découplage pour la chaudière la rend inutile). Lorsque la chaudière est autorisée à fonctionner, la vanne s'ouvre. Par contre, lorsque la chaudière est mise à l'arrêt, elle se ferme.

- Zoom sur la PAC

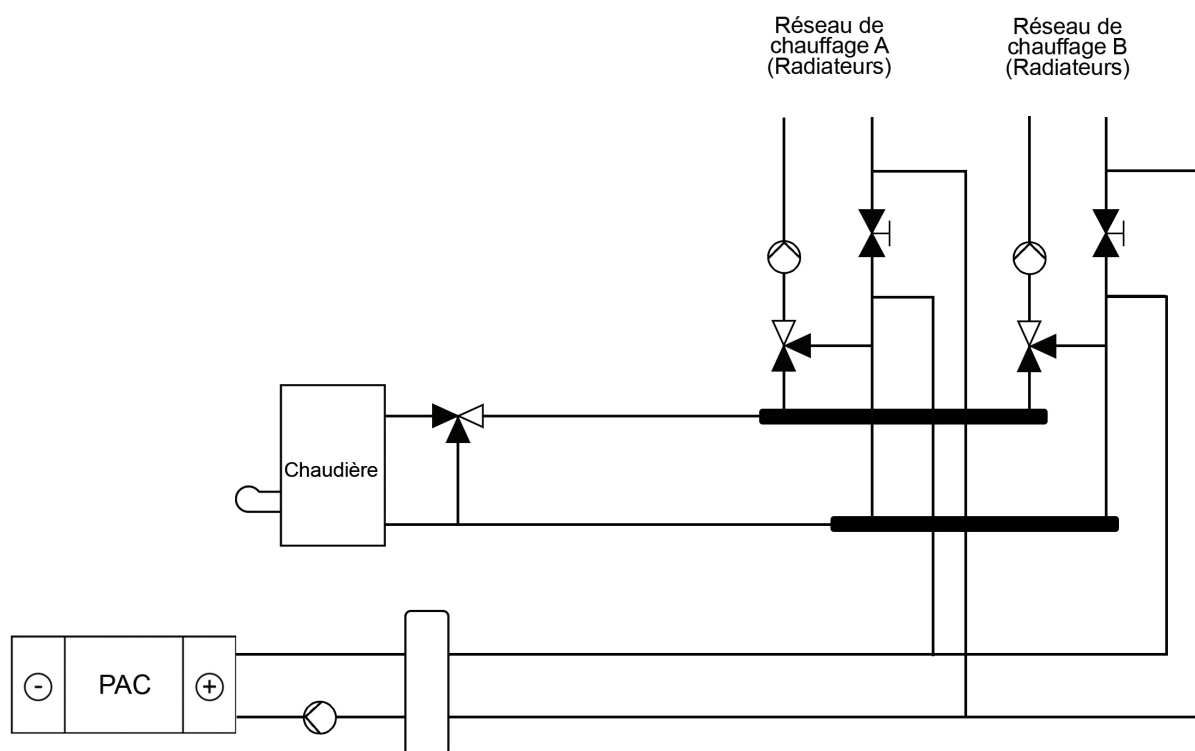
La PAC est raccordée en dérivation sur le retour général de l'installation de chauffage. La PAC est de ce fait optimisée en température. Ce montage permet d'assurer une priorité de fonctionnement de la PAC sur la chaudière.

Si la régulation de température en fonction de l'extérieur est directement gérée par la PAC, la mise en place de V3V de régulation au départ du ou des circuits de chauffage ne sont plus nécessaires (uniquement si les réseaux justifient de la même loi d'eau). La PAC est de ce fait optimisée en température mais aussi en débit.

Si le ou les réseaux de chauffage sont pilotés en fonction de la température extérieure par la ou les V3V, la PAC est raccordée sur un circuit dont le débit varie, notamment selon l'ouverture de la vanne à trois voies du circuit de chauffage (cf. Schéma de base).

Dans ce cas il est pertinent de raccorder la PAC en dérivation sur le retour d'un ou de plusieurs circuits secondaires (justifiant de la même loi d'eau), en amont des V3V. La PAC est donc raccordée à un circuit à débit constant (ou robinets thermostatiques près). La PAC est de ce fait optimisée en température mais aussi en débit.

Figure 15 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière SANS bouteille de découplage – Températures de production glissantes – PAC raccordée en amont des V3V



Si la puissance appelée par l'installation de chauffage est répartie sur plusieurs PAC, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle. La répartition homogène de la puissance sur plusieurs PAC permet :

- de sécuriser la production en cas de défaillance d'une des machines (jusqu'à des températures extérieures relativement basses) ;
- d'augmenter la plage de modulation globale de l'installation thermodynamique ;
- d'optimiser les performances en fonctionnement normal (risque de cyclage des PAC limité) ;
- permet, lors de séquence de dégivrage d'une des PAC, de conserver de la puissance disponible pour le réseau et d'éviter un refroidissement du circuit primaire trop important.

- Zoom sur le volume hydraulique

Un volume hydraulique est placé à la sortie de la PAC. Ce volume, de par sa capacité et son mode de raccordement, doit permettre :

- d'assurer en permanence le débit minimal d'irrigation de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs ;
- de maintenir un débit constant dans la PAC et conforme à l'écart de température d'eau de 5 à 7 K requis pour la machine, en particulier lorsque plusieurs circuits équipés d'émetteurs différents sont alimentés ;
- de créer une inertie suffisante afin d'éviter tous phénomènes de courts-cycles.

Le volume hydraulique peut assurer seul les fonctions de découplage et d'inertie (cf. schéma de base). Il est dans ce cas généralement de type parallèle 4 piquages et est raccordé en vis-à-vis des circuits de distribution de chauffage.

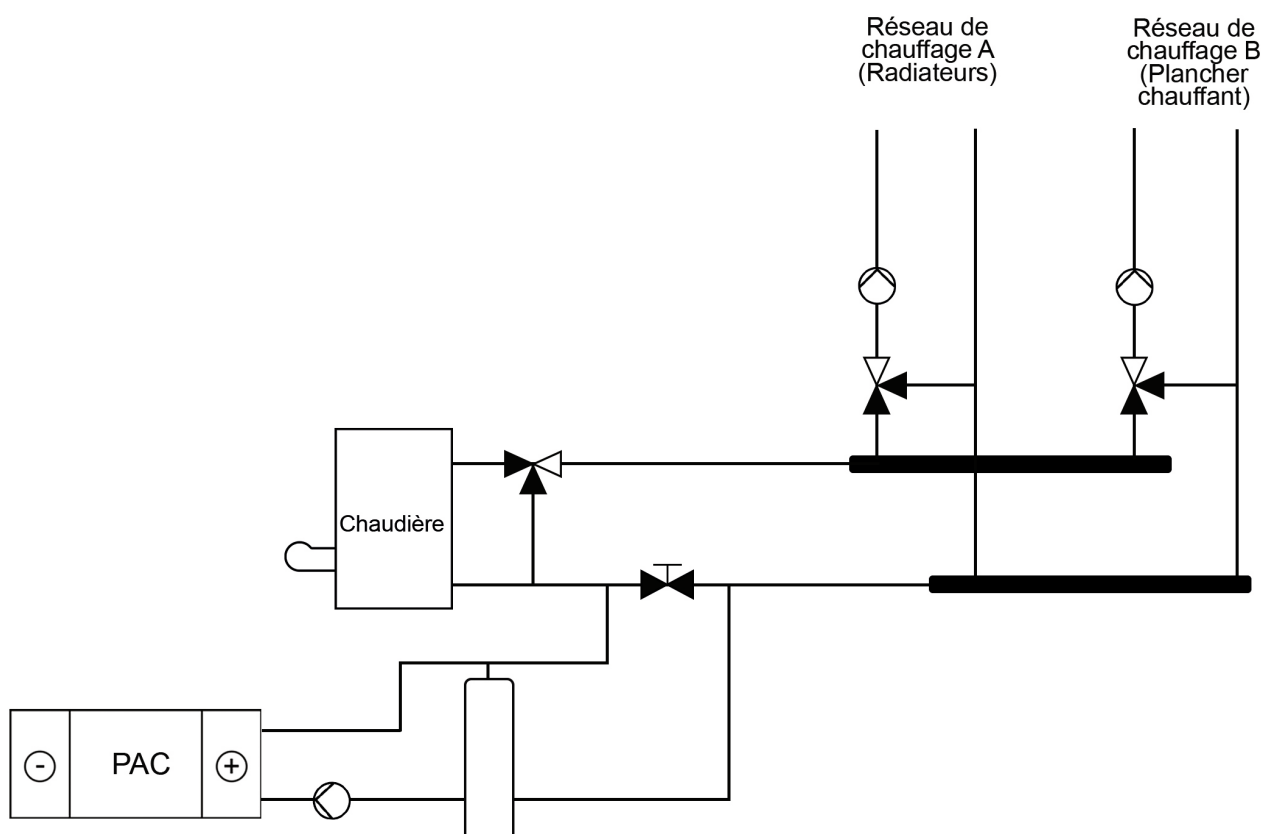
La bonne maîtrise de la stratification thermique au sein du volume est l'élément principal pour assurer une bonne gestion et une meilleure performance de l'installation globale. Elle doit permettre d'obtenir :

- une température de retour à la PAC la plus basse possible ;
- une température de départ du réseau secondaire la plus proche de la température de production de la PAC.

Une attention particulière doit être portée (sur les niveaux de piquages des différents réseaux, la géométrie du ballon, le volume dédié à la PAC et à celui à la chaudière) afin d'assurer une stratification optimale dans le volume hydraulique, pour éviter tout risque de mélange dans le volume et conserver un bas de ballon le plus froid possible.

Il peut être préféré au ballon 4 piquages, un ballon 3 piquages. Un raccordement type est proposé ci-dessous :

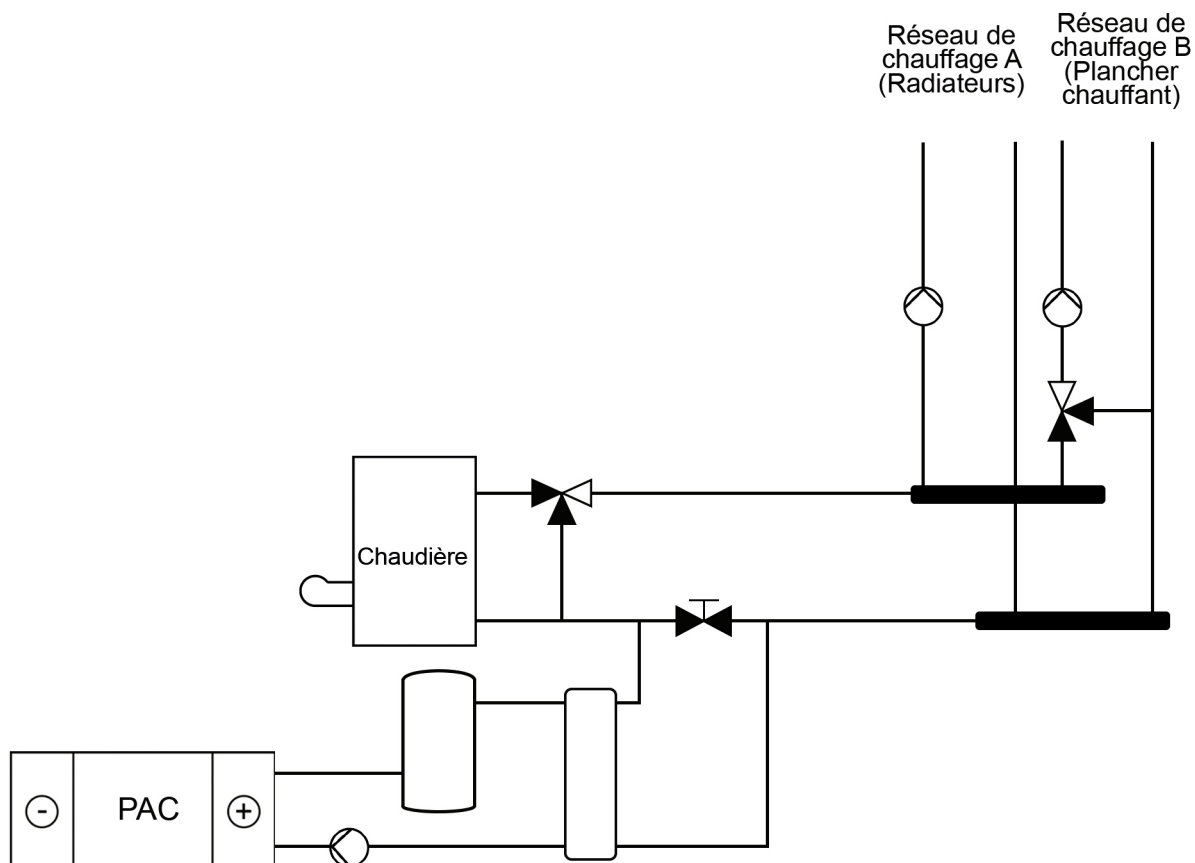
Figure 16 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière SANS bouteille de découplage – Températures de production glissantes – Volume hydraulique 3 piquages



Ce montage (comparativement à un montage 4 piquages) permet un débit traversant plus faible, une meilleure stratification (avec un remplissage de bas en haut), une température de retour PAC plus froide et une de départ secondaire plus élevée. Si le volume d'inertie nécessaire au bon fonctionnement de la ou des PAC est insuffisant avec un seul ballon, un second ballon doit être ajouté. Dans ce cas, il est raccordé en série entre le premier volume hydraulique et les PAC.

Les fonctions de découplage et d'inertie peuvent être gérées séparément. Un volume tampon en série (2 piquages) couplé à un système de découplage peut être en effet préféré. Dans ce cas, le ballon (où est intégré l'appoint électrique) est placé en sortie de PAC.

Figure 17 : Raccordement en série par réchauffage des retours – avec volume tampon en série + bouteille de découplage

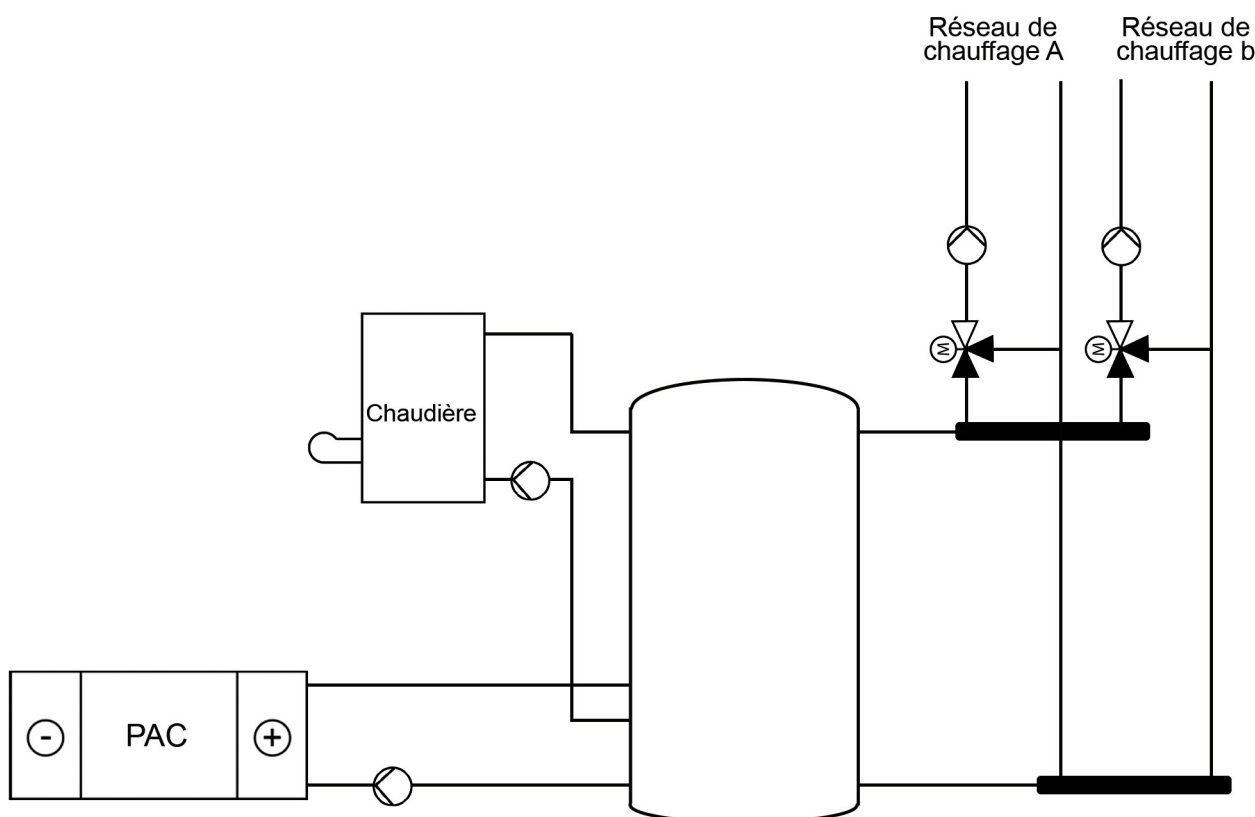


L'implantation du volume tampon sur le départ de la PAC est recommandée pour limiter les incidences causées par l'inversion de cycle de la PAC. L'entrée se situe en partie basse du volume et la sortie vers les circuits en partie haute. L'eau la plus chaude se trouvera en partie haute du fait de la stratification.

L'implantation du volume tampon sur le retour de la PAC permet améliorer le fonctionnement de la régulation de la PAC. Dans ce cas, l'entrée dans le volume se situe en partie haute (eau provenant réseau de chauffage) et la sortie en partie basse (eau qui retourne à la PAC).

Autre solution pouvant se justifier, notamment pour une simplification hydraulique et de régulation (notamment dans le cadre d'une rénovation). Un volume hydraulique en parallèle où est intégré la PAC en partie basse et la chaudière en partie haute. Un raccordement type est proposé :

Figure 18 : Raccordement en série par réchauffage des retours – avec ballon d'inertie en parallèle bi-énergie



Une attention particulière doit être portée (sur les niveaux de piquages des différents réseaux, la géométrie du ballon, le volume dédié à la PAC et à celui à la chaudière) afin d'assurer une stratification optimale dans le volume hydraulique, pour éviter tout risque de mélange dans le volume. Un ballon hautement stratifié doit être sélectionné.

- Zoom sur les circuits de distribution de chauffage

Le ou les réseaux de chauffage sont régulés et travaillent à faible température.

Le circuit de chauffage alimente plusieurs colonnes montantes ou bien une seule dans le cas d'une installation de CIC (Chauffage individuel Centralisé).

Si un réseau de chauffage unique est alimenté et que la régulation en fonction de la température extérieure est réalisée sur la PAC, la V3V au départ du réseau peut être supprimée.

Quand plusieurs réseaux de chauffage sont alimentés, leurs retours sont raccordés sur un collecteur unique.

Si les réseaux de chauffage sont régulés et présentent strictement la même loi d'eau, les V3V au départ de chacun des réseaux peuvent être supprimées.

Si les réseaux de chauffage présentent des lois d'eau différentes, une régulation de température de production en fonction de l'extérieur évite la mise en place de la V3V de régulation sur le circuit alimenté aux températures les plus élevées (circuit radiateurs comparativement à un réseau plancher chauffant par exemple).

Si l'installation de chauffage présente plusieurs circuits de chauffage dont l'un est non régulé (à température constante) comme par exemple, une sous-station, une centrale de traitement d'air ou un aérotherme, il est préféré un raccordement en hybridation partielle. Il peut être néanmoins envisagé de raccorder ce dernier à la PAC uniquement si :

- la PAC est haute température ;
- si le réseau justifie d'une température de départ limitée (conforme aux recommandations fabricants) ;
- si le réseau est régulé.

Pour une CTA par exemple, une solution consiste à créer un talon bas (une « petite loi d'eau »). Alimenter la CTA à 70°C par température extérieure basse et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée, maintenir une alimentation à 50°C (voir moins selon le dimensionnement de la CTA) pour satisfaire la température de soufflage. Cette solution rend possible des retours d'eau à la PAC plus froids durant de nombreux jours de la période de chauffe. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

QUEL FONCTIONNEMENT DE LA RÉGULATION ?

• Zoom sur la chaudière

La température de départ de la chaudière est préférée glissante. Elle est dans ce cas régulée en fonction de la température extérieure, soit par le régulateur intégré à la chaudière, soit par un régulateur en tableau électrique avec transmission de la consigne de température par signal de type 0-10 V ou par bus de communication.

Le paramétrage est adapté au circuit à température la plus élevée, radiateurs par exemple.

Le circuit de chauffage à plus basse température (circuit A sur le schéma) est régulé en fonction de l'extérieur par vanne à trois voies. La sonde de température extérieure doit toujours être implantée sur une paroi nord, voire nord-ouest. Dans le cas de régulateurs communicants, il est fait l'économie d'une sonde.

• Zoom sur la PAC

La température de départ pour la PAC est préférée glissante. Cette régulation en fonction de l'extérieur est généralement assurée par le régulateur intégré à la PAC. Il s'agit de demander à la pompe à chaleur de produire une température d'eau variable selon la température extérieure mesurée.

La PAC module en puissance et en température pour satisfaire la consigne de température située. Son fonctionnement est généralement commandé par la sonde de température placée en sortie de volume hydraulique (ou de bouteille de découplage selon le schéma hydraulique retenu) soit par la température de retour de la PAC. Certains fabricants proposent de mesurer en plusieurs points la température du volume hydraulique.

La bonne gestion des températures doit également permettre d'assurer le rendement maximal d'une PAC. Il convient de sélectionner une consigne départ PAC la plus proche possible de celle départ V3V, et ce pour conserver une V3V la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC, dans les meilleures conditions.

Dans le cas de plusieurs réseaux de chauffage présentant des lois d'eau différentes, la PAC produit la température de consigne la plus élevée, appelée par le réseau le plus demandeur.

La régulation peut être gérée par un régulateur externe. Ce dernier gère les circuits de chauffage et communique à la PAC l'information de la température de consigne à satisfaire (par l'intermédiaire d'un signal 0-10V ou d'un bus).

Il convient d'être attentif :

- au réglage de la courbe de chauffe. Elle doit être paramétrée à un niveau suffisant pour répondre aux besoins, sans plus. On portera d'autant plus d'attention à ce réglage en cas d'émetteurs surdimensionnés ;
- à l'emplacement de la sonde de température extérieure : au nord ou nord-ouest.

Certains régulateurs permettent de raccorder une sonde de température ambiante pour compenser la température d'eau délivrée. Elle sert à adapter la courbe de chauffe pour atteindre la consigne d'ambiance fixée.

Il est recommandé d'assurer la régulation de la PAC et de la chaudière à partir d'un même automate (notamment pour s'assurer de la bonne harmonisation des paramètres de chauffe des deux générateurs. La sonde de température extérieure doit être unique (et éviter l'implantation de deux sondes à des endroits différents, soumises à des conditions extérieures différentes).

L'automate doit justifier de fonctions avancées : optimisation des temps de relance, fonction de l'exposition ou des apports internes, Les plages horaires sont adaptées en fonction de l'occupation et selon l'activité. Par exemple, pour des bâtiments tertiaires il convient :

- d'abaisser le plus possible les températures ambiantes (vacances scolaires dans les établissements d'enseignement, nuits et les week-ends, bureaux inoccupés en permanence et ponctuellement, locaux peu occupés (salle de réunion, de restauration, ...) ;
- mais aussi limiter la température des locaux occupés (abaisser en hiver et augmenter en été).

Le circulateur fonctionne généralement en permanence. La mise en marche ou à l'arrêt du circulateur peut être automatisée selon un seuil de température extérieure. Le circulateur peut être placé en entrée de la pompe à chaleur, comme sur le schéma, ou en sortie.

Si plusieurs PAC sont nécessaires, elles sont mises en cascade. Cette dernière est hiérarchique (ou avec priorité). Si la consigne de température n'est pas satisfaite, lorsque la première PAC (la PAC maître) dépasse un certain niveau de taux de charge (80 % par exemple), le régulateur va libérer la seconde PAC (la PAC esclave) à sa charge minimale. Les 2 PAC vont ensuite moduler jusqu'à atteindre leur taux de charge maximum. Si ce n'est pas suffisant, la régulation libère la demande d'appoints électriques.

Une attention particulière doit être apportée sur le choix des consignes de température entre la chaudière et la PAC. Un déséquilibre important entre la loi d'eau PAC (trop élevée) et la loi d'eau chaudière entraînera une surchauffe du circuit sur laquelle la PAC est raccordée. La consigne PAC doit être égale à la consigne du circuit régulé sur laquelle elle est raccordée. L'index loi d'eau chaudière doit être légèrement supérieure à l'index loi d'eau de la PAC. L'objectif est de calquer les paramètres de régulation des circuits de chauffage vers la régulation PAC en veillant à harmoniser les paramètres de chauffages entre la PAC et la chaudière (loi d'eau, programmation horaire, température ambiance, ...). Les 2 lois d'eau doivent de suivre (parallèles) avec une légère translation (de l'ordre de 3K).

La PAC assure à elle seule le confort à mi saison et maintien la chaudière dans son hystérésis de relance. Par température extérieure plus basse, la chaudière est sollicitée assurer la température souhaitée sur le départ du circuit chauffage.

Dans le cas spécifique d'un montage avec ballon d'inertie bi-énergie :

- La PAC régule sa température de départ en regard de la température en bas de ballon ;
- La chaudière régule sa température de départ en regard de la température en bas de ballon.

CONSEILS DE DIMENSIONNEMENT DES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES

• Circulateurs

La hauteur manométrique du circulateur de la PAC est égale aux pertes de charges de la PAC et de son circuit. Le débit du circulateur de la PAC est calculé pour la puissance de la PAC et pour la chute de température imposée par le fabricant. Il doit être supérieur au débit du réseau de chauffage pour éviter un mélange en sortie de bouteille horizontale qui conduirait à une température inférieure à celle produite par la PAC. Par contre, le sur débit ne doit pas être excessif afin de ne pas trop augmenter la température en entrée de PAC par recyclage d'eau chaude et risquer la mise en sécurité de la machine. Un sur débit de 5 % est recommandé.

Le débit du circulateur du réseau d'émetteurs (et traversant la chaudière) est calculé pour la puissance installée et pour la chute de température nominale de dimensionnement des émetteurs. La hauteur manométrique du circulateur secondaire est égale aux pertes de charges de la branche la plus défavorisée du circuit d'émetteurs, et ce sans oublier la branche de la chaudière. Pour limiter la variation de débit dans le circuit de chauffage et donc ne pas placer d'organe d'équilibrage sur la voie bipasse de la vanne à trois voies de régulation, il faut vérifier que la perte de charge dans le circuit de la chaudière est inférieure au quart de la hauteur manométrique du circulateur.

• Vanne de régulation du circuit de chauffage

Pour assurer une autorité suffisante, de l'ordre de 0,5, la vanne de régulation doit être choisie avec une perte de charge au moins équivalente à la perte de charge de la chaudière.

• Volume hydraulique et tampon

Le volume d'eau du réseau primaire doit pouvoir emmagasiner l'énergie fournie par la PAC durant son temps minimal de fonctionnement, généralement fourni dans les notices constructeurs.

ACCESSOIRES HYDRAULIQUES OBLIGATOIRES OU CONSEILLÉS

- Vannes d'équilibrage

Une vanne d'équilibrage placée en série avec le circulateur, généralement sur le retour de la bouteille de découplage, est nécessaire pour ajuster le point de fonctionnement du circulateur à vitesse constante afin que le débit soit conforme à celui spécifié par le fabricant de la PAC. Le réglage de la vanne permet d'éviter des sur débits qui engendrent des températures de retour plus élevées en entrée de PAC, préjudiciables à sa performance.

Des vannes d'équilibrage doivent également être placées sur le retour du réseau de radiateurs et sur le retour du plancher. Dans le cas d'un réseau de planchers chauffants, des vannes d'équilibrage doivent être installées sur chaque plancher (au niveau du distributeur ou du collecteur).

- Purgeur

L'installation doit comporter un purgeur situé au point haut du réseau. Il est également conseillé d'équiper la bouteille par un purgeur en partie haute.

- Disconnecteur sur le réseau d'alimentation en eau

Pour une installation de chauffage seul, si le produit ajouté est utilisable pour une installation assurant la production d'ECS (par échange simple paroi) alors l'ensemble de protection doit être un Ca minimum. Si le produit ajouté est très toxique (DL 50 > 200 mg/kg), l'ensemble de protection doit être de type BA.

- Pot de décantation et filtre à tamis

L'installation d'un pot de décantation et d'un filtre à tamis est fortement conseillée en amont de la PAC (à minima le pot de décantation), sur la canalisation du réseau de chauffage, pour protéger la PAC de l'embouage et préserver un échange thermique optimal.

Le filtre à tamis doit avoir un diamètre au moins égal au diamètre du réseau de distribution.

L'installation d'une chasse est conseillée en bas de la bouteille pour permettre d'évacuer les boues.

- Thermostat de sécurité sur le départ du plancher

La mise en place d'un thermostat de sécurité sur le départ des planchers chauffants est obligatoire. Il doit être à réarmement manuel, indépendant de la régulation et fonctionnant mécaniquement, sans alimentation électrique. En cas de dépassement de température, il doit arrêter la PAC, l'appoint électrique et éventuellement le circulateur.

- Vase d'expansion

Un vase d'expansion doit être positionné, de préférence en amont de la PAC et entre la bouteille et la PAC.

4.3.3 SCHEMA-TYPE C : HYBRIDATION PARTIELLE AVEC CHAUDIÈRE EN RELEVÉ

Ce schéma comprend une PAC et une chaudière (en relèvement) assurant ensemble la production de chauffage. Aucune production d'eau chaude sanitaire ou de froid n'est assurée par l'installation.

La PAC alimente uniquement les circuits de chauffage les plus pertinents. La chaudière assure quant à elle l'alimentation du circuit haute température.

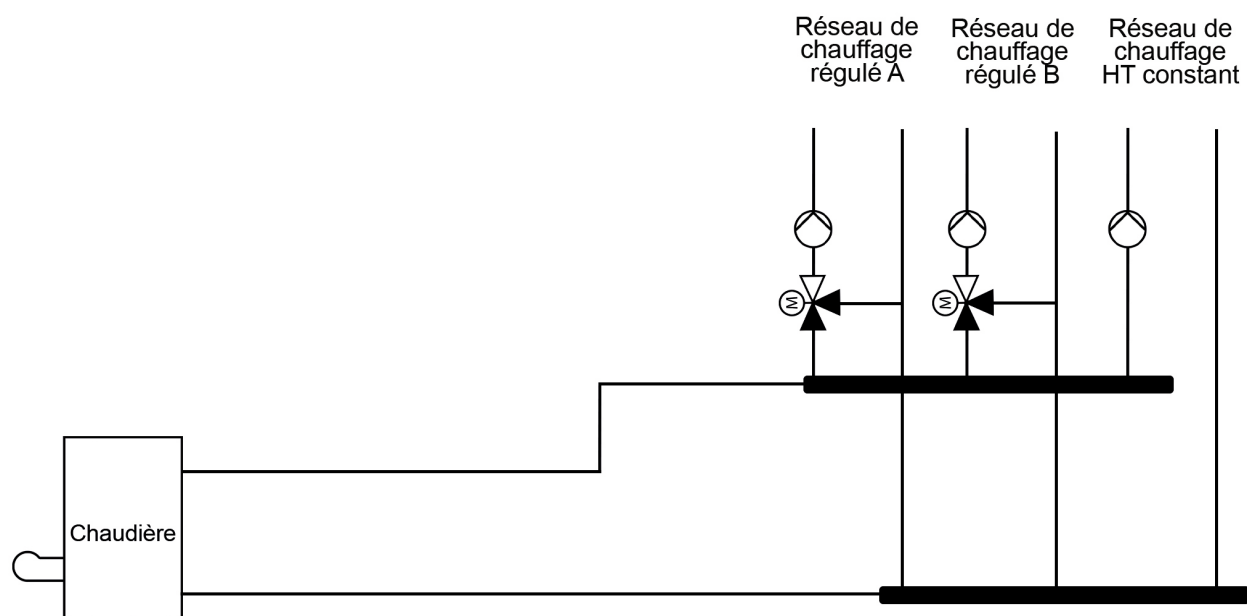
Ce principe de raccordement est pertinent dès l'instant où la chaudière se maintient à un niveau de température élevé pour un circuit chauffage constant (ou pour une charge ECS) qui travaille à plus haute température.

Il permet de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

L'inconvénient est de travailler principalement sur un seul circuit (ou plus et non sur l'ensemble de l'installation [le taux de couverture global de l'installation est dégradé mais la performance de la PAC est améliorée]).

POUR QUELLES CONFIGURATIONS HYDRAULIQUES DE BASE ?**Situation initiale**

- la chaudière est simple usage (production de chauffage uniquement) ;
- la chaudière produit à température fixe ou variable ;
- les circuits de distribution de chauffage sont régulés (réseau de chauffage A et B) et non régulé (réseau de chauffage à température fixe).

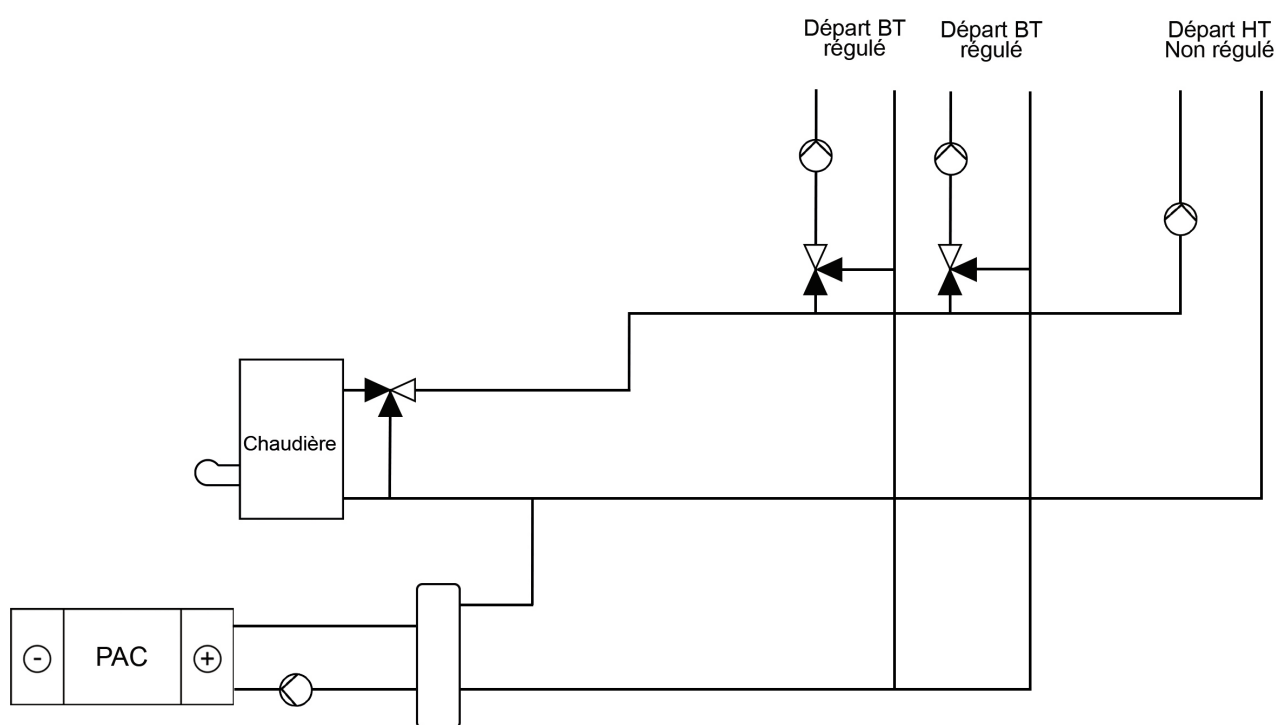
Figure 19 : Installation de production de chauffage seule par une chaudière

DESCRIPTION GÉNÉRALE ET SCHÉMA DE PRINCIPE

Solution de rénovation : schéma de base

Il convient pour des chaudières avec ou sans contrainte de débit. Il est de type « raccordement en série par réchauffage des retours de chaudière ».

Figure 20 : Raccordement en série par réchauffage des retours – PAC AVEC volume hydraulique



L'installation de chauffage comporte :

- une PAC alimentée en direct par les retours des circuits de chauffage régulés (sur le débit variable) ;
- un volume hydraulique placé à la sortie de la PAC et raccordé en vis-à-vis. Il permet à la fois de gérer une totale indépendance hydraulique de la PAC mais aussi d'éviter tous phénomènes de courts-cycles de cette dernière ;
- une chaudière, raccordée en série (la PAC est en préchauffage des retours chaudière) ;
- deux circuits de distribution de chauffage régulés (par V3V) et un réseau fixe à haute température.

POUR QUELLE APPLICATION ?

La PAC alimente uniquement les circuits de chauffage les plus pertinents. La chaudière assure quant à elle l'alimentation du circuit haute température.

Ce principe de raccordement est pertinent dès l'instant où la chaudière se maintient à un niveau de température élevé pour un circuit chauffage constant (ou pour une charge ECS) qui travaille à plus haute température.

Il permet de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

L'inconvénient est de travailler principalement sur un seul circuit (ou plus et non sur l'ensemble de l'installation [le taux de couverture global de l'installation est dégradé mais la performance de la PAC est améliorée]).

QUEL FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ?

- Zoom sur la chaudière

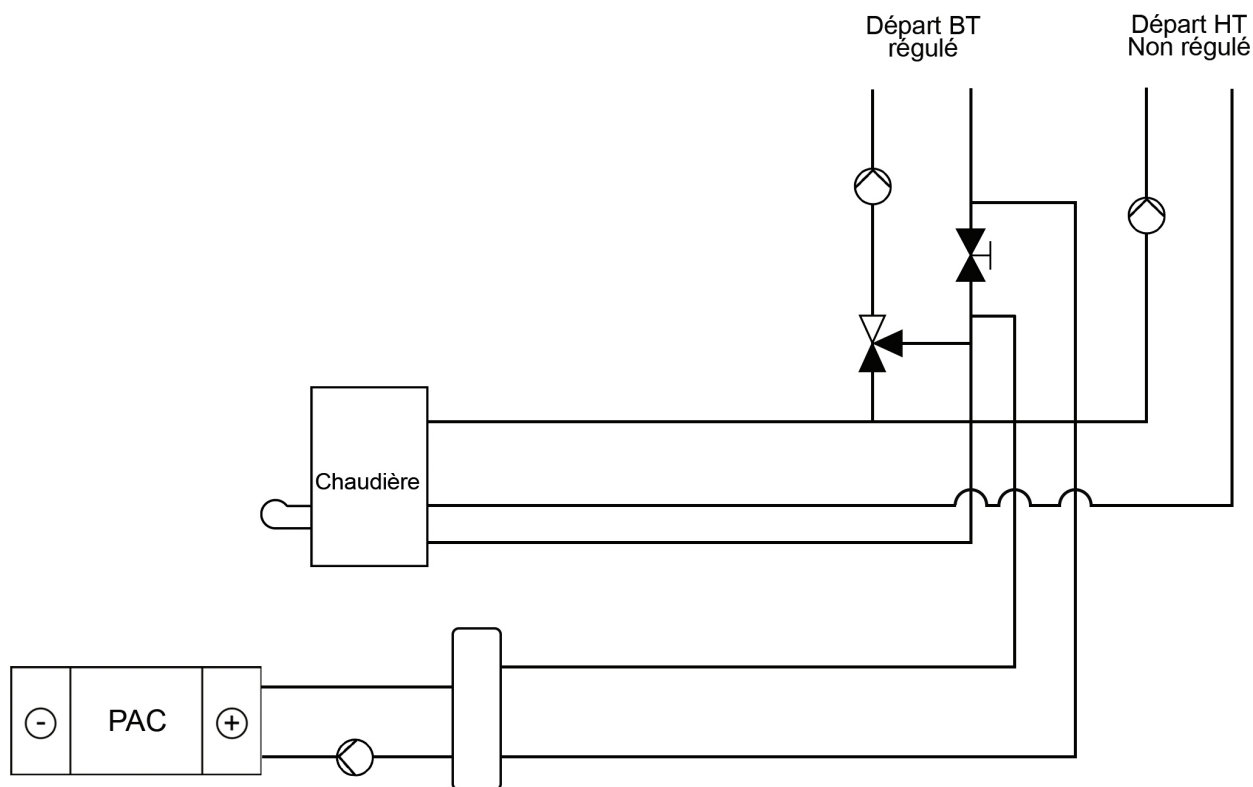
La chaudière est placée en série sur le départ des circuits de chauffage. Elle assure :

- l'appoint, pour les réseaux régulés, en élevant la température d'eau préchauffée par la PAC ;
- la totalité de la production pour le réseau de chauffage à température fixe.

La chaudière est ici de type un seul retour (2 piquages). Il serait intéressant de lui préférer une chaudière 3 (voire 4 piquages). En effet, en présence d'un circuit à loi d'eau haute température non régulée, la chaudière raccordée en 2 piquages va peu ou pas condenser car la température du circuit de retour est trop élevée. Dans une configuration 3 piquages les retours hautes et basses températures sont dissociés. Dans ce cas, le circuit raccordé au condenseur doit être le plus demandeur et si possible présenter la température au retour la plus basse et justifier d'une puissance minimum qui correspond au minimum à la puissance de récupération du condenseur, soit environ 15 % de la puissance chaudière auquel il est raccordé.

Un raccordement de type 3 piquages est proposé ci-dessous.

Figure 21 : Raccordement en série par réchauffage des retours – PAC AVEC volume hydraulique – Chaudière 3 piq PAC raccordée sur débit fixe



La température de départ de la chaudière est fixe ou glissante (à privilégier). Le débit est variable dans la chaudière selon l'ouverture des vannes à trois voies de régulation.

Si la puissance appelée par la chaufferie est répartie sur plusieurs chaudières, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle.

Pour éviter une irrigation permanente de la chaudière, une vanne à trois voies directionnelle peut être prévue en sortie de chaudière. Lorsque la chaudière est autorisée à fonctionner, la vanne s'ouvre. Par contre, lorsque la chaudière est mise à l'arrêt, elle se ferme.

- Zoom sur la PAC

La PAC est raccordée en dérivation sur le retour général de l'installation de chauffage. La PAC est de ce fait optimisée en température. Ce montage permet d'assurer une priorité de fonctionnement de la PAC sur la chaudière.

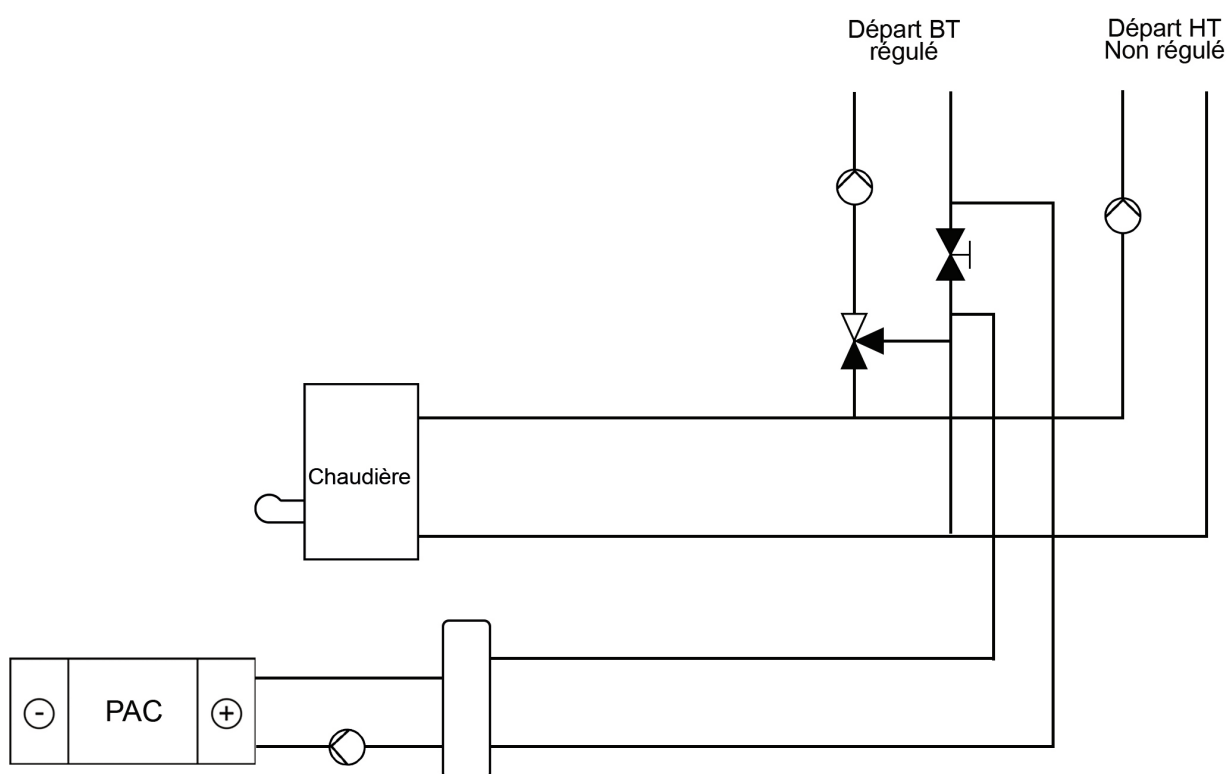
Si la régulation de température en fonction de l'extérieur est directement gérée par la PAC, la mise en place de V3V de régulation au départ du ou des circuits de chauffage ne sont plus nécessaires (uniquement si les réseaux justifient de la même loi d'eau). La PAC est de ce fait optimisée en température mais aussi en débit.

Si le ou les réseaux de chauffage sont pilotés en fonction de la température extérieure par la ou les V3V, la PAC est raccordée sur un circuit dont le débit varie, notamment selon l'ouverture de la vanne à trois voies du circuit de chauffage (cf. Schéma de base).

Afin d'optimiser la performance de la PAC d'un point de vue débit, il est pertinent de raccorder la PAC après la V3V de régulation du réseau de chauffage à alimenter. Le débit de retour chauffage vu par la PAC est donc constant peu importe la position de la V3V du circuit de chauffage (à la fermeture des robinets thermostatiques près). L'objectif est de conserver une V3V la plus fermée possible afin de solliciter la PAC et de minimiser la sollicitation de la chaudière.

Un raccordement type est proposé ci-dessous.

Figure 22 : Raccordement en série par réchauffage des retours – Chaudière SANS bouteille de découplage – Températures de production glissantes – PAC raccordée en amont des V3V



Si la puissance appelée par l'installation de chauffage est répartie sur plusieurs PAC, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle. La répartition homogène de la puissance sur plusieurs PAC permet :

- de sécuriser la production en cas de défaillance d'une des machines (jusqu'à des températures extérieures relativement basses) ;
- d'augmenter la plage de modulation globale de l'installation thermodynamique ;

- d'optimiser les performances en fonctionnement normal (risque de cyclage des PAC limité) ;
- permet, lors de séquence de dégivrage d'une des PAC, de conserver de la puissance disponible pour le réseau et d'éviter un refroidissement du circuit primaire trop important.

- Zoom sur le volume hydraulique

Un volume hydraulique est placé à la sortie de la PAC. Ce volume, de par sa capacité et son mode de raccordement, doit permettre :

La mise en place d'un découplage entre la production et les émetteurs s'avère généralement nécessaire pour fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs.

- de fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs ;
- de créer une inertie suffisante afin d'éviter tous phénomènes de courts-cycles.

Le volume hydraulique peut assurer seul les fonctions de découplage et d'inertie (cf. schéma de base). Il est dans ce cas généralement de type parallèle 4 piquages et est raccordé en vis-à-vis des circuits de distribution de chauffage.

La capacité de ce volume doit être suffisante pour éviter tous phénomènes de courts-cycles. Elle est généralement supérieure à celle d'un volume tampon (ballon en série).

La bonne maîtrise de la stratification thermique au sein du volume est l'élément principal pour assurer une bonne gestion et une meilleure performance de l'installation globale. Elle doit permettre d'obtenir :

- une température de retour à la PAC la plus basse possible ;
- une température de départ du réseau secondaire la plus proche de la température de production de la PAC.

Une attention particulière doit être portée (sur les niveaux de piquages des différents réseaux, la géométrie du ballon, le volume dédié à la PAC et à celui à la chaudière) afin d'assurer une stratification optimale dans le volume hydraulique, pour éviter tout risque de mélange dans le volume et conserver un bas de ballon le plus froid possible.

Il peut être préféré au ballon 4 piquages, un ballon 3 piquages. Un raccordement type est proposé Figure 16 (Fiche Schéma Type B).

Ce montage (comparativement à un montage 4 piquages) permet un débit traversant plus faible, une meilleure stratification (avec un remplissage de bas en haut), une température de retour PAC plus froide et une température de départ secondaire plus élevée.

Si le volume d'inertie nécessaire au bon fonctionnement de la ou des PAC est insuffisant avec un seul ballon, un second ballon doit être ajouté. Un raccordement type (sans appoint électrique) est proposé Figure 8 (Fiche Schéma Type A).

Les fonctions de découplage et d'inertie peuvent être gérées séparément. Un volume tampon en série (2 piquages) couplé à un système de découplage peut être en effet préféré. Un raccordement type est proposé Figure 17 (Fiche Schéma Type B).

L'implantation du volume tampon sur le départ de la PAC est recommandée pour limiter les incidences causées par l'inversion de cycle de la PAC. L'entrée se situe en partie basse du volume et la sortie vers les circuits en partie haute. L'eau la plus chaude se trouvera en partie haute du fait de la stratification.

L'implantation du volume tampon sur le retour de la PAC permet d'améliorer le fonctionnement de la régulation de la PAC. Dans ce cas, l'entrée dans le volume se situe en partie haute (eau provenant réseau de chauffage) et la sortie en partie basse (eau qui retourne à la PAC).

- Zoom sur les circuits de distribution de chauffage

Les réseaux de chauffage régulés sont équipés de V3V, peu importe si la régulation est en fonction de la température extérieure est réalisée sur la PAC.

Les circuits de chauffage non régulés (à température constante) comme par exemple, une sous-station, une centrale de traitement d'air ou un aérotherme, doivent être régulés. Pour une CTA par exemple, une solution consiste à créer un talon bas (une « petite loi d'eau »). Alimenter la CTA à 70°C par température extérieure basse et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée, maintenir une alimentation à 50°C (voir moins selon le dimensionnement de la CTA) pour satisfaire la température de soufflage. Cette solution rend possible des retours d'eau à la PAC plus froids durant de nombreux jours de la période de chauffe. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

QUEL FONCTIONNEMENT DE LA RÉGULATION ?

• Zoom sur la chaudière

La température de départ de la chaudière est préférée glissante. Elle est dans ce cas régulée en fonction de la température extérieure, soit par le régulateur intégré à la chaudière, soit par un régulateur en tableau électrique avec transmission de la consigne de température par signal de type 0-10 V ou par bus de communication.

Le paramétrage est adapté au circuit à température la plus élevée.

Le circuit de chauffage à plus basse température est régulé en fonction de l'extérieur par vanne à trois voies. La sonde de température extérieure doit toujours être implantée sur une paroi nord, voire nord-ouest. Dans le cas de régulateurs communicants, il est fait l'économie d'une sonde.

• Zoom sur la PAC

La température de départ pour la PAC est préférée glissante. Cette régulation en fonction de l'extérieur est généralement assurée par le régulateur intégré à la PAC. Il s'agit de demander à la pompe à chaleur de produire une température d'eau variable selon la température extérieure mesurée.

La PAC module en puissance et en température pour satisfaire la consigne de température située. Son fonctionnement est généralement commandé par la sonde de température placée en sortie de volume hydraulique (ou de bouteille de découplage selon le schéma hydraulique retenu) soit par la température de retour de la PAC. Certains fabricants proposent de mesurer en plusieurs points la température du volume hydraulique.

La bonne gestion des températures doit également permettre d'assurer le rendement maximal d'une PAC. Il convient de sélectionner une consigne départ PAC la plus proche possible de celle départ V3V, et ce pour conserver une V3V la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC, dans les meilleures conditions.

Dans le cas de plusieurs réseaux de chauffage présentant des lois d'eau différentes, la PAC produit la température de consigne la plus élevée, appelée par le réseau le plus demandeur.

La régulation peut être gérée par un régulateur externe. Ce dernier gère les circuits de chauffage et communique à la PAC l'information de la température de consigne à satisfaire (par l'intermédiaire d'un signal 0-10V ou d'un bus).

Il convient d'être attentif :

- au réglage de la courbe de chauffe. Elle doit être paramétrée à un niveau suffisant pour répondre aux besoins, sans plus. On portera d'autant plus d'attention à ce réglage en cas d'émetteurs surdimensionnés ;
- à l'emplacement de la sonde de température extérieure : au nord ou nord-ouest.

Certains régulateurs permettent de raccorder une sonde de température ambiante pour compenser la température d'eau délivrée. Elle sert à adapter la courbe de chauffe pour atteindre la consigne d'ambiance fixée.

Il est recommandé d'assurer la régulation de la PAC et de la chaudière à partir d'un même automate (notamment pour s'assurer de la bonne harmonisation des paramètres de chauffe des deux générateurs). La sonde de température extérieure doit être unique (et éviter l'implantation de deux sondes à des endroits différents, soumises à des conditions extérieures différentes).

L'automate doit justifier de fonctions avancées : optimisation des temps de relance, fonction de l'exposition ou des apports internes, Les plages horaires sont adaptées en fonction de l'occupation et selon l'activité. Par exemple, pour des bâtiments tertiaires il convient :

- d'abaisser le plus possible les températures ambiantes (vacances scolaires dans les établissements d'enseignement, nuits et les week-ends, bureaux inoccupés en permanence et ponctuellement, locaux peu occupés (salle de réunion, de restauration, ...) ;
- mais aussi limiter la température des locaux occupés (abaisser en hiver et augmenter en été).

Le circulateur fonctionne généralement en permanence. La mise en marche ou à l'arrêt du circulateur peut être automatisée selon un seuil de température extérieure. Le circulateur peut être placé en entrée de la pompe à chaleur, comme sur le schéma, ou en sortie.

Si plusieurs PAC sont nécessaires, elles sont mises en cascade. Cette dernière est hiérarchique (ou avec priorité). Si la consigne de température n'est pas satisfaite, lorsque la première PAC (la PAC maître) dépasse un certain niveau de taux de

charge (80 % par exemple), le régulateur va libérer la seconde PAC (la PAC esclave) à sa charge minimale. Les 2 PAC vont ensuite moduler jusqu'à atteindre leur taux de charge maximum. Si ce n'est pas suffisant, la régulation libère la demande d'appoints électriques.

Une attention particulière doit être apportée sur le choix des consignes de température entre la chaudière et la PAC. Un déséquilibre important entre la loi d'eau PAC (trop élevée) et la loi d'eau chaudière entraînera une surchauffe du circuit sur laquelle la PAC est raccordée. La consigne PAC doit être égale à la consigne du circuit régulé sur laquelle elle est raccordée. L'index loi d'eau chaudière doit être légèrement supérieure à l'index loi d'eau de la PAC. L'objectif est de calquer les paramètres de régulation des circuits de chauffage vers la régulation PAC en veillant à harmoniser les paramètres de chauffés entre la PAC et la chaudière (loi d'eau, programmation horaire, température ambiance, ...). Les 2 lois d'eau doivent de suivre (parallèles) avec une légère translation (de l'ordre de 3K).

La PAC assure à elle seule le confort à mi saison et maintien la chaudière dans son hystérésis de relance. Par température extérieure plus basse, la chaudière est sollicitée assurer la température souhaitée sur le départ du circuit chauffage.

CONSEILS DE DIMENSIONNEMENT DES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES

- Circulateurs

La hauteur manométrique du circulateur de la PAC est égale aux pertes de charges de la PAC et de son circuit. Le débit du circulateur de la PAC est calculé pour la puissance de la PAC et pour la chute de température imposée par le fabricant. Il doit être supérieur au débit du réseau de chauffage pour éviter un mélange en sortie de bouteille horizontale qui conduirait à une température inférieure à celle produite par la PAC. Par contre, le sur débit ne doit pas être excessif afin de ne pas trop augmenter la température en entrée de PAC par recyclage d'eau chaude et risquer la mise en sécurité de la machine. Un sur débit de 5 % est recommandé.

Le débit du circulateur du réseau d'émetteurs (et traversant la chaudière) est calculé pour la puissance installée et pour la chute de température nominale de dimensionnement des émetteurs. La hauteur manométrique du circulateur secondaire est égale aux pertes de charges de la branche la plus défavorisée du circuit d'émetteurs, et ce sans oublier la branche de la chaudière. Pour limiter la variation de débit dans le circuit de chauffage et donc ne pas placer d'organe d'équilibrage sur la voie bipasse de la vanne à trois voies de régulation, il faut vérifier que la perte de charge dans le circuit de la chaudière est inférieure au quart de la hauteur manométrique du circulateur.

- Vanne de régulation du circuit de chauffage

Pour assurer une autorité suffisante, de l'ordre de 0,5, la vanne de régulation doit être choisie avec une perte de charge au moins équivalente à la perte de charge de la chaudière.

- Volume hydraulique et tampon

Le volume d'eau du réseau primaire doit pouvoir emmagasiner l'énergie fournie par la PAC durant son temps minimal de fonctionnement, généralement fourni dans les notices constructeurs.

ACCESSOIRES HYDRAULIQUES OBLIGATOIRES OU CONSEILLÉS

- Vannes d'équilibrage

Une vanne d'équilibrage placée en série avec le circulateur, généralement sur le retour de la bouteille de découplage, est nécessaire pour ajuster le point de fonctionnement du circulateur à vitesse constante afin que le débit soit conforme à celui spécifié par le fabricant de la PAC. Le réglage de la vanne permet d'éviter des sur débits qui engendrent des températures de retour plus élevées en entrée de PAC, préjudiciables à sa performance.

Des vannes d'équilibrage doivent également être placées sur le retour du réseau de radiateurs et sur le retour du plancher. Dans le cas d'un réseau de planchers chauffants, des vannes d'équilibrage doivent être installées sur chaque plancher (au niveau du distributeur ou du collecteur).

- Purgeur

L'installation doit comporter un purgeur situé au point haut du réseau. Il est également conseillé d'équiper la bouteille par un purgeur en partie haute.

- Disconnecteur sur le réseau d'alimentation en eau

Pour une installation de chauffage seul, si le produit ajouté est utilisable pour une installation assurant la production d'ECS (par échange simple paroi) alors l'ensemble de protection doit être un Ca minimum. Si le produit ajouté est très toxique (DL 50 > 200 mg/kg), l'ensemble de protection doit être de type BA.

- Pot de décantation et filtre à tamis

L'installation d'un pot de décantation et d'un filtre à tamis est fortement conseillée en amont de la PAC (a minima le pot de décantation), sur la canalisation du réseau de chauffage, pour protéger la PAC de l'embouage et préserver un échange thermique optimal.

Le filtre à tamis doit avoir un diamètre au moins égal au diamètre du réseau de distribution.

L'installation d'une chasse est conseillée en bas de la bouteille pour permettre d'évacuer les boues.

- Thermostat de sécurité sur le départ du plancher

La mise en place d'un thermostat de sécurité sur le départ des planchers chauffants est obligatoire. Il doit être à réarmement manuel, indépendant de la régulation et fonctionnant mécaniquement, sans alimentation électrique. En cas de dépassement de température, il doit arrêter la PAC, l'appoint électrique et éventuellement le circulateur

- Vase d'expansion

Un vase d'expansion doit être positionné, de préférence en amont de la PAC et entre la bouteille et la PAC.



INSTALLATION ASSURANT LES PRODUCTIONS DE CHAUFFAGE ET D'ECS

En fonction du poids que représente chaque usage et notamment celui en ECS, différents schémas hydrauliques peuvent être envisagés.

4.4.1 SCHEMA-TYPE D : PAC 100 % ÉLECTRIQUE

Si les 2 usages chauffage et ECS sont équilibrés (cas du neuf ou d'un bâtiment thermiquement rénové), il est recommandé de privilégier une PAC par usage (notamment si plusieurs PAC en cascade doivent être mise en place).

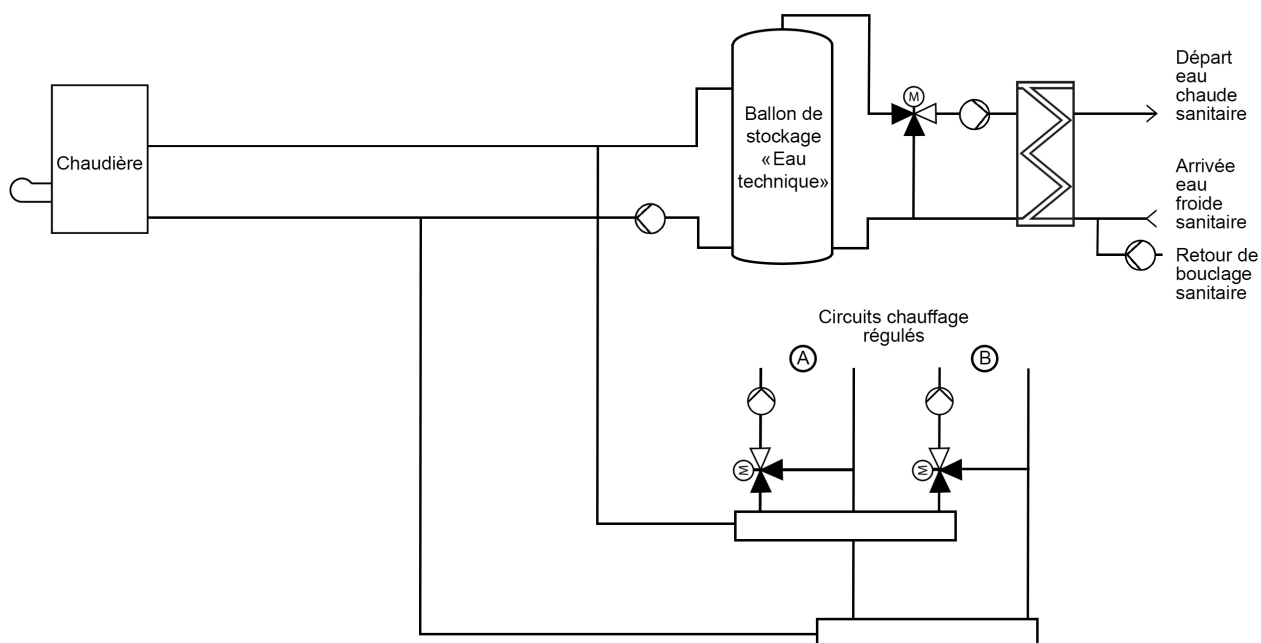
Si l'usage ECS est faible (cas de l'existant, sans rénovation thermique particulière) il est recommandé de dédier une PAC au chauffage et d'assurer la production d'ECS par une chaudière, notamment si le préparateur ECS existant (dimensionné pour la chaudière) implique des puissances appelées pour la PAC trop importantes. A l'inverse, pour des puissances de production d'ECS modérées, il peut être fait le choix d'une PAC dédiée à l'ECS.

4.4.2 SCHEMA-TYPE E : PAC HYBRIDE

POUR QUELLES CONFIGURATIONS HYDRAULIQUES DE BASE ?

Situation initiale

- la chaudière est double service (ECS + chauffage) ;
- la chaudière produit à température fixe ou variable ;
- la chaudière n'est pas contrainte en débit ;
- chaque réseau de chauffage est régulé et équipé d'une V3V ;
- la production d'ECS est de type stockage primaire et échangeur externe.

Figure 23 : Installation de production de chauffage et d'ECS par une chaudière double usage**DESCRIPTION GÉNÉRALE ET SCHÉMA DE PRINCIPE****Solution de rénovation : schéma de base**

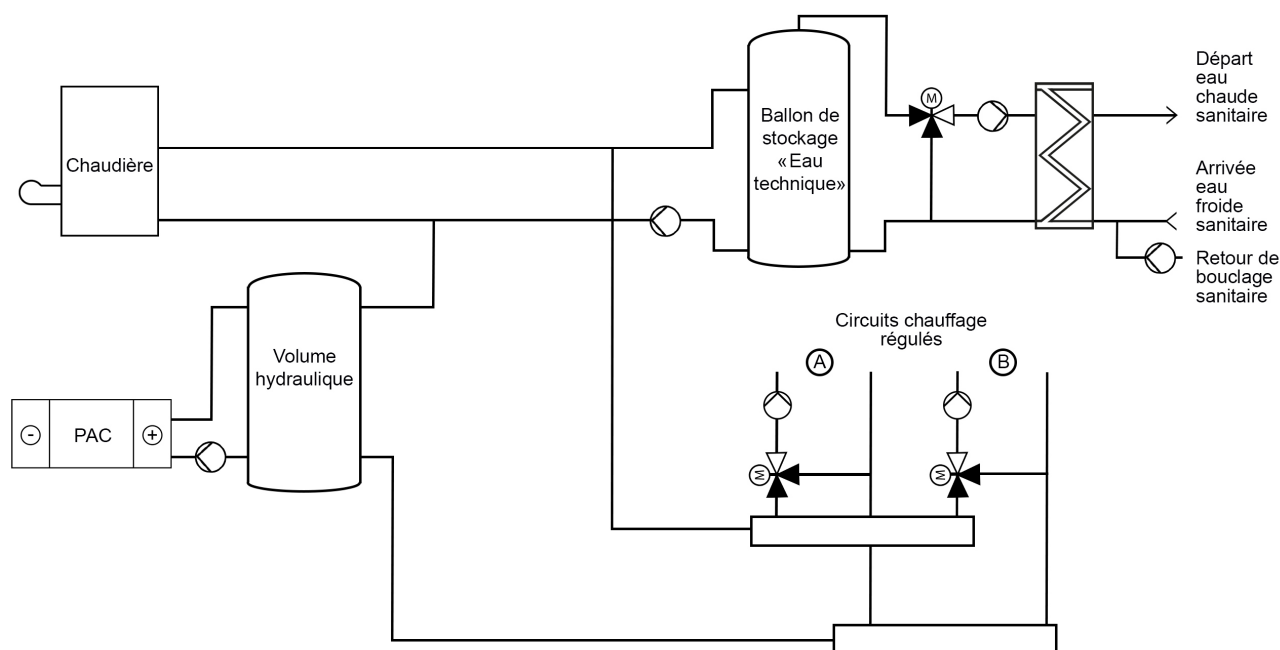
Il convient pour des chaudières sans contrainte de débit. Il est de type « raccordement en série par réchauffage des retours de chaudière ».

L'hybridation est partielle. La PAC est simple usage : elle alimente uniquement les réseaux de chauffage régulés. La chaudière est quant à elle double usage : elle assure le complément à la PAC pour la production de chauffage et assure seule la production d'ECS.

Ce principe de raccordement est pertinent dès l'instant où la chaudière se maintient à un niveau de température élevé pour la charge ECS. Il permet de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

L'inconvénient est de travailler principalement sur un seul circuit (ou plus et non sur l'ensemble de l'installation (le taux de couverture global de l'installation est dégradé mais la performance de la PAC est améliorée).

Figure 24 : Installation de production de chauffage et d'ECS – PAC avec chaudière en relève – PAC simple usage pour chauffage uniquement



L'installation comporte :

- une PAC alimentée en direct par les retours des circuits de chauffage régulés (sur le débit variable) ;
- un volume hydraulique placé à la sortie de la PAC et raccordé en vis-à-vis. Il permet à la fois de gérer une totale indépendance hydraulique de la PAC mais aussi d'éviter tous phénomènes de courts-cycles de cette dernière ;
- une chaudière, raccordée en série (la PAC est en préchauffage des retours chaudière) ;
- deux circuits de distribution de chauffage régulés (par V3V) avec des lois d'eau différentes ;
- une production d'ECS de type stockage primaire et échangeur externe.

POUR QUELLE APPLICATION ?

La PAC alimente uniquement les circuits de chauffage. La chaudière assure quant à elle l'alimentation du circuit de production.

Ce principe de raccordement est pertinent dès l'instant où la chaudière se maintient à un niveau de température élevé pour une charge ECS.

Il est recommandé notamment si le préparateur ECS est existant (et donc dimensionné pour la chaudière). Cette configuration implique en effet des puissances appelées pour la PAC trop importantes.

Il permet de faire travailler la PAC avec de meilleure performance, notamment d'un point de vue température.

L'inconvénient est de travailler principalement sur un seul circuit (ou plus et non sur l'ensemble de l'installation [le taux de couverture global de l'installation est dégradé mais la performance de la PAC est améliorée]).

QUEL FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ?

- Zoom sur la chaudière

La chaudière est placée en série. Elle assure l'appoint, pour les réseaux régulés, en élevant la température d'eau préchauffée par la PAC et la totalité de la production d'ECS.

La chaudière est ici de type un seul retour (2 piquages). Il serait intéressant de lui préférer une chaudière 3. En effet, en présence d'un circuit de charge ECS, la chaudière raccordée en 2 piquages va peu ou pas condenser car la température du circuit de retour est trop élevée. Dans une configuration 3 piquages les retours hautes et basses températures sont dissociés. Dans ce cas, le circuit raccordé au condenseur doit être le plus demandeur et si possible présenter la température au retour la plus basse et justifier d'une puissance minimum qui correspond au minimum à la puissance de récupération du condenseur, soit environ 15 % de la puissance chaudière auquel il est raccordé.

Un raccordement de type 3 piquages est proposé Figure 21 (Schéma Type C).

Le débit est variable dans la chaudière selon l'ouverture des vannes à trois voies de régulation.

Si la puissance appelée par la chaufferie est répartie sur plusieurs chaudières, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle.

Pour éviter une irrigation permanente de la chaudière, une vanne à trois voies directionnelle peut être prévue en sortie de chaudière. Lorsque la chaudière est autorisée à fonctionner, la vanne s'ouvre. Par contre, lorsque la chaudière est mise à l'arrêt, elle se ferme.

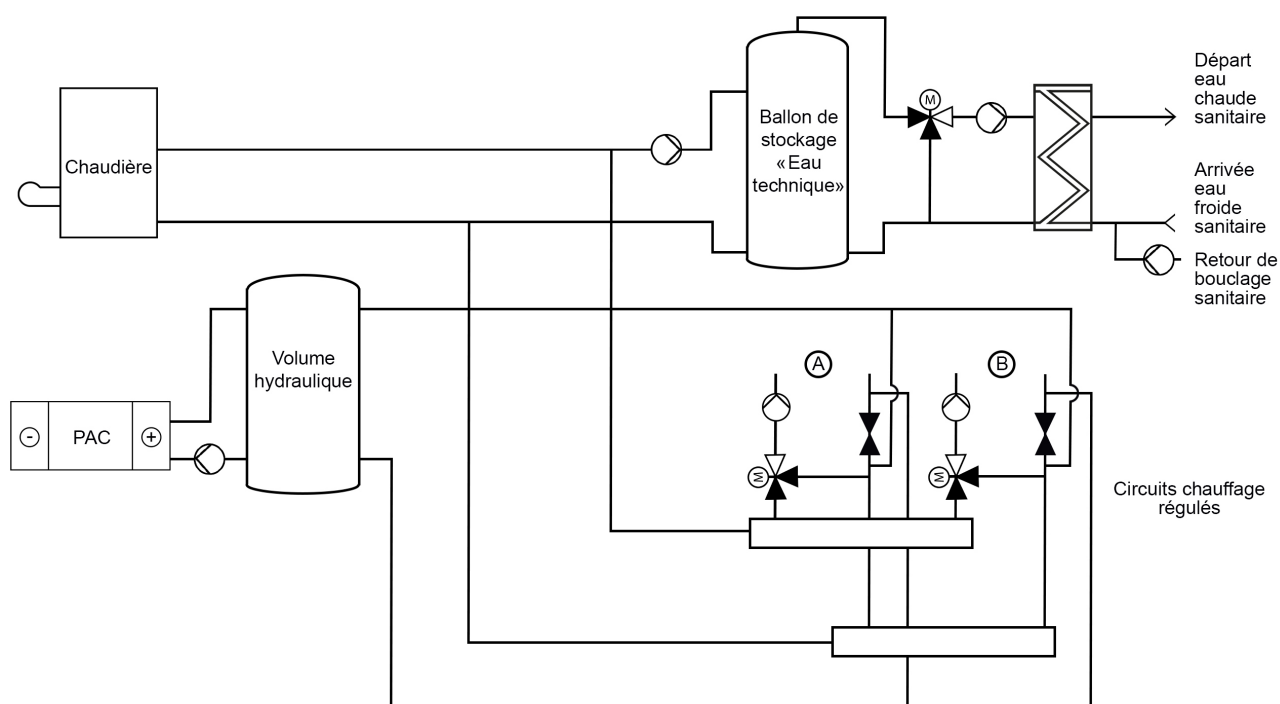
- Zoom sur la PAC

La PAC est raccordée en dérivation sur le retour général de l'installation de chauffage. La PAC est de ce fait optimisée en température. Ce montage permet d'assurer une priorité de fonctionnement de la PAC sur la chaudière.

Afin d'optimiser la performance de la PAC d'un point de vue débit, il est pertinent de raccorder la PAC après la V3V de régulation du réseau de chauffage à alimenter. Le débit de retour chauffage vu par la PAC est donc constant peu importe la position de la V3V du circuit de chauffage (à la fermeture des robinets thermostatiques près). L'objectif est de conserver une V3V la plus fermée possible afin de solliciter la PAC et de minimiser la sollicitation de la chaudière.

Un raccordement type est proposé ci-dessous. Attention, les réseaux de chauffage sont régulés avec strictement la même loi d'eau.

Figure 25 : Installation de production de chauffage et d'ECS – PAC avec chaudière en relèvement – PAC simple usage pour chauffage uniquement



Si la puissance appelée par l'installation de chauffage est répartie sur plusieurs PAC, ces dernières sont, entre elles, raccordées en parallèle. La répartition homogène de la puissance sur plusieurs PAC permet :

- de sécuriser la production en cas de défaillance d'une des machines (jusqu'à des températures extérieures relativement basses) ;
- d'augmenter la plage de modulation globale de l'installation thermodynamique ;
- d'optimiser les performances en fonctionnement normal (risque de cyclage des PAC limité) ;
- permet, lors de séquence de dégivrage d'une des PAC, de conserver de la puissance disponible pour le réseau et d'éviter un refroidissement du circuit primaire trop important.

• Zoom sur le volume hydraulique

Un volume hydraulique est placé à la sortie de la PAC. Ce volume, de par sa capacité et son mode de raccordement, doit permettre :

La mise en place d'un découplage entre la production et les émetteurs s'avère généralement nécessaire pour fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs.

- de fixer le débit du côté de la PAC et ce, quelle que soit la demande du côté des émetteurs ;
- de créer une inertie suffisante afin d'éviter tous phénomènes de courts-cycles.

Le volume hydraulique peut assurer seul les fonctions de découplage et d'inertie (cf. schéma de base). Il est dans ce cas généralement de type parallèle 4 piquages et est raccordé en vis-à-vis des circuits de distribution de chauffage.

La capacité de ce volume doit être suffisante pour éviter tous phénomènes de courts-cycles. Elle est généralement supérieure à celle d'un volume tampon (ballon en série).

La bonne maîtrise de la stratification thermique au sein du volume est l'élément principal pour assurer une bonne gestion et une meilleure performance de l'installation globale. Elle doit permettre d'obtenir :

- une température de retour à la PAC la plus basse possible ;
- une température de départ du réseau secondaire la plus proche de la température de production de la PAC.

Une attention particulière doit être portée (sur les niveaux de piquages des différents réseaux, la géométrie du ballon, le volume dédié à la PAC et à celui à la chaudière) afin d'assurer une stratification optimale dans le volume hydraulique, pour éviter tout risque de mélange dans le volume et conserver un bas de ballon le plus froid possible.

Il peut être préféré au ballon 4 piquages, un ballon 3 piquages. Un raccordement type est proposé Figure 16 (Fiche Schéma Type B).

Ce montage (comparativement à un montage 4 piquages) permet un débit traversant plus faible, une meilleure stratification (avec un remplissage de bas en haut), une température de retour PAC plus froide et une température de départ secondaire plus élevée.

Si le volume d'inertie nécessaire au bon fonctionnement de la ou des PAC est insuffisant avec un seul ballon, un second ballon doit être ajouté. Dans ce cas, il est raccordé en série entre le premier volume hydraulique et les PAC.

Les fonctions de découplage et d'inertie peuvent être gérées séparément. Un volume tampon en série (2 piquages) couplé à un système de découplage peut être en effet préféré. Un raccordement type est proposé Figure 17 (Fiche Schéma Type B).

L'implantation du volume tampon sur le départ de la PAC est recommandée pour limiter les incidences causées par l'inversion de cycle de la PAC. L'entrée se situe en partie basse du volume et la sortie vers les circuits en partie haute. L'eau la plus chaude se trouvera en partie haute du fait de la stratification.

L'implantation du volume tampon sur le retour de la PAC permet d'améliorer le fonctionnement de la régulation de la PAC. Dans ce cas, l'entrée dans le volume se situe en partie haute (eau provenant réseau de chauffage) et la sortie en partie basse (eau qui retourne à la PAC).

- Zoom sur les circuits de distribution de chauffage

Le ou les réseaux de chauffage sont régulés. Ils sont équipés chacun de leur propre V3V.

Le circuit de chauffage alimente plusieurs colonnes montantes ou bien une seule dans le cas d'une installation de CIC (Chauffage individuel Centralisé).

Quand plusieurs réseaux de chauffage sont alimentés, leurs retours sont raccordés sur un collecteur unique.

Si l'installation de chauffage présente plusieurs circuits de chauffage dont l'un est non régulé (à température constante) comme par exemple, une sous-station, une centrale de traitement d'air ou un aérotherme, il peut être envisagé de raccorder ce dernier à la PAC uniquement si :

- si le réseau est régulé ;
- la température maximale de départ de la PAC (à température extérieure de base) est au moins égale à la loi d'eau du réseau haute température (voir légèrement supérieure si une marge de sécurité doit être prévue).

Pour une CTA par exemple, une solution consiste à créer un talon bas (une « petite loi d'eau »). Alimenter la CTA à 70°C par température extérieure basse et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée, maintenir une alimentation à 50°C (voir moins selon le dimensionnement de la CTA) pour satisfaire la température de soufflage. Cette solution rend possible des retours d'eau à la PAC plus froids durant de nombreux jours de la période de chauffe. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

- Zoom sur le circuit ECS

La production d'ECS est de type stockage primaire et échangeur externe.

Cette solution permet de réduire fortement les puissances requises (plus ou moins selon le volume de stockage) et de limiter les cycles marche-arrêt et de pouvoir fonctionner éventuellement en mode priorité ECS. En effet, un volume de stockage suffisant permet à la production de se déclencher moins souvent pour combattre les pertes de bouclage. L'installation est donc plus longtemps en mode chauffage donc avec des températures plus froides à gérer. Attention, augmenter de manière trop importante la taille du ballon de stockage peut aller à l'encontre d'un fonctionnement en mode priorité ECS (en plus de conduire à des pertes de stockage plus importantes) : plus les puissances ECS requises sont faibles et plus les temps de reconstitution du stockage sont longs.

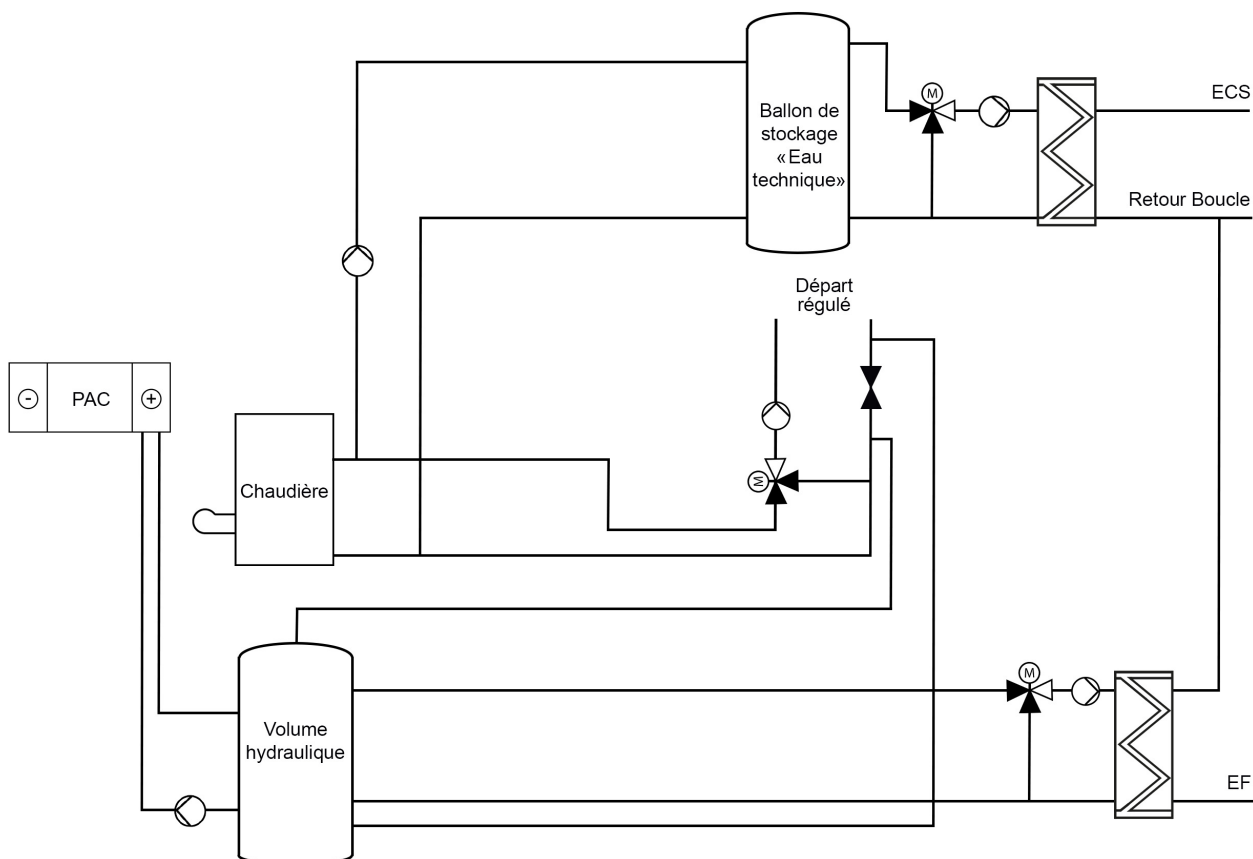
L'hybridation peut être totale. La PAC est dans ce cas double usage. Elle alimente les réseaux de chauffage et le circuit de production d'ECS.

Un schéma hydraulique proposant un raccordement en série de la production ECS et des départs chauffage va impliquer des retours chauds avec possible arrêts de la PAC. Il est dans ce cas plutôt envisagé une hybridation partielle en se concentrant juste sur les réseaux de chauffage.

Dans le cas d'une PAC double usage, il est préféré un schéma permettant de travailler sur un préchauffage de l'eau chaude sanitaire afin de travailler sur la température la plus froide de l'usage.

On donne un raccordement type ci-dessous :

Figure 25 : Installation de production de chauffage et d'ECS – PAC avec chaudière en relèvement – PAC double usage



QUEL FONCTIONNEMENT DE LA RÉGULATION ?

• Zoom sur la chaudière

Le mode ECS est programmé, si existant. Par exemple, on règle pour produire à 70°C en mode ECS et à température plus basse en mode chauffage (loi d'eau du circuit de chauffage régulé). On peut chercher à abaisser la température de production de la chaudière en mode ECS mais si la quantité d'énergie disponible dans le ballon est trop faible (volume de capacité trop faible), la chaudière risque de fonctionner en permanence en mode ECS (et donc limiter le mode chauffage).

La température de départ de la chaudière est préférée glissante. Elle est dans ce cas régulée en fonction de la température extérieure, soit par le régulateur intégré à la chaudière, soit par un régulateur en tableau électrique avec transmission de la consigne de température par signal de type 0-10 V ou par bus de communication.

Le paramétrage est adapté au circuit à température la plus élevée.

Le circuit de chauffage à plus basse température est régulé en fonction de l'extérieur par vanne à trois voies. La sonde de température extérieure doit toujours être implantée sur une paroi nord, voire nord-ouest. Dans le cas de régulateurs communicants, il est fait l'économie d'une sonde.

• Zoom sur la PAC

On règle la PAC en regard de la loi d'eau du réseau de chauffage le plus demandeur. Une attention particulière doit être portée sur le fait que la chaudière n'enclenche pas trop son mode ECS (sinon la PAC va cycler).

La température de départ pour la PAC est préférée glissante. Cette régulation en fonction de l'extérieur est généralement assurée par le régulateur intégré à la PAC. Il s'agit de demander à la pompe à chaleur de produire une température d'eau variable selon la température extérieure mesurée.

La PAC module en puissance et en température pour satisfaire la consigne de température située. Son fonctionnement est généralement commandé par la sonde de température placée en sortie de volume hydraulique (ou de bouteille de découplage selon le schéma hydraulique retenu) soit par la température de retour de la PAC. Certains fabricants proposent de mesurer en plusieurs points la température du volume hydraulique.

La bonne gestion des températures doit également permettre d'assurer le rendement maximal d'une PAC. Il convient de sélectionner une consigne départ PAC la plus proche possible de celle départ V3V, et ce pour conserver une V3V la plus ouverte possible afin de solliciter au maximum la PAC, dans les meilleures conditions.

Dans le cas de plusieurs réseaux de chauffage présentant des lois d'eau différentes, la PAC produit la température de consigne la plus élevée, appelée par le réseau le plus demandeur.

La régulation peut être gérée par un régulateur externe. Ce dernier gère les circuits de chauffage et communique à la PAC l'information de la température de consigne à satisfaire (par l'intermédiaire d'un signal 0-10V ou d'un bus).

Il convient d'être attentif :

- au réglage de la courbe de chauffe. Elle doit être paramétrée à un niveau suffisant pour répondre aux besoins, sans plus. On portera d'autant plus d'attention à ce réglage en cas d'émetteurs surdimensionnés ;
- à l'emplacement de la sonde de température extérieure : au nord ou nord-ouest.

Certains régulateurs permettent de raccorder une sonde de température ambiante pour compenser la température d'eau délivrée. Elle sert à adapter la courbe de chauffe pour atteindre la consigne d'ambiance fixée.

Il est recommandé d'assurer la régulation de la PAC et de la chaudière à partir d'un même automate (notamment pour s'assurer de la bonne harmonisation des paramètres de chauffe des deux générateurs). La sonde de température extérieure doit être unique (et éviter l'implantation de deux sondes à des endroits différents, soumises à des conditions extérieures différentes).

L'automate doit justifier de fonctions avancées : optimisation des temps de relance, fonction de l'exposition ou des apports internes, Les plages horaires sont adaptées en fonction de l'occupation et selon l'activité. Par exemple, pour des bâtiments tertiaires il convient :

- d'abaisser le plus possible les températures ambiantes (vacances scolaires dans les établissements d'enseignement, nuits et les week-ends, bureaux inoccupés en permanence et ponctuellement, locaux peu occupés (salle de réunion, de restauration, ...) ;
- mais aussi limiter la température des locaux occupés (abaisser en hiver et augmenter en été).

Le circulateur fonctionne généralement en permanence. La mise en marche ou à l'arrêt du circulateur peut être automatisée selon un seuil de température extérieure. Le circulateur peut être placé en entrée de la pompe à chaleur, comme sur le schéma, ou en sortie.

Si plusieurs PAC sont nécessaires, elles sont mises en cascade. Cette dernière est hiérarchique (ou avec priorité). Si la consigne de température n'est pas satisfaite, lorsque la première PAC (la PAC maître) dépasse un certain niveau de taux de charge (80 % par exemple), le régulateur va libérer la seconde PAC (la PAC esclave) à sa charge minimale. Les 2 PAC vont ensuite moduler jusqu'à atteindre leur taux de charge maximum. Si ce n'est pas suffisant, la régulation libère la demande d'appoints électriques.

Une attention particulière doit être apportée sur le choix des consignes de température entre la chaudière et la PAC. Un déséquilibre important entre la loi d'eau PAC (trop élevée) et la loi d'eau chaudière entraînera une surchauffe du circuit sur laquelle la PAC est raccordée. La consigne PAC doit être égale à la consigne du circuit régulé sur laquelle elle est raccordée. L'index loi d'eau chaudière doit être légèrement supérieure à l'index loi d'eau de la PAC. L'objectif est de calquer les paramètres de régulation des circuits de chauffage vers la régulation PAC en veillant à harmoniser les paramètres de chauffages entre la PAC et la chaudière (loi d'eau, programmation horaire, température ambiante, ...). Les 2 lois d'eau doivent de suivre (parallèles) avec une légère translation (de l'ordre de 3K).

La PAC assure à elle seule le confort à mi saison et maintien la chaudière dans son hystérésis de relance. Par température extérieure plus basse, la chaudière est sollicitée assurer la température souhaitée sur le départ du circuit chauffage.

CONSEILS DE DIMENSIONNEMENT DES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES

- Circulateurs

La hauteur manométrique du circulateur de la PAC est égale aux pertes de charges de la PAC et de son circuit. Le débit du circulateur de la PAC est calculé pour la puissance de la PAC et pour la chute de température imposée par le fabricant. Il doit être supérieur au débit du réseau de chauffage pour éviter un mélange en sortie de bouteille horizontale qui conduirait à une température inférieure à celle produite par la PAC. Par contre, le sur débit ne doit pas être excessif afin de ne pas trop augmenter la température en entrée de PAC par recyclage d'eau chaude et risquer la mise en sécurité de la machine. Un sur débit de 5 % est recommandé.

Le débit du circulateur du réseau d'émetteurs (et traversant la chaudière) est calculé pour la puissance installée et pour la chute de température nominale de dimensionnement des émetteurs. La hauteur manométrique du circulateur secondaire est égale aux pertes de charges de la branche la plus défavorisée du circuit d'émetteurs, et ce sans oublier la branche de la chaudière. Pour limiter la variation de débit dans le circuit de chauffage et donc ne pas placer d'organe d'équilibrage sur la voie bipasse de la vanne à trois voies de régulation, il faut vérifier que la perte de charge dans le circuit de la chaudière est inférieure au quart de la hauteur manométrique du circulateur.

- Vanne de régulation du circuit de chauffage

Pour assurer une autorité suffisante, de l'ordre de 0,5, la vanne de régulation doit être choisie avec une perte de charge au moins équivalente à la perte de charge de la chaudière.

- Volume hydraulique et tampon

Le volume d'eau du réseau primaire doit pouvoir emmagasiner l'énergie fournie par la PAC durant son temps minimal de fonctionnement, généralement fourni dans les notices constructeurs.

ACCESSOIRES HYDRAULIQUES OBLIGATOIRES OU CONSEILLÉS

- Vannes d'équilibrage

Une vanne d'équilibrage placée en série avec le circulateur, généralement sur le retour de la bouteille de découplage, est nécessaire pour ajuster le point de fonctionnement du circulateur à vitesse constante afin que le débit soit conforme à celui spécifié par le fabricant de la PAC. Le réglage de la vanne permet d'éviter des sur débits qui engendrent des températures de retour plus élevées en entrée de PAC, préjudiciables à sa performance.

Des vannes d'équilibrage doivent également être placées sur le retour du réseau de radiateurs et sur le retour du plancher. Dans le cas d'un réseau de planchers chauffants, des vannes d'équilibrage doivent être installées sur chaque plancher (au niveau du distributeur ou du collecteur).

- Purgeur

L'installation doit comporter un purgeur situé au point haut du réseau. Il est également conseillé d'équiper la bouteille par un purgeur en partie haute.

- Disconnecteur sur le réseau d'alimentation en eau

Pour une installation de chauffage seul, si le produit ajouté est utilisable pour une installation assurant la production d'ECS (par échange simple paroi) alors l'ensemble de protection doit être un Ca minimum. Si le produit ajouté est très toxique (DL 50 > 200 mg/kg), l'ensemble de protection doit être de type BA.

- Pot de décantation et filtre à tamis

L'installation d'un pot de décantation et d'un filtre à tamis est fortement conseillée en amont de la PAC (a minima le pot de décantation), sur la canalisation du réseau de chauffage, pour protéger la PAC de l'embouage et préserver un échange thermique optimal.

Le filtre à tamis doit avoir un diamètre au moins égal au diamètre du réseau de distribution.

L'installation d'une chasse est conseillée en bas de la bouteille pour permettre d'évacuer les boues.

- Thermostat de sécurité sur le départ du plancher

La mise en place d'un thermostat de sécurité sur le départ des planchers chauffants est obligatoire. Il doit être à réarmement manuel, indépendant de la régulation et fonctionnant mécaniquement, sans alimentation électrique. En cas de dépassement de température, il doit arrêter la PAC, l'appoint électrique et éventuellement le circulateur

- Vase d'expansion

Un vase d'expansion doit être positionné, de préférence en amont de la PAC et entre la bouteille et la PAC.

5

LES POINTS D'ATTENTION, AU-DELÀ DE L'HYDRAULIQUE

5

1

PRÉVENIR L'EMBOUAGE DES RÉSEAUX POUR PROTÉGER LA POMPE À CHALEUR

La rénovation d'une chaufferie d'autant plus quand elle est accompagnée d'un changement de générateur, implique de s'intéresser au réseau de distribution et particulièrement la qualité de son eau. Le réseau peut être en effet encombré par des boues (à la suite de phénomènes de corrosion et d'entartrage) pouvant être à l'origine de déséquilibre du réseau mais surtout pouvant conduire à des désordres graves allant jusqu'à la détérioration du nouveau générateur.

Une PAC accélère les phénomènes d'embouage des réseaux : en moyenne, une PAC est 20 à 30 % plus embouée qu'une chaudière et impliquant une surconsommation de 27 % pour une PAC, contre seulement 17 % pour une chaudière).

La prévention de l'embouage ne se résume pas aux traitements d'eau. Afin de l'éviter, les phases de conception, réalisation, mise en service et entretien sont particulièrement importantes.

Les installations doivent limiter les entrées d'air (limiter et compter les appoints d'eau, éviter une porosité importante de l'installation), évacuer les gaz (purgeurs automatiques installés en points hauts et de diamètres suffisants, séparateur d'air en sortie de production) et permettre l'extraction des dépôts éventuels (pot de décantation de préférence magnétique, placé sur le retour du circuit de chauffage).

Un suivi de la qualité d'eau est indispensable (avec contrôle des appoints d'eau, de la propreté des filtres et pots à boue, de l'absence d'air et analyse de la qualité d'eau régulière).

5

2

VÉRIFIER LE BON ÉQUILIBRAGE DES RÉSEAUX

Une mauvaise répartition des débits dans les réseaux de chauffage (du fait de phénomènes d'embouage ou de mauvais réglages) peut conduire à un déséquilibre thermique de l'installation de chauffage. Les solutions apportées pour remédier à ce déséquilibre (généralement source d'inconfort pour les usagers) sont d'augmenter le débit des réseaux ou de décaler vers le haut de la courbe de chauffe. Ces solutions conduisent à un mauvais fonctionnement des installations, notamment celles intégrant des PAC. Par exemple :

- dans le cas d'une installation hybride, décaler de 2K la loi d'eau de la chaudière implique une élévation de sa température de départ de 5 à 7K. Cette augmentation peut empêcher la PAC de démarrer (ne voyant plus son ΔT minimum) ;

- dans le cas d'une installation 100 % électrique, décaler de 2K la loi d'eau de la PAC implique pour la PAC de produire de l'eau à température plus élevée, fonctionnement défavorable à la performance de la machine ;
- augmenter le débit des réseaux de chauffage (sans apporter de modification sur le primaire de la PAC) va conduire à un mauvais fonctionnement du volume tampon raccordé à la PAC. Il n'assure plus une fonction de découplage mais devient un volume de mélange impliquant pour un cyclage de la PAC.

5

3

RÉPONDRE AUX CONTRAINTES SPÉCIFIQUES LIÉES À L'UTILISATION DE FLUIDES FRIGORIGÈNES À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Les exigences réglementaires, via notamment le règlement UE 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre (appelé Règlement F-Gas), visent à réduire progressivement la quantité de fluides frigorigènes ayant un impact sur l'effet de serre. Les fluides à PRG supérieur à 150 seront ainsi interdits dès :

- le 1^{er} janvier 2027 pour les PAC Monobloc inférieures ou égales à 50 kW ;
- le 1^{er} janvier 2030 pour les PAC monobloc supérieures à 50 kW.

Les fluides ayant un faible impact environnemental présentent néanmoins d'autres risques, tels que l'inflammabilité (par exemple, le R32 ou plus récemment le propane). Le risque d'inflammabilité amène certaines contraintes de conception, d'installation et d'exploitation pour les installations de PAC utilisant ces fluides, notamment pour celles utilisant du propane, fluide hautement inflammable.

Les mesures de gestion des risques, pour les installations de type PAC, sont fixées par la NF EN 378 pour l'habitat collectif (et les ERP de 5^{ème} catégorie) et par l'article CH35 de l'arrêté du 25 juin 1980 modifié pour les ERP de catégorie 1 à 4.

Certaines recommandations peuvent être néanmoins faites : les installations en extérieur (au sol ou en toiture terrasse) sont recommandées, les implantations en alcôve ou en terrasse de toit sont possibles mais impliquent une analyse de risques précises, les installations en sous-sol ou placées dans une cour anglaise sont par contre non conseillées (du fait de difficultés importantes pour l'évacuation du fluide en cas de fuite notamment).

5

4

PROTÉGER L'INSTALLATION DU RISQUE DE GEL

Des dispositions doivent être prises pour éviter d'endommager le réseau ou le condenseur de la PAC en cas de gel. Protéger l'installation est donc indispensable. Il faut prévoir le rajout d'un organe de sécurité antigel. L'ajout d'antigel dans le réseau est une solution. La mise en œuvre d'une soupape antigel à l'extérieur en est une autre.

5

5

METTRE EN PLACE UN SUIVI ÉNERGÉTIQUE DE L'INSTALLATION

Il peut être pertinent de mettre en place un suivi énergétique de l'installation. En effet, des anomalies dans le fonctionnement de l'installation peuvent passer inaperçues, car le système d'appoint (chaudière, appoint électrique) prend automatiquement le relais, masquant ainsi la baisse de performance de la partie thermodynamique.

Le comptage d'énergie doit permettre d'avoir des données objectives sur les performances réelles de l'installation mais aussi et surtout de détecter et traiter les dysfonctionnements éventuels de l'installation.

- contrôler l'état de fonctionnement de l'installation en assurant une surveillance de l'installation thermodynamique. Il s'agit principalement d'émettre des signalisations ou des alarmes (défauts des circulateurs ou des sondes de température par exemple), d'informer les professionnels pour faciliter leurs tâches, de suivre les interventions et de les enregistrer en historiques. Ce suivi ne renseigne pas sur la performance du système. Un équipement apparemment en marche peut fonctionner de manière dégradée ou peu optimale ;
- contrôler le bon fonctionnement de l'installation : il passe par une instrumentation plus complète de l'installation. Cette dernière doit permettre le calcul de la l'énergie thermodynamique produite. Il s'agit de suivre la production d'énergie thermodynamique au travers de différents indicateurs et notamment :
 - le taux de couverture (part des besoins en chauffage et/ou ECS assurée par la PAC) caractérisant le bon dimensionnement et le bon fonctionnement de l'installation ;
 - la productivité en énergie utile (sortie volume tampon) (production thermodynamique ramenée à la puissance PAC installée) caractérisant le bon dimensionnement et la bonne performance de l'installation ;
 - le taux d'économie d'appoint caractérisant la bonne valorisation de l'énergie thermodynamique.

Afin de détecter des dérives de fonctionnement de l'installation, la production thermodynamique mesurée peut être comparée à la production thermodynamique calculée c'est à dire l'énergie qu'aurait dû produire l'installation considérée, compte tenu des conditions réelles de fonctionnement.

Le suivi énergétique peut être simplifié (relevé des informations localement et manuellement) ou détaillé (relevé des informations à distance).

TABLe DES MATIÈRES

○	AVERTISSEMENT	4
○	INTRODUCTION	5
①	RÈGLES GÉNÉRALES POUR OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES PAC	6
	1.1 Des conditions de fonctionnement contraintes	6
	1.2 Disposer d'une inertie suffisante	7
	1.3 Maîtriser les débits	7
	1.4 Maîtriser les températures	8
②	ANALYSE ET OPTIMISATION DES RÉSEAUX EXISTANTS	9
	2.1 Adapter les réseaux de chauffage à la PAC	9
	2.1.1 Gestion des températures	10
	2.1.2 Gestion des débits	11
	2.2 Adapter la solution de production d'eau chaude sanitaire à la PAC	11
	2.3 Adapter le pilotage de l'installation	13
③	LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RÉNOVATION	15
	3.1 Evaluer la faisabilité d'une installation de PAC	15
	3.2 Solutions 100 % électriques ou solutions hybrides	16
	3.3 Pour quels usages ? Chauffage, eau chaude sanitaire ou les deux ?	17
	3.4 Des solutions de raccordement adaptées au réseau existant	18
④	LES SOLUTIONS DE RACCORDEMENT	19
	4.1 Les symboles graphiques utilisés dans les schémas	20
	4.2 Exemple de schéma complet	21
	4.2.1 Schéma fonctionnel	21
	4.2.2 Schéma avec composants hydrauliques	21
	4.2.3 Schéma avec régulation associée	22
	4.3 Installation assurant la production de chauffage uniquement	23
	4.3.1 SCHEMA-TYPE A : PAC 100 % électrique	23
	4.3.2 SCHEMA-TYPE B : Hybridation totale avec chaudière en relevé	31
	4.3.3 SCHEMA-TYPE C : Hybridation partielle avec chaudière en relevé	44
	4.4 Installation assurant les productions de chauffage et d'ECS	52
	4.4.1 SCHEMA-TYPE D : PAC 100 % électrique	52
	4.4.2 SCHEMA-TYPE E : PAC hybride	52

TABLe DES MATIÈRES

5	LES POINTS D'ATTENTION, AU-DELÀ DE L'HYDRAULIQUE	62
5.1	Prévenir l'embouage des réseaux pour protéger la pompe à chaleur	62
5.2	Vérifier le bon équilibrage des réseaux	62
5.3	Répondre aux contraintes spécifiques liées à l'utilisation de fluides frigorigènes à faible impact environnemental	63
5.4	Protéger l'installation du risque de gel	63
5.5	Mettre en place un suivi énergétique de l'installation	64

NOTES

[illegible]

RÉSUMÉ

Accéder gratuitement à l'ensemble des ressources et outils PROFEEL sur www.proreno.fr

