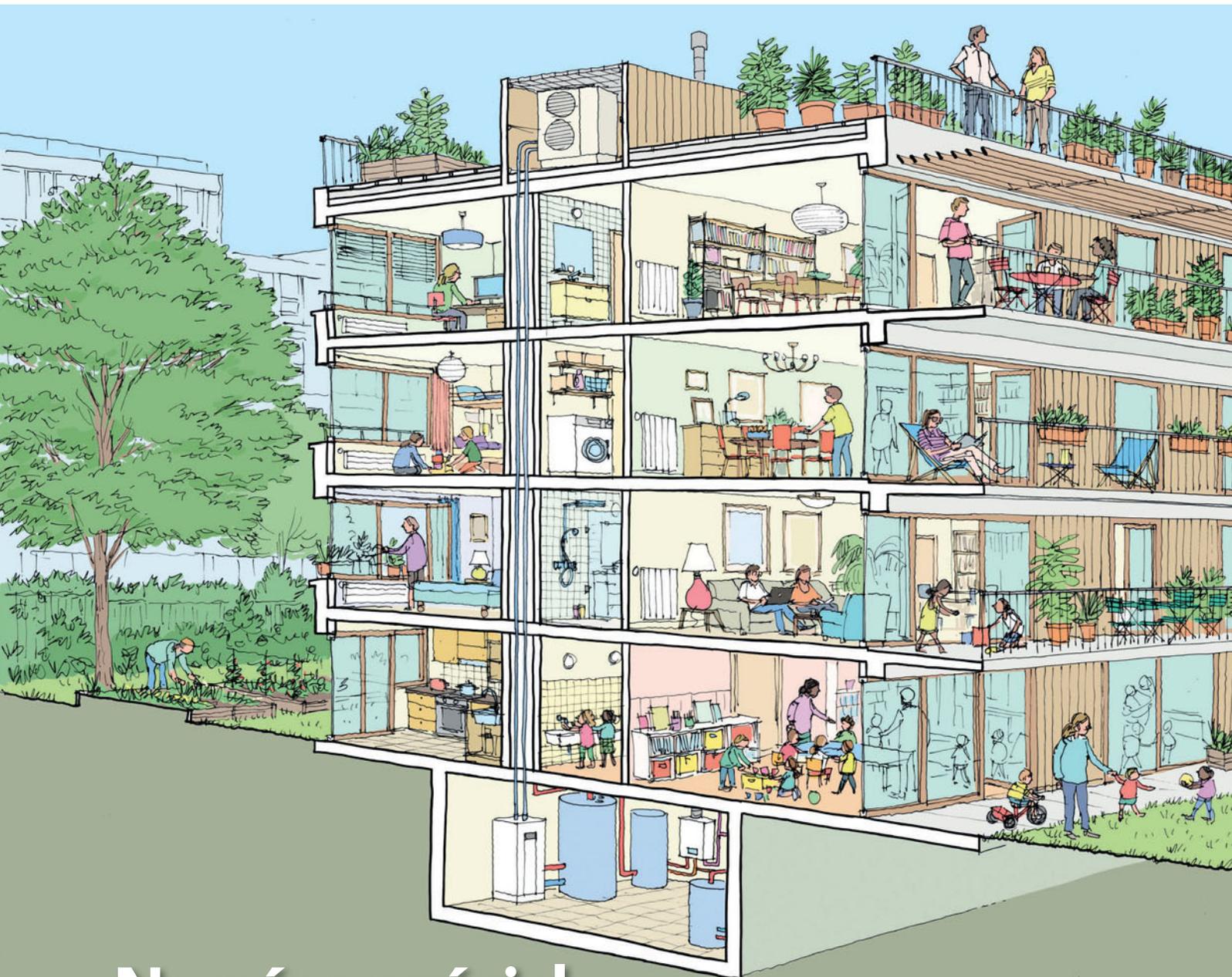


vecteur GAZ

N° 148 • 1^{er} trimestre 2025

Revue d'information de GRDF pour
les acteurs de l'énergie du bâtiment



Numéro spécial
HYBRIDATION

CEGIBAT
L'expertise efficacité énergétique de GRDF

04 **LE GRAND ENTRETIEN**
La pompe à chaleur (PAC) hybride, un atout pour la décarbonation du bâtiment et la résilience du système électrique

06 **LES PRINCIPES DE BASE**
06 PAC hybride : deux énergies valent mieux qu'une
08 PAC hybride collective : quelle offre des fabricants ?

10 **LE DIMENSIONNEMENT**
Résidentiel et tertiaire : quel dimensionnement pour les PAC hybrides collectives en rénovation ?

16 **FOCUS**
Cegibat crée l'observatoire des coûts de la PAC hybride collective

20 **LES BONNES PRATIQUES**
20 Avant tout, une bonne analyse de l'existant s'impose
26 Schémas hydrauliques : quelle configuration optimale ?
Quels points de vigilance ?

34 **LES RÉFÉRENCES**
34 Hybridation de chaufferie d'une école primaire : résultats de la première saison de chauffage

44 **BON À SAVOIR**
44 Hybridation de chaufferie : des références solides
46 Implantation des PAC hybrides : quelles sont les règles à respecter ?
54 RE2020 : seuils 2025 respectés avec la PAC hybride collective
55 Cegibat lance l'Académie PAC hybride collective



VOTRE REVUE CONSULTABLE EN LIGNE !

Des pictogrammes, dans ce magazine, vous indiquent la présence de contenus supplémentaires dans la version numérique : schémas, vidéos, photos, documentations de fabricants, etc.



Sophie Valenti,
responsable de Cegibat



Vous donner les moyens de prescrire **La PAC hybride en rénovation**

Les récentes évolutions réglementaires, notamment la révision de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (avril 2024) qui vise la généralisation des bâtiments à zéro émission à 2050 avec plusieurs étapes : 2030 pour le neuf (2028 pour les bâtiments publics) et 2050 pour l'ensemble du parc de bâtiments, exigent des solutions performantes. En matière de construction neuve, le cadre est clair et les jalons bien définis : les seuils 2025 de la RE2020 représentent un point de bascule. Le marché de la rénovation est, lui, beaucoup plus protéiforme. Si le décret tertiaire définit une trajectoire, dans le logement, les avancées reposent sur les labels volontaires comme le BBC Rénovation, mais aussi sur la volonté des maîtres d'ouvrage ou sur des incitations à rénover liées à des dispositifs d'aide ou à des mesures d'interdiction. En 2050, la totalité du gaz consommé en France sera vert, et les solutions gaz auront toute leur place.

Dans un contexte immobilier particulièrement atone, tout l'enjeu pour les maîtres d'ouvrage réside dans la recherche d'équilibre entre l'amélioration de la performance de leurs bâtiments et la capacité à en financer la rénovation avec des solutions économiquement acceptables pour leurs clients en coût global. Face au vaste panel de solutions énergétiques proposées par les industriels, comment faire les meilleurs choix pour réussir la transition écologique de son patrimoine ? Grâce à ses performances énergétiques, économiques et à sa compatibilité avec un réseau électrique qui doit être flexible, la PAC hybride répond aux exigences de rénovation performante et durable.

L'offre de PAC hybrides collectives est à présent bien structurée. En effet, les clients veulent avoir une alternative, pouvoir comparer des options techniques différentes pour faire un choix éclairé. Un marché qui ne présenterait que des solutions 100% électriques ne serait pas tenable. D'autant qu'en rénovation il faut composer avec la complexité de l'existant et prendre en compte les conditions d'implantation, de dimensionnement, de conception et d'exploitation avant de préconiser un système énergétique quel qu'il soit. Nous sommes engagés à soutenir la mise en marché de cette solution pour parvenir à ce degré de maturité, un objectif partagé par GRDF et les fabricants.

Le rôle de Cegibat, et tout particulièrement des ingénieurs efficacité énergétique (IEE), est d'accompagner les acteurs – maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, installateurs – dans l'appropriation de cette technologie. Il nous importe plus que tout de l'inscrire dans la durée, indépendamment des effets de mode ou des préconisations opportunistes liées à des dispositifs d'aide, par définition réversibles. C'est toute la rigueur que nous apportons à travers notre centre d'expertise, en portant notre attention sur les différentes étapes de la vie d'une solution et non exclusivement sur la vente du matériel.

En misant sur l'accompagnement et la transparence, nous voulons démontrer qu'une alternative au tout-électrique existe, qu'elle représente une solution immédiate de décarbonation à coûts maîtrisés pour les propriétaires-bailleurs et pour les occupants. Ce numéro spécial de vecteurGAZ, dédié à l'hybridation, vise à partager les meilleures pratiques et retours d'expérience techniques déjà engrangés. Nous souhaitons qu'il vous fournisse les arguments et les outils pour prescrire cette solution innovante dans les meilleures conditions.

La PAC hybride, un atout pour la décarbonation du bâtiment et la résilience du système électrique

La PAC hybride, dont la consommation en gaz fossile va être progressivement et intégralement convertie en gaz vert, possède de nombreux atouts pour réussir la décarbonation du secteur du bâtiment, en plus d'assurer résilience et flexibilité au système électrique.

Jean-Charles Colas-Roy, président de l'association Coénove, fait le point sur les perspectives de cette technologie gaz, en phase avec les objectifs bas carbone de notre pays. —

1,4

1,4 million

Nombre de PAC hybrides que prévoit le scénario établi par GRDF, GRTgaz et Teréga dans leurs « Perspectives Gaz 2024 » pour la France en 2035.



Téléchargez le rapport « Perspectives Gaz 2024 ».

Quel rôle pour la PAC hybride dans les trajectoires de décarbonation du bâtiment d'ici à 2035 ?

— **Jean-Charles Colas-Roy** : On ne pourra pas électrifier tous les bâtiments. Les contraintes sont techniques, avec plus de 30 % de logements dans l'impossibilité de mettre en place une PAC. Les solutions gaz, compatibles gaz vert, y restent pertinentes. Elles sont aussi économiques, car de nombreux ménages rencontrent des difficultés à installer une PAC, qui coûte jusqu'à 3 à 4 fois plus cher qu'une chaudière gaz. Pour la sécurité d'approvisionnement du pays et pour la résilience de notre système énergétique, enfin, il est bon de ne pas tout miser sur l'électricité et d'avoir une complémentarité des vecteurs énergétiques. L'intérêt de la PAC hybride est d'être à la fois compatible gaz vert et biénergie. Elle est donc capable de soulager le réseau électrique en cas d'appels de puissance. D'autant que nous avons le potentiel de verdir en France tout le gaz que nous consommons.

Quelle place pourrait-elle occuper dans ce mix énergétique ?

— **J.-C.C.-R.** : Dans ses scénarios de transition, RTE envisage 2,5 millions de logements chauffés par des PAC hybrides en 2050. Ce chiffre monte même jusqu'à 5,7 millions dans les scénarios de l'ADEME. Les principaux opérateurs gaziers, dans leur exercice de prospective « Perspectives Gaz 2024 », dressent une trajectoire de 700 000 PAC hybrides en 2030 et 1,4 million en 2035.

Le projet de révision de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB) a été adopté en 2024. Il prévoit l'abandon progressif des chaudières exclusivement alimentées en combustibles fossiles, puis leur interdiction en 2040. Comment la PAC hybride s'intègre-t-elle dans cette future réglementation ?

— **J.-C.C.-R.** : Ce n'est pas la chaudière qu'il faut bannir, c'est le gaz qu'il faut verdir, puisque les chaudières sont 100 % compatibles gaz vert. Cette future réglementation appelle à ce que les bâtiments soient de plus en plus flexibles, c'est-à-dire qu'ils puissent répondre à des signaux extérieurs pour effacer tout ou partie de leur consommation électrique. La PAC hybride s'inscrit pleinement dans cette orientation. Avec un signal type Écowatt envoyé par RTE en cas de tensions sur le système électrique, le parc de PAC hybrides pourrait basculer sur la partie gaz, majoritairement alimentée en gaz vert, et ainsi soulager le réseau électrique. La DPEB laisse d'ailleurs la possibilité aux États membres d'accorder des aides aux systèmes hybrides.

Et dans le neuf, qui entre aussi dans le champ de la DPEB ?

— **J.-C.C.-R.** : Tous les bâtiments neufs devront être zéro émission en 2030 (2028 pour les bâtiments publics), c'est-à-dire sans émissions issues d'énergie fossile in situ. Les PAC hybrides, qui sont des systèmes très performants, resteront compatibles avec la DPEB grâce à une alimentation 100 % biométhane. Comme le réseau n'est pas encore gaz vert à 100 %, et qu'il ne le sera pas avant



Jean-Charles Colas-Roy,
président de l'association Coénove

« La PAC hybride favorise la rénovation progressive des bâtiments. Avec sa PAC de faible puissance, elle évite les surcoûts et le surdimensionnement du système de chauffage une fois la rénovation globale achevée. »

la décennie 2040-2050, cela ne devrait pouvoir passer que par la mise en œuvre de systèmes de garantie d'origine des contrats de fourniture de gaz vert. En France, plusieurs fournisseurs d'énergie proposent déjà des offres 100% gaz vert, avec des surcoûts très raisonnables.

La PAC hybride reste donc plus que jamais une solution d'avenir, notamment pour la résilience du système électrique ?

— **J.-C.C.-R.** : L'étude menée fin 2023 par le bureau d'études indépendant Artelys pour Coénove démontre tout l'intérêt d'une approche plus modérée de l'électrification du secteur du bâtiment. Ce scénario s'appuie sur une complémentarité avec les chaudières gaz, progressivement alimentées en gaz vert, et un développement massif des PAC hybrides pour garantir la sécurité d'approvisionnement du pays. En période de pointe, les PAC hybrides permettent de réduire la consommation d'électricité du secteur du bâtiment, fortement thermosensible, pour atteindre un optimum technico-économique. En basculant sur la partie gaz, alimentée progressivement en gaz vert, la PAC hybride évite des surcoûts de réseau et des surcapacités électriques de pointe, tout en permettant de se prémunir des black-out en cas de vague de froid intense et prolongée. En novembre dernier, Engie rappelait combien les enjeux de flexibilité étaient importants pour l'indépendance énergétique et la sécurité d'approvisionnement en Europe, et que la flexibilité viendrait pour un quart de l'offre (adaptation de la production) et pour trois-quarts de la demande (capacité de moduler les consommations et de basculer, entre autres, de l'électricité vers un vecteur énergétique stockable comme le gaz).

Quel intérêt ont les fabricants au développement des PAC hybrides ?

— **J.-C.C.-R.** : Historiquement, les industriels français et européens se sont développés sur le marché de la combustion et de la chaudière, là où les industriels asiatiques ont une avance sur les technologies thermodynamiques à l'origine des PAC. La valeur ajoutée européenne est donc très importante sur les systèmes hybrides, qui allient les deux technologies. Quand on encourage les PAC hybrides, on donne donc l'avantage

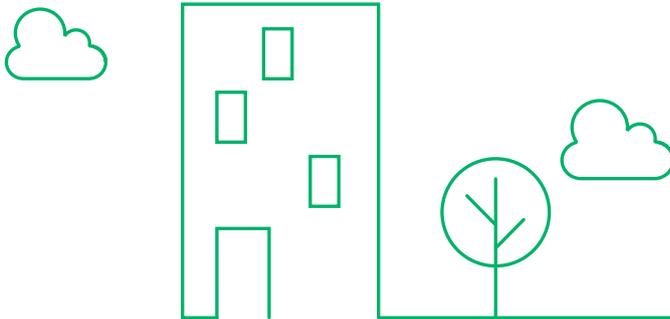
aux industriels français et européens qui possèdent des lignes de production de chaudières, avec un savoir-faire historique pour coupler habilement systèmes électriques et technologies gaz. En France, notre réseau d'installateurs et de mainteneurs des systèmes de chauffage est aussi un atout pour notre pays, car nos professionnels du gaz sont aujourd'hui très engagés dans la promotion des gaz verts et le déploiement des systèmes innovants, comme les chaudières à très haute performance énergétique (THPE) et les systèmes hybrides. En remplaçant une ancienne chaudière par une chaudière THPE, on peut faire jusqu'à 30% d'économies d'énergie. Avec une PAC hybride, les consommations et les émissions de gaz à effet de serre peuvent diminuer de 70%.

Quelles sont vos attentes vis-à-vis des pouvoirs publics et des fournisseurs d'énergie pour accompagner le développement de la PAC hybride ?

— **J.-C.C.-R.** : Nous attendons des fournisseurs d'énergie la généralisation des tarifs dynamiques, à l'image du tarif réglementé Tempo d'EDF qui intègre le surcoût lié à la production électrique en période tendue. Plus on ira vers des tarifs qui reflètent les difficultés du réseau en période de pointe, plus on valorisera les systèmes hybrides qui sont fortement flexibles. Il serait aussi intéressant d'intégrer une pointe mobile dans le tarif d'utilisation du réseau public d'électricité (TURPE) basse tension pour tenir compte de l'impact de la pointe hivernale sur le dimensionnement et le fonctionnement des réseaux électriques. Et vis-à-vis des pouvoirs publics, nous demandons également une prime supplémentaire pour les solutions hybrides, pour service rendu au réseau. Cela permettrait de valoriser le gaz vert, qui est une énergie stockable, locale et renouvelable. C'est une chance pour notre pays. ●

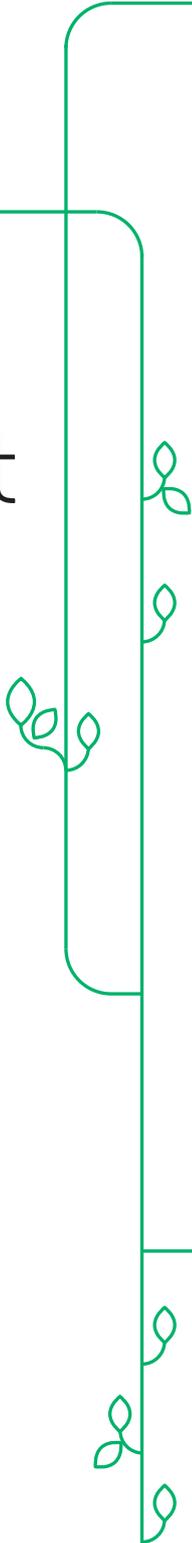
« La PAC hybride permet d'allier des électrons décarbonés avec des molécules de gaz qui se verdissent, tout en apportant flexibilité et résilience à nos systèmes énergétiques français et européens. »

 Propos recueillis par Cédric Rognon



PAC hybride : deux énergies valent mieux qu'une

En combinant PAC et chaudière gaz, la PAC hybride prend le meilleur des deux énergies. Adapté au neuf (compatible RE2020/2025) comme à la rénovation, cet équipement deux en un couvre tous les segments de marché, résidentiels et tertiaires. Sa régulation donne la priorité au générateur le plus performant, tout en gardant la possibilité de soulager le réseau électrique par l'effacement de la PAC. —





Pourquoi choisir ? En associant gaz et électricité, la PAC hybride ne présente que des avantages. Cet équipement biénergie combine PAC et chaudière gaz, 100% compatible gaz vert. Il assure à la fois les besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire (ECS), voire de rafraîchissement en été quand les émetteurs sont compatibles (plancher chauffant-rafraîchissant, par exemple). Dotée d'une régulation intelligente, paramétrable simplement par l'utilisateur, la PAC hybride donne la priorité en temps réel au générateur le plus performant. Lorsque les températures sont clémentes, la PAC assure la totalité des besoins de chauffage. La chaudière prend le relais en tout ou partie quand les températures fraîchissent. Le confort est toujours au rendez-vous, sans perte de puissance, car la chaudière assure le chauffage pendant les jours les plus froids. En rénovation, la PAC hybride permet aussi de conserver les radiateurs existants, sans contraintes de régime de température, et constitue ainsi une alternative aux PAC haute température, très onéreuses.

Coût maîtrisé

En fonctionnant principalement en mode thermodynamique, la PAC hybride contribue aux besoins de décarbonation du secteur du bâtiment (diminution des émissions de GES de 70% par rapport à une chaudière standard, sur la base d'un calcul réglementaire dans le neuf). Et demain, avec la généralisation du gaz vert, tout le fonctionnement de cet équipement sera renouvelable. Les économies d'énergie sont aussi conséquentes. En remplacement d'une ancienne chaudière gaz ou fioul, la facture est réduite de 30% à 40%. Cette association entre deux technologies robustes et éprouvées, dont chaque générateur, étant moins sollicité, aura une longévité plus grande, offre aussi un intérêt économique à l'achat. Le module thermodynamique de la PAC hybride est dimensionné pour couvrir seulement une partie des besoins de chauffage. Sa puissance est donc réduite et le coût d'investissement, maîtrisé, là où les PAC 100% électriques requièrent des puissances plus élevées et sont donc plus chères à l'achat.

Régulation et effacement de la PAC

La régulation constitue le cœur du système. Plusieurs modes peuvent être choisis par l'utilisateur en fonction des bénéfices recherchés. Les régulations les plus simples fonctionnent en tout ou rien ou en base avec

appoint. La chaudière prend le relais, généralement autour de 5 °C de température extérieure, quand la PAC ne suffit plus à satisfaire les besoins de chauffage ou est perturbée par les cycles de dégivrage. La PAC hybride peut aussi être régulée sur énergie primaire. Elle fonctionne alors tant que son coefficient de performance (COP) est supérieur ou égal à 2,3 (facteur d'énergie primaire de l'électricité en dessous duquel les performances de la PAC sont inférieures à celle de la chaudière). La régulation peut aussi être paramétrée en fonction du prix des énergies. Elle privilégie dans ce cas le kWh de chaleur le plus économique. De quoi se prémunir de l'envolée du prix d'une des deux énergies. La PAC hybride trouve aussi son intérêt dans les besoins de flexibilité du réseau électrique, démontrant tout l'intérêt de la complémentarité entre les énergies. L'envoi d'un signal type Écowatt de RTE, via un simple contact sec sur le compteur Linky, permet à la PAC de s'effacer les jours de pointe au profit de la chaudière gaz pour soulager le réseau.

PAC hybride individuelle ou collective

La PAC hybride individuelle, comptant une large offre industrielle d'équipements packagés, est adaptée à la maison individuelle, dans le neuf comme en rénovation. L'hybridation des énergies, avec la conception d'une PAC hybride collective, est tout aussi pertinente dans le résidentiel collectif comme le secteur tertiaire. Le principe est le même, à la différence que l'installation hybride peut combiner plusieurs PAC et chaudières gaz. Le marché va aujourd'hui dans ce sens, et l'hybridation des chaufferies au gaz avec des PAC ne fait que commencer.

Prête pour la RE2020/2025 et idéale en rénovation

Dans le neuf, la PAC hybride est compatible avec les dernières évolutions réglementaires (RE2020/2025) et permet de respecter l'ensemble des seuils (Cep, Cep nr et IC énergie). Elle fait partie des équipements les plus performants en énergie primaire et en émissions de gaz à effet de serre, mais aussi sur l'indicateur Ic construction grâce à sa faible charge en fluide frigorigène. La PAC hybride est également une solution parfaitement adaptée à la rénovation des chaufferies, comme nous le développerons dans les pages de ce numéro consacré à la PAC hybride collective. ●

 Cédric Rognon

PAC hybride collective : quelle offre des fabricants ?

La recherche de performance et d'atteinte de seuils réglementaires de plus en plus exigeants poussent les solutions gaz à s'hybrider. L'hybridation n'est pas une approche nouvelle, et les projets gaz et énergies renouvelables (EnR) au sein du parc des bâtiments sont nombreux. Mais la RE2020 comme le décret tertiaire, par exemple, ont changé la donne. Aujourd'hui, la majeure partie des fabricants propose une offre complète de solutions hybrides et en particulier de PAC hybrides collectives, car cette solution présente des atouts technico-économiques reconnus. —



Sil'exercice avait été fait il y a deux ans, la liste des fabricants proposant la PAC hybride collective aurait été beaucoup plus restreinte. D'ailleurs, dès les annonces des premiers seuils 2025 de la RE2020 fin 2021, le 100 % PAC semblait être, pour les maîtres d'ouvrage, la seule option pour répondre aux enjeux de décarbonation et d'efficacité énergétique des différentes réglementations thermiques et environnementales, dans le neuf comme dans l'existant. C'est lors des premières études de positionnement, schémas d'implantation et chiffrages associés, que les maîtres d'ouvrage ont commencé à rechercher des solutions alternatives aux solutions exclusivement thermodynamiques. Les fabricants ont alors amplifié leurs travaux sur la PAC hybride collective. Ils ont optimisé le dimensionnement de la solution pour répondre aux enjeux économiques des maîtres d'ouvrage, mais aussi aux contraintes d'encombrement, d'acoustique et de puissances électriques auxquelles ils étaient confrontés.

Conséquences de l'évolution de la réglementation F-Gaz

À cette prise de conscience s'ajoutent, depuis le 11 mars 2024, les nouvelles exigences de la réglementation F-Gaz. En effet, dès 2027, il sera interdit de mettre sur le marché des PAC monobloc air/eau d'une puissance inférieure à 12 kW qui utilisent un fluide frigorigène dont le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) est supérieur à 150. À partir de 2029, cette exigence s'appliquera aux PAC bibloc de puissance supérieure à 12 kW, avec la perspective d'une élimination totale à l'horizon 2032. Le R290 (propane), fluide avec un PRP de 3, tend donc à se généraliser. Cette tendance se constate dans les mises à jour de gamme des fabricants, où le R290 apparaît en majorité pour prendre le relais des fluides R410A ou R32. Le propane présente aussi l'avantage d'être efficace à des températures de départ plus hautes (entre 65 et 80 °C). En revanche, s'agissant d'un hydrocarbure, il a l'inconvénient d'être inflammable. Une attention particulière devra donc être portée lors de la conception des installations pour anticiper d'éventuelles fuites (évacuation du fluide en cas de fuite, proximité de points chauds, ventilation du local...). ●

 **Vincent Lallemand**, responsable efficacité énergétique

FOCUS SUR L'OFFRE DE PAC HYBRIDES COLLECTIVES

Ci-dessous, le tableau non exhaustif des fabricants avec lesquels des échanges ont eu lieu sur le dimensionnement et la prescription des solutions PAC hybrides collectives. Il compile les informations liées au fluide frigorigène utilisé, la puissance calorifique des machines, les températures de départ maximales en sortie de PAC, les puissances acoustiques ainsi que les fiches PEP (profil environnemental produit) disponibles – sous réserve que ces informations figurent dans les notices des fabricants.

Ce tableau est une photographie à date. Il ne tient pas compte des autres fabricants qui travaillent actuellement sur l'hybride ni de l'évolution des gammes existantes, notamment pour utiliser des fluides frigorigènes à faibles PRP et pour diminuer les

puissances sonores. Il n'anticipe pas non plus les nombreux travaux en cours sur l'intégration de régulations toujours plus performantes et adaptées aux enjeux de chaque maître d'ouvrage (régulation sur température de bascule, carbone, énergie primaire, prix des énergies, tarifs dynamiques, flexibilité du réseau électrique...).

L'offre est donc déjà large et structurée, avec des fabricants proposant une solution suivie de A à Z, de la conception à la mise en service de l'installation en passant par son schéma hydraulique. Certains fabricants complètent cette solution par le suivi des performances de l'installation sur la première année d'exploitation afin d'en faire de belles références.

Descriptif des PAC utilisées en hybridation de chaufferie (non exhaustif – décembre 2024)

FABRICANT	PRODUIT	FLUIDE FRIGORIGÈNES	PUISSANCE CALORIFIQUE (+7/35 °C)	TEMPÉRATURE	CASCADABLE	PUISSANCE ACOUSTIQUE	FICHE PEP
ACV	Izea	R290	15, 18, 23, 27, 40, 50 kW	75 °C	Jusqu'à 6 unités	62 à 65 dB(A)	Non communiqué
AIC	Aurax 2T	R410A	De 22 à 93 kW	60 °C	Non communiqué	Non communiqué	Non communiqué
ARISTON ELCO	Aerotop® L, Evo, Evo plus	R32	22 modèles de 24 à 105 kW	L et Evo 55 °C Evo Plus : 60 °C	Jusqu'à 16 unités	69 à 82 dB(A)	Non communiqué
ATLANTIC	Effipac	R32	14, 18, 26, 32, 50 et 70 kW	60 °C	Jusqu'à 6 unités	68 à 83 dB(A)	Non communiqué
	Aptae	R290	15, 18, 23, 27, 40, 50 et 65 kW	75 °C		62 à 65 dB(A)	
BOSCH	Compress 3000 AWP	R32	10 modèles de 16 à 89 kW	60 °C	Jusqu'à 16 unités	Non communiqué	Non communiqué
DAIKIN	EWYT-CZ	R32	16-25, 32-50, 64-90 kW	55 °C	Jusqu'à 4 unités	76 à 85 dB(A)	Non communiqué
DE DIETRICH	MMTC	R32	21, 27, 33 et 40 kW	60 °C	Jusqu'à 6 unités	65 dB (A)	Oui
	MHTC	R290	21 et 33 kW	80 °C			
HOVAL	Belaria Fit	R32	53 ou 85 kW	55 °C	Jusqu'à 16 unités	Non communiqué	Non communiqué
VAILLANT	aroTHERM plus hybride	R290	12 ou 15 kW	70 °C	Jusqu'à 7 unités	61 dB(A)	Oui
VIESSMANN	Vitocal 200 A Pro	R407C	32/64/128 kW	65 °C	Jusqu'à 5 unités	69,7 dB(A)	Non communiqué
	Vitocal 250 A Pro	R290	32/40 kW	70 °C	Non communiqué	Non communiqué	Non communiqué
WEISHAUPT	WWP-L25-A2	R449A R407C	25, 33, 57 kW	60 °C	Non communiqué	72 dB(A)	Non communiqué
	WWP-L40-A2						
	WWP-LA60-AR						



Résidentiel et tertiaire : quel dimensionnement pour les PAC hybrides collectives en rénovation ?

Comme sur le marché du neuf où Cegibat a mené de nombreux travaux avec les fabricants pour trouver un optimum technico-économique sur le dimensionnement de la PAC hybride collective, une réflexion a porté sur le marché de la rénovation. Mais contrairement au marché du neuf, encadré par les exigences réglementaires, sur celui de la rénovation, la question est : le dimensionnement peut-il différer en fonction de l'état initial ou des objectifs à atteindre ? —

GRDF, Cegibat



Héloïse Poss



Vincent Lallemand

— Avec l'évolution des réglementations thermiques dans l'existant – décret tertiaire et diagnostic de performance énergétique (DPE) –, l'hybridation des solutions gaz devient une solution très pertinente, et le dimensionnement de celle-ci est une étape incontournable si l'on veut assurer un bon fonctionnement de l'installation et trouver l'optimum technico-économique.

En point de départ, une analyse de l'installation existante est indispensable

Puissance et besoins de chauffage et de l'ECS

La première étape d'une étude de dimensionnement consiste à évaluer la puissance de chauffage maximale sur la base des déperditions du bâtiment ainsi que le besoin énergétique pour le chauffage et l'ECS. L'idéal est de pouvoir récupérer les consommations réelles du bâtiment ou la monotone de chauffage, car l'un des risques est de repartir des puissances estimées lors de la conception du bâtiment, sachant que celles-ci sont très souvent surévaluées par rapport à la réalité. Dans cette hypothèse, la puissance de la PAC serait surdimensionnée, entraînant un surcoût à l'investissement mais aussi un mauvais fonctionnement de la PAC qui – en raison de son surdimensionnement – fonctionnera sur des cycles courts, à faible charge et aura donc des mauvaises performances et un compresseur avec une durée de vie raccourcie.

Débit et régimes de température des différents réseaux

Une fois les besoins et les puissances de chauffage et d'ECS du bâtiment validés, il faut s'intéresser aux émetteurs de chauffage présents dans le bâtiment (radiateurs, planchers chauffants, centrale de traitement

d'air (CTA)...). Ils vont déterminer le régime de température de départ à la production de l'installation et le nombre de réseaux partant de la chaufferie. L'analyse des puissances et des débits de chacun de ces réseaux est également importante dans la stratégie d'hybridation : des régimes hauts en température et/ou non régulés (CTA ou ECS, par exemple) perturbent les températures de retour des circuits fonctionnant à plus basse température, compliquant ainsi le fonctionnement de la PAC. Celle-ci fonctionne, en effet, de manière optimale avec des températures les plus basses possible et sans fortes variations. Ainsi, il peut être judicieux sur une installation complexe de n'hybrider que les réseaux avec des températures plutôt basses pour optimiser les performances de la PAC, et laisser les réseaux à haute température avec de fortes variations sur la chaudière (exemple d'une CTA). Mais là aussi, tout dépend des débits de chacun de ces réseaux.

Hybridation du chauffage ou de l'ECS ou du chauffage et de l'ECS

Demier point, il convient de bien prendre en considération les usages à hybrider sur l'installation. S'agit-il du chauffage seul ? Du chauffage et de l'ECS ? Ou seulement de l'ECS ? En fonction des segments de marché, résidentiel ou tertiaire, le choix d'un seul usage peut être pertinent, notamment sur des bâtiments avec de faibles besoins ECS où il faudra se concentrer uniquement sur le chauffage. En revanche, si l'ECS est à hybrider, il faudra considérer quelle est la production ECS associée. Instantanée, semi-instantanée, accumulée... ? Tous ces choix impactent directement le dimensionnement de la PAC hybride collective.

Hybridation double service ou par usage ?

En fonction des usages à hybrider, plusieurs types de schémas hydrauliques peuvent être envisagés, comprenant un ou plusieurs ballons de stockage et donc une emprise au sol plus ou moins importante. (voir article Schémas hydrauliques, page 26).

Hybridation des usages de manière séparée

Lorsque les deux usages sont à hybrider, le choix peut être fait de coupler à la chaudière une PAC dédiée au chauffage et une PAC dédiée au préchauffage de l'ECS. Cela permet de travailler sur la PAC dédiée au chauffage sur des températures d'eau plus basses, liées à la loi d'eau en mi-saison, et donc sur des plages de fonctionnement plus favorables à la PAC, proches de ses COP optimaux. Pour la PAC dédiée au préchauffage de l'ECS, le choix pourra être fait de travailler à différentes températures (entre 40 °C et 55 °C), ce qui aura un impact sur les performances de la PAC et donc sur sa sélection. La solution d'hybridation par usage permet d'aller chercher plus de performance si les machines sont bien dimensionnées, mais nécessitera un nombre d'équipements plus important (deux PAC, plusieurs ballons de stockage), une emprise au sol plus conséquente et donc un investissement plus important.

Hybridation commune des usages chauffage et ECS

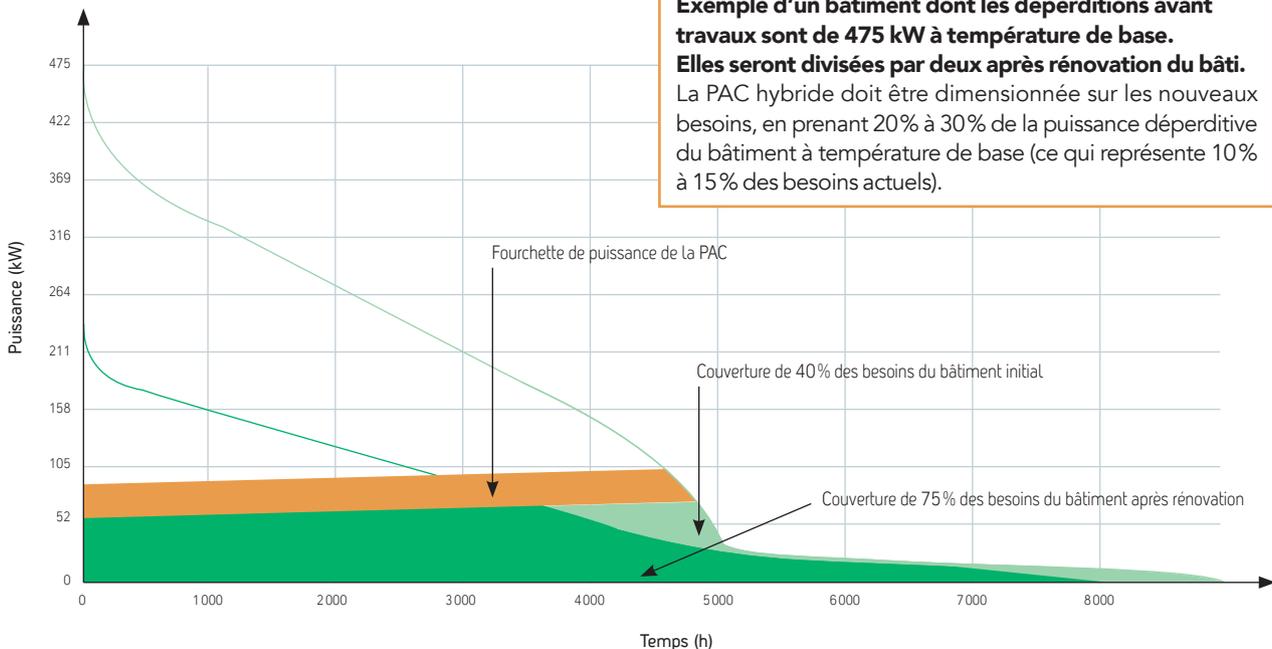
Le concepteur peut également faire le choix d'hybrider les deux usages avec une PAC unique. Le système aura un investissement moindre, mais cela contraindra la PAC à fonctionner sur un régime de température plus élevé, à moins que le choix soit fait de diminuer la température de départ de la PAC et d'augmenter le complément fait par la chaudière.

Anticiper les futurs travaux de rénovation sur l'enveloppe

Dans la théorie, le plus judicieux est de travailler sur l'enveloppe du bâtiment, et donc ses besoins énergétiques, avant de travailler sur le système de production. Dans la pratique, pour des questions budgétaires, de nombreux maîtres d'ouvrage (notamment les copropriétés où la prise de décision est plus longue et plus complexe) ne peuvent envisager une rénovation globale au premier geste. Il est alors important de prendre en compte les besoins futurs du bâtiment dans le dimensionnement de la solution hybride afin de ne pas mettre en place une PAC trop puissante qui, pour les raisons exposées précédemment, sera surdimensionnée une fois l'enveloppe rénovée et conduira ainsi à une mauvaise performance de l'installation.



Monotone des besoins d'un bâtiment existant



Exemple d'un bâtiment dont les déperditions avant travaux sont de 475 kW à température de base.

Elles seront divisées par deux après rénovation du bâti.

La PAC hybride doit être dimensionnée sur les nouveaux besoins, en prenant 20% à 30% de la puissance déperdivitive du bâtiment à température de base (ce qui représente 10% à 15% des besoins actuels).

Avec ce dimensionnement, la PAC couvre 40% des besoins de chauffage et d'ECS avant travaux, les chaudières gaz en place faisant le reste. Après travaux de rénovation de l'enveloppe, la PAC couvrira 75% des besoins du bâtiment. Ce dimensionnement permet de limiter l'investissement initial en installant des PAC de petite puissance et en conservant les chaudières existantes. Une fois la rénovation de l'enveloppe réalisée, les chaudières en place sauront moduler et s'adapter après la réduction de la puissance nécessaire.



Le mode de régulation de la PAC hybride

Les différents modes de régulation de la PAC hybride possibles impactent directement le dimensionnement de la puissance de la PAC et de la puissance de la chaudière, ainsi que le taux de couverture de chaque appareil.

Extraits du document technique unifié (DTU) 65.16

1. Bivalent alternatif :

La PAC fonctionne jusqu'à une certaine température extérieure (point de bivalence). En dessous de cette température, la PAC est mise à l'arrêt, et une chaudière prend le relais (la PAC est utilisée annuellement pour le chauffage pour 40 % à 70 %). Ce fonctionnement peut permettre de s'affranchir des périodes de dégivrage de la PAC si la température de bivalence est supérieure à 2-3 °C.

2. Bivalent parallèle :

La PAC fonctionne seule jusqu'à une certaine température extérieure. En dessous de la température du point de bivalence, la PAC fonctionne avec une chaudière en relèvement (la PAC est utilisée annuellement pour le chauffage pour 70 % à 90 %).

3. Bivalent alternatif parallèle :

Ce mode est la fusion entre le mode bivalent parallèle et le mode bivalent alternatif. En dessous de la température du point de bivalence, la chaudière et la PAC fonctionneront ensemble dans un premier temps ; puis, progressivement, lorsqu'une certaine température extérieure (température de bascule) est atteinte, la PAC s'arrête complètement, et la chaudière prend le relais à 100 %.

Figure 1 : Fonctionnement bivalent alternatif

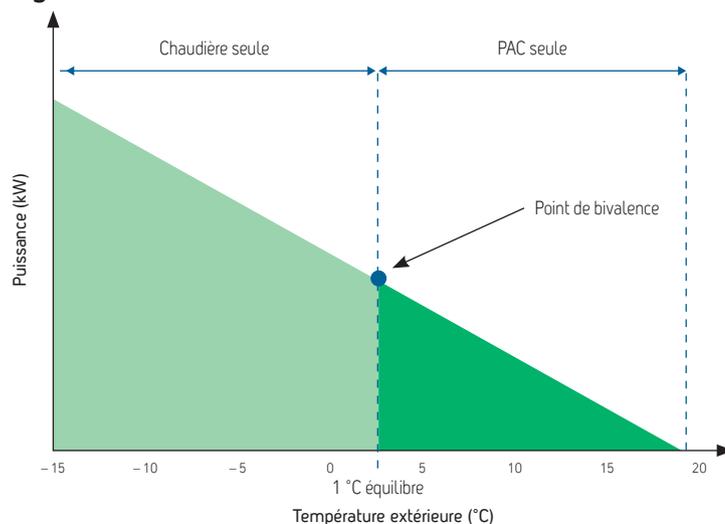


Figure 2 : Fonctionnement bivalent parallèle

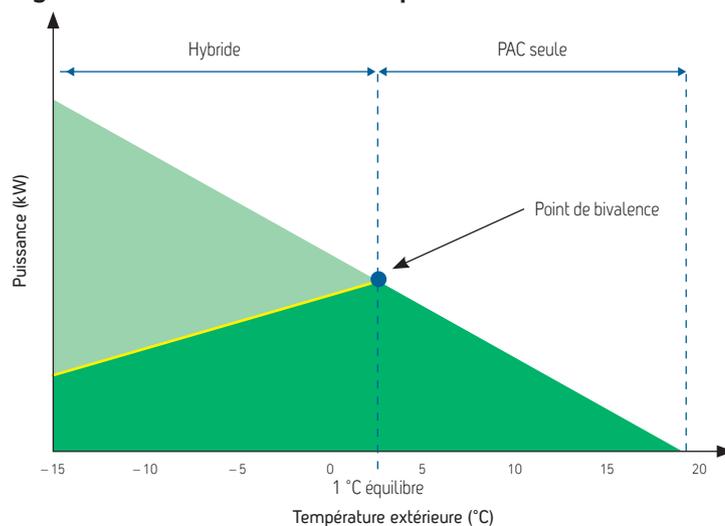
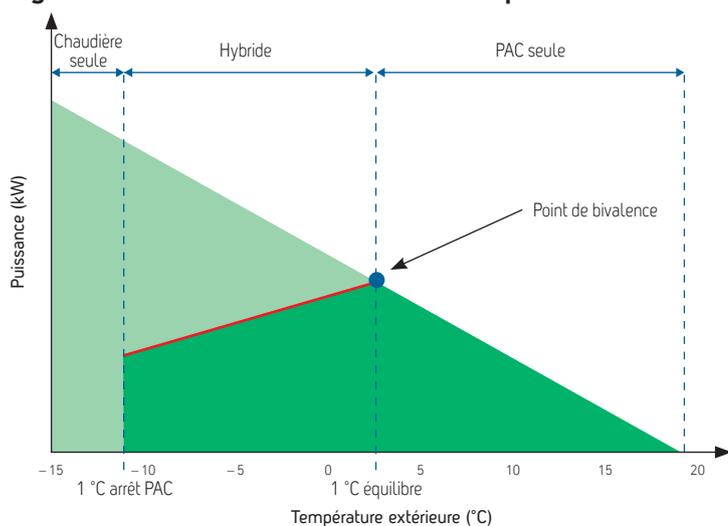


Figure 3 : Fonctionnement bivalent alternatif parallèle





Objectifs et méthodologie de l'étude en résidentiel collectif existant

Une fois tous ces paramètres appréhendés, nous avons souhaité aller plus loin en travaillant sur une règle de dimensionnement, en fonction de quelques paramètres, qui puisse faire consensus auprès de la filière afin de donner une première fourchette de dimensionnement de la PAC pour arriver à un optimum technico-économique. Entre mi-2023 et fin 2024, Cegibat a sollicité six fabricants qui présentaient tous un intérêt pour la PAC hybride collective en rénovation. Objectif : réaliser des travaux en bilatéral avec Engie Lab Crigen afin de déterminer le dimensionnement optimal d'une PAC hybride collective sur le marché du résidentiel existant.

Ce dimensionnement a été optimisé en prenant en compte plusieurs indicateurs :

- le coût d'investissement initial ;
- le coût global actualisé pour la PAC hybride, prenant en compte l'investissement initial, la maintenance et le coût des énergies sur 22 ans ;
- le coût d'abattement carbone ;
- le taux de couverture de chauffage ;
- les performances du système (SCOP) et le taux EnR.

Les simulations ont été faites avec le moteur Th-BCE sur trois zones climatiques (H1a, H2b et H3), pour des températures de départ/retour de 70/50 °C et dans la configuration PAC par usage (chauffage et ECS) et PAC pour le chauffage, chaudière pour l'ECS et l'appoint chauffage.

Cinq typologies de bâtiment ont été testées :

TYPOLOGIE	NOMBRE D'APPARTEMENTS	SURFACE (m²)	REPRÉSENTATIVITÉ DU PARC DE LOGEMENTS COLLECTIFS (%)
BARRES	36	2 353	11,9
COLLECTIF	20	1 224	9,6
GRAND COLLECTIF	31	2 074	18,8
PETIT COLLECTIF	13	865	28,8
HABITAT INTERMÉDIAIRE	22	1 429	6,3

Avec un mode de fonctionnement retenu en bivalence parallèle : la PAC fonctionne en base, quelle que soit la température extérieure, et la chaudière fait l'appoint chauffage mais aussi l'ECS.

La puissance de la PAC à 0/50 °C doit être comprise entre 20% et 30 % des déperditions du bâtiment à la température extérieure de base (30% en H1, 25% en H2 et 20% en H3).

Tableau de synthèse des résultats :

DIMENSIONNEMENT OPTIMAL PUISSANCE DE LA PAC ÉLECTRIQUE CHAUFFAGE À 0/50 °C (%)		VALEURS CIBLES RECOMMANDÉES	RAPPEL DU NEUF PAC PAR USAGE
H1a	PAC (chauffage seul) + chaudière double service	30%	30%
	PAC par usage (chauffage et ECS) + chaudière double service		
H2b	PAC (chauffage) + chaudière double service	25%	25%
	PAC par usage (chauffage et ECS) + chaudière double service		
H3	PAC (chauffage seul) + chaudière double service	20%	15%
	PAC par usage (chauffage et ECS) + chaudière double service		

Les pourcentages de puissance de la PAC sont finalement assez similaires aux règles de dimensionnement du résidentiel neuf.

Ces valeurs permettent d'avoir un premier ordre de grandeur pour considérer le dimensionnement de la PAC en PAC hybride collective. Une étude plus détaillée, réalisée par le bureau d'études thermiques, permettra, en fonction du projet et du fabricant retenu, d'optimiser encore cette puissance. En effet, plus la puissance de la PAC est faible, plus le gain à l'investissement est important.



30%

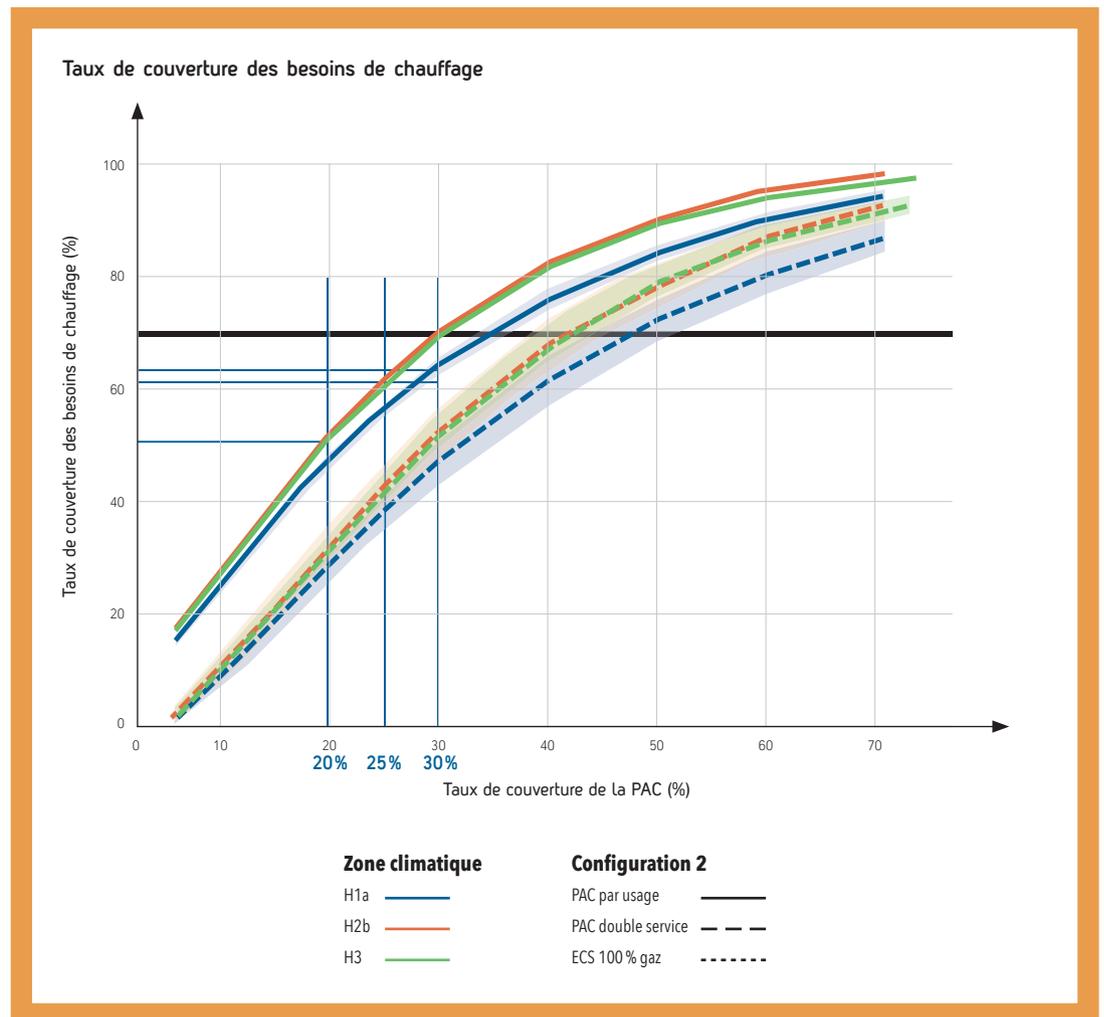
Puissance maximale de la PAC dans une solution hybride



Un taux de couverture des besoins de chauffage et d'ECS par la PAC entre 55% et 85%

En partant de ce dimensionnement, le taux de couverture des besoins de chauffage et d'ECS a été observé sur les différentes typologies de bâtiment en utilisant la méthode d'Engie Lab Crigen et en la comparant aux outils internes des fabricants qui ont dimensionné la solution de leur côté.

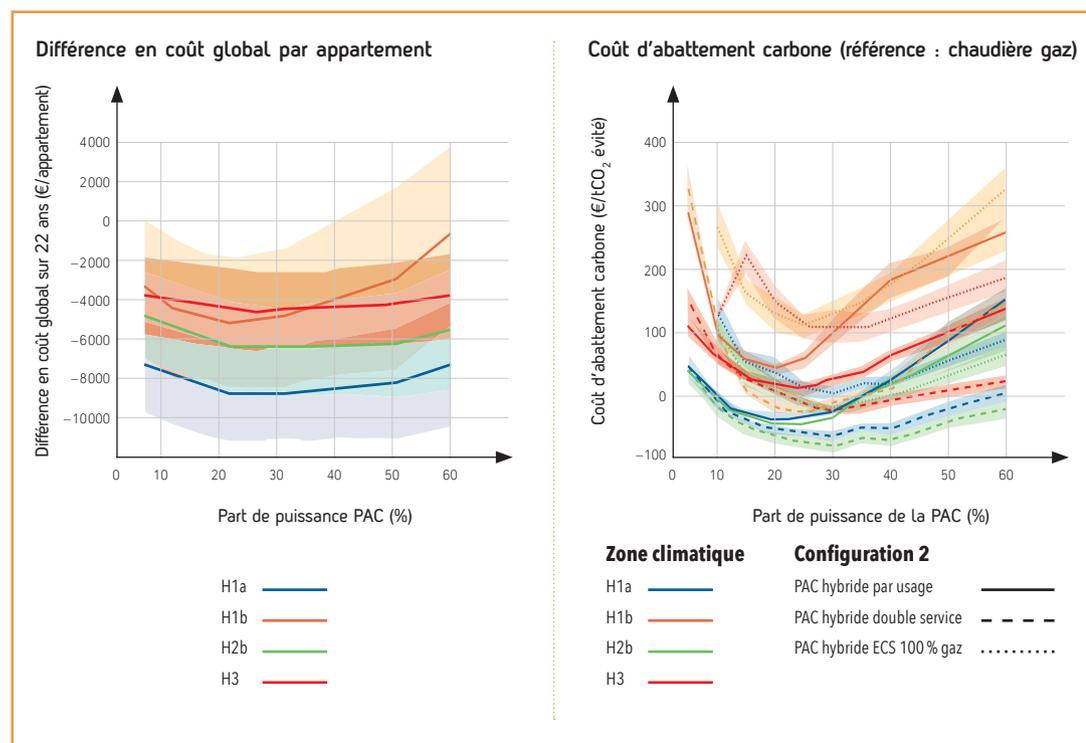
Taux de couverture (en %) de la PAC = le rapport entre la quantité d'énergie fournie par la PAC hors appoint et les besoins annuels de chaleur, pour le chauffage et l'ECS du logement.



On constate sur cette fourchette de dimensionnement, une couverture des besoins de chauffage par la PAC entre 50% et 70%, et entre 55% à 85% si on inclut l'ECS. Un dimensionnement au-delà de ces préconisations est possible, mais les coûts d'investissement deviennent trop importants par rapport au gain sur la couverture de la PAC.

Un dimensionnement permettant d'atteindre un optimum sur le coût global de l'installation et sur le coût d'abattement carbone

Autre constat : c'est sur cette fourchette de 20% à 30% de puissance que l'on obtient un optimum sur le coût global et sur le coût d'abattement carbone.



La suite de l'étude pour déterminer le dimensionnement de la PAC hybride collective dans le cas d'une PAC double service est en cours. Les premiers résultats montrent un dimensionnement très similaire au cas de la PAC par usage.

Nous reviendrons sur ce cas lors d'un prochain numéro de *vecteurGAZ*, ainsi que sur le dimensionnement de la PAC hybride collective en rénovation de bâtiments tertiaires, où les études sont également en cours. ●

 **Héloïse Poss**, responsable efficacité énergétique
Vincent Lallemand, responsable efficacité énergétique

Aller plus loin

Des exemples d'hybridation de chaufferie ont été présentés dans les précédents numéros de *vecteurGAZ*, en résidentiel comme en tertiaire :

- résidence de 49 logements sociaux à Trets (*vecteurGAZ* n° 143);
- collège à Bergerac (*vecteurGAZ* n° 145);
- école primaire à Toulon (*vecteurGAZ* n° 146), exemple complété par les résultats de la première saison de chauffe dans ce numéro spécial, pages 34 à 43.



Visionnez l'émission « Rénovation en tertiaire : comment hybrider une chaufferie existante? » pour plus d'informations sur l'opération de Bergerac.

Cegibat crée l'observatoire des coûts de la PAC hybride collective

En termes économiques et financiers, comment la solution PAC hybride collective se situe-t-elle par rapport à une PAC 100 % thermodynamique ? Pour disposer d'arguments sérieux sur les avantages concurrentiels de la première solution par rapport à la seconde, Cegibat a constitué un observatoire des coûts de la PAC hybride collective. L'analyse d'un premier lot de 70 chiffrages en démontre déjà la pertinence et la compétitivité en matière d'investissement. —

GRDF, Cegibat



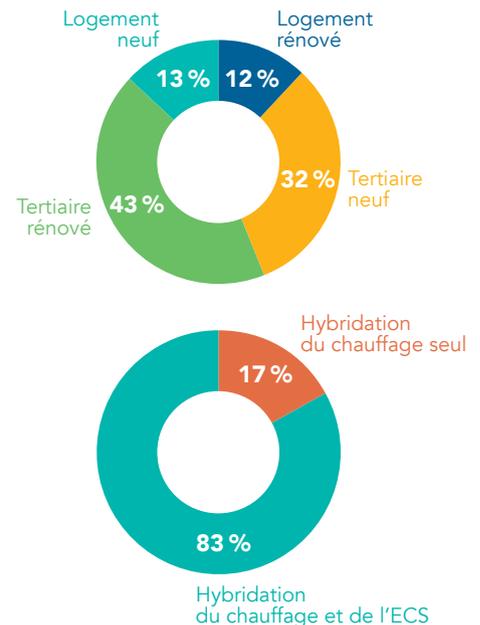
MéliSSa Pouet

— Depuis l'entrée en vigueur de la RE2020, l'évolution du DPE et du décret tertiaire dans l'existant, Cegibat a analysé plus d'une centaine d'études réglementaires avec des PAC hybrides collectives. Cette analyse nous a permis de confirmer leur capacité à atteindre les seuils 2025 de la RE2020 dans le neuf, des étiquettes DPE performantes et les objectifs du décret tertiaire en rénovation. Après avoir travaillé sur le sujet du dimensionnement de la PAC hybride collective avec les différents fabricants, notre ambition sur l'année 2024 était de constituer un observatoire des coûts liés à cette solution, afin de montrer sa pertinence et sa compétitivité en matière d'investissement, au-delà des études conventionnelles sur des projets aboutis en résidentiel et tertiaire.

Origine et pertinence des chiffrages retenus dans l'observatoire

Pour constituer cet observatoire, Cegibat a capitalisé des chiffrages provenant de différentes sources : 13 % des chiffrages sont issus directement des fabricants, 22 % sont issus d'études de faisabilité des bureaux d'études thermiques en amont des projets et 65 % sont issus de devis installateurs. Il s'agit d'une part non négligeable, représentative des prix pratiqués sur le terrain pour les réalisations hybrides à venir. Que ce soit dans le neuf ou dans l'existant, l'ensemble de ces chiffrages a mis en évidence la différence de coûts entre une solution PAC hybride collective et une solution 100 % PAC (PAC avec appoint en effet Joule), et entre le coût moyen des générateurs PAC et celui d'une chaudière gaz au stade de la réalisation. Concrètement, l'observatoire est actuellement

Données de l'observatoire des coûts de la PAC hybride collective



constitué de 70 chiffrages issus d'une quarantaine de projets. Certaines données répondent à un même appel d'offres, d'autres comparent des solutions 100 % PAC aux solutions hybrides, d'autres encore constituent les devis retenus pour la réalisation des travaux. Toutes les zones climatiques sont représentées, avec une prédominance sur les zones H1a, H2b, H2c et H3.



Des coûts 2 à 3 fois plus élevés pour une PAC 100 % thermodynamique, comparés à ceux d'une PAC hybride collective

Comparer des chiffrages provenant de divers projets et sources est un exercice complexe. Dans cet observatoire, les prix sont exprimés en « euros hors taxe (HT) fourni/posé hors aides », et les chiffres sont comparés à isopérimètre (générateurs seuls, générateurs avec accessoires, lot « production gaz », lot « production PAC »...).

La PAC hybride collective : une solution jusqu'à deux à trois fois moins coûteuse que la PAC 100% thermodynamique

Les chiffrages représentés sur le graphique ci-dessous sont issus d'études comparatives entre trois solutions techniques différentes : 100% gaz (installation d'une nouvelle chaudière collective), PAC hybride collective (hybridation sur un ou deux usages) et PAC 100% thermodynamique. Si l'on fait abstraction des exigences réglementaires qui peuvent exclure une solution d'un marché, les résultats montrent que la solution 100% gaz est toujours la plus compétitive en matière d'investissement. La solution PAC hybride, quant à elle, est jusqu'à trois fois moins coûteuse que la version PAC 100% thermodynamique. L'écart de prix s'explique principalement par le dimensionnement des installations. Le principe de l'hybridation est de faire fonctionner la PAC en base, sur des régimes de température cohérents, lorsque la température extérieure lui permet de conserver un COP performant et de maximiser la décarbonation. Quand la température extérieure baisse ou lorsque la PAC n'est plus assez puissante pour assumer les besoins, la chaudière assure alors le complément. Dans l'existant, la puissance de la PAC à 0/50 °C (température air extérieure = 0 °C et température d'eau de départ = 50 °C) est optimale d'un point de vue technico-économique entre 15% et 30% des déperditions à la température de base. La puissance de la PAC est alors divisée par trois et le volume de stockage



— PAC air/eau monobloc moyenne température collective (MMTC) de 40 kW chacune fonctionnant en cascade.

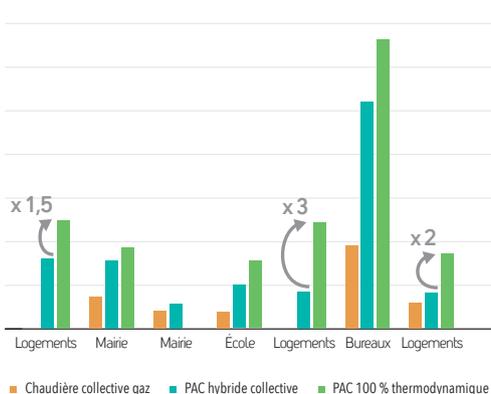
peut être divisé par deux par rapport à une configuration 100% PAC thermodynamique. La solution hybride optimise ainsi l'investissement en limitant le recours au kW installé de PAC électrique plus cher que le kW installé de chaudière gaz. Les chiffrages recueillis traduisent ce dimensionnement et l'avantage concurrentiel que présente la solution hybride face à la solution 100% thermodynamique.

Le coût du kW PAC et celui de la chaudière gaz, au périmètre du générateur seul

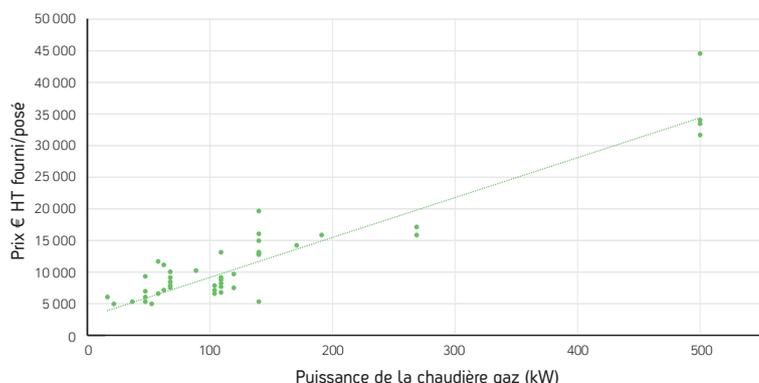
Bien que les typologies de bâtiment diffèrent, nous avons trouvé pertinent d'établir, à partir de l'observatoire, un coût moyen HT ramené au kW fourni et posé pour le lot générateur seul, indépendamment des marques étudiées.

- **90 € HT/kW en moyenne pour la chaudière collective gaz.** Hors accessoires (vanne, thermomètre, manomètre, pressostat, soupape de sécurité, vase d'expansion) et hors conduits de fumée. →

Études comparatives des solutions collectives sur différentes typologies de projet

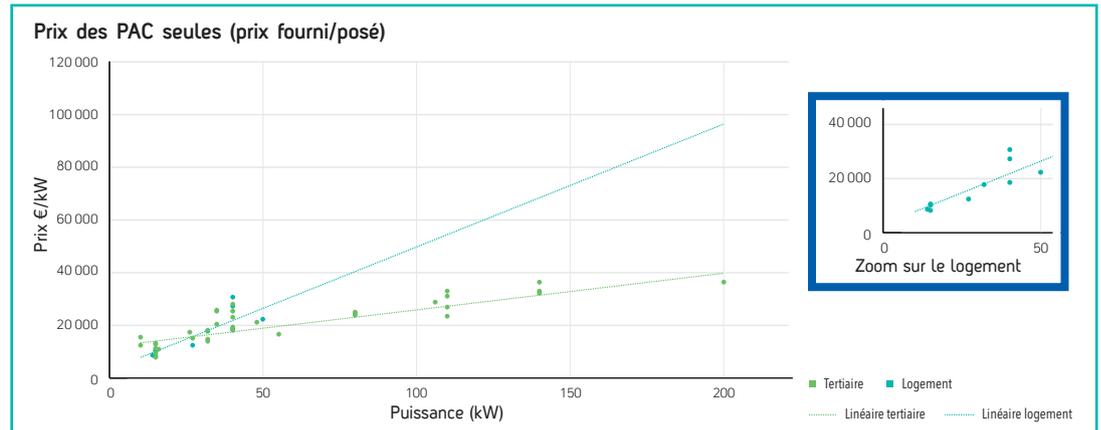


Prix des chaudières en fonction des puissances





- **480 € HT/kW en moyenne pour la PAC collective (air/eau et eau/eau).** Hors accessoires, hors module hydraulique et hors gaines de refoulement.



Cette rapide analyse à l'échelle du générateur confirme l'enjeu d'un dimensionnement en solution hybridée pour limiter le nombre de PAC et donc le coût d'investissement.

Projet de conversion fioul vers hybride (PAC + chaudière gaz) sur un ensemble de 240 logements :



19000 € HT

pour la dépose du réseau fioul et des 2 chaudières de 800 kW

12600 € HT

pour le levage et la manutention des anciens et des nouveaux équipements

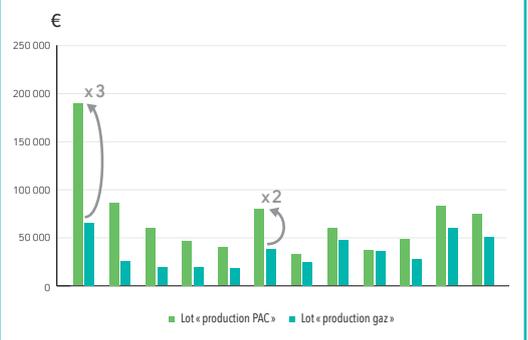
Le coût de la « production gaz » et de la « production PAC » au sein d'une chaufferie hybride

Tous les projets de rénovation présents dans l'observatoire ayant retenu la PAC hybride comme nouveau système de production de chauffage (et d'ECS) s'accompagnent du renouvellement, et du redimensionnement éventuel, de la chaudière collective en place. Nous nous intéressons ici au poids que représente la part de la partie production au sein de la chaufferie hybride, c'est-à-dire à un périmètre plus étendu que celui du générateur seul :

production gaz : chaudière(s), conduit de fumée, collecteurs de départ, vannes, clapet, ventilation de la chaufferie, pompes, pot à boue, soupape, vase d'expansion, thermomètre, automate de régulation, raccordement sur armoire électrique... ;

production PAC : PAC, gaines de refoulement, module hydraulique, vase d'expansion, vannes trois voies, liaisons PAC, pompes, manchon, clapet, filtre, compteur d'énergie, raccordement sur armoire électrique...

Coût de la « production PAC » et de la « production gaz » par projet

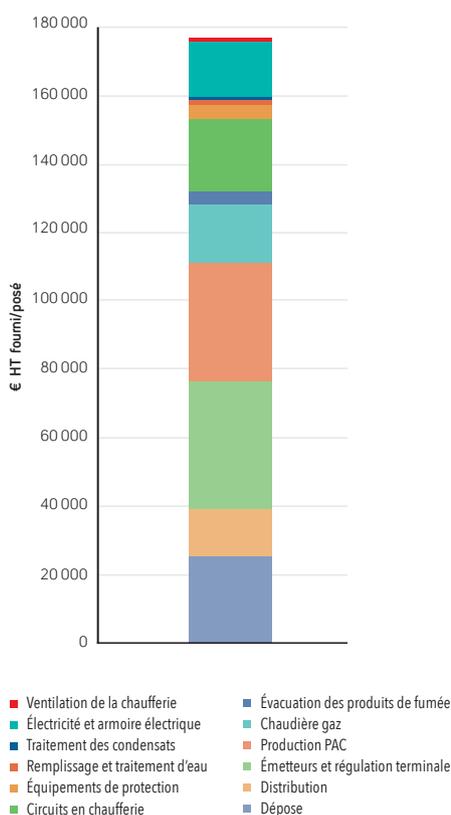


Chacun des 12 projets présentés ici est particulier. Il convient donc de ne pas comparer les projets entre eux, mais bien de constater les poids que représentent les lots « production gaz » et « production PAC » au sein d'une chaufferie hybride, avec un dimensionnement conforme aux préconisations déjà évoquées. Même avec un dimensionnement limité pour les PAC, dans certains projets, le lot « production PAC » peut représenter un poids jusqu'à deux à trois fois celui du lot « production gaz ». L'écart peut rapidement se creuser en fonction des projets. C'est le cas, par exemple, du premier projet, où l'écart s'explique en partie par la longueur de la liaison local PAC/chaufferie (350 m, soit 50 000 € HT).

FOCUS SUR UN PROJET DE RÉNOVATION : DÉCOMPOSITION DU LOT « CHAUFFAGE ET ECS »

Dans le cadre de la rénovation d'une école primaire en zone H2b, des travaux ont porté sur le système énergétique afin d'hybrider la production de chauffage. La chaudière vieillissante a été remplacée par une chaudière gaz de 115 kW, accompagnée d'une PAC air/eau de 32 kW.

Décomposition des coûts du lot « chauffage » : production/distribution/émission



Les éléments pesant les plus lourds dans le chiffrage de ce projet de rénovation sont :

- **21%** : émetteurs et régulation terminale ;
- **20%** : production PAC ;
- **14%** : dépose ;
- **14%** : circuits en chaufferie.

La production gaz représente 9% (chaudière gaz, évacuation des produits de fumée, traitement des condensats). L'analyse des coûts d'investissement ne peut se limiter aux seuls générateurs, qui ne représentent qu'une partie des coûts du lot « chauffage ». Les émetteurs représentent, quant à eux, près d'un quart du lot « chauffage » sur les différents projets recueillis quand ils sont remplacés.

DE L'ACOUSTIQUE À LA MISE EN SERVICE : DES COÛTS INDUITS À NE PAS NÉGLIGER

L'analyse des chiffrages détaillés a permis de dégager des coûts induits, à associer aux équipements de production de chauffage et d'ECS collective. Il est important de ne pas les oublier, car ils peuvent impacter considérablement le coût global d'une opération. En rénovation particulièrement, les actions de dépose et de manutention, propres à chaque projet, peuvent peser lourd dans la facture finale :

- 2 300 € HT en moyenne pour la dépose des chaudières gaz existantes sur les projets de l'observatoire ;
- 4 000 € HT pour la dépose de deux chaudières fioul de 100 kW chacune.

L'acoustique est aussi un paramètre à ne pas négliger, tant pour l'intégration des unités extérieures des PAC dans l'environnement existant que pour la maîtrise des investissements liés à l'atténuation sonore nécessaire.

Comparée à une version 100% thermodynamique, la solution hybride réduit la puissance de la PAC, ce qui limite le nombre d'unités extérieures et donc l'investissement dans des solutions de traitement acoustique.

En complément des coûts induits à intégrer dans la rénovation des systèmes énergétiques en résidentiel et tertiaire, nous avons recueilli des coûts moyens de **mise en service : 490 € HT** en moyenne pour la chaudière gaz, **1 500 € HT** en moyenne pour la PAC.

Premiers enseignements

L'observatoire des coûts de la PAC hybride collective en résidentiel et tertiaire tire ainsi ses premiers enseignements. Cette solution optimisée se déploie sur des projets réels, et Cegibat continuera de l'alimenter pour consolider les résultats et l'enrichir d'autres données de prix (coûts de maintenance par exemple). Les données collectées montrent d'ores et déjà que la solution hybride, grâce à un dimensionnement optimisé, permet de conserver un investissement le plus raisonnable possible sur de nombreux points grâce à une puissance limitée en PAC. Une réflexion globale est indispensable au choix de la solution envisagée, dont certains aspects peuvent impacter grandement les coûts :

- l'acoustique : traitement nécessaire en fonction du nombre de PAC et de l'environnement ;
- l'encombrement : place limitée, surtout en rénovation (vigilance sur le nombre de PAC et le volume de stockage d'ECS) ;
- l'implantation des unités extérieures (nombre de PAC, linéaires des liaisons) ;
- la puissance électrique nécessaire (coûts d'adaptation du transformateur si la puissance de PAC est trop élevée).

Le bon dimensionnement de la PAC hybride collective est la clé du bon fonctionnement de cette solution et de son investissement limité. ●

Quelques chiffres issus de l'observatoire :



14 000 € HT

pour un caisson acoustique pour une PAC air/eau de 32 kW

90 € HT/m²

de panneau acoustique

500 € HT/m²

de grille acoustique

✍ **Mélissa Pouet**, responsable efficacité énergétique

Avant tout, une bonne analyse de l'existant s'impose

Avant de se lancer dans un schéma hydraulique, une analyse fine de l'existant et de son fonctionnement est indispensable pour une installation réussie. Elle comprend l'analyse des départs de chauffage, leurs températures, leurs débits et leurs puissances, la pertinence d'hybrider ou non l'ECS, le nombre de boucles du bouclage, mais aussi la conformité de la chaufferie, le surdimensionnement éventuel des générateurs ainsi que l'acoustique de la PAC. Revue de détails. —

GRDF, Cegibat



Olivier Broggi

Hybridation du chauffage

Analyse des départs de chauffage

Cette analyse est primordiale afin de bien déterminer les températures de départ et de retour de chauffage. Un des réseaux peut, en effet, être une CTA ou une sous-station avec un départ haute température constante. Cette haute température de départ aura pour effet d'engendrer des températures de retour élevées. Sont-elles favorables à la performance de la PAC que j'envisage d'installer ou dois-je envisager une hybridation partielle (juste sur les retours de chauffage régulés)?

En effet, une CTA avec une loi d'eau 70 °C constante fournira des retours à 50 °C à la température extérieure de base le jour le plus froid de l'hiver, mais des retours à 70 °C par 20 °C à l'extérieur. Ces retours seront donc de plus en plus chauds au fur et à mesure que les températures extérieures vont augmenter. Sur ce type de réseau, plus les températures extérieures sont douces, moins la PAC sera dans sa zone de confort. L'intérêt d'hybrider le départ de chauffage sera alors à évaluer.

De même, hybrider un réseau de quelques radiateurs à côté d'un réseau alimentant un vaste plancher chauffant est-il une bonne solution? Sur une installation composée d'un réseau CTA et d'un réseau radiateur, l'emplacement de la PAC ainsi que le choix de celle-ci seront à considérer. Prenons l'exemple d'un réseau CTA de 100 kW (régime 70 °C constant) et d'un réseau radiateur de 150 kW suivant une loi d'eau 60/40 °C.

Loi d'eau d'une CTA

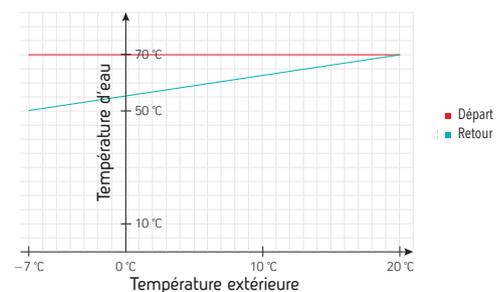
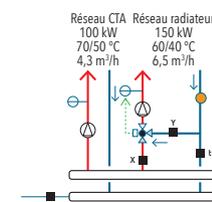
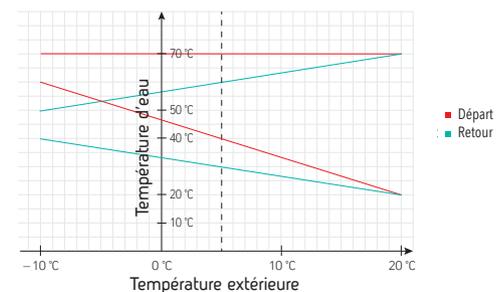


Illustration de deux départs, CTA et radiateur avec leurs lois d'eau respectives

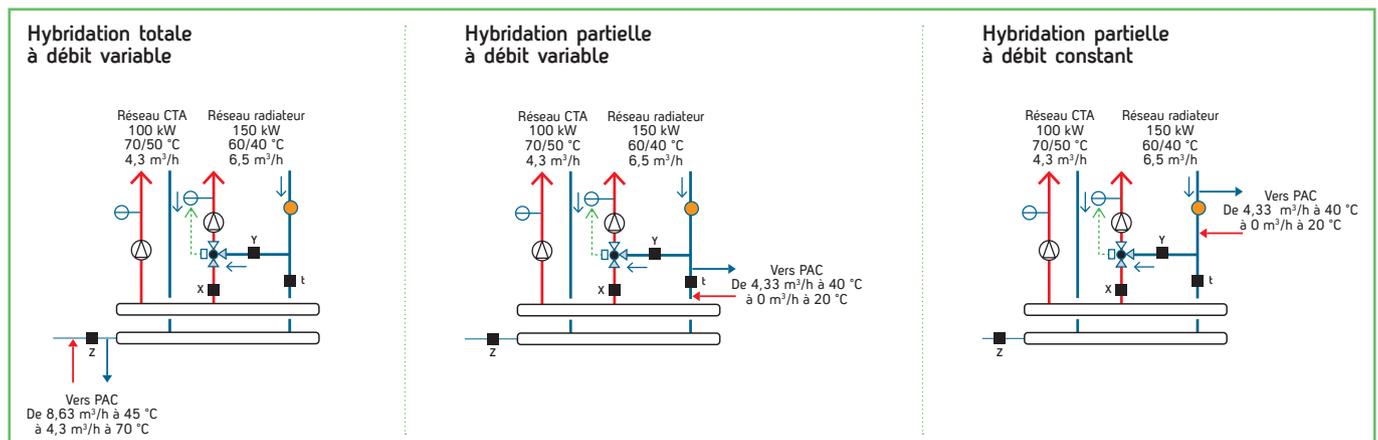


Au point Z, le débit et les températures varient de 8,63 m³/h à 45 °C (température extérieure = -10 °C) à 5,5 m³/h à 51 °C (température extérieure = 5 °C), pour finir à 4,3 m³/h à 70 °C (température extérieure = 20 °C). Plus les températures sont clémentes, plus les retours sont chauds.

• **L'hybridation en ce point implique une PAC haute température (voir schémas ci-dessous).**

Au point t, le débit et les températures varient donc de 4,33 m³/h à 40 °C (température extérieure = -10 °C) à 0,75 m³/h à 30 °C (température extérieure = 5 °C), pour finir à 0 m³/h à 20 °C (température extérieure = 20 °C) (recirculation totale du débit par la vanne trois voies du réseau radiateur).

- **L'hybridation en ce point se fait par une PAC plus basse température qu'au point Z, donc moins chère, mais lorsque les températures extérieures sont les plus favorables à la PAC, le débit circulant en ce point est de plus en plus faible, pour finir à 0 m³/h (voir deuxième schéma ci-dessous).** En revanche, au point orange sur le schéma ci-avant et sur le troisième ci-dessous, 6,5 m³/h circule tout l'hiver à une température variant de 40 °C à 20 °C.
- **C'est le point où l'hybridation est la plus forte, un débit constant à des températures (de 40 °C à 20 °C) assurant la performance de la PAC (voir troisième schéma ci-dessous).** Détail du calcul dans l'encadré suivant.



Dans cet exemple, l'hybridation partielle à débit constant est la plus favorable en investissement (PAC basse température), en débit et en performance. Hybrider le chauffage revient donc à n'hybrider que le ou les bons réseaux, en plaçant, si possible, la PAC avant la vanne trois voies.

L'analyse des départs aidera donc à faire le choix entre une hybridation totale des circuits ou une hybridation partielle d'une partie seulement d'entre eux.

Le jour le plus froid de l'hiver (ici -10 °C de température extérieure) la température de retour du réseau CTA est de 50 °C, celle du réseau radiateur, de 40 °C. Comme la chaudière produit du 70 °C, pour alimenter le réseau CTA, la température de départ vers le réseau radiateur sera un mélange, par la vanne trois voies, d'une certaine quantité de départ à 70 °C (point X) et d'une partie des retours du réseau radiateur (point Y). Les débits aux points X et Y sont donnés par les équations : $X + Y = 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ et $70X + 40Y = 60 \text{ °C} \times 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$, soit $Y = 2,17 \text{ m}^3/\text{h}$ et $X = 4,33 \text{ m}^3/\text{h}$.

4,33 m³/h reviennent également vers la chaufferie de ce réseau de radiateurs (point t). Au point Z, mélange des retours CTA (4,3 m³/h à 50 °C) et radiateur (4,33 m³/h à 40 °C), soit 8,63 m³/h à une température de 45 °C, donné par l'équation : $8,63 \text{ m}^3 \times T = 4,3 \text{ m}^3 \times 50 \text{ °C} + 4,33 \text{ m}^3 \times 40 \text{ °C}$, soit $T = 45 \text{ °C}$.

Même exercice à 5 °C de température extérieure :
 Température de départ vers le réseau CTA de 70 °C, température de retour de 60 °C. Température de départ vers le réseau radiateur de 40 °C, température de retour de 30 °C. Au point Y circule un débit de 5,75 m³/h (recirculation par la vanne trois voies), et au point X, un débit de 0,75 m³/h part à 70 °C de la chaudière vers le réseau radiateur. Valeurs données par les équations $X + Y = 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ et $70X + 30Y = 6,5 \text{ m}^3 \times 40 \text{ °C}$. Au point Z, mélange de 4,3 m³/h à 60 °C (retour réseau CTA) et de 0,75 m³/h à 30 °C (retour réseau radiateur), soit 5,5 m³/h à 51 °C.





Hybridation de l'ECS

État et nature de ma production d'ECS

La première question à se poser est la suivante : quelle est la part de l'ECS dans les consommations d'énergie ? Hybrider l'ECS d'un bâtiment d'enseignement sans restauration ni internat, d'un hôtel ou d'un immeuble collectif ne présente pas le même intérêt ni les mêmes économies d'énergie. En clair, dans quels cas est-il pertinent d'hybrider l'ECS ? Ensuite, selon que l'on est face à un stockage d'ECS ou à un stockage primaire, les températures de retour vers la chaudière seront différentes. Un stockage primaire évolue entre des températures comprises entre 80 °C et 60 °C. En revanche, le retour d'une production avec stockage d'ECS peut être bas en température, si l'échangeur a suffisamment de plaques, lorsque l'on est en mode de production d'ECS (ce qui nécessite d'élever la température de l'eau depuis celle de l'eau de ville à 60 °C). Ce même retour est à plus haute température lorsque la chaudière est en train de combattre les pertes de bouclage.

Incidence du nombre de boucles

L'analyse du réseau ECS donne également des indications sur la nature de l'hybridation à prévoir. La réglementation concernant les légionnelles impose, en effet, une vitesse minimale de 0,2 m/s dans les canalisations afin d'éviter le dépôt de biofilm. Cette valeur entraîne un débit de 150 l/h par boucle en DN15. L'addition du nombre de boucles donne alors une idée du débit d'eau de bouclage qui revient en permanence vers le ballon d'ECS. La taille du ballon d'ECS (qu'il soit primaire ou secondaire) devient alors significative. Suivant que l'on est en ECS semi-instantanée (petit ballon) ou semi-accumulée (gros ballon), la chaudière ne se mettra pas en route au même rythme pour combattre les pertes de bouclage. En quelque sorte, cela revient à se poser la question suivante : est-ce que la taille du ballon ECS va permettre que le mode ECS ne s'enclenche pas trop souvent, permettant à mon installation de générer du chauffage sur une longue période ? Vous l'aurez compris, l'intérêt d'un volume élevé de ballon d'ECS est notamment de combattre des mises en route fréquentes de la chaudière pour compenser les pertes de bouclage. Moins la chaudière démarre, moins la température de départ de la chaudière sera fréquemment haute (donc la température de retour également) et plus la PAC sera dans sa zone de confort.

Hybrider l'ECS en stockage primaire

En raison du risque de légionnelles, un maître d'ouvrage peut ne pas souhaiter la présence d'un stockage d'eau tiède. Le recours à un système en stockage primaire sera donc nécessaire. Au moins deux façons d'hybrider

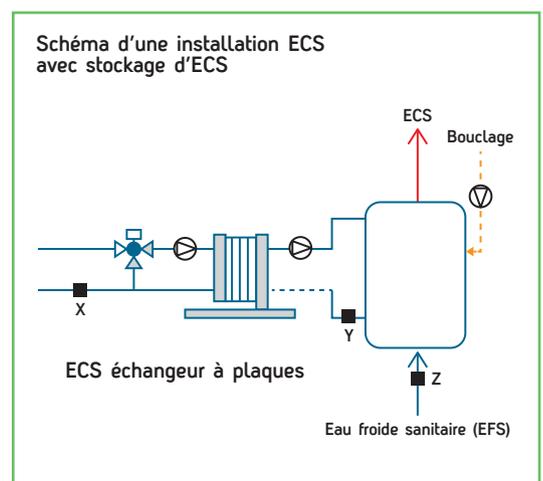
l'ECS en stockage primaire sont possibles, mais elles influencent le choix de la PAC (haute température ou basse température) à installer.

Hybrider l'ECS en stockage d'ECS

Les températures seront différentes selon que l'on se place au point X, Y ou Z, Y étant autour de 10 °C (température de l'eau de ville) quand il y a suffisamment d'eau froide en bas de ballon. Cette température varie jusqu'à 52 °C quand la chaudière est en route pour combattre les pertes de bouclage. X varie dans les mêmes températures que Y, si l'échangeur a suffisamment de plaques et donc permet un fort échange. Si le nombre de plaques est plus faible, les températures seront plus hautes. La température au point Z sera, en revanche, toujours égale à la température de l'eau de ville. C'est donc en ce point qu'il faut hybrider l'ECS, ce qui implique de prévoir un ballon de préchauffage. La puissance de la PAC à mettre en œuvre sera d'autant plus faible (moindre investissement) que le volume d'eau préchauffée sera important.

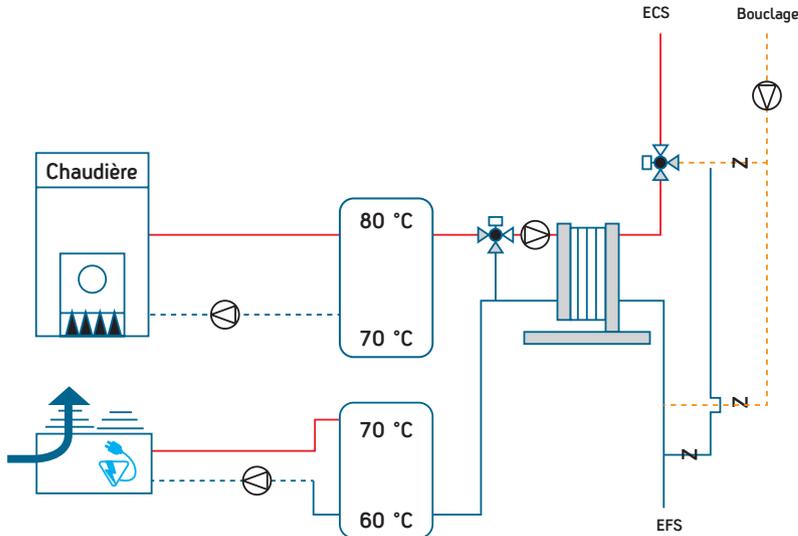
Autre élément à prendre en considération : la place en chaufferie est-elle suffisante pour accueillir un ballon de forte taille ? Peut-on aller sur un volume correspondant à la moitié du besoin journalier ? Si le besoin journalier d'un projet est de 4 000 l, chauffer un ballon de 2 000 l de 10 °C à 40 °C en 6 h, entre deux pics de puisage, ne nécessite qu'une PAC de 12 kW [1,16 x 2 000 x (40 - 10)/6].

Hybrider l'ECS en stockage d'ECS doit se faire avec un ballon de préchauffage d'ECS du plus grand volume possible en chaufferie afin de diminuer la puissance de la PAC.

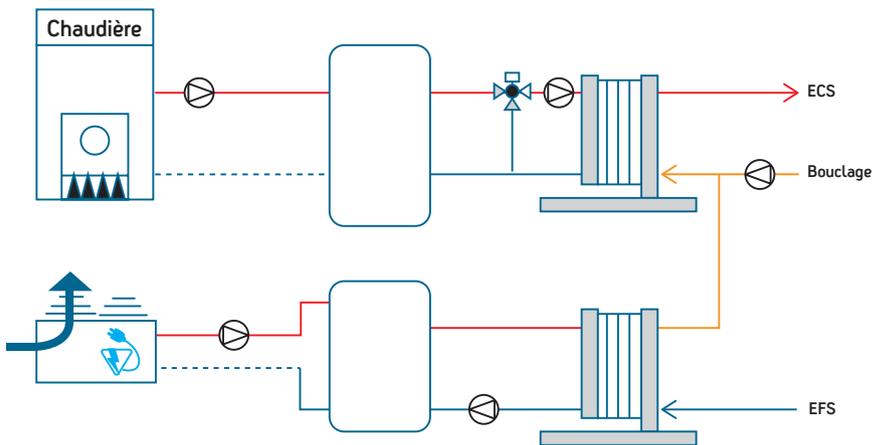


Deux exemples d'hybridation en stockage primaire

Hybridation en stockage primaire avec une PAC haute température



Hybridation en stockage primaire avec une PAC basse température préchauffant l'eau jusqu'à 40 °C par exemple





Taux de couverture et rentabilité

Le taux de couverture

Deux indicateurs caractérisent le bon fonctionnement d'une PAC hybride : son COP, bien sûr, mais aussi son taux de couverture. En fonction de l'objectif du maître d'ouvrage – passer la RE2020, atteindre le label BBC Rénovation, décarboner le plus possible à un coût raisonnable –, la monotone des besoins de chaleur sera bien souvent à retracer. C'est en plaçant les PAC des fabricants sur cette monotone que le bureau d'études pourra évaluer le taux de couverture de la PAC qu'il envisage d'installer. Dans l'exemple ci-avant, préchauffer l'ECS de 10 °C à 40 °C revient à hybrider à 60% l'ECS (hors bouclage).

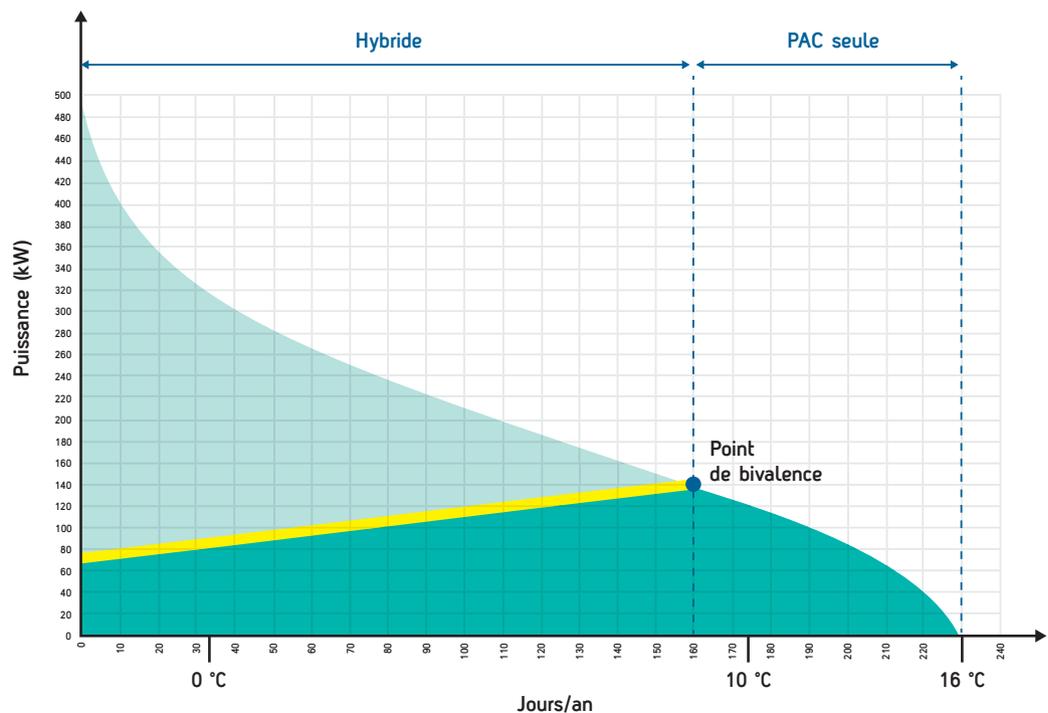
La rentabilité

Décarboner c'est bien, mais en faisant des économies c'est encore mieux ! Quelle que soit l'hybridation retenue pour le chauffage ou l'ECS, la ou les PAC sélectionnées devront travailler le plus souvent avec des températures permettant de réaliser des économies sur la facture.

Pour générer une économie financière, le COP de la PAC sélectionnée doit être supérieur au rapport entre le prix de l'électricité et le prix du gaz, quelles que soient la température extérieure et la température de génération retenues.

Taux de couverture et rentabilité

Dans cet exemple, la PAC hybride représente 20% des déperditions à 0/50 °C mais 56% de couverture du besoin de chauffage.



Autres critères à prendre en compte pour une bonne hybridation

La puissance électrique disponible

La puissance disponible sur le tableau général basse tension (TGBT) ou sur le réseau Enedis est aussi un facteur à prendre en compte pour sélectionner la PAC à installer. La PAC de 12 kW mentionnée précédemment, par exemple, nécessite une puissance électrique autour de 5 kW, ce qui permet de rester en monophasé.

PAC ou PAC par usage

Si les températures de travail sont très différentes, le choix d'hybrider avec une PAC par usage peut s'avérer opportun. Cegibat n'a pas vraiment de philosophie à ce sujet qui est aussi une importante fonction de l'offre fabricant. Il convient alors de considérer la différence de coût d'investissement entre deux petites PAC et une PAC plus conséquente.

État de la chaufferie et des chaudières

- **La conformité** de la chaufferie existante est à prendre en compte. Même si le simple ajout d'une PAC n'oblige pas à la mise en conformité de la chaufferie, il faut, a minima, mettre en sécurité l'installation. En effet, une remise aux normes (mise en conformité) n'est obligatoire que si le local de production d'énergie (LPE) n'était pas conforme lorsqu'il a été réalisé, ce qui est difficile à savoir. Dans le cas contraire, il faut réaliser une mise en sécurité, c'est-à-dire reprendre toutes les non-conformités techniquement et économiquement réalisables. En effet, on ne déplacera pas un LPE, même s'il n'est pas bien situé, ni une issue ou un conduit de fumée. En revanche, il est possible de modifier une ligne gaz, éventuellement une ventilation, un coupe-feu de paroi ou de porte... (circulaire du 13 décembre 1982).

- **La place disponible** est également un élément primordial d'une hybridation de chaufferie. La plupart du temps, les PAC sont reliées à des ballons d'inertie. Plus le volume de cette inertie est conséquent, plus la PAC peut s'exprimer à son meilleur rendement, dans la mesure où les bons réseaux de chauffage ont été hybridés, comme indiqué précédemment.

- **L'âge et l'état de la ou des chaudières** sera aussi à prendre en compte. Peut-on profiter de l'hybridation de la chaufferie pour remplacer la chaudière en place ? Enfin, un audit du site devra permettre d'évaluer si la chaudière est surdimensionnée et de combien. Les vannes et les autres accessoires présents fonctionnent-ils bien comme ils le devraient ?

• L'emplacement physique de la PAC et l'acoustique

L'emplacement du module extérieur de la PAC doit être recherché en respectant les recommandations du fabricant en ce qui concerne les distances de maintenance autour de la machine. Celle-ci devra éventuellement être protégée par des grillages ou tout autre abri. Souvent, et à l'exception des PAC géothermiques, les modules extérieurs génèrent une nouvelle nuisance sonore. Cette dernière doit être évaluée, et l'usage de protections acoustiques doit être envisagé.

• La sobriété

Certains exemples ont, en effet, montré que quelques écogestes pouvaient faire gagner jusqu'à 10% à 20% de consommation. C'est donc le premier point à étudier avant de commencer une hybridation. ●

 **Olivier Broggi**, responsable efficacité énergétique

AU FINAL

C'est un compromis entre tous ces points que le concepteur devra trouver pour une hybridation réussie. De plus, une analyse fonctionnelle détaillée devra être rédigée pour les intervenants techniques (différents exploitants au fil du temps, par exemple) afin de garantir la performance dans le temps.

CONFIGURATIONS

Schémas hydrauliques : quelle configuration optimale ? Quels points de vigilance ?

En chaufferie collective, plusieurs types de schémas hydrauliques peuvent être envisagés en fonction des usages à hybrider et des objectifs poursuivis par l'installation d'une PAC hybride. Un bon schéma hydraulique doit garantir la performance souhaitée de l'installation – sur les aspects hydrauliques (débit et température), techniques (COP et rendement) et financier. Sa conception doit donc être réfléchie bien en amont d'un projet neuf ou de rénovation. —

Cet article fait le point sur des schémas proposés par les fabricants, en les divisant en quatre catégories :

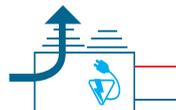
- 1 Hybridation de l'ECS seule**
- 2 Hybridation du chauffage seul**
- 3 Hybridation du chauffage et de l'ECS :
PAC sur retour général**
- 4 Hybridation du chauffage et de l'ECS :
hybridation partielle à débit constant
du chauffage (avant la vanne trois voies)**

 **Olivier Broggi**, responsable efficacité énergétique



Pour aller plus loin, visionnez le webinaire Cegibat du 12 décembre 2024 « PAC hybride collective : quels schémas hydrauliques ? »

Dans la suite de l'article, la PAC sera représentée par :

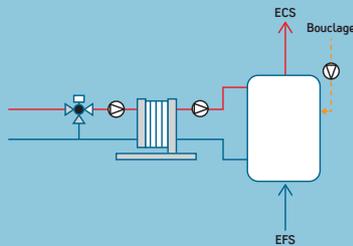


1. Hybridation de l'ECS seule

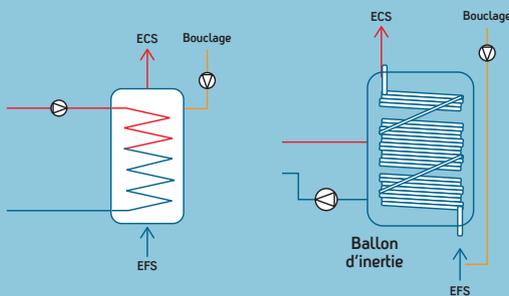
Une PAC est un appareil qui présente un meilleur COP si l'eau qui l'alimente est froide. Dans un souci de performance, elle doit donc être placée sur les zones les plus froides d'une production d'ECS. Dans les schémas suivants, l'EFS est préchauffée par la PAC, jusqu'à 40 °C ou 45 °C, par exemple. En général, la PAC ne s'occupe pas de combattre les pertes de bouclage.

TROIS MODES DE PRODUCTION D'ECS

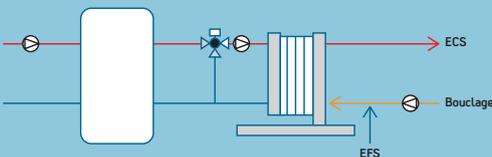
ECS échangeur à plaques



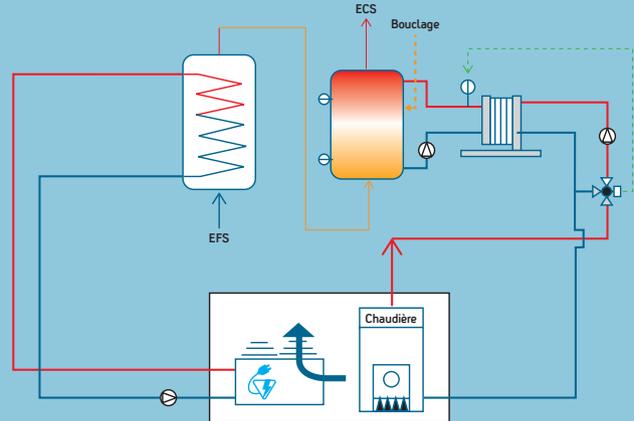
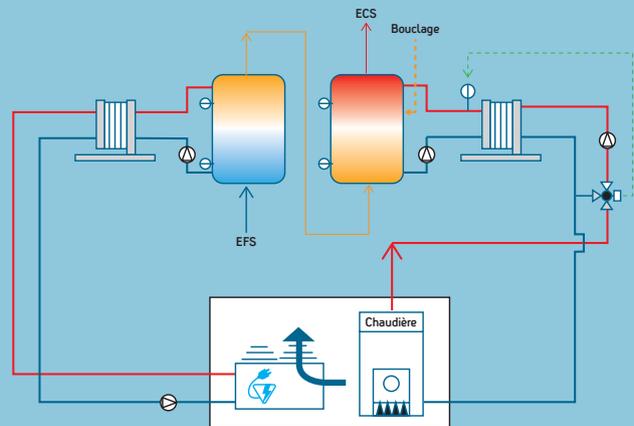
ECS échangeur intégré



ECS stockage primaire



HYBRIDATION DE L'ECS AVEC UN ÉCHANGEUR À PLAQUES OU UN ÉCHANGEUR INTÉGRÉ DANS LE BALLON



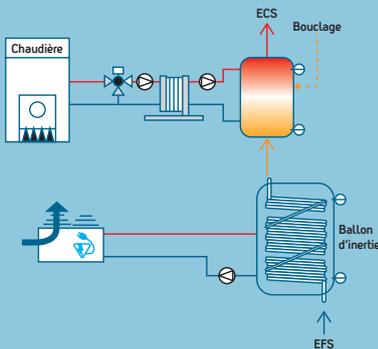
La PAC est réglée pour chauffer le ballon de préchauffage à 45 °C, par exemple. La chaudière finit de produire l'ECS (de 45 °C à 60 °C) et combat les pertes de bouclage pour les élever dans le ballon lié à la chaudière, de 52 °C à 60 °C. De ce fait, la PAC est basse température. Chaque ballon est réglé par deux sondes de température placées en haut et en bas de celui-ci.

- Pour le ballon de la PAC: quand la sonde en haut du ballon détecte une température inférieure à 45 °C, la PAC se met en route, avec pour consigne de faire du 45 °C. Elle ne se mettra à l'arrêt que lorsque la sonde en bas du ballon détectera 45 °C. Le ballon sera alors complètement chargé.
- Pour la chaudière: « mode ON » signifie que la sonde du haut du ballon détecte une température inférieure à 55 °C. Le mode OFF est activé quand la sonde du bas du ballon détecte une température de 60 °C.

Dans un souci de simplification hydraulique, le ballon avec échangeur intégré côté PAC nécessite une pompe de moins. Le même type de ballon aurait aussi pu être implanté du côté de la chaudière. La taille des ballons de la PAC est à bien prendre en compte. En effet, plus ils sont conséquents, plus la puissance de la PAC est faible, et plus l'investissement est optimisé. L'installation de ballon de fort volume est donc préconisée.

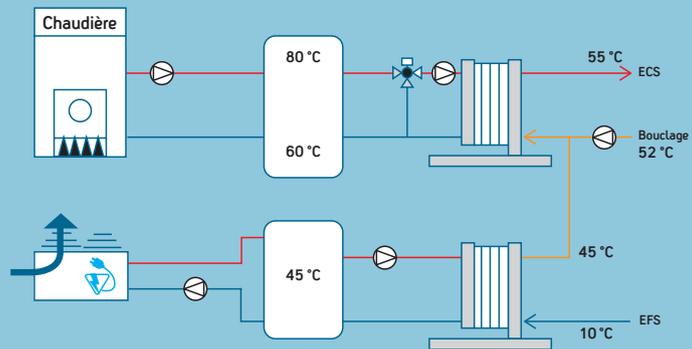
Exemple : pour répondre à un besoin journalier de 4 000 l/jour avec un ballon de préchauffage de 2 000 l à préchauffer en 6 h (temps estimé entre 2 pics de puisage), une PAC de 12 kW suffit. Elle fonctionnera dans sa zone de confort (de la température de l'eau de ville à 45 °C). Dans le même esprit, il est recommandé d'installer des échangeurs à plaques comportant beaucoup de plaques, pour avoir un pincement le plus faible possible, de telle sorte que l'eau de retour vers les générateurs soit la plus froide possible, et ce, même pour l'échangeur relié à la chaudière.

PRÉCHAUFFAGE AVEC UN AUTRE TYPE DE BALLON ÉCHANGEUR



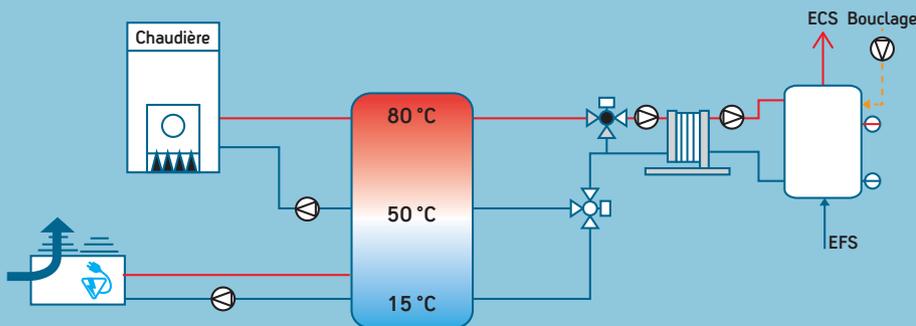
Dans cette configuration, le préchauffage de l'ECS se fait par circulation de l'eau froide poussée par l'eau de ville dans le serpentin. Il s'agit de la manière la plus simple de mettre en œuvre l'hybridation de l'ECS. La surface d'échange de l'échangeur immergé doit être conséquente afin de pouvoir chauffer suffisamment l'eau qui entre dans le ballon de préchauffage.

PRÉCHAUFFAGE DE L'ECS EN STOCKAGE PRIMAIRE



Ici, deux ballons sont installés, ce qui évite de connecter la PAC et la chaudière sur le même ballon primaire et de tenter de faire travailler la PAC entre 60 °C et 80 °C (températures classiques d'un ballon primaire). Cette configuration permet donc de conserver une PAC basse température.

PRÉCHAUFFAGE DE L'ECS VIA UN BALLON D'ÉNERGIE



Dans ce cas de figure, la PAC a pour consigne de produire de l'ECS à 40 °C, ce qui permet d'installer une PAC basse température et de limiter l'écart de température de la PAC entre la source froide (air extérieur) et la source chaude (eau à chauffer) et d'éviter l'investissement coûteux d'une PAC haute température.

La chaudière a pour consigne de maintenir le haut du ballon d'énergie à plus de 60 °C (ici, 80 °C), afin de produire de l'ECS à 60 °C dans le ballon d'eau chaude. Dans cette installation, une vanne trois voies tout ou rien est présente. Sa fonction est d'orienter l'eau de retour provenant de l'échangeur à plaques qui se dirige vers le ballon d'énergie.

1. En cas de puisage, l'échangeur est irrigué par de l'EFS en bas du ballon d'ECS.

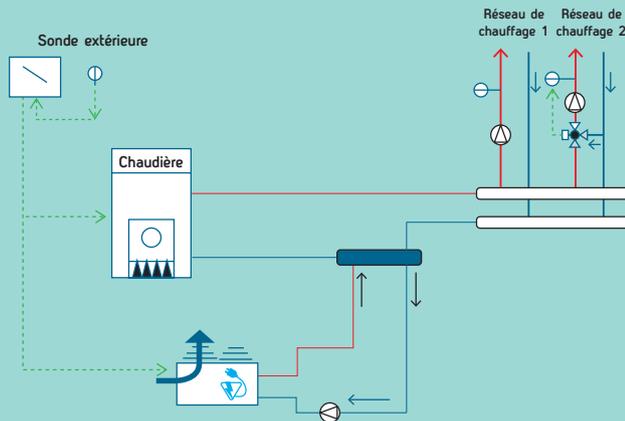
Ce retour d'eau froide, qui provient de l'échangeur à plaques, est alors dirigé vers le bas du ballon d'énergie par la vanne trois voies.

2. Sans puisage, le système combat les pertes de bouclage. L'eau qui provient de l'échangeur à plaques est plus chaude et sera alors dirigée vers le milieu du ballon d'énergie par cette même vanne trois voies.

Tout comme les précédentes configurations hydrauliques, l'échangeur comporte beaucoup de plaques, de manière à assurer des retours froids vers les générateurs. Dans cette configuration, le volume du ballon d'énergie doit permettre une bonne stratification.

2. Hybridation du chauffage seul

DEUX RÉSEAUX DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, HYBRIDATION TOTALE

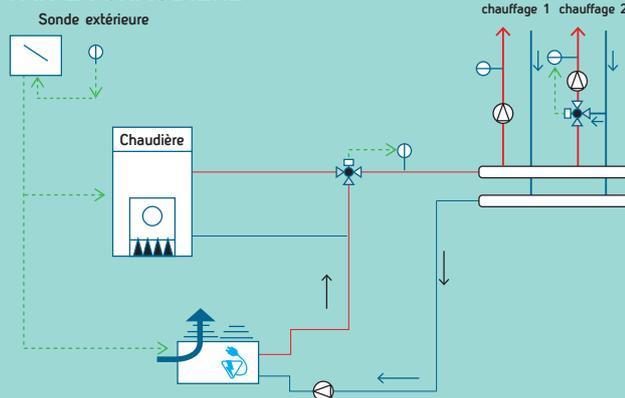


Les réseaux 1 et 2 sont régulés. Le réseau 1, plus chaud que le 2, n'a pas de vanne trois voies, car la chaudière produit au régime de ce réseau. La chaudière n'a pas de raison de monter plus haut en température (il n'y a pas d'ECS), donc cette vanne trois voies est inutile.

La pompe en amont de la PAC fonctionne au débit nominal de la PAC. La PAC ne puise que son débit nominal dans les retours de chauffage, d'où la présence du collecteur. La PAC suit la loi d'eau du circuit de chauffage le plus haut en température (ici, le réseau 1). Sur ce schéma, il y a obligation de traverser la chaudière, même si la PAC pourrait suffire à couvrir le besoin.

Ce schéma n'est proposé que si le réseau 1 est régulé et qu'il n'y a pas de réseau CTA ou de sous-station. Il s'agit forcément d'un réseau de radiateurs (loi d'eau au maximum à 60/40 °C).

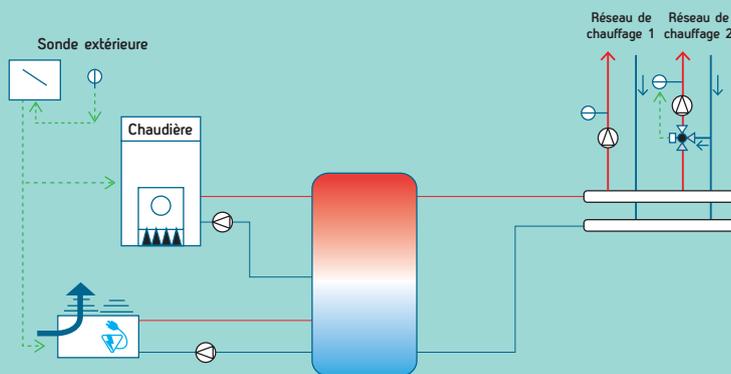
DEUX RÉSEAUX DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, HYBRIDATION TOTALE, COMPLÉMENT DE CHALEUR POSSIBLE PAR LA CHAUDIÈRE



Les réseaux 1 et 2 sont régulés. Le réseau 1, plus chaud que le 2, n'a pas de vanne trois voies, car la chaudière produit au régime de température de ce réseau. La chaudière n'a pas de raison de monter plus haut en température (il n'y a pas d'ECS), donc cette vanne trois voies est inutile.

Schéma comparable au précédent, mais, cette fois, tout le débit des réseaux de chauffage circule dans la PAC. La vanne trois voies en sortie de la PAC sert à bypasser la chaudière si la puissance de la PAC s'avère suffisante. Cette vanne trois voies proportionnelle, régulée par la température en aval, permet à la chaudière d'apporter le complément de chaleur pour maintenir la température de départ à la température demandée par le réseau 1. **Ce schéma n'est valable que si le réseau 1 est à relativement basse température.**

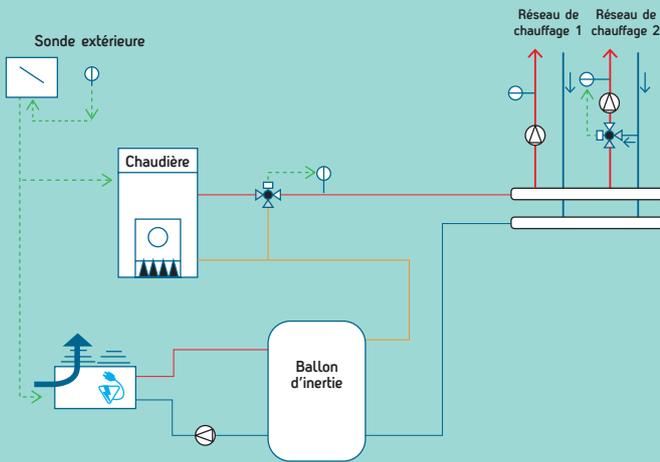
DEUX RÉSEAUX DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, HYBRIDATION TOTALE, BALLON D'ÉNERGIE



Les réseaux 1 et 2 sont régulés. Le réseau 1, plus chaud que le 2, n'a pas de vanne trois voies, car la chaudière produit au régime de température de ce réseau. La chaudière n'a pas de raison de monter plus haut en température (il n'y a pas d'ECS), donc cette vanne trois voies est inutile.

La PAC suit, par exemple, la loi d'eau du réseau 2 (le plus froid). La chaudière suit la loi d'eau du circuit le plus chaud. La pompe en amont de la PAC fonctionne à débit fixe, le débit nominal de la PAC. Le ballon d'énergie doit être conséquent, de manière à assurer une stratification des températures. **Ce schéma n'est proposé que si le réseau 1 est régulé et qu'il n'y a pas de réseau CTA ou de sous-station. Il s'agit forcément d'un réseau de radiateurs (loi d'eau au maximum à 60/40 °C).**

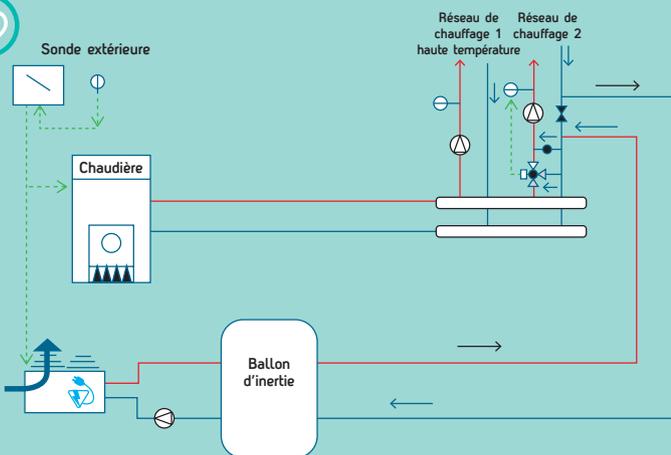
DEUX RÉSEAUX DE CHAUFFAGE RÉGLÉS, HYBRIDATION TOTALE, BALLON QUATRE PIQUAGES



Les réseaux 1 et 2 sont réglés. Le réseau 1, plus chaud que le 2, n'a pas de vanne trois voies, car la chaudière produit au régime de température de ce réseau. La chaudière n'a pas de raison de monter plus haut en température (il n'y a pas d'ECS), donc cette vanne trois voies est inutile.

Dans ce cas, la PAC et la chaudière suivent la loi d'eau du circuit le plus chaud (réseau 1). La pompe en amont de la PAC fonctionne à débit fixe, le débit nominal de la PAC. La vanne trois voies en amont de la chaudière sert à la bypasser lorsque la PAC est en capacité de couvrir seule le besoin de chauffage. Elle permet à la chaudière d'apporter le complément de chaleur pour satisfaire le réseau de chauffage 1.

UN RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE ET UN RÉSEAU RÉGLÉ, HYBRIDATION PARTIELLE À DÉBIT FIXE

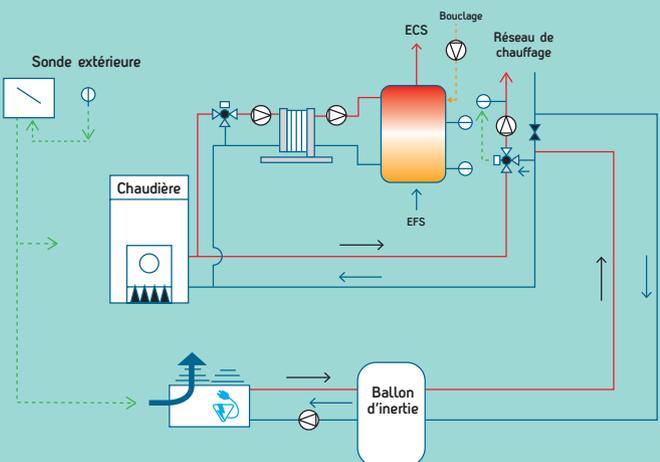


En raison de la présence du réseau haute température, l'hybridation ne concerne que le circuit de chauffage réglé. C'est en hybridant ce circuit, dont le régime de température est plus froid, que la PAC offre les meilleures performances. Le réseau haute température peut aussi bien être un réseau de quelques radiateurs que nous choisissons de ne pas hybrider.

La PAC est raccordée en amont de la vanne trois voies (hybridation à débit constant) pour profiter des plus basses températures et à débit constant.

Le raccordement après cette vanne trois voies aurait aussi eu des températures basses, mais un débit tendant vers zéro au début de la saison de chauffe (recirculation totale par la vanne trois voies). C'est pourtant à ce moment que la PAC aurait été la plus performante.

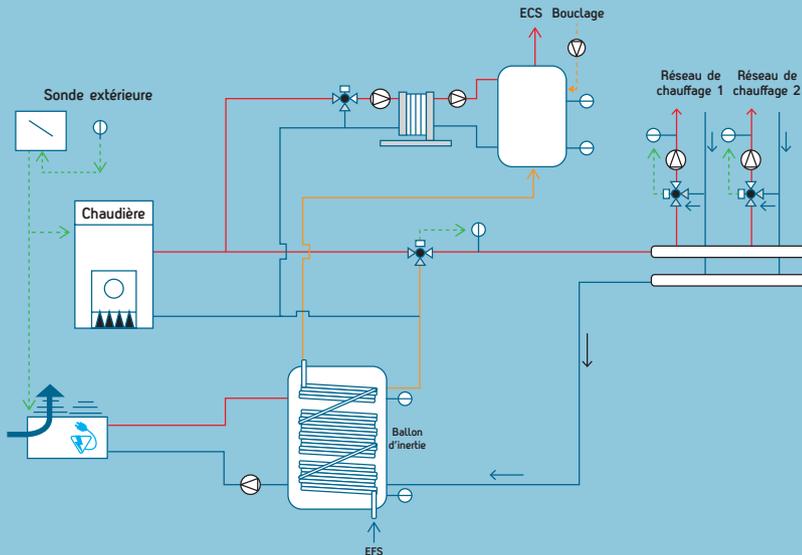
Le circulateur en amont de la PAC fonctionne au débit nominal de la PAC (débit fixe). La chaudière produit à la température souhaitée par le départ haute température.



Dans la même logique, dans le schéma ci-contre, l'hybridation ne concerne que le chauffage, avant la vanne trois voies pour profiter du maximum du débit basse température. Le choix a été fait de ne pas hybrider l'ECS.

3. Hybridation du chauffage et de l'ECS : PAC sur retour général

DEUX RÉSEaux DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, HYBRIDATION TOTALE DU CHAUFFAGE À DÉBIT VARIABLE ET PRÉCHAUFFAGE DE L'ECS



Cette configuration hydraulique combine le schéma en chauffage seul et le schéma en préchauffage de l'ECS.

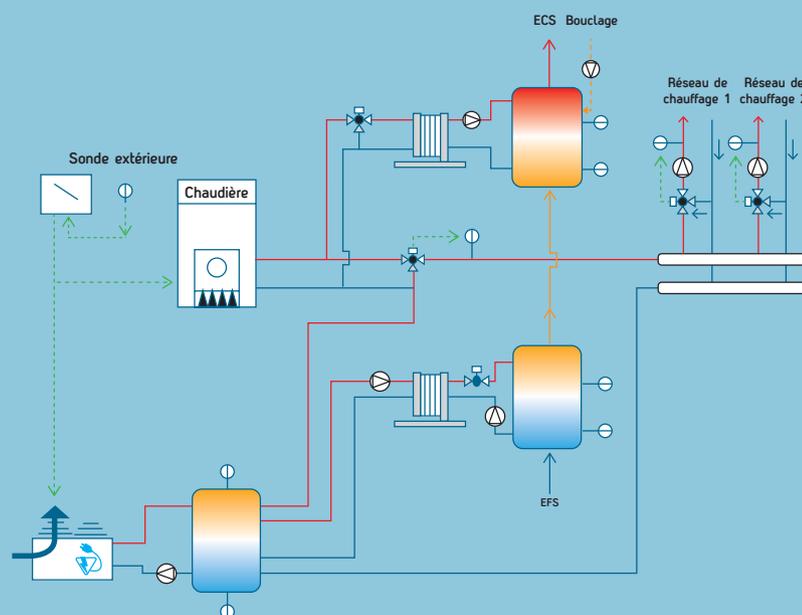
- Production de chauffage : la vanne trois voies en sortie de PAC oriente le débit d'eau soit vers la chaudière, soit directement vers les émetteurs selon les besoins des réseaux de chauffage. Elle a donc le même rôle que les vannes trois voies sur les réseaux de chauffage. Au moins une des deux vannes trois voies sur les réseaux est donc redondante.

- Production d'ECS : le préchauffage de l'ECS se fait par circulation dans le serpentin du ballon de la PAC, poussée par l'eau de ville. Ce ballon est maintenu à la température de la loi d'eau de chauffage du circuit le plus chaud ou juste au-dessus.

Cette hybridation ne nécessite que l'installation du ballon à serpentin (et pas de plusieurs ballons) ; pas de pompe, pas d'échangeur à plaques. **C'est donc la solution d'hybridation du chauffage et de l'ECS la plus économe en espace chauffé.**

Remarque : il est nécessaire d'avoir un ballon d'ECS (celui relié à la chaudière) conséquent afin que le mode ECS de la chaudière ne se mette pas en route tout le temps à cause des pertes de bouclage. En effet, la consigne de la chaudière serait élevée pour produire de l'ECS, ce qui forcerait les vannes trois voies des réseaux de chauffage à faire recirculer du retour dans les départs de chauffage. De ce fait, il n'y aurait presque plus de débit de chauffage vers la PAC. Ce ballon d'eau chaude doit donc être dimensionné pour que l'installation puisse fonctionner en chauffage seul pendant 2 h consécutives, par exemple.

DEUX RÉSEaux DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, HYBRIDATION TOTALE DU CHAUFFAGE ET PRÉCHAUFFAGE DE L'ECS



Production de chauffage :

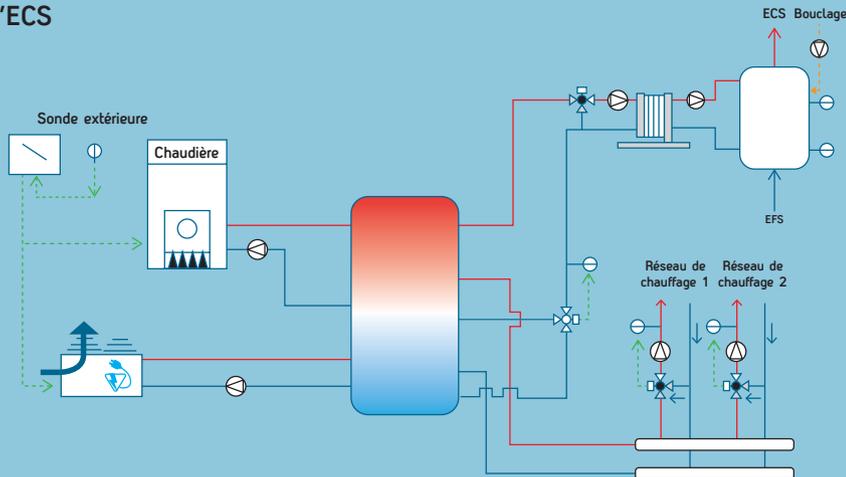
La vanne trois voies proportionnelle en sortie de la PAC permet à la chaudière d'apporter le complément de chaleur qui pourrait être nécessaire au chauffage. La PAC, si elle est suffisante, peut cependant fonctionner seule en mode chauffage. Elle joue donc le même rôle que les vannes trois voies sur les départs de chauffage. On pourrait donc en supprimer au moins une.

Production d'ECS :

Il convient de prendre les mêmes précautions que dans le schéma précédent en ce qui concerne la taille du ballon d'ECS lié à la chaudière. C'est la chaudière qui permet la bonne consigne de température de l'ECS.

Remarque : les deux échangeurs doivent comporter un grand nombre de plaques pour assurer les températures les plus froides possible en sortie des échangeurs. Le ballon de préchauffage doit avoir un volume conséquent, de manière à pouvoir installer une petite PAC et, donc, à optimiser l'investissement. Ce schéma nécessite l'installation de deux ballons et d'un échangeur à plaques de plus en chaufferie. Il est donc contraint par l'espace disponible.

BALLON D'ÉNERGIE, DEUX RÉSEAUX DE CHAUFFAGE RÉGULÉS, STOCKAGE D'ECS

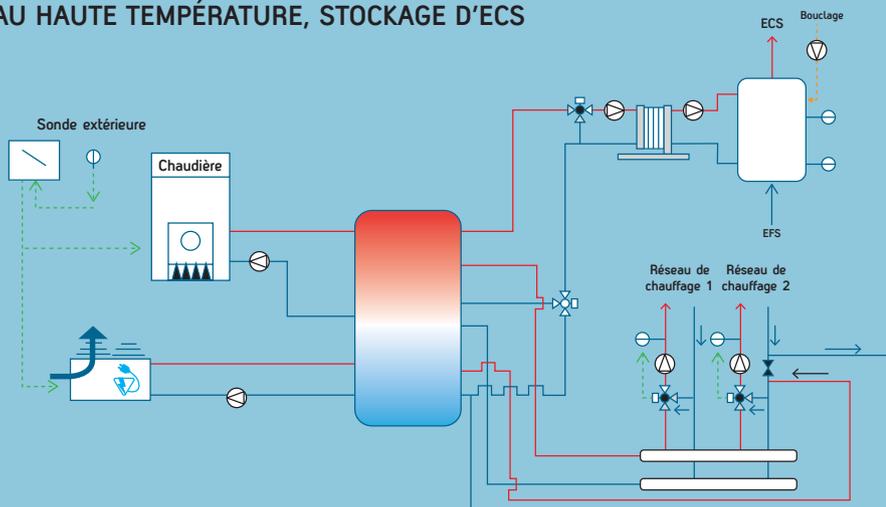


Le commentaire concernant la nécessité d'un ballon d'ECS de grande taille est le même que sur les schémas précédents.

Un échangeur avec beaucoup de plaques est nécessaire pour assurer les retours les plus froids possible.

Une vanne trois voies permet d'orienter le retour d'ECS vers le bas du ballon si l'installation est en production d'ECS (retour de l'échangeur vers 15 °C), et vers le haut du ballon si l'installation combat les pertes de bouclage (retour de l'échangeur vers 52 °C).

BALLON D'ÉNERGIE, UN RÉSEAU DE CHAUFFAGE RÉGULÉ ET UN RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE, STOCKAGE D'ECS



Mêmes commentaires que le schéma précédent concernant la grande taille du ballon d'ECS et le rôle de la vanne trois voies en sortie de l'échangeur ECS.

Cette fois, le ballon d'énergie doit aussi desservir un réseau de chauffage haute température.

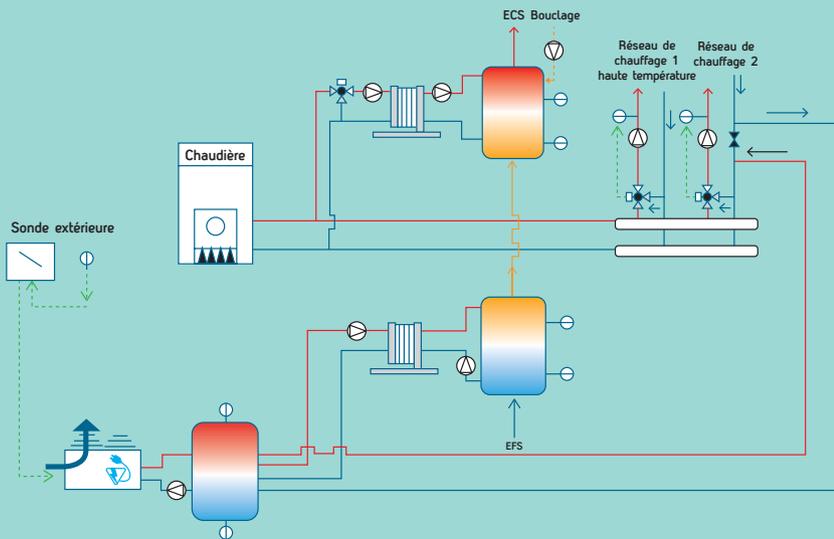
Ce départ engendre des températures de départ et de retour élevées. C'est pourquoi il est alimenté par un piquage en haut du ballon d'énergie (presque au même niveau que le départ d'ECS) et revient vers le milieu du ballon d'énergie.

Le réseau de chauffage régulé est raccordé à l'installation avant sa vanne trois voies, de manière à profiter de son débit constant aux températures les plus froides. Cette hybridation revient donc en bas du ballon d'énergie.

Une attention particulière doit donc être portée lors du montage des raccordements de ce ballon pour ne pas casser la stratification.

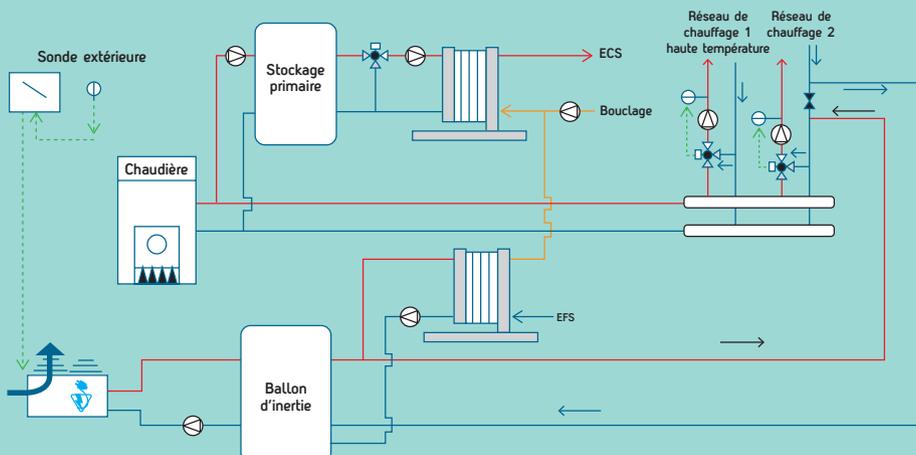
4. Hybridation du chauffage et de l'ECS : hybridation partielle à débit constant du chauffage (avant la vanne trois voies)

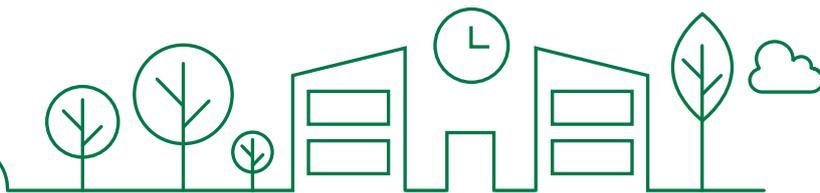
UN RÉSEAU DE CHAUFFAGE RÉGULÉ ET UN RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE, HYBRIDATION PARTIELLE À DÉBIT CONSTANT DU CHAUFFAGE AVANT VANNE TROIS VOIES



Ces deux schémas sont sans doute ceux qui expriment le mieux la philosophie de l'hybride selon Cegibat :

- hybridation uniquement des réseaux nécessaires en chauffage pour garantir la performance de la PAC et rester sur une PAC basse température ;
- hybridation du chauffage à débit constant toute la saison de chauffe ;
- hybridation de l'ECS en préchauffage de l'eau chaude afin d'installer une PAC basse température ;
- hybridation de manière à ce que le mode ECS de la chaudière ne vienne pas perturber la performance de la PAC.





Hybridation de chaufferie d'une école primaire : résultats de la première saison de chauffage

Dans le cadre d'un ambitieux programme de rénovation énergétique, la ville de Toulon a mené une expérimentation innovante d'hybridation de chaufferie de l'un de ses établissements scolaires : l'école primaire Claude-Debussy. Les premiers résultats issus de l'instrumentation sont prometteurs. Ils ouvrent la voie à de nouvelles pratiques dans la gestion énergétique des bâtiments publics. Retour sur les faits marquants de cette saison de chauffe et les optimisations réalisées avec l'appui de GRDF. —

GRDF, Cegibat



Pierre Murie

— Ce projet pilote en établissement scolaire vise à tester un système hybride combinant une chaudière gaz à condensation et une PAC air/eau. Cette initiative s'inscrit dans la volonté de la municipalité de décarboner son parc immobilier, tout en optimisant l'efficacité énergétique de ses bâtiments. L'expérimentation, menée avec le concours de GRDF, a pour objectif d'évaluer les performances et le potentiel de couverture de la PAC dans différents modes d'hybridation. Cet article fait suite à la présentation de l'opération dans *vecteurGAZ* n° 146, publié au 3^e trimestre 2024. S'appuyant sur les données recueillies lors de la première saison de chauffe (2023/2024), il présente une analyse détaillée des performances et met l'accent sur les ajustements nécessaires pour maximiser l'efficacité du système hybride.

Caractéristiques de l'hybridation de la chaufferie

Construite sur une superficie de 1 870 m², l'école primaire Claude-Debussy nécessite une puissance maximale appelée estimée à 110 kW, en tenant compte des périodes d'inoccupation, telles que les vacances, les week-ends et les mercredis. Le système de chauffage se compose d'une PAC simple service, utilisée en relève de la chaudière existante. La puissance totale installée est de 206 kW, répartie entre 180 kW pour la chaudière gaz et 26 kW pour la PAC. La PAC représente

ainsi 25% de la puissance maximale appelée, soit environ 20% à 0/50 °C. L'installation comprend trois circuits de chauffage distincts (voir schéma p. 36) :

- le circuit de la CTA : avec une puissance de 40 kW, ce circuit est utilisé uniquement le matin, quatre jours par semaine ;
- le circuit radiateurs 1 : d'une puissance de 56 kW, il assure le chauffage principal des locaux ;
- le circuit radiateurs 2 : avec une puissance de 14 kW, il complète le système de chauffage.

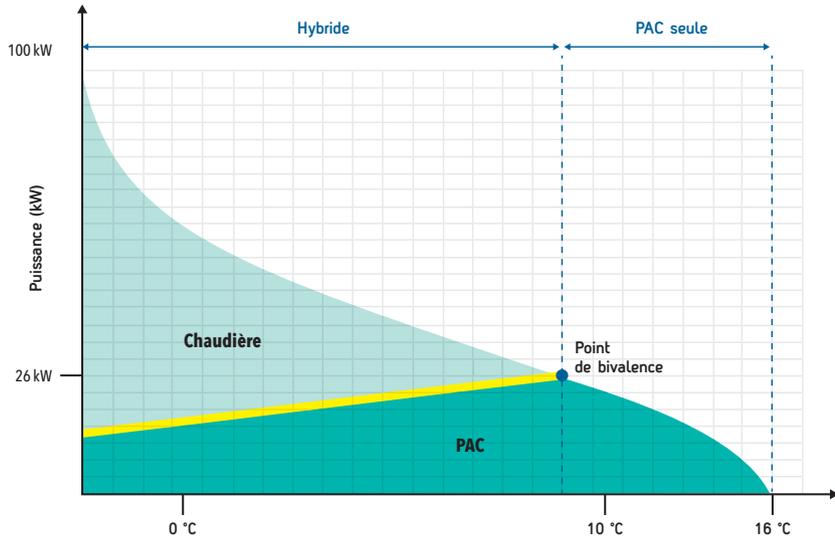
La gestion du chauffage est assurée par deux automates indépendants, l'un pour la PAC et l'autre pour la chaudière. Chaque équipement est régulé par des lois d'eau spécifiques, ajustées en fonction des besoins réels. Pendant les périodes d'inoccupation, la température est réduite à 16 °C les week-ends, et à 12 °C pendant les vacances, permettant ainsi des économies d'énergie significatives.

Définir le bon dimensionnement de la PAC

Lorsqu'on décide d'hybrider une chaufferie, il faut trouver le bon rapport entre la puissance de PAC à installer et le taux de couverture. Les kW de PAC installés sont 2 à 6 fois plus chers que les kW de chaudière (voir article sur l'observatoire des coûts de la PAC hybride collective, pages 16 à 19). Ainsi, le dimensionnement de la PAC est la première décision importante dans l'hybridation d'une chaufferie au gaz.

Taux de couverture et rentabilité

Dans le cas de cette école primaire, le choix s'est porté sur une PAC d'une puissance nominale de 26 kW (7/35 °C) soit, 21,4 kW à 0/50 °C. Avec un rapport de puissance de la PAC (0/50 °C) par rapport aux besoins de chauffage de 20 %, le taux de couverture théorique est de 52 %. Il correspond à la surface forcée sur la monotone ci-contre.



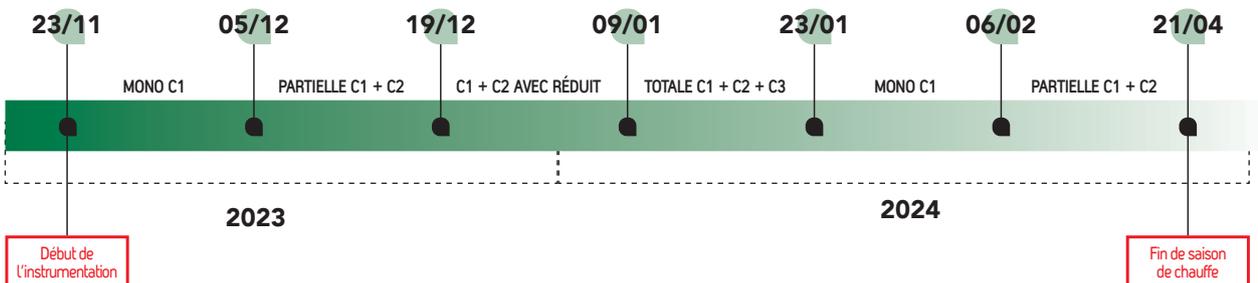
Assujéti au décret tertiaire, le mode de régulation retenu pour l'hybridation de la chaufferie est le bivalent parallèle. La PAC fonctionne en base, quelle que soit la température extérieure. L'école profite ainsi au maximum du COP de la PAC pour effacer le plus d'énergie finale. Comme on peut le remarquer, la puissance de la PAC n'est pas constante sur la monotone. En effet, la puissance de la PAC air-eau varie selon deux facteurs majeurs : la température extérieure et la température de départ du primaire de la PAC.

Trois configurations testées au cours de la première année de chauffe

La première saison de chauffe de la chaufferie ainsi hybridée est une année d'expérimentation. Entre fin novembre 2023 et fin avril 2024, trois configurations ont été alternativement observées.

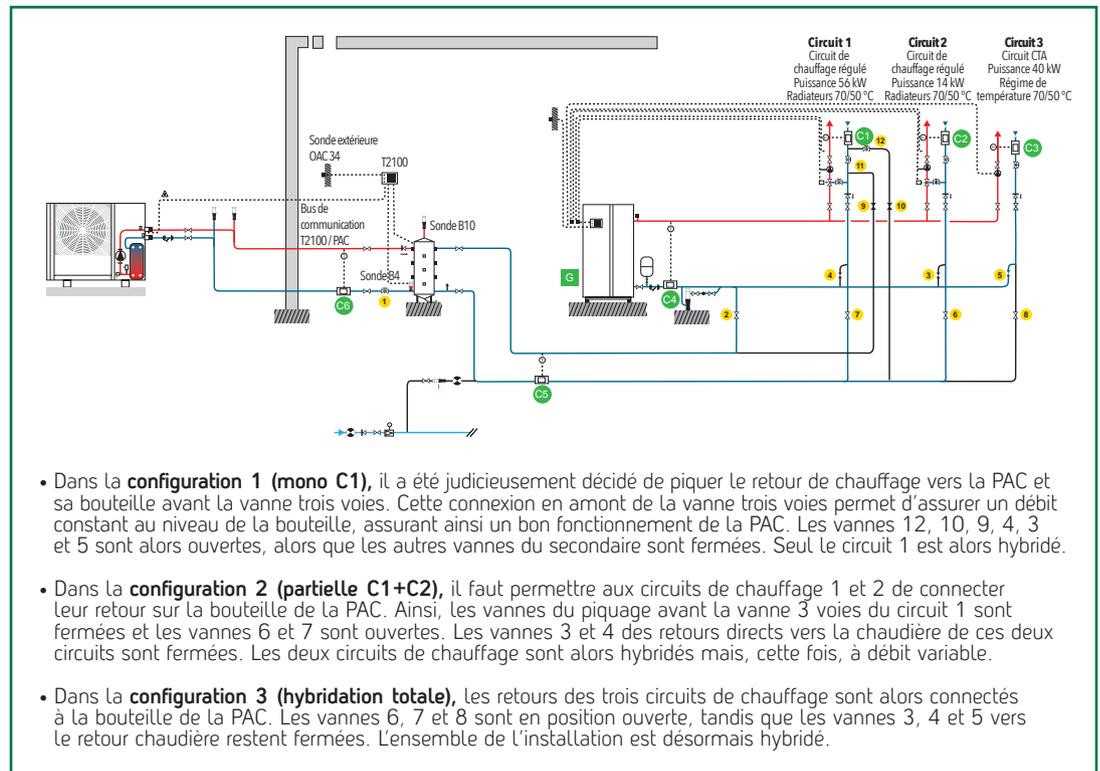
- **Configuration 1 (mono C1) :** hybridation sur le retour du circuit radiateur 1 (56 kW) avant la vanne trois voies.
- **Configuration 2 (partielle C1+C2) :** hybridation sur retour commun des circuits radiateur 1 (56 kW) et 2 (14 kW).
- **Configuration 3 (hybridation totale) :** hybridation totale sur les retours circuits radiateur 1 et 2 (56 + 14 kW) et de la CTA (40 kW).

Planning avec les différentes configurations d'hybridation intégrant également des périodes de réduct pendant les vacances scolaires





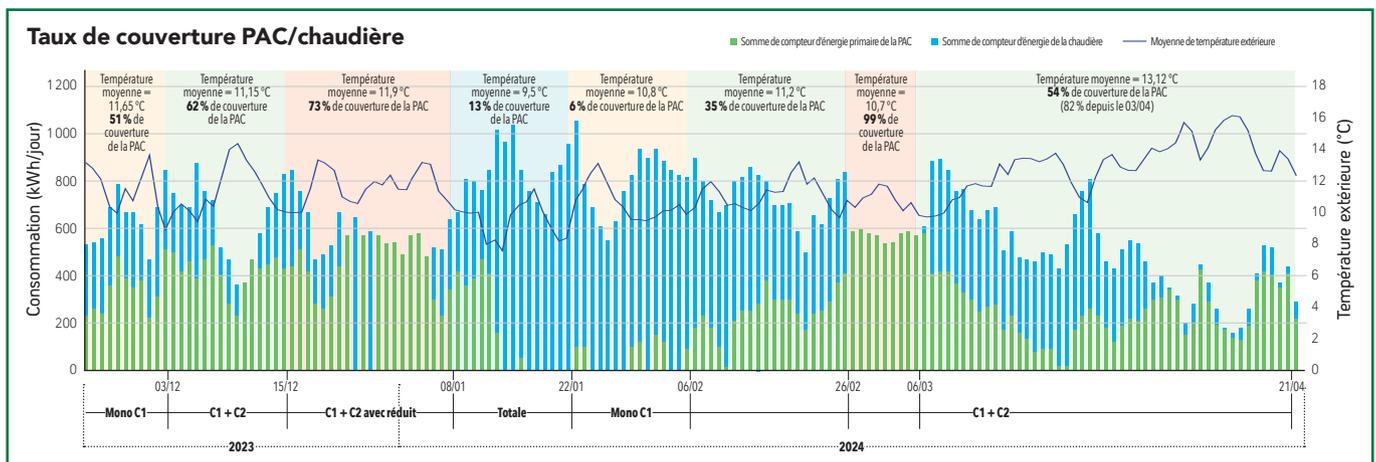
Ces trois configurations sont possibles grâce à un jeu de vannes identifiables en jaune sur le schéma hydraulique.



Un an d'instrumentation et de remontée de données

L'instrumentation d'une installation présente deux intérêts majeurs. Elle permet de mesurer les performances de l'installation globale via l'analyse des taux de couverture, des COP et des rendements des générateurs, et de contrôler que l'ins-

tallation fonctionne correctement grâce à l'analyse des débits et au contrôle des températures de départ, et de retour primaire et secondaire. Au final, le taux de couverture théorique de 52 % est-il vérifié ?



Ce graphique représente l'ensemble de la saison de chauffe. Les trois configurations d'hybridation sont identifiables en abscisse avec les couleurs orange clair (mono C1), vert clair (partielle C1 + C2) et bleu clair (totale). La période rouge correspond aux vacances scolaires avec une température de consigne réduite. Chaque barre représente une journée et permet de visualiser la consommation en kWh/jour et donc le taux de couverture de la PAC, en vert, et de la chaudière, en bleu.

Selon les configurations, les taux de couverture de la PAC varient, tout en considérant que la température extérieure oscille entre 8 °C et 16 °C pendant la saison de chauffe. Sur la première partie de l'année, les taux de couverture de la PAC

varient entre 51 % et 73 %. Avec le passage en configuration 3 – hybridation totale –, les taux de couverture de la PAC chutent. Sans l'instrumentation, il aurait été difficile d'identifier que la PAC ne fonctionnait pas correctement.

LES QUATRE OPTIMISATIONS RÉALISÉES AU COURS DE LA PREMIÈRE SAISON DE CHAUFFE

Tout au long de cette première saison de chauffe, l'instrumentation a permis de révéler des écarts et de réaliser des optimisations corrigeant ces erreurs, avec l'appui de GRDF.

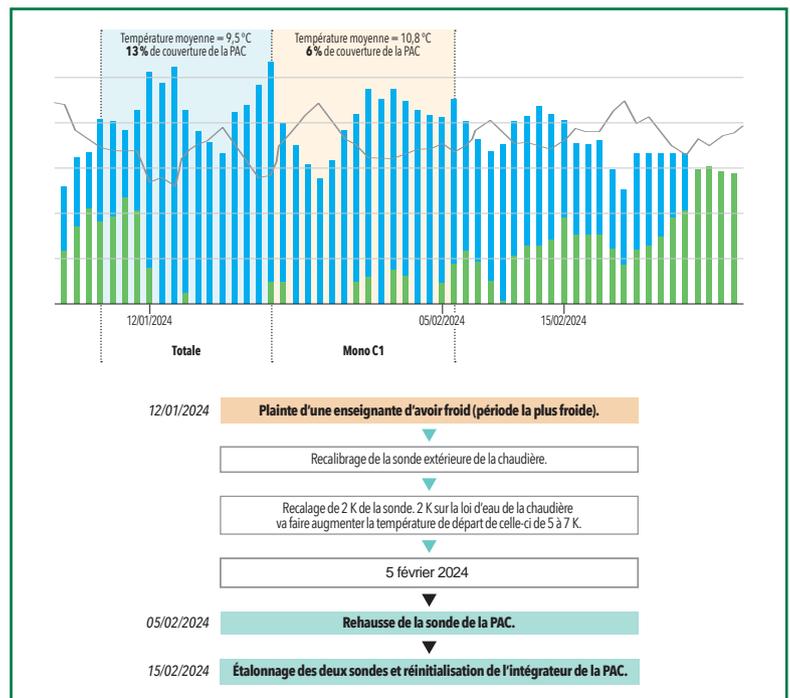
– OPTIMISATION 1 :

Le 12 janvier 2024, il fait trop froid en classe

Le 12 janvier 2024, alors que la température extérieure avoisine les 10 °C, une enseignante s'est plainte de la température trop basse dans sa salle de classe. Cette situation a mis en lumière la nécessité de recalibrer la sonde extérieure de la chaudière.

- **Action corrective 1** : un recalage de la sonde de 2 K a d'abord été effectué. Il faut savoir que 2 K sur la loi d'eau de la chaudière fait augmenter la température de départ de celle-ci de 5 à 7 K, ce qui a une incidence directe sur la PAC et son bon fonctionnement. En effet, la température de retour sur le ballon de la PAC est trop haute, la PAC ne démarre plus et ne participe plus à la production de chaleur. Pour y remédier, une rehausse de la sonde de la PAC a été réalisée le 5 février 2024.

- **Action corrective 2** : le 15 février 2024, un étalonnage des deux sondes a été effectué, accompagné d'une réinitialisation de l'intégrateur de la PAC. Ces actions ont permis de stabiliser le système de chauffage et d'assurer un fonctionnement optimal, même pendant les périodes les plus froides de l'année.

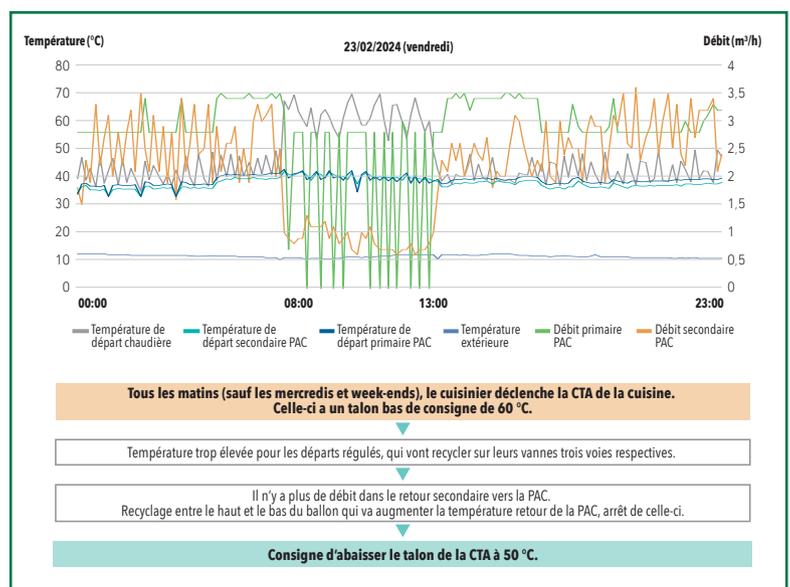


– OPTIMISATION 2 :

Une CTA perturbe les débits depuis le démarrage

Tous les matins (sauf les mercredis et week-ends), le cuisinier déclenche la CTA de la cuisine. Celle-ci a un talon bas de consigne de 60 °C et monte jusqu'à 70 °C comme le montre le graphique, température de départ de la chaudière en gris, d'une journée type (le vendredi 23 février 2024). La température est trop élevée pour les deux départs régulés C1 et C2, ils vont alors recycler sur leurs vannes trois voies respectives. À l'image du vendredi 23 février 2024, cela a pour conséquence une chute du débit au secondaire (en orange) tous les matins entre 8h00 et 13h00, lorsque la CTA est enclenchée. Le débit du retour secondaire vers la bouteille de découplage de la PAC devient trop faible, ce qui provoque un recyclage entre le haut et le bas de cette bouteille. La température de retour primaire de la PAC augmente, cette dernière s'arrête.

- **Action corrective** : le talon de consigne de la CTA est abaissé à 50 °C.





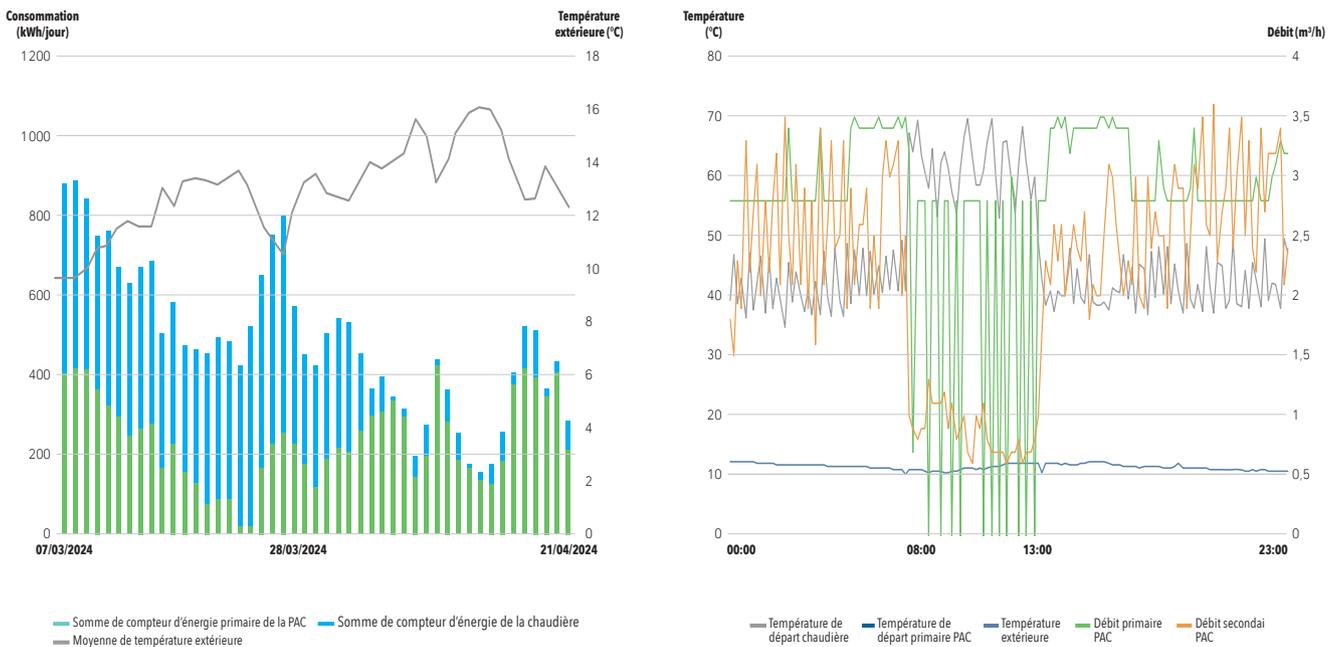
– OPTIMISATION 3 : La pompe inadaptée du circuit C1 empêche le fonctionnement de la PAC

Dans la configuration C1 + C2, une chute des consommations de la PAC est observée début mars 2024. Le premier réflexe est de vérifier les débits de l'installation. Sur une journée type, on constate que le débit moyen primaire de la PAC (en vert) est en dessous du débit moyen secondaire de la PAC (en orange). Le coupable est tout trouvé :

il s'agit de la pompe du circuit C1, qui est surdimensionnée. Celle-ci amène trop de débit sur le retour secondaire. Le volume de la PAC n'assure plus une fonction de découplage mais devient une bouteille de mélange, et la PAC cycle sur sa bouteille.

• **Action corrective** : le 28 mars 2024, la pompe du circuit C1 est changée et réglée de manière à équilibrer les débits sur le retour secondaire de la PAC.

Journée type C1 + C2



Chute des consommations de la PAC.

▼
Débit moyen primaire de la PAC en dessous du débit moyen secondaire de la PAC.

▼
La pompe sur le C1 est surdimensionnée et amène trop de débit sur le retour secondaire.

▼
Le volume de la PAC devient une bouteille de mélange. La PAC cycle sur sa bouteille.

▼
Changement et réglage de la pompe du C1 le 28/03/2024.

– OPTIMISATION 4 :

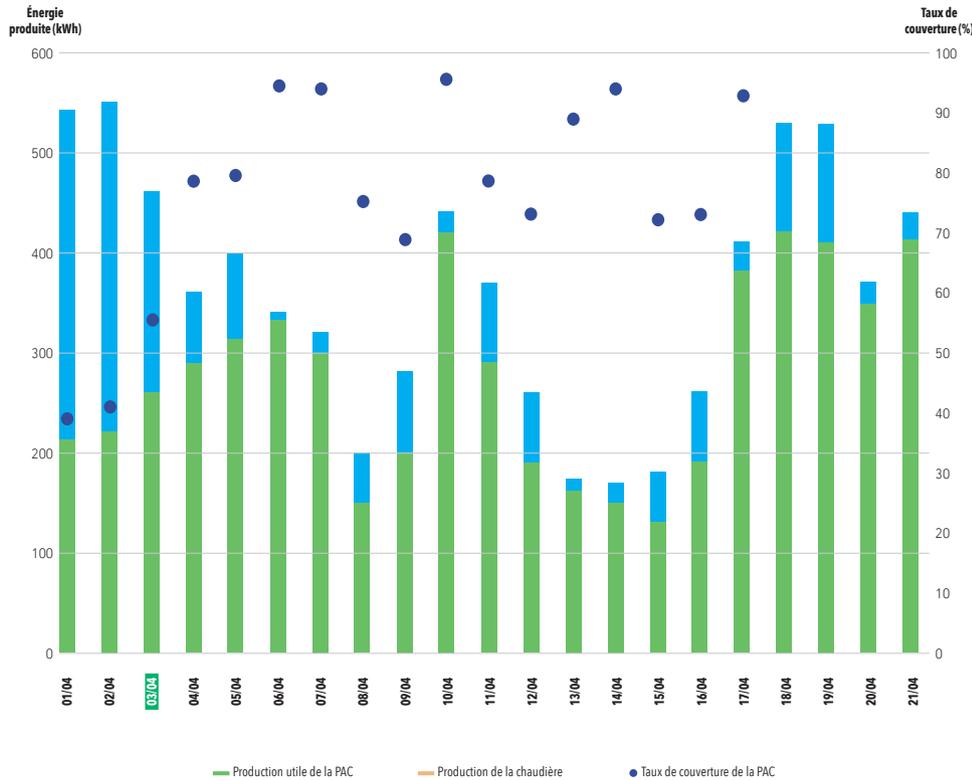
Le 3 avril 2024, derniers réglages pour un taux de couverture moyen important

En ce dernier mois de la saison de chauffe, l'installation affiche un fonctionnement correct. Cependant, l'instrumentation montre que le taux de couverture de la PAC n'est pas encore satisfaisant, surtout pour un mois d'avril à Toulon où les températures extérieures

s'adoucissent. La raison : une faible marge de delta de température pour la PAC, à cause d'une loi d'eau de la chaudière trop proche de celle de la PAC. La PAC bride alors son débit minimal et va réchauffer sa bouteille.

- **Action corrective :** décalage parallèle de la loi d'eau de 2 K au 3 avril 2024 (en vert) pour donner plus de marge de manœuvre à la PAC.

Configuration partielle : du 1^{er} au 21 avril 2024



Taux de couverture de la PAC moyen en mi-saison.

Faible marge de delta de température pour la PAC à cause d'une loi d'eau de la chaudière trop proche de celle de la PAC.

La PAC bride son débit minimal et va réchauffer son ballon.

Décalage parallèle de la loi d'eau de 2 K au 03/04/2024 pour donner plus de marge de manœuvre à la PAC.



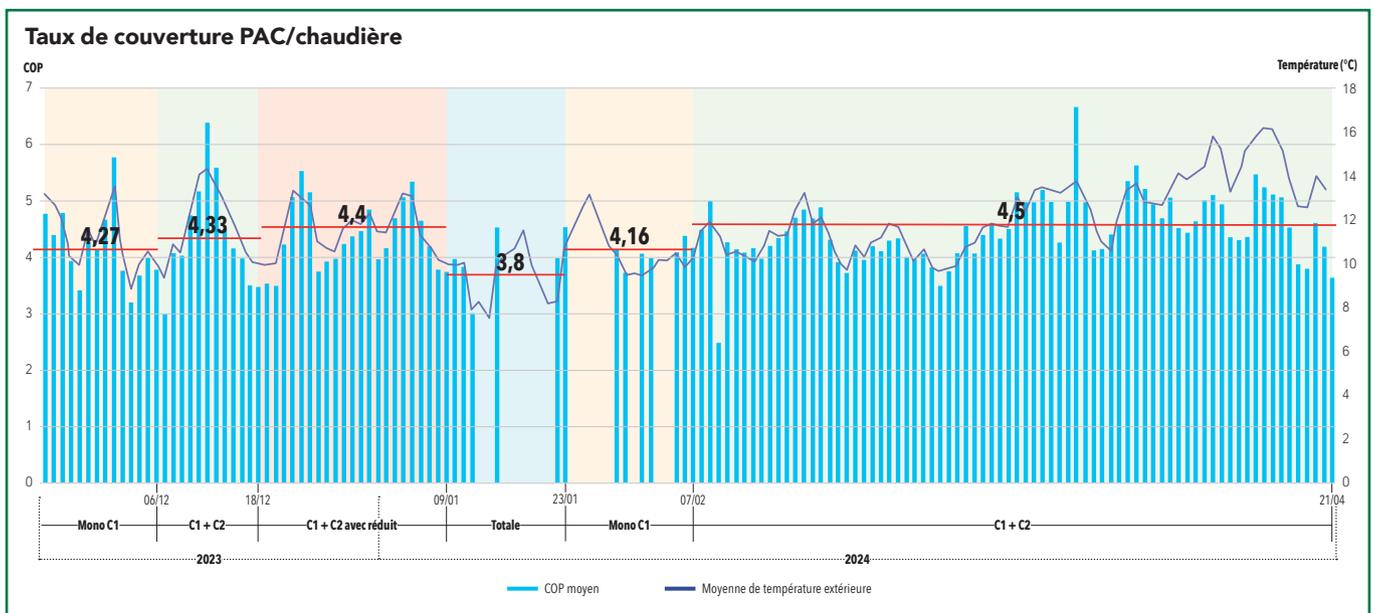


Chaufferie hybride : la performance au rendez-vous

L'instrumentation permet de mesurer les performances de l'installation, et plus particulièrement le COP de la PAC. Voici les COP moyens sur l'ensemble de la saison de chauffe selon les configurations.

Comme indiqué précédemment, le COP de la PAC dépend de la température extérieure et de la température de départ primaire. L'école est située à Toulon, au bord de la Méditerranée, une région

où la météo est plutôt clémente et la température extérieure moyenne est de 11 °C. Il ressort de cette première saison de chauffe un COP moyen de 4,2. Il faut toutefois être vigilant à toujours mettre en relation performance et taux de couverture. En effet, un COP intéressant est observé en janvier et février, mais avec une couverture PAC très faible.



— Trois configurations ont été expérimentées. Après une saison de chauffe, l'hybridation partielle donne les meilleurs résultats en matière de couverture de la PAC.

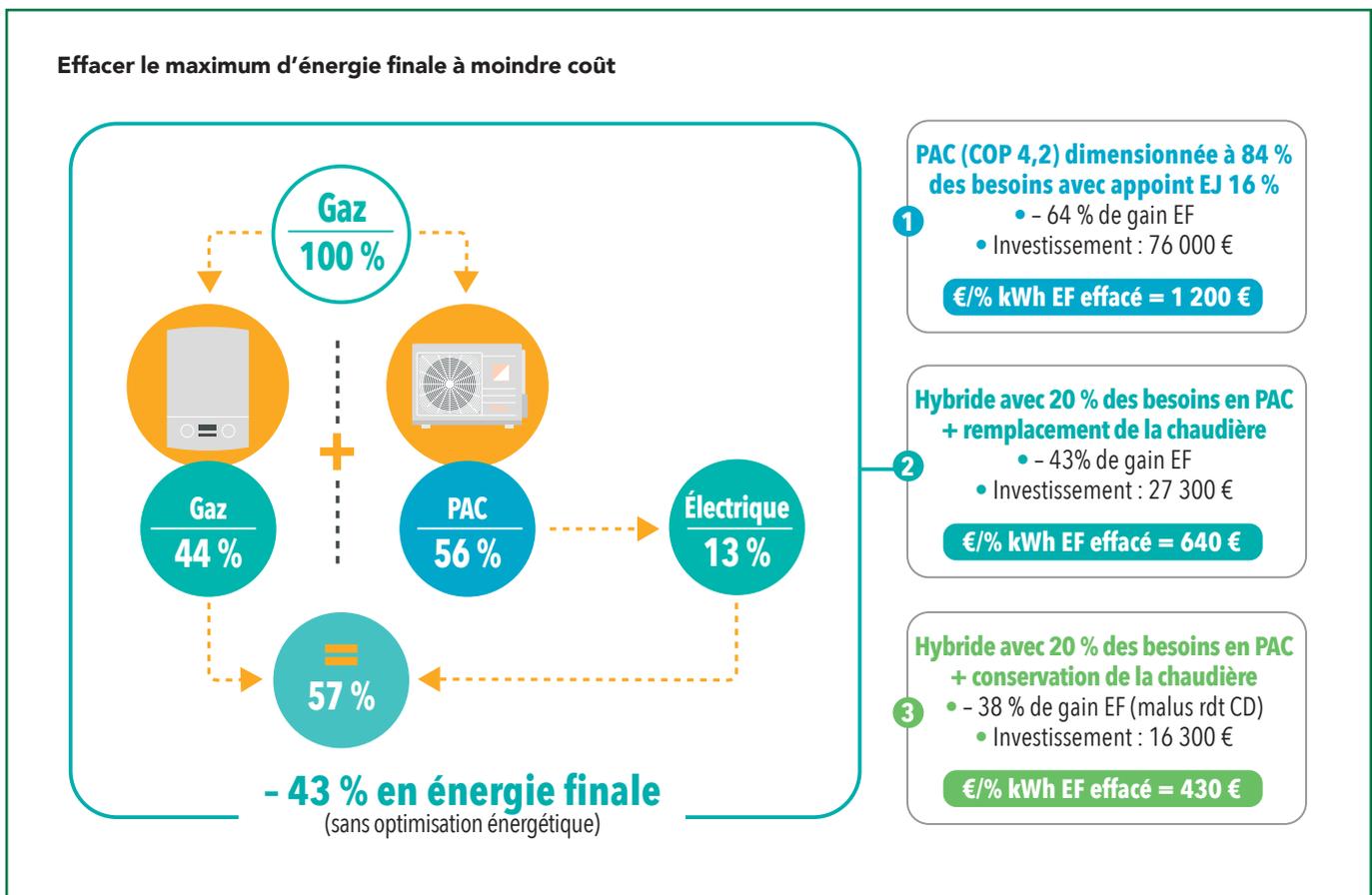


Un grand pas vers l'objectif 2030 du décret tertiaire

Étant assujettie au décret tertiaire, l'école Claude-Debussy doit encore réaliser des gains sur ses consommations en énergie finale. GRDF a donc poussé plus loin l'étude afin d'évaluer les coûts d'investissement nécessaires pour réduire les consommations d'énergie finale. Pour cela, trois scénarios ont été réalisés :

1. 100% électrique avec des PAC dimensionnées à 84% des besoins et avec un appoint en effet Joule sur 16% des besoins;
2. hybride avec 20% des besoins en PAC et remplacement de la chaudière;
3. hybride avec 20% des besoins en PAC et conservation de la chaudière.

Dans le scénario 1 – qui permet un gain en énergie finale de 64% –, chaque pourcentage de kWh d'énergie finale effacé coûte 1 200 euros, contre 640 euros dans le scénario 2 (hybridation avec remplacement de la chaudière; gain de 43% en énergie finale) et contre encore moins – 430 euros – si la chaufferie est hybridée avec conservation de la chaudière existante (gain de 38% en énergie finale). Ainsi, même si les gains en énergie finale sont moins importants avec une hybridation, la différence de coût d'investissement est à considérer. En effet, effacer 1% de kWh d'énergie finale coûte 2 fois moins cher si l'hybridation s'accompagne du remplacement de la chaudière, et 3 fois moins cher avec la conservation de la chaudière, par rapport à la solution 100% électrique.

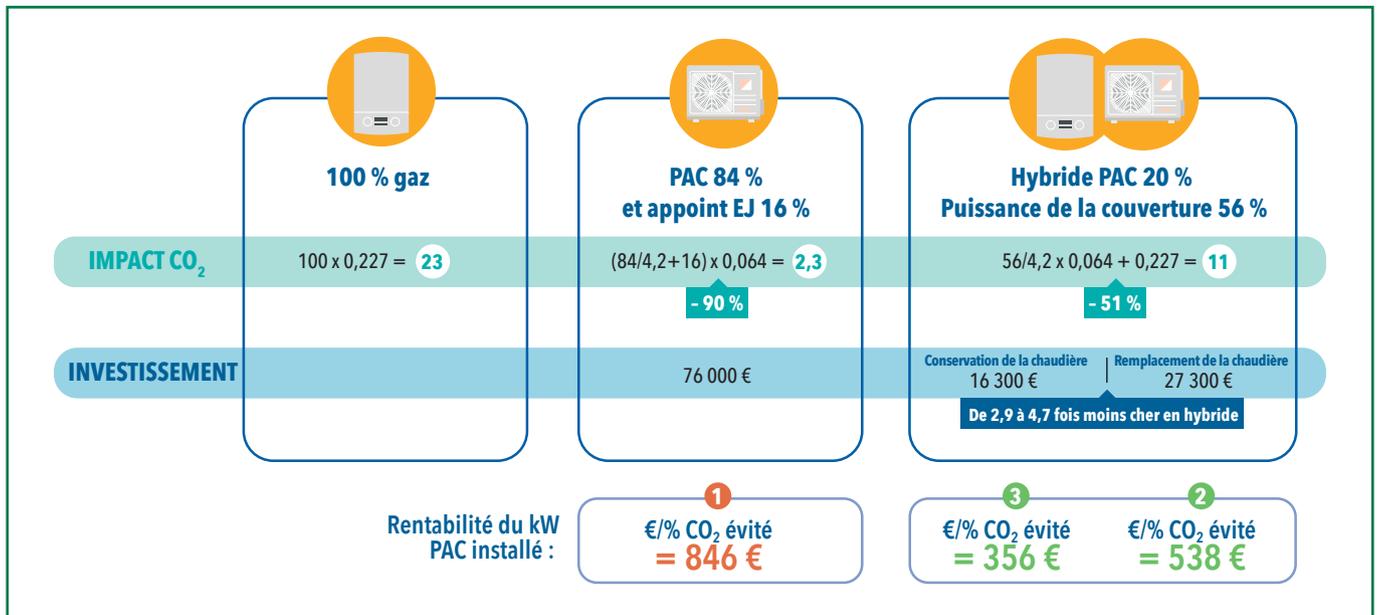


La décarbonation vue à l'échelle du projet

Le même exercice a été réalisé sur le volet carbone, afin d'identifier la rentabilité du kW de PAC installée dans un projet de décarbonation. Comparée à la solution 100% gaz, une installation 100% thermodynamique avec une PAC dimensionnée à 84% et un appoint en effet Joule de 16% permet de réduire de 90% les émissions de CO₂. Dans la version hybride, avec un taux de couverture

de la PAC de 56%, le gain en carbone est seulement de 51%. Mais le budget d'investissement n'est pas non plus le même. Ainsi, avec des solutions hybrides 2,9 à 4,7 fois moins chères que la solution 100% thermodynamique, le coût du pourcentage de CO₂ évité est environ 2 fois plus faible pour l'hybridation de chaufferie, par rapport à la solution 100% électrique. →

— La ville de Toulon a choisi l'école Claude-Debussy pour mener cette expérimentation d'hybridation de chaufferie.

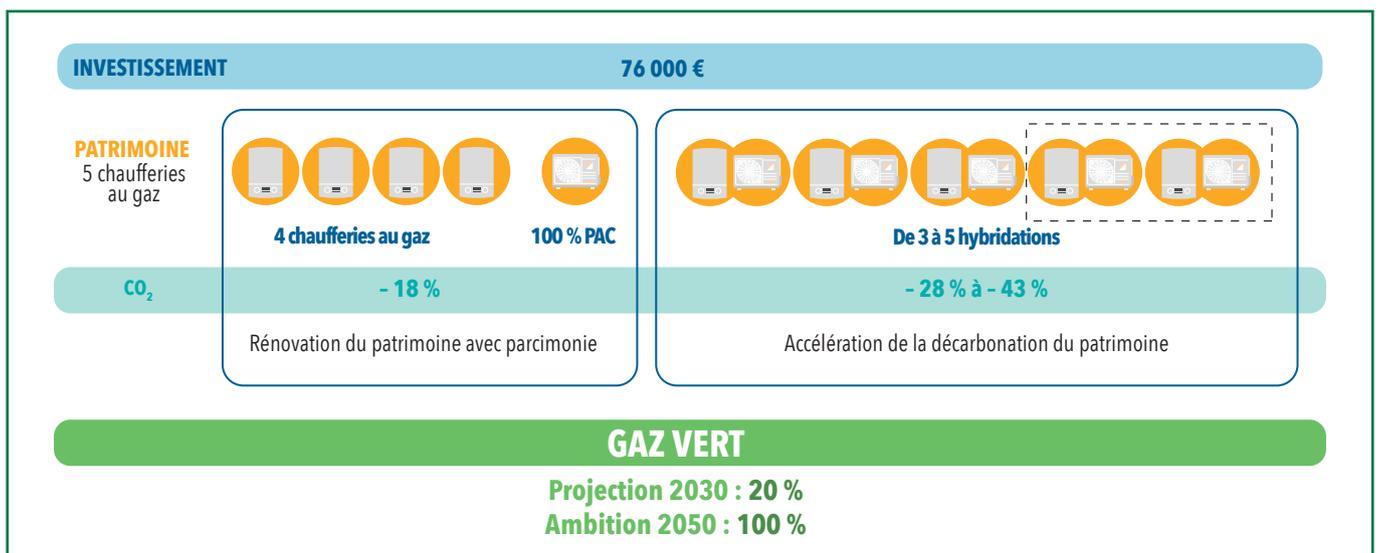


La décarbonation à l'échelle d'un patrimoine

Pour permettre à la ville de Toulon de se projeter sur la décarbonation de son patrimoine, l'exercice a été élargi à cinq chaufferies initialement chauffées au gaz. Pour un budget d'investissement de 76 000 € HT, combien de chaufferies hybrides, la ville de Toulon peut-elle réaliser ? Ce budget correspond, comme nous l'avons vu précédemment, au coût de la conversion d'une chaufferie en une solution 100 % PAC. Il ne permet donc de transformer qu'une seule chaufferie au gaz parmi les cinq envisagées, avec un gain sur l'empreinte

carbone de ce patrimoine de 18 %. A contrario, si l'on retient l'option de l'hybridation, ce budget permet de réaliser trois à cinq hybridations de chaufferie (selon que les chaudières sont conservées ou remplacées) et d'avoir un gain sur les émissions de CO₂ compris entre 28 et 43 %. Lorsque l'on vise la massification de la décarbonation, la PAC hybride s'avère donc être la solution la plus efficace, à iso budget. ●

Pierre Murie, responsable efficacité énergétique







Hybridation de chaufferie : des références solides

GRDF accompagne la filière dans la montée en compétence sur l'hybridation de chaufferies. Grâce à l'instrumentation de chaufferies hybrides en fonctionnement, bureaux d'études et maîtres d'ouvrage disposent aujourd'hui d'une analyse précise des performances pour des installations toujours plus optimisées. —

— Pour accompagner le déploiement des PAC hybrides collectives et tirer le meilleur de ce système biénergie, Cegibat réalise ou fait réaliser l'instrumentation de chaufferies. Une vingtaine de projets à différents stades, en neuf et en rénovation, en résidentiel comme en tertiaire, sont ainsi suivis et analysés, avec le concours des fabricants. Dans *vecteurGAZ* spécial Rénovation (n° 143), nous avons eu l'occasion de présenter l'instrumentation d'une saison de chauffe complète d'une résidence gérée par Logirem. Située à Trets, en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, cette résidence de 49 logements a été équipée de 2 PAC de 12 kW et 15 kW, en complément de la chaudière gaz existante de 170 kW. Les résultats de l'instrumentation, réalisée par le bureau d'études Solarseyne révèlent un taux de couverture des PAC de 70 %, avec un investissement limité. Permettant de documenter les performances réelles d'une telle installation, cette étude prouve que l'on peut décarboner massivement son mix énergétique grâce à l'hybridation des systèmes, tout en assurant une qualité de service satisfaisante.

Le rôle majeur des IEE

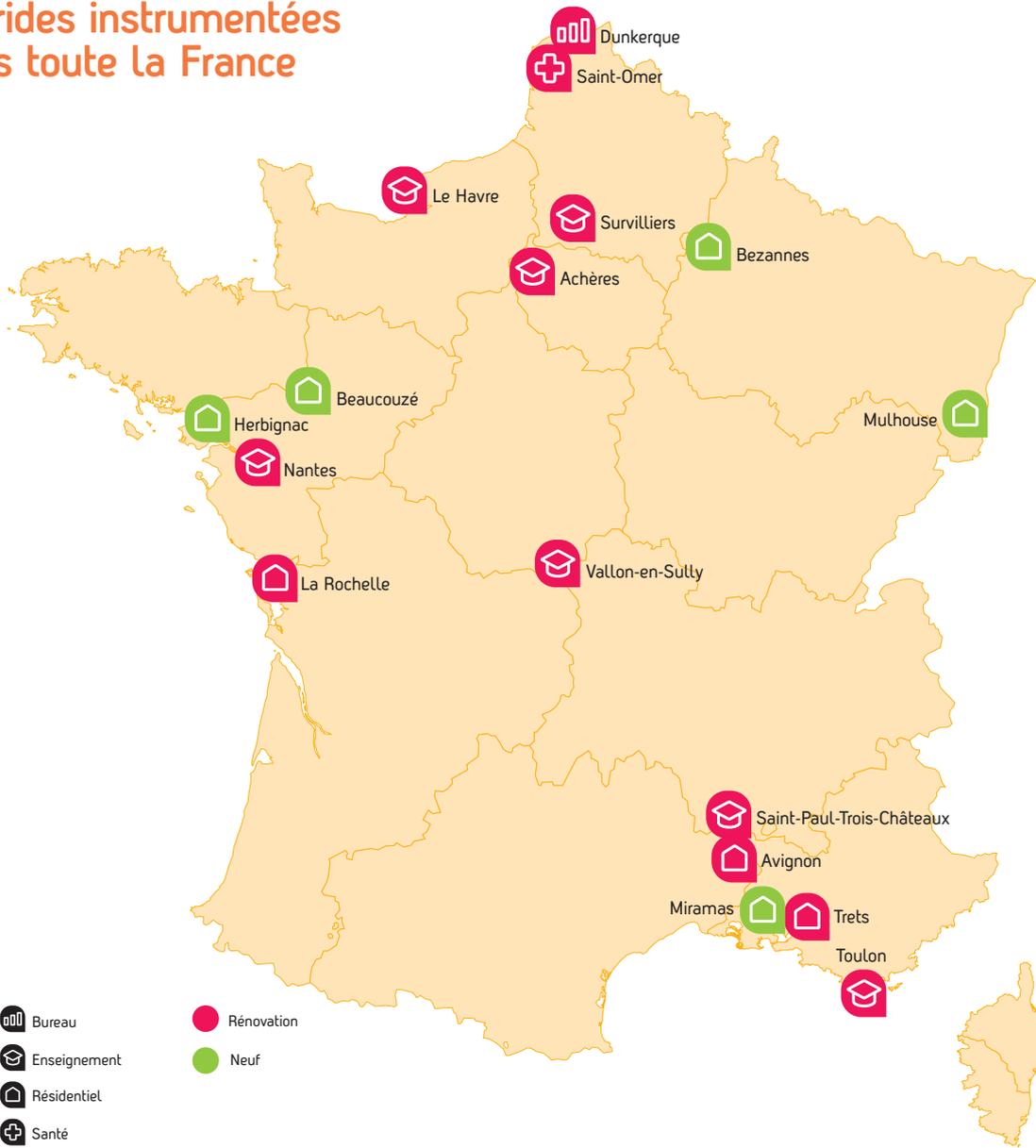
Les IEE jouent un rôle crucial dans l'accompagnement que met en place GRDF pour les projets d'hybridation de chaufferie. En appui des bureaux d'études, ils apportent leur expertise dès la phase de dimensionnement du projet. Ils partagent également leur expérience des premiers projets d'hybridation et des règles à respecter pour obtenir la conception hydraulique la plus simple et la plus efficace possible. Grâce à l'instrumentation de l'installation, la collecte des données permet de mettre en place une vigie pour assurer le bon fonctionnement de l'installation et maximiser ses performances. ●

 Pierre Murie, responsable efficacité énergétique



— Chaudière instrumentée.

Une vingtaine de chaufferies hybrides instrumentées dans toute la France



- Bureau
- Enseignement
- Résidentiel
- Santé

- Rénovation
- Neuf





Implantation des PAC hybrides : quelles sont les règles à respecter ?

Selon les estimations, moins d'un tiers des bâtiments résidentiels collectifs existants aurait la possibilité d'être équipé de PAC électriques collectives, en raison des faibles surfaces disponibles en toiture ou sur la parcelle. Ce chiffre pourrait encore diminuer du fait de contraintes de raccordement électrique, d'acoustique ou encore de règles d'urbanisme. Avec leur capacité à adapter la puissance des PAC à ces contextes, les PAC hybrides permettent d'augmenter la part du parc qui pourra s'équiper de ce type de systèmes et de faire un pas de plus dans sa décarbonation. —

GRDF, Cegibat



Héloïse Poss



Vincent Lallemand



Jean-Claude Molla

Lors de la conception d'un projet de PAC hybride collective (et même en amont pour vérifier l'éligibilité du bâtiment), plusieurs critères d'implantation doivent être étudiés. Ils peuvent en effet avoir des conséquences sur le choix du modèle de PAC à sélectionner et sur son dimensionnement. Nous nous intéresserons dans cet article à l'hybridation de chaufferies existantes, avec ou sans remplacement des chaudières en place par une PAC hybride collective.

PRÉREQUIS

Les cas d'hybridation étudiés ici concernent des chaufferies pour lesquelles les PAC sont dimensionnées selon les préconisations Cegibat, c'est-à-dire avec une puissance de PAC à A0/E50 autour de 20 % à 30 % des déperditions maximales du bâtiment à température extérieure de base, et ce, pour un ou deux usages.

Étude d'un bâtiment collectif de 39 logements, d'une surface habitable de 2984 m², basé en Île-de-France

Bâtiment de copropriété, nombre de logements	39
Surface habitable	2984 m ²
Zone climatique	H1a
Ville	Paris
Année de construction	1977
Puissance de la chaufferie existante pour la couverture du chauffage et de l'ECS	200 kW
Puissance projetée de la chaufferie après rénovation globale du bâtiment (chauffage et ECS)	100 kW

En configuration hybride et pour un bâtiment rénové, les PAC sont dimensionnées pour couvrir 30 % des déperditions à température extérieure de base. En revanche, on considère 15 % si l'on opte pour une rénovation globale en deux temps.

Incidences de la mise en œuvre de PAC vis-à-vis du raccordement au réseau électrique

L'installation d'une PAC collective peut avoir une incidence sur le réseau électrique du bâtiment ainsi que sur le réseau électrique urbain. Il est fortement conseillé d'établir une demande auprès d'Enedis afin d'évaluer la puissance électrique encore disponible à l'échelle du bâtiment et les éventuels renforcements de réseau à prévoir. Dans le cas de l'installation d'une PAC hybride, la partie thermodynamique peut être dimensionnée pour prendre en compte ces contraintes de raccordement et rester dans une plage de puissance optimale. Pour cela, il faudra étudier différents critères⁽¹⁾ :

- le bilan de puissance à l'état initial ;
- la puissance maximale absorbée par la PAC ;
- la définition du type de raccordement à prévoir ;
- le bilan de puissance à l'état projeté ;
- le coût des travaux de raccordement ;
- les travaux annexes.

La puissance maximale absorbée par la PAC

La puissance électrique maximale absorbée (kVA) est parfois indiquée dans les documentations techniques des fabricants de PAC. Cette information pouvant être manquante, il est possible de la calculer avec l'intensité (ou le courant) maximale absorbée, qui est exprimée en ampère (A).

Dans l'exemple du bâtiment existant pris en référence, les intensités maximales et les puissances de raccordement suivantes devront être prises en compte :

TYPOLOGIE DU BÂTIMENT	BÂTIMENT NON RÉNOVÉ		BÂTIMENT RÉNOVÉ	
	PAC hybride	PAC air/eau	PAC hybride	PAC air/eau
Type de PAC				
Nombre de PAC	1 ou 2 PAC	4 PAC	1 ou 2 PAC	2 PAC
Intensité maximale absorbée (A)	25-45	180-210	25-45	90-110
Puissance maximale absorbée (kVA)	10-30	125-135	10-30	60-70

Les chiffres présentés dans ce tableau sont une moyenne tirée des modèles de différents fabricants.

Définition du type de raccordement à prévoir

Le choix du type de raccordement sera établi en fonction de la puissance électrique disponible sur site et de la puissance supplémentaire liée à l'intégration des PAC électriques⁽²⁾ :

- si la puissance supplémentaire est **supérieure à 120 kVA**, il faudra se raccorder directement au poste HTA/BT, ce qui est une opération complexe et coûteuse. Cela signifie, en effet, que le réseau qui circule dans la rue n'est pas suffisant et qu'un câble dédié à l'immeuble doit être installé entre le bâtiment et le poste HTA/BT le plus proche ;
- si la somme des puissances existantes et de la PAC est supérieure à 250 kVA, **PPAC + PExistant > 250 kVA**, le branchement existant serait au maximum du palier technique BT, qui est de 250 kVA. Il faut là encore créer un nouveau raccordement dédié pour la PAC (nouveau

câble entre le bâtiment et le poste HTA/BT le plus proche).

- si la somme des puissances existantes et de la PAC est inférieure ou égale à 250 kVA, **PPAC + PExistant ≤ 250 kVA**, alors il sera potentiellement possible de faire un raccordement en pied de colonne ou un raccordement depuis la liaison réseau existante. Seule une étude « impact réseau » réalisée par Enedis pourra le confirmer.

Dans le cas de figure étudié, le bilan de puissance de l'état existant évalue à 133 kVA la puissance nécessaire pour les parties privatives, et à 21 kVA celle des parties communes, dont 3 kVA sur la chaufferie. Les configurations en PAC air/eau sans rénovation de l'enveloppe nécessitent donc un nouveau raccordement entre le bâtiment et le poste HTA/BT. Pour les autres cas, un bilan de puissance doit être réalisé pour déterminer le type de raccordement à prévoir.

(1) Source Pouget : rapport d'étude en rénovation sur un bâtiment de copropriété – 2024.

(2) Source Pouget Enedis.





Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur de coût Enedis, associés au raccordement nécessaire ⁽¹⁾.

SITUATION	RACCORDEMENT NÉCESSAIRE	ORDRE DE GRANDEUR DE COÛT (€ HT)
	Raccordement sur compteur existant de la chaufferie	0
	Raccordement en pied de colonne	4 000
	Raccordement avec ligne de réseau commune à l'immeuble	5 000
	Raccordement réseau avec coupe-circuit principal individuel dédié	12 000
	Raccordement sur poste HTA/BT	24 000

Le budget est évalué en excluant la nécessité de mettre en place un nouveau poste transformateur si la puissance nécessaire n'est pas disponible sur l'existant.

Si une ligne spécifique est disponible en chaufferie, il sera possible de raccorder les PAC hybrides sur le compteur existant, sans dépasser la puissance de 36 kVA. Les travaux à mettre en place ainsi que le coût du raccordement seront ainsi limités. En plus du devis Enedis, il est nécessaire d'ajouter les travaux annexes (hors périmètre Enedis) qui seront à la charge de la copropriété. Les travaux annexes peuvent consister en :

- des percements interniveaux entre la PAC et l'armoire électrique ;
- de la maçonnerie pour des installations d'équipements électriques ;
- des tranchées avec remise en état du sol pour relier le domaine public au domaine privé ;
- une remise aux normes ou une modification du TGBT.

Comment limiter la puissance de raccordement en dessous de 36 kVA ?

Au-delà de l'influence de la puissance de la PAC sur son raccordement au bâtiment, il sera nécessaire de

mesurer l'incidence de celle-ci sur le contrat de fourniture d'électricité du maître d'ouvrage. Pour des bâtiments de logements collectifs petits ou moyens, il est souhaitable de rester sous la limite de 36 kVA de puissance souscrite afin de ne pas basculer en tarif C4 (ou tarif jaune), mais aussi pour limiter la modification de l'installation électrique et l'augmentation financière de l'abonnement du maître d'ouvrage.

Au sein même du tarif C5 (ou tarif bleu), toute augmentation de la puissance aura pour conséquence de modifier l'abonnement électrique, ce qui peut engendrer des délais de traitement fournisseur qu'il sera nécessaire d'anticiper.

Si l'installation électrique n'est pas utilisable en l'état (installation monophasée avec une intensité disponible insuffisante, sections de câbles sous-dimensionnées pour l'installation projetée), il pourra être nécessaire de mettre l'installation en conformité avec la création possible de lignes spécifiques et d'un nouveau câblage de l'installation.

(1) Source Pouget : rapport d'étude en rénovation sur un bâtiment de copropriété – 2024.

EXEMPLE DE LA RÉSIDENCE VEYRIER À TRETS

L'installation existante était alimentée en courant monophasé avec une intensité disponible de 60 A. Une PAC de 15 kW absorbant au démarrage environ 25 A, il a été possible d'en installer deux, sans avoir à refaire un branchement en triphasé ni à tirer un câble pour alimenter la chaufferie en passant au travers du parking, sachant que la possibilité de réutiliser le fourreau existant n'était pas acquise. (Opération présentée dans vecteurGAZ n° 143.)



EXEMPLE D'UNE COPROPRIÉTÉ DE 20 LOGEMENTS

Ce bâtiment de 900 m² était initialement équipé d'une chaudière gaz de 120 kW. La chaudière a été remplacée par un modèle de 90 kW, et la chaufferie hybridée avec deux PAC de 16 kW. La puissance de raccordement était initialement de 12 kVA triphasé. Il a donc été nécessaire de créer une ligne spécifique en 30 kVA avec une section de câbles adaptée. L'installation a également dû être mise en conformité, l'ancienne alimentation électrique passant au travers d'un logement.

L'intégration acoustique

Il est essentiel de prendre en compte l'acoustique des installations afin de prévenir les nuisances sonores et garantir une intégration optimale. Dans le cas de la PAC hybride collective, le nombre d'unités extérieures à mettre en place est en moyenne divisé par deux par rapport à une solution 100% PAC électrique. Les nuisances acoustiques sont donc moindres. Elles restent néanmoins présentes et doivent être prises en compte.

Quelle réglementation appliquer ?

Deux textes de loi contraignent le bruit émis par une PAC :

- le décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage.

Sur la propriété voisine, l'émergence acoustique/globale (bruit ambiant moins bruit résiduel) ne doit pas dépasser :
 – 5 dB(A) le jour (7 h 00 – 22 h 00),
 – 3 dB(A) la nuit (22 h 00 – 7 h 00).

Ces valeurs peuvent être augmentées si la PAC fonctionne moins de 8h le jour ou la nuit. Ces exigences s'appliquent sur les espaces intérieurs et extérieurs de la propriété voisine ;

- le Code de la construction et de l'habitation, article R. 111-4 et arrêté du 30 juin 1999.

Texte repris dans la nouvelle réglementation acoustique datant du 1^{er} janvier 2000, qui régleme le bruit dans le bâtiment où se situe la PAC.

Pour le bruit des équipements de chauffage/climatisation individuels, la pression acoustique des équipements ne doit pas dépasser les valeurs ci-dessous :

EMPLACEMENT	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE PRESSION ACOUSTIQUE EN dB (A)
Pièce principale fermée	30
Pièce principale ouverte sur la cuisine	40
Cuisine	50

Pour le bruit des équipements de chauffage/ventilation/ECS individuels et collectifs, extérieurs au logement considéré, la pression acoustique des équipements ne doit pas dépasser les valeurs ci-dessous :

EMPLACEMENT	OBJECTIF RÉGLEMENTAIRE PRESSION ACOUSTIQUE EN dB (A)
Chambre	25
Pièce principale	30
Bureau ou zone accessible au public	30
Cuisine	35

Le simple respect de ces décret et arrêté ne garantit pas pour autant un confort optimal. Ainsi, il est fortement recommandé de faire appel à un acousticien pour chaque projet afin d'assurer une intégration acoustique optimale.

Étude acoustique et implantation

Les préconisations de traitement acoustique seront données par l'étude acoustique, basée sur les données d'entrée suivantes :

- le niveau de puissance acoustique définie pour chaque modèle par le fournisseur à différents niveaux de charge (maximal, nominal, réduit) ;
- le cycle de dégivrage (qui peut augmenter le niveau de pression sonore de + 15 dB (A) dans certains cas) ;
- la distance source/récepteur (par exemple, la distance entre l'unité extérieure et le premier balcon avoisinant) ;
- le nombre de sources (le nombre de PAC) ;
- le niveau de bruit résiduel au récepteur.





Avant d'envisager un traitement acoustique, quelques règles de bon sens doivent s'appliquer :

- privilégier un emplacement loin des habitations ou d'autres locaux (bureaux, écoles, etc.);
- éviter les vues directes sur les PAC;
- ne pas placer la PAC dans un angle, contre un mur ou dans une cour intérieure pour éviter la réverbération du bruit.

Quelles solutions de traitement acoustique ?

Plusieurs solutions permettent de réduire les nuisances acoustiques, en fonction du projet et des contraintes environnantes.

- Les plots antivibratiles. Il est fortement recommandé de positionner les PAC sur des plots antivibratiles, afin de réduire la transmission des vibrations de la PAC vers le sol.
- La désolidarisation des tuyauteries. Afin de limiter la propagation de bruits solidiens depuis la PAC, des systèmes de désolidarisation au niveau des raccordements hydrauliques doivent être mis en place (fourreaux résilients, collier antivibratoire de fixation).
- Les panneaux acoustiques. Des écrans acoustiques (type panneau sandwich double peau) peuvent être mis en œuvre autour des PAC. Une attention particulière devra être portée sur la distance entre les PAC et les panneaux pour éviter les phénomènes de recirculation de l'air qui peuvent dégrader

les performances de la PAC. Ces panneaux acoustiques peuvent aussi avoir une incidence sur la hauteur maximale imposée par le plan local d'urbanisme.

- Les grilles acoustiques. Mises en place autour des PAC, elles permettent de limiter la propagation du son et de réduire les réflexions indésirables. Néanmoins, elles engendrent des pertes de charge qui devront être compatibles avec le fonctionnement de la PAC.
- Les silencieux. Pour les PAC gainables, ces éléments permettent de diminuer les puissances acoustiques dans les réseaux de prise d'air et de rejet d'air. Là encore, les pertes de charge occasionnées par le silencieux devront être en adéquation avec la pression disponible sur la PAC.

Dans certains cas, en 100 % PAC notamment, le traitement acoustique n'est pas suffisant pour répondre aux contraintes de bruit environnantes. L'hybridation du système peut alors être une solution, puisqu'elle va permettre de diminuer le nombre de PAC et/ou leur puissance.

Intérêt de l'hybridation : cas concret

Dans le cas du bâtiment présenté dans cet article, comparant une solution PAC hybride et une solution 100 % PAC en rénovation, différentes configurations ont été étudiées.

TYPLOGIE DU BÂTIMENT	BÂTIMENT RÉNOVÉ OU NON	BÂTIMENT NON RÉNOVÉ	BÂTIMENT RÉNOVÉ
Type de PAC	PAC hybride	PAC air/eau	PAC air/eau
Nombre de PAC	1 ou 2 PAC	4 PAC	2 PAC

Les résultats de l'étude acoustique sont détaillés ci-après, avec les solutions préconisées.

	PAC AIR/EAU	PAC AIR/EAU + APPOINT ÉLECTRIQUE	PAC HYBRIDE ECS	PAC HYBRIDE CHAUFFAGE	PAC HYBRIDE DEUX USAGES
SANS RÉNOVATION					
AVEC RÉNOVATION					

SITUATION	SOLUTIONS PRÉCONISÉES	COÛT (€ HT)
	Traitement acoustique	90 €/m ² de surface d'implantation
	Traitement acoustique	90 €/m ² de surface d'implantation
	Étude acoustique + traitement acoustique	5 000 € d'étude + 90 €/m ²
	Étude acoustique + création d'un local acoustique + gainage pour les filtres acoustiques	5 000 € + 500 €/m ² de local + 3 000 €/PAC
	Pas de solutions compatibles → solution infaisable	—

— Panneaux acoustiques



— Plots antivibratiles



— Grilles acoustiques pour local acoustique

La solution 100% PAC présente une contrainte acoustique trop élevée pour être traitée. Seule une solution avec appoint électrique dans le cadre d'une rénovation thermique de l'enveloppe thermique pourrait être envisagée, mais celle-ci serait très coûteuse du fait de la création d'un local acoustique dédié aux PAC. Dans

l'ensemble des configurations, des plots antivibratiles seront positionnés sous les PAC afin de réduire la transmission des vibrations, et les conduits hydrauliques seront désolidarisés. Du fait d'un nombre de PAC limité, la solution hybride ressort donc comme la solution la plus pertinente.





Prise en compte de la réglementation gaz (F-Gaz et sécurité incendie)

La réglementation F-Gaz a pour objectif de réduire les émissions de gaz fluorés à effet de serre en Europe, en limitant leur utilisation et en favorisant le recours à des alternatives plus écologiques. Ce règlement impose des quotas stricts et prévoit des interdictions progressives sur l'usage des hydrofluorocarbures à fort potentiel de réchauffement global (PRG). Dans ce contexte, de nombreux fabricants ont choisi d'utiliser le fluide frigorigène R290 pour leur nouvelle gamme de PAC. Le R290 est exempt de composés fluorés et présente un impact environnemental extrêmement réduit (PRG à 3 kg eqCO₂), bien inférieur à celui du R32 (PRG à 675 kg eqCO₂), communément utilisé jusqu'ici dans les PAC. Néanmoins, la conception de ces PAC avec du R290 doit intégrer plusieurs éléments de sécurité afin de prévenir tout risque d'inflammabilité. Le positionnement des PAC au R290 dans des locaux techniques implique, par exemple, des espaces libres plus importants entre les PAC et la mise en place de détecteur de fuite et de ventilateur d'évacuation.

Installation d'une PAC hybride dans un site de production d'énergie (SPE)

L'arrêté du 23 février 2018 modifié relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations gaz combustible des bâtiments d'habitation individuelle ou collective, y compris les parties communes, n'interdit pas d'installer d'autres machines que les appareils à gaz dans les SPE dès lors qu'elles concourent à la production de chaleur, de froid ou d'électricité.

L'alimentation en gaz d'une PAC hybride se fait exactement dans les mêmes conditions qu'une installation gaz classique. De la même manière, il n'y a pas lieu de modifier une installation gaz existante pour effectuer une hybridation, dès lors que les dispositions de l'arrêté sont respectées.

La prochaine mise à jour des guides du Centre national d'expertise des professionnels de l'énergie gaz tiendra compte des installations hybrides.

Pour l'installation des PAC, des normes existent, notamment pour l'installation in situ de ces machines, sans qu'elles soient d'application obligatoire. Dans tous les cas, il convient de se référer systématiquement aux notices des fabricants.

On peut noter que les configurations avec unité monobloc extérieure sont les plus commodes à concevoir, car le fluide frigorigène ne pénètre pas dans le SPE. Toutefois, une attention particulière devra être portée à l'emplacement de l'unité extérieure pour éviter qu'une éventuelle fuite ne soit aspirée dans le bâtiment/SPE ou dans le circuit d'alimentation en air des appareils à gaz.

Encombrement dans le local technique et implantation de l'unité extérieure

L'installation d'une PAC hybride dans un bâtiment résidentiel collectif existant impose de tenir compte de conditions structurelles imposées par la typologie du bâtiment, mais aussi de la place disponible en local technique pour les installations intérieures et en extérieur (sol ou toiture) pour les unités extérieures de la ou des PAC. Si l'installation d'une PAC hybride, en permettant de diminuer le poids et l'emprise au sol des différents équipements, limite les contraintes d'implantation, il est néanmoins nécessaire de les prendre en considération.

Positionnement des unités extérieures : sol ou toiture ?

Les unités extérieures des PAC sont généralement positionnées en extérieur pour des raisons d'acoustique, de débit d'air nécessaire ou de type de fluide frigorigène. Si l'immeuble est pourvu d'une toiture-terrasse, cet emplacement est une bonne option à condition de vérifier les points suivants :

- **place disponible sur la toiture** : chaque fabricant définit des espaces libres à prévoir autour des PAC. Il faut généralement prévoir un espace libre de 2 à 3 m devant le ventilateur, de 0,50 m à l'arrière et sur les côtés, et de préserver une surface totalement libre au-dessus.

Les liaisons entre les PAC et la toiture doivent permettre un entretien de l'étanchéité de cette dernière (cf. DTU 65.16). Dans le cas de PAC posées sur l'étanchéité, les supports (poids < 90 kg) doivent être amovibles et les PAC démontables. Cela ne nécessite alors qu'une surélévation minimale de 0,10 m (0,20 m dans les régions à fort risque de chute de neige). En revanche, lorsque les PAC sont installées sur des éléments fixes solidaires de la dalle et non démontables, la hauteur de la surélévation à prévoir, afin de pouvoir effectuer les opérations d'entretien de la toiture, dépend des dimensions de la machine :

- si $L \leq 1,20$ m, la surélévation minimale sera de 0,40 m,
- si $L > 1,20$ m, la surélévation minimale sera de 0,80 m.

L'étant la plus petite cote d'encombrement en projection horizontale de l'équipement ;

- **capacité structurelle des toitures** : le poids des unités extérieures est élevé et peut être incompatible avec les capacités structurelles des toitures-terrasses⁽¹⁾ existantes. Depuis 2000, les Eurocodes exigent que les toitures supportent 80 kg/m² sur 10 m² ou une charge ponctuelle de 150 kg. De fait, il est impossible de connaître les capacités structurelles des toitures de bâtiments construits avant les années 2000 sans réaliser une étude de

structure. Dans le cas où un renforcement de la toiture doit être prévu, cela peut compliquer fortement le projet. L'adaptation de la puissance de la PAC à la baisse, dans une logique d'hybridation, est un levier à prendre en considération pour limiter ces contraintes ;

- **sécurisation de l'accès à la toiture** : l'accès à la toiture doit être possible et sécurisé pour garantir l'installation et la maintenance. Il peut être nécessaire de prévoir des travaux de sécurisation (accès, garde-corps...);

- **autorisation de surélévation** : les plans locaux d'urbanisme peuvent limiter la mise en œuvre d'éléments supplémentaires en toiture et peuvent avoir évolué depuis la construction du bâtiment. La hauteur des unités extérieures des PAC varie entre 0,70 m et 2,10 m. En ajoutant la hauteur du support de 0,80 m, la hauteur totale peut monter à 2,70 m. Il est donc important de vérifier la compatibilité des PAC avec les règles d'urbanisme et de privilégier des PAC de petites puissances afin de limiter la hauteur des unités extérieures.

Dans l'exemple du bâtiment de 39 logements à Paris, la surface disponible en toiture est de 30 m².

TYPOLOGIE DU BÂTIMENT	BÂTIMENT NON RÉNOVÉ		BÂTIMENT RÉNOVÉ	
	PAC hybride	PAC air/eau	PAC hybride	PAC air/eau
Type de PAC	PAC hybride	PAC air/eau	PAC hybride	PAC air/eau
Nombre de PAC	1 ou 2 PAC	4 PAC	1 ou 2 PAC	2 PAC
Poids des PAC (kg)	20 à 300	1 450 à 2 000	20 à 300	700 à 1 000
Poids par m ² (kg/m ²)	40 à 280	350 à 750	40 à 280	350 à 750
Hauteur des PAC avec support et surélévation (mm)	700 à 1 400	1 500 à 2 000	700 à 1 400	1 500 à 2 000
Emprise au sol avec prise en compte des dégagements nécessaires (m ²)	8 à 12	37 à 40	8 à 12	18 à 20

Les chiffres de ce tableau représentent une moyenne tirée des modèles de différents fabricants.

Si les unités extérieures ne peuvent être positionnées en toiture, elles peuvent être installées à l'extérieur, sur le sol, et à bonne distance des baies. Cette configuration demande cependant une installation spécifique, protégée des intrusions potentielles. Elle doit faire l'objet d'une étude acoustique.

Une installation en local technique en complément des chaudières gaz

Le local technique doit pouvoir accueillir les ballons d'ECS, les ballons d'inertie dont celui de la PAC, la panoplie hydraulique ainsi que les accessoires nécessaires. Les chaufferies existantes peuvent disposer de plus ou moins de place résiduelle. Il faudra donc prendre en considération ce paramètre pour dimensionner la PAC, sachant que le volume du ballon d'inertie de cette dernière sera proportionnel à sa puissance. En fonction de la configuration de l'hydraulique en chaufferie et des caractéristiques de l'installation (températures des réseaux de chauffage notamment), il pourra être intéressant de choisir de n'hybrider qu'un réseau de chauffage ou qu'une partie des réseaux de chauffage. Cette option permettra de gagner de la place si celle-ci est contrainte. Autres leviers pour gagner de la place en chaufferie et faciliter l'installation des équipements complémentaires liés à la PAC : la vérification des besoins du bâtiment

avec redimensionnement de la chaudière si celle-ci doit être changée ou la réalisation de travaux d'isolation du bâtiment. ●

 **Héloïse Poss**, responsable efficacité énergétique
Vincent Lallemand, responsable efficacité énergétique
Jean-Claude Molla, expert réglementation gaz

À RETENIR

Suivre les recommandations de Cegibat pour réaliser l'hybridation d'une chaufferie existante permet de :

- réduire fortement les contraintes techniques d'implantation ;
- limiter les investissements liés au raccordement électrique, à l'emprise au sol et au traitement de l'impact acoustique, par rapport à une solution 100 % thermodynamique.

Ces avantages technico-économiques sont combinés à une très bonne performance des systèmes qui travaillent dans leurs meilleures plages de fonctionnement et permettent de réduire l'empreinte carbone jusqu'à 60 %. L'hybridation légère s'impose donc comme une évidence dès lors qu'elle est réalisable.

(1) Étude sur les freins et leviers à la diffusion de la PAC en logement collectif POUGET Consultants

RE2020 : seuils 2025 respectés avec la PAC hybride collective

Depuis l'entrée en vigueur de la RE2020, Cegibat a analysé plus d'une centaine d'études réglementaires concernant des PAC hybrides collectives, en résidentiel comme en tertiaire. La pertinence de la solution est démontrée : la PAC hybride collective respecte les seuils 2025 de la RE2020. La clé : un juste dimensionnement ! —

En logement collectif

L'étude réalisée entre mi-2022 et fin 2023 avec sept fabricants et le soutien méthodologique d'Engie Lab Crigen a porté sur trois immeubles de logement collectif, isolés selon les exigences de la RE2020. Cette étude a été présentée dans vecteurGAZ n° 144 du 1^{er} trimestre 2024. Son objet était de définir les meilleurs dimensionnements afin d'obtenir l'optimum technico-économique qui permette à la PAC hybride collective de passer les seuils 2025 de la RE2020 en restant raisonnable en matière de coûts. Les principaux enseignements de la modélisation de ces trois immeubles pour les deux usages chauffage et ECS sont les suivants :

1. La puissance de la PAC à 0/50 °C doit être comprise entre 20 % et 40 % des déperditions du bâtiment à la température extérieure de base (40 % en H1, 30 % en H2 et jusqu'à 20 % en H3).
2. Le taux de couverture des besoins de chauffage et d'ECS par la PAC se situe entre 60 % et 80 %.
3. La PAC hybride collective permet d'atteindre les seuils 2025 de la RE2020 ainsi que l'étiquette A du DPE sans renforcement de bâti.
4. Le gain financier est substantiel avec la solution PAC hybride collective (-30 % à -50 % par rapport à une solution 100 % PAC).
5. La puissance électrique maximale appelée sur le réseau en période de pointe est de 2 à 7 fois inférieure avec la PAC hybride.

6. Les factures énergétiques sont légèrement inférieures avec une PAC hybride collective.
7. L'hybridation permet de diminuer l'impact sonore ainsi que l'encombrement, comparée à une solution 100 % thermodynamique.

En tertiaire : l'exemple de bâtiments d'enseignement

Pour cette étude sur la typologie exigeante que constituent les bâtiments d'enseignement, six industriels avaient pour mission de dimensionner un système hybride sur deux bâtiments : une école maternelle et un collège. Les résultats détaillés ont été présentés dans vecteurGAZ n° 147 du 4^e trimestre 2024.

- Comparée aux simulations en 100 % PAC, la solution hybride permet de diviser la puissance de la PAC par deux pour l'école maternelle en zone H1a, et par trois à quatre pour l'école maternelle en zone H2b et pour le collège.
- Les taux de couverture représentent entre 40 % et 70 % des besoins de chauffage.
- Le coût à l'investissement est deux fois moins élevé pour la PAC hybride.
- La facture énergétique est maîtrisée, avec des gains allant de 22 % à 62 % en zone H2b selon le type d'établissement. ●

 Pierre Murie, responsable efficacité énergétique

EN SYNTHÈSE

MARCHÉ	BÂTIMENT	ZONE CLIMATIQUE	PUISSANCE DE LA PAC HYBRIDE RESPECT RE25 PUISSANCE 0/50 °C EN % DES DÉPERDITIONS À TEMPÉRATURE DE BASE	PUISSANCE VS PAC ÉLEC	CAPEX VS PAC ÉLECTRIQUE	OPEX (CONSOMMATION + ABONNEMENT VS PAC ÉLECTRIQUE)
Tertiaire	Enseignement primaire	H1a	Entre 40 % et 50 %	Divisée par 2* (H2b : par 3 à 4)	-25 % à -50 %	-25 % à -65 %
		H2b*	Entre 30 % et 40 %			
		H3	Pas de contrainte			
	Enseignement secondaire	H1a	Entre 25 % et 35 % suivant la longueur du tubage	Divisée par 3 à 4	Divisée par 2	-20 % à -35 %
		H2b	Entre 30 % et 40 %			
		H3	Pas de contrainte			
Logement	PAC hybride Double service ou par usage	H1a	40 % (30 % par usage)	Divisée de 2 à 7	-30 % à -50 %	Équivalent
		H2b	30 % (20 % par usage)			
		H3	25 % (20 % par usage)			

Cegibat lance l'Académie PAC hybride collective

Créée pour apporter une expertise technique sur les sujets de conception et de dimensionnement de chaufferies collectives, l'Académie Cegibat ouvre un cursus de journées techniques dédiées à la PAC hybride collective. —

Sensibiliser les acteurs du bâtiment aux solutions hybrides gaz pour en faire de réels prescripteurs, c'est tout l'enjeu de cette nouvelle académie créée par Cegibat en 2025. Ces journées techniques s'adressent aux bureaux d'études, installateurs, exploitants ou encore directions techniques de maîtres d'ouvrage. Elles sont conçues pour offrir une compréhension approfondie et pratique de la technologie des PAC hybrides, en mettant l'accent sur l'efficacité énergétique et la conformité réglementaire. Elles abordent tous les aspects de ces solutions dans le résidentiel et le tertiaire, que ce soit dans le cadre d'un projet neuf ou d'une rénovation.

Deux journées pour explorer toutes les facettes de la PAC hybride collective

Élaboré en collaboration avec la filière, le cursus se déroule sur deux jours et comprend des séquences théoriques et pratiques. Au programme de la première journée : la présentation du système et des différents types de matériels proposés par les fabricants, le dimensionnement envisagé dans une vision évolutive des besoins et les règles d'implantation. L'accent est également porté sur les schémas hydrauliques adaptés aux différentes configurations et les facteurs de performance associés. La seconde journée laisse la place à la pratique en abordant une réflexion sur la mise en service, les impératifs de maintenance, d'exploitation et de régulation pour garantir une performance optimale dans un contexte de maîtrise des coûts. Elle est aussi l'occasion d'échanges avec les fabricants autour des matériels pour évoquer les aspects concrets de mise au point des installations, de positionnement des sondes ou de métrologie. Complètes et pratiques, ces journées techniques ont vocation à renforcer les connaissances des

participants dans le domaine de l'hybridation gaz, de la phase de conception à une exploitation optimisée des installations. Elles permettent d'acquérir des compétences indispensables à la promotion de ces solutions qui répondent efficacement aux enjeux de sobriété énergétique et de décarbonation. ●

 **Frédéric Vergès**, chef de projet animation filière

En pratique

- Une douzaine de sessions se tiendront dans toute la France, à la rencontre des régions et au plus près des fabricants.
- Intéressé par l'Académie PAC hybride collective ? N'hésitez pas à vous manifester auprès des IEE en région. Ils se tiennent à votre disposition pour vous accompagner dans cette démarche formatrice et vous en préciseront les modalités.



Retrouvez vos interlocuteurs efficacité énergétique en région.

CEGIBAT

L'expertise efficacité énergétique de GRDF

Visionnez notre webinaire :

« PAC hybride collective, quels schémas hydrauliques ? »



Scannez le QR Code ci-contre pour accéder au replay du webinaire et explorer les configurations optimales pour la PAC hybride collective.



Rendez-vous
sur notre
chaîne YouTube.



Quel que soit votre fournisseur
L'énergie est notre avenir, économisons-la !

GRDF, société anonyme au capital de 1 835 695 000 euros. Siège social : 17 rue des Bretons, 93210 Saint-Denis. RCS Bobigny 444 786 511.

GRDF
GAZ RÉSEAU
DISTRIBUTION FRANCE