

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 ?

Avec l'évolution des réglementations thermiques dans l'existant - décret tertiaire et 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/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 une durée de vie raccourcie du compresseur.

• Débit et régimes de température des différents réseaux

Une fois les besoins et les puissances chauffage et ECS du bâtiment validés, il faut s'intéresser aux émetteurs de chauffage présents dans le bâtiment (radiateurs, planchers chauffants, CTA, etc.). 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 débits de chacun de ces réseaux est également importante dans la stratégie d'hybridation : des régimes haut 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 possibles 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, ECS ou chauffage + ECS

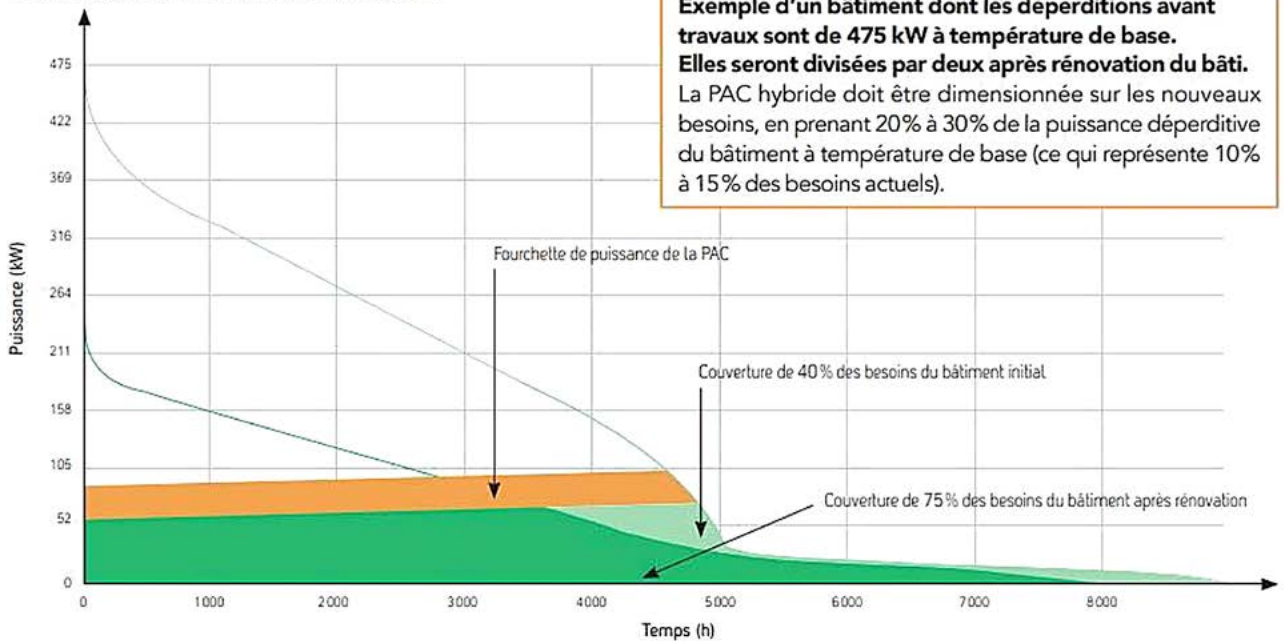
Dernier point, il convient de bien prendre en considération les usages à hybrider sur l'installation. S'agit-il du chauffage seul ? du chauffage + ECS ? ou seulement de l'ECS ? En fonction des segments de marchés, résidentiel ou tertiaire, le choix d'un seul usage peut être pertinent, notamment sur des 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, etc. ? 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



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 déperditive 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.

Fig 1

ou plusieurs ballons de stockage et donc une emprise au sol plus ou moins importante).

• **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, proche de ses COP optimaux.

Pour la PAC dédiée au préchauffage 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 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 eau chaude sanitaire**

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, de nombreux maîtres d'ouvrage (notamment les copropriétés où la prise de décision est plus longue et plus complexe), ne peuvent, pour des questions budgétaires, 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.

• Exemple avec le bâtiment suivante (fig 2 : *monotone des besoins d'un bâtiment existant*). Les déperditions avant travaux sont de 475 kW à T °C 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 déperditive du bâtiment à T °C de base (ce qui représente 10 à 15 % des besoins actuels).

Avec ce dimensionnement, la PAC couvre 40 % des besoins

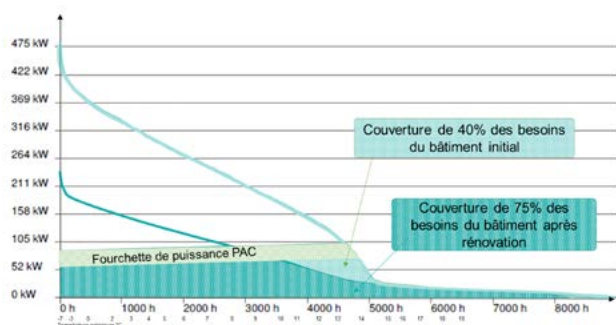


Fig 2 : monotone des besoins d'un bâtiment existant

chauffage et 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 PAC et de la puissance chaudière ainsi que le taux de couverture de chaque appareil.

Extraits du document technique unifié (DTU) 65.16

Bivalent alternatif : la PAC fonctionne jusqu'à une certaine température extérieure. 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

Bivalent parallèle : la PAC fonctionne seule jusqu'à une certaine température extérieure (point de bivalence). En dessous de cette température, la PAC fonctionne avec une

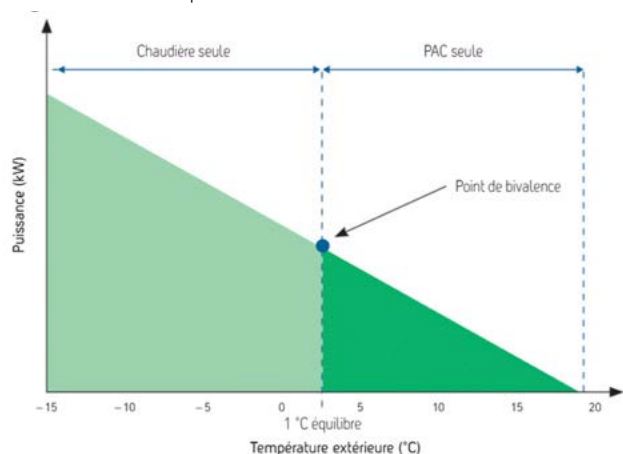


Fig 3 : fonctionnement bivalent alternatif

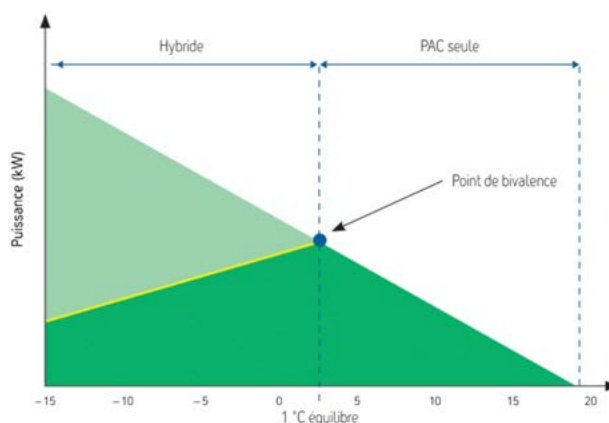


Fig 4 : fonctionnement bivalent parallèle

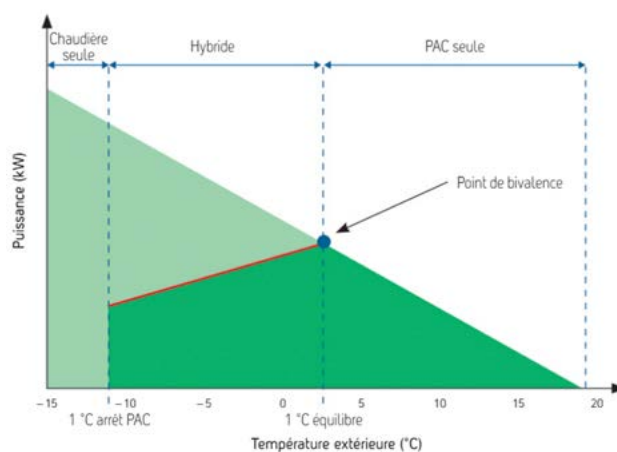


Fig 5 : fonctionnement bivalent alternatif et parallèle

chaudière en relèvement (la PAC est utilisée annuellement pour le chauffage pour 70 à 90 %).

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, arrivés à une certaine température extérieure (T° de bascule), la PAC s'arrête complètement et la chaudière prend le relais à 100 %.

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 6 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 optimum 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 chauffage
- Les performances du système (SCOP) et le taux ENR

Les simulations ont été faites avec le moteur Th-BCE sur 3 zones climatiques (H1a, H2b et H3), pour des températures 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 :

TYPLOGIE	NOMBRE D'APPARTEMENTS	SURFACE (m²)	REPRÉSENTATIVITÉ DU PARC DE LOGEMENTS COLLECTIFS (%)
BARRES	36	2353	11.9
COLLECTIF	20	1224	9.6
GRAND COLLECTIF	31	2074	18.8
PETIT COLLECTIF	13	865	28.8
HABITAT INTERMÉDIAIRE	22	1429	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 T°ext de base (30 % en H1, 25 % en H2 et 20 % en H3).

Ci-dessous le tableau de synthèse des résultats :

Tableau de synthèse des résultats :

ZONE CLIMATIQUE	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 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 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.

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

En partant de ce dimensionnement, le taux de couverture des besoins chauffage et 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.



30%
Puissance maximale de la PAC dans une solution hybride

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 et d'ECS par la PAC de

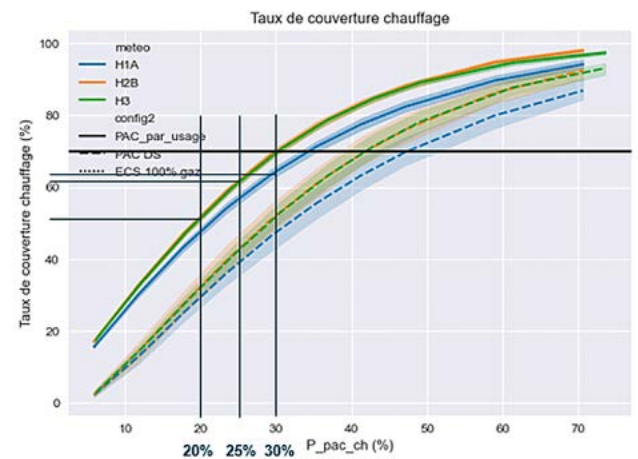


Fig 6 : taux de couverture chauffage

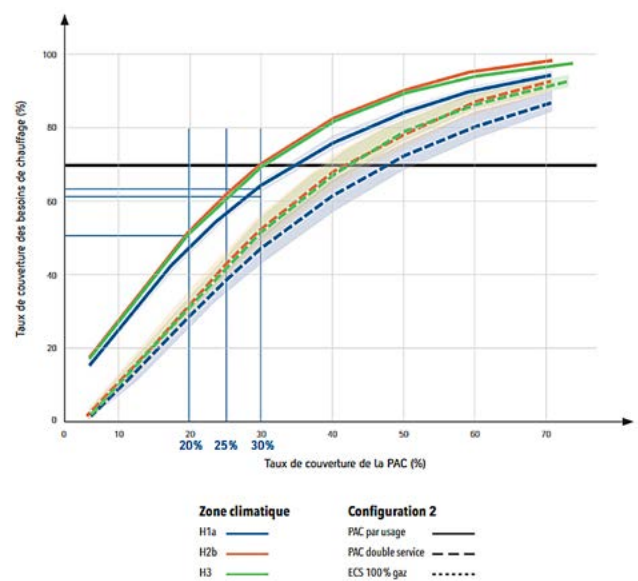
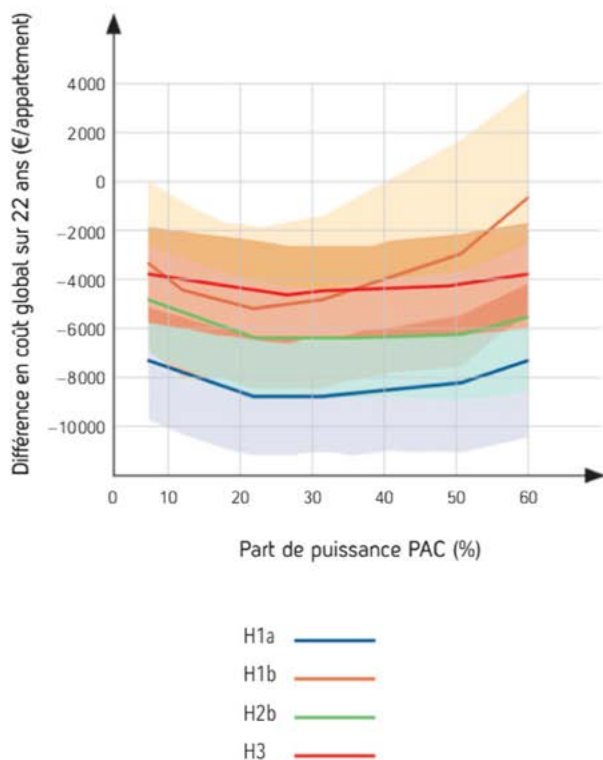


Fig 7 : taux de couverture des besoins de chauffage

Différence en coût global par appartement



Coût d'abattement carbone (référence : chaudière gaz)

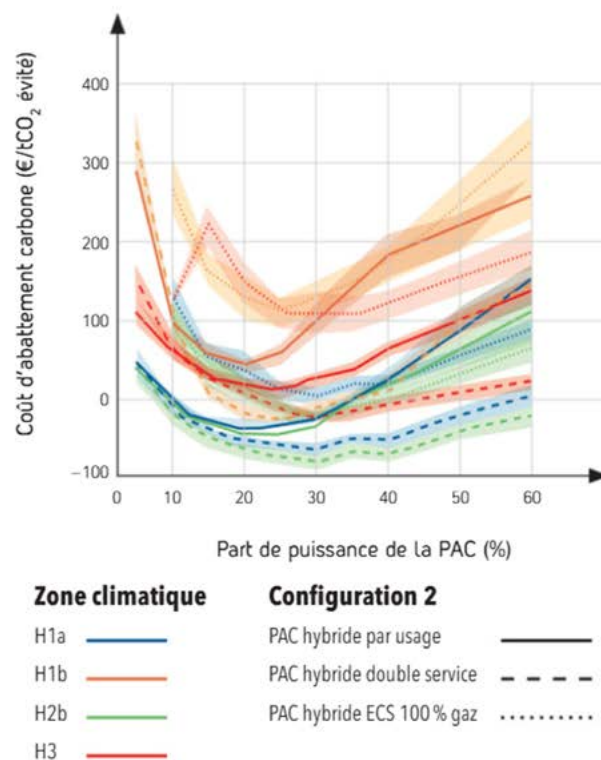


Fig 8

55 % à 85 %. 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 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 Vecteur gaz 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 - CEGIBAT - GRDF



Vincent Lallemand, responsables efficacité énergétique - CEGIBAT - GRDF



Pour aller plus loin

A- ARTICLES VECTEUR GAZ, MAGAZINE TRIMESTRIEL DE CEGIBAT

Vous trouverez des exemples d'hybridation de chaufferie dans les numéros du magazine de CEGIBAT, Vecteur gaz, en résidentiel comme en tertiaire :

- Résidence de 49 logements sociaux à Trets (Vecteur gaz n° 143 - 4^e trimestre 2023),
- Collège à Bergerac (Vecteur gaz n° 145 - 2^e trimestre 2024)
- École primaire à Toulon (Vecteur gaz n° 146 - 3^e trimestre 2024), complété par les résultats de la première saison de chauffe dans ce numéro spécial, pages 34 à 43.

B- WEBINAIRE CEGIBAT

Vous pouvez également visionner le replay du webinaire « Rénovation en tertiaire : Comment hybrider une chaufferie existante ? », où l'opération de Bergerac était détaillée :

<https://www.youtube.com/watch?v=6TXGf0dFRug>
Rénovation en tertiaire : comment hybrider une chaufferie existante ? | Cegibat