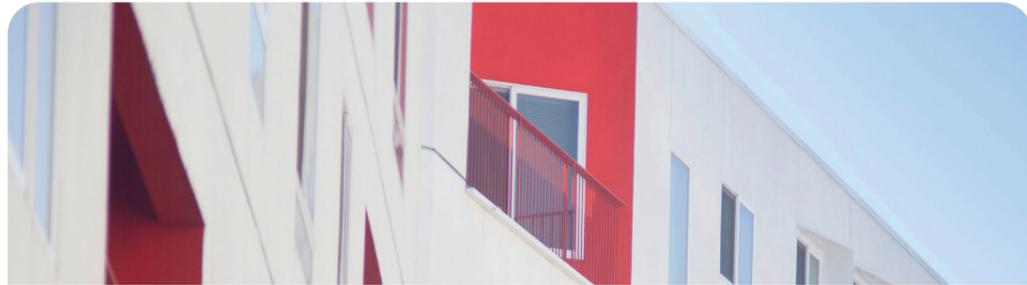


LA PAC HYBRIDE

Principes et mise en œuvre
de la PAC hybride
dans un projet résidentiel





Acteur de la décarbonation en France, GRDF vous informe des moyens permettant de réduire votre empreinte carbone, pour consommer moins, mieux et plus vert, quels que soient vos usages du gaz.

La PAC hybride, combinant une pompe à chaleur et une chaudière gaz à condensation avec une régulation intelligente, s'inscrit dans cette démarche.

Cette technologie se distingue par ses performances énergétiques optimisées et sa capacité à réduire les émissions de carbone, tout en respectant les évolutions réglementaires, que ce soit pour des constructions neuves ou des rénovations. Elle est également compatible avec le gaz vert.

Consommer moins, mieux et plus vert, quels que soient vos usages du gaz.

<p>Sobriété</p> 	<p>Efficacité énergétique</p> 	<p>Gaz vert</p> 
--	--	---

Document réalisé en septembre 2024 par :

- Antoine Sellier, Responsable Pôle Résidentiel GRDF
- Vincent Lallemand, Ingénieur efficacité énergétique CEGIBAT

Avec les contributions de :

- Stéphanie Cadriou, Chef de produits - Pôle Marketing Produits GRDF
- Gaëtan Quesnel, Responsable National Logement Social GRDF
- Ludovic Gutierrez, Responsable National Promotion Privée GRDF

1 • Un contexte favorable à l'hybridation.....	4
1.1 La Réglementation RE2020 n'interdit pas le gaz.	4
1.2 Atteindre le label BBC Rénovation avec des solutions hybrides.....	4
1.3 Contribuer à rendre le logement abordable.	4
1.4 Besoins de flexibilité et décarbonation du réseau électrique.....	5
1.5 Développement du biométhane.....	5
2 • La PAC hybride : principes et fonctionnement.....	6
2.1 Principes.....	6
2.2 Le point de Bivalence de la PAC.....	7
2.3 Les différents types de régulation sur énergie primaire.....	7
2.4 Régulation selon le prix des énergies.....	9
2.5 Régulation sur la disponibilité du réseau électrique (effacement jour de pointe).....	10
2.6 La PAC hybride : une PAC par usage ou une PAC double service ?.....	10
2.7 Un dimensionnement de l'hybridation variable, selon les objectifs.....	10
3 • Projet en PAC hybride : les facteurs clés de succès.....	12
3.1 Les bonnes pratiques de dimensionnement.....	12
3.2 Acoustique : attention à l'emplacement de l'unité extérieure.....	12
3.3 Prendre en compte le régime de température des émetteurs.....	12
3.4 Quel type d'hybridation choisir pour quel type de projet ?.....	14
4 • Analyse économique et environnementale : cas pratiques.....	15
4.1 Étude en coût global sur un logement individuel.....	15
4.2 Étude en coût global sur un patrimoine en logement collectif ou tertiaire.....	16
5 • Une offre en coût global large et structurée.....	17
6 • Références.....	18
6.1 Dans le neuf.....	18
6.2 En rénovation.....	20
7 • Les Vrai/faux de la PAC hybride.....	22
7.1 Les solutions hybrides engendrent une hausse non négligeable du carbone construction ?.....	22
7.2 L'impact des fluides frigorigènes est-il important dans le carbone construction ?.....	22
7.3 La puissance électrique est-elle toujours suffisante pour la bonne réalisation du projet ?.....	22
7.4 Le double abonnement, un surcoût ?.....	22
8 • Conclusion.....	24
9 • Vos contacts.....	25
10 • Sources.....	26
11 • Pour aller plus loin.....	26

1 Un contexte favorable à l'hybridation

1.1. LA RÉGLEMENTATION RE2020 N'INTERDIT PAS LE GAZ

Sur la base d'un observatoire des études environnementales réalisées par des bureaux d'études indépendants sur plus de 40 projets dans toute la France, le constat est sans appel : **les solutions hybrides gaz sont conformes avec les seuils carbone énergie ambitieux de la RE2020**. Le seuil en vigueur depuis 2022 sur la maison individuelle à 4 kgCO₂/m²/an et le seuil à 6.5 kgCO₂/m²/an applicable en logement collectif à partir de 2025 sont respectés, et ce, à prestations du bâti équivalentes à un scénario 100% PAC électrique.

⊕ Pour en savoir plus : Livre Blanc GRDF RE2020 - Les solutions pour construire bas carbone ! - GRDF.FR

1.2. ATTEINDRE LE LABEL BBC RÉNOVATION AVEC DES SOLUTIONS HYBRIDES

En rénovation, la PAC hybride permet d'atteindre l'**étiquette B du DPE** (avec rénovation de différents postes du bâti, selon l'optimum technico-économique).

Les solutions hybrides gaz figurent parmi les solutions permettant d'atteindre le label BBC rénovation dès lors que la chaudière ne couvre pas plus de 30% des besoins annuels de chauffage du logement.

Associer une PAC à une chaudière gaz dans le cadre d'un projet de rénovation permet de limiter les investissements à engager et de mieux calibrer les équipements énergétiques aux besoins des résidents.

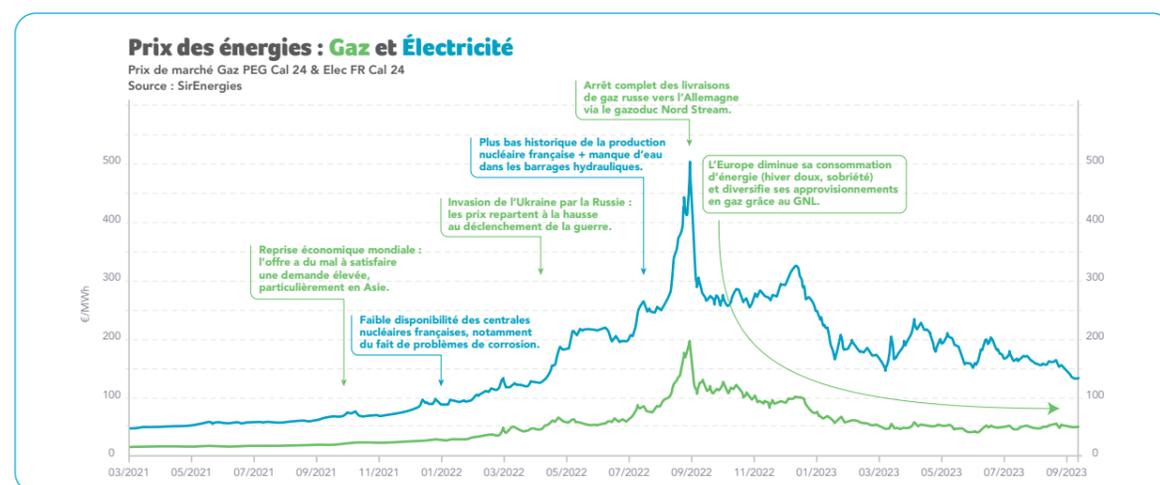
1.3. CONTRIBUER À RENDRE LE LOGEMENT ABORDABLE

Un certain nombre d'éléments de contexte plaident pour l'investissement dans des équipements hybrides pour la construction neuve et la rénovation :

- ▶ La hausse des coûts de construction et des taux d'intérêt.
- ▶ La volatilité accrue des prix de gros des énergies et les hausses prévisibles des tarifs de l'électricité liées à l'électrification des usages.
- ▶ Les prix négatifs de l'électricité observés sur le marché spots liés au développement des ENR non pilotables (éolien, solaire photovoltaïque).
- ▶ La valorisation de l'effacement électrique et le développement des tarifs dynamiques⁽¹⁾ : à titre d'exemple pour la PAC hybride individuelle, le tarif Tempo d'EDF avec 22 jours rouges est désormais disponible à 6 kVA.

Pour un investissement plus faible, la PAC hybride collective permet de se couvrir contre le risque prix des marchés à long terme. Le coût du double abonnement est optimisé et les charges de maintenance sont équivalentes à une PAC collective électrique avec, en plus, une solution de back up en cas de défaillance de la PAC.

⊕ Pour en savoir plus sur les prix de l'énergie : énergie-info - site d'information du médiateur national de l'énergie (energie-info.fr)



(1) Depuis juillet 2023, selon la délibération n° 2021-135 du 20 mai 2021 de la CRE, tous les fournisseurs ayant plus de 200 000 clients sont dans l'obligation de mettre en place ce type d'offre

1.4. BESOINS DE FLEXIBILITÉ ET DÉCARBONATION DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Le scénario de référence de la Stratégie Nationale bas carbone de 2020 (SNBC-2) repose sur une hypothèse d'électrification massive des usages, en particulier pour la production de chaleur dans les bâtiments. Or, selon l'étude réalisée par Artelys pour le compte de l'association Coénove, le maintien du chauffage au gaz dans cinq millions de logements supplémentaires en 2050 soulagerait considérablement la contrainte que représente pour le système électrique le passage de la pointe de consommation hivernale. Il permettrait également d'atteindre, à moindre coût, la neutralité carbone à l'échelle du secteur résidentiel. Ce résultat est obtenu en substituant la pompe à chaleur hybride aux pompes à chaleur 100 % électriques⁽²⁾.

La PAC hybride, que ce soit dans un logement neuf ou existant, est un levier puissant de décarbonation puisque, la plupart du temps, c'est la partie renouvelable qui est sollicitée. Et au plus froid de l'hiver, la consommation d'électricité, très carbonée, est effacée par le gaz. RTE a en effet estimé le contenu CO₂ marginal de l'électricité sur la base des prix du marché spot à 590 gCO₂/kWh pour l'année 2019 (cf. délibération n°2021-126 de la CRE⁽³⁾). À titre de comparaison le contenu CO₂ de l'électricité pris en compte pour vérifier le respect du seuil d'émission des équipements dans le DPE⁽⁴⁾ est de 64 gCO₂/kWh et de 79 gCO₂/kWh dans la RE2020.

C'est donc à l'échelle réduite un formidable outil d'équilibre et d'optimisation du mix énergétique. Installée à plusieurs millions d'exemplaires, cette solution peut avoir un impact important sur le dimensionnement général des centrales et infrastructures électriques.

Focus : Le cas des Pays-Bas

Après avoir orchestré une mise au ban du gaz au profit d'une approche 100% électrique, le pays fait machine arrière, confronté à la réalité d'une électrification à marche forcée. Le gouvernement imposera la pompe à chaleur hybride à partir de 2026.

Source : The Dutch gas ban and stakeholder actions - rapport Kiwa, mars 2022 - https://preproduction.episerver.kiwa.com/49d1f6/globalassets/netherlands/kiwa-technology/downloads/kiwa_report_the-dutch-gas-value-chain_en.pdf

1.5. DÉVELOPPEMENT DU BIOMÉTHANE

Les quantités de biométhane effectivement injectées dans les réseaux de gaz ont encore progressé en 2023, pour atteindre 9,1 TWh, comparé à 7 TWh fin 2022 (+31 %). Au 31 décembre 2023, 652 installations injectaient du biométhane sur notre territoire, dont 139 nouvelles, représentant au global **une capacité de production annuelle de 11,8 TWh/an, soit la capacité de production de 2 réacteurs nucléaires⁽⁵⁾**. La méthanisation pour injection est la seule filière d'énergie renouvelable française à être en avance sur les objectifs qui lui ont été fixés par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) - soit 6 TWh de production à fin 2023.



Site de traitement des biodéchets et de méthanisation - Réau (77)

⊕ Pour en savoir plus : Les gaz renouvelables, entre maturité et innovation | Just decarb (grdf.fr)
Observatoire du biométhane - Nouvelle version - Open Data Réseaux Énergies (ODRE) (opendatasoft.com)

(2) Source : Quelles alternatives en 2050 pour une neutralité carbone dans le résidentiel ? <https://www.coenove.fr/>

(3) https://www.cre.fr/fileadmin/Documents/Deliberations/import/210605_2021-126_Rapport RTE facteur emission.pdf

(4) Extrait de l'Arrêté du 31 mars 2021 modifiant diverses dispositions relatives au diagnostic de performance énergétique : Facteurs de conversion « climat » exprimés en kilogramme de CO₂ par kilowattheure PCI d'énergie

(5) Hypothèses retenues : production d'un réacteur nucléaire (5,5 TWh/an) ; taux de disponibilité d'un site de méthanisation : 90 % ; taux de disponibilité d'un réacteur nucléaire : 70 %, puissance de réacteur : 900 MW.

2 La PAC hybride : principes et fonctionnement

2.1. PRINCIPES

La PAC hybride est un équipement biénergie associant gaz et électricité, adapté à toutes les configurations : logement collectif, maison individuelle, en neuf et en rénovation.

A titre d'illustration, la configuration de la PAC hybride en logement collectif se décompose en 6 parties :

- ▶ Système thermodynamique composé d'une ou plusieurs PAC (unités extérieures et unité intérieure)
- ▶ Régulation
- ▶ Stockage
- ▶ Chaudière à condensation
- ▶ Distribution
- ▶ Émetteurs

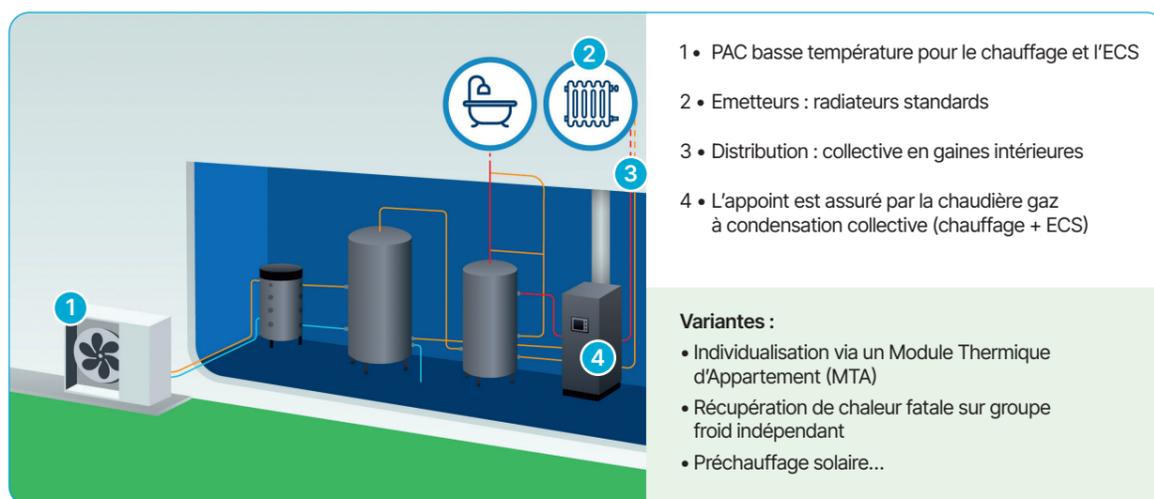
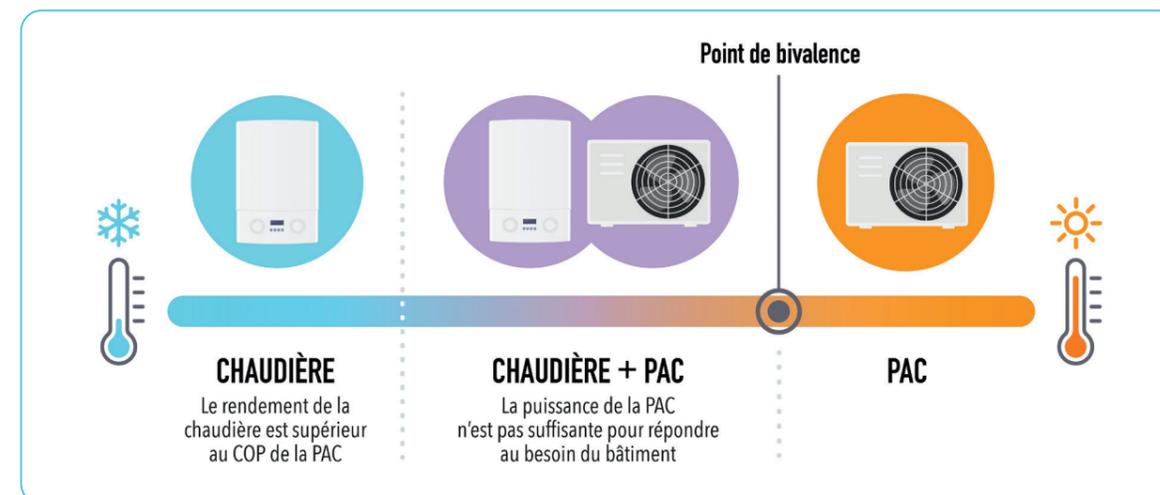


Schéma de principe d'une PAC hybride collective double usage

La fonction hybride permet de gérer simultanément ou séparément la PAC et la chaudière, afin de satisfaire les besoins chauffage et ECS du logement en fonction des conditions climatiques. Le système de régulation donne la priorité au gaz ou à l'électricité, en se basant sur les performances énergétiques de la PAC et de la chaudière à condensation (cf. « les modes de régulation » infra). L'hybridation de ces deux équipements permet d'assurer le confort de l'utilisateur.

2.2. LE POINT DE BIVALENCE DE LA PAC



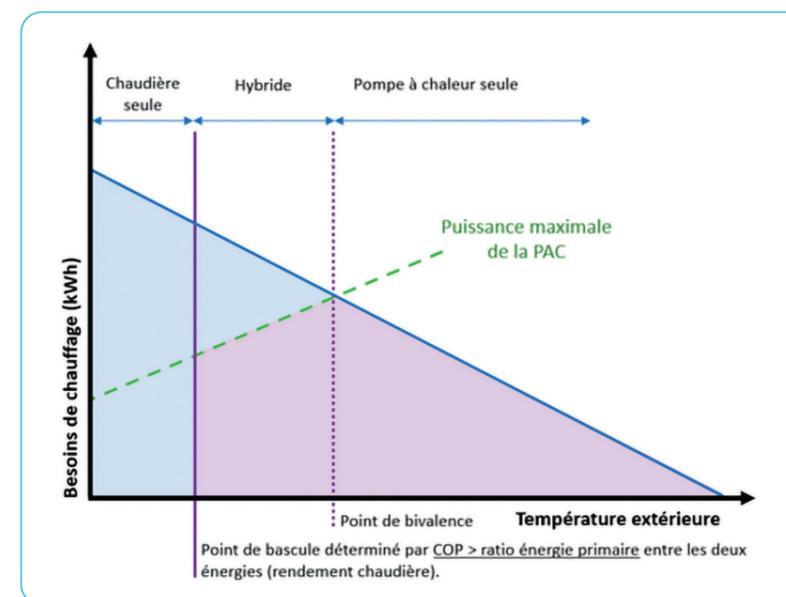
Le coefficient de performance (COP) de la PAC est sa production de chaleur rapportée à la consommation électrique du compresseur et des auxiliaires. Le COP se dégrade quand la température extérieure diminue.

Le point de bivalence détermine la température théorique de la limite de fonctionnement de la pompe à chaleur seule. Au-delà de ce point, soit un apport électrique est nécessaire, soit une autre énergie prend le relais. De manière générale le point de bivalence se situe entre 5°C et -5°C.

Les courbes de puissance des pompes à chaleur sont données par les fabricants pour une température de condensation donnée et une puissance restituée par rapport à une température extérieure. Il faudra donc sélectionner la pompe à chaleur en fonction des conditions climatiques et de l'application dans laquelle elle sera utilisée (chauffage et/ou ECS, régime de température des émetteurs, etc...).

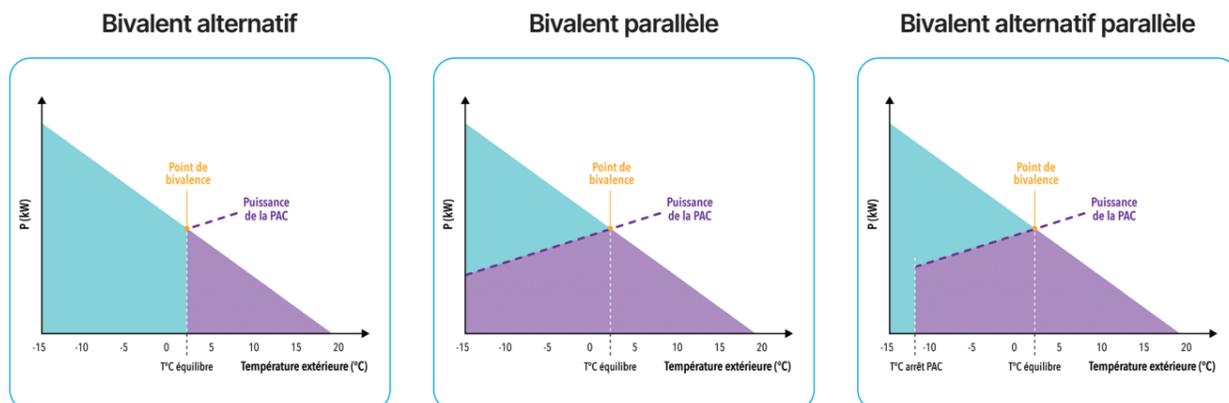
2.3. LES DIFFÉRENTS TYPES DE RÉGULATION SUR ÉNERGIE PRIMAIRE

La régulation de la PAC hybride intègre plusieurs paramètres : la température extérieure, le point de bivalence, la puissance de la PAC, le rendement de la chaudière, le COP de la PAC et l'énergie primaire.



Représentation graphique de la régulation sur énergie primaire de la PAC hybride

Plusieurs modes de régulation de la PAC hybride sont possibles. Cela impacte 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.



■ Période de fonctionnement de la PAC
■ Période de fonctionnement de la chaudière

Modes de régulation de la PAC Hybride – extrait du 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. Ce fonctionnement permet de s'affranchir des périodes de dégivrage de la PAC si la température de bivalence est supérieure à 2 °C ou 3 °C.

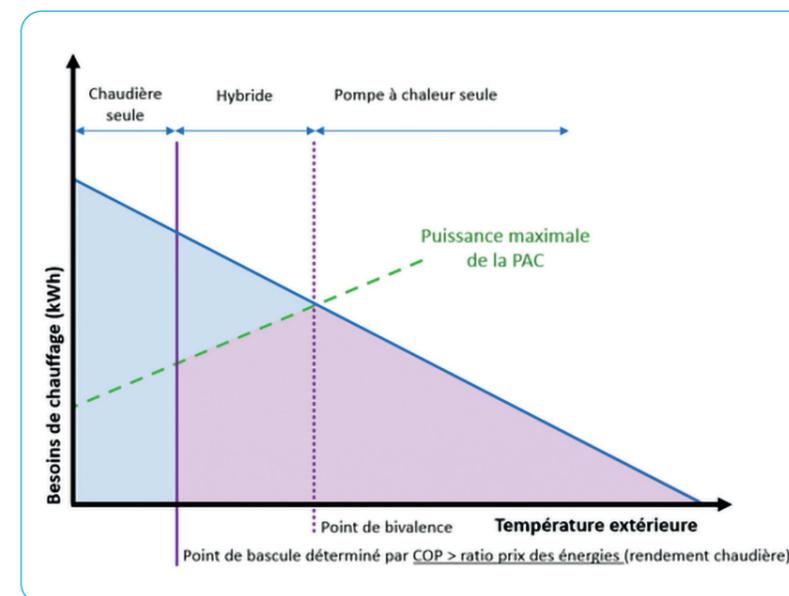
Bivalent parallèle : la PAC fonctionne seule jusqu'à une certaine température extérieure (point de bivalence). En dessous de cette température, la PAC fonctionne avec une chaudière en relève.

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, dans un premier temps, la chaudière et la PAC fonctionneront ensemble puis, progressivement, jusqu'à une certaine température extérieure, la PAC s'arrêtera complètement et la chaudière prendra à 100 % le relais.

Mode	Bivalent alternatif	Bivalent parallèle	Bivalent alternatif parallèle
	⏻	↔	↔
Fonctionnement	En dessous de la T°équilibre, la PAC est mise à l'arrêt. La chaudière prend le relais.	La PAC fonctionne avec une chaudière en relève.	En dessous de la T°équilibre la chaudière et la PAC fonctionnent ensemble. Lorsque la T°arrêt_PAC est atteinte, la chaudière prend le relais à 100 %.
Avantage	Pas de dégivrage de la PAC	Le plus simple	Fusion entre le mode bivalent parallèle et le mode bivalent alternatif
Couverture chauffage par la PAC	40 à 70%	70 à 90 %	70 à 80 %
Objectif	Réduction des factures	Décarbonation maximale	Optimum technico-économique

2.4. RÉGULATION SELON LE PRIX DES ÉNERGIES

Ce mode de régulation vise à prioriser le coût du kWh consommé le moins cher. C'est alors le système le plus performant économiquement qui est privilégié. A chaque instant, le coût du kWh produit à des fins de chauffage (éventuellement d'ECS) est estimé en fonction du rendement des systèmes mais également en fonction du prix du kWh d'origine gaz et/ou électrique consommé. Cette méthode définit une nouvelle température de bascule.



- ▶ Le point de bivalence entre le fonctionnement PAC seule et le fonctionnement hybride est déterminé par les besoins de chauffage (selon une température extérieure) et la puissance maximale fournie par la PAC.
- ▶ Le point de bascule entre le fonctionnement hybride et chaudière seule est déterminé par le COP de la PAC sur le ratio du prix des énergies, et la chaudière couvre 100 % des besoins dès que le ratio coût/efficacité est plus intéressant.

La régulation sur le coût des énergies peut être résumé comme suit :

Si $COP_{PAC} > \frac{C_{\text{électricité}}}{C_{\text{Ggaz}}} \times r_{\text{chaudière}}^{PCI}$, alors la PAC fonctionne avec la chaudière en appoint.

Si $COP_{PAC} < \frac{C_{\text{électricité}}}{C_{\text{Ggaz}}} \times r_{\text{chaudière}}^{PCI}$, alors la chaudière fonctionne seule.

- Avec C : coût des énergies
- $r_{\text{Chaudière}}^{PCI}$: rendement de la chaudière en PCI (pouvoir calorifique inférieur)
- COP_{PAC} (coefficient de performance) : rapport entre énergie produite et énergie consommée par la PAC

2.5. RÉGULATION SUR LA DISPONIBILITÉ DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE (EFFACEMENT JOUR DE POINTE)

L'envoi d'un signal via un simple contact sec les jours de pointe électrique (récupérable depuis le compteur Linky sur la plupart des modèles) permet à la PAC de s'effacer au profit de la chaudière lorsque le réseau électrique est en tension, afin d'apporter de la flexibilité sur celui-ci : le tarif tempo⁽⁶⁾ d'EDF offre cette possibilité.

Par ailleurs, depuis le 1^{er} juillet 2023, les fournisseurs d'énergie de plus de 200 000 clients ont l'obligation de proposer des offres d'électricité « à pointe mobile » ou dite « à tarification dynamique⁽⁷⁾ », ce qui favorise les PACs hybrides, capables de s'effacer en période de pointe sans perte de confort.

2.6. LA PAC HYBRIDE : UNE PAC PAR USAGE OU UNE PAC DOUBLE SERVICE ?

En fonction des usages à hybrider, plusieurs types de schéma hydraulique peuvent être envisagés, comprenant un 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 consiste à 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 à des températures d'eau plus basses et donc sur des plages de fonctionnement plus favorables à la PAC, proche de ses COP optimaux. Au contraire, la PAC dédiée au préchauffage ECS sera à une température de départ de 55°C. On pourra donc sélectionner une PAC haute température dédiée à cet usage. Cette solution nécessitera un nombre d'équipements plus important (deux PAC, plusieurs ballons de stockage), une emprise au sol plus conséquente et donc un investissement un peu plus important.

► Hybridation commune des usages chauffage et eau chaude sanitaire (PAC double service)

À l'inverse, on peut choisir d'hybrider les deux usages avec une PAC unique fonctionnant sur un ballon d'énergie. Le système nécessitera 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.

2.7. UN DIMENSIONNEMENT DE L'HYBRIDE VARIABLE SELON LES OBJECTIFS

L'objectif poursuivi par l'installation d'une PAC hybride collective a un impact direct sur le dimensionnement de l'installation.

Dans un objectif de décarbonation, il sera avantageux de laisser fonctionner la PAC quelle que soit la température extérieure, puisque même avec des COP très faibles à basse température, l'utilisation de gaz (hors gaz vert) aura toujours un impact carbone plus important, en attendant la reconnaissance des gaz verts dans la réglementation (fonctionnement bivalent parallèle).

Dans un objectif économique de réduction des factures, l'utilisation de la chaudière dès que les COP de PAC sont inférieurs au ratio de prix entre kWh élec. vs. kWh gaz sera le plus opportun. Le fonctionnement des équipements sera alors choisi en fonction de leur performance, mais aussi en fonction du coût des énergies (fonctionnement bivalent alternatif ou alternatif parallèle).

Enfin dans un optimum technico-économique, la mise en place d'une PAC de petite puissance (PAC de puissance à 0/50 °C comprise entre 15 % et 30 % des déperditions à la température de base) couplée à une chaudière permettra de réduire l'investissement mais aussi de couvrir 60 % à 80 % des besoins chauffage et d'ECS du bâtiment par la PAC.

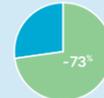
(6) EDF - Tempo : des économies sur votre facture d'électricité
(7) Qu'est-ce qu'une offre à tarification dynamique ? - énergie-info (energie-info.fr)

À RETENIR

Les 5 bénéfices de la PAC hybride collective 2 usages en comparaison du scénario 100% PAC électrique :

- ▶ Atteinte des seuils 2025 de la RE2020 ainsi que les étiquettes A ou B du DPE.
- ▶ Un gain financier substantiel sur l'investissement.
- ▶ Une puissance électrique maximale appelée sur le réseau en période de pointe de 2 à 7 fois inférieure.
- ▶ Des factures énergétiques légèrement inférieures.
- ▶ Une réduction de l'impact sonore et de l'encombrement.

La PAC hybride collective constitue donc un levier de décarbonation significatif pour le logement collectif neuf.

	RT2012		RE2020 Seuils 2022		RE2020 Seuils 2025	
	Solution de référence gaz	Chaudière individuelle	Chaudière individuelle	Hybride individuelle un usage	Hybride collective deux usages	
Poids carbone moyen d'un projet (kg éqCO ₂ /m ² /an)	16 - 17	14	6	4 - 4,5		
Baisse constatée versus 2012	-					



PAC hybride collective – Résidence les jardins fleuris - Miramas (06)

3 Projet en PAC hybride : les facteurs clés de succès

3.1. LES BONNES PRATIQUES DE DIMENSIONNEMENT

En rénovation, la première chose à faire est d'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 récupérer les consommations réelles du bâtiment ou la monotone de chauffage.

L'un des risques est de repartir des puissances estimées à la conception du bâtiment et souvent très surévaluées par rapport à la réalité. Dans ce cas, la puissance de la PAC sera surdimensionnée, entraînant un surcoût d'investissement, mais aussi un mauvais fonctionnement de la PAC : en raison de son surdimensionnement, la PAC fonctionnera sur des cycles courts, à faible charge, et aura donc de mauvaises performances et le compresseur, une durée de vie raccourcie.

Une fois la puissance de la PAC définie, il ne reste plus qu'à sélectionner la PAC chez le fabricant. Il ne s'agit pas de la puissance nominale affichée par les constructeurs, qui est généralement donnée pour des conditions standardisées comme A7/W35, où A correspond à la température de l'air (7 °C) et W à la température de l'eau en sortie de condenseur (35 °C). Pour connaître les performances à 55 °C et pour des températures extérieures plus basses, il est nécessaire d'analyser précisément les fiches techniques des produits et dans certains cas de demander directement une sélection au fabricant, car les données ne sont pas toujours disponibles. Certaines plages de fonctionnement affichées peuvent par exemple laisser penser qu'un modèle est capable de fournir de l'eau à 55 °C jusqu'à -5 °C de température extérieure mais sans indiquer la puissance correspondante ou l'éventuel complément de puissance assuré par un appoint intégré.

À RETENIR

Dimensionner l'hybride pour respecter les seuils 2025 de la RE2020

- ▶ 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 zone climatique H1, 30 % en H2 et jusqu'à 20 % en H3).
- ▶ Le taux de couverture des besoins chauffage et ECS par la PAC se situe entre 60 et 80 %.

⊕ Pour en savoir plus : PAC hybride collective (Cegibat)

3.2. ACOUSTIQUE : ATTENTION À L'EMPLACEMENT DE L'UNITÉ EXTÉRIEURE

L'installation d'une pompe à chaleur s'accompagne forcément de la mise en place d'une unité extérieure sur le site, il faudra donc être attentif aux nuisances sonores générées par celle-ci en fonction de son emplacement (en toiture, en rez-de-jardin, en intérieur avec un gainage, etc.). La réalisation d'une étude acoustique en amont permet de prendre en compte ces contraintes et de mettre en place, lorsque c'est techniquement possible, des mesures acoustiques (piège à son, caisson acoustique, etc.). Là encore, l'hybridation permet de diminuer l'impact sonore puisque la puissance installée peut-être divisée par 4 par rapport à une solution 100 % PAC.

3.3. PRENDRE EN COMPTE LE RÉGIME DE TEMPÉRATURE DES ÉMETTEURS

En neuf, et plus encore en rénovation, il est indispensable de bien prendre en compte la température d'eau de départ de la PAC. Classiquement, les pompes à chaleur permettent un départ à une température maximale de 55 °C pour une température extérieure allant jusqu'à -5 °C au mieux. En deçà, la majorité des PAC peut continuer de fonctionner (jusqu'à -20 °C dans la plupart des cas), mais la température de sortie au condenseur chute et ne peut plus être garantie à 55 °C (ou alors moyennant l'utilisation d'un appoint électrique).

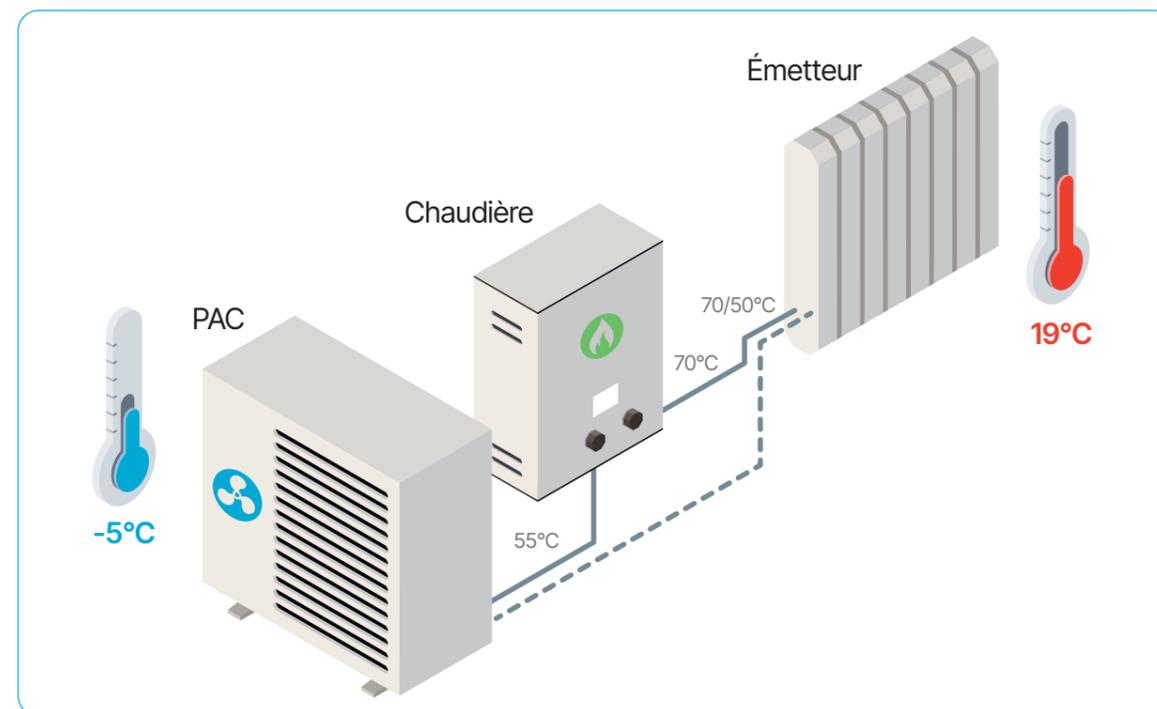


Schéma de principe des régimes de température des générateurs et des émetteurs

L'association d'une chaudière avec une PAC permet donc à l'installation de fonctionner à ces températures extérieures basses, tout en étant performante, puisque c'est la chaudière qui prendra le relais, évitant à la PAC de fonctionner sur son appoint électrique et à de faibles rendements.

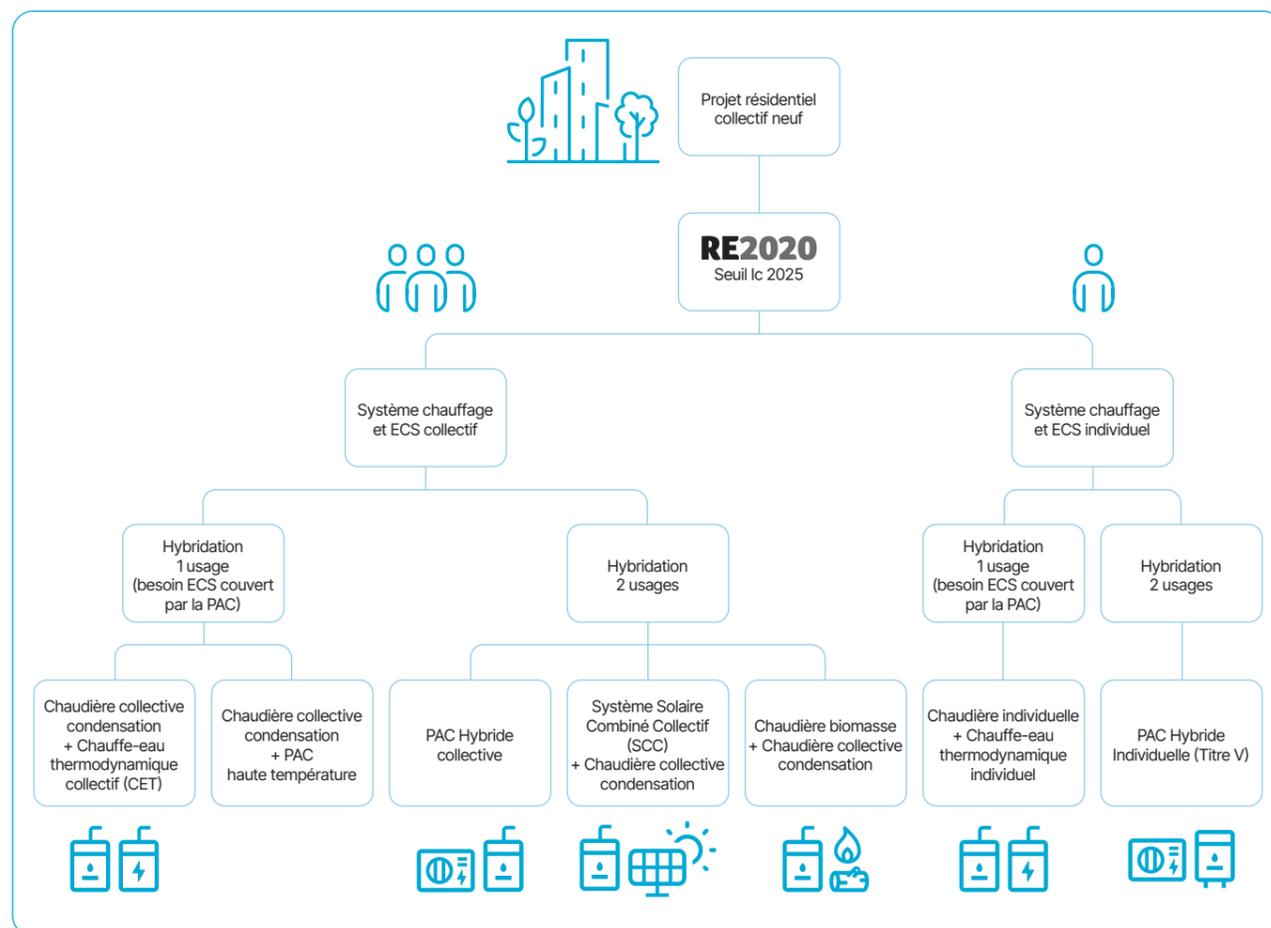
Ce point est d'autant plus important en rénovation, car souvent, **les émetteurs existants sont des radiateurs à eau qui n'ont pas été dimensionnés à l'époque pour de la basse température**, et sont donc sur des régimes d'eau de 80/60 °C. Une température de départ de chauffage de 80 °C, à température extérieure de base, est incompatible avec les possibilités qu'offrent les modèles de PAC d'aujourd'hui.

Même sur le marché du neuf, les régimes d'eau des émetteurs sont aujourd'hui encore assez élevés, puisqu'ils permettent d'avoir recours à des émetteurs de plus faible encombrement et donc moins coûteux à l'investissement.

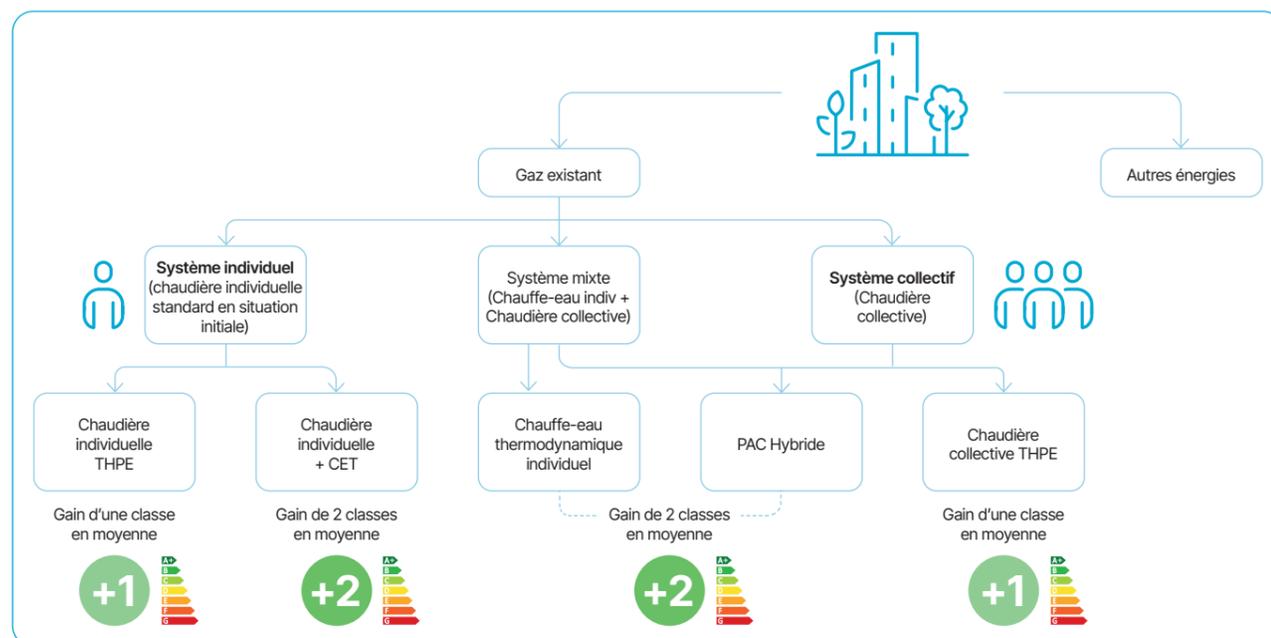
Un autre élément important dans le fonctionnement d'une PAC est la nécessité d'avoir un **débit minimal pour assurer une différence de température d'environ 5 °C entre le départ et le retour de la PAC**. Il est donc impératif de prévoir un volume d'inertie pour assurer ce bon débit, sinon la PAC se mettra en défaut. À puissance égale, le débit d'eau pour le bon fonctionnement d'une PAC est 3 à 4 fois supérieur à celui d'une chaudière.

3.4. QUEL TYPE D'HYBRIDATION CHOISIR POUR QUEL TYPE DE PROJET ?

Le choix de la typologie se fera en fonction de l'objectif recherché, que l'on peut résumer à l'aide de l'arbre de décision ci-dessous.



Logigramme d'aide à la décision sur les systèmes hybrides dans le neuf



Logigramme d'aide à la décision sur le choix de l'équipement énergétique gaz en rénovation

4 Analyse économique et environnementale : cas pratiques

4.1. ÉTUDE EN COÛT GLOBAL SUR UN LOGEMENT INDIVIDUEL

Nous vous présentons ci-dessous les résultats d'une étude environnementale et économique* sur 3 scénarios de rénovation globale d'une maison individuelle dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ▶ Zone climatique : H2b
- ▶ Surface habitable : 86 m²
- ▶ Année de construction : 1982

	Etat initial : chaudière gaz Basse température	Scénario 1 : PAC hybride double service + rénovation du bâti	Scénario 2 : PAC air/eau double service 100% électrique + rénovation du bâti
Conso totale	242	115	110
Etiquette DPE	E	C	C
Consommation énergie elec		2 064	3 039
Consommation énergie gaz	18 158	2 857	
Total Energie	3 268,44 €	1 071,54 €	1 002,87 €
Maintenance	120,00 €	288,00 €	240,00 €
Invest	3 000,00 €	13 500,00 €	14 500,00 €
Coût global	3 388,44 €	1 359,54 €	1 242,87 €
TRI		5 ans	
Poids Carbone (kg CO ₂ /an)	4122	812	240

Les hypothèses retenues pour les prix des énergies abonnements inclus :

	Juillet 24
GAZ (€TTC/kWh) - Tarif passerelle juillet 24	0,18
Elec (€TTC/kWh) TRV heures creuses 9 kVA < 1 ^{er} août 24	0,33
Elec (€TTC/kWh) TRV tempo 6 kVA < 1 ^{er} août 24	0,27

La PAC hybride s'avère le meilleur compromis en coût global car pour un temps de retour sur investissement identique, elle offre une double protection : d'une part contre les évolutions de prix des marchés, elle permet d'arbitrer entre les deux énergies. D'autre part, en cas de défaillance technique, la chaudière assure le secours en chauffage et en ECS.

* Investissement hors aides financières

4.2 ÉTUDE EN COÛT GLOBAL SUR UN PATRIMOINE EN LOGEMENT COLLECTIF OU TERTIAIRE

Un patrimoine de plusieurs chaufferies peut être décarboné plus rapidement avec la PAC hybride, pour le même budget. A titre d'exemple, sur un projet de rénovation en PAC Hybride collective de chaufferie d'un bâtiment de 49 logements à Trets (Bouches du Rhône), instrumenté sur l'année 2023, on obtient les résultats suivants :

	Etat initial : Chaudière collective Condensation 168 kW	Scénario 100 % électrique : PAC Double Service AIR/EAU PAC à 60 % puissance Électrique (70 %) + effet joule (30 %)	Scénario hybride : PAC Hybride : PAC (12 + 15 kW) 17 % puissance Et 62 % des besoins énergétiques. Maintien de la chaudière existante.
COP		3	3
Part de la Consommation énergie Gaz (kWh EF/an)	100		38
Part de la Consommation énergie Elec (kWh EF/an)		70/3 + 30 = 53,3	62/3 = 20,67
Poids Carbone (kgCO ₂ /kWh)	100 * 0,227 = 22,7	53,3 * 0,064 = 3,4	20,67 * 0,064 + 38 * 0,227 = 9,9
Gain sur le Poids Carbone		- 85%	- 56%
Investissement (EUR)		104 000	25 000
Rentabilité du kW PAC installé		1 223 € / % CO ₂ évité	446 € / % CO ₂ évité

Hypothèses retenues pour les poids carbone :

	Févr 24
GAZ (kgCO ₂ /kWh)	0,064
Elec (kgCO ₂ /kWh)	0,227

L'investissement est 4 fois moins cher dans le scénario hybride comparé au scénario 100 PAC électrique.

L'application de ces résultats à une stratégie de rénovation d'un patrimoine de 10 bâtiments avec un budget de 225 000 EUR donne :

	Etat initial : 10 chaudières collectives Condensation	Scénario 1 : PAC 100% électrique sur 2 bâtiments	Scénario 2 : PAC Hybride sur 9 bâtiments
Investissement EUR		225 000	225 000
Part de la Consommation énergie Gaz (kWh EF/an)	100		50
Poids Carbone (kgCO ₂ /kWh)	10 * 22,7 = 227	8 * 22,7 + 2 * 3,4 = 188	9 * 9,9 + 1 * 22,7 = 111,8
Gain sur le Poids Carbone		- 17 %	- 51 %
Carbone évité (tonne CO ₂)		83 tonnes CO ₂	250 tonnes CO ₂

Massifier la décarbonation du patrimoine grâce à l'hybride

- Pour un montant d'investissement identique (225 000 € sur l'exemple ci-dessus), l'installation de PACs hybrides permet de diminuer de 51 % les émissions de CO₂ sur le périmètre des 10 chaufferies concernées, tandis que la solution PAC 100 % électrique ne permet de traiter que 2 chaufferies et de réduire seulement de 17% les émissions de CO₂ sur le même périmètre.
- Avec un gain CO₂ par euro investi plus important, la solution PAC hybride permettra de décarboner plus rapidement un Parc HLM ou tertiaire.
- À terme, l'approvisionnement en gaz vert viendra achever la décarbonation du patrimoine rénové en hybride.

5 Une offre produits large et structurée

La PAC hybride collective est présente dans l'offre d'une grande majorité des fabricants. Ci-dessous un tableau récapitulatif non exhaustif de l'offre existante.

Fabricants	Produits	Fluides frigo	Puissance calorifique (+/7/35)	Température	Cascadable	Acoustique	(Puissance acoustique Lw	Pression acoustique Lp à 5m)	Fiche PEP	Fiche saisie logiciel 2020 sur le site CEGIBAT*		
AIC	Aurax 2T	R410A	De 22 à 93 kW	60°C								
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	LW : 69 à 82 dB(A)	Lp : 52 à 60 dB(A) (mode super silence)					
ATLANTIC	EFFIPAC	R32	14, 18, 26, 32, 50 et 70 kW	60°C	Jusqu'à 6 unités	LW : 68 à 83 dB(A)		Oui	Perrenoud	ClimaWin	Pléaides	
	APTAE	R290	15, 18, 23, 27, 40, 50 et 75 kW	75°C	Jusqu'à 6 unités	LW : 62 à 65 dB(A)		Oui				
ACV	IZEA	R290	15, 18, 23, 27, 40 et 50 kW	75°C	Jusqu'à 6 unités	LW : 62 à 65 dB(A)		Oui				
BOSCH	Compress 3000 AWP	R32	10 modèles de 16 à 89 kW	60°C	Jusqu'à 16 unités							
BDR THERMEA DE DIETRICH	MMTC	R32	21, 27, 33 et 40 kW	60°C	Jusqu'à 6 unités	LW : 65 dB (A)		Oui	Perrenoud			
	MHTC	R290	21 et 33 kW	80°C		LW : 65 dB (A)	Lp = 43 dB(A)	Oui				
DAIKIN	EWYT-CZ	R32	16-25, 32-50, 64-90 kW	55°C	Jusqu'à 4 unités	LW : 76 à 85 dB(A)						
HOVAL	Belaria Fit	R32	53 ou 85 kW	55°C	Jusqu'à 16 unités							
VAILLANT	aroTHERM Plus Hybrid	R290	12 ou 15 kW	70°C	Jusqu'à 7 unités	Lp = 39 dB(A)		Oui	Perrenoud	ClimaWin	Pléaides	
VISSMANN	Vitocal 200 A PRO	R407C	32/64/128 kW	65°C	Jusqu'à 5 unités	LW : 69,7 dB(A)						

Les fiches PEP permettent d'affiner le calcul du poids carbone construction (IC_construction) de la solution dans le cadre de l'Analyse de cycle de vie (ACV) exigée par la RE2020. Elles sont disponibles dans la base INIES qui est mise à jour régulièrement. De nombreuses fiches vont sortir prochainement.

La fiche d'aide à la saisie dans le logiciel RE2020 permet au bureau d'étude de modéliser correctement la PAC hybride dans le cadre de l'étude environnementale RE2020.

*Les fiches des fabricants sont validées au fil de l'eau de leur parution par CEGIBAT.

6 Références

6.1. DANS LE NEUF

Projet Hennebont Blavet • Lorient (Morbihan)



Pour ce projet, la production de chauffage et d'ECS est assurée par une solution hybride individuelle associant un chauffe-eau thermodynamique et une chaudière gaz à condensation mixte micro accumulée. Une solution individuelle mature qui s'insère facilement en placard technique dans le logement. Pour atteindre les seuils 2025 de la RE2020, le bâti a été renforcé raisonnablement (Bbio -10 %) avec un surcoût global de 95 € par m².

Les jardins fleuris • Miramas (Bouches-du-Rhône)



Afin d'atteindre les exigences de la RE2020, y compris les seuils carbone et énergie en 2025, une solution hybride a été retenue pour le chauffage et la production d'eau chaude.

Un système de marque Vaillant associe deux pompes à chaleur et deux chaudières à condensation grâce à l'utilisation d'un ballon multi énergies. Résultat : une réduction des émissions de CO₂ de 578 tonnes/an. Ce système innovant favorise la sobriété et l'efficacité énergétique du bâtiment, tout en garantissant un confort optimum aux habitants. Et en effet, son dimensionnement évolutif permet, si l'approvisionnement électrique de la région PACA est compliqué, de déléster la production sur le gaz.

Résidence de Flore • Annequin (Pas-de-Calais)



À Annequin, ce projet avec un système énergétique collectif permet de centraliser la maintenance et d'optimiser l'espace de vie. La solution adoptée est une chaufferie hybride PAC par usage avec une PAC pour l'ECS, une PAC pour le chauffage et une chaudière gaz à condensation apportant le complément sur les 2 usages.

Résidence les Mésanges • Fontainebleau (Seine-et-Marne)



Le système énergétique hybride repose sur l'association de PACs aérothermiques en cascade à une chaudière gaz à condensation moyenne-grande puissance, ainsi que sur un contrôle via régulateur intelligent. L'eau chaude sanitaire est stockée dans deux ballons de stockage primaire.

Leur production est instantanée via une station hydraulique (échangeur à plaques). Quatre PACs seront implantées en extérieur sur une terrasse accessible à R+4 sur les 2 bâtiments.

6.2. EN RÉNOVATION

Maisons minières • Hauts-de-France



Maîtrise d'ouvrage : **Sia Habitat**
Fabricant : **Saunier Duval**
BET :
Maisons individuelles groupées
Livraison : **2023**

Les maisons sont en briques pleines, avec toiture tuile 2 pans, dépourvues d'isolation. L'étiquette DPE initiale était en F ou G. Les contraintes se sont avérées multiples :

- les maisons sont classées : isolation extérieure impossible,
- exigüité des pièces : isolation intérieure maximale 10/15 cm,
- isolation plancher limitée.

Une rénovation globale a été réalisée avec atteinte de l'étiquette DPE C : les rampants et combles ont été isolé en laine de bois, les murs en laine de verre. Mise en place d'une VMC. Des PACs hybrides de puissance 6 kW en thermodynamique et 25 kW en thermique ont été installées.

Résidence Corneille • Faulquemont (Moselle)



Maîtrise d'ouvrage :
CDC Habitat Sainte Barbe
Fabricant : **Viessmann**
BET : **Erese**
2 bâtiments de 6 logements,
de 498 m² chacun.
Livraison : **2023**

Dans chacun des 2 bâtiments, l'ancienne chaudière gaz a été remplacée par une PAC hybride collective. La consommation totale d'énergie primaire baisse de 30% tandis que les émissions de GES, basée sur les consommations d'énergie finale, sont diminuées de moitié. L'investissement s'élève à 27 500 EUR par bâtiment et a permis de baisser la facture énergétique de plus de 35 %. L'étiquette DPE C a été atteinte.

Résidence Veyrier • Trets (Bouches-du-Rhône)



Maîtrise d'ouvrage : **Logirem**
Fabricant : **Vaillant**
BET : **Solarseyne**
49 logements collectifs
Livraison : **2022**

La résidence Veyrier était équipée depuis sa construction d'un système de chauffage biénergie associant le gaz et le solaire thermique. Les capteurs thermiques étant hors service, Logirem a décidé d'expérimenter l'installation de deux PACs en association avec la chaudière gaz déjà existante.

Après plus d'un an de suivi, les résultats sont probants. Les PACs affichent des COPs moyens proches de 2,5 et montent même jusqu'à 3 lorsque la température de l'eau en sortie est baissée de 70° à 60°C. La chaudière gaz fonctionne en complément des PACs lors des périodes les plus froides, assurant ainsi un fonctionnement optimal du système hybride.

Sur l'année 2023, l'instrumentation menée a démontré que les PACs ont couvert 62% des besoins chauffage et ECS avec seulement 16% de puissance installée en PAC.

L'été, les PACs assurent seules la production d'eau chaude sanitaire. En tout, ce sont près de 30 tonnes de CO₂ qui ont été évitées depuis le début de l'expérimentation.

7 Les vrai/faux de la PAC hybride

7.1. LES SOLUTIONS HYBRIDES ENGENDRENT UNE HAUSSE NON NÉGLIGEABLE DU CARBONE CONSTRUCTION ?

FAUX

Le lot8 CVC (Chauffage - Ventilation - Refroidissement - Eau Chaude Sanitaire) intègre les générateurs de chaleur, leurs fluides frigorigènes, les ballons de stockage et la ventilation. Il pèse 25 %. Les fiches DED (données environnementales par défaut) représentent en moyenne 85 % du poids carbone du lot 8 pour les solutions collectives. Le gain est de 50 % sur le lot 8 entre une fiche DED et une fiche PEP (profils environnementaux de produit) individuelle. La PAC hybride collective dispose de plusieurs fiches PEP individuelles opérationnelles dans la base Inies.

7.2. L'IMPACT DES FLUIDES FRIGORIGÈNES EST-IL IMPORTANT DANS LE CARBONE CONSTRUCTION ?

VRAI

Le lot 8 CVC (Chauffage - Ventilation - Refroidissement - Eau Chaude Sanitaire) se décompose en 7 sous-lots et, en l'absence de fiche PEP, le sous-lot 8.1 concernant les équipements de production est renseigné de manière forfaitaire (avec une valeur à 74 kgCO₂eq/m²Sref). Lorsque c'est le cas et pour les systèmes comprenant des fluides frigorigènes, ceux-ci doivent être saisis distinctement des équipements au sous-lot 8.7, à partir des données fournies par le fabricant détaillant le fluide frigorigène utilisé et la charge de celui-ci. En fonction du fluide frigorigène utilisé par le fabricant (R410A, R134A, R32, R290...), c'est bien souvent ce sous-lot 8.7 qui est le plus impactant dans le lot 8. Il peut rendre une étude non conforme sur l'indicateur IC Construction.

Dans les années à venir, la réglementation européenne F-Gaz va contraindre les fabricants à utiliser des fluides frigorigènes plus vertueux, puisqu'elle fixe l'objectif de diminuer le GWP (ou PRG - potentiel de réchauffement global) moyen des fluides de 2 000 à 150 en 2030.

7.3. LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE EST-ELLE TOUJOURS SUFFISANTE POUR LA BONNE RÉALISATION DU PROJET ?

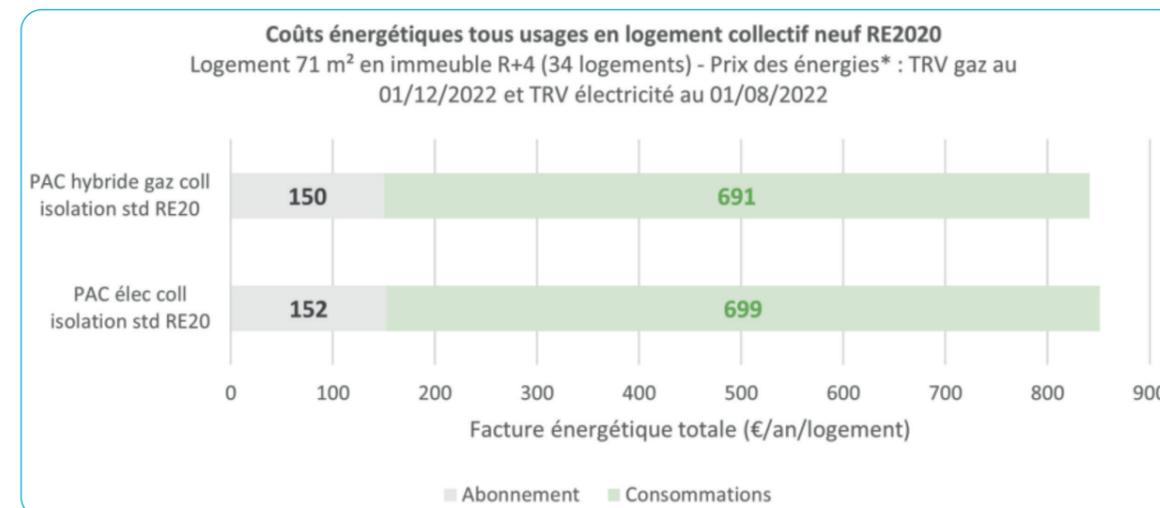
PAS SI SIMPLE

La mise en place d'une pompe à chaleur sur un site existant entraîne une hausse de la puissance électrique appelée sur le site. Dans certains cas, la puissance électrique disponible sur le site peut être limitée (réserve de puissance limitée, poste de transformation saturé, nouveaux usages liés à la mobilité, passage sur un abonnement supérieur à 36 kVA, etc.) ; aussi une attention particulière devra être portée sur ce point. La PAC hybride permet d'ailleurs grâce à l'installation d'une PAC de petite puissance de limiter cet impact tout en couvrant jusqu'à 80 % des besoins. En effet, par rapport à une solution 100 % électrique, la puissance électrique peut être divisée par 4.

7.4. LE DOUBLE ABONNEMENT, UN SURCÔÛT ?

FAUX

Le cas ci-dessous représente la part de l'abonnement et la part de consommations sur la facture énergétique annuelle totale d'un logement de 71 m² en zone H1a, dans un bâtiment de 34 logements conforme RE2020, pour une solution 100 % PAC électrique et une solution PAC hybride collective.



*Hypothèses PAC Hybride collective :

Parties communes (pour 34 lgts)
- Abonnement gaz B1 : 249,86 € / an
- Coût du kWh gaz B1 : 8,80 c€ / kWh
- Abonnement élec 9 kVA : 211,93 € / an
- Coût kWh élec 9 kVA : 17,57 c€ / kWh

Partie individuelle (par logement)
- Abonnement élec 6 kVA : 136,32 € / an
- Coût kWh élec 6 kVA : 17,40 c€ / kWh

*Hypothèses Solution 100 % PAC électrique :

Parties communes (pour 34 lgts)
- Abonnement élec 36 kVA : 534,88 € / an
- Coût kWh élec 36 kVA* : 17,57 c€ / kWh

Partie individuelle (par logement)
- Abonnement élec 6 kVA : 136,32 € / an
- Coût kWh élec 6 kVA : 17,40 c€ / kWh

Les factures énergétiques sont du même ordre de grandeur dans les deux solutions. La part liée à l'abonnement est identique dans les deux cas. C'est l'abonnement électrique individuel lié aux usages spécifiques du logement qui pèse le plus dans la part abonnement totale. Le double abonnement collectif gaz/électricité lié à la PAC hybride ne représente que 13 euros par an et par logement, soit moins de 2 % de la facture énergétique totale d'un logement neuf.

Les prix d'abonnement et du kWh en gaz et électricité sont issus des tarifs réglementés de vente. Ces tarifs ne tiennent pas compte des récentes évolutions des prix du marché, notamment de l'électricité, ce qui rendrait la part de l'abonnement encore plus faible dans le coût de la facture énergétique totale.

8 Conclusion

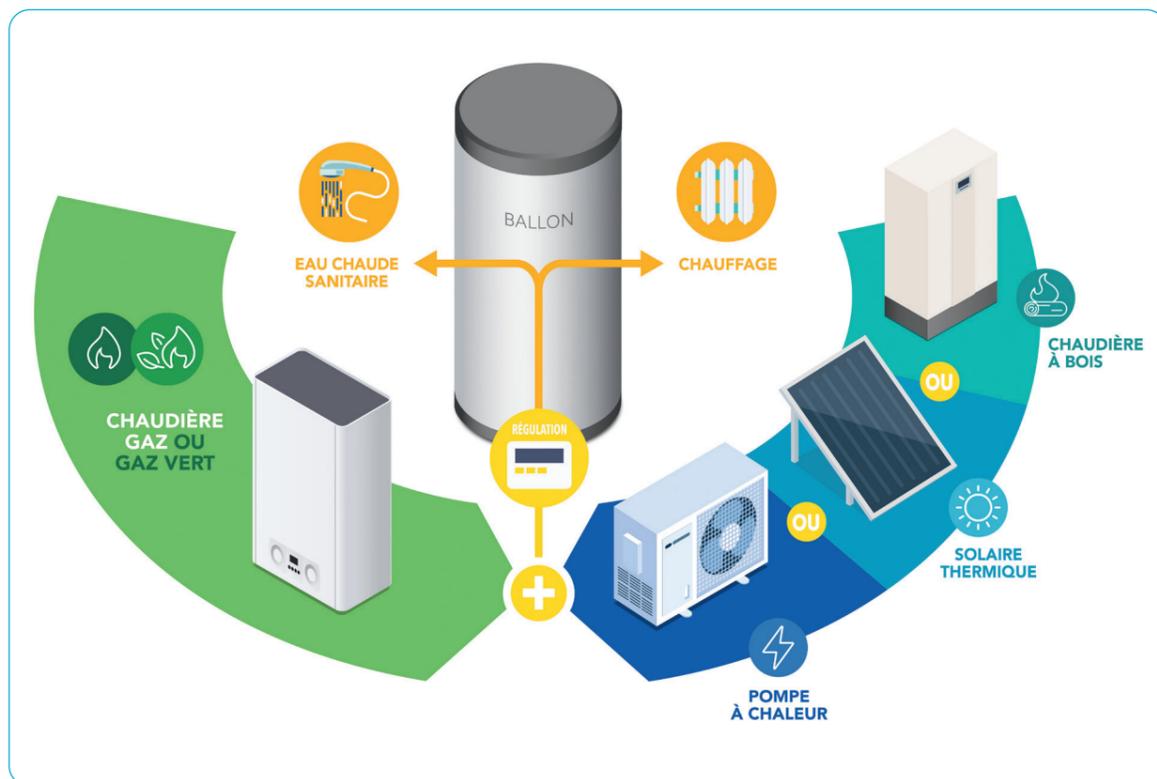


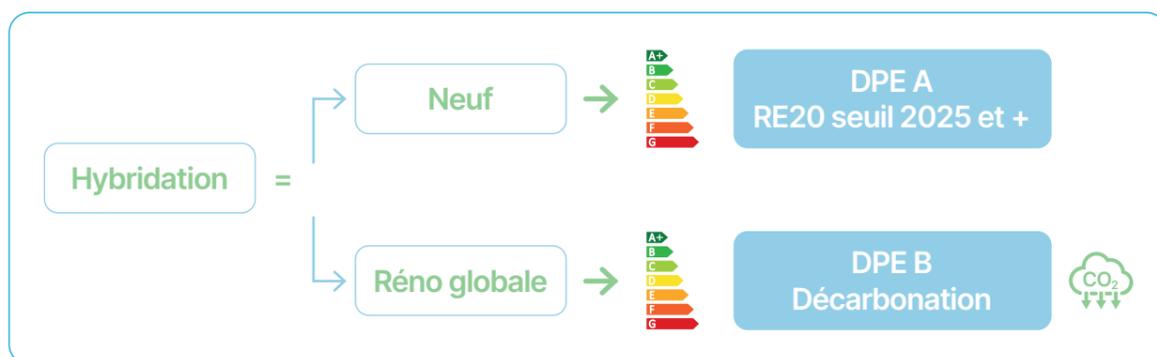
Schéma de principe des systèmes hybrides pour le résidentiel et le tertiaire

L'apparition de la PAC hybride dans le paysage énergétique est une bonne nouvelle pour le bailleur social, les collectivités et les acteurs du tertiaire privé : avec les autres solutions hybrides (cf. schéma ci-dessus), elle élargit le panel des leviers pour répondre aux exigences de la RE 2020, du décret tertiaire ou atteindre les niveaux d'étiquettes DPE conformes à leur trajectoire de décarbonation.

Elles offrent en outre la possibilité de lever de nombreux freins à la rénovation énergétique : coût d'investissement, surfaces disponibles, nuisances sonores, contraintes architecturales, facilité d'accès, maîtrise en phase exploitation...

Le développement de l'offre hybride par les fabricants d'un côté, et l'accélération de la rénovation dans un contexte d'inflation de l'autre, rendent cette technologie incontournable dans la décarbonation du Parc immobilier. Enfin, la montée en puissance des gaz verts dans le mix énergétique français viendra compléter cette baisse significative des émissions de GES.

Afin d'assurer la réussite de votre projet d'hybridation, il est particulièrement important de se poser la question du bon dimensionnement des équipements. Outre les réponses apportées par le présent cahier technique, les équipes de GRDF sont présentes à vos côtés pour vous accompagner dans leur mise en œuvre.



9 Vos contacts



QUESNEL Gaëtan
RESPONSABLE NATIONAL LOGEMENT SOCIAL
gaetan.quesnel@grdf.fr



GUTIERREZ LUDOVIC
RESPONSABLE NATIONAL PROMOTION PRIVÉE
ludovic.gutierrez@grdf.fr



MICHEL Stéphanie
RESPONSABLE NORD-OUEST
stephanie.michel@grdf.fr



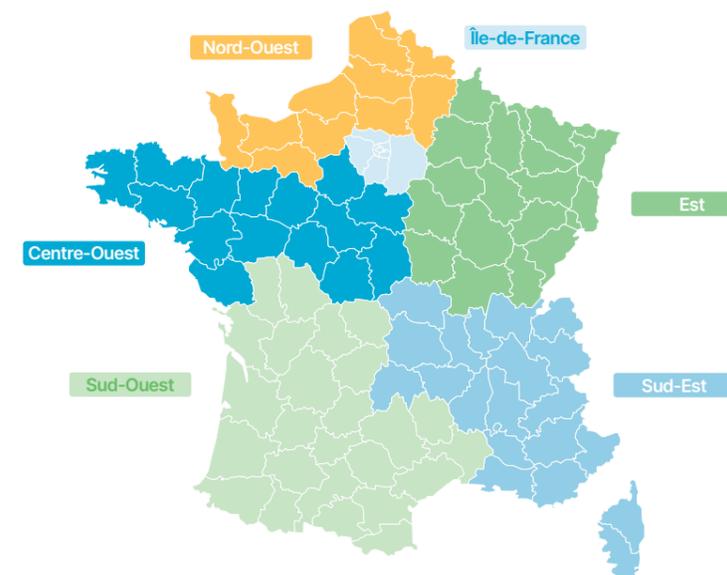
BONNAFY Stéphane
RESPONSABLE ÎLE-DE-FRANCE
stephane.bonnafy@grdf.fr



BESNARD Christophe
RESPONSABLE CENTRE-OUEST
christophe.besnard@grdf.fr



VINOT Mathieu
RESPONSABLE GRAND EST
mathieu.vinot@grdf.fr



WAGNER Sébastien
RESPONSABLE SUD-OUEST
sebastien.wagner@grdf.fr



BABIN Maxime
RESPONSABLE AURA
maxime.babin@grdf.fr



MANGANI Claire
RESPONSABLE PACA
claire.mangani@grdf.fr

10 Sources

⊕ Conception et hydraulique d'une PAC hybride collective : les points d'attention | GRDF Cegibat

⊕ Livre Blanc GRDF RE2020 - Les solutions pour construire bas carbone ! - GRDF.FR

⊕ UNICLIMA_LIVRET_BIEN_DIMENSIONNE.pdf

11 Pour aller plus loin

▶ **REPLAY disponible**

RE2020 seuils 2025

Faites le pari du bas carbone
avec les solutions hybride !

Webinaire du **02/07/2024**



GRDF CEGIBAT PAYS D'AIK HABITAT Sully De Dietrich AD2i INGENIERIE

⊕ Webinaire GRDF : RE2020 seuils 2025 - Faites le pari du bas carbone avec les solutions hybrides (youtube.com)

⊕ Système hybride en promotion privée - GRDF.FR

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

GRDF - 6, rue Condorcet - 75 009 Paris Société Anonyme au capital de 1 835 695 000 euros - RCS PARIS 444 786 511



Quel que soit votre fournisseur.