



INSTALLER DES POMPES À CHALEUR COLLECTIVES EN COPROPRIÉTÉ

Guide à l'usage des bureaux d'études
et des assistances à maîtrise d'ouvrage
à l'occasion d'une rénovation globale

ÉDITO

Ce guide sur la mise en place d'une pompe à chaleur en logement collectif lors d'une rénovation globale s'adresse aux bureaux d'études et aux AMO.

Il traite principalement des PAC air/eau collectives qui délivrent le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire en copropriété chauffée collectivement. Mine d'informations sur le dimensionnement des installations, il donne des points de vigilance à respecter pour assurer une installation de qualité et présente également les conditions d'intégration des machines ainsi que quelques exemples de réalisations.

Mais pourquoi ce guide ?

Les PAC air/eau en maisons individuelles sont en pleine expansion, principalement financées par les aides Ma Prime Rénov et Certificats d'économie d'énergie en remplacement de chaudières fossiles. Elles sont clairement identifiées par l'État comme une solution d'avenir. Elles permettent de réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre en raison du mix électrique français faiblement carboné et de leurs bonnes performances. Leur installation permet d'améliorer l'étiquette DPE des logements à la fois en énergie et en carbone.

Leur intégration est beaucoup plus complexe en logement collectif car soumise à bien plus de contraintes. La rénovation globale, indispensable pour envisager l'installation d'une PAC, permet de tirer le meilleur parti de ces machines.

Céline Laruelle, Ingénieure au service bâtiment de l'ADEME

SOMMAIRE

1. Capacité et performance des PAC	4
2. Maîtrise des températures de production	8
3. Critères de choix 100 % PAC ou Hybride	18
4. Conditions d'intégration des PAC	25
5. Étude financière	50
6. Déroulé type d'un projet PAC en copropriété	66
7. Solutions de suivi des performances	68
8. Retours d'expériences d'application PAC en logements collectifs	74
9. Glossaire	78





1. CAPACITÉ ET PERFORMANCE DES PAC

1. Température de production des PAC

En préambule, il convient de rappeler les besoins en température d'un bâtiment :

- **Eau Chaude Sanitaire (ECS)** : afin de maintenir une température de bouclage ECS de 55 °C, il est recommandé¹ d'opter pour une température de consigne de production de **60 °C**. Une température de production inférieure implique une intervention fréquente de l'appoint.
- **Chauffage** : en fonction du type d'émetteur et de la qualité du réseau hydraulique (voir partie 2), les températures maximales demandées à la température de référence (ex : -7 °C en Île-de-France) sont de **35 à 80 °C**.

Concernant les pompes à chaleur air/eau (PAC), la température maximale de

production des PAC varie largement selon les modèles, les fluides frigorigènes utilisés... Par exemple, à -7 °C, certaines PAC peuvent, sans appoint, fournir **70 °C** tandis que d'autres seulement **50 °C** !

Il conviendra donc de sélectionner une PAC adaptée aux besoins de température en chauffage et ECS du bâtiment afin de maîtriser la fréquence d'intervention de l'appoint.

Il est conseillé de prendre a minima un écart de 5 °C entre la température de production de la PAC et la température visée. Par exemple, pour une température de consigne à 60 °C dans le ballon ECS, il conviendra de choisir une PAC pouvant fournir 65 °C.

1 - COSTIC : Guide technique sur la conception des réseaux bouclés d'ECS, 2021

En synthèse, pour maintenir un bouclage à 55 °C, il est préconisé d'installer une PAC pouvant fournir 65 °C. Cette marge de sécurité peut paraître importante. Il est possible de diminuer cet écart en vérifiant minutieusement le schéma hydraulique et la régulation associée afin de garantir un bon fonctionnement.

Ainsi, un diagramme d'évolution des températures de production en fonction des températures extérieures (graphique ci-dessous) doit être fourni par l'industriel pour identifier les capacités des PAC selon les conditions de fonctionnement.

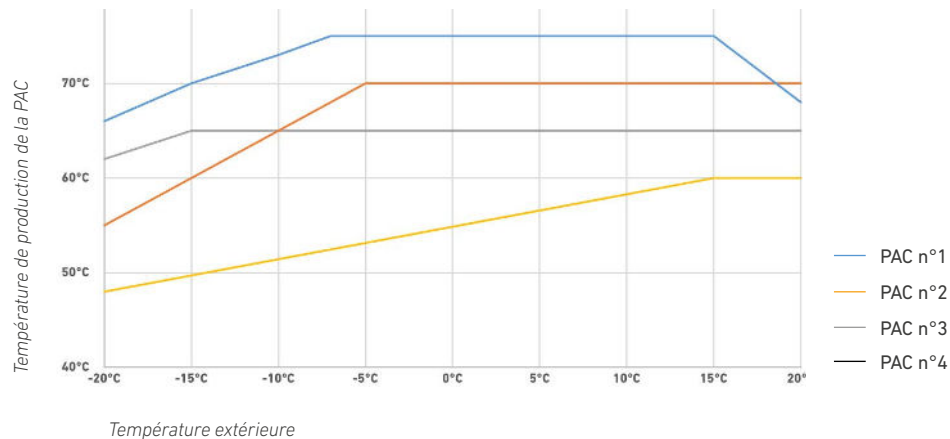
Nota : certaines PAC peuvent fournir une température de production jusqu'à 90 °C. Néanmoins, ces systèmes sont rares sur le marché car plus coûteux et plus complexes.

2. COP et puissances

À la différence d'une chaudière gaz, les puissances, les coefficients de performance (COP) et les températures de production d'une PAC Air/Eau sont fonction de la température extérieure de l'air. Plus les températures extérieures sont froides, plus les capacités des PAC baissent.

T source / T émetteur	Exemple de COP
7 °C / 30 °C	4,6
7 °C / 40 °C	3,9
7 °C / 50 °C	3,1
7 °C / 60 °C	2,6
7 °C / 70 °C	2,1

Température maximale de production de différentes PAC en fonction de la température extérieure



On constate régulièrement une baisse de 20 à 30 % des puissances entre une température extérieure de 7 °C et -7 °C. Il sera nécessaire d'intégrer cette baisse de puissance dans le dimensionnement.

T source / T émetteur	Exemple de puissance
10 °C / 45 °C	14 kW
7 °C / 45 °C	13 kW
0 °C / 45 °C	11 kW
-7 °C / 45 °C	10 kW
-10 °C / 45 °C	9 kW

3. Appoints électriques

Il existe différents types d'appoints électriques, qui permettent soit d'assurer une sécurisation de l'approvisionnement de chaleur en cas de panne, soit d'aider la PAC lorsqu'elle n'a plus la capacité de subvenir aux besoins :

Type d'appoint	Critère de déclenchement
Appoint de secours	Action manuelle, et automatiquement mis à l'arrêt 12 heures après l'action manuelle ²
Appoint dans les ballons ECS ou tampons	-Température d'eau de sortie -Température d'eau de retour -Température extérieure

Ainsi, afin d'évaluer l'incidence sur les performances, la récurrence de l'intervention de l'appoint doit être estimée suivant :

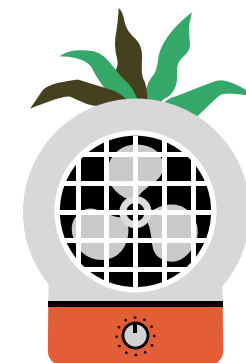
- Le type d'appoint et les critères d'intervention
- La puissance des PAC (sans appoint) en fonction de la température extérieure
- La température de production des PAC (sans appoint) en fonction de la température extérieure
- La température de production nécessaire pour l'ECS et pour le chauffage à la température de référence
- La fréquence d'apparition des températures extérieures

EN BREF

Les capacités de production de température des PAC sont variables (entre 50 et 70 °C) et devront être adaptées aux besoins de température du bâtiment :

- ECS : 60 à 65 °C
- Chauffage : 30 à 80 °C (voir partie 2)

Les performances des PAC varient également fortement en fonction de ces températures, qu'il conviendra d'anticiper.



² - Définition issue de la RE2020 (Annexe II).

2. MAÎTRISE DES TEMPÉRATURES DE PRODUCTION

1. Régime de température

+ Les différents types d'émetteurs

Pour la production de chauffage, les températures maximales demandées à la température de référence (ex : -7 °C en Île-de-France) peuvent être très variables selon le type d'émetteur :

- Radiateurs : 80 °C à 50 °C
 - Radiateur très haute température : 80 °C (Très courant pour les bâtiments construits avant 1990)
 - Radiateur haute température : 70 °C (Très courant de 1990 à aujourd'hui)
 - Radiateur moyenne température : 60 °C (Rare)
 - Radiateur basse température : < 55 °C (Très rare)
- Ventilo-convecteur : 45 °C à 55 °C
- Plancher chauffant : 35 °C (45 °C pour ceux des années 1970)
- Plafond rayonnant : 35 °C

+ La loi d'eau

Les températures maximales décrites ci-dessus ne sont pas demandées toute l'année. En effet, plus la température

extérieure diminue, plus la température demandée augmente. La variation de température est régie par une loi d'eau (voir illustration graphique ci-contre pour trois types d'émetteurs).

L'identification du régime de température doit être effectuée dès le diagnostic grâce à la loi d'eau de la chaudière existante.

+ Comment diminuer le régime de température ?

La première partie a démontré que le COP diminue considérablement à mesure que la température requise par l'émetteur augmente. Actuellement, la très grande majorité des PAC ne peuvent fournir une température supérieure à 70 °C. Or, les bâtiments sont en général équipés de radiateurs 80/60 ou 70/50, il est donc important de mettre en place des stratégies pour diminuer ces régimes de températures. Une amélioration de l'enveloppe thermique d'un bâtiment peut permettre de baisser

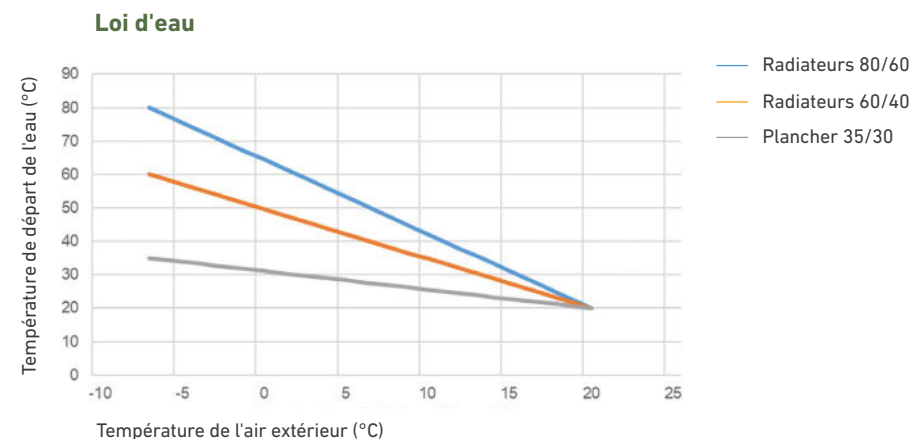


la température des émetteurs. A titre d'exemple la rénovation thermique globale (aux standards BBC) d'un bâtiment des années 1948-1974 permet d'abaisser la température maximale des radiateurs de 80 °C à 45 °C.

A l'inverse, un bâtiment construit après 1990 est déjà isolé, il est donc plus difficile de diminuer son régime de température.

Le tableau suivant détaille quelques exemples de cas-types pour différentes typologies de bâtiments.

Néanmoins, un calcul de déperdition doit être réalisé sur chaque projet afin d'évaluer les déperditions après rénovation et les régimes de températures qui en découlent.



Évolution du régime de température des radiateurs

	État initial	Rénovation bâti partiel	Rénovation bâti BBC**
Hausmannien (av 1948)	80/60	70/50	60/40
Immeuble de bourg (av 1948)	80/60	70/50	60/40
Immeuble bourgeois (av 1948)	80/60	65/45	60/40
Petit collectifs (1948-1974)	80/60	70/50	50/35
Barres (1948-1974)	80/60	60/40	50/35
Immeuble (1948-1974)	80/60	70/50	50/35
Barres (1975-1981)	80/60	70/50	65/45
Immeuble (1975-1981)	80/60	70/50	60/40
Immeuble (1982-1989)	80/60	70/50	70/50
Immeuble (1990-2000)	70/50	70/50	60/40
Immeuble (> 2000)	70/50	70/50	65/45

* **Rénovation bâti partiel** : renforcement de l'isolation des toitures, planchers, menuiseries et amélioration de la ventilation

** **Rénovation bâti BBC** : niveau d'isolation équivalent à une performance BBC (renforcement du niveau d'isolation de la majorité des parois)

En d'autres termes, le passage d'un émetteur dont le DT (delta de température) initial est de 50 °C (régime 80/60 °C avec ambiance à 20 °C) à DT à 30 °C (60/40 avec ambiance à 20 °C) divise environ par 2 la puissance d'émission de chaleur des émetteurs. Ainsi, diviser par 2 les déperditions permet de passer d'un régime de 80/60 à un régime de 60/40 °C, ce qui arrive généralement lors d'une rénovation globale.

À l'inverse, lors d'une rénovation partielle ou lors d'une rénovation globale sur un bâtiment déjà isolé (après 1974), la diminution des déperditions est moins importante. Une attention particulière doit alors être portée sur les capacités des émetteurs existants.

Tous les logements ne bénéficieront pas du même abaissement de déperditions : les variations peuvent être importantes suivant la position dans le bâtiment et le type de travaux. Il ne faut donc pas

dimensionner l'abaissement du régime de température par rapport aux besoins globaux du bâtiment.

Dans l'idéal, il faudrait évaluer les déperditions pièce par pièce, et contrôler la puissance d'émission des émetteurs existants par rapport aux nouveaux besoins et aux nouveaux régimes d'eaux.

Pour limiter le temps d'étude, il est possible d'échantillonner certains logements représentatifs et y vérifier le dimensionnement.

*Nota : il est possible de retrouver les caractéristiques des émetteurs existants dans le guide de dimensionnement des radiateurs à eau chaude de l'association Énergies et avenir.*³

Le surdimensionnement des radiateurs est fréquemment rencontré dans les bâtiments antérieurs aux années 80. En effet, les radiateurs étaient régulièrement identiques dans les étages courants. Pour le premier niveau et le dernier niveau, les radiateurs étaient légèrement plus grands (ou les pièces disposaient d'un radiateur supplémentaire) pour répondre aux besoins plus importants de ces logements. À partir des années 80, les radiateurs ont été dimensionnés au plus près des besoins et le surdimensionnement est moins fréquent.

Si quelques émetteurs nécessitent une température d'eau plus élevée que les autres pour subvenir aux besoins de chauffage, il peut être intéressant de remplacer/modifier ces radiateurs pour permettre une baisse globale de la température de production de chauffage et ainsi optimiser les performances des

PAC (abaissement de la loi d'eau). La faisabilité de ces travaux dépend des règlements de copropriété :

- Les radiateurs appartiennent à la copropriété : remplacer des radiateurs semble envisageable, mais ce sont des travaux assez lourds à réaliser dans les parties privatives.
- Les radiateurs sont privatifs : la complexité de vote et de prise de décision sera importante. Cette option est plus rarement envisageable.

EN BREF

Lors d'un projet de rénovation globale, il est possible d'installer une PAC sans changer les radiateurs, sans impacter la performance du système.

Par exemple, une amélioration de l'enveloppe thermique peut permettre de passer d'un régime 80/60 (défavorable pour les PAC) à un régime 60/40 (favorable), sans changer les radiateurs existants.



3 - Guide de dimensionnement des radiateurs à eau chaude

2. Qualité du réseau de distribution ECS et chauffage

La qualité des réseaux hydrauliques est tout aussi importante que le choix de la PAC ou des émetteurs. Bien souvent, lorsqu'on fait face à un réseau de mauvaise qualité (mal équilibré, peu isolé, emboué...), la solution adoptée est d'augmenter les températures de production de chauffage et d'ECS (ou les débits de bouclage ECS).

Dans le cas d'une chaudière, les incidences sont une perte de rendement, mais qui reste limitée (par exemple : une température de retour plus haute provoque une baisse de la condensation).

En PAC, les incidences sont plus fortes. La baisse du COP pourra être importante. De plus, l'intervention de l'appoint pourra être plus fréquente si les températures

demandées sont supérieures aux capacités de production de la PAC.

Nous avons vu que l'amélioration de l'isolation du bâtiment permet de diminuer significativement les régimes de températures. Néanmoins, une question subsiste : dans quelle mesure l'amélioration de la qualité du réseau de distribution ECS et chauffage permet-elle de diminuer la température de départ de production ? En phase conception, il est difficile d'obtenir une réponse précise et d'évaluer précisément le bénéfice de l'amélioration de la qualité des réseaux. C'est plutôt au cours des premières années d'exploitation que l'exploitant pourra ajuster la loi d'eau afin de minimiser les températures de production autant que possible.



+ Intelligence hydraulique

Que ce soit pour l'installation de PAC ou non, il est fortement conseillé d'évaluer la qualité du réseau hydraulique et d'effectuer une rénovation si nécessaire.

Le guide « L'intelligence hydraulique »⁴ présente plusieurs configurations hydrauliques de base, et propose des solutions de rénovation adaptées : robinets thermostatiques, circulateurs à vitesse variable, régulateurs de pression différentielle...

+ Équilibrage des réseaux de chauffage

Il est nécessaire de réaliser l'équilibrage des réseaux de chauffage lors d'une rénovation globale. L'équilibrage hydraulique consiste à répartir de manière équitable le débit global dans les différents émetteurs. Un mauvais équilibrage entraîne des sous-débits et sur-débit dans des parties du bâtiment, et donc un manque ou un excès de chaleur pour les occupants.

Ce déséquilibre peut être compensé en augmentant la température de départ mais cette méthode est à proscrire, surtout en PAC ! Seul un bon équilibrage pourra assurer une bonne répartition des débits, ce qui permettra d'optimiser la température de départ.

Lors de la première année, une attention particulière devra être portée sur l'équilibrage. En effet, les travaux sur les réseaux de chauffage sont généralement réalisés hors période de chauffe. **Lors de la première période de chauffe,**

il conviendra donc de vérifier la bonne réalisation de l'équilibrage.

Pour évaluer l'équilibrage du réseau de chauffage, une approche simple consiste à transmettre un questionnaire à tous les copropriétaires afin de leur demander la température souhaitée dans leur logement ainsi que la température réelle qu'ils observent. Si les écarts de température sont importants, alors le réseau est probablement mal équilibré.

+ Équilibrage des réseaux d'ECS

Comme pour le chauffage, il sera nécessaire de réaliser un équilibrage des réseaux d'ECS lors de la rénovation globale.

Dans le guide sur la « maîtrise du risque de développement des légionelles dans les réseaux d'ECS », le CSTB propose deux méthodes d'autodiagnostic :

- **Le constat température** : méthode de vérification simple du bon fonctionnement d'un réseau conformément à la réglementation qui impose une température supérieure à 50 °C en tout point du réseau.
- **L'autodiagnostic hydraulique simplifié** : cette méthode d'autodiagnostic suit une approche d'expertise hydraulique. Elle doit permettre de comprendre comment fonctionne un réseau ECS bouclé, d'identifier les zones critiques et défaillantes. Ce diagnostic est la base de toute étude hydraulique afin de maîtriser les débits et l'équilibrage du réseau.

⁴ - Le guide de l'intelligence hydraulique Énergies et Avenir 2018

Pour l'installation ECS, la bonne réalisation de l'équilibrage est primordiale. Dans le cas d'un mauvais équilibrage, les températures réglementaires risquent de ne pas être assurées. Parfois, pour compenser un mauvais équilibrage, les débits de bouclage sont augmentés, ce qui pénalise l'efficacité des PAC.

Les vannes d'équilibrage doivent être adaptées à une installation ECS (cf : Le guide « L'intelligence hydraulique »). Il est également conseillé de mettre en œuvre des vannes avec des thermomètres à lecture directe pour faciliter le suivi de l'installation.

+ Qualité de l'eau des réseaux

La qualité d'eau est un critère important pour la performance et pour la pérennité des installations. Il existe différents types de pathologies qui provoquent de nombreux désordres et dégradent la performance de l'installation : embouage, corrosion, entartrage, abrasion...

L'embouage des réseaux est notamment très fréquemment rencontré et est la première source de pannes. À titre d'exemple, 40 % des installations à boucle d'eau chaude individuelles en France sont embouées⁵ (la donnée n'est pas disponible pour les installations collectives). Cela provoque un encrassement des émetteurs, ce qui diminue leur puissance. Pour compenser cette perte de puissance, la solution pourrait être une nouvelle fois d'augmenter la température de départ, mais comme vu précédemment, cette solution est à proscrire en PAC. **L'impact d'un embouage peut engendrer une surconsommation de 27 % pour une installation PAC⁶.**

À noter que, les fabricants des équipements de production (chaudières, PAC...) imposent des niveaux de qualité d'eau. Il faut prévoir au minimum la mise en place de pot à boue magnétique en dérivation permettant l'introduction d'événements produits de traitement de l'eau.

Pour le désembouage des installations, il faut adapter la méthodologie suivant la vétusté des réseaux existants. Pour des réseaux en mauvais état, l'action de désembouage peut occasionner l'apparition de fuites. A minima, il peut être réalisé un désembouage chimique avec des produits de traitement d'eau faiblement dosés, cela permet de traiter l'embouage « superficiel ». Sur la distribution, il faut prévoir la mise en place de vannes d'isolation et de purge sur chaque colonne pour permettre les opérations de désembouage ainsi que les opérations de maintenance.

+ Isolation des réseaux

Dans le cadre de la mise en place d'une PAC, il est nécessaire que l'isolation des réseaux de chauffage et d'ECS soit maximisée afin de ne pas dégrader les performances de la PAC en compensant les pertes par des températures de fonctionnement plus élevées. La RT éléments⁷ impose une isolation minimum de classe 3 des réseaux hors volume chauffé. Cependant, il est préférable d'aller plus

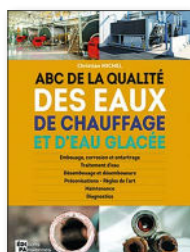
loin pour optimiser la performance de l'installation PAC.

Pour **les réseaux de chauffage**, nous préconisons de calorifuger en optant à minima pour une **isolation classe 4** hors volume chauffé (à l'extérieur, locaux non chauffés et dans les gaines palières). De plus, des aides financières (CEE) sont disponibles en cas de réalisation d'une isolation classe 4 des réseaux existants.

Pour **les réseaux ECS**, l'isolation des réseaux est primordiale pour la performance globale de l'installation. Le maintien du bouclage nécessite la production de chaleur en température élevée d'environ 60 °C, ce qui n'est pas confortable pour une PAC, il est donc nécessaire de minimiser au maximum les pertes par distribution. Pour les réseaux de chauffage également, une **isolation classe 4** (hors et en volume chauffé) permet de réduire convenablement les déperditions du réseau.

En rénovation, il peut s'avérer difficile d'isoler certaines parties de réseaux. Généralement, il est possible d'isoler

Plusieurs ouvrages traitent de la qualité de l'eau :



• Guide « ABC de la qualité des eaux de chauffage et d'eau glacée » de Michel Christian.



• Guide « Traitement des eaux » du Syprodeau



• Guide « Qualité de l'eau » du Syprodeau et Uniclina



Housse démontable en laine minérale pour vannes et jeux de brides.
Collier isolant en mousse de polyisocyanurate et élastomère
(Crédits : Ouest Isol)

5 & 6 - Communiqué de presse du Synasav du 6 octobre 2022

7 - Article 22 de l'arrêté du 22 mars 2017 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.

les réseaux en gaines palières, mais les réseaux dans les colonnes des logements sont souvent difficiles d'accès. **Lorsque les réseaux sont accessibles, mais que la place est limitée (gains ou réseaux apparents), il pourra être envisagé de mettre en place un isolant fin type polyuréthane (PU) ou aérogel et d'adapter l'épaisseur à la place disponible.**

Une attention particulière doit également être apportée sur les points singuliers : supports, vannes, passage de dalle, organe de réglage, pompes... En effet, la continuité de l'isolation des réseaux au niveau des singularités est souvent négligée. Idéalement, il faut traiter un maximum de ces singularités. Le guide du COSTIC sur le bouclage ECS (voir partie ci-dessous) détaille plusieurs traitements possibles. Par exemple, des matelas isolants peuvent être mis en œuvre pour des réseaux difficilement accessibles. Pour les passages de dalle, un carottage pourra également être réalisé afin de mettre en œuvre l'isolant.

+ Bouclage ECS

Il arrive couramment que **les pertes thermiques du bouclage dépassent très largement les besoins d'ECS**. De plus, ces pertes réchauffent les circulations ou les logements, ce qui peut rendre le bâtiment très inconfortable en période estivale.

Ainsi, l'équilibrage, le désembouage et l'isolation des réseaux décrits ci-dessus sont nécessaires pour garantir un bouclage ECS de qualité.



Le guide technique de référence pour approfondir ce sujet est le guide réalisé par le COSTIC « la conception des réseaux bouclés d'eau chaude sanitaire »⁸. Les enjeux suivants y sont notamment abordés : le choix de l'architecture, les pertes thermiques et leurs limitations, le dimensionnement des réseaux bouclés, le choix des matériaux et les équipements à prévoir.

+ Réseaux entre bâtiments

Lors d'une rénovation globale de plusieurs bâtiments desservis par une seule chaufferie, il sera abordé la question du nombre d'installations PAC : **faut-il mettre en œuvre une seule installation pour l'ensemble des bâtiments ou une installation par bâtiment ?**

Il n'existe pas de réponse unique à cette question en raison des nombreux enjeux et des critères de choix :

- **Réseaux hydrauliques inter-bâtiments** : il faut limiter ces réseaux, car ils sont très déperditifs (en contact de l'air extérieur ou du sol). Il est nécessaire d'évaluer les pertes thermiques et l'impact sur la température de production. Réaliser une installation PAC pour chacun des bâtiments permet de diminuer fortement les longueurs de réseau et la concentration des PAC en un seul endroit.

8 - Lien vers le guide COSTIC sur le bouclage ECS

- **Espace disponible pour le local technique** : regrouper tous les équipements dans un seul local nécessiterait moins d'espace, mais il est important de s'assurer que l'espace disponible dans la chaufferie existante est suffisant. Si ce n'est pas le cas, il faudra envisager soit d'agrandir la chaufferie, soit de créer plusieurs locaux dans les différents bâtiments.

- **Espace extérieur disponible pour les PAC et impact visuel/acoustique** : dans certains cas, il sera plus avantageux de répartir les PAC sur plusieurs bâtiments plutôt que de les regrouper au même endroit.

- **Impact sur le raccordement électrique** (coût du raccordement et tarif de l'abonnement) : répartir les PAC peut permettre de limiter les puissances de raccordement, et donc les coûts associés.

EN BREF

Lors du diagnostic, prévoir ½ à 1 journée de visite avec l'exploitant pour réaliser un audit de l'installation existante pour comprendre quels sont les régimes de température de production actuels, leurs évolutions dans l'année et pour identifier les spécificités des réseaux de distribution.

Le guide RAGE sur les PAC en habitat collectif (2015) propose une méthodologie et des exemples de fiches de diagnostic à compléter.



3. CRITÈRES DE CHOIX 100 % PAC OU HYBRIDE



EN BREF

Une installation hybride, c'est quoi ? Ce terme n'a pas de définition technique précise. Cependant, dans le langage courant, elle désigne une installation dotée de deux types de générateurs de chaleur, le plus souvent une chaudière gaz et des pompes à chaleur. Ces deux générateurs sont indépendants et collaborent grâce à une régulation et un schéma hydraulique commun. Pour être plus précis, on devrait parler de générateur bivalent ou de chaudière en relève de PAC.

Le choix entre 100 % PAC ou hybride doit être étudié suivant différents critères :

- Encombrement des PAC • Taille du bâtiment • Sécurisation de l'approvisionnement en chaleur • Température de départ (régime de température du chauffage et qualité des réseaux hydrauliques) • Raccordement au réseau électrique
- Coûts d'exploitation • Performance visée • Coûts d'investissement et aides financières disponibles • Présence d'une installation gaz de bonne qualité

1. Dimensionnement des solutions hybrides

Il existe différents types d'hybridation et de régulation qui feront varier la performance globale de l'installation.

+ Les différents types d'hybridation

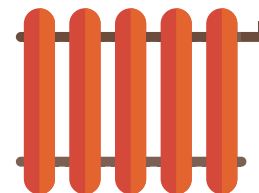
On peut citer différents types d'hybridation :

- La PAC réalise la production ECS (avec ou sans le traitement du bouclage) et la chaudière gaz produit la totalité du chauffage ainsi que l'appoint d'ECS. Ce type

d'installation était courant pour les bâtiments construits sous la RT2012.

- La PAC réalise une partie production ECS (avec ou sans le traitement du bouclage) ainsi qu'une partie du chauffage lorsque les températures demandées par la loi d'eau lui sont compatibles. La chaudière gaz réalise l'appoint de l'ECS et du chauffage non traité par la PAC.

- La PAC réalise la totalité de la production d'ECS (avec ou sans traitement du bouclage) ainsi qu'une partie du chauffage



lorsque les températures demandées par la loi d'eau lui sont compatibles. La chaudière gaz fournit l'appoint pour le chauffage (et le bouclage ECS si besoin).

+ Les différents types de régulation

On distingue deux types de régulation :

- Fonctionnement alterné

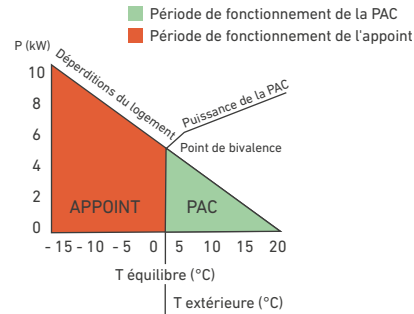
En dessous d'une certaine température extérieure (T_{équilibre}) la PAC est arrêtée et l'appoint prend le relais.

- Fonctionnement simultané

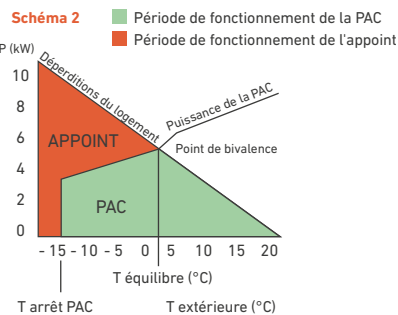
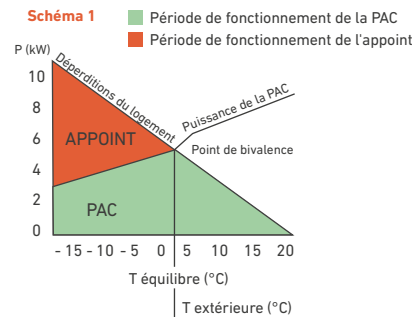
La PAC fonctionne en même temps que l'appoint. En dessous d'une température (T_{arrêt PAC}), le fonctionnement en simultanéité peut s'arrêter pour laisser l'appoint fournir la totalité des besoins (schéma 2).

Pour les deux types de fonctionnements, la température d'équilibre peut être définie suivant plusieurs critères : la température de production maximale de la PAC et sa puissance calorifique maximale, le COP. Certains fabricants sont également en développement d'une solution où la température de basculement se ferait en fonction du coût de l'énergie.

Pour un fonctionnement simultané où la PAC fonctionne jusqu'à la température de référence (schéma 1), il est possible de limiter la puissance du générateur d'appoint lors du dimensionnement.



Fonctionnement alterné



Fonctionnement simultané

2. Encombrement

Suivant les solutions, l'encombrement des solutions 100 % PAC ou PAC hybride est différent et peut être un critère de choix.

+ Local technique

Le tableau ci-dessous donne quelques ordres de grandeur de la surface de local technique nécessaire pour une solution 100 % gaz, 100 % PAC et hybride.

Estimation de la surface de local technique

	15 lgts	30 lgts	50 lgts	80 lgts
Gaz	12 m ²	14 m ²	14 m ²	14 m ²
100 % PAC	9 m ²	9 m ²	12 m ²	16 m ²
PAC hybride	12 m ²	14 m ²	16 m ²	20 m ²

Ces valeurs peuvent varier fortement suivant différents paramètres:

- PAC monobloc ou bibloc (les PAC monoblocs prendront moins de place)
- Chaudière gaz au sol ou murale
- Dimensionnement des ballons ECS, des ballons tampons, chaudières gaz
- Schéma hydraulique (ballons tampons, échangeurs, pilotes hydrauliques...)
- Géométrie du local (un local étroit ou découpé nécessitera plus de place)

Dans le tableau ci-dessus, il a été considéré un local technique de géométrie optimisée (3x3m, 3x4m...). Les volumes

de stockage ECS ont été considérés identiques pour les solutions 100 % PAC et PAC hybride, afin d'obtenir 100 % du besoin ECS avec la PAC.

+ Espace extérieur disponible pour les PAC

Le tableau ci-dessous donne quelques ordres de grandeur de la surface d'espace extérieur nécessaire pour mettre en œuvre les PAC.

Estimation de la surface d'espace extérieur disponible

	15 lgts	30 lgts	50 lgts	80 lgts
100 % PAC	6 m ²	16 m ²	23 m ²	45 m ²
PAC hybride	4 m ²	8 m ²	16 m ²	23 m ²

Ces valeurs peuvent varier fortement suivant différents paramètres:

- Dimensionnement des PAC
- Puissance et nombre de PAC (une PAC de forte puissance ou plusieurs PAC de faible puissance)
- Fabricants (des écarts importants peuvent être constatés entre des PAC de puissance similaire)

Dans le tableau ci-dessus, il a été considéré des PAC de forte puissance, avec au minimum deux PAC par installation (voir partie suivante sur la sécurisation de l'approvisionnement en chaleur).

+ Liaison PAC – local technique

L'encombrement de la liaison entre la PAC et le local technique peut également être un critère de choix. Plusieurs options peuvent être étudiées pour créer cette liaison :

- Réutiliser le conduit de fumée existant. C'est généralement la solution la plus simple et moins coûteuse.
- Passage en partie communes. Des carottages seront réalisés dans les dalles.
- Passage en extérieur. Une attention particulière doit être portée sur l'isolation des réseaux.

Pour une PAC hybride, il peut s'avérer difficile de réutiliser le conduit de fumée existant pour y faire passer la liaison hydraulique et le nouveau conduit de fumée. Dans certains cas, il sera possible de rétrécir le conduit de fumée et de cloisonner un espace pour faire passer le réseau hydraulique.

Le nombre de liaisons hydrauliques doit également être étudié : une liaison par PAC, une liaison pour toutes les PAC, une liaison dédiée à la production de chauffage et une autre liaison pour les PAC ECS...



3. Sécurisation de l'approvisionnement en chaleur

Plusieurs stratégies sont possibles pour sécuriser l'approvisionnement en chaleur : appoints électriques, chaudière gaz, installer plusieurs PAC ou plusieurs ballons ECS...

Pour la configuration 100 % PAC ou PAC hybride, il faut privilégier :

- Une cascade de PAC : si une PAC tombe en panne, les autres PAC peuvent prendre le relais.
- Plusieurs ballons ECS : si le besoin d'effectuer une maintenance se présente, il est possible d'isoler un ballon, tout en garantissant la fourniture continue d'ECS.

+100 % PAC

Une cascade de PAC et plusieurs ballons ECS permettent généralement de sécuriser l'approvisionnement en chaleur.

Cependant, il peut arriver que la liaison PAC – local technique ne soit plus opérationnelle (embouage par exemple). Dans ce cas, un appoint électrique de secours situé dans le local technique peut prendre le relais (les différents types d'appoints électriques sont détaillés dans la partie 1.3). Cet appoint (épingle ou chaudière électrique) doit être dimensionné pour subvenir à une partie des besoins et être à déclenchement manuel. En effet, c'est un appoint de secours, qui ne doit être activé qu'en cas de panne majeure.

+ PAC hybride

Pour une PAC hybride, la sécurisation de l'approvisionnement en chaleur est assurée par la chaudière gaz. Le principal enjeu est de déterminer si le gaz doit avoir la capacité de répondre à la totalité des besoins :

• **Le gaz peut assurer 100 % des besoins** : la sécurisation de l'approvisionnement de chaleur est assurée. Cependant, il existe un risque que le fonctionnement de l'installation PAC ne soit pas optimisé, et que le gaz prenne trop souvent le relais. En effet, si les PAC ne fonctionnent pas ou mal, la chaudière gaz peut subvenir à la totalité des besoins sans que personne ne s'en rende compte.

• **Le gaz ne peut pas assurer 100 % des besoins** : dans ces conditions, il sera plus rare que la PAC soit délaissée, surtout si la puissance qu'elle doit fournir à la température de référence est significative. Les ou la chaudière gaz, et une éventuelle cascade de PAC, permettent d'assurer la sécurisation de l'approvisionnement.

4. Autres critères

+ Régimes de températures élevés

Lorsque les régimes de températures sont élevés, le COP de la pompe à chaleur diminue fortement. Les causes de ces régimes de températures élevés peuvent être multiples (voir partie 2.3) :

- Réseaux hydrauliques de mauvaise qualité : isolation, équilibrage...
- Émetteurs de chaleur (souvent des radiateurs) avec des régimes de température élevés
- Longueurs importantes de réseaux hydrauliques

Cette température de départ plus élevée pourra être assurée par un appoint électrique ou une chaudière gaz.

Attention en cas d'appoint électrique, son intervention doit être minimale et maîtrisée au risque d'engendrer une hausse significative des factures.



+ Raccordement au réseau électrique

Les coûts de raccordement électrique peuvent s'avérer importants dans certaines configurations (voir partie 4.3). La PAC hybride peut permettre de diminuer les puissances électriques nécessaires et donc les coûts de raccordement.

+ Performance visée

Les ambitions de la copropriété peuvent également être un critère de choix :

- Taux de couverture souhaité
- Impact carbone visé
- Consommations en énergie finale ou primaire

La performance visée influencera fortement le dimensionnement des pompes à chaleur et de la chaudière gaz.

En PAC hybride, il existe également un risque de délaissé l'optimisation du fonctionnement de la PAC, surtout si la chaudière gaz peut subvenir à la totalité des besoins.

+ Coûts d'exploitation

Suivant les cas, les coûts d'exploitation peuvent être plus avantageux pour la solution 100 % PAC ou PAC hybride. Ces coûts peuvent varier suivant différents paramètres :

- **Maintenance** : les coûts de maintenance seront généralement un peu plus élevés pour une solution PAC hybride (schéma hydraulique plus complexe et deux systèmes énergétiques à maintenir)

- **Coûts d'abonnement électrique** : la PAC hybride peut permettre de mieux maîtriser le coût d'abonnement pour rester en dessous de 36 kVA (tarif régulé).

- **Coûts d'abonnement gaz** : coûts seulement présents pour la PAC hybride

- **Tarif des énergies électricité et gaz** : en fonction des tarifs en vigueur (régulés ou dérégulés) et des incertitudes fortes concernant l'évolution des prix des énergies, la possibilité d'avoir le choix peut être rassurante.

Pour l'exemple détaillé dans la partie 5.3, les coûts d'exploitation restent similaires entre les deux solutions.

+ Coûts d'investissement et aides financières disponibles

Le coût d'investissement de chaque solution sera nécessairement un critère de choix. Ce coût sera très variable suivant tous les choix de conception listés précédemment (dimensionnement, encombrement, sécurisation de l'approvisionnement, état des chaudières existantes et de l'ensemble des équipements...).

Il peut être possible de conserver la chaudière gaz existante pour limiter les coûts d'investissement, sous réserve que cette chaudière et les équipements associés (fumisterie, équipement de sécurité lié au gaz..) soient en bon état et puissent communiquer avec le système de régulation de la PAC.

Pour l'exemple détaillé dans la partie 5.2, les coûts d'investissement restent similaires entre les deux solutions.

4. CONDITIONS D'INTÉGRATION DES PAC

Les conditions d'intégration des PAC sont nombreuses. Cette partie présente les critères généraux à prendre en compte, puis détaille les enjeux spécifiques liés à l'acoustique, au réseau électrique et à la capacité structurelle de la toiture.



1. Critères généraux

ESPACE EXTÉRIEUR DISPONIBLE

Pour un fonctionnement optimal de la PAC, il est préconisé d'installer les PAC Air/Eau à l'extérieur. Cette première partie présente les critères généraux d'intégration des PAC lorsqu'un espace extérieur est disponible : généralement une toiture terrasse ou un jardin.

+ Espace libre autour des PAC

Pour capter les calories sur l'air, la PAC aspire un débit d'air extérieur très important (10 000 à 20 000 m³/h d'air par unité), pour le rejeter refroidi. Les flux aspirés par la PAC ne doivent pas se mélanger à ceux expulsés (on parle de recirculation), au risque de largement diminuer les performances.

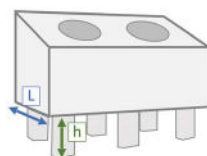
Chaque fabricant définit des espaces libres à prévoir autour des PAC. Généralement, il faut prévoir un espace libre devant le ventilateur de 2,0 à 3,0 m, de 50 cm à l'arrière et sur les côtés et une surface totalement libre au-dessus.

+ Pose en toiture terrasse & étanchéité : DTU 65.16

La liaison de la pompe à chaleur avec la toiture terrasse doit permettre l'entretien et la réfection des ouvrages d'étanchéité. Le DTU 65.16 (installation des PAC) encadre le dimensionnement des supports des PAC.

Cas 1 : la PAC est posée sur des éléments maçonnés solidaires de la dalle

Installation	Surélévation de la PAC
PAC et support démontables*	0,3 m minimum
PAC et support non démontables*	La surélévation dépend des dimensions de la PAC



La longueur L correspond à la plus petite côte

L (m)	h(m)
≤ 1,20	≥ 0,40
> 1,20	> 0,80

Par exemple, pour une PAC non démontable de longueur (L) supérieure à 1,2 m, la hauteur du support (h) doit être supérieure à 0,8 m. Ainsi, plus l'emprise de l'unité extérieure est importante, plus la hauteur des supports est élevée pour faciliter les opérations d'entretien de la toiture et les éventuelles réfections.

Cas 2 : la PAC est posée sur l'étanchéité ou sa protection (l'étanchéité n'est pas traversée)

Contraintes :

- Supports amovibles et démontables
- PAC démontable* sans recours à des engins de levage
- La pression exercée par les supports ne doit pas endommager l'étanchéité
- La largeur de la plaque ou des pieds du support doit être minimum de 0,4 x 0,4 m
- Pose sur un sol stable (pas de pose sur une toiture végétalisée)



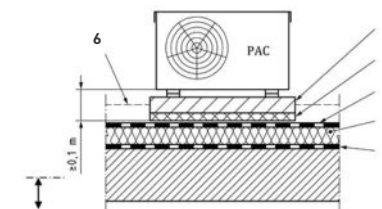
Dimensions minimum des pieds



Exemple de support amovible et démontable

(Crédits : Atib)

* PAC démontable : lorsque la PAC est démontable, cela permet d'optimiser la hauteur de surélévation. Dans le DTU 65.16, une PAC (ou le support) est dite « démontable » s'il est possible de la démonter en sous-ensemble de 90 kg maximum. Cette notion de « PAC démontable » peut porter à interprétation (presque tout objet est démontable).



- 1 Support de la PAC résistant et rigide
- 2 Matériau de désolidarisation
- 3 Revêtement d'étanchéité
- 4 Isolant thermique
- 5 Pare-vapeur
- 6 Protection lourde éventuelle

Exemple de PAC posée sur une plaque de support

Surélévation de la PAC : 0,1 m minimum (0,2 m minimum dans les régions à fortes chutes de neige)

EN BREF

Plusieurs configurations sont possibles lors de la pose de PAC en toiture terrasse. Le bureau de contrôle devra valider la configuration envisagée.

Au-delà du respect du DTU, il nous semble important de concevoir des installations cohérentes qui permettent un suivi et un entretien de l'étanchéité sans devoir démonter les PAC ou sans avoir à mobiliser d'autres compétences que celles liées à l'étanchéité.

+ Compatibilité des PLU

Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) peut limiter la mise en œuvre d'éléments supplémentaires en toiture.

La hauteur des unités extérieures des PAC varie entre 1,3 et 2,1 m. Lorsqu'on rajoute la hauteur du support (0,8 m), la hauteur totale peut monter de 2 à 2,7 m. Il convient donc de vérifier la compatibilité des PAC avec les règles d'urbanisme.

À noter que certains PLU proposent des dérogations de hauteur en toiture pour faciliter l'intégration d'EnR ou définissent des dispositions particulières pour la prise en compte des équipements de CVC (hauteur maximale autorisée, camouflage des équipements...).

+ Intégration visuelle

Suivant les configurations, un traitement visuel pourra être nécessaire. Il faudra veiller à ce que le traitement ne compromette pas le renouvellement d'air autour de la PAC (risque de recirculation d'air, expliqué dans la partie ci-dessous). Chaque constructeur définit les espaces libres minimums à prévoir autour de la PAC pour garantir un fonctionnement optimal. Il est possible que des grilles puissent être disposées dans cet espace libre, mais les pertes de charge de ces grilles devront être limitées et compatibles avec les capacités des PAC. Dans ces conditions, il est indispensable de prendre connaissance des capacités des ventilateurs des PAC, des pertes de charge des grilles et de valider les conditions d'intégration auprès de l'industriel.

Il est également nécessaire d'anticiper l'avis des Architectes des Bâtiments de France (ABF) le plus tôt dans le cadre de l'implantation d'une PAC en copropriété. Après l'avant-projet (AVP), cela doit être fait avec l'équipe de maîtrise d'œuvre dans le cadre d'un rendez-vous avec les services de l'urbanisme dans un premier temps, puis avec l'ABF. Il sera nécessaire de mettre l'accent sur l'ensemble des éléments permettant de masquer la PAC dans le paysage (aménagements visuels).

Dans le cas où un copropriétaire serait affecté par la mise en place de la PAC, il peut manifester son opposition à l'installation de la PAC en demandant une expertise mettant en évidence les nuisances subies.

+ Sécurité d'accès en toiture

Pour effectuer la maintenance de la PAC, l'accès en toiture doit être sécurisé. Il existe deux solutions : la mise en place de garde-corps ou d'une ligne de vie. Ces travaux de sécurisation seront généralement prévus lors d'une rénovation globale si un caisson de ventilation est installé en toiture.



ESPACE EXTÉRIEUR INDISPONIBLE

Dans le cas où la PAC ne pourrait pas être positionnée à l'extérieur, il est possible de l'intégrer en parking ou en local technique.

+ PAC en parking

Idéalement, la PAC doit être située dans un local technique coupe-feu, isolé du parking. Elle prélève et rejette ses calories sur l'air extérieur sans interaction avec le volume du parking. Dans cette configuration, les contraintes sont détaillées dans la partie suivante (PAC en local technique).

La configuration où la PAC a un contact direct avec le parking (PAC en parking et/ou air aspiré ou air rejeté dans le parking) n'est, à ce jour, pas encadrée par la réglementation que le parking soit enterré ou ouvert :

- La réglementation incendie du 31 janvier 1986 ne traite pas du sujet des PAC dans les parkings.
- La circulaire du 13 décembre 1982 (relative à la sécurité en réhabilitation) précise que la sécurité incendie ne doit pas être dégradée lors de travaux de réhabilitation. Installer une PAC implique forcément un nouveau risque d'incendie dans le parking (équipement électrique, fluide frigorigène, désenfumage...).

En attendant des précisions du législateur qui combleront ce vide juridique, **il est conseillé d'éviter la mise en place**

de PAC en contact direct avec le parking.

En effet, de nombreux sujets restent à encadrer par la réglementation :

- Risques liés à l'inflammabilité des fluides frigorigènes,
- Impact de la PAC sur le désenfumage,
- Risque de propagation des fumées via les unités extérieures et les éventuels conduits associés,
- Éventuelle mise en place d'une stratégie d'arrêt d'urgence de la PAC (via détection de fumée, ou asservissement sur le désenfumage mécanique activé par les pompiers).

Il conviendra également de vérifier que le parking n'est pas situé dans une zone inondable. Si c'est le cas, et que le parking est non protégé, la mise en place de PAC dans le parking est à éviter (cuvelage très coûteux).

+ PAC en local technique

La norme NF EN 378 encadre l'installation de PAC dans les locaux techniques pour garantir la sécurité des installations⁹. Un guide pour réaliser les analyses de risques a été produit par le Cetim et Uniclimate¹⁰, mais il ne traite pas précisément du cas des logements collectifs.

L'analyse des risques doit être propre à chaque projet et dépendra notamment du type de fluide (inflammable ou non) et de la charge en fluide frigorigène, ainsi que de la position de la PAC.

9 - L'article CH35 de l'arrêté du 25 juin 1980 (modifié par l'arrêté du 10 mai 2019) traite également de ce sujet, mais seulement pour les établissements recevant du public
10 - Le guide Uniclimate et Cetim (NF EN 378)

Certains fabricants ont déjà réalisé cette analyse des risques et proposent des solutions suivant les configurations, par exemple :

- **Local technique au rez-de-chaussée** : ouvert à 80 % via des grilles
- **Local technique en cours anglaise en dessous du niveau du sol** : plafond ouvert à 80 %, détecteur de fuite de fluide et ventilation mécanique
- **Local technique au sous-sol** (salle des machines classe III) : détecteur de fuite, ventilation mécanique, porte coupe-feu, mur coupe-feu 1h et sortie de secours.

Concernant les performances de la PAC, il est nécessaire de bien concevoir l'installation, notamment **la prise et le rejet d'air** :

- La prise et le rejet d'air doivent être effectués via deux grilles différentes, suffisamment éloignées pour éviter un recyclage d'air (différence d'environ 15 °C entre la température d'entrée et de sortie de la PAC)
- Si besoin, prévoir un ventilateur mécanique pour l'amenée ou le rejet d'air (grilles acoustiques ou longueur de gaine trop importante). Il conviendra de vérifier que le ventilateur a la capacité de combattre les pertes de charge engendrées par la gaine et par l'éventuel traitement acoustique. La distance entre la PAC et l'extérieur sera de 1,5 à 2,0 m maximum. L'incidence du ventilateur supplémentaire sur le COP de la PAC devra bien être prise en compte pour évaluer l'incidence sur la performance et les consommations.



(Crédit : Stiebel)

- Évaluer l'impact acoustique en sortie du local (notamment si logements à proximité)
- Évaluer l'impact du débit d'air en sortie de local (notamment si local au rez-de-chaussée, donnant sur une rue ou espace passant)

Si les préconisations ci-dessus ne sont pas respectées, il existe un risque important de **recyclage d'air ou débit d'air trop faible** qui dégraderait fortement les performances et capacités de la PAC. Dans le cas le plus défavorable, la température dans le local pourrait chuter fortement, ce qui entraînerait des cycles de dégivrage très fréquents.

Dans le cas où les PAC seraient situées dans un local ajouré (via des grilles, en cours anglaise...), il est conseillé d'installer les autres équipements (ballons ECS, tampons...) dans un local technique différent de celui de la PAC. Cela permettra de limiter les déperditions des divers ballons et réseaux hydrauliques.

LOCAL TECHNIQUE

La surface disponible en local technique est souvent un point sensible en rénovation. Le local technique doit pouvoir accueillir : ballons ECS, bouteille de découplage, panoplie hydraulique, régulateur, ballons tampons, adoucisseur... Des ordres de grandeur de surface nécessaires sont détaillés dans la partie 3.2.

Idéalement, il est préférable d'utiliser le local technique existant si la surface disponible est suffisante. Il conviendra de faire attention au passage des ballons ECS : hauteur sous plafond, escaliers, circulations avec angles aigus. Si besoin, des murs fusibles pourront être mis en œuvre pour permettre le passage des ballons ECS.

ESPACE INSUFFISANT : QUELLES SOLUTIONS ?

Dans le cas où l'espace serait insuffisant pour implanter la PAC ou les équipements dans le local technique existant, **il faut en priorité rogner sur les espaces communs potentiellement disponibles** : SAS, entrée, local ordures ménagères, local ménage...

Si le local technique existant est trop petit, il est également possible de créer un nouveau local technique dans le jardin ou en toiture (attention aux incidences sur la capacité structurelle de la toiture).

Il est également envisageable de faire racheter par la copropriété une partie privative (cave, place de parking). Il est nécessaire que l'ensemble des

copropriétaires vote en assemblée générale l'aliénation d'une partie privative en partie commune. Le propriétaire de cette partie privative peut demander une compensation financière. Il sera nécessaire également de modifier le règlement de copropriété à la suite du changement de destination de ce lot. Ce type de décision se vote à l'unanimité des voix, ce qui peut **s'avérer compliqué en copropriété** : cette solution n'est donc pas à privilégier (coût supplémentaire, tous les copropriétaires doivent donner leur accord...).

EN BREF

L'emplacement de la PAC doit être étudié dès la phase de diagnostic afin d'évaluer l'impact visuel, acoustique, structurel, la compatibilité avec le PLU, accès sécurisé...

L'emplacement et l'encombrement du local technique (espace disponible et accès) doit également être étudié lors de cette phase.

2. Intégration acoustique

Les objectifs de cette partie sont de donner les principales clés pour l'intégration acoustique des PAC.

Nota : cette partie ne se substitue pas au travail d'un bureau d'études acoustique.

+ Rappels sur la puissance et pression acoustique



Puissance acoustique

Capacité d'émission sonore indépendante de l'environnement

Pression acoustique

Grandeur acoustique perçue par l'oreille humaine

Puissance acoustique/sonore (noté Lw)

Elle caractérise la capacité d'émission sonore de la source indépendamment de son environnement. Cette puissance acoustique (Lw) est mesurée en laboratoire. C'est la valeur qui permet de comparer directement les appareils entre eux. Elle ne correspond pas à la mesure du ressenti.

Pression acoustique/sonore ou niveau de bruit (noté Lp)

C'est la grandeur acoustique perçue par l'oreille humaine et mesurée par le sonomètre. Pour une source donnée, la pression acoustique dépend de l'environnement de l'installation et de la distance à laquelle on réalise la mesure.

Exemple : l'écouteur d'un baladeur est

de très faible puissance acoustique, mais peut engendrer une pression acoustique très élevée lorsqu'il est situé à quelques millimètres du tympan.

La pondération A

Les valeurs sont données en dB ou dB(A). Le dB(A) correspond à une valeur en dB pondérée pour donner un niveau sonore proche de celui perçu par l'oreille humaine.

+ Les réglementations acoustiques

Décret n°2006-1099 du 31 août 2006

Ce décret régit le bruit des PAC vis-à-vis du voisinage, avec la notion d'émergence acoustique :

Émergence acoustique = bruit ambiant – bruit résiduel = pression sonore avec PAC – pression sonore sans PAC

L'émergence acoustique ne doit pas dépasser :

- 5 dB(A) le jour (7h – 22h)
- 3 dB(A) la nuit (22h – 7h)

Ces valeurs peuvent être augmentées si la PAC fonctionne moins de 8h le jour ou la nuit. Il existe également des valeurs limites pour l'émergence spectrale suivant différentes bandes d'octaves (125 Hz, 500 Hz...).

Il sera plus difficile de respecter ce décret dans un **environnement calme** où le bruit ambiant est faible. À l'inverse,

dans un environnement bruyant, le bruit engendré par la PAC devrait être moins perceptible.

Dès le début de la conception, il sera donc nécessaire de réaliser une mesure acoustique du bruit environnant, afin d'adapter les solutions de traitement à chaque site. Une mesure acoustique après réception des travaux pourra également être prévue pour s'assurer du respect de ce décret.

Arrêté du 23 juin 1978

Cet arrêté relatif aux installations de chauffage et de production d'ECS réglemente le bruit dans le bâtiment où se situe la PAC. La pression acoustique des équipements ne doit pas dépasser 30 dB(A) dans les pièces principales des logements.

Arrêté du 30 juin 1999

L'arrêté de 1999 complète celui de 1978, en détaillant le niveau de pression acoustique maximal en fonction du type de pièce et de PAC.

Niveau de pression maximal admissible des PAC

	Pièces principales	Pièces humides
PAC collective	30 dB(A)	35 dB(A)
PAC individuelle	35 dB(A)	40 à 50 dB(A)

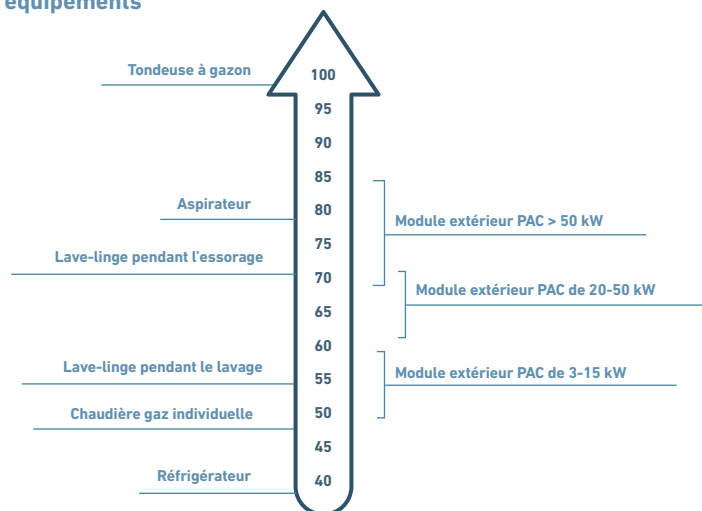
EN BREF

Les décrets et arrêtés établissent des valeurs **maximales** à respecter, mais leur simple respect ne garantit pas systématiquement un confort optimal.

Il est difficile d'évaluer les incidences concrètes de ces réglementations sur le positionnement des PAC et les éventuels traitements acoustiques à associer. L'AFPAC est en cours de rédaction d'un guide sur ce sujet, qui devrait paraître dans les mois suivant la publication de ce guide. En attendant, il existe des [fiches acoustiques](#), mais qui traitent surtout de l'installation de PAC individuelles. **Ainsi, il est fortement recommandé de faire appel à un acousticien pour chaque projet afin d'assurer une intégration acoustique optimale.**

+ Ordre de grandeur des nuisances acoustiques

Puissance acoustique de différents équipements (en dB(A))



Par rapport à des équipements du quotidien, les nuisances acoustiques des PAC sont loin d'être négligeables. Les puissances acoustiques des PAC sont très variables d'un fabricant à un autre, et dépendent de la puissance thermique de la PAC et du régime de fonctionnement.

+ Les solutions de traitement acoustique

Avant d'envisager des solutions de traitement, il convient de rappeler quelques règles de bon sens :

- Privilégier un emplacement loin des habitations ou d'autres locaux (bureaux, écoles...)

- Éviter les vues directes sur les PAC
- Réflexion : le bruit se réverbère fortement. Il faut éviter un maximum de placer la PAC contre un mur, dans un coin ou dans une cour intérieure

L'emplacement des PAC doit obligatoirement être validé par un acousticien qui doit définir les éventuels traitements à mettre en place.

Plusieurs solutions sont présentées ci-dessous (panneaux acoustiques, grilles acoustiques et silencieux).

L'impact de ces traitements sur la performance de la PAC devra être évalué. Il faudra en effet estimer les **pertes de**

charge et s'assurer que la PAC sera dans des bonnes conditions de fonctionnement. En effet, les prises en compte des contraintes aérauliques et acoustiques doivent être menées de manière complémentaire et indissociable dès le lancement des études de faisabilité en phase de conception.

Panneaux acoustiques

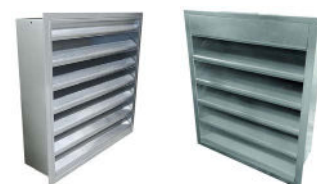


Des écrans acoustiques (type panneau sandwich double peau) peuvent être simplement mis en œuvre autour des PAC. Il sera nécessaire de s'assurer

d'une distance minimale entre les PAC et les panneaux pour ne pas compromettre le bon fonctionnement des PAC et leur maintenance.

Ces panneaux sont souvent du type "panneau sandwich", comprenant un matériau poreux intégré entre deux tôles dont l'une est perforée (coté PAC) afin de réduire les réflexions sonores.

Grilles acoustiques



Des grilles acoustiques peuvent également être mises en œuvre autour des PAC. Elles permettent de limiter la propagation du son et de réduire les réflexions indésirables.

Elles sont ajourées et permettent donc de limiter la transmission du son tout en assurant la circulation de l'air. Néanmoins, il faudra s'assurer que la perte de charge engendrée par l'intégration des grilles soit compatible avec le fonctionnement de la PAC.

Silencieux



Pour les PAC gainables, des silencieux permettent de diminuer les nuisances acoustiques dans les réseaux de prise et de rejet d'air. L'effet d'atténuation acoustique est dû à la résonance et à l'absorption qui se produit dans le silencieux.

EN BREF

Il existe plusieurs solutions efficaces de traitement acoustiques : panneaux ou grilles acoustiques, silencieux... Mais attention aux pertes de charge engendrées !

Il est nécessaire de s'assurer que les PAC auront suffisamment de pression disponible par rapport à leurs capacités.

(Crédits : Isocab, Ouest Isol & Ventil, France Air, Trox, F2A)

Plots antivibratiles

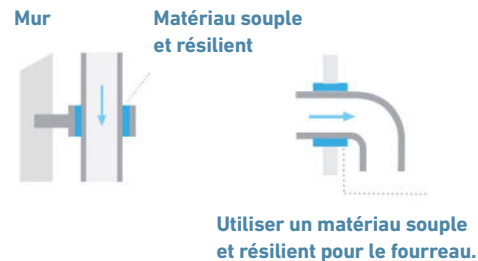
Les PAC doivent être positionnées sur des plots antivibratiles afin de réduire la transmission des vibrations de la PAC. De nombreuses PAC sont déjà livrées avec des pieds antivibratiles. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de mettre en œuvre des plots adaptés aux dimensions et au poids de la PAC.



Exemple de pieds antivibratiles adaptés pour des petites PAC et de châssis avec patins antivibratiles adaptés pour des grandes PAC.

Désolidarisation des tuyauteries

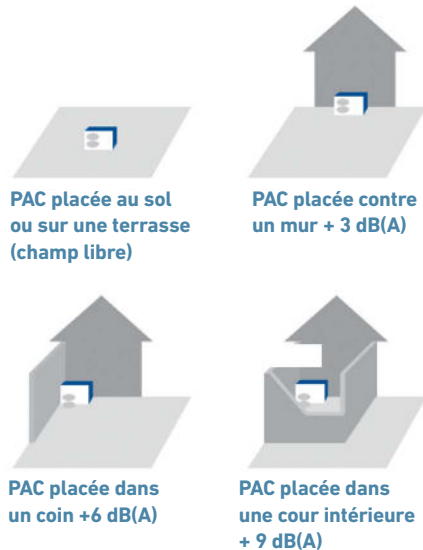
Afin de limiter la propagation de bruits solidiens depuis la PAC, des systèmes de désolidarisation au niveau de ses raccordements hydrauliques doivent également être prévus. Ces supports doivent être facilement démontables et laisser un jeu nécessaire à la dilatation.



Réflexion

Il est préférable d'éviter de positionner les PAC dans un angle, ou dans une cour intérieure. Pour illustrer l'impact de la réflexion sur l'acoustique, l'AFPAC a réalisé plusieurs schémas.

Plus la cour intérieure sera petite, plus la réflexion sera importante. Dans l'exemple donné ici, le niveau sonore d'une PAC placée en cour intérieure sera de 9 dB(A) supérieure à une PAC placée en champ libre, ce qui n'est pas négligeable !



(Crédits schémas : AFPAC et Atib)

+ Quelles données demander aux industriels ?

Pour s'assurer d'une bonne conception acoustique de l'installation, il est nécessaire de demander les caractéristiques acoustiques, aérauliques et vibratoires des PAC.

Acoustique

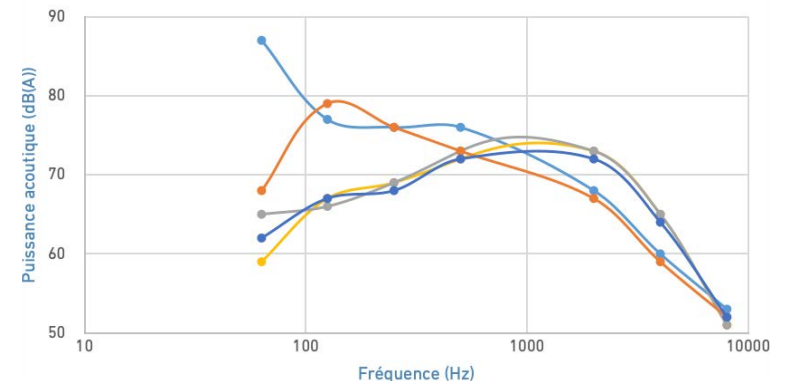
Il existe différentes normes de mesures pour caractériser les PAC : NF EN ISO 3744, NF EN ISO 9614, NF EN 12102, NF ISO 13347... Ainsi, il faut demander quelle norme a été utilisée et quelles ont été les conditions de tests en laboratoire : chambre anéchoïque, chambre semi-anéchoïque, chambre réverbérante, laboratoire accrédité COFRAC... Les résultats peuvent être fortement différents suivant la norme et les modalités de mesures ! Ensuite, il est nécessaire de demander le niveau de puissance acoustique global en dB(A) des unités extérieures pour différents modes de fonctionnement :

- Régime maximal, nominal et réduit
- Cycle de dégivrage (peut augmenter le niveau de pression sonore de +15 dB(A) dans certains cas !)

Aujourd'hui, ces informations ne sont pas systématiquement renseignées dans les fiches techniques des fabricants. Il est important de réunir ces informations pour s'assurer d'une comparaison à périmètre constant entre plusieurs fabricants. Pour garantir une bonne conception, le niveau de puissance acoustique global n'est pas suffisant. Il est donc indispensable d'obtenir ces informations pour les différentes fréquences et idéalement pour chaque face de la PAC (air neuf, rejet, rayonné...). En effet, il peut y avoir des écarts importants suivant de puissance acoustique suivant les fréquences (voir graphique ci-dessous) !

Pour les PAC gainables, il faudra également distinguer les niveaux de puissance acoustique pour le soufflage, l'aspiration et le rayonné par le caisson de la PAC.

Exemple de niveau de puissance acoustique (dB(A)) suivant différents modèles de PAC



Aéroulrique

Les solutions de traitement acoustique engendrent très souvent des pertes de charge. Les pertes de charge se produisent en raison de la résistance au flux d'air causée par ces matériaux ou dispositifs. Il est important de prendre en compte ces pertes de charge lors de la conception et du dimensionnement du système de la pompe à chaleur (PAC) afin de maintenir un débit d'air suffisant pour assurer un fonctionnement optimal.

Pour sélectionner le bon traitement et s'assurer que le fonctionnement de la PAC ne sera pas impacté, il est nécessaire de connaître les informations suivantes :

- Pression disponible sur les unités extérieures : a minima au global (à l'aspiration et au rejet si possible) / Pour un fonctionnement maximal, nominal et réduit
- Pertes de charge admissibles des équipements

Vibratoire

Afin de bien limiter les nuisances vibratoires, il est préconisé de récupérer les informations suivantes :

- Répartition des charges par point d'appui (ou position du centre de gravité). Une répartition équilibrée des charges garantit la stabilité de la PAC et réduit les vibrations indésirables. Dans le cas où la répartition serait déséquilibrée, cette information permettra d'adapter correctement le traitement acoustique.
- Spectre vibratoire (NF ISO 14695) ou une garantie de niveau vibratoire maximal sur les points d'appuis.

- Efficacité des plots antivibratiles (si fourni)
- Vitesse de rotation minimal des ventilateurs et des compresseurs.

EN BREF

De nombreuses informations sont nécessaires pour garantir un bon traitement acoustique de l'installation.

Actuellement, il n'est pas courant de trouver ces informations de manière systématique dans les fiches techniques fournies par les fabricants. Il est toutefois essentiel de recueillir ces informations afin de garantir une comparaison équitable entre différents fabricants, et de faciliter le travail de l'acousticien.



3. Raccordement au réseau électrique

Cette partie traite uniquement du raccordement au réseau électrique urbain, c'est-à-dire en amont du point de raccordement du bâtiment.

À noter que le déploiement de PAC peut également avoir une incidence sur le réseau électrique au sein du bâtiment, notamment pour l'alimentation électrique de PAC disposées en toiture.

+ Phase conception

En phase de conception, il est conseillé de consulter le gestionnaire du réseau pour connaître les incidences techniques et économiques du déploiement des PAC. Ces incidences seront décrites dans un devis qu'il faudra signer au moment du vote des travaux.

+ Phase audit

En phase audit, il est difficile de consulter le gestionnaire du réseau. En effet, le nombre de cas à traiter par le gestionnaire serait trop important.

De plus, la description des travaux à prévoir a de fortes chances d'évoluer d'ici le vote des travaux. Si un autre projet mobilise la puissance électrique du réseau local, alors les travaux à prévoir pour le projet risquent de s'accroître. Seule la signature du devis du gestionnaire l'engage et permet donc de sécuriser les éventuels travaux à prévoir.

Identification des puissances

Néanmoins, il est possible dès la phase

audit d'identifier quels sont les enjeux du déploiement des PAC sur le projet.

Cela commence par l'évaluation des trois puissances suivantes :

- La puissance électrique nécessaire pour le bâtiment à l'état initial : cette évaluation consiste en l'identification de la puissance maximale appelée par l'ensemble des équipements présents dans les parties communes.

- La puissance électrique disponible sur le raccordement existant : cette évaluation peut être effectuée en identifiant le diamètre des câbles de raccordement au réseau électrique urbain. Il faudra bien veiller à identifier le diamètre de l'ensemble du raccordement, car certaines portions de câble ont parfois un diamètre plus petit (attention notamment aux portions de câble enterré qui ne seraient pas accessibles lors de l'audit).

- La puissance maximale appelée après la rénovation globale, donc avec la puissance des pompes à chaleur.

Travaux éventuels à prévoir

Après avoir identifié les trois puissances décrites ci-dessus, il est possible d'évaluer quels seront les éventuels travaux à prévoir.

Trois cas de figure se présentent :

- La puissance maximale après rénovation globale est inférieure à la puissance électrique disponible sur le raccordement existant = pas de coût

supplémentaire à prévoir, le raccordement existant a la capacité d'accueillir la hausse de puissance engendrée par les pompes à chaleur.

- La puissance maximale passe le cap des 500 kVA (ou atteint 400 kVA après une augmentation de puissance significative) à Il est probable que le gestionnaire du réseau demande la mise en place d'un transformateur HTA/BT sur le site du projet.

- La puissance maximale après rénovation globale est supérieure à la puissance électrique disponible sur le raccordement existant, mais reste inférieure à 400 ou 500 kVA = les incidences techniques sont variables selon le contexte et les travaux à prévoir peuvent être les suivants :

- Simple réhabilitation/renforcement du raccordement existant
- Réhabilitation/renforcement du raccordement existant + renforcement/modification du réseau urbain
- Réhabilitation/renforcement du raccordement existant + renforcement/modification du réseau urbain + modification/renforcement d'un transformateur de la zone urbaine locale.

Il est possible d'identifier plus précisément les travaux à prévoir en phase audit. Plusieurs outils sont mis à disposition par le gestionnaire du réseau, et permettent d'obtenir une première évaluation des incidences techniques d'un raccordement (ex : TERRA BT de Enedis), mais ces derniers sont adaptés uniquement pour des projets de construction neuve. En effet, le gestionnaire du réseau, et donc l'outil TERRA BT, ne connaît par les caractéristiques techniques (diamètre des câbles et donc puissance maximale admissible) du raccordement existant (une visite du gestionnaire est a priori nécessaire pour valider ce point).

En phase audit, il est cela dit intéressant d'utiliser les outils du gestionnaire en les détournant de leur usage initial qu'est la construction neuve. Le principe est de définir la puissance électrique que le raccordement existant ne pourra pas prendre en charge (Puissance max après rénovation – Puissance électrique disponible sur le raccordement existant), et d'utiliser cette puissance pour décrire la création d'un nouveau bâtiment à l'adresse du projet audité. L'outil en ligne indiquera le type de travaux qu'il est nécessaire de prévoir sur le réseau.

EN BREF

En phase audit, il est possible d'évaluer les éventuels travaux de renforcement du réseau électrique à prévoir. Néanmoins, cette évaluation n'a aucune valeur et n'engage pas le gestionnaire du réseau. **Seules les conclusions issues d'une étude du gestionnaire réseau engagent la définition des travaux à prévoir.** Il est conseillé de réaliser cette étude en phase de conception. Les travaux nécessaires sur le réseau urbain sont à la charge de la copropriété à hauteur de 60 %.

4. Capacité structurelle de la toiture

Les objectifs de cette partie sont de donner les principales clés pour la mise en place de PAC en toiture existante.

Seules les toitures terrasses plates seront étudiées, car elles représenteront la majorité des cas (la mise en œuvre sur des toitures en pentes étant jugée trop compliquée : travaux supplémentaires, contraintes acoustiques et de vibrations...).

Les PAC peuvent être installées sans renforcement de la structure existante dans certains cas et grâce à des choix de conception qui sont détaillés dans cette partie. À l'inverse, si un renforcement de la toiture est nécessaire, **cela peut complexifier fortement le projet**, surtout si ce renforcement doit avoir lieu dans les parties privatives (rares sont les propriétaires à accepter une nouvelle poutre

dans leur appartement ou simplement des travaux).

Nota : cette partie ne se substitue pas au travail d'un bureau d'études structure. L'intervention d'un BET structure est indispensable et le chapitre 6 détaille les moments et le type d'intervention nécessaire.



Pompe à chaleur sur plots béton (Crédit : Intuis)

Ordres de grandeur de poids de PAC mises en œuvre en toiture

Puissance à -7/55 °C	Masse	Emprise au sol	Poids par m ²	Poids par pied
12 kW	150 kg	0,5 m ²	300 kg/m ²	75 kg par pied (2 pieds)
50 kW	700 kg	2-3 m ²	250 kg/m ²	120 kg par pied (6 pieds)

Ordres de grandeur de poids des ballons ECS installés en toiture

Volume de stockage	Masse (ballon rempli)	Emprise au sol	Poids par m ²	Poids par pied (4 pieds)
1000 L	1 300 kg	0,5 m ²	2 600 kg/m ²	325 kg par pied
3000 L	3 500 kg	2 m ²	1 750 kg/m ²	875 kg par pied

+ Les poids type des solutions de PAC collectives courantes

Des ordres de grandeur de poids de PAC mises en œuvre en toiture sont précisés dans le tableau ci-dessous.

Dans certains cas (rares aujourd'hui), les ballons ECS peuvent également être installés en toiture. Le tableau ci-dessous indique quelques ordres de grandeur de leur poids.

À ces équipements, il conviendra d'ajouter la charge des plots et châssis supports qui pourraient aisément atteindre entre 200 à 500 kg en fonction de l'ampleur du projet. Les éléments d'intégration visuelle et/ou acoustique sont également à considérer. Enfin, il pourrait être

nécessaire de considérer le poids d'un local technique si sa construction était nécessaire en toiture.

La conception de ce dernier devra être envisagée dans la mesure du possible en charpente métallique avec bardage et toiture légère plutôt qu'en maçonnerie pour limiter son poids (poids estimé pour un local en charpente métallique de 2 m x 3 m x ht 3 m : 700 kg).

En termes de conception, il conviendra également de limiter autant que possible la hauteur de la PAC afin de minimiser la prise au vent.

Si des considérations en matière de coupe-feu impliquent que le local soit en système maçonné, il conviendra de choisir des matériaux de type béton cellulaire plutôt que des blocs de béton creux.

Classification des toitures

Catégorie	Usage spécifique
H	Toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations courant
I	Toitures accessibles pour les usages de catégories A et D

Charges d'exploitation sur les toitures de la catégorie H

Toitures de la catégorie H	q_k (kN/M ²)	Q_k (kN)
Toiture de pente inférieure à 15% recevant une étanchéité	0,8	1,5
Autres toitures	0	1,5

Q_k = charge concentrée sur un plancher, un balcon ou des escaliers, agit sur une surface ayant la forme d'un carré de 50 mm de côté

q_k = charge répartie dans le cas des toitures de catégorie H, couvre une aire de 10 m² (avec a/b supérieur ou égal à 2)

Q_k et q_k ne sont pas à appliquer simultanément ni ne sont prises en compte avec les charges de neige ou les actions du vent.

+ Critères de dimensionnement réglementaires

Selon la réglementation Eurocode en vigueur depuis le début des années 2000, les toitures non accessibles de pente inférieure à 15 % sont classifiées en catégorie H.

Ainsi, les toitures modernes sont calculées pour résister (en plus des charges climatiques) à des charges d'entretien de 80 kg/m² sur 10 m² ou à une charge ponctuelle de 150 kg.

Ces valeurs sont applicables sur les toitures récentes. Cela donne toutefois l'ordre de grandeur des charges prises en compte pour le dimensionnement des dalles de toiture terrasse.

EN BREF

Au regard des valeurs réglementaires, il est aisé de comprendre que l'ajout de PAC en toiture n'est pas négligeable selon la résistance structurelle de la dalle support. Cela nécessitera systématiquement une vérification structurelle et éventuellement des renforcements locaux.

+ Principes d'implantation à privilégier en phase diagnostic

Les poutres et les dalles ont généralement une capacité de support limitée pour de nouvelles charges. En revanche, un élément de structure vertical peut souvent supporter beaucoup plus de poids et le poids ajouté par une pompe à chaleur est négligeable par rapport à sa capacité initiale. Idéalement, il faut donc placer les pompes à chaleur à l'aplomb des voiles porteurs.

Le caractère porteur des voiles doit être apprécié par un BET Structure.

Toutefois, une première analyse des plans disponibles (à demander au plus tôt) et une visite des lieux peuvent permettre d'identifier les voiles porteurs. Cette analyse pourra être réalisée par le bureau d'études fluides en phase diagnostic. Plusieurs indices peuvent permettre de trouver les voiles porteurs :

- Plans d'origine d'architecture et de structure qui peuvent indiquer clairement la position des voiles
- Observation visuelle de l'intérieur et l'extérieur du bâtiment (murs épais, discontinuités, renforts structurels...)
- Les voiles porteurs sont souvent alignés d'un niveau à l'autre. Il est possible de déduire certains murs porteurs en présence d'attique par exemple
- Tapotement : un bruit lourd annonce généralement un mur porteur

Exemple (voir schémas) :

- **Phase 1** : Analyse des aménagements existants au dernier niveau.
- **Phase 2** : Identification des porteurs sur la base des plans ou par sonde
- **Phase 3** : Dès la phase diagnostic préférer une implantation si possible l'aplomb des voiles porteurs et non les dalles ou les poutres.

L'avantage d'un tel choix est multiple :

- Limiter les contraintes additionnelles dans les dalles et les poutres qui sont les éléments les plus sensibles
- Limiter les flèches additionnelles dans les dalles et poutres
- Permettre la transmission des charges additionnelles directement dans les voiles porteurs qui ont la capacité de porter plus

De plus, il est préférable de positionner la PAC au-dessus des parties communes. En cas de sondage par test destructif, cela permet de ne pas dégrader le plafond d'un logement. Les tests doivent en effet être réalisés à l'endroit où les PAC seront installées.

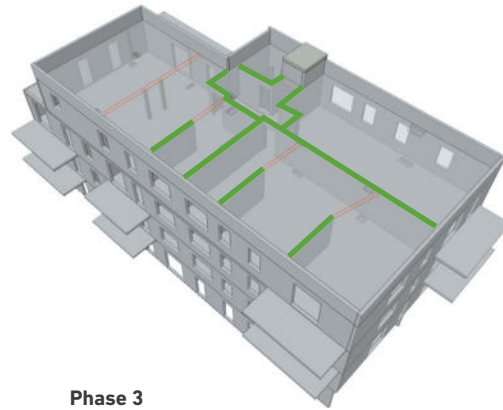
EN BREF

Dans la majorité des cas, les PAC peuvent être installées sans renforcement de la structure existante si elles sont positionnées à l'aplomb des voiles porteurs.

Si ce n'est pas possible, la partie suivante détaille les enjeux et renforcements à prévoir en fonction des types de dalles.

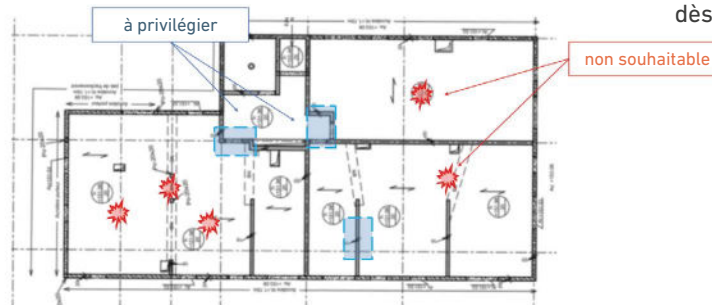


Phase 2



Phase 3

- Voile porteur (mur béton armé)
- - - Bande noyée (dans le présent projet) ou retombée de poutre



Installation de la PAC au-dessus des parties communes.

+ Vérifications à mener en phase d'exécution

Quel que soit le type de bâtiment et le choix d'implantation réalisé en phase diagnostic, il convient de mandater un BET structure dès le démarrage de la phase de conception afin de mener une étude structurelle spécifique.

Afin de mener à bien l'étude, le BET structure doit être en mesure de connaître :

- L'implantation des équipements
- Leurs caractéristiques techniques (volumes, poids, nombre et type de pieds...)
- Les plans architecturaux du bâtiment

Nota : dans de nombreux cas, les plans structure des bâtiments ne sont pas disponibles. Ainsi, le BET pourrait demander à réaliser des sondages (destructifs et/ou non destructifs) en phase d'étude afin de pouvoir déterminer les principes constructifs mis en œuvre lors de l'édification du bâtiment.

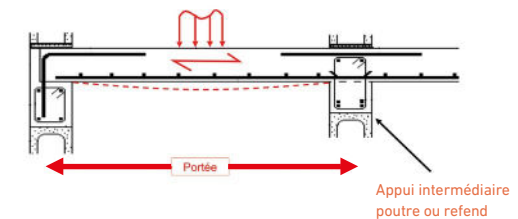
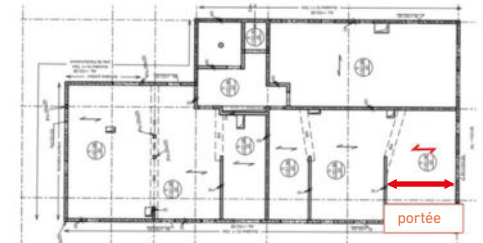
Il conviendra d'anticiper cette démarche en prévenant les occupants du dernier niveau au droit de la zone d'implantation dès la phase d'étude de prix.

+ Principes constructifs des dalles et modes de renforcement envisageables

Les types de dalles les plus fréquemment rencontrées sont les suivants :

Dalle massive en béton armé de 14 à 20 cm

Une dalle massive (pleine) dispose d'un sens de portée qui correspond généralement à la plus petite des portées mesurées entre porteurs (voile ou poutre).



En cas d'application d'une surcharge en partie courante, il conviendra de vérifier la capacité portante de la dalle. À cette fin, le BET devra réaliser tous les éléments suivants :

- Un sondage via un pachomètre (ou détecteur d'armature) en sous-face de la dalle afin de déterminer la densité du ferrailage et l'épaisseur de la dalle

- Un sondage destructif localisé afin d'identifier le type d'acier (HA, rond lisse...) et le diamètre des aciers
- Une vérification calculatoire réglementaire de la capacité portante de la dalle avec les charges additionnelles

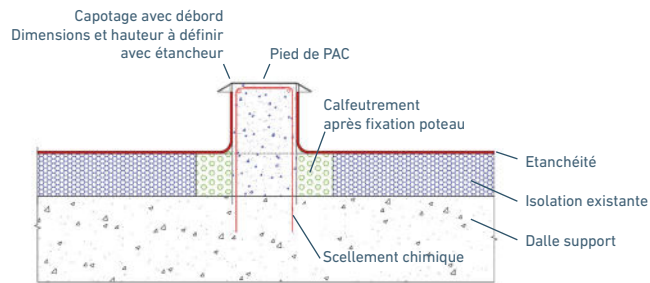
En cas de validation de la capacité portante, des plots béton armé (ou métallique) pourront être réalisés pour prendre appui directement sur la dalle. Ces plots béton accueilleront les relevés d'étanchéité de la nouvelle étanchéité reconstituée autour du plot.

En cas d'incapacité de la dalle à reprendre les charges additionnelles 3 solutions de renforcement sont possibles :

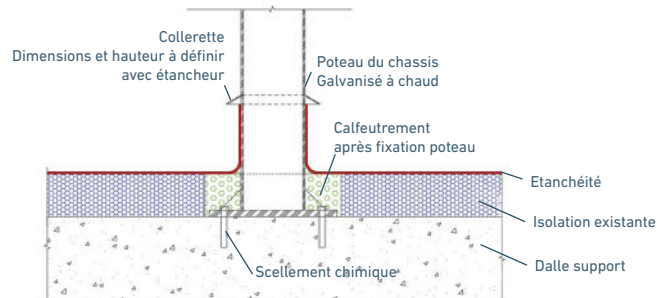
- La mise en œuvre d'une poutre en sous-face de la dalle au droit des équipements additionnels
- La mise en œuvre de plats carbone collés en sous-face de la dalle
- En arase supérieure de la dalle, mise en œuvre de châssis en structure métallique (galvanisé à chaud) dont les pieds seront en appui au droit des voiles porteurs. Cette solution peut aussi être envisagée pour les types de dalle décrits ci-dessous (poutrelles + hourdis, dalle alvéolaire...)

Dans tous les cas, s'il n'est pas possible d'éviter la pose de PAC en partie courante d'une dalle ou d'une poutre, il conviendra

Principe d'un plot BA support de pied de PAC



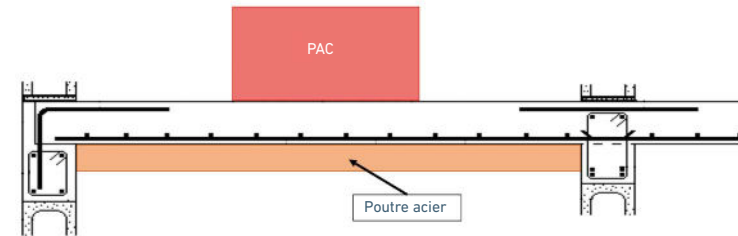
Principe de pied de poteau métallique support de châssis



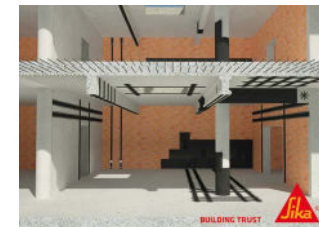
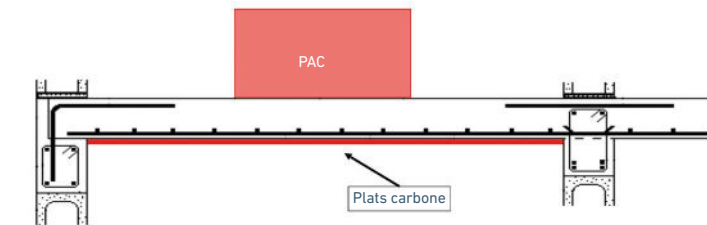
Châssis en structure métallique



Mise en œuvre d'une poutre en sous-face de la dalle

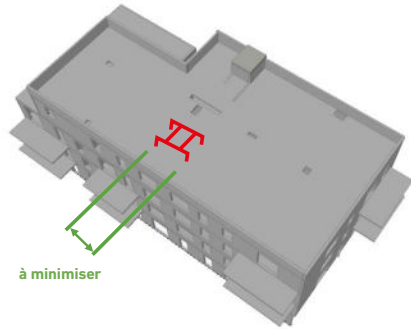


Mise en œuvre de plats carbone collés en sous-face de la dalle

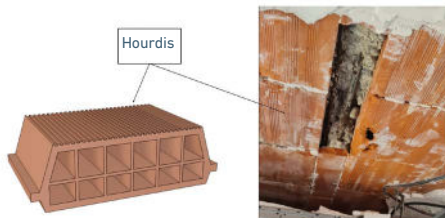


(Crédit schémas : Sika)

de choisir une zone ayant la plus petite portée entre porteurs verticaux afin de minimiser le renforcement.



Poutrelles en béton + hourdis + dalle de compression



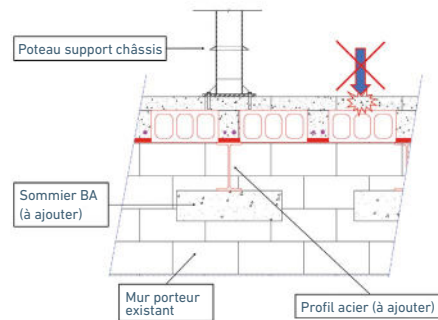
Le principe de planchers en poutrelles BA + hourdis est ancien et n'est plus utilisé. Comme pour le plancher en dalle pleine de béton armé, il faut privilégier une implantation de la PAC au droit des voiles porteurs.

S'il s'avère nécessaire d'implanter la PAC en partie courante (au milieu d'une dalle ou d'une poutre), il conviendra de déterminer au préalable la capacité portante du plancher poutrelles BA + hourdis.

Un sondage destructif de reconnaissance et un calcul par un BET structure sera nécessaire.

Le renforcement d'un tel plancher pourra se faire par l'ajout d'une poutre en acier en sous face des poutrelles BA.

De plus, et dans tous les cas, il conviendra d'éviter l'implantation des poteaux support châssis des PAC au droit des hourdis.



(Crédit : PACTE)

Poutrelles en béton précontraint + hourdis + dalle de compression

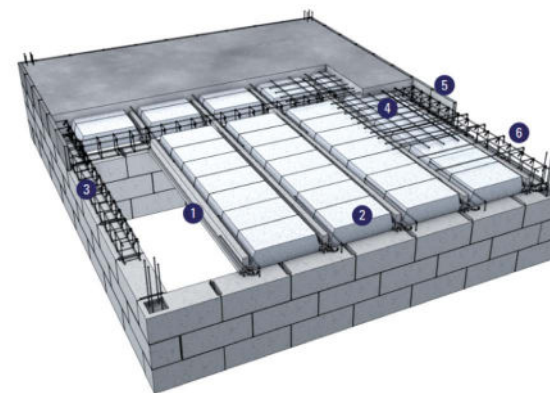
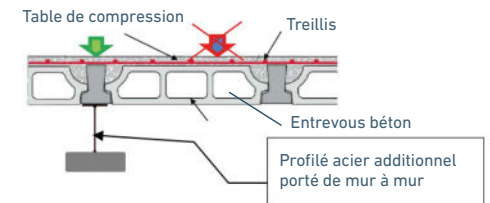
Le principe général constructif est le même que pour le système précédent. Les poutrelles sont toutefois fabriquées en usine avec des torons précontraints. Ce système s'est développé en France à partir des années 70 et s'est généralisé depuis.

Comme pour tous les autres systèmes constructifs, il convient de privilégier l'implantation des PAC au droit de voiles verticaux.

En cas de nécessité d'implantation en partie courante du plancher, l'absence de note de calcul de la structure existante (ou d'abaques de charges dédiés à la solution constructive), le BET structure ne pourra pas évaluer la capacité portante du plancher.

Ainsi, il convient d'envisager un renforcement similaire au principe présenté au paragraphe précédent.

Nota : Lors d'une vérification de la capacité portante, la résistance structurelle n'est pas le seul critère qui doit être vérifié. En effet, la flèche complémentaire que subit un plancher suite à l'application de charges additionnelles est susceptible de créer une fissuration au niveau des plafonds et des faux plafonds suspendus. Le choix d'une implantation au droit de voiles porteurs va minimiser voire neutraliser ce phénomène.



- 1 Poutrelles
- 2 Entrevous
- 3 Chaînage
- 4 Treillis soudé
- 5 Planelles de rive
- 6 Armatures de périphériques

(Crédit : PACTE)

5. ÉTUDE FINANCIÈRE



1. Présentation du bâtiment



Cette partie sera illustrée par un exemple de rénovation globale sur un bâtiment de 12 logements.

Le programme de rénovation globale est le suivant :

	État existant	État rénové BBC
Murs extérieurs	Béton non isolé	ITE 16 cm
Plancher bas	Béton non isolé sur commerce	Béton non isolé sur commerce
Toiture terrasse	Béton + 5 cm de polyuréthane	Béton + 12 cm de polyuréthane
Menuiseries	PVC 4/12/4	PVC 4/16/4
Ventilation	Naturelle	Hygro A
Chauffage	Chaudière fioul collective + radiateurs	Plusieurs scénarios étudiés
ECS	Ballons électriques individuels	

Trois scénarios sur le chauffage et l'ECS seront étudiés :

- Chaudière gaz collective (chauffage et ECS)
- PAC hybride collective (chauffage et ECS)
- 100 % PAC collective (chauffage et ECS)

Nota : le terme PAC hybride signifie ici l'association d'une PAC et d'une chaudière gaz. On peut également trouver l'appellation dans la littérature : chaudière en relève de PAC, PAC en relève de chaudière...

2. Coûts d'investissement

Le montant des travaux d'isolation et de ventilation décrit ci-dessus s'élève à environ 25 000 € HT par logement pour ce bâtiment.

Pour la partie chauffage et ECS, le coût d'investissement varie entre 10 000 € HT et 12 000 € HT par logement suivant les scénarios.

Dans le cas où le bâtiment serait déjà équipé d'une chaudière gaz de bonne qualité, le coût de la PAC hybride passerait de 11,5 à 9,5 k€/lgt.

Coûts d'investissements (€ HT)

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
Fourniture et pose de la chaudière gaz	15 k€	-	7 k€
Fourniture et pose de la PAC	-	51 k€	23 k€
Adaptation des réseaux hydrauliques, y compris ballon tampon, gestion hydraulique	4 k€	9 k€	9 k€
Liaison hydraulique PAC/local : environ 90 m	-	9 k€	9 k€
Raccordement gaz	9 k€	-	9 k€
Fumisterie	8 k€	-	8 k€
Rénovation local technique (peinture, maçonnerie)	10 k€		
Vanne d'équilibrage, coupure sur colonne, vanne de vidange sur colonne	1 k€		
Équilibrage des installations	3 k€		
Désembouage des installations avec mise en place d'un pot à boue magnétique	4 k€		
Robinet thermostatique	5 k€		
Création de la production ECS	11 k€	15 k€	15 k€
Création d'une distribution ECS	25 k€		
Rénovation de l'adduction EF, pour production ECS	12 k€		
TOTAL pour le bâtiment	104 k€	143 k€	138 k€
TOTAL par logement	8,7 k€/lgt	11,9 k€/lgt	11,5 k€/lgt

Pompe à chaleur

Le coût peut fortement varier suivant le dimensionnement, notamment pour la solution hybride (voir partie 3). Pour ce cas type, le dimensionnement utilisé permet à la PAC de couvrir 100 % des besoins ECS et une partie du chauffage à -7 °C (fonctionnement simultané).

Dans certains cas, il pourra être possible de garder la chaudière gaz existante pour limiter les coûts d'investissement. Les principaux critères pour garder la chaudière existante sont :

- Vétusté suivant diagnostic (année d'installation et qualité de l'entretien)
- Communication possible avec la PAC ou le gestionnaire de PAC
- Condensation (en fonction du taux de couverture et du dimensionnement)

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
Puissance Gaz	2 x 25 = 50 kW		35 kW
Puissance PAC (à -7/65 °C)		2 x 21 = 42 kW	21 kW
Ballons ECS/tampons	500 l	1500 l	1500 l

Radiateurs

La rénovation globale permet de diviser par deux les déperditions du bâtiment :

- État existant : 110 W/m²
- État rénové : 50 W/m²

Le régime de température des radiateurs peut donc être diminué fortement,

et passer d'un régime 80/60 à un régime 60/40. Les radiateurs peuvent ainsi être conservés (sans changer le débit) car ce nouveau régime est compatible avec les PAC hautes températures.

Liaison PAC - local technique

Plusieurs options sont possibles :

- Réutiliser le conduit de fumées (possible seulement en 100 % PAC)
- Percement des dalles et passage en parties communes
- Passage en réseaux extérieurs

+ Coûts des potentiels travaux additionnels

Des travaux additionnels sont potentiellement à prévoir. Ces coûts sont très variables suivant chaque projet. Le tableau ci-dessous synthétise les coûts de ces travaux potentiels, qui sont ensuite détaillés dans les points suivants.

Travaux potentiels	Ordre de grandeur de coûts
Traitement acoustique ou visuel	1 000 € HT/m ² de panneau
Génie civil	Variable
Gainage des PAC	10 000 € HT pour un bâtiment de 15 logements
Raccordement électrique	Variable Voir partie 4.3
Sécurisation de l'accès en toiture	100 € HT/ml de garde-corps
Agrandissement du local technique	Variable
Installation des PAC et grutage	Variable

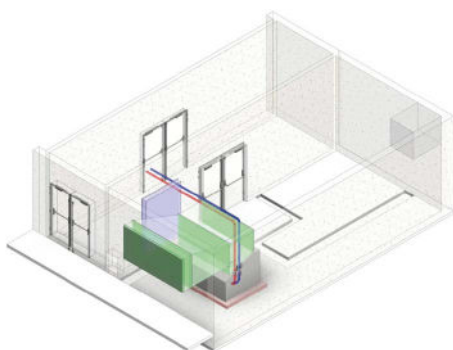
Traitement acoustique ou visuel

Sur ce projet, il n'y a pas de vis-à-vis direct qui nécessiterait un traitement acoustique ou visuel. Pour d'autres projets, la complexité et le coût des traitements peuvent varier fortement.

Des écrans acoustiques (type panneau sandwich double peau) peuvent être simplement mis en œuvre devant les PAC. Il est nécessaire de s'assurer d'une distance minimale entre les PAC

et les panneaux. Il faut compter environ 1 000 € HT/m² de panneau acoustique (souvent d'une hauteur de 1,5 à 2m).

Pour des cas plus complexes, un local technique pourra être créé, avec la mise en place de PAC gainable à l'intérieur. Cette configuration permet de masquer la PAC, mais il conviendra d'être vigilant aux nuisances acoustiques au niveau du rejet d'air.



(Crédit maquette 3D : GIEC)

Génie civil

Des travaux supplémentaires de génie civil pourraient être nécessaires, notamment pour renforcer la toiture. Ces coûts seront très variables suivant la complexité des travaux à prévoir.

Gainage des PAC

Lors d'une installation d'une PAC gainable, les coûts des gaines isolées et le kit de passage du mur peuvent être non négligeables par rapport au coût de la PAC. Sur un bâtiment de 15 logements, le coût supplémentaire est d'environ 10 000 €.

Sécurisation de l'accès en toiture

Sur le bâtiment de 12 logements, l'accès en toiture n'était pas sécurisé. Le montant pour la mise en place de garde-corps s'élève à 8 000 €. À noter que cette sécurisation est utile pour la PAC, mais aussi pour le nouveau caisson de ventilation qui est installé.

Raccordement électrique

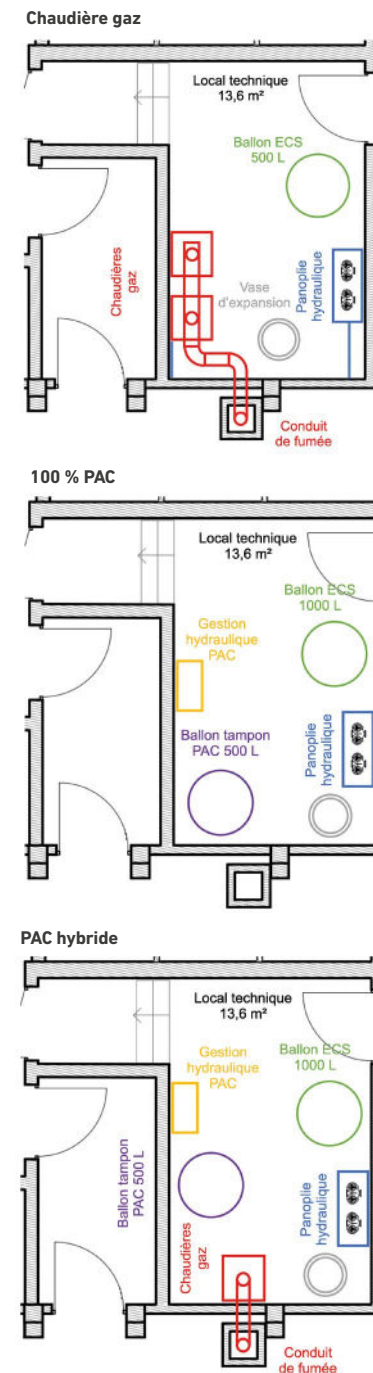
Il y a deux types de coûts supplémentaires liés au renforcement du réseau électrique :

- Sur le réseau électrique urbain, en amont du bâtiment : la partie 4.3 traite de ce sujet
- Sur le réseau électrique au sein du bâtiment. Il est difficile de donner une estimation de ce potentiel surcoût, car il dépend de nombreux paramètres : qualité du réseau électrique existant, puissance de PAC installée...

Agrandissement du local technique

Pour ce bâtiment le local technique existant est situé au sous-sol et sa surface est de 13,6 m². Cela est suffisant pour les trois configurations étudiées et l'accès pour amener les équipements, notamment les ballons ECS, est possible.

Pour les bâtiments où le local technique existant est trop petit, les coûts d'investissement peuvent être très variables. Les solutions possibles sont détaillées dans la partie 4 (conditions d'intégrations).



Installation des PAC et grutage

La mise en œuvre des PAC doit être anticipée suivant le positionnement envisagé. Pour une PAC installée en toiture, le grutage est utilisé systématiquement.

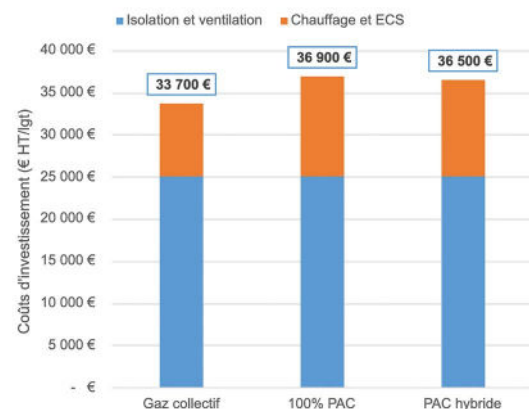
Si la PAC est installée ailleurs (jardin, local technique...), il faudra s'assurer que cet espace est accessible en camion. Sinon, un grutage devra être envisagé pour pouvoir installer la PAC.

Pour le bâtiment de 12 logements, la toiture était facilement accessible via la rue pour permettre un grutage. Les coûts ont été intégrés dans la partie « fourniture et pose de la production ».

+ Synthèse coûts d'investissement

Au global, les coûts d'investissement pour la totalité du projet de rénovation s'élèvent entre 33 000 et 37 000 € HT par logement suivant les scénarios.

Coûts d'investissement rénovation globale du bâtiment de 12 logements



3. Aides financières disponibles

Les aides financières évoluent régulièrement. Au 1^{er} juin 2023, les aides collectives au syndicat des copropriétaires sont les suivantes :

- MaprimeRenov' copropriété, attribuée uniquement si la copropriété réalise des travaux sur les parties communes entraînant une économie d'énergie supérieure à 35 %
- MaprimeRenov' Bonus (sortie de passoire, atteinte de l'étiquette A ou B)
- Les certificats d'économies d'énergie (CEE) et Coup de pouce
- Aides des collectivités locales à la copropriété (non présenté ici)

+ MaprimeRénov'

L'installation de la PAC s'inscrit dans un programme de rénovation globale et performant permettant le déclenchement du dispositif d'aide MaprimeRénov'.

Les aides MaprimeRénov' sont d'environ 7 000 €/lgt pour la rénovation globale du bâtiment étudié de 12 logements.

A noter que pour des ménages aux ressources modestes ou très modestes, le montant des primes supplémentaires est de 1 500 et 3 000 €/lgt.

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
Travaux permettant d'atteindre un gain énergétique d'au moins 35 %	6 250 €/lgt	6 250 €/lgt	6 250 €/lgt
Bonus « sortie de passoire énergétique »	500 €/lgt	500 €/lgt	500 €/lgt
Bonus « Bâtiment Basse consommation »	Non atteint	500 €/lgt	500 €/lgt
Total MaprimeRénov	6 750 €/lgt	7 250 €/lgt	7 250 €/lgt

+ CEE – Pompe à chaleur (BAR-TH-166)

Les certificats d'économies d'énergie sont délivrés pour différents travaux décrits dans plusieurs fiches d'opération standardisées. La mise en œuvre de PAC collective air/eau est encadrée par la fiche BAR-TH-166 - Pompe à chaleur collective de type air/eau ou eau/eau ¹¹. Le montant en kWh cumac délivré par la fiche dépend de :

- La performance thermique de l'installation (exprimée en « Etas »)
- La zone climatique
- La puissance installée de la PAC par rapport à la puissance de la chaufferie (dans le cas d'une PAC hybride)

Le tableau suivant présente une estimation du montant de kWh cumac et une estimation en euros de la valeur de l'aide en zone H1 par appartement (Prix du MWh cumac considéré : 7,7 €).

	100 % PAC	PAC hybride
Etas (efficacité énergétique saisonnière)	Etas ≥ 120 %	111 % ≤ Etas < 120 %
Facteur correctif	1	1 (Puissance PAC est supérieure à 40 % de la puissance chaufferie)
Montant kWh cumac par lgt	65 000	52 000
Montant BAR-TH-166 (€/lgt)	500 €/lgt	400 €/lgt
Coefficient « Coup de pouce chauffage »	Coefficient = 4 (Remplacement d'une chaudière fioul)	
Montant BAR-TH-166 + coup de pouce chauffage (€/lgt)	2 000 €/lgt	1 600 €/lgt

Le montant d'aide de la fiche d'opération standardisée BAR-TH-166 reste donc faible au regard des coûts d'installation d'une pompe à chaleur collective.

À compter du 1er septembre 2022, le Coup de pouce ¹² a été introduit pour favoriser la mise en œuvre de PAC collective en immeuble collectif, lorsque le raccordement au réseau de chaleur alimenté majoritairement par des énergies renouvelables ou de récupération est impossible. Les travaux concernent le remplacement des équipements de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire au charbon, au fioul ou au gaz autres qu'à condensation, au profit d'une pompe à chaleur collective de type air/eau ou eau/eau, conformément à la fiche d'opération standardisée BAR-TH-166. Le volume de certificats d'économies d'énergie délivrés pour une telle opération est alors multiplié par 3. Ce coefficient est porté à 4 lorsque la pompe à chaleur installée vient en remplacement d'une chaudière au charbon ou au fioul. Les montants peuvent ainsi atteindre environ 1600 à 2000 €/logement.

11 - BAR-TH-166

12 - Coup de pouce chauffage

+ CEE – rénovation globale (BAR-TH-145)

En-dehors des aides pour des travaux unitaires, une fiche CEE sur la rénovation globale des immeubles collectifs à laquelle est associé un coup de pouce existe. Les montants de ces derniers sont décrits dans le tableau ci-dessous :

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
Cef initial – Cef final	259	332	320
Montant kWh cumac par lgt	352 841	452 648	436 222
Montant BAR-TH-145 (€/lgt)	2 717 €/lgt	3 485 €/lgt	3 359 €/lgt

Il existe également un Coup de pouce "Rénovation performante de bâtiment résidentiel collectif" ¹³ disponible depuis avril 2022. Le montant de ce coup de pouce dépend du pourcentage de chaleur renouvelable après travaux :

	Pourcentage de chaleur renouvelable après travaux	
Nature des travaux	> 50 %	≤ 50 %
Avec changements d'équipement au charbon ou au fioul	500 €/MWh	300 €/MWh
Autres changements d'équipements	400 €/MWh	250 €/MWh

Étant donné le mode de calcul de la chaleur renouvelable ¹⁴, les PAC air/eau se retrouvent quasi-systématiquement en dessous de 50 % de chaleur renouvelable. Il faut en effet que le SCOP soit supérieur ou égal à 4,6, ce qui n'est pas possible avec des radiateurs traditionnels.

13 - Coup de pouce rénovation globale

14 - Calcul taux de chaleur renouvelable

Le montant du coup de pouce rénovation globale est donc :

Attention, cette aide est non cumulable avec les autres aides issues des CEE (PAC, ITE, menuiseries, ventilation...). Pour ce projet, l'aide pour la rénovation globale (BAR-TH-145) est plus avantageuse que celle spécifique à la PAC (BAR-TH-166). Dans certains cas, il pourra être plus avantageux de combiner tous les CEE unitaires (PAC, ITE, menuiseries, ventilation...) plutôt que l'aide CEE rénovation globale.

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
Cef initial – Cef final	259	332	320
Prime (€ / MWh)	352 841	452 648	436 222
Montant Coup de pouce Rénovation globale (€/lgt)	5 881 €/lgt	7 544 €/lgt	7 270 €/lgt

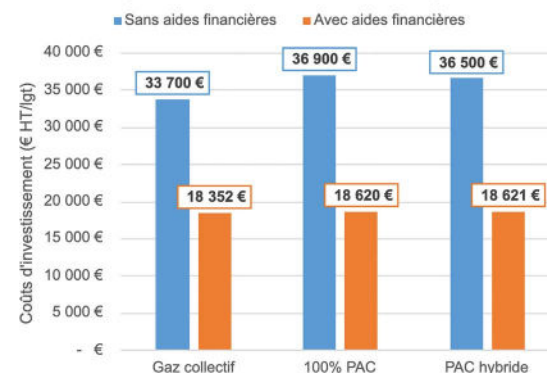
+ Synthèse des aides

Au global, les aides s'élèvent à environ 18 000 €/lgt pour le bâtiment étudié.

Il existe également des dispositifs locaux portés par les communautés de communes ou les régions, mais qui n'ont pas été pris en compte dans ce guide.

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
MaprimeRénov'	6 750 €/lgt	7 250 €/lgt	7 250 €/lgt
Montant BAR-TH-145	2 717 €/lgt	3 485 €/lgt	3 359 €/lgt
Coup de pouce rénovation globale	5 881 €/lgt	7 544 €/lgt	7 270 €/lgt
Total des aides	15 348 €/lgt	18 280 €/lgt	17 879 €/lgt

Coûts d'investissement rénovation globale du bâtiment de 12 logements



4. Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation seront également illustrés sur le bâtiment de 12 logements suivant quatre scénarios :

- État existant : fioul
- État projet : Gaz collectif, 100 % PAC, PAC hybride

+ Abonnement électrique

Dans un premier temps, il faut déterminer la puissance électrique nécessaire pour chaque solution qui permettra de choisir les contrats d'abonnement adaptés. On distingue deux types de contrats d'abonnement mobilisés pour un bâtiment de logements collectifs :

- Tarif bleu si la puissance est < 36 kVA. A la date d'écriture de ce guide, ces tarifs sont régulés et bénéficient d'un bouclier

tarifaire. Ils sont donc à privilégier.

- « Profil tarif jaune » ou raccordement C4, si la puissance se situe entre 36 et 250 kVA. Ces tarifs sont dérégulés. Un bouclier tarifaire est également disponible jusqu'en décembre 2023.

Pour le bâtiment de 12 logements, l'installation de PAC engendrera donc des changements sur les types d'abonnements. Deux abonnements en tarif Bleu suffisent pour les solutions 100 % PAC et PAC hybride pour le bâtiment étudié.

Pour des bâtiments de taille plus importante, les puissances de raccordement électrique seront plus importantes. Le graphique ci-dessous présente des ordres de grandeur pour des bâtiments de 30, 50 et 80 logements.

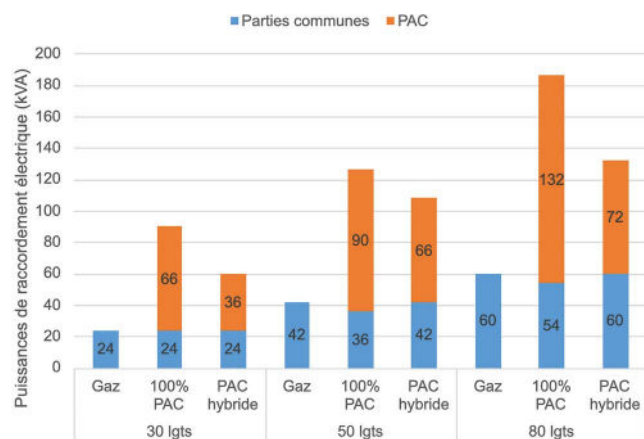
	12 logements			
	État existant	État projet		
	Fioul	Gaz collectif	100% PAC	PAC hybride
Parties communes (éclairage, VMC, interphonie, chaufferie fioul ou 100% gaz)	18kVA	18 kVA	12 kVA	12 kVA
PAC (alimentation électrique, alimentation, équipements hydrauliques)			36kVA	24 kVA
Type et nombre d'abonnements	1 abonnement Tarif bleu	1 abonnement Tarif bleu	2 abonnements Tarif bleu	2 abonnements Tarif bleu
Coût de l'abonnement	284€ TTC/an	284€ TTC/an	715€ TTC/an	715€ TTC/an

Plusieurs stratégies sont possibles pour la souscription des contrats en fonction de la volonté de la copropriété et des contraintes techniques spécifiques.

Pour des bâtiments de très grande taille (supérieurs à 100 logements),

l'alimentation des parties communes et de la PAC peut être répartie sur plusieurs colonnes pour optimiser les types d'abonnements.

Puissances de raccordement électrique (kVA)



+ Contrat de maintenance-exploitation

Après une rénovation globale, il est impératif d'associer un nouveau contrat de maintenance adapté aux équipements techniques présents. Il existe deux guides de référence sur ce sujet :

- ARC : Comment bien négocier son contrat de chauffage (2018)
- ADEME : Contrats d'exploitation de chauffage en copropriétés (2013)

La copropriété doit à minima demander une maintenance préventive des appareils présents, cela se traduit par un contrat de maintenance incluant à minima la prestation P2 « conduite et maintenance des installations ». Néanmoins, chaque copropriété doit évaluer ses besoins et choisir le contrat qui lui semble adapté. Les principaux critères sont :

- Postes de facturation (P1 : Fourniture d'énergie ou de combustible par

l'exploitant/P2 : Maintenance et petit entretien (obligatoire) / P3 : Garantie totale et renouvellement des matériels (gros entretien)/ P4 : Financement de gros travaux de rénovation)

- Types de contrats (PF : Marché « Prestation & Forfait »/ MF : Marché « Forfait »/ MT : Marché « Température »/ MC : Marché « Comptage »/ CP : Marché « Combustible et prestation »)

- Les différentes clauses possibles (Clause d'intéressement/Clause pour un rapport annuel d'exploitation/ Clause de répartition du poste P3/Clause de pénalité/Clause d'évolutivité)

La PAC collective étant un sujet récent, il est préconisé de bien vérifier que l'exploitant a suivi une formation de l'industriel ou d'un organisme indépendant. Pour bien encadrer les contrats de maintenance, il est également conseillé de les inclure dans les CCTP.

Exemple d'ordres de grandeur de tarifs de contrat de maintenance P2 incluant l'entretien d'une production de chaleur mixte (CH+ECS)

	Gaz collectif	100 % PAC	PAC hybride
10 logements	1 000 €	1 200 €	1 500 €
30 logements	3 000 €	3 600 €	4 500 €
50 logements	3 750 €	4 500 €	5 700 €
80 logements	6 000 €	7 200 €	8 000 €

+ Durée de vie des PAC / Pannes récurrentes

Durée de vie des PAC

Les sources documentaires sur la durée de vie des équipements sont peu nombreuses :

- Le Programme PEP ecopasseport fixe les règles des données environnementales (PEP) pour les pompes à chaleur.
- Le « Guide durée de vie conventionnelle des biens et des équipements » de la FEDENE (SYPEMI) dont les durées de vie sont identiques à celles utilisées dans les fiches CEE.

	PEP eco-passeport	FEDENE
Chaudière gaz collective	22 ans	22 ans
Pompe à chaleur collective air/eau	22 ans	20 ans

Pannes récurrentes

Il existe aujourd'hui peu de données sur les pannes fréquentes et leurs récurrences concernant les pompes à chaleur. Une étude de l'AQC « Réparabilité des équipements techniques du bâtiment (Phase 1 en 2017 et Phase 2 en 2019) »

Type de panne	Coût de réparation sur un bâtiment de 12 logements
Compresseur	Prix de dépose, fourniture, pose : 800 à 3 000 € HT
Carte électronique	Prix de dépose, fourniture, pose : 400 à 800 € HT
Fuite de fluides frigorigènes	Prix de fourniture et pose : 300 à 500 € HT

liste les principales pannes rencontrées sur les pompes à chaleur. Le tableau ci-dessous les reprend et associe à chaque panne un ordre de grandeur des coûts engendrés pour un bâtiment de 12 logements.

Origine des pannes et dysfonctionnements

D'après les premiers retours d'expériences, les pannes et baisses de performances ne sont généralement pas liées au générateur, mais bien à la qualité globale de l'installation et de son suivi. Les aspects à maîtriser pour limiter les pannes et les baisses de performances sont les suivants :

- Qualité de l'isolation et de l'équilibrage des réseaux collectifs ECS et chauffage
- Désembouage régulier des réseaux (notamment entre la PAC et le local technique)
- Schémas hydrauliques dysfonctionnels
- Arrêt des PAC en hybride
- Arrêt des PAC et production sur l'appoint électrique de secours
- Mauvaise adéquation entre les besoins réels en température du bâtiment et les capacités de production des PAC : manque de prise en compte des éventuelles baisses de capacité des PAC en fonction du climat extérieur/manque de prise de compte des pertes de températures dans les réseaux de distribution/manque d'optimisation des températures de départ émetteur (loi d'eau)/manque de marge de sécurité entre les températures maximales théoriques de la PAC et les besoins théoriques en températures du bâtiment.

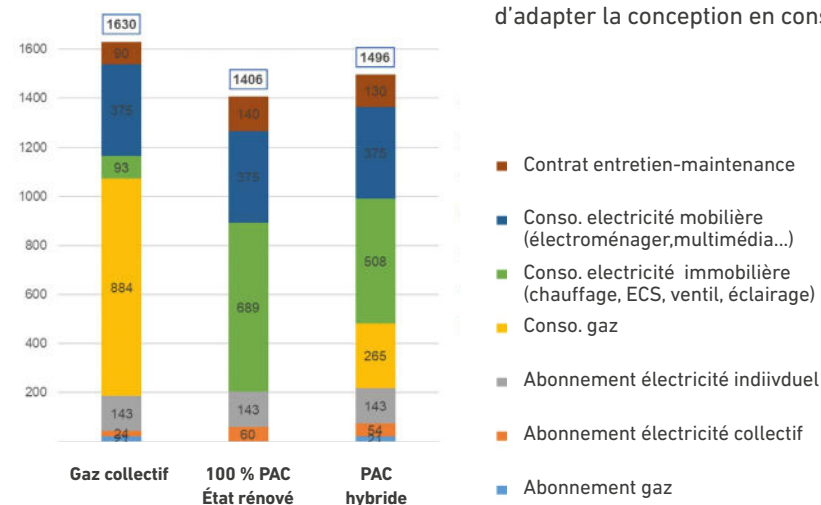
• Inexistence de solution de suivi de performance qui complexifie l'identification des problèmes et des baisses de performances

• Manque de suivi des installations les premières années (pas de lien entre les installateurs et les exploitants/pas d'exploitant missionné la première année, pas d'audit des installations après une première saison de chauffe).

+ Synthèse des coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation pour le bâtiment de 12 logements ont été estimés à partir des hypothèses suivantes :

- Consommations énergétiques issues d'un calcul DPE (méthode 3-CL)
- Coût du kWh (Gaz : 0,11 €/kWh ; Électricité : 0,21 €/kWh)



• Abonnement (Gaz collectif : 250 €/an ; abonnement électricité individuel : 143 €/an ; abonnement électricité collectif : voir parties ci-dessus)

• Contrat entretien/maintenance : voir parties ci-dessus

Le graphique ci-dessous compare les coûts d'exploitation pour les trois solutions étudiées. Les coûts d'exploitation pour une solution en PAC collective apparaissent moins élevés, malgré une maintenance et un coût d'abonnement plus élevé.

Nota : à l'état initial, les coûts d'exploitation s'élevaient à 3 000 € TTC par logement et par an.

Pour les copropriétés de plus grandes tailles, avec des abonnements « profil type tarif jaune », soumis à des tarifs dérégulés, il est fortement conseillé d'accompagner la copropriété pour négocier son contrat (par un bureau d'études spécialisé par exemple) et éventuellement d'adapter la conception en conséquence.

6. DÉROULÉ TYPE D'UN PROJET PAC EN COPROPRIÉTÉ



AVANT L'AG : Le syndic doit obtenir des devis et l'ensemble des diagnostics obligatoires pour la phase conception MOE (plombs, amiante, Bureau de contrôle, CSPS).

Spécificités PAC :

Des devis complémentaires peuvent également être nécessaires :

- BET structure (obligatoire si PAC en toiture)
- BET acoustique (obligatoire dès le moindre risque)
- BET spécialisé dans le suivi de performance (si BET fluides non compétent)
- Étude Photovoltaïque dans le cadre d'autoconsommation

Lors de l'AG : mettre au vote les devis



AG Choix du prestataire

PRÉPARATION DU DIAGNOSTIC

RECHERCHE D'INFORMATIONS ET DE CONSEILS

RÉALISATION DU DIAGNOSTIC ET PROPOSITION DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS

Spécificités PAC :

- Emplacement envisagé de la PAC (impact acoustique, structurel, visuel, PLU...)
- Emplacement et encombrement envisagé du local technique (espace disponible et accès)
- Évaluer l'impact sur le raccordement électrique
- Évaluer la qualité des réseaux hydrauliques
- Identification des températures de production chauffage et ECS
- Identification du fonctionnement du schéma hydraulique existant
- Visite de l'installation existante avec l'exploitant
- Avis du fabricant sur la conception envisagée



CONCEPTION DU PROJET

AG

Choix d'un maître d'œuvre et d'un assistant à maîtrise d'ouvrage

CONCEPTION DU PROGRAMME DE TRAVAUX ET DU PLAN DE FINANCEMENT

Spécificités PAC :

- Choix d'une PAC adaptée à la configuration (température de production, émetteurs...)
- Validation de l'implantation par le BET structure et acoustique
- Consultation du gestionnaire du réseau électrique
- Mesure acoustique du bruit environnant (dès le début de la conception)
- Validation du bureau de contrôle (étanchéité en toiture, PAC en local technique...)
- Définition du plan de comptage et stratégie du suivi de performance en exploitation
- Avis du fabricant sur la conception

Vote des travaux

AG

RÉALISATION DES TRAVAUX

MOBILISATION DES AIDES ET FINANCEMENTS

FIN AVP : Présentation du projet de rénovation au conseil syndical et au syndic. Présentation du programme de travaux et de ces incidences.

CONSULTATION DES ENTREPRISES

RÉCEPTION DES TRAVAUX ET DE LA FERMETURE DE LA CAMPAGNE DE TRAVAUX EN ASSEMBLÉE

SUIVI DES CONSOMMATIONS

RÉALISATION DES TRAVAUX PAR LES ENTREPRISES SÉLECTIONNÉES

Spécificités PAC :

- 2 passages conseillés du fabricant sur chantier (pré-visite et mise en service)
- Instrumentation à poser pour le suivi de performance



JOUISSANCE DU CONFORT DE SON LOGEMENT

Spécificités PAC :

- Mise en place d'une mission de suivi d'exploitation par un BET
- Réunion de passation entre le BET fluides, le syndic, le conseil syndical, l'installateur et le futur exploitant
 - Mesure acoustique de réception à prévoir si besoin



7. SOLUTIONS DE SUIVI DES PERFORMANCES



Dans un premier temps, il faut concevoir l'instrumentation à poser afin d'effectuer le suivi de performance. Une fois collectées, les nombreuses données doivent être analysées et diffusées. Il est préconisé de prévoir deux niveaux de suivi :

- Un niveau de **suivi technique** pour le bureau d'études qui accompagne la copropriété
- Un niveau de **suivi pédagogique** pour le conseil syndical et le syndic

Cette différenciation est importante afin de permettre à chaque partie de s'approprier le suivi de l'installation en fonction de son niveau de connaissance.

+ Instrumentation à poser

Il est nécessaire de prévoir une instrumentation pour faire le suivi énergétique de l'installation et s'assurer de son bon fonctionnement. Les compteurs et les sondes doivent être communicants ou équipables ultérieurement pour permettre la remontée automatisée d'informations.

Pour la partie production de chaleur, il est préconisé de prévoir les éléments suivants :

- Un compteur d'énergie électrique par PAC (à positionner dans le tableau électrique)
- Un compteur d'énergie électrique par appoint électrique si indépendant de la PAC (à positionner dans le tableau électrique). Si un appoint électrique est présent dans la PAC, il faut privilégier les PAC en capacité d'informer sur l'énergie consommée par l'appoint

- Un compteur d'énergie gaz si installation hybride (à positionner sur la canalisation gaz)

- Une sonde de température primaire sur l'aller et le retour de la cascade de PAC

- Une sonde de température primaire sur l'aller et le retour de la cascade de la chaudière gaz

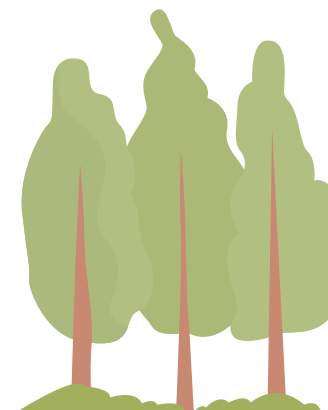
Pour la partie secondaire, il est préconisé de prévoir les éléments suivants :

- Un compteur d'énergie pour chaque boucle chauffage et ECS

- Des sondes de température : Primaire aller/retour des boucles chauffage ; Stockage ballon ECS et/ou tampon ; Départ distribution ECS ; Bouclage ECS

- Un compteur EF dédié à la production d'ECS.

Suivant les fabricants, certains compteurs ou sondes sont déjà intégrés dans les PAC, chaudière gaz, pilote hydraulique, le régulateur... L'instrumentation à



poser doit être conçue au cas par cas. Il faut être vigilant à l'enregistrement et à la transmission des données. Dans certains cas, les données peuvent être envoyées automatiquement, et dans d'autres non, il faudra venir les récupérer sur site. Des enregistreurs de température ou d'énergie peuvent être nécessaires.

Lorsque la PAC produit deux usages (ECS et chauffage) et lorsque l'objectif est de déterminer distinctement le COP ECS et le COP chauffage, le suivi peut s'avérer plus complexe. Il faut mesurer à faible intervalle (minute par minute) la puissance PAC et la chaleur transmise au circuit primaire de chaque usage.

EN BREF

Le choix de l'instrumentation à poser devra être réalisé dès la phase conception, par le BET fluides ou un BET spécialisé dans le suivi de performance (si le BET fluides ne possède pas cette compétence).

+ Suivi technique des installations

Suivi technique global

Lors de la première année à minima, le BET fluides ou spécialisé doit effectuer un bilan énergétique de l'installation afin de vérifier la performance globale. Pour cette analyse, il est nécessaire de différencier les principales périodes :

- Hiver : production de chauffage et d'ECS
- Été : production d'ECS

Il est conseillé de passer un contrat d'un an renouvelable avec le BET en charge du suivi d'exploitation. Si l'installation a fonctionné correctement, des consommations de référence pourront être établies.

Dans le cas où des dysfonctionnements seraient constatés, il faudra réaliser une analyse plus précise de l'installation l'année suivante et renouveler le contrat jusqu'à ce que l'installation fonctionne correctement.

Suivi technique détaillé

Lorsque des dysfonctionnements sont constatés, le BET pourra réaliser un suivi technique détaillé avec l'exploitant. Cela permettra d'analyser de manière plus concrète le fonctionnement des équipements.

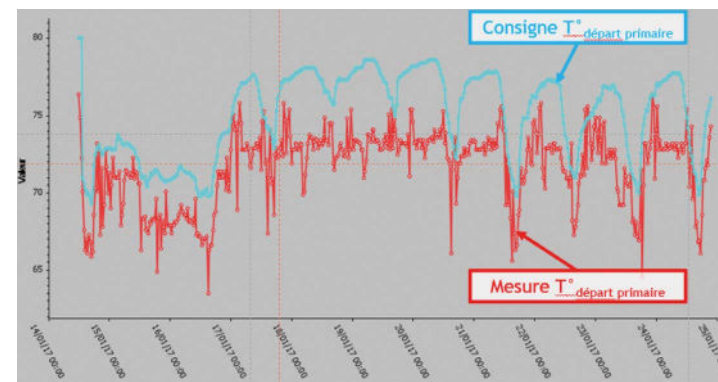
Dans ce cas, le suivi des différents points de fonctionnement de l'installation est étudié, notamment en superposant les températures mesurées de l'installation avec les températures théoriques de consigne.

Par exemple, le graphique ci-dessous compare :

- La température mesurée de la cascade
- La température de consigne de production de la cascade

Pour ce cas précis, il y a un décalage entre la température de consigne et la température de départ. Cela implique soit un inconfort des occupants, soit une température de consigne plus élevée pour compenser les défauts du réseau (donc une perte d'efficacité).

Exemple de graphique du suivi de la production de chaleur



EN BREF

Lors de la première année à minima, il est conseillé qu'un bureau d'études indépendant réalise le suivi d'exploitation. Cela donne la possibilité de vérifier le bon fonctionnement de l'installation.

Si l'installation fonctionne correctement, cela permettra également à la copropriété d'établir **des consommations annuelles de référence**. Chaque année, elle pourra ensuite comparer ces consommations à cette année de référence.

+ Suivi pédagogique et diffusion des bilans de performances

Il est important que le conseil syndical et le syndic puissent suivre correctement le fonctionnement. Pour cela, il faudra mettre en place des outils pédagogiques pour faciliter le suivi. On peut identifier deux niveaux de suivi :

- Suivi simplifié : en se basant sur les factures (et correction DJU)
- Suivi détaillé : en se basant sur les factures et les compteurs (et correction DJU)

Ce suivi permet aussi d'assurer une continuité, car il n'est pas rare que lors d'un changement d'exploitant, la transmission des données s'avère compliquée.

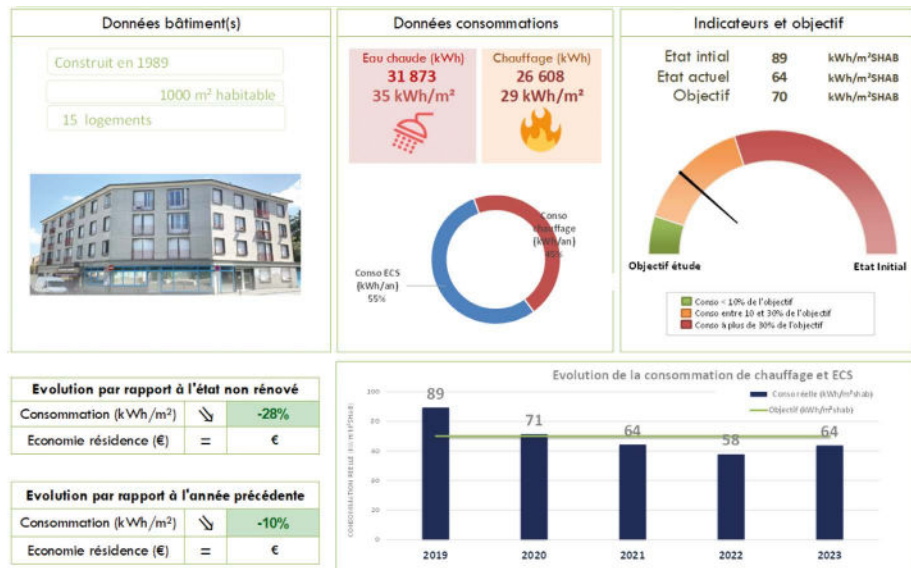
Suivi pédagogique simplifié

Le niveau de suivi simplifié se base uniquement sur les factures mensuelles. Il se veut très simple pour faciliter les échanges. Si la copropriété a une volonté d'approfondir le sujet, il peut être possible de réaliser un suivi pédagogique détaillé avec calcul du COP annuel, taux de couverture... (voir partie suivante).

Pour un suivi pédagogique simplifié, il conviendra donc d'isoler les compteurs électriques des PAC des parties communes. Si ce n'est pas possible, il faudra donner à la copropriété des ordres de grandeur de consommations électriques des parties communes (ascenseurs, parking...).

Résidence Les Tilleuls - Tableau de bord énergétique 2023

Exemple de tableau de bord possible grâce au suivi des factures



Le bureau d'études pourra créer un outil via un tableur, où les seules données d'entrées sont les DJU et les consommations mensuelles des factures. Au préalable, il conviendra de montrer à la copropriété comment trouver les DJU, qui sont facilement accessibles sur internet.

Pour fixer l'année de référence, il faudra utiliser les consommations de la première année où l'installation a correctement fonctionné. Cette année de référence devra être déterminée avec le BET réalisant le suivi d'exploitation lors de la première année (ou des années suivantes s'il y a eu des dysfonctionnements).

Ce type de suivi permettra d'identifier des éventuels dysfonctionnements d'une année à l'autre, et ensuite d'alerter l'exploitant.

EN BREF

Pour que la copropriété puisse suivre simplement l'installation, elle aura besoin :

- Des consommations annuelles de référence établies par le BET lors de la première année de bon fonctionnement
- Un outil facile d'utilisation se basant sur les factures

Suivi pédagogique détaillé

Pour aller plus loin, il est possible d'utiliser les factures, mais également de relever les différents compteurs de l'installation. Pour cela, l'Association des Responsables de Copropriété (ARC) propose une méthode pour suivre les consommations de chauffage et d'ECS

dans son guide sur le « Bilan Énergétique Simplifié »¹⁵.

À destination du conseil syndical et du syndic, ce guide a été rédigé pour les chaudières gaz, fioul, réseau de chaleur ou chaudières électriques collectives. Néanmoins, les principes décrits sont applicables aux installations de PAC collectives.

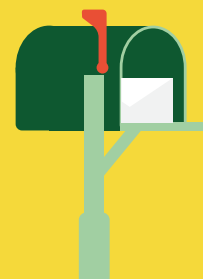
Pour effectuer un suivi détaillé ou simplifié, il est préconisé de déléguer ce rôle de suivi à un copropriétaire volontaire et connaisseur. Les copropriétés dotées d'un tel " leader énergétique " ont généralement un suivi plus précis et les risques de dérives peuvent être limités.

POUR ALLER PLUS LOIN

Effinergie et Envirobat BDM ont rédigé un guide méthodologique sur « Comment suivre la performance d'un bâtiment ». Ce guide est plutôt à destination des maîtres d'ouvrages et permet d'approfondir de nombreux sujets (réglementation, les acteurs, méthodologie, retours d'expériences...). Cependant, les solutions techniques et la mise en œuvre de l'instrumentation ne sont pas abordées.

15 - Suivre ses consommations de chauffage : le bilan énergétique simplifié (BES)

8. RETOURS D'EXPÉRIENCES D'APPLICATION PAC EN LOGEMENTS COLLECTIFS



RÉSIDENCE ÉTANG PILLER



ST DIÉ DES VOSGES (88)
16 LOGEMENTS

RÉALISATION

- Maître d'ouvrage : Toit Vosgien
- Fabricant : Auer - Intuis
- Bureau d'études : Terranergie
- Livraison : 2018

PRODUITS INSTALLÉS

- ZéPAC70 35 kW – INTUIS
- 1 VS 1000 l - INTUIS

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Le bâtiment a fait l'objet d'une rénovation globale très performante, afin d'atteindre le label Passivhaus : ITE, isolation de la toiture et du plancher bas, menuiseries triple vitrage, ventilation double-flux. Une pompe à chaleur double service (chauffage et ECS) a été installée pour



remplacer la chaudière fioul collective et les chauffe-eau gaz individuels. La toiture étant à deux pans, les PAC ont été installées dans un local ouvert sur l'extérieur au rez-de-chaussée. **Le projet est situé à une altitude de 350 m, soit une température de référence de -15°C.**



RÉSIDENCE RUE DE BRETAGNE



GERARDMER (88)
40 LOGEMENTS

RÉALISATION

- Maître d'ouvrage : Toit Vosgien
- Fabricant : Auer - Intuis
- Bureau d'études : Terranergie
- Installateur : SARL Maurice Alexandre
- Année de construction : 1967 & 1974
- Livraison : 2020

PRODUITS INSTALLÉS

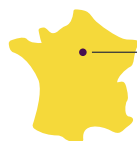
- 2 ZéPAC70 50 kW – INTUIS
- 1 VS 2000 l - INTUIS

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Le bâtiment a fait l'objet d'une rénovation globale très performante, afin d'atteindre le label Passivhaus : ITE, isolation de la toiture et du plancher bas, menuiseries triple vitrage, ventilation double-flux et panneaux photovoltaïque. Une pompe à chaleur double service (chauffage et ECS) a été installée pour remplacer la chaudière fioul collective et les chauffe-eau gaz individuels. La toiture étant à deux pans, les PAC ont été installées dans le jardin. **Le projet est situé à une altitude de 670 m, soit une température de référence de -21°C.**



RÉSIDENCE ANTIN FLEUR DE LYS



GONESSE (95)
32 LOGEMENTS

PRODUITS INSTALLÉS

- Hydragreen – Atlantic
- Ballon Hydragreen 1500 L - Atlantic



RÉALISATION

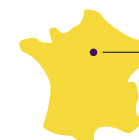
- Maître d'ouvrage : Antin Résidence
- Fabricant : Atlantic
- Bureau d'études : Best Énergie
- Installateur : CIEC
- Année de construction : -
- Livraison : 2018

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Avant rénovation, la résidence était équipée d'une production ECS solaire thermique, avec 48 m² de capteurs et deux ballons de 1500 L, dont un avec appoint électrique.

La production solaire était non opérationnelle, et a été remplacée par une PAC Hydragreen de 30 kW associée à un ballon de 1500 L. La PAC est dimensionnée pour produire la totalité du besoin sans appoint ainsi que le réchauffage de la boucle ECS.

RUE DE LA CHAPELLE



PARIS (75)
96 LOGEMENTS

RÉALISATION

- Maître d'ouvrage : I3F
- Fabricant : Fabricant : Auer - Intuis
- Bureau d'études : Pouget Consultants
- Installateur : GTM Bâtiment
- Année de construction : 1978
- Livraison : 2022

PRODUITS INSTALLÉS

- 2 HRC70 35 kW – Intuis
- 5 ballons ECS 1000 L – Intuis
- 1 ballon réchauffeur de boucle 500 L - Intuis



INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

À l'état existant, l'ECS était assurée par des ballons électriques individuels. Deux PAC HRC70 ont été installées en remplacement lors d'une rénovation globale.

Le chauffage est resté individuel avec des panneaux rayonnants électriques.

Les PAC ont été installées sur la toiture terrasse et aucune habitation n'a de vue directe dessus.

9. GLOSSAIRE

ADEME • Agence de l'environnement et la maîtrise de l'énergie

AFPAC • Association française de la pompe à chaleur

AG • Assemblée générale

QC • Agence Qualité Construction

ARC • Association des responsables de copropriété

AVP • Avant-projet

BA • Béton armé

BBC • Bâtiment Basse Consommation

BET • Bureau d'études

BT • Basse tension

CEE • Certificats d'économies d'énergie

COP • Coefficient de performance énergétique. Il sert à mesurer le rendement d'une pompe à chaleur. Il s'agit du ratio entre l'énergie utilisée et la chaleur produite

COSTIC • Comité scientifique et technique des industries climatiques

CSPS • Coordinateur de sécurité et de protection de la santé

DT • Delta de température entre la température moyenne du radiateur et la température d'ambiance de la pièce

DPE • Diagnostic de performance énergétique

ECS • Eau chaude sanitaire

EF • Eau froide

EnR • Énergie renouvelable

FEDENE • Fédération des services énergie environnement

HA • Acier haute adhérence

HTA • Haute tension

ITE • Isolation thermique par l'extérieur

MOE • Maîtrise d'œuvre

PAC • Pompe à chaleur

PAC hybride • Pompe à chaleur associée à un autre générateur de chaleur (gaz, fioul, RCU). Dans ce guide, il est considéré que le générateur complémentaire est une chaudière gaz

PEP • Profil environnemental produit

PLU • Plan local d'urbanisme

PU • Polyuréthane.

PV • Photovoltaïque

RCU • Réseau de chaleur urbain

RE2020 • Réglementation environnementale 2020

RT2012 • Réglementation thermique 2012

SAS • Local intermédiaire situé entre deux pièces, ou entre deux milieux, pour lesquels on veut éviter une communication directe

SYPEMI • Syndicat des professionnels du *facility management*

3CL • Calcul de consommations conventionnelles. C'est la méthode réglementaire pour réaliser des DPE

À PROPOS

Rénovons collectif

Rénovons collectif est un dispositif financé par le ministère de la Transition Écologique qui vise à sensibiliser l'ensemble des acteurs publics et privés afin d'amplifier les demandes de rénovation énergétique des copropriétés. Porté par la participation de 57 collectivités, le programme est un projet ambitieux au service de la lutte contre le réchauffement climatique, c'est également le premier qui touche autant de copropriétés. Ainsi, ce sont plus de 92 500 copropriétés de plus de 10 lots qui sont concernées par tout sur le territoire, avec une sensibilisation plus large de 24.6 millions d'habitants soit 1/3 de la population française.

www.renovonscollectif.fr

Contact :
recif@idf-energies.fr

Pouget Consultants

Pouget Consultants est une société de conseils et d'ingénierie en efficacité énergétique et environnementale des bâtiments créée en 1982 et référente auprès des pouvoirs publics. Notre mission : agir aujourd'hui sur l'efficacité énergétique des bâtiments neufs et existants pour un futur durable et désirable. Au fil des ans, nous avons enrichi notre savoir-faire historique en thermique pour proposer une expertise globale en décarbonation. Nous rassemblons une équipe pluridisciplinaire de plus de 90 experts et expertes engagés dans la réussite des projets de nos clients et partenaires. La force de nos accompagnements vient de nos ajustements permanents entre expérience historique, savoir-faire, connaissances réglementaires et réalités du terrain. Nous accompagnons chacun de nos clients dans la recherche des solutions optimales conciliant expertise opérationnelle, recherche et innovation. Chaque jour, nous nous employons à faire de notre bureau d'étude, une entreprise dynamique et optimiste où chacun et chacune à toute sa place dans la simplicité et l'authenticité.

www.pouget-consultants.eu

INSTALLER DES POMPES À CHALEUR COLLECTIVES EN COPROPRIÉTÉ

Syndics
Pour tout connaître de la rénovation énergétique en copro, il y a forcément une formation faite pour vous !



RÉNOVONS COLLECTIF
FORMATION

- ✓ 9 FORMATIONS COMPLÉMENTAIRES
- ✓ PROFESSIONNALISANTES
- ✓ EN PRÉSENTIEL

renovonscollectif.fr/
[#formation-syndic](https://twitter.com/formation-syndic)

Pour tout savoir sur la rénovation énergétique en copro, comme Maryse, je m'inscris au MOOC Réno Copro !



Réno Copro
MOOC

- ✓ GRATUIT
- ✓ DEPUIS CHEZ VOUS
- ✓ À VOTRE RYTHME

mooc-batiment-durable.fr

RÉNOVONS COLLECTIF

LE PROGRAMME DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES COPROPRIÉTÉS

