



DGALN/DHUP/QC4

Tour Séquoia

1 place Carpeaux

92800 Puteaux

Tel : 07 50 08 04 81



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Etude sur les freins et leviers à la diffusion de la
pompe à chaleur en logement collectif
DGALN/DHUP/QC4**

Version pour diffusion large

Directeur de mission :

Charles ARQUIN - charles.arquin@pouget-consultants.fr

Responsable de mission :

David LEBANNIER – david.lebannier@pouget-consultants.fr

Julien PARC – julien.parc@pouget-consultants.fr

Paris, octobre 2022

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
2. SYNTHESE DE L'ETUDE	6
3. ETAT DE L'ART DES SOLUTIONS.....	8
4. BESOINS DU BATIMENT ET CAPACITE DE L'OFFRE PAC	10
4.1. LES BESOINS DU BATIMENT	10
<i>Température de référence extérieure.....</i>	<i>10</i>
<i>Besoin en température pour le chauffage.....</i>	<i>10</i>
<i>Besoin en température pour l'ECS</i>	<i>12</i>
<i>Isolation, équilibrage et désembouage des réseaux de distribution : les impacts sur les besoins en température</i>	<i>13</i>
4.2. EVOLUTION DES CAPACITES ET PERFORMANCES DES PAC AIR / EAU EN FONCTION DES CONDITIONS DE PRODUCTION	15
<i>Evolution des COP et puissance en fonction des conditions de températures :</i>	<i>15</i>
4.3. ANALYSE DE L'OFFRE DE SOLUTIONS COLLECTIVES AIR / EAU 100% ELECTRIQUE	16
<i>Synthèse des capacités de l'offre</i>	<i>16</i>
<i>Choix des capacités de la PAC au regard des besoins du bâtiment.....</i>	<i>17</i>
<i>Taille de bâtiment adressable.....</i>	<i>17</i>
<i>Variation du SCOP annuel.....</i>	<i>18</i>
4.4. ANALYSE DE L'OFFRE DE SOLUTION COLLECTIVE AIR / EAU HYBRIDE GAZ	19
<i>Les différents types d'hybridation.....</i>	<i>19</i>
<i>Synthèse des capacités de l'offre de solutions disponibles</i>	<i>20</i>
<i>Les enjeux de la PAC hybride collective.....</i>	<i>20</i>
4.5. LES ENJEUX DU DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS COLLECTIVES	21
<i>Les critères à considérer lors du dimensionnement et les méthodes disponibles.....</i>	<i>21</i>
<i>Les risques liés à l'évolution des besoins du bâtiment postérieur à l'installation des PAC :</i>	<i>21</i>
4.6. INTEGRATION DES PAC AIR / EAU COLLECTIVE	22
<i>Besoin Aéraulique des PAC Air / Eau</i>	<i>22</i>
<i>Cohabitation des chaudières et PAC dans un même local.....</i>	<i>23</i>
<i>Impact acoustique des PAC et les réglementations existantes.....</i>	<i>23</i>
<i>Encombrement et impact visuel des PAC Air / Eau collective.....</i>	<i>24</i>
<i>Accès à l'équipement.....</i>	<i>24</i>
5. MARCHE ACTUEL DE LA PAC	25
5.1. BIBLIOGRAPHIE ET METHODOLOGIE	25
5.2. SYSTEME DE CHAUFFAGE DES BATIMENTS EXISTANTS	26
5.3. MARCHE DE LA CONSTRUCTION NEUVE RT2012	27
5.4. LES VENTES EN 2020	28
5.5. MARCHE EUROPEEN.....	29
<i>Allemagne.....</i>	<i>29</i>

Autriche.....	29
5.6. CONCLUSION.....	31
6. CONSTRUCTION.....	32
6.1. POSITIONNEMENT DES SOLUTIONS EN RE2020.....	32
<i>Présentation des solutions testées :</i>	32
<i>Indicateur Ic Construction : impact carbone des équipements et matériaux.....</i>	32
<i>Indicateur Ic Energie et Cep : impact carbone des équipements et matériaux.....</i>	35
<i>Condition d'intégration de la production de froid.....</i>	37
<i>Spécificités de la zone H2d et H3 en zone de bruit forte.....</i>	37
6.2. POSITIONNEMENT ECONOMIQUE DES SOLUTIONS EN 2025.....	39
<i>Coût d'investissement.....</i>	39
<i>Coût d'exploitation.....</i>	40
6.3. SYNTHÈSE COMPARATIVE DES SOLUTIONS ET IDENTIFICATION DES OPPORTUNITÉS.....	42
6.4. TYPOLOGIE DES BATIMENTS CONSTRUITS EN 2019.....	43
6.5. EVALUATION DU MARCHÉ DE 2025-2026 ET DES CAPACITÉS DES INDUSTRIELS.....	43
6.6. LES INCIDENCES DES PAC EN TERMES DE RACCORDEMENT AU RESEAU ELECTRIQUE.....	45
6.7. CONCLUSION.....	46
7. RENOVATION.....	47
7.1. ENJEUX SPECIFIQUES A LA RENOVATION POUR LE DEPLOIEMENT DES PAC.....	47
<i>Capacité d'intégration des pompes à chaleur individuelles en immeubles collectifs.....</i>	47
<i>Capacité d'intégration des pompes à chaleur collectives en immeubles collectifs.....</i>	47
<i>Régime de température des émetteurs existants et niveau d'isolation.....</i>	49
<i>Passage de productions individuelles à des productions collectives.....</i>	50
<i>Les incidences de la mise en œuvre de PAC vis-à-vis du raccordement au réseau électrique.....</i>	51
<i>Coût d'exploitation.....</i>	52
7.2. APPLICATION « FICTIVE » DE PAC COLLECTIVES SUR DES BATIMENTS EXISTANTS « REELS ».....	53
<i>Bâtiment 2 - 64 logements à Boulogne (92) - Gaz collectif à l'état initial.....</i>	53
<i>Bâtiment collectif de 30 lgts (gaz individuel à l'état existant).....</i>	56
<i>Synthèses des enseignements de ces applications.....</i>	57
7.3. LES OPPORTUNITÉS POUR LA PAC EN RENOVATION.....	58
<i>Synthèse des enjeux des différentes stratégies de déploiement des PAC collectives.....</i>	58
<i>Synthèse des critères de choix des solutions PAC en fonction du contexte.....</i>	60
<i>Sortie étiquette DPE E, F et G et atteinte de l'étiquette A et B : quelles opportunités pour les PAC ?.....</i>	60
<i>Bilan des aides financières mobilisables pour la mise en œuvre PAC.....</i>	61
7.4. IDENTIFICATION DES SEGMENTS DE PARC NATIONAL COMPATIBLES AVEC LE DEPLOIEMENT DES PAC.....	64
<i>Méthodologie.....</i>	64
<i>Faisabilité technico-économique des solutions de PAC en rénovation d'immeubles collectifs.....</i>	65
7.5. EVOLUTION DU MARCHÉ DE LA PAC D'ICI 2025.....	68
7.6. CONCLUSION.....	69

8. REGLEMENTATION	70
8.1. VALORISATION DES PAC DANS LES METHODES DE CALCULS REGLEMENTAIRES (DPE, RT EXISTANT ET RE2020).....	70
8.2. INCIDENCES DES REVISIONS DE LA F-GAS	72
8.3. PLU	74
9. ANNEXE	75
9.1. ANNEXE 1 : FICHES SOLUTIONS.....	75
<i>Fiche n°1 : Solution collective - ECS</i>	75
<i>Fiche n°2 : Solution collective - ECS</i>	77
<i>Fiche n°3 : Solution collective - Chauffage – Air extérieur</i>	79
<i>Fiche n°4 : Solution collective – Chauffage (Option ECS) – Air extérieur</i>	81
<i>Fiche n°5 : Solution collective - ECS et chauffage – Air extérieur</i>	83
<i>Fiche n°6 : Solution collective – ECS et chauffage – Air extérieur, sol ou eau</i>	86
<i>Fiche n°7 : Solution collective – ECS et chauffage – géothermie</i>	88
<i>Fiche n°8 : Solution collective – ECS et/ou chauffage hybride – air extérieur</i>	90
<i>Fiche n°9 : Mixte individuelle/collective – ECS – air extérieur</i>	92
<i>Fiche n°10 : Mixte individuelle/collective – ECS et chauffage – air extérieur</i>	94
<i>Fiche n°11 : Solution individuelle – ECS – air extérieur ou air extrait</i>	96
<i>Fiche n°12 : Solution individuelle – Chauffage – air extérieur</i>	98
<i>Fiche n°13 : Solution individuelle – ECS et chauffage – air extérieur</i>	100
<i>Fiche n°14 : Solution individuelle – ECS et chauffage hybride – air extérieur</i>	102
<i>Fiche n°15 : Solution individuelle – ECS et chauffage partiel – air extérieur</i>	104
<i>Fiche n°16 : Solution individuelle – ECS et chauffage – air extrait</i>	106
9.2. ANNEXE 2 : GISEMENT POUR L'INSTALLATION DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE PAC EN RENOVATION... 108	
<i>PAC Air / Eau collective en Chauffage (fiche n°5) ou PAC Air / Eau hybride collective Double Service</i> 109	
<i>PAC Air / Eau hybride collective en chauffage uniquement (fiche n°8)</i>	111
<i>PAC Air-Air individuelle MONO-split (fiche n°12)</i>	113
<i>PAC Air-Air individuelle Multi-split (fiche n°12)</i>	115
<i>PAC Air eau individuelle (fiche n°13)</i>	117
<i>CET sur air extrait (fiche n°11)</i>	119
<i>CET sur air extérieur (fiche n°11)</i>	121
<i>PAC Air / Eau ECS collective (fiche n°1)</i>	123

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objet initial de cette étude est de mettre à disposition de l'administration une étude sur les perspectives de développement de la pompe à chaleur en logement collectif en identifiant les freins et les leviers à la diffusion de ce système. L'étude porte à la fois sur la construction et la rénovation de logements. Seuls les aspects techniques et les conclusions générales de l'étude sont diffusés ici.

2. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE

En construction neuve, comme en rénovation, la mise en œuvre de solutions thermodynamiques pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) permet dans une large majorité des cas de contribuer de manière importante à la réduction des émissions de gaz à effets de serre. Si en maison individuelle, l'évolution de la réglementation dans la construction neuve (RT 2012) et des aides financières en rénovation ont contribué à largement diffuser les solutions de PAC ces dernières années, la mise en œuvre de PAC en immeuble collectif reste aujourd'hui marginale.

L'étude évalue l'ensemble des freins et leviers permettant la diffusion des solutions de PAC en immeuble collectif. Les conclusions proposées ici s'appuient à la fois sur une analyse des marchés existants, tant au niveau de l'offre que de la demande, sur les retours d'expérience de l'ensemble de filière et sur une évaluation des contraintes techniques, organisationnelles et financières qui permettent la mise en œuvre des solutions sur le terrain.

La diffusion des solutions de pompes à chaleur en immeuble collectif représente un véritable défi pour la filière. De nombreux freins sont ainsi à lever pour garantir un déploiement qualitatif des solutions.

Une offre disponible mais peu mature

La disponibilité d'une offre mature et adaptée à ce marché est ainsi le premier enjeu. Les solutions de pompes à chaleurs adaptées au résidentiel collectif existent et sont disponibles, mais une partie importante des offres sont émergentes et manquent de maturité.

Des évolutions de l'offre pourraient faciliter le traitement de certains segments du marché :

- L'essor de solutions PAC intérieures monoblocs individuelles de faible puissance et l'essor de solutions PAC desservant 3-4 logements, pour simplifier le traitement de la construction de petits immeubles de 5 à 15 logements.
- Le développement de PAC haute température de grosse puissance pour consolider le panel d'offre disponible, faciliterait l'essor de la solution pour le traitement de bâtiment de grande taille.
- La montée en puissance des PAC géothermiques qui est une solution performante pour limiter les incidences visuelles, acoustiques des PAC Air/Eau et garantir des conditions de fonctionnement optimales. Il existe un tissu d'industriels prêt à intervenir sur ce segment de marché qu'est le logement collectif.

De manière générale le marché de la construction neuve est plutôt bien couvert par les offres disponibles. Ces offres sont pour certaines mobilisables sur le marché de la rénovation. Néanmoins il semble important de faire émerger des offres conçues pour répondre aux spécificités de la rénovation.

Le fort enjeu de montée en compétences de l'ensemble des acteurs

L'étude montre que les principaux freins au développement de la PAC ne sont pas techniques mais concernent la montée en compétence des acteurs, le manque de retour d'expérience et l'organisation, les moyens et l'accompagnement de l'ensemble de la filière. En effet, ces points sont centraux pour expérimenter puis massifier la mise en œuvre des solutions :

- Les concepteurs, installateurs et exploitants ne disposent pas de règles de l'art claires pour encadrer le dimensionnement et l'exploitation des solutions de PAC collectives Air / Eau. Cet enjeu est d'autant plus fort que la performance réelle des installations de PAC collectives est plus sensible à la qualité de la conception, de l'installation et de l'exploitation que les solutions courantes à ce jour.
- La filière possède peu de retour d'expérience sur la qualité et les performances réelles des installations de PAC collectives Air / Eau double usage (eau chaude sanitaire et chauffage). En construction, comme en rénovation, il est donc essentiel de mesurer et documenter les premières installations pour s'assurer que la diffusion des PAC en immeuble collectif s'accompagne de retours d'expérience positifs.
- Les entreprises d'installations et d'exploitations estiment avoir la capacité de répondre qualitativement aux besoins du marché uniquement si la vitesse de déploiement des PAC est adaptée à leurs capacités limitées de formation et de recrutement.
- Enfin, plus globalement, c'est une structuration de la filière qui est nécessaire pour piloter, mettre en œuvre et partager l'ensemble des points décrits précédemment. Le manque de moyen de la filière ralentit le déploiement de solutions d'accompagnement et augmente largement le risque de contre référence.

Des dynamiques de marché différentes en construction neuve et en rénovation

En construction neuve, la mise en œuvre de la RE2020 et l'évolution de ses exigences en 2025 donne un cadre favorable au déploiement rapide de la pompe à chaleur. De nombreux acteurs anticipent déjà les exigences 2025 de la RE2020 et permettent à l'ensemble de la filière de se préparer au cap de 2025.

En rénovation, le marché de la pompe chaleur en immeuble est à ce jour très faible, notamment en ce qui concerne les PAC réalisant le chauffage des bâtiments. Le potentiel de déploiement des solutions PAC est très variable selon les segments du parc de bâtiment puisqu'il dépend de l'architecture des bâtiments, des générateurs existants, du type de maître d'ouvrage, des aides associées, des possibilités de renforcement de l'enveloppe thermique et d'abaissement des températures des émetteurs. Aux vues des analyses réalisées dans cette étude, on constate notamment que la PAC collective Air/Eau ou Eau/Eau peut dès aujourd'hui jouer un rôle important. Du fait des spécificités des bâtiments existants (ex : qualité des réseaux de distribution, température des émetteurs) les enjeux de qualité de conception et de maîtrise des performances sont plus importants qu'en construction neuve.

Pour que ce marché gagne en maturité et envisager un déploiement important sur le parc résidentiel collectif existant, de nombreux freins sont à lever et l'ensemble des acteurs de la filière doit s'organiser pour :

- Accompagner le marché dans la mise en œuvre de solutions collectives en rénovation, en ciblant d'abord les configurations les plus simples : immeubles construits entre 1948 & 1974 équipé de chaudière gaz collective, faisant ou ayant fait l'objet d'une rénovation globale et performante.
- Expérimenter, étudier et documenter dès aujourd'hui des applications dans des situations de faisabilité plus complexe, ayant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : contrainte d'intégration plus forte, bâtiment avec des régimes de température élevé, production individuelle à l'état existant...etc. L'objectif est de collecter des retours d'expériences, d'évaluer la pertinence de ces interventions et faire monter la filière en compétence avant de planifier le déploiement sur ces segments du parc.
- Former et accompagner les acteurs de la filière.
- Mesurer la performance des premiers projets et la documenter, pour que les ressources techniques nécessaires à la massification de ces solutions soient rapidement disponibles.
- Adapter le système d'aide pour absorber les surcoûts liés à la mise en œuvre de ces solutions, mais les conditionner à :
 - Un encadrement de la qualité de mise en œuvre technique.
 - Un suivi des performances du système après travaux.
 - Des critères de conception et de dimensionnement qui permettent de garantir une baisse significative des charges.

Les actions prioritaires à mener pour déployer les PAC en immeuble collectif

Dans ce contexte, il semble prioritaire de :

- Déployer une offre de formation adaptée aux besoins des entreprises.
- Augmenter l'attractivité des métiers d'installations et d'exploitations.
- Donner aux acteurs une vision claire des solutions techniques attendues, pour permettre à ces derniers de se préparer.
- Mesurer la performance des installations existantes ou en cours d'installations pour rapidement partager les retours d'expérience à la filière.
- Définir des solutions d'encadrement/contrôle de la qualité des installations, notamment permettant le suivi et l'optimisation des performances des installations. Cet encadrement pourrait notamment être une condition d'obtention des aides financières en rénovation,
- Echelonner le déploiement des PAC en fonction des capacités de la filière. Commencer par la construction neuve uniquement puis élargir aux rénovations globales de bâtiments initialement équipés d'une solution gaz ou fioul collective. Conduire en parallèle de nombreuses expérimentations encadrées sur les cas de rénovation plus complexes,
- Doter la filière de moyens financiers pour accompagner l'essor rapide de la PAC (soutien de l'AFPAC).

3. ETAT DE L'ART DES SOLUTIONS

Cette première partie vise à fournir un état de l'art des différentes solutions PAC existantes sur le marché français et européen. La recherche de solutions disponibles a été menée en suivant la méthodologie suivante :

- Recherche des solutions dans les catalogues des industriels ainsi que lors de leurs interviews,
- Confrontation de l'état de l'art des solutions et leurs classifications à l'ensemble des acteurs consultés,
- Consultations des travaux menés par des acteurs Européen (IEA HPT, Fraunhofer, EPHA).

Le tableau suivant présente la classification des solutions proposées. Celle-ci est pensée pour donner aux acteurs, les capacités et caractéristiques principales des solutions relevées. C'est pour cela que le choix d'une classification organisée selon le caractère individuel/collective puis les usages plutôt que les technologies a été fait.

L'organisation présente le positionnement de la production par rapport aux logements. Une solution collective sera ainsi commune à plusieurs logements. A l'inverse, dans le cadre des solutions individuelles, on trouvera une pompe à chaleur par logement.

L'usage représente les différentes utilisations possibles de la chaleur (ou froid) produite par la pompe à chaleur, à savoir le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la production de froid.

Organisation	Usage	Source de chaleur froide	Source de chaleur chaude	Distinctions technologiques fortes	Fiche solution
Collective	ECS	Air extérieur	Eau	-	n°1
		Aérosolaire	Eau	-	n°2
		Chaleur fatale	Eau	Sur eau grises et air extrait	
	CH	Air extérieur	Eau	Distribution ch via eau	n°3
		Air extérieur	Air	DRV	n°4
	ECS – CH (FR)	Air extérieur	Eau	-	n°5
		Air extérieur, sol ou eau	Eau	PAC absorption gaz	n°6
		Sol ou eau	Eau	PAC géothermique	n°7
		Air extérieur	Eau	Ch : gaz et ECS : hybride	n°8
			Eau	Ch et ECS : hybride	
Mixte individuelle-collective	ECS	Air extérieur	Eau	CET sur retour bouclage	n°9
	ECS – CH (FR)	Air extérieur	Eau	PAC sur boucle d'eau	n°10
Individuelle	ECS	Air extrait	Eau	-	n°11
		Air extérieur	Eau	Monobloc sur conduit d'air individuel ou collectif	
			Eau	Bi-bloc	
	CH	Air extérieur	Air ou Eau	-	n°12
	ECS – CH (FR)	Air extérieur	Eau	PAC monobloc intérieure	n°13
			Air ou Eau	PAC avec module extérieur	
		Air extérieur	Eau	Ch et ECS : hybride	n°14
		Air extrait ou Air extérieur	Air et Eau	Monosplit + CET	n°11+12
		Air extérieur	Air et Eau	ECS + Ch/fr partiel	n°15
	ECS – CH – VENTIL (FR)	Air extrait et/ou air extérieur	Air ou Eau	PAC sur ventilation simple ou double flux	n°16

Liste des caractéristiques et capacités des principales solutions de pompe à chaleur

CH – Chauffage
 ECS – Eau Chaude Sanitaire
 FR – Froid
 VENTIL – Ventilation
 CET – Chauffe-eau Thermodynamique
 DRV

L'ensemble des fiches solutions est disponible en ANNEXE 2 et expose notamment pour chaque famille :

- Domaine d'application et opportunité en rénovation et construction neuve ;
- Descriptif général ;
- Condition d'intégration ;
- Compatibilité avec les calculs réglementaires ;
- Conception et exploitation ;
- Maturité des solutions ;
- Coût d'investissement en construction neuve ;
- Forces et faiblesses de la solution ;
- Liste des principales offres disponibles.

Nota : une famille de solution technique n'apparaît pas dans la classification ci-dessous. Il s'agit de PAC intervenant sur 3 ou 4 logements. Cette solution fait son entrée sur le marché français par le fabricant ATLANTIC par la solution « PAC in Box ». Cette solution pourra s'avérer pertinente pour intervenir sur des petits bâtiments collectifs de 5 à 15 logements, en rénovation comme construction neuve.

4. BESOINS DU BATIMENT ET CAPACITE DE L'OFFRE PAC

Cette seconde partie vise à fournir une analyse exhaustive de l'adéquation entre les solutions de PAC et les caractéristiques des bâtiments afin d'évaluer les capacités d'intégration des solutions en immeuble collectif.

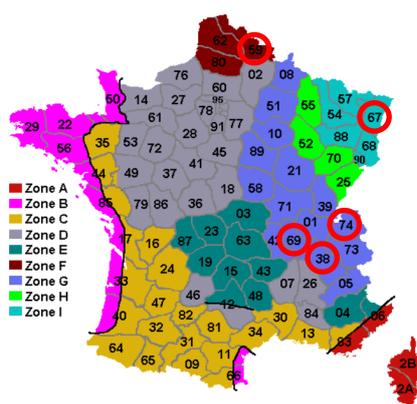
4.1. Les besoins du bâtiment

Un des enjeux techniques de mise en œuvre des pompes à chaleur est l'adéquation entre les besoins du bâtiment en chaleur et celle que peut fournir la solution.

Température de référence extérieure

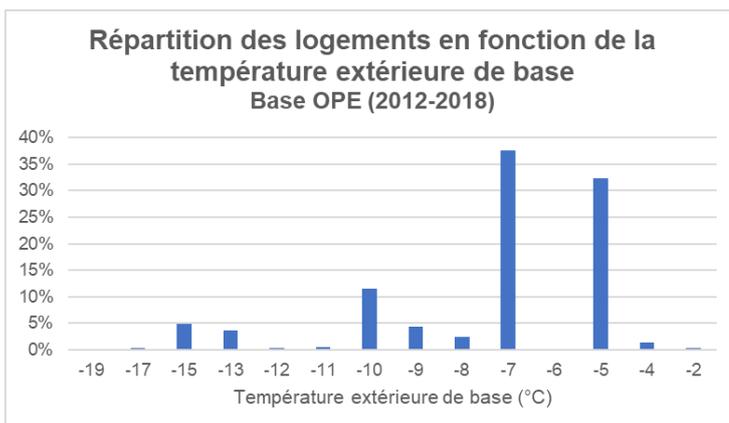
La température extérieure conventionnelle de base est la température minimale constatée durant 5 jours cumulés dans l'année dans chaque département. C'est la température minimale extérieure pour laquelle l'installation doit avoir la capacité de subvenir aux besoins du bâtiment. Sa valeur à une incidence forte sur les technologies de PAC mobilisables et/ou la puissance des appoints à leur associer.

La température de référence évolue selon le département et l'altitude du bâtiment :



Altitude	Zones								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200m	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-15
201 à 400m	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-11	-13	-15
401 à 600m	-6	-6	-7	-9	-11	-11	-13	-15	-19
601 à 800m	-8	-7	-8	-11	-13	-12	-14	-17	-21
801 à 1000m	-10	-8	-9	-13	-15	-13	-17	-19	-23
001 à 1200m	-12	-9	-10	-14	-17		-19	-21	-24
1201 à 1400m	-14	-10	-11	-15	-19		-21	-23	-25
1401 à 1600m	-16		-12		-21		-23	-24	

Le graphique ci-contre illustre la répartition des températures de référence des bâtiments construits en RT2012. Rares sont les bâtiments dotés de températures de références supérieures à -5°C . 28% des bâtiments ont une température de référence inférieure à -7°C . Ces derniers sont très représentés dans les départements suivants : 59 (-9°C), 69 et 38 (-10°C), 74 (-13°C) et 67 (-15°C).



Il est donc primordial que les politiques menées à l'échelle nationale considèrent la situation climatique des bâtiments. Au regard des capacités des PAC Air / Eau présentées en partie 3.3, certains bâtiments dont les températures de références sont inférieures à -7 ou -10°C pourront plus difficilement subvenir à leurs besoins ou engendrer des coûts d'investissement.

Nota : Avec une température de source stable (8 à 10°C) les solutions de PAC géothermiques ne perdent pas de capacité de puissance lorsque la température extérieure diminue, ce qui en fait des solutions particulièrement adaptées aux conditions climatiques rigoureuses.

Besoin en température pour le chauffage

La nature des émetteurs et leurs régimes de température ont une incidence forte sur les capacités et performances de la PAC.

➤ Les différents types d'émetteurs et leurs températures d'entrée :

Ci-après les températures d'entrées associées pour subvenir aux besoins du bâtiment à la température de référence :

Radiateur : **90°C à 50°C**

- Radiateur très haute température : 80 à 90°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 → Très rares
- Radiateur basse température : < 55°C → Très rares



Les radiateurs moyennes et basses températures sont rarement mobilisés car :

- Ils sont plus encombrants (ex : pour une même puissance l'épaisseur ou la surface du radiateur est doublée pour passer de 80°C à 60°C)
- La diminution de la température augmente le prix de l'émetteur (ex : pour une même puissance en comparaison à un radiateur de 70°C, des radiateurs 60°C engendrent un surcoût de 300€/lgt et des radiateurs 55°C engendrent un surcoût de 600€/lgt).

De ce fait, les maîtres d'ouvrages acceptent rarement de descendre les températures radiateurs en dessous de 60°C.

Il n'est pas possible de rafraîchir ou refroidir un logement avec des radiateurs (surface d'échange trop faible), ils sont donc exclusivement utilisés pour le chauffage.

Plancher chauffant basse température (PCBT) : **35°C**

Le PCBT (ou PCRBT lorsque qu'il est rafraîchissant) a une température d'entrée de 35°C. Ses capacités de refroidissement sont significatives mais limitées, on parle alors de rafraîchissement ou refroidissement partiel.

Ce type d'émetteur est rare dans les bâtiments collectifs existants comme en construction neuve. En construction neuve les faibles parts de marché du PCBT sont dues aux raisons suivantes :



- Le surcoût par rapport à une solution radiateur 70°C est de : +1400€/lgt à +2600€/lgt selon si le bâtiment est équipé de chape béton (surcoût de +1400€/lgt si une chape est déjà prévue pour des raisons acoustiques).
- Et dans une moindre mesure son encombrement (+3cm d'isolant et +5cm de chape) et son inertie qui dans des bâtiments bien isolés peu diminuer la précision de la régulation de température.

Plafond rayonnant basse température : **35°C**

Le plafond rayonnant a une température d'entrée de 35°C. Ses capacités de refroidissement sont limitées de la même manière que le PCRBT. A la différence du PCRBT, le plafond a une faible inertie.

Ce type d'émetteur est rare voire inexistant en logement collectif :

- Offre disponible limitée mais émergente en maison individuelle.
- Surcoût important à ce jour +2500€/lgt par rapport à radiateur 70°C.
- Encombrement important : +15cm



Ventilo convecteur de zone (ou gainable hydraulique) : 50°C

Le ventilo-convecteur de zone est disposé dans le faux plafond de la circulation. Il est constitué d'un échangeur alimenté par de l'eau (comme un radiateur) et un ventilateur qui augmente la capacité d'échange et distribue la chaleur (ou le froid) dans les pièces par un plénum (réseau de gaine en faux plafond).



Ce type d'émetteur est très rare en rénovation et est en croissance en construction neuve :

- Offre relativement récente,
- Nécessite un changement de filtre annuellement,
- Durée de vie plus faible
- Surcoût non négligeable à ce jour +1000€/lgt par rapport à radiateur 70°C. C'est cependant l'émetteur en capacité de refroidir le moins coûteux.

Nota : il existe également des ventilo convecteur pièce par pièce, de la taille d'un radiateur ces émetteurs ne sont pas présents en logement du fait de leur prix élevé.

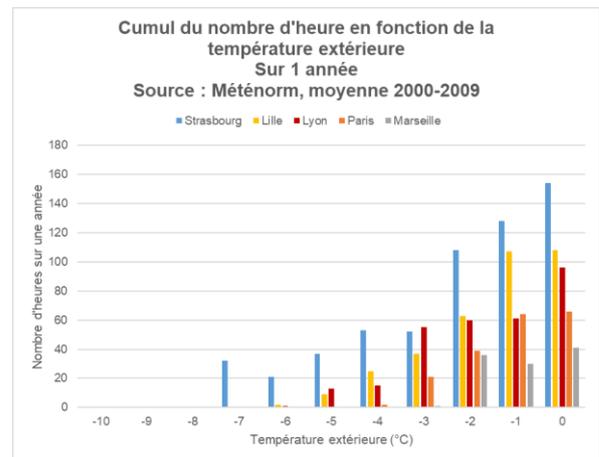
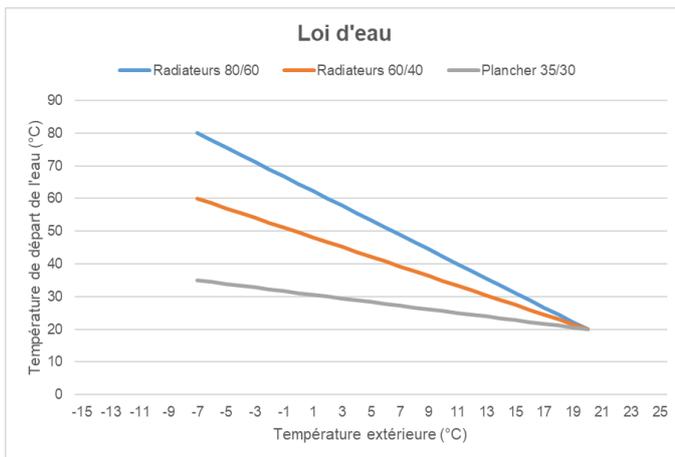
➤ Evolution de la loi d'eau et besoin en température

Les températures d'entrées citées dans le paragraphe précédent représentent les températures d'entrée de l'émetteur pour la température extérieure de référence. Lorsque la température extérieure augmente, la température de production augmente. C'est la loi d'eau qui régit l'évolution de la température de production.

	Nombre de jours avec un température inférieure à -3°C
Strasbourg	2 jours
Lille	2 jours
Lyon	2 jours
Paris	1 jours
Marseille	0 jours

L'analyse des températures (fichiers Météonorm 2000-2009) montre que le nombre de jours avec une température extérieure inférieure à -3°C est limitée à 2 jours à Lille, Lyon et Strasbourg dont les températures de références sont respectivement de -9°C, -10°C et -15°C.

Nota : il y a un écart entre la température de production de la PAC et la température effective à l'entrée de l'émetteur due aux pertes de chaleurs dans les réseaux de distribution, les échangeurs et le ballon tampon. On évalue en première approche cet à écart à 5 à 10°C. Il est primordial de considérer cet écart dans le choix des pompes à chaleur.



Besoin en température pour l'ECS

Pour avoir la capacité de produire de l'eau chaude sanitaire et maintenir en température le bouclage ECS sans appoint, la PAC devra être en mesure de produire de l'eau à 60°C (voire 65°C dans les cas défavorables) pour ne pas risquer de générer disfonctionnement (ex : cycles-courts) dont l'incidence serait néfaste pour la performance et la durée de vie de la PAC ou d'intervention fréquente de l'appoint qui augmenterait les consommations

En effet le départ du bouclage devra être maintenu à 55°C pour garantir une température supérieure à 50°C en tout point du réseau de distribution. En cas de réseau de distribution mal équilibré et/ou mal isolé la température de départ devra être supérieure, ce afin de garantir ces 50°C.

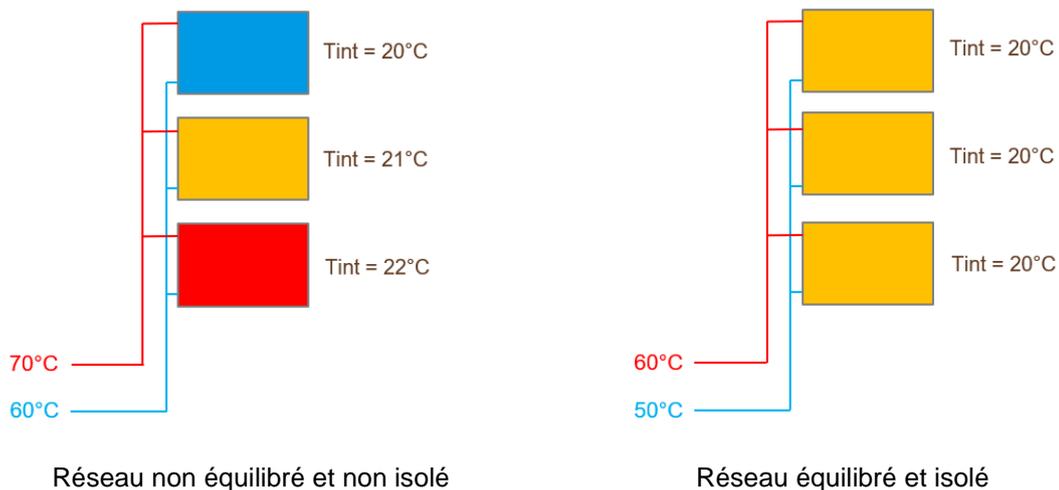
Nota : La production ECS est paradoxalement, l'usage qui a été le premier traité par les PAC en immeuble collectif (ex : émergence de la solution Heliopac en 2011), alors que plus complexe à traiter (du fait du traitement du bouclage) en comparaison au chauffage lorsque l'on mobilise des émetteurs basse température. L'émergence des solutions PAC ECS semble être due à :

- L'émergence de solutions Aérosolaire ou PAC au CO2 particulièrement adaptées à la production ECS
- Le faible nombre de PAC à mobiliser pour traiter l'ECS (largement inférieur au nombre de PAC à mobiliser en chauffage)
- À la suite de la chute du marché du solaire thermique, la solution PAC Air / Eau est devenue l'optimum technico économique pour répondre à des exigences telles que la réalisation de 30% des besoins ECS par des énergies renouvelables
- Le surcoût associé à des émetteurs chauffage basse température

Isolation, équilibrage et désembouage des réseaux de distribution : les impacts sur les besoins en température

L'équilibrage, l'isolation et le désembouage ont une incidence forte sur les besoins en température des réseaux de distribution ECS et chauffage et donc sur les performances de la PAC.

La hausse de la température de production est une méthode couramment utilisée par les installateurs et exploitants – notamment en chaufferie gaz - pour compenser un réseau mal équilibré et mal isolé. Ce fonctionnement permet en effet de garantir le respect des règles anti-légionelles pour le chauffage et garantir le confort dans les logements défavorisés par ce réseau de mauvaise qualité. Les conséquences de cette méthode varient largement selon le type de générateurs



En chaudière gaz les incidences de ces hausses de températures sont réelles mais moins significatives :

- Baisse des rendements en chaudière à condensation (hausse T retour = baisse de la condensation),
- Hausse des consommations : certains logements sont surchauffés et les pertes de distribution sont plus importantes.

En PAC, en plus des risques d'augmentation des consommations, d'autres risques plus importants apparaissent :

- Si la température de production devient supérieure aux capacités de PAC, alors l'appoint gaz ou effet joule réalisera une part importante de la production,
- La hausse de la température de production engendre une baisse des COP et des puissances disponibles → hausse de la consommation, intervention de l'appoint plus importante, risque de cycle court de la PAC pour combattre les pertes de bouclage.

Nota : En rénovation les consommations des pertes de bouclages ECS peuvent représenter jusqu'à 40 à 60% des besoins d'ECS ; en construction neuve, on estime plutôt à 30 à 50%.

On constate régulièrement sur le terrain que les pertes thermiques engendrées par le manque de traitement des points singuliers du réseau de distribution (fixation du réseau, passage de dalle, organe de réglage...etc). L'essor des PAC nécessite donc de faire évoluer les pratiques et d'encadrer la qualité des réseaux de distribution.

4.2. Evolution des capacités et performances des PAC Air / Eau en fonction des conditions de production

Evolution des COP et puissance en fonction des conditions de températures :

La performance des PAC est très impactée par la température extérieure (source) et les températures de production (émetteur).

T source / T émetteur	Exemple de COP	T source / T émetteur	Exemple de COP
7°C / 30°C	4,6	- 7°C / 30°C	2,7
7°C / 40°C	3,9	- 7°C / 40°C	2,4
7°C / 50°C	3,1	- 7°C / 50°C	2,0
7°C / 60°C	2,6	- 7°C / 60°C	1,7
7°C / 70°C	2,1	- 7°C / 70°C	1,5
7°C / 80°C	1,7	- 7°C / 80°C	1,3

Par ailleurs, les puissances disponibles sont largement 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.

Nota : certaines technologies de PAC permettent de ne pas diminuer la puissance disponible pour des températures extérieures basses, mais ces dispositifs engendrent parfois une baisse des COP.

Nota : les PAC sur sonde géothermique (ou eaux de nappes) bénéficient d'une température de source stable toujours supérieure à 7°C ce qui garantit des COP élevés.

4.3. Analyse de l'offre de solutions collectives Air / Eau 100% électrique

L'objet de cette partie est de mettre en évidence des données et informations sur les solutions collectives ; ce marché est actuellement le plus dynamique/innovant et amène des perspectives /opportunités intéressantes en rénovation comme en construction.

Synthèse des capacités de l'offre

Les offres ont été classées en 2 familles :

- PAC de petite puissance en cascade en capacité de subvenir aux besoins de : 35-50lgts RE2020, 30-45lgts BBC Réno, 10-20 lgts non isolés.

Industriel / nom produit	Produit	Fluide frigo
Daikin Altherma3H HT :	Pmax à 7°C/35°C : 12 kW Pmax à -7°C/65°C : 11 kW T max prod. À -7°C : 65°C T limite ext : -28°C	R32 GWP= 675
Panasonic T-CAP Monobloc	Pmax à 7°C/35°C : 16 kW Pmax à -7°C/55°C : 16 kW T max prod. À -7°C : 55°C T limite ext : -20°C	R32 GWP= 675
Stiebel Eltron WPL 57	Pmax à 7°C/35°C : 30 kW Pmax à -7°C/65°C : ? kW T max prod. À -7°C : 60°C T limite ext : -20°C	R407C ou 410A GWP = 1774-2088
Vaillant AroTHERM plus	Pmax à 7°C/35°C : 16 kW Pmax à -7°C/65°C : 9,6 kW T max prod. À -7°C : 67°C T limite ext : /	R290 GWP = 3
Yack Bionic	Pmax à 7°C/35°C : 30 kW Pmax à -7°C/65°C : 30 kW T max prod. À -7°C : 65°C T limite ext. à Tmax : -25°C	R744 GWP = 1

- PAC de forte puissance en cascade en capacité de subvenir aux besoins de : 80 à 400lgts RE2020, 65 à 350lgts BBC Réno, 30 à 130 lgts non isolés.

Industriel Nom produit	Produit	Fluide frigo
Atlantic Effipac	Pmax à 7°C/35°C : 67 kW Pmax à -7°C/55°C : 46 kW T max prod. À -7°C : 55°C T limite ext. à Tmax : /	R32 GWP= 675
Auer Zepac	Pmax à 7°C/35°C : 80 kW Pmax à -7°C/70°C : 50kW T max prod. À -7°C : 70°C T limite ext. à Tmax : -20°C	R290 GWP = 3
Carrier Aquasnap61AF	Pmax à 7°C/35°C : 105 kW Pmax à -7°C/65°C : ? kW T max prod. À -7°C : 65°C T limite ext. à Tmax : /	R407c GWP = 1774
Eurevia Acquarevia	Pmax à 7°C/35°C : 345 kW Pmax à -7°C/55°C : / kW T max prod. À -5°C : 55°C T limite ext. à Tmax : -5°C	R410A GWP = 2088
Mitsubishi Ecodan Power +	Pmax à 7°C/35°C : 45 kW Pmax à -7°C/70°C : ? kW T max prod. À -7°C : 70°C T limite ext. à Tmax : -10°C	R407C GWP = 1774 (R32 fin 2023)
SDEEC PAC 65	Pmax à 7°C/35°C : 192 kW Pmax à -7°C/65°C : 143 kW T max production : 65°C T limite ext. à Tmax : -15°C	R407C GWP = 1774

ELCO AEROTOP	Pmax à 7°C/35°C : 85 kW Pmax à -7°C/45°C : 45 kW T max prod. À -7°C : 50°C	R32 GWP = 675
DAIKIN EWYT-CZP	Pmax à 7°C/35°C : 73 kW Pmax à -7°C/55°C : 46 kW T max prod. À -7°C : 55°C	R32 GWP = 675

La liste est non exhaustive et n'intègre notamment pas les projets en cours de développement industriel. En effet de nombreux acteurs auront la capacité de proposer une nouvelle offre de PAC haute température (65 à 70°C) de grosse puissance dédiée au résidentiel collectif avec des fluides peu et très peu émissifs en 2023, 2024 ou 2025 (de nombreuses annonces seront d'ailleurs faites lors du salon INTERCLIMA 2022). Cette liste n'intègre pas non plus les solutions de PAC de grosse puissance produite par des industriels pour lesquels le marché du résidentiel collectif n'est pas identifié.

Nota : au de la des caractéristiques techniques du matériel, la qualité de l'accompagnement des industriels pour les solutions collectives est primordiale. En effet, devant le manque de connaissance des acteurs au démarrage de l'essor des PAC, il semble important que l'industriel ait la capacité de :

- Proposer un schéma hydraulique type et une méthode de dimensionnement,
- D'associer au PAC un pilote hydraulique et une régulation dédiée aux usages résidentiels,
- Avoir la capacité de former les entreprises,
- De réaliser la mise en service des installations,
- D'être disponible en phase d'exploitation (appui technique, audit installations).

Maturité de l'offre :

70% des industriels et des technologies identifiées ont une maturité faible. On considère une maturité faible si :

- L'industriel a un très faible nombre de bâtiments de logement équipé : < 10
- L'industriel souhaite intervenir en résidentiel collectif mais sa méthode d'intervention est en cours de définition (méthode de dimensionnement, schéma hydraulique, technico-commerciaux formés au bâtiments collectif, offre dédiée au résidentiel collectif clairement identifiée au catalogue, etc.).

Choix des capacités de la PAC au regard des besoins du bâtiment

De nombreuses PAC affichent des températures de fonctionnement très basses ; il est néanmoins important de savoir que leur capacité en termes de températures et de puissance diminue bien souvent en dessous de -7°C ou -10°C (sauf cas particulier), et les capacités des PAC dans ces conditions extrêmes sont rarement affichées et certifiées. Le cas échéant, il est important de considérer qu'en dessous de -7°C ou -10°C, les PAC seront bien souvent associées à des appoints.

Il est important de considérer un écart minimum de 5 à 10°C entre la température maximale de production et les besoins des émetteurs et surtout de la production ECS. En effet, sans cet écart, la moindre baisse de température engendré par un échangeur, un ballon, des réseaux ou un dysfonctionnement amènerait le démarrage des appoints et la chute du COP de l'installation.

Taille de bâtiment adressable

A la différence des chaufferies gaz, il semble préférable de prévoir plusieurs installations indépendantes pour déployer des PAC sur des projets de grande taille constitués de nombreux bâtiments pour les raisons suivantes :

- Limiter le nombre de PAC extérieures à disposer dans un même endroit. Plus le nombre de PAC est important plus le bruit est amplifié et plus il est difficile de les maintenir à une distance confortable des baies.
- Le nombre de PAC pilotables par les organes de régulation des PAC est souvent limité à 6 ou 10 PAC.
- Les projets avec plusieurs bâtiments augmentent les longueurs des réseaux de distribution et donc les pertes de chaleur. Pour compenser ces pertes la température de production des PAC est augmentée ce

qui engendre une diminution des performances (baisse des COP ou intervention plus récurrente de l'appoint).

Ceci est impactant économiquement, notamment lors de la rénovation de grands ensembles, puisqu'il engendre la création de nouveaux locaux techniques et la modification des réseaux de distribution.

Variation du SCOP annuel

Le SCOP (coefficient de performance saisonnier) caractérise l'efficacité de la PAC en considérant les conditions de fonctionnement d'une année.

Il est encadré par la norme NF EN 14825. Cette norme calcule le SCOP selon trois climats européen représentatifs. Malheureusement il semble que cette méthode ne permette que la comparaison des PAC, mais pas la performance de l'installation dans son ensemble :

- Elle ne permet pas de considérer le schéma hydraulique et les modes variation de puissance d'installation de PAC en cascade (ballon tampon, PAC tout ou rien ou dotée de 2 ou 3 compresseurs) ;
- Elle ne permet pas d'adapter la zone climatique du projet ;
- Elle est limitée à des températures de 55°C (voir 65°C) ;
- Elle ne permet pas de considérer différentes manières de traiter la production ECS notamment le bouclage.

Il semble important de doter la profession d'un outil dédié aux PAC collectives permettant d'évaluer l'incidence des choix de dimensionnement en PAC collective sur le SCOP annuel. Cet outil pourrait s'avérer utile pour encadrer et définir les niveaux de performance et de taux de couverture des installations PAC couvertes par les aides financières.

4.4. Analyse de l'offre de solution collective Air / Eau hybride gaz

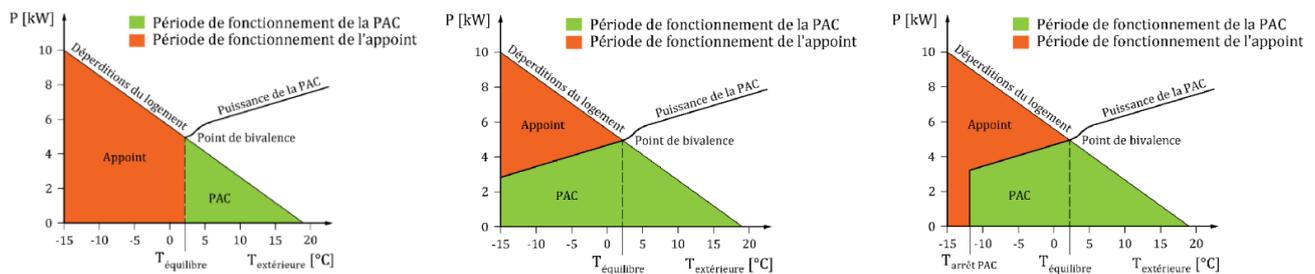
Les différents types d'hybridation

Les 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 est courante en RT2012, elle a notamment pris des parts de marché aux installations solaires thermiques en réponse aux exigences de part d'énergies renouvelables.
- 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.

Pour l'hybridation on distingue différent type de régulation :

- Fonctionnement alterné (voir graphique de gauche) : en dessous d'une température extérieure la PAC est arrêtée et l'appoint prend le relais.
- Fonctionnement simultané (voir graphiques du centre et de droite) : la PAC fonctionne en même temps que l'appoint. En dessus d'une température le fonctionnement en simultané peut s'arrêter pour laisser l'appoint fournir la totalité des besoins (voir graphique de droite)

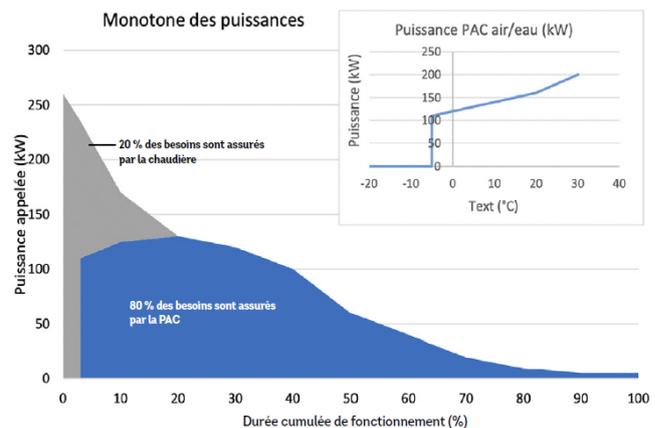


Chacun de ces types d'hybridation et de régulation à une incidence forte sur le SCOP, le taux couverture des besoins par la PAC et donc la performance énergétique et environnementale de l'installation.

Le taux de couverture des besoins par la PAC variera largement en fonction des capacités de la PAC et des conditions de fonctionnement, notamment des régimes de températures des émetteurs. Dans ce contexte, avant de définir une politique de déploiement des PAC, il semble primordial de mettre en place un outil ou à minima de mener des travaux pour évaluer l'incidence des choix de dimensionnement sur le taux de couverture et le SCOP annuel des PAC. Cet outil pourrait s'avérer utile en termes de pédagogie, de dimensionnement et conditionner le taux de couverture des aides financières associées aux solutions PAC. Ci-dessous quelques cas qu'il pourrait être intéressant d'étudier :

- Régime radiateur 80/60 + PAC 70°C + fonctionnement simultané ou alterné
- Régime radiateur 80/60 + PAC 55°C + fonctionnement simultané ou alterné
- Régime radiateur 70/50 + PAC 55°C + fonctionnement simultané ou alterné
- Régime radiateur 60/40 + PAC 55°C + fonctionnement simultané ou alterné

Nota : l'article « Pompe à chaleur : Points clés de la sélection des PAC en chaufferie collective existante » du magazine CVC de l'AICVF de mars 2022 indique qu'une PAC dimensionnée à 50% de la puissance totale permet de couvrir 80% des besoins (voir illustration ci-contre : de la monotone de puissance ci-contre extraite de l'article). Il est à noter le critère de la puissance ne suffit pas à garantir la couverture des besoins évoquée, il faut également que les capacités de la PAC en termes de température de production restent supérieures aux besoins des émetteurs. Une PAC en capacité de produire du 55°C peut-elle subvenir à 80% des besoins d'un bâtiment équipé de radiateur 80-60°C ?



Synthèse des capacités de l'offre de solutions disponibles

L'ensemble des solutions 100% thermodynamique décrites ci-avant est compatible avec un fonctionnement hybride. A ce jour peu d'industriels en capacité de fournir des installations collectives non-hybrides ont la capacité de fournir des solutions de pilotage des installations hybrides. De nombreux acteurs ont dans leurs catalogues des chaudières et des PAC et devraient à termes proposer une offre hybride collective (VAILLANT) mais à ce jour uniquement un industriel a annoncé la disponibilité d'une offre hybride collective future :

Industriel Nom produit	Produit	Fluide frigo
Atlantic Effipac	Pmax à 7°C/35°C : 67 kW Pmax à -7°C/55°C : 46 kW T max prod. À -7°C : 55°C	R32 GWP= 675
Vaillant AroTHERM plus	Pmax à 7°C/35°C : 16 kW Pmax à -7°C/65°C : 9,6 kW T max prod. À -7°C : 67°C	R290 GWP = 3
ELCO AEROTOP	Pmax à 7°C/35°C : 93 kW Pmax à -7°C/50°C : 67 kW T max prod. À -7°C : 50°C	R32 GWP= 675

Nota : les solutions d'hybridation ECS seules ne sont pas présentées ici ; ces dernières sont courantes et nombreuses sur le marché depuis plusieurs années (voir fiche solution PAC).

Les enjeux de la PAC hybride collective

- Baisse du taux de couverture des PAC en condition réelle :

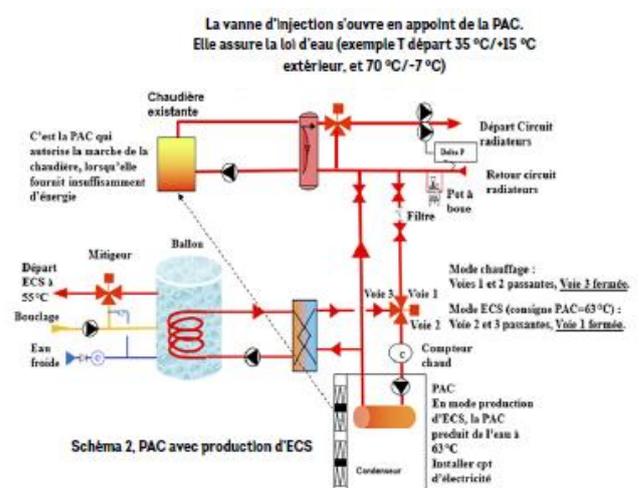
En fonctionnement alterné la chaudière est dimensionnée pour subvenir à l'ensemble des besoins du bâtiment. Dans ces conditions le risque est important de constater un taux de couverture des besoins par la PAC bien inférieur aux taux définis en phase conception. En effet, en présence d'un appoint gaz en capacité de subvenir à la totalité des besoins du bâtiment, les exploitants risquent de délaisser l'optimisation du fonctionnement de la PAC. Les conséquences potentielles pouvant aller jusqu'à l'arrêt de la PAC (comme il est régulièrement constaté sur des installations gaz associées à des panneaux solaires thermiques). Dans ces conditions il est donc primordial que l'installation soit dotée de moyen de suivi des performances et du taux de couvertures des besoins par la PAC.

En fonctionnement simultané jusqu'à la température de référence, l'appoint n'a pas la capacité de subvenir à l'ensemble des besoins, l'exploitant sera contraint d'optimiser les capacités d'intervention de l'appoint au risque de ne pas subvenir aux besoins du bâtiment. Ce mode de fonctionnement permet également de limiter la puissance à mettre en œuvre, et donc l'encombrement et le prix de l'installation.

- Schéma de principe et de régulation complexe

Les installations faisant intervenir deux générateurs différents sur deux usages différents sont plus complexes (schéma hydraulique, régulation). Un fonctionnement des générateurs simultanément semble également être une source de complexité. Cette complexité augmente les risques d'erreur et de disfonctionnement.

Voir ci-contre un schéma de principe de solution hybride : ECS 100% PAC et chauffage en production simultanée PAC et chaudière gaz.



4.5. Les enjeux du dimensionnement des installations collectives

Les critères à considérer lors du dimensionnement et les méthodes disponibles

La liste suivante présente les critères essentiels à considérer pour s'assurer d'un bon dimensionnement :

- Le nombre d'heures de fonctionnement et la durée de vie des PAC
- Le dimensionnement du volume tampon chauffage, du nombre et du type de générateur (inverter ou non) pour éviter les cycles courts (en fonction des capacités de modulation de puissance des PAC et des besoins du bâtiment)
- La sécurisation de l'approvisionnement en chaleur en cas de panne
- La puissance totale en fonction du type de régulation chauffage/ ECS (ex : priorité ECS)
- Les règles de déclenchement
- La sélection des PAC en fonction des besoins en température et puissance
- Les modalités de production de l'ECS et de réchauffage du bouclage (en fonction des pertes du bouclage)
- Etc.

Les critères sont nombreux et les méthodes de dimensionnement existantes ne les encadrent pas tous :

- Le DTU 65.16 P1-1 définit quelques règles de dimensionnement de certains aspects, mais ne traite pas l'ensemble des sujets. Il est cela dit une très bonne base de travail et sensibilise à de nombreux enjeux.
- Le guide COSTIC définit des méthodes de dimensionnement de PAC dédiées à la production ECS sans traitement du bouclage.
- Un guide RAGE dédié au PAC en habitat collectif définit une série de recommandations techniques concernant les PAC dédiées au chauffage seul.

Les risques liés à l'évolution des besoins du bâtiment postérieur à l'installation des PAC :

Comme décrit précédemment, le dimensionnement des PAC dépend largement des besoins du bâtiment. Si les besoins du bâtiment évoluent après la mise en place des PAC des risques de dysfonctionnement pourraient apparaître :

- Risque de court-cycle* : les besoins en puissance du bâtiment sont diminués et la puissance minimale des PAC régulièrement supérieur aux besoins du bâtiment, dans ces conditions la PAC risque de faire des cycle marche/arrêt très court ce qui baisse sa performance et sa durée de vie.
- Les températures de fonctionnement vont évoluer et l'ensemble de la régulation de l'installation est à revoir. Les enjeux sont équivalents à ceux de la mise en service et du réglage des premières années utilisation. Sans une mission dédiée, des baisses et/ou des dysfonctionnements risquent d'apparaître.

Il est donc important d'anticiper dès la conception les incidences d'un projet de rénovation de l'enveloppe thermique qui serait postérieur au déploiement des PAC.

4.6. Intégration des PAC Air / Eau collective

De nombreux aspects sur l'intégration des PAC sont traités dans les fiches solutions. L'objet de cette partie est de faire la synthèse des enjeux d'intégration des PAC Air / Eau.

Besoin Aéraulique des PAC Air / Eau

On distingue deux grands types de solutions PAC :

- Les PAC non gainées disposées à l'extérieur du bâtiment
- Les PAC gainées disposées à l'intérieur du bâtiment dans un local technique

Qu'elles soient disposées à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, les PAC sont toujours associées à des équipements (ballon, régulation, etc.) qui sont toujours disposés à l'intérieur du bâtiment dans un local technique pour le cas des PAC collectives.

➤ Les PAC non gainées disposées à l'extérieur

La PAC rejette l'air après avoir prélevé les calories, cet air est donc froid. Si la PAC est trop confinée elle va aspirer une nouvelle fois cet air froid et le COP va largement diminuer.

Les principaux critères d'intégration d'une PAC Air / Eau (non gainée)

- Prévoir 1.5 à 3m de surface libre devant les ventilateurs (variable selon les modèles),
- Prévoir 0,5 à 1m sur les autres faces de la machine,
- Ne pas prévoir de toit (surface libre au-dessus des PAC).

Il ne faut pas confiner les PAC :

- Pas de PAC en parking,
- Pas de PAC en local technique (sauf si gainable, voir paragraphe suivant),
- Pas de PAC dans les combles.

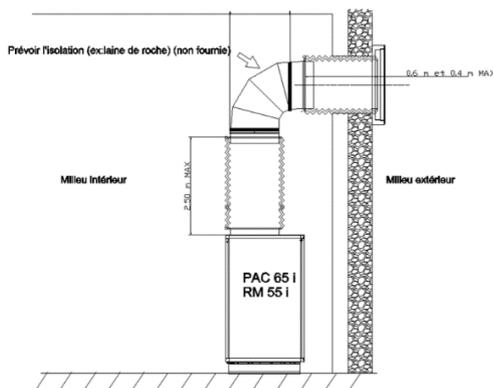


Nota : il est parfois possible de disposer les PAC dans des locaux semi-fermés disposant de très larges ouvertures disposées devant les ventilateurs pour le refoulement et d'autres ouvertures pour l'aspiration. Dans ces conditions une étude dédiée doit être réalisée.

Nota 2 : Des grilles très ajourées peuvent être disposées devant les ventilateurs ou au-dessus des PAC pour partiellement les dissimuler, mais le dimensionnement des grilles doit faire l'objet d'une étude de dimensionnement dédiée.

➤ Les PAC gainables disposées à l'intérieur

Certains industriels proposent des PAC dont le refoulement de l'air (également parfois l'aspiration) est gainable.



Plusieurs aspects sont à considérer pour cerner les enjeux et bénéfices de ces solutions :

- La longueur des gaines est limitée à 1 ou 3 mètres maximum, variable selon les capacités du ventilateur et des filtres acoustiques disposés sur les gaines.
- Les nuisances acoustiques ne disparaissent pas, elles sont en partie déportées au niveau de la grille de refoulement
- Le nombre d'industriels proposant des PAC gainables est plus faible,
- Le local technique est plus grand (à minima +50% par rapport à un local technique sans les générateurs) qui peut induire un manque à gagner non négligeable si la surface de local se substitue à de la surface habitable,
- Le gainage implique une augmentation des consommations de ventilateur ; qui n'est pas toujours considérées par les industriels,
- Les risques d'erreurs de conception et de problème en phase exploitation sont plus élevés (capacité de correction limitée).

Cohabitation des chaudières et PAC dans un même local

La norme EN 378 vise à réduire les dangers possibles des systèmes frigorifiques pour les personnes (installateurs, utilisateurs et techniciens), les biens et l'environnement. Elle encadre l'installation de PAC dotées de fluides frigorigènes inflammables dans des locaux techniques, notamment ceux contenant des chaudières gaz.

Les incidences sont donc relativement limitées en rénovation, étant donné que rares sont les bâtiments existants dotés de locaux de chaufferie existants en capacité d'accueillir des PAC (enjeux d'encombrement, d'accès à l'air extérieur, distance des baies, etc.) et que la majeure partie des PAC sont monobloc et disposées à l'extérieur.

Il semble important de faciliter la compréhension des incidences de cette norme pour rassurer les acteurs. Des dossiers de synthèse traitent de ce sujet (UNICLIMA, COSTIC), mais ces derniers restent malgré tout difficile à interpréter pour une application en résidentiel collectif. Il paraît donc important de diffuser une synthèse dédiée au résidentiel collectif (pour diminuer le périmètre) et illustrer les incidences sur des cas concrets.

Impact acoustique des PAC et les réglementations existantes

➤ Les réglementations acoustiques en vigueur et leurs champs d'action

- Décret de 2006 qui régit le bruit des PAC vis-à-vis des voisins

Le décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique, en cadre l'émergence acoustique engendrée par les équipements installés sur la propriété voisine.

Emergence acoustique= bruit ambiant – bruit résidentiel

Dans le cas d'une PAC : Bruit résidentiel = 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.

Les mesures acoustiques peuvent être effectuées en extérieur comme en intérieur sur la propriété voisine.

Ce décret encadre le bruit des installations collectives sur les parcelles voisines, ainsi que le bruit d'une installation individuelle sur le logement voisin. Il est à appliquer en construction comme en rénovation lors de l'installation d'une PAC.

- Code de la construction et de l'habitation qui régit le bruit dans le bâtiment où se situe la PAC

Le code de la construction et de l'habitation, article R. 111-4 et arrêté du 30 juin 1999 a été repris dans la nouvelle réglementation acoustique (NRA) datant du 1er janvier 2000. Ce texte régit le bruit dans le bâtiment où se situe la PAC. Sont définies des valeurs de pressions acoustiques à respecter pour :

- Des équipements de chauffage/climatisation individuels ;
- Des équipements de chauffage/ventilation/ECS individuels et collectifs, extérieurs au logement considéré.

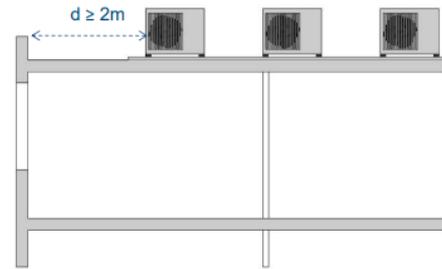
Ces réglementations sont complexes et il est difficile d'évaluer leurs efficacités et leurs incidences concrètes en termes de position des équipements et de traitement acoustique à associer. Il semble important de vulgariser leurs fonctionnements et d'illustrer leurs incidences sur les cas les plus récurrents.

➤ **NF HQE : Règles simplifiées d'implantation des PAC**

Le référentiel NF HQE intègre les réglementations acoustiques en vigueur et leurs associe des conditions simplifiées et supplémentaires pour le positionnement des PAC. Pour les PAC collectives le NF HQE exige de respecter un maximum de 45 dB(A) devant les baies et ceci se traduit par :

- Si $L_w \text{ PAC} \leq 65 \text{ dB(A)}$: Module PAC à 2m minimum
- Si $L_w \text{ PAC} \leq 70 \text{ dB(A)}$: Module PAC à 8m minimum

Ces exigences sont de bon garde-fou, mais ne traite pas de tous les cas et ne se substitue pas à une étude acoustique.



Exemple pour des modules avec puissance $L_w \leq 65 \text{ dB(A)}$

➤ **Solution de traitement acoustique des installations collectives Air / Eau**

Les solutions de traitement des installations collectives sont principalement les parois acoustiques. Le déploiement de parois acoustiques sur une installation de PAC collective pour un bâtiment de 30 à 40 logements, engendre un surcoût d'environ 5 000€ à 7 000€.

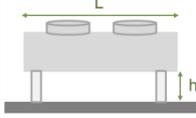


La profession ne dispose pas à ce jour de d'outils permettant de définir le positionnement et les solutions de traitement acoustique à prévoir sans faire intervenir un acousticien. Il est donc indispensable d'inciter à la mobilisation d'une étude acoustique dès l'esquisse pour définir le positionnement de la PAC. Sans une telle mission les risques de contre-référence, de surcoût et complexité de la phase conception et exécution sont importants.

Encombrement et impact visuel des PAC Air / Eau collective

La hauteur des unités extérieures de PAC oscille entre 1,30 et 2.00m.

L'encombrement total de l'équipement dépend largement des supports qui lui sont associés. La hauteur des supports est encadrée par le DTU étanchéité 65.16 : plus l'emprise et le poids de l'unité extérieure est important, plus la hauteur des supports est élevée pour permettre un contrôle visuel de l'étanchéité de la terrasse.

	Installation	Surélévation						
Cas 1	Installation sur des rails	0,30 m minimum						
Cas 2	Démontable en sous-ensemble de moins de 90 kg	0,10 m minimum						
Cas 3	Installation sur support (type plot béton) et non démontable	 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>L (m)</td> <td>≤ 1,20</td> <td>> 1,20</td> </tr> <tr> <td>h (m)</td> <td>≥ 0,40</td> <td>> 0,80</td> </tr> </table>	L (m)	≤ 1,20	> 1,20	h (m)	≥ 0,40	> 0,80
L (m)	≤ 1,20	> 1,20						
h (m)	≥ 0,40	> 0,80						

La hauteur des équipements PAC collectives et de leurs supports est d'environ de 2m à 2,70m selon les équipements.

Accès à l'équipement

L'accès aux solutions collectives doit être traité. Pour cela il est nécessaire de :

- Anticiper le changement des PAC et identifier dès la conception les solutions de levage à mobiliser
- Prévoir un accès sécurisé et anticiper les surcoûts engendrés (sans accès sécurisés, les exploitants refuseront d'accéder à l'équipement).

En cas d'équipement individuel déposé en toiture collective, l'accès doit être sécurisé pour les personnes réalisant l'entretien des PAC. Cette disposition s'avère très complexe à mettre en place sur des bâtiments existants, puisqu'elle implique une modification du règlement de copropriété ainsi que des modifications techniques collectives dédiées à un propriétaire ou une partie des propriétaires.

5. MARCHE ACTUEL DE LA PAC

5.1. Bibliographie et méthodologie

Les études ci-dessous ont été utilisées pour estimer le marché français de la pompe à chaleur en résidentiel collectif. Les chiffres et graphiques présentés dans cette partie sont issus du croisement de différentes sources.

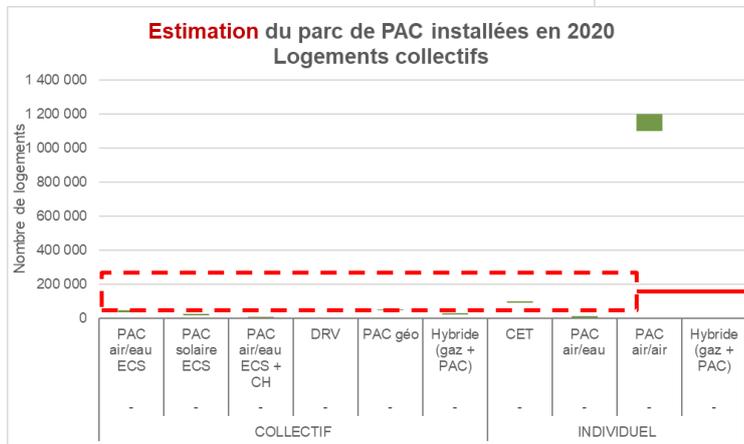
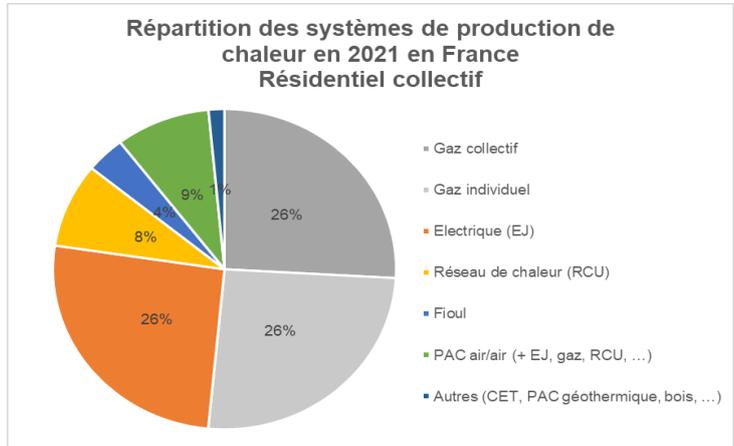
N°	Auteur	Date de publication	Période d'étude	Titre de l'étude
1	ADEME	2021	Bilan 2020 Vision 2030	Feuille de route 2030 Systèmes thermodynamiques en Résidentiel et Tertiaire
2	AFPAC	2018	Bilan 2017 Vision 2030-2050	La Pompe à Chaleur : de nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050
3	AFPG	2021	Bilan 2020	La géothermie en France : étude de filière 2021
4	Observ'ER	2019	Bilan 2018	Etude sur le marché de pompes à chaleur géothermiques collectives
5	Observ'ER	2021	Bilan 2020	Suivi du marché et des prix 2020 des pompes à chaleurs individuelles
6	PAC & Clim'info	2021	Bilan janv-août 2021	La climatisation – Les pompes à chaleur : les chiffres du marché français de janvier à août 2021
7	Uniclima	2021	Bilan 2020	Bilan 2020 et perspectives 2021 des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques
8	Uniclima	2021	Bilan 2020	Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération
10	Base OPE	2018	2012-2018	Base de données des études thermiques RT2012
11	CEREN	2020	Bilan 1990-2020	Données énergie 1990-2020 du secteur résidentiel
12	Carbone 4 - Pouget	2020	Bilan 2019 Vision 2050	Neutralité et logements
13	INSEE	2021	2021	Estimations annuelles du parc de logements 2021
14	Fraunhofer	2018	2010-2017	Heat Pumps in Multi-Family Buildings (Germany) Pompes à chaleur en résidentiel collectif
15	Graz University Austrian Institute	2020	2015-2016	Heat Pumps in Multi-Family Buildings (Austria) Pompes à chaleur en résidentiel collectif (Autriche)

5.2. Système de chauffage des bâtiments existants

En 2021, le parc de logements collectifs français compte environ 13 millions de résidences principales¹ :

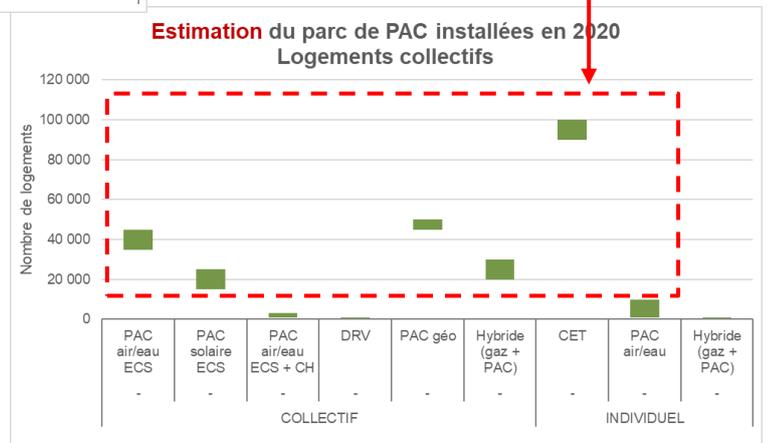
	France entière	France métropolitaine
Logements collectifs	16,7 millions	16,3 millions
Logements collectifs (résidences principales)	13,4 millions	13,1 millions

Une majorité de logements sont chauffés avec du gaz et de l'électricité type effet joule². La place des pompes à chaleur est encore marginale en 2021, sauf pour la PAC Air / Air qui s'est développée fortement ces dernières années.



La PAC Air / Air est de loin le système thermodynamique le plus installé³, avec presque 1,2 millions de logements collectifs équipés en 2020.

Le graphique à droite propose un focus sur les autres systèmes thermodynamiques installés pour faciliter la lecture du graphique pour les solutions les moins installées. Les systèmes thermodynamiques dédiés à la production d'ECS sont les plus implantés (PAC Air / Eau ECS collective, PAC solaire ECS collective et Chauffe-Eau Thermo (CET) individuel). Il a été proposé des éléments pour comprendre ce qui avait engendré l'essor de ces solutions en partie 3.1 (cf. « nota » de la partie « Besoin en température pour l'ECS ».)



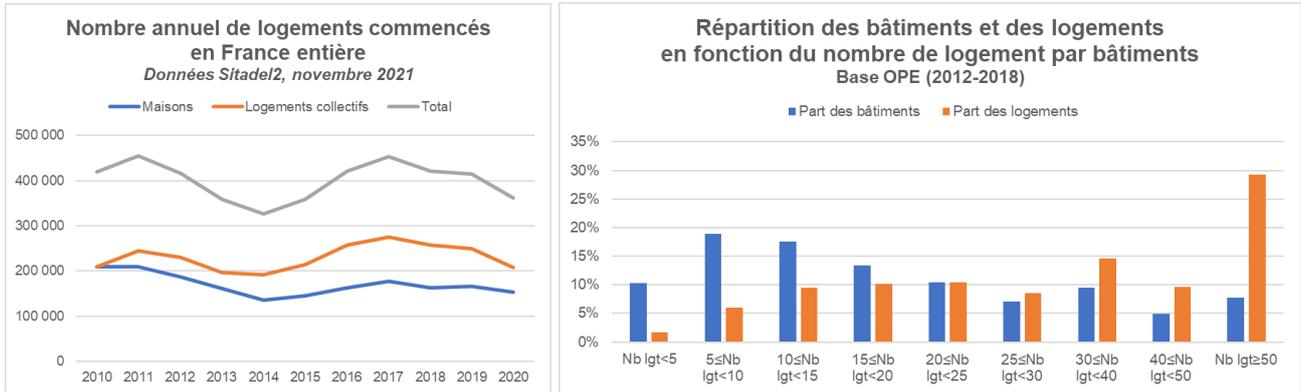
¹ Source n°13

² Source n°11 et 12 pour la répartition des systèmes (+ source n°1 pour les PAC air/air, CET, PAC géo)

³ Source principale : n°1 (puis complément avec sources n°2, 3 et entretiens industriels). Il n'existe pas de statistiques précises sur le nombre de PAC vendues en logements collectifs, les fourchettes indiquées peuvent donc être importantes.

5.3. Marché de la construction neuve RT2012

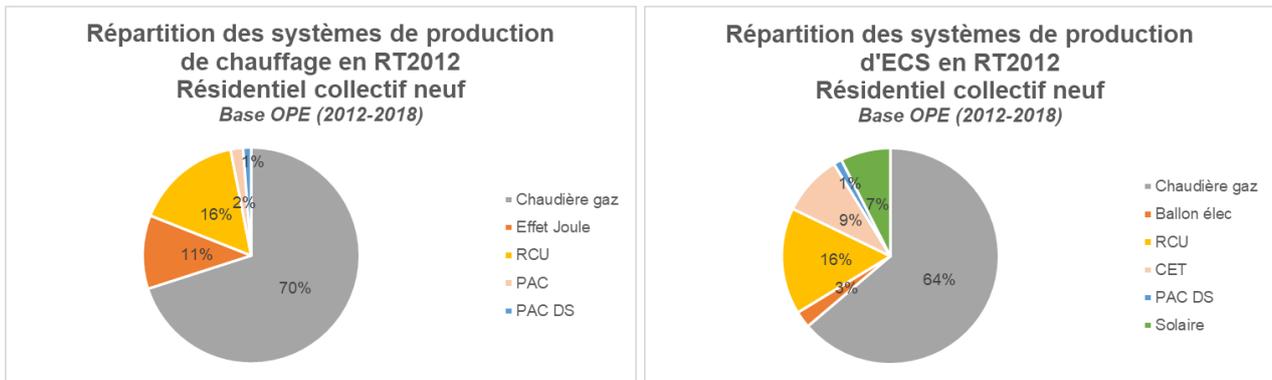
Depuis le début de la RT2012, entre 200 000 et 300 000 logements collectifs sont construits par an. En 2020, environ 200 000 logements collectifs ont été construits, ce qui correspond à 9 000 bâtiments (soit 22 logements par bâtiments en moyenne)⁴.



Les « petits » bâtiments (moins de 10 logements) représentent 30% des bâtiments. A contrario, ils représentent une faible part des logements construits : seulement 8%.

Les bâtiments de plus de 10 logements représentent 70% des bâtiments et 92% des logements.

Ces données seront utilisées dans la suite du rapport pour évaluer le nombre de PAC nécessaires en 2025, pour répondre à la RE2020 notamment.



Seul 3% des logements neufs en RT2012 sont chauffés avec une PAC (cela représente 5% des bâtiments).

Pour la production d'ECS, la part des PAC est plus importante (10%) notamment en zones H2d et H3 (arc méditerranéen).

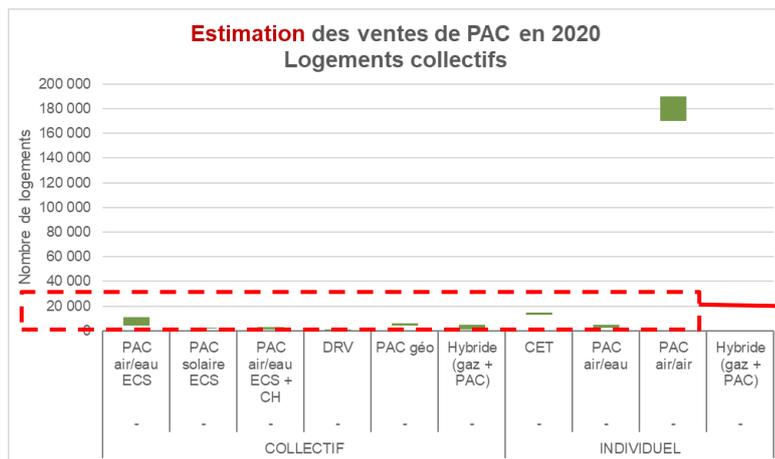
Il est compliqué de connaître la nature des solutions PAC mobilisées pour le chauffage. On peut supposer que les systèmes les plus récurrents sont les suivants :

- PAC collective Eau/Eau sur sondes géothermiques
- Mono-split ou Multi-split Air / Air individuel ou PAC individuelle Air / Eau pour le traitement des logements des derniers niveaux.
- Quelques solutions PAC collective Air / Eau.

⁴ Source n°10

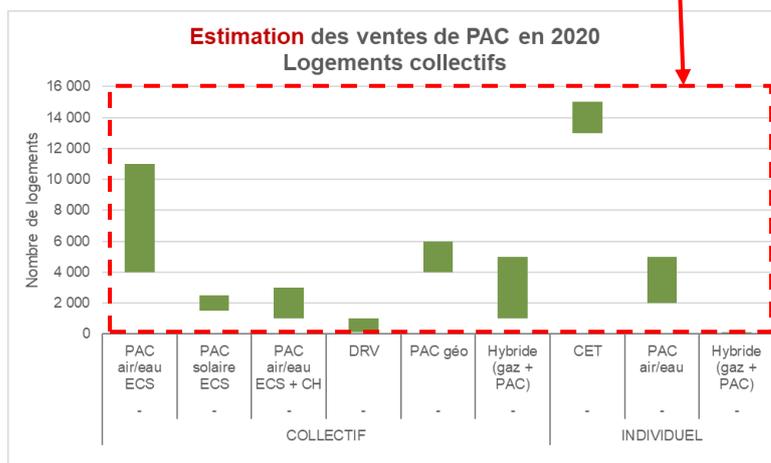
5.4. Les ventes en 2020

Dans la continuité des volumes constatés sur le parc, les ventes de PAC en 2020 sont dominées par la PAC Air / Air⁵.

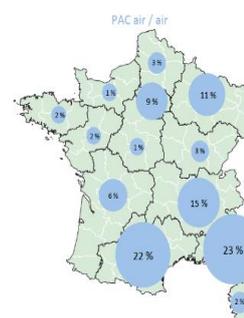


La majorité des PAC Air / Air vendues en logements collectifs l'ont été en rénovation. La PAC Air / Air est par ailleurs principalement installée dans les zones climatiques où les besoins de climatisation sont importants⁶

A l'inverse, les autres types de PAC sont vendues en majorité en construction neuve.



	Système	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans en rénovation
Collectif	PAC Air / Eau ECS	90%	10%
	PAC solaire ECS	75%	25%
	PAC Air / Eau ECS+CH	75%	25%
	DRV	90%	10%
	PAC géothermique	75%	25%
	Hybride (gaz + PAC)	75%	25%
Individuel	CET	60%	40%
	PAC Air / Eau	90%	10%
	PAC Air / Air	10%	90%
	Hybride (gaz + PAC)	90%	10%



Répartition géographique de ventes de PAC air/air en 2020

⁵ Source principale : n°1 (puis complément avec sources n°3, 5, 6 et entretiens industriels). Il n'existe pas de statistiques précises sur le nombre de PAC vendues en logements collectifs, les fourchettes indiquées peuvent donc être importantes.

⁶ Source n°5

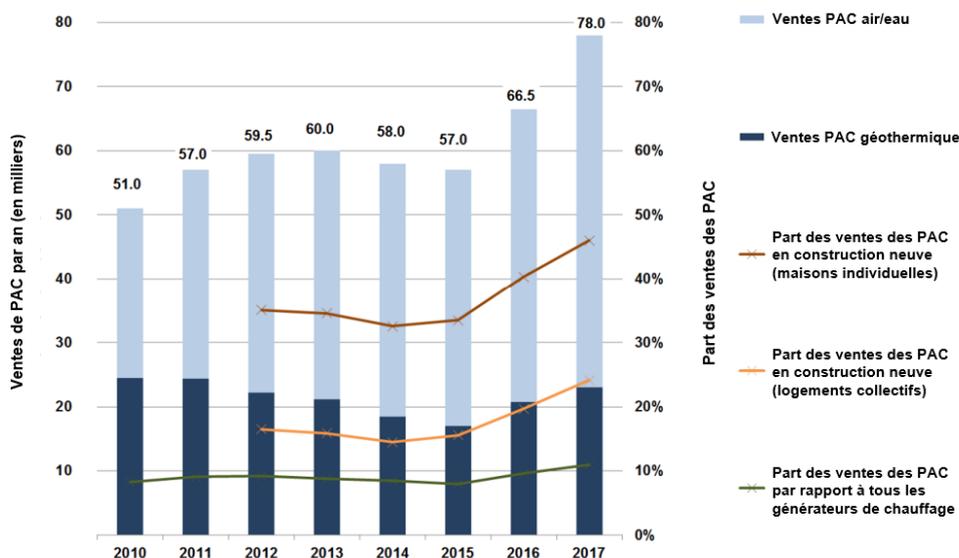
5.5. Marché européen

Allemagne

Selon l'AFPAC le marché allemand est le 3^{ème} marché européen pour les systèmes thermodynamiques (maisons, immeubles et tertiaire), mais reste loin derrière le marché français.

Le marché allemand se développe fortement depuis 2015, surtout pour les PAC Air / Eau, pour les maisons individuelles et logements collectifs.

Les ventes de PAC géothermiques ont diminué jusqu'en 2015, mais sont en croissance depuis⁷.



Développement et ventes de pompes à chaleur en Allemagne entre 2010 et 2017

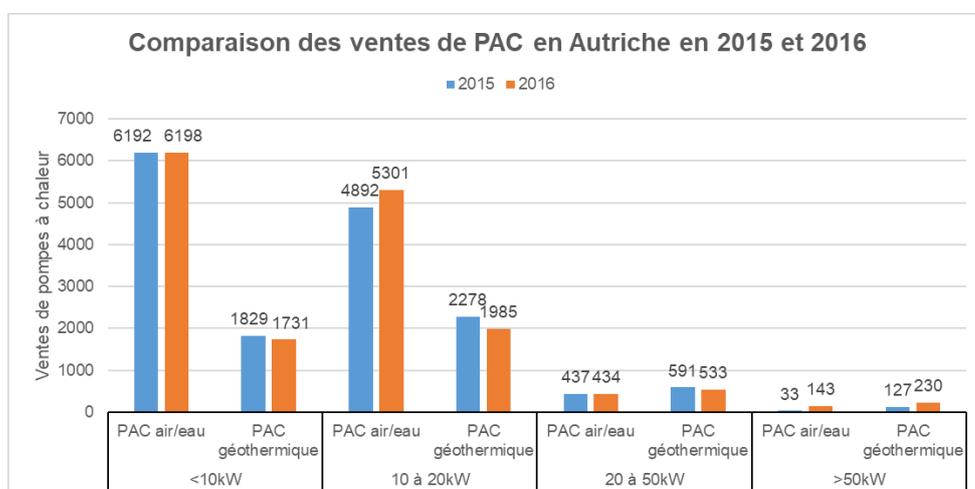
A noter qu'il existe deux types de tarification de l'électricité en Allemagne dont l'objectif est de permettre l'essor des PAC :

- Tarif fixe (comme en France)
- Tarif réduit si possibilité de stopper la PAC 3 fois par jour pour une durée maximum de 2 heures

Autriche

Le marché de la pompe à chaleur est moins développé en Autriche.

Cependant entre 2015 et 2016, le nombre de PAC Air / Eau de forte puissance (>50kW) a quadruplé et le nombre de PAC géothermique de forte puissance a presque doublé⁸.



⁷ Source n°14

⁸ Source n°15

5.6. Conclusion

Malgré des données datant de 2016 ou 2017, on constate que sur ces périodes - en Allemagne - la PAC représente des parts de marché non négligeables et en croissance. Ceci s'explique sûrement par la présence importante des émetteurs basse température, facteur favorable au déploiement des PAC.

La pompe à chaleur en logement collectif reste aujourd'hui marginale en France. Seule la PAC Air/Air s'est fortement développée ces dernières années, notamment à cause des épisodes caniculaires, et est installée dans presque 10% des logements collectifs, principalement pour répondre à des enjeux de rafraîchissement.

Ce constat montre à quel point il est primordial d'intégrer le sujet du confort d'été, dès la conception/construction, pour limiter les besoins de froid en période estivale et anticiper l'intégration des solutions de rafraîchissement performante durant la vie des bâtiments. Ceci passe par le déploiement d'émetteur basse température et l'identification dès la conception de la position des futurs générateurs.

En construction neuve, les PAC ne se sont pas développées sous la RT2012 pour la production de chauffage, avec 70% de logements chauffés au gaz et seulement 3% avec des PAC. La part des PAC pour la production d'ECS est un peu plus importante (10%), surtout pour les zones H2d et H3 (arc méditerranéen).

6. CONSTRUCTION

6.1. Positionnement des solutions en RE2020

Présentation des solutions testées :

Dans cette partie, des calculs sur les différents indicateurs de la RE2020 ont été réalisés sur un bâtiment de 32 logements collectifs. Quelques abréviations ont été utilisées dans les graphiques pour nommer les solutions :

- Solutions références : gaz individuel et gaz collectif
- Solutions collectives :
 - EJ + PAC ECS : Effet Joule (chauffage) + Pompe à chaleur pour la production d'ECS
 - PAC DS : Pompe à chaleur Double Service : chauffage + ECS
 - PAC géo : PAC géothermique
 - Gaz coll + PAC ECS : Gaz collectif + Pompe à chaleur pour la production d'ECS
 - Gaz coll + PAC (ECS + 20% CH) : Gaz collectif + Pompe à chaleur pour la production d'ECS et 20% de la puissance de chauffage à -7°C
- Solutions individuelles :
 - EJ + CET air extrait : Effet joule (chauffage) + Chauffe-eau thermodynamique individuel pour l'ECS
 - PAC Air / Eau : Pompe à chaleur Air / Eau individuelle (chauffage + ECS)
 - Gaz individuel + CET air extrait : Gaz individuel (chauffage) + Chauffe-eau thermodynamique individuel pour l'ECS
 - PAC hybride : Pompe à chaleur (chauffage + une partie de l'ECS) avec un appoint gaz
 - EJ + CET air ext + split :
 - Chauffage : pompe à chaleur Air / Air monosplit dans le salon + effet joule dans les chambres
 - ECS : Chauffe-eau thermodynamique individuel

Les numéros indiqués dans les graphiques font référence aux fiches solutions.

Indicateur *Ic Construction* : impact carbone des équipements et matériaux

Rappels RE2020 :

Ic construction : Impact Carbone de la Construction. C'est l'impact carbone de tous les matériaux, équipements et du chantier d'un projet. Pour calculer cet indicateur, une analyse de cycle de vie (ACV) est réalisée pour tous les produits mis en œuvre et au niveau du bâtiment.

Lot 8 : Les matériaux et équipements sont regroupés dans 13 lots différents (lot 1 : VRD, lot 2 : infrastructure, etc.). Le lot 8 correspond au lot CVC, et est découpé en 7 sous-lots :

- 8.1 : Equipements de production et stockage ECS
- 8.2 : Systèmes de cogénération
- 8.3 : Systèmes d'émission
- 8.4 : Traitement de l'air et éléments de désenfumage
- 8.5 : Réseaux et conduits
- 8.6 : Stockage de combustibles
- 8.7 : Fluides frigorigènes

A noter qu'il existe une valeur forfaitaire en RE2020 pour les logements collectifs pour le lot 8.1 (74 kgCO_{2e}/m²_{shab}).

Lors de l'expérimentation E+C-, le lot 8 n'était jamais calculé par les BET car il existait une valeur forfaitaire pour ce lot et très peu de fiches étaient disponibles.

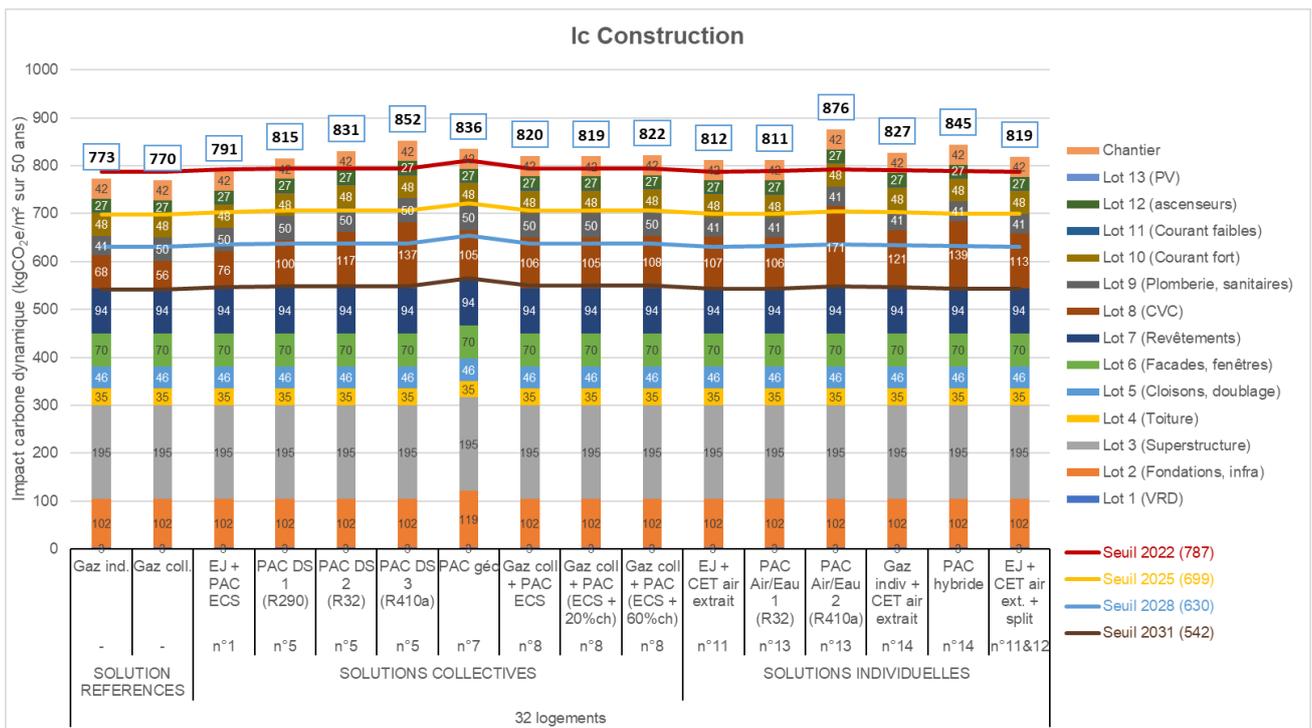
➤ Positionnements actuels des solutions thermodynamiques

Le graphique ci-dessous présente l'indicateur Ic Construction pour différents systèmes thermodynamiques. Il apparaît que les solutions de références (gaz individuel et collectif) sont réglementaires sur le bâtiment étudié et respectent le seuil 2022.

A l'inverse, le seuil 2022 de la RE2020 est dépassé pour toutes les solutions thermodynamiques (entre +1 et +84 kgCO₂e/m²_{shab}). Pour compenser ce surplus, il est nécessaire de diminuer l'impact carbone du bâtiment, sur d'autres lots (revêtement de sol, façade, etc.). En général, une diminution du Ic Construction de 1 kgCO₂e/m²_{shab} engendre une augmentation du coût d'investissement de +0,5 à 3€/m²_{shab} (en ne considérant uniquement des améliorations par changement de matériaux). Par exemple, sur le bâtiment étudié, voici quelques améliorations possibles :

- 22 kgCO₂e/m²_{shab} économisé → surcoût de +14 €/m²_{shab} (passage en parquet contrecollé)
- 45 kgCO₂e/m²_{shab} économisé → surcoût de +32 €/m²_{shab} (passage en parquet contrecollé, menuiseries bois, huisseries bois des portes intérieures, moquette recyclée, isolant du RDC en laine de bois-polystyrène)

Ces surcoûts ne sont pas négligeables pour l'économie d'un projet aujourd'hui et pourraient freiner le développement des PAC.



L'origine de l'impact carbone des solutions PAC par rapport aux solutions de références gaz est multiple :

- **Données par défaut** : à la différence des solutions gaz, il existe peu de PEP individuels et collectifs pour les solutions PAC. En moyenne, 80% de l'impact carbone du lot 8 est aujourd'hui lié à des données par défaut. Les industriels ont identifié le sujet et des PEP sont en cours de création ou validation (on note la création récente d'un PEP individuel pour les PAC Air/Eau collective de Auer et d'un PEP collectif de Uniclimate pour le monosplit au R32)).
- **Ballon de stockage ECS** : les PAC collective nécessitent généralement plus de ballons de stockage ECS que les solutions gaz collective. Les ballons de stockage ECS représentent presque un tiers de l'impact carbone du lot 8. Un seul PEP collectif d'Uniclimate est disponible aujourd'hui, et semble considérer une hypothèse défavorable (la présence d'anode au magnésium) qui pénalise fortement son impact carbone. Uniclimate et les industriels sont informés de cet enjeu mais la modification des PEP collectif est un processus lent.
- **Fluides frigorigènes** : il existe seulement quelques offres matures avec des fluides à faible PRG. L'impact carbone des fluides frigorigènes est important à l'échelle du bâtiment (par exemple, sur le graphique ci-dessus, pour la PAC DS collective, entre R290, R32 e R410a on constate un écart de 37 kgCO₂e/m²_{shab}).

De plus, il manque des PEP pour quelques émetteurs basse température, qui sont adaptés et favorables aux PAC :

- Radiateurs basse température, plancher chauffant, plafond chauffant : PEP disponibles
- Ventilo-convecteur de zone et ventilo-convecteur individuel : aucun PEP disponible à ce jour, ce qui freine fortement le développement de ces émetteurs en ce début d'application de la RE2020.

A noter que le lot 8.1 forfaitaire est utilisé pour toutes les modélisations des systèmes thermodynamiques pour limiter l'impact sur le Ic Construction. Les valeurs seraient beaucoup plus élevées si ce forfait n'était pas mobilisé. Grâce à ce forfait l'écart entre les solutions individuelles et collectives est donc similaire, ce qui devrait évoluer dans les années à venir avec la création de PE (voir paragraphe suivant).

➤ **Positionnement futur des solutions thermodynamiques**

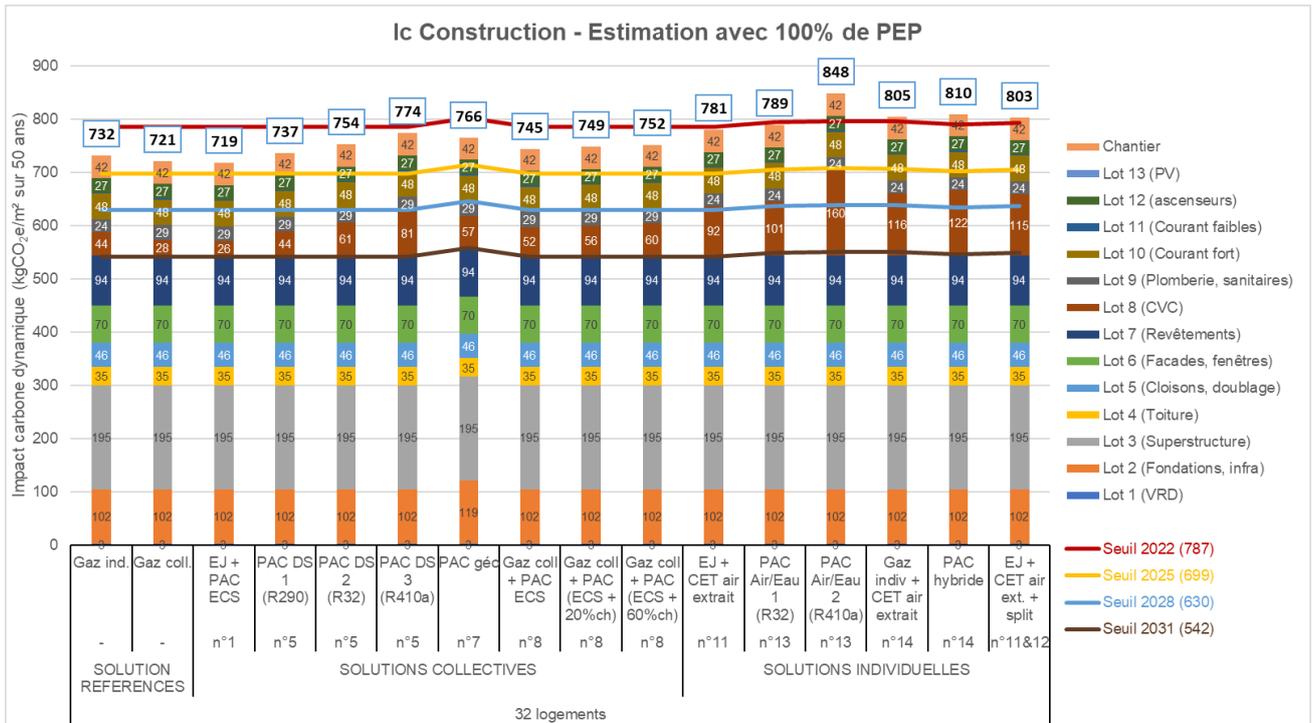
L'objectif du graphique ci-dessous d'imaginer quelle serait la valeur du IC Construction de différents systèmes thermodynamiques si ces derniers étaient tous couverts par des PEP, en prenant l'hypothèse que l'ensemble des cas sont couverts par des PEP.

Les hypothèses suivantes ont été utilisées pour réaliser cette estimation :

- Utilisation des PEP en cours de validation (PAC collective Air / Eau et PAC Air / Air monosplit)
- Ballon ECS collectif : anode en magnésium de 1 kg (au lieu de 9,5 kg dans le PEP actuel)
- CET air extrait : utilisation du PEP CET air extérieur
- Division par 2 de l'impact carbone des données par défaut (c'est le ratio moyen constaté en comparant des FDES et données par défaut)

On constate que les solutions collectives dotées de fluides à faibles PRG ont des impacts proches de celui des solutions gaz. Par ailleurs, il apparaît clairement que les solutions collectives présentent un bilan carbone plus faible que les solutions individuelles thermodynamiques.

Les solutions individuelles resteront donc fortement pénalisées à l'avenir sur l'indicateur Ic construction, ce qui freinera leur déploiement et notamment pénalisera les petits bâtiments (sur lesquels les solutions collectives sont plus coûteuses et difficile à déployer).



On constate que les solutions collectives dotées de fluides à faibles PRG ont des impacts proches de celui des solutions gaz. Par ailleurs, il apparaît clairement que les solutions collectives présentent un bilan carbone plus faible que les solutions thermodynamiques individuelles.

Les solutions individuelles resteront donc fortement pénalisées à l'avenir sur l'indicateur Ic construction, ce qui freinera leur déploiement et notamment pénalisera les petits bâtiments (sur lesquels les solutions collectives sont plus coûteuses et difficile à déployer).

Synthèse Ic construction :

Le manque de PEP risque de freiner l'essor des PAC au début de l'application de la RE2020. Le fort impact carbone des PAC doit alors être compensé par des optimisations bas carbonés sur le gros œuvre et/ou second œuvre, ce qui impacte l'économie de projet.

A l'avenir, la création de PEP va permettre de diminuer l'impact carbone des solutions collectives et donc de faciliter le respect du seuil Ic construction. Cela dit, l'impact carbone des solutions individuelles ne devrait pas diminuer significativement, ce qui devrait freiner leur développement au profit des solutions collectives.

Indicateur Ic Energie et Cep : impact carbone des équipements et matériaux

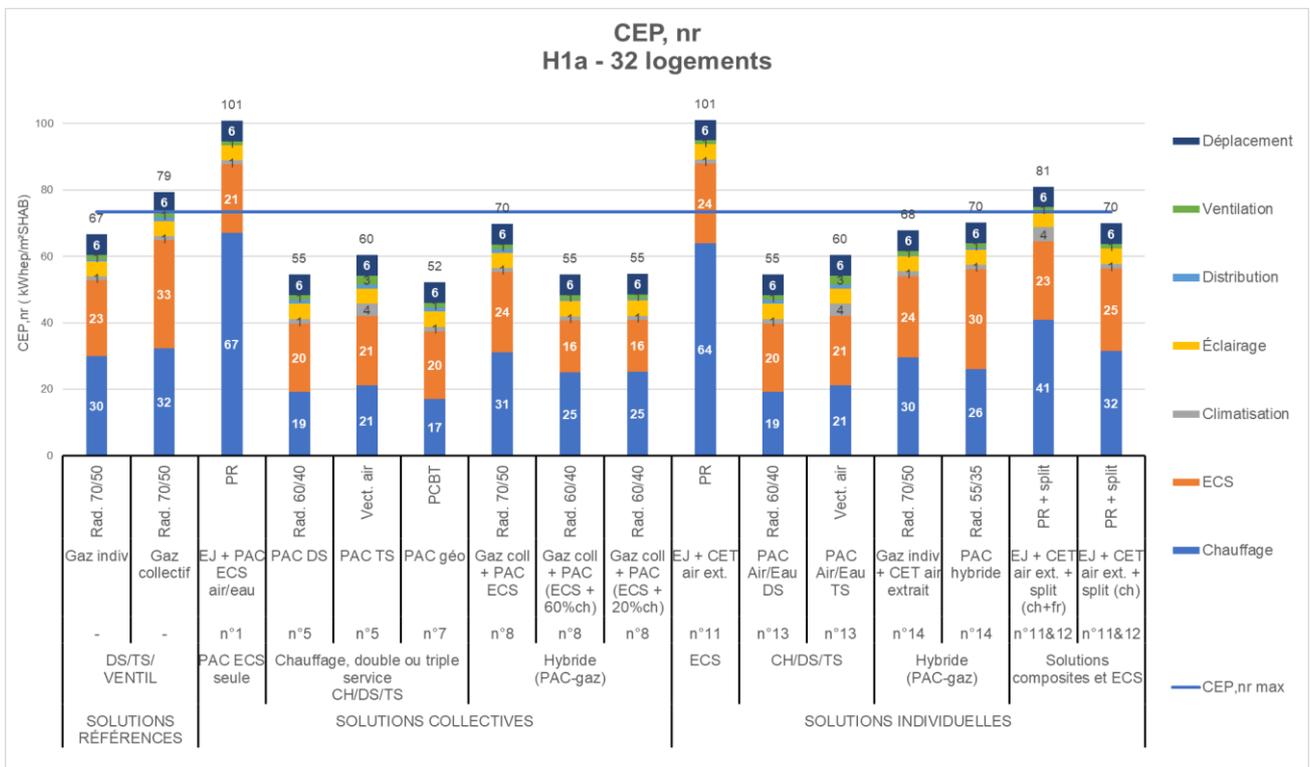
Rappels RE2020 :

Cep,nr : Consommations d'énergie primaire non renouvelable. C'est l'indicateur RE2020 qui contraint les consommations énergétiques d'un projet, et influence le positionnement technico-économique des solutions énergétiques.

Ic énergie : Impact carbone des consommations énergétiques. C'est un indicateur nouveau par rapport à la RT2012, qui réglemente les émissions de gaz à effet de serre liées aux consommations énergétiques. Il existe principalement 2 seuils en logements collectifs : un premier (seuil 2022) pour permettre à la filière de se préparer au 2^{ème} seuil qui sera plus contraignant (seuil 2025).

➤ Indicateur Cep,nr

Le graphique ci-dessous présente l'indicateur Cep,nr pour différents systèmes énergétiques sur un bâtiment de 32 logements, situé dans la zone climatique H1a (région parisienne et nord de la France).



Les solutions testées respectent toutes facilement le seuil CEP,nr sauf :

- **Chauffage effet joule (EJ) associé à une PAC ECS collective ou individuelle** : le seuil CEP,nr max est très largement dépassé. Les besoins de surisolation sont donc importants (difficilement compatible avec l'isolation intérieure) pour que cette solution soit réglementaire et cela nécessite de changer les habitudes constructives (ex : isolation extérieure, façade ossature bois). A noter que cette association « effet joule + PAC » était la solution thermodynamique la plus répandue en RT2012, et de nombreuses PAC ne produisant que de l'ECS ont trouvé une place en répondant à ce marché. Ces PAC « ECS seule » devront donc sûrement s'associer à d'autres systèmes de chauffage : gaz, réseau de chaleur, chaudière bois,

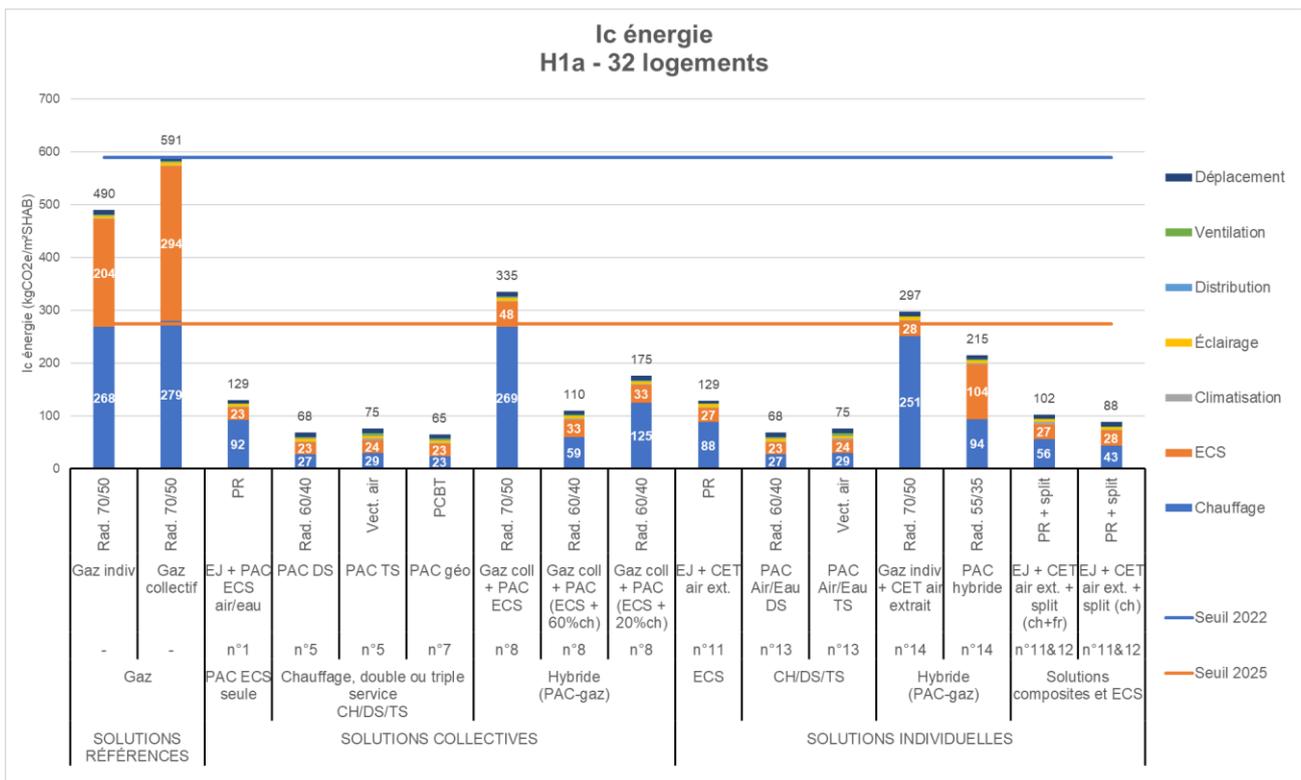
PAC chauffage seul, ... ce qui représente un véritable enjeu en termes de positionnement technico-économique.

- Gaz collectif : le seuil CEP,nr contraint également le gaz collectif, ce qui implique soit un renforcement de l'enveloppe thermique (Bbio -5 à -20% selon les situations, compatible avec les solutions d'isolation par l'intérieur), soit une association a une solution PAC produisant l'ECS.
- Solution composite sans refroidissement : cette solution permet de respecter les seuils sans renforcement de l'isolation.
- Solution composite avec refroidissement : cette solution dépasse le seuil Cep.nr et devra renforcer l'isolation pour passer sous le seuil objectif.

➤ Indicateur Ic Energie

Concernant l'indicateur Ic énergie, le seuil 2022 est facilement respecté par tous les systèmes.

En 2025, les solutions 100% gaz ne seront plus possibles et les solutions 100% électriques passeront facilement le seuil. Pour les solutions hybrides (gaz et PAC), les conclusions sont différentes suivant le taux d'hybridation :



- Gaz collectif (chauffage et appoint en ECS) + PAC collective (ECS) : cette solution dépasse le seuil 2025, ce qui nécessite une surisolation importante, mais qui reste accessible aux modes constructifs traditionnels (par exemple béton + isolation par l'intérieur).
- Gaz individuel (chauffage) + CET individuel (ECS) : cette solution dépasse légèrement le seuil 2025, et donc nécessite un petit complément d'isolation. Ce système pourrait se développer pour les petits bâtiments car c'est une solution individualisée et l'intégration est simple et maîtrisée.
- Gaz collectif (appoint pour le chauffage et l'ECS) + PAC collective (ECS et 20% de la puissance chauffage soit couvrant environ 40% des besoins de chauffage)⁹ : le seuil 2025 est facilement atteint, et les

⁹ Deux PAC de 14 kW (à 7/35°C) ont été modélisées ici pour la production de chauffage. Avec une seule PAC de 14 kW le seuil Ic énergie serait tout de même atteint. La solution traditionnelle gaz collectif + PAC ECS respecte le seuil 2025 si l'une des deux conditions est remplie :

- Renforcement de l'isolation
- Ajout d'une PAC pour faire une partie du chauffage

contraintes d'intégrations sont légèrement plus faibles qu'un système 100% PAC Air / Eau (la puissance des PAC étant plus faible, leur encombrement est moins important). Cependant, un seul industriel propose, à ce jour une telle offre. Le degré d'intervention de la PAC selon les usages pourra varier, Atlantic propose par exemple de traiter 50% des besoins ECS et 40% des besoins de chauffage par la PAC pour respecter les seuils 2025.

- **PAC hybride individuelle** : le seuil 2025 est également facilement atteint et de nombreuses solutions sont disponibles sur le marché. Ce système est plutôt adapté aux maisons (présence d'une unité extérieure), mais pourrait se développer pour les petits collectifs.

Condition d'intégration de la production de froid

La RT2012 contraignait largement l'intégration de la climatisation les bâtiments classés CE1 :

- Bâtiment classé CE1 : pas de droit à consommer supplémentaire pour de la climatisation
- Bâtiment classé CE2 : seuil CEP réhaussé pour intégrer plus facilement des consommations de climatisation

CE1 = bâtiment qui ne cumule pas un environnement bruyant (BR2 ou BR3), une faible altitude et une position dans une zone climatique chaude (H2d et H3). Voir tableau ci-dessous

Zone à usage	Baies exposées aux zones de bruit	Zones climatiques													
		H1a	H1b	H1c < 400 m	H1c > 400 m	H2a	H2b	H2c < 400 m	H2c > 400 m	H2d < 400 m	H2d > 400 m et < 800 m	H2d > 800 m	H3 < 400 m	H3 > 400 m et < 800 m	H3 > 800 m
Habitation Enseignement	BR1	CE1													
	BR2														
	BR3														
Bureaux	BR1	CE2		CE2		CE2		CE2		CE2		CE2		CE2	
	BR2	CE2													
	BR3	CE2													
Autres concernées par RT 2012	BR1	CE2													
	BR2	CE2													
	BR3	CE2													

Avec la RE2020, les règles sont bien différentes car (en dehors de l'indicateur Ic Construction qui contraint les solutions thermodynamiques), il est désormais beaucoup plus simple d'intégrer de la climatisation en RE2020.

En effet, des consommations de climatisation sont toujours intégrées au calcul du CEP que les bâtiments soient climatisés ou non :

- Bâtiment sans climatisation : des consommations de climatisation seront comptabilisées si l'indicateurs (On parle de forfait de pénalisation) Degrés-heures est supérieurs à 350, ce qui est très courant.
- Bâtiment avec climatisation : calcul des consommations de climatisation

Spécificités de la zone H2d et H3 en zone de bruit forte

Rappels RE2020 :

Catégories en RE2020 :

- Catégorie 2 : 4 critères à respecter : zones H2d/H3 + climatisation + altitude inférieure à 400m + zone de bruit forte BR2 ou BR3
- Catégorie 1 : autres cas

Seuils Degrés-heures en zones H2d et H3 :

- Catégorie 1 : 1250
- Catégorie 1 climatisé : 1400
- Catégorie 2 : 2100

Il existe également des modulations suivant la surface moyenne des logements

D'après l'analyse de la base OPE, environ 50% des logements sont situés en zone de bruit forte sur les zone climatiques H2d et H3. Pour ces logements, il y a deux catégories concernant les seuils de degrés-heures :

- Bâtiment non climatisé : le seuil est à 1250
- Bâtiment climatisé : le seuil est à 2100

Les premiers tests effectués sur des bâtiments représentatifs affichent des résultats oscillants entre 1800 et 2500 DH. Il s'avère très difficile de respecter le seuil de 1250 DH en zone de bruit forte pour H2d et H3, sans impacter très largement la conception du bâtiment en déployant de très nombreuses solutions passives (inertie très lourde, occultation performante, brasseurs, etc.) et en adaptant l'architecture du bâtiment (logement traversant, orientation des baies...)

L'installation de climatisation sera donc récurrente pour ces bâtiments. Cependant, cela a un impact fort sur un autre indicateur de la RE2020 : l'**Ic construction** (voir paragraphes ci-dessus). Les PAC sont aujourd'hui pénalisées par un manque de PEP, surtout si des ventilo-convecteurs sont utilisées pour le rafraîchissement (aucun PEP disponible). Seuls deux émetteurs hydrauliques peuvent en effet rafraîchir et disposent de PEP : les planchers et plafonds rafraîchissant.

Au début de l'application de la RE2020, les bâtiments situés en zone de bruit forte et en zones climatiques H2d et H3 sont donc fortement contraints par deux indicateurs : les Degrés-heures et l'Ic construction. Et cette situation engendrera un essor plus rapide des solutions thermodynamiques dans ces zones climatiques.

6.2. Positionnement économique des solutions en 2025

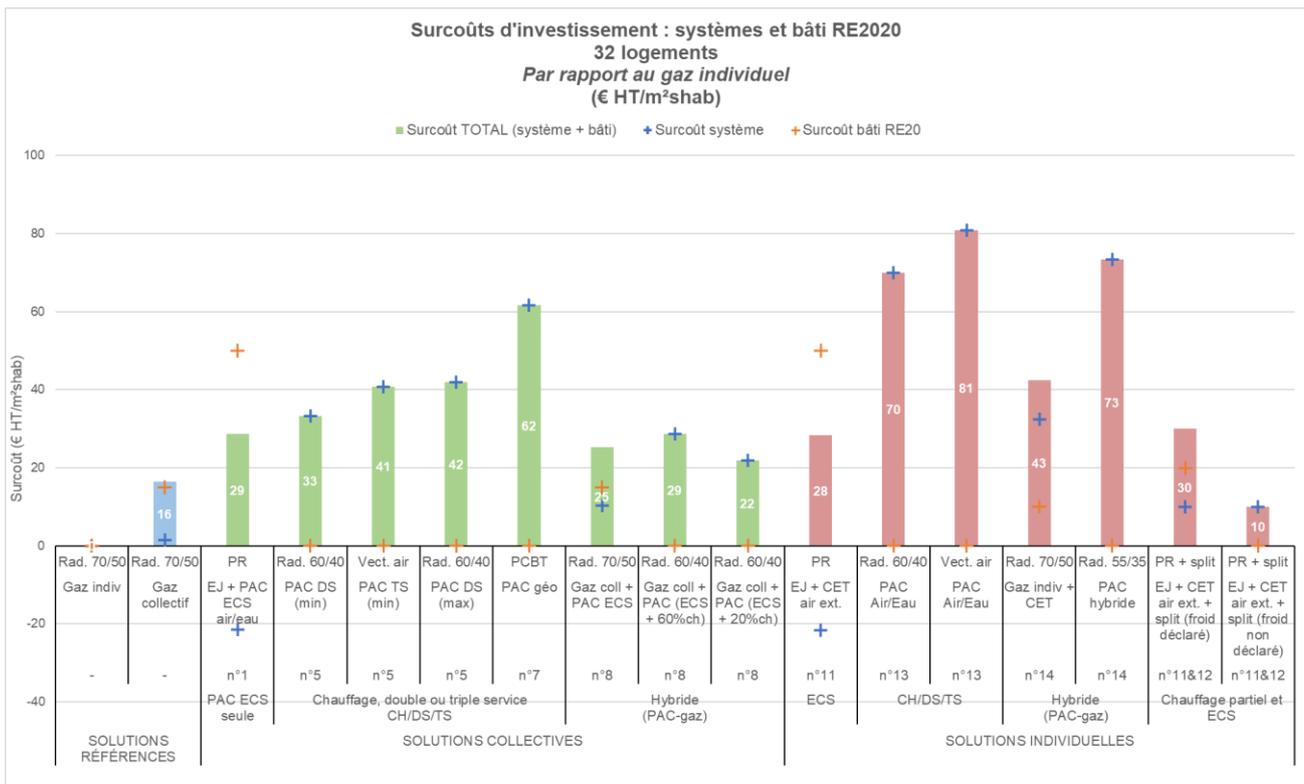
Coût d'investissement

➤ Bâtiment de 32 logements

Le graphique ci-dessous présente le surcoût d'investissement (système et surisolation) en RE2020 pour respecter le seuil Ic Energie 2025 pour le bâtiment de 32 logements. Les résultats sont affichés en comparaison à la solution de référence gaz individuel associée à un niveau d'isolation respectant le Bbio de la RE2020.

La solution gaz collectif est plus coûteuse que la référence en gaz individuel, du fait de la surisolation désormais à prévoir en RE2020. Cette situation devrait favoriser l'essor des solutions gaz individuelles. En effet en RT2012 le gaz individuel était compétitif par rapport au gaz collectif jusqu'à 40 à 50 logements. En RE2020 cette limite risque de largement augmenter.

Au contraire, pour les solutions thermodynamiques, les systèmes collectifs sont généralement moins coûteux que les systèmes individuels. Cela devrait favoriser le développement des installations PAC **collectives** pour les projets RE2020.



A noter que malgré la mise en place de conduit de fumée et le raccordement gaz, les **solutions hybrides** collectives dimensionnées pour respecter les seuils Ic Energie 2025 affichent des coûts similaires aux solutions 100% PAC.

De plus, il semble y avoir une émergence d'une offre PAC hybride collective avec un taux de couverture faible, dimensionnée pour respecter tout juste les indicateurs RE2020. Plusieurs configurations sont possibles :

- Chaudière gaz associée à une PAC réalisant 100% de l'ECS et 20% du chauffage
- Chaudière gaz associée à une PAC réalisant 50-60% de l'ECS et 40% du chauffage

La solution PAC géothermique reste la plus coûteuse des solutions collectives et risque alors de rarement être mobilisée.

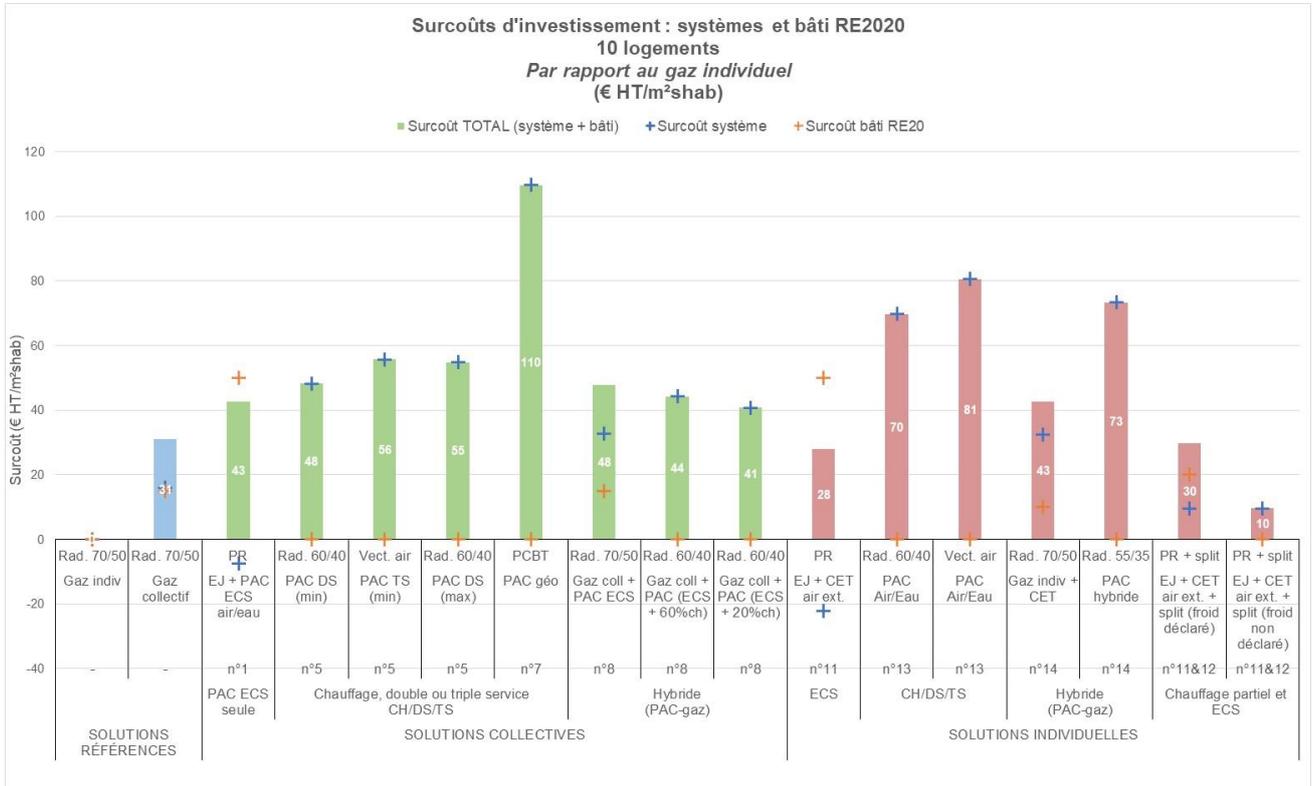
NB : Certaines solutions affichent des surcoûts totaux intéressants (ex : EJ + CET), mais leur développement sera freiné par le besoin d'une isolation très importante difficilement compatible avec les habitudes constructives actuelles (isolation intérieure) sans contraindre largement la morphologie des bâtiments (configuration incompatible avec des bâtiments peu compact).

NB : Ces coûts n'intègrent pas les éventuels surcoûts d'intégration acoustique ou de raccordement électrique.

➤ Bâtiment de 10 logements

Le constat est quasiment identique à celui du bâtiment de 32 logements : les solutions PAC collectives apparaissent légèrement moins coûteuses que les solutions individuelles (contrairement aux solutions gaz).

Pour les solutions (non représentés sur le graphique) couplant des PAC individuelles pour les logements T4-T5 et une solution « chauffage électrique effet joule + CET individuel » pour les T1-T2-T3 ; une opportunité de développement existe en RE2020. Ce couplage de 2 solutions présente plusieurs avantages pour les petits bâtiments : moins d'unités extérieures à intégrer, permet le respect de la RE2020 sans surisolation (à la différence des solutions 100% chauffage électrique).



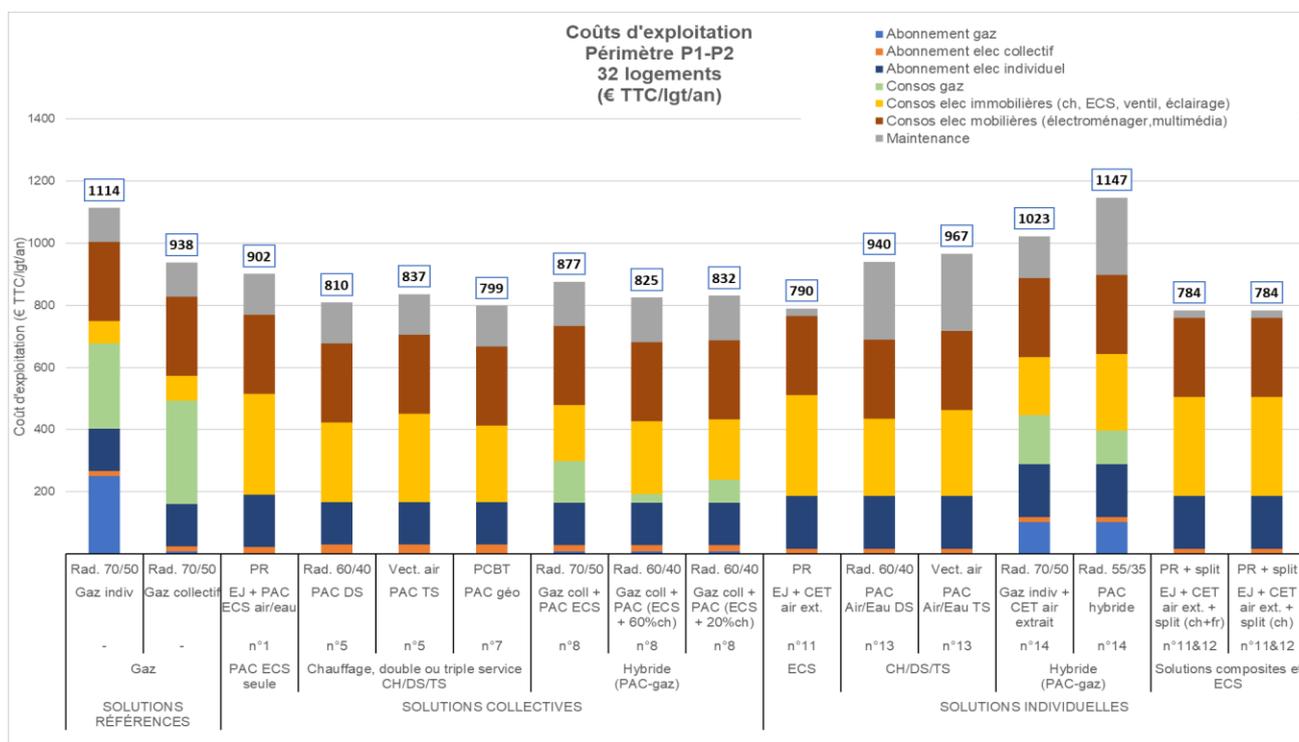
Quelle que soit la taille du bâtiment les solutions « composites individuelles » (nommées « chauffage partiel et ECS » sur le graphique) sont compétitives en termes de coût d'investissement. Il s'agit des solutions associant une PAC Air / Air (mono-split) pour le chauffage du salon, du chauffage électrique dans les chambres et un chauffe-eau thermodynamique individuel. A noter que le positionnement de cette solution varie largement selon si la production de froid est déclarée ou non. En effet les Mono-split produisant du froid ne sont pas compatibles avec la ventilation hygro B. Le passage en hygro A réhaussant largement les consommations et donc les prestations d'isolation à mettre en œuvre, de nombreux acteurs seront tentés de ne pas déclarer la production de froid. Cette « triche » déjà courante en maison individuelle RT2012, risque de l'être également en RE2020 pour le logement collectif.

Nota : Une nouvelle génération de solutions composites non présente sur le graphique bénéficie du même positionnement que la solution « froid non déclaré » en termes de coût d'investissement : il s'agit de chauffe-eau thermodynamique en capacité de couvrir une partie des besoins de chauffage du logement.

NB : Ces couts n'intègrent pas les éventuels surcoûts d'intégration acoustique ou de raccordement électrique.

Coût d'exploitation

Les coûts d'exploitations annuels ont aussi été étudiés sur le bâtiment de 32 logements en considérant les tarifs de l'énergie au 1^{er} avril 2022 notamment le prix de la fourniture : 0.182€TTC/kWh électrique et 0.09€TTC/kWh gaz.



On constate une baisse des coûts d'exploitation des solutions pompe à chaleur et hybride collective pour les logements RE2020 d'environ 13% (23% si l'on exclut les consommations mobilières du périmètre d'étude). La baisse des consommations d'énergie finale des solutions PAC sont compensées par l'écart de prix entre le kWh gaz et électrique.

Comme pour les coûts d'investissements, les solutions **collectives** apparaissent souvent moins onéreuses à l'exploitation que les solutions individuelles engendrés principalement par

- Des coûts d'abonnement individuel pour le gaz individuel
- Les coûts du contrat de maintenance pour les PAC individuelles double usage de plus de 4kW.

Les solutions dites « composites » (ne réalisant qu'une partie du chauffage en thermodynamique) sont bien positionnées, principalement car aucun contrat maintenance ne leur ait imposé par le décret du 28 juillet 2020 (ce dernier ne traitant que des solutions > 4kW).

Nota : ces coûts d'exploitations ne considèrent que les prestations P1 (fourniture d'énergie) et P2 (entretien). Les couts de maintenance considérés pour les solutions collectives sont les suivants :

- Maintenance Gaz Collectif : 3 500€/bat.an
- Maintenance PAC Collective : 4 200€/bat.an
- Maintenance Solution hybride Gaz + PAC : 4 600€/bat.an

A noter que les couts de maintenance des PAC collectives devraient se rapprocher des solutions Gaz collectives, une fois que les exploitants seront familiarisés à ces équipements.

6.3. Synthèse comparative des solutions et identification des opportunités

Le tableau ci-dessous reprend les principaux critères influençant le choix d'un système énergétique pour respecter les seuils 2025 de la RE2020.

Organisation	Usage	Fiche n°	Solution	Emetteurs	Surcoûts système	Surcoûts bâti	Surcout bâti + système	Contraintes d'intégration	Maturité de la solution	Compatible Ic construction	Compatible Ic énergie 2025
SOLUTIONS RÉFÉRENCES	CH et ECS	-	Gaz individuel	Rad. 70/50	0	0	0				
		-	Gaz collectif	Rad. 70/50	3	15	18				
SOLUTIONS COLLECTIVES	PAC ECS seule	n°1	EJ + PAC ECS air/eau	PR	-21	50	29				
		n°2	EJ + PAC ECS aéro solaire	PR	-16	50	34				
	Chauffage, double ou triple service CH/DS/TS	n°5	PAC DS (min)	Rad. 60/40	21	0	21				
		n°5	PAC TS (min)	Vect. air	29	0	29				
		n°5	PAC DS (max)	Rad. 60/40	31	0	31				
	Hybride (PAC-gaz)	n°7	PAC géothermique	PCBT	59	0	59				
		n°8	Gaz coll + PAC ECS	Rad. 70/50	13	15	28				
		n°8	Gaz coll + PAC (ECS + 60%ch)	Rad. 60/40	30	0	30				
n°8	Gaz coll + PAC (ECS + 20%ch)	Rad. 60/40	19	0	19						
SOLUTIONS INDIVIDUELLES	ECS	n°11	EJ + CET air extrait	PR	-22	50	28				
	CH/DS/TS	n°13	PAC Air/Eau	Rad. 60/40	70	0	70				
		n°13	PAC Air/Eau	Vect. air	81	0	81				
	Hybride (PAC-gaz)	n°14	Gaz indiv + CET air extrait	Rad. 70/50	33	10	43				
		n°14	PAC hybride	Rad. 55/35	73	0	73				
	Chauffage partiel et ECS	n°11+12	EJ + CET air ext. + split (ch+fr)	PR + split	10	20	30				
n°11+12		EJ + CET air ext. + split (ch seul)	PR + split	10	0	10					

Il ressort de ce tableau les analyses suivantes :

Très favorable
Favorable
Moyen
Défavorable
Très défavorable

- PAC DS ou TS collective : cette solution pourrait s'avérer être la solution privilégiée en RE2020 (surcoût limité et contraintes d'intégration acceptables).
- PAC géothermique collective : du fait de sa maturité plus importante que la PAC Air/Eau collective et de l'absence d'impact acoustique et visuel, la PAC géothermique présente une opportunité de se développer. Néanmoins son principal frein reste le coût d'investissement supérieur.
- Solution hybride (gaz-PAC) collective : cette solution - si elle dimensionnée pour respecter le seuil Ic Energie 2025 - affiche un surcoût limité, et la présence d'une double énergie (électricité et gaz) pourrait rassurer certains acteurs.
- Solution individuelle PAC pour chauffage partiel et ECS (solution dite composite¹⁰) : pour les petits bâtiments, les solutions individuelles sont souvent privilégiées, et ce système pourrait se développer (et la non-déclaration de la production de froid pourrait faciliter son essor dans le cas de mono-split). A noter que cette solution restera contrainte par le Ic Construction.

¹⁰ Pour rappel : PAC air/air monosplit dans le salon, panneaux rayonnants effet joule dans les chambres et CET individuel pour l'ECS

6.4. Typologie des bâtiments construits en 2019

L'analyse des bases OPE et Sti@del2 réalisée dans la partie « 4.3. Marché de la construction neuve RT2012 » met en évidence les constats suivants :

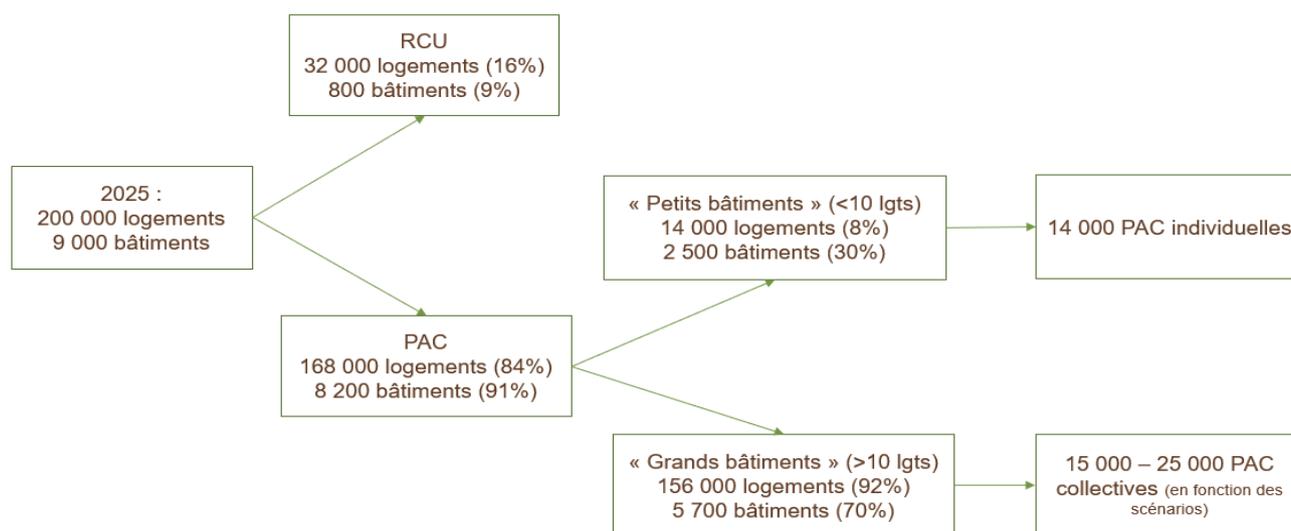
- Environ 200 000 logements collectifs neufs ont été construits en 2019
- Bâtiments de moins de 10 logements : représentent 30% des bâtiments, mais seulement 8% des logements construits entre 2012 et 2018
- Bâtiments de plus de 10 logements : représentent 70% des bâtiments et 92% des logements

Ces statistiques seront utilisées dans la partie suivante pour évaluer le nombre de PAC nécessaires en 2025, pour répondre à la RE2020.

6.5. Evaluation du marché de 2025-2026 et des capacités des industriels

En fonction des hypothèses et contraintes détaillées dans les parties ci-dessus, il peut être estimé que le marché de la PAC pour les logements collectifs neufs en 2025 sera :

- Environ de 14 000 PAC individuelles
- Entre de 15 000 et 25 000 PAC collectives



Les PAC individuelles sont déjà très présentes, notamment en maison individuelle, sur le marché du neuf et de la rénovation. Les estimations des ventes de PAC individuelles en 2020 sont¹¹ :

- 170 000 PAC Air / Eau individuelles
- 730 000 PAC Air / Air individuelles (mono ou multisplit)
- 110 000 chauffe-eau thermodynamique individuel (CET)

Le marché pourra donc facilement absorber la demande supplémentaire de PAC individuelles pour la construction de logements collectifs neufs en 2025.

Pour les PAC collectives, le constat est différent. Les ventes de PAC collectives sont effectivement bien plus faibles¹² :

- 1100 PAC géothermiques
- 500 PAC Air / Eau
- 100 PAC aérosolaires

¹¹ Source n°5 : Observ'ER 2021

¹² Source principale : n°1 (puis complément avec sources n°3, 5, 6 et entretiens industriels). Il n'existe pas de statistiques précises sur le nombre de PAC vendues en logements collectifs, les fourchettes indiquées peuvent donc être importantes.

Il faudra donc une **très forte accélération** du marché pour atteindre les objectifs en 2025. Pour les petits bâtiments, notons la possibilité de mettre en cascade des PAC individuelles de forte puissance (déjà disponibles sur le marché des maisons en rénovation).

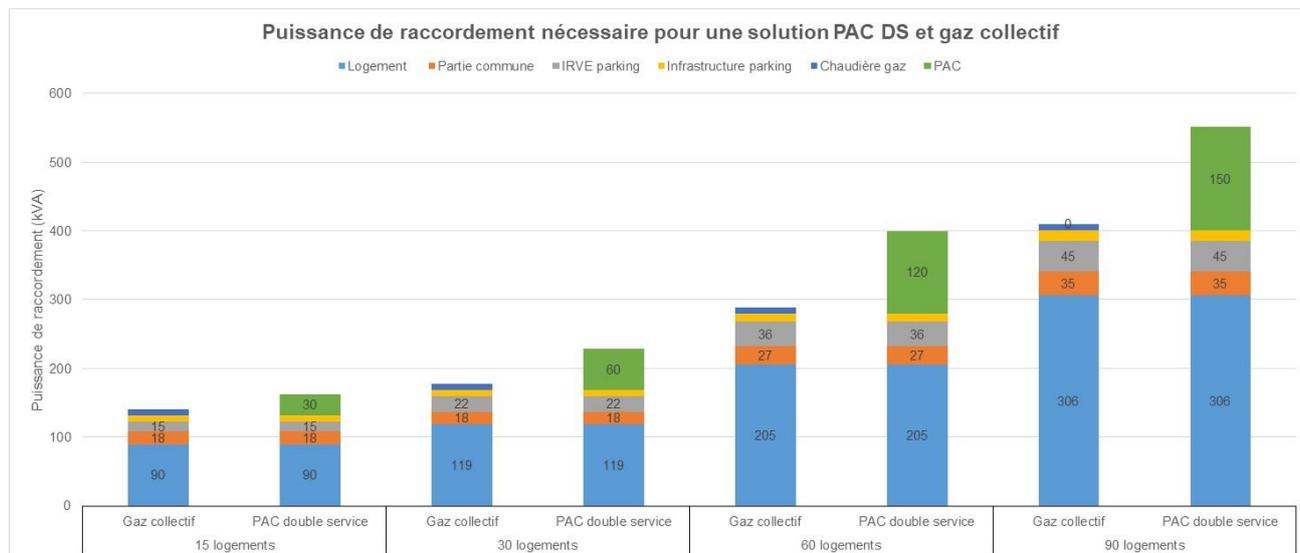
Cette évolution progressive du marché passera par une anticipation courante des seuils 2025 (imposés par des labels, ZAC, villes, Pinel+, collectivités territoriales, etc.). Cela permettra une montée en compétence progressive de la filière, indispensable pour respecter les objectifs. Il n'existe pas encore de statistiques à ce sujet, mais à titre d'exemple, 50% des projets doivent respecter les seuils 2025 chez POUGET Consultants.

De plus, les plus gros acteurs de la promotion immobilière étudient fortement le déploiement de la PAC, ce afin d'anticiper au maximum les seuils 2025. Certains ambitionnent même un arrêt total des solutions gaz dès 2023 ou 2024.

Néanmoins, la majorité des industriels consultés indiquent que le nombre d'unités de PAC collective à produire est relativement faible en comparaison des capacités des lignes de production existantes. En effet les lignes de production des PAC de plus forte puissance ne sont pas mobilisées par le marché de la maison individuelle et les volumes demandés sont faibles en comparaison à la production de PAC de grosses puissances dédiées au tertiaire.

6.6. Les incidences des PAC en termes de raccordement au réseau électrique

➤ Evaluation des hausses de puissance de raccordement engendrées par la PAC



Le graphique ci-dessus indique la puissance de raccordement nécessaire pour 4 bâtiments et 2 systèmes énergétiques (gaz collectif et PAC Air / Eau collective double service (chauffage et ECS)).

Hypothèses :

- Déperdition chauffage 40W/m² (fourchette haute RE2020 réhaussée de 10%)
- Gestion ECS et chauffage : priorité ECS
- Puissance de l'appoint de secours non comptabilisée

Dans ces conditions, la différence de puissance de raccordement nécessaire entre les 2 systèmes est significative (15% à 38%) malgré un impact fort sur les puissances appelées des parties privatives (logements), les IRVE¹³ et le parking.

Dans le cas où l'appoint de secours serait comptabilisé dans la puissance de raccordement, la puissance des PAC augmenterait d'environ 30 à 40%.

➤ Incidence des PAC sur le déploiement de transformateur

Ce n'est pas uniquement la puissance de raccordement demandée par un bâtiment qui déclenche la demande de mise en place d'un transformateur, mais plutôt la situation technique du réseau local. En effet, il existe trois situations possibles pour déterminer le critère de déclenchement d'une demande de mise en place de transformateur :

- Il n'y a pas de transformateur disponible à proximité du bâtiment
- Il n'y a plus assez de départ de câbles dans les transformateurs à proximité du bâtiment
- Il n'y a assez de puissance disponible dans le transformateur à proximité du bâtiment

Toutefois on observe des tendances :

- Pour un bâtiment qui demande une puissance de raccordement entre 250 et 400 kVA → il y a de fortes chances pour que le maître d'ouvrage soit obligé de demander un transformateur.
- Pour un bâtiment qui demande une puissance de raccordement de plus de 400 kVA → il est presque certain que le maître d'ouvrage sera obligé de demander un transformateur.

En conclusion, on peut considérer que la probabilité de mise en place d'un transformateur est augmentée de 30% pour les projets équipés de PAC.

¹³ Infrastructure de Recharge de Véhicule Électrique

6.7. Conclusion

Les solutions techniques nécessaires pour répondre à la RE2020 en 2025 sont disponibles. On note notamment la place importante que devrait prendre les solutions de PAC monobloc haute température collective. L'offre de ces solutions doit néanmoins s'étoffer et gagner en maturité, notamment pour les installations de forte puissance (> 50 logements), à ce jour trop faible.

Pour les petits bâtiments, les solutions individuelles à faible impact sur le Ic construction et à faibles coûts seront recherchées. Au-delà de l'optimisation de l'impact carbone via la création de fiches PEP, l'émergence des solutions suivantes est attendue pour optimiser les coûts et l'impact carbone :

- PAC individuelle à fluides à bas PRG,
- PAC individuelle de petite puissance (adapté aux besoins d'un T1, T2 ou T3),
- PAC monobloc intérieure silencieuse et de petite puissance (Ex : solution ZeCET de la Sté AUER),
- PAC mutualisée pour 3 à 5 logements.

Pour les bâtiments en milieu urbain dense ou fortement contraint, la mise en place de PAC aérothermiques pourrait s'avérer complexe. Il est indispensable de développer l'offre en PAC gainable à faible impact acoustique, et de considérer leurs intégrations dans les documents d'urbanisme (ex : PLU).

La géothermie pourrait jouer un rôle important car elle dispose de nombreux atouts :

- Pas d'accentuation du phénomène d'îlot de chaleur lors de la production de froid,
- Les PAC de fortes puissances sont disponibles et les industriels ont la capacité d'accompagner les projets,
- Pas d'incidence visuelle et acoustique,
- Possibilité de faire du rafraîchissement gratuit (géo-cooling),
- Condition de fonctionnement et COP optimisé.

Malgré ces nombreux avantages le nombre d'installation de PAC géothermique n'est pas en croissance pour les raisons suivantes :

- Investissement supplémentaire avant validation du permis de construire (test de sol...),
- Besoin d'anticiper pour rassembler une équipe de maîtrise d'œuvre spécialisée,
- Surcoût important lié au forage et offre forage trop faible et peu compétitive,
- Besoin d'une carte de la compatibilité des sous-sols entre 0 et 200mm → Projet en cours par le BRGM
- Manque de connaissances sur le fond chaleur, besoin de communiquer sur le « reste à charge » → Malgré que des documentations de l'AFPG informent sur ce point,
- Manque de PAC géothermiques hautes températures dotées de fluides à faible PRG.

La géothermie doit jouer un rôle important, mais sans appui, les parts de marché de cette solution risquent de stagner.

La mise en œuvre d'émetteurs basse température faciliterait largement le déploiement des PAC et engendrerait de nombreux bénéfices :

- Une hausse des COP et donc une baisse des consommations
- La possibilité de rafraîchir les locaux dès la construction ou l'intégration de solutions de production de froid performantes durant la vie du bâtiment en limitant au maximum les surcoûts,
- Une limitation des impacts architecturaux (pas de mono-split en balcon ou fixé sur les rambardes de fenêtre) et les interventions en parties privatives
- Les enjeux en termes d'augmentation de la qualité des réseaux de distribution sont moins importants étant donné l'écart entre la température maximale disponible et la température d'entrée des émetteurs,
- Une sensibilité plus faible au défaut de qualité d'exploitation et d'installation.

7. RENOVATION

7.1. Enjeux spécifiques à la rénovation pour le déploiement des PAC

La mise en œuvre de pompes à chaleurs en immeubles collectifs existants présente plusieurs enjeux spécifiques qu'il convient de lever, parmi lesquels :

- La capacité d'intégration des composants du système PAC vis-à-vis de la situation du bâtiment existant (unité extérieure, ballons, ...);
- L'adéquation du régime des émetteurs existants avec le régime de production disponible ;
- La capacité de transformation des immeubles équipés de solutions individuelles vers une production collective ;
- La possibilité de hausse des puissances de raccordement au réseau électrique.

Capacité d'intégration des pompes à chaleur individuelles en immeubles collectifs

L'intégration de solutions individuelles dans les bâtiments collectifs existants présente un niveau de complexité technique & organisationnel important :

- Cas des PAC individuelles double usage (ECS et Chauffage) dotées d'une unité extérieure (hybride ou électrique) :
 - o Encombrement intérieur important (environ 0,60*0,60*1.80m) pouvant s'avérer difficile à intégrer dans les projets, sauf intervention en milieu inoccupé (restructuration complète de l'immeuble).
 - o Intégration d'une unité extérieure disposée en terrasse ou balcon → Enjeux architecturaux et acoustiques forts limitant fortement la possibilité de mise en œuvre des unités.
 - o Intégration d'une unité extérieure disposée en terrasse inaccessible → La mise en place d'équipement individuel sur des terrasses collectives et l'accès des co-proprétaires à ces équipements sont difficilement compatibles avec les règlements de copropriété et engendrent des travaux de sécurisation des accès importants.
- Cas des PAC individuelles intérieures monoblocs :
 - o Encombrement intérieur important (environ 0.60*0.60*1.80m) pouvant s'avérer difficile à intégrer dans les projets, sauf intervention en milieu inoccupé (restructuration complète de l'immeuble).
 - o Intégration entraînant des travaux induits importants avec intégration d'une grille en façade pour une connexion aéraulique des PAC et la mise en œuvre d'une circulation des gaines en faux plafond si la PAC n'est pas disposée à proximité des façades.

Notan°1 : le déploiement de PAC hybrides individuelles dont la production ECS resterait instantanée et 100% gaz permettrait de limiter largement l'encombrement du module intérieur (absence de ballon de stockage)

Nota n°2 : l'intégration des PAC Air/Air de type mono-split ou multi-split est, en comparaison au PAC double usage (ECS et Chauffage), simplifié de fait qu'elle ne comporte pas de module intérieur.

Capacité d'intégration des pompes à chaleur collectives en immeubles collectifs

L'intégration de PAC collectives en immeubles collectifs n'est possible qu'en levant certaines contraintes dont certaines sont présentées ici :

➤ Positionnement des unités extérieures

Pour des raisons acoustiques et d'inadéquation des chaufferies existantes (manque de place, impossibilité de gagner les PAC jusqu'à l'extérieur du bâtiment...etc), les unités de PAC sont généralement positionnées en extérieur, et notamment en toiture terrasse si l'immeuble en est pourvu. Cependant, cela pose d'autres problématiques d'accès et de sécurité. Afin de s'assurer de la capacité d'intégration des PAC, il est donc nécessaire de vérifier :

- Capacité structurelle des toitures : le poids des unités extérieurs est important (ex : une PAC de 50kW à -7°C pèse environ 650kg) et peut être incompatible avec les capacités structurelles des toitures terrasses

existantes. Cet enjeu est particulièrement présent pour les immeubles collectifs construits avant 1948 et qui présentent des toitures terrasses (immeubles HBM par exemple). Une étude structurelle peut donc être nécessaire pour s'assurer de la faisabilité du projet.

- Sécurisation de l'accès à la toiture : l'accès à la toiture doit être possible et sécurisée pour garantir la maintenance. Cela peut nécessiter des travaux induits (accès, garde-corps, ...).
- Autorisation : Les plans locaux d'urbanismes peuvent limiter la mise en œuvre d'éléments supplémentaires en toiture. Cela est particulièrement vrai dans les cas où les PLU ont évolué depuis la construction et présentent des hauteurs limites inférieures à la hauteur de l'immeuble (voir exemple 1 du chapitre 0).

Si les unités extérieures ne peuvent être positionnées en toiture, elles peuvent éventuellement être installées à l'extérieur sur le sol, à bonne distance des baies. Cela demande cependant une installation spécifique, protégée des intrusions potentielles et ayant fait l'objet d'une étude acoustique. Elle est particulièrement adaptée lorsque l'immeuble est isolé sur la parcelle mais exclu quasi systématiquement l'installation de PAC en milieu urbain dense (Haussmannien par exemple).

Nota : les solutions de PAC gainables disposées à l'intérieur d'un local technique existant seront rarement mobilisables : difficultés pour trouver un local disponible dont les parois donnent vers l'extérieur à bonne distance des baies (voir chapitre 3.6).

➤ Compatibilité des locaux techniques existants en cas d'installation gaz collectif existante

Les locaux de chaufferies ont généralement été dimensionnés pour accueillir uniquement les éléments nécessaires à la chaudière gaz sans anticiper des besoins de places supplémentaires ultérieures. Considérant qu'initialement, aucun ballon de stockage n'est présent car les chaufferies instantanées sont très courantes, la surface disponible pour installer les éléments nécessaires au fonctionnement de la PAC (ballon de stockage ECS et éventuellement tampon, pilote hydraulique...etc.) est généralement faible. En l'absence de chaufferie existante, des locaux devront être récupérés ou créés pour installer les équipements techniques associés à la PAC.

Plusieurs situations sont alors possibles, sans préemption d'un nouveau local :

- Couverture à 100 % par la PAC :
 - Le dimensionnement des PAC doit donc couvrir 100 % des besoins à la température de référence, ce qui entraîne une puissance installée élevée.
 - Dans ces conditions, le retrait des chaudières existantes dégage généralement suffisamment de place pour intégrer les éléments nécessaires au bon fonctionnement.
- Chaudière en relève de PAC avec baisse des besoins par une isolation performante et globale du bâti :
 - Les pompes à chaleurs sont dimensionnées pour couvrir 100 % des besoins pour une température extérieure fixée. S'il est considéré une température de dimensionnement de 0 °C, cela correspond environ à 50 % de la puissance de chauffage totale. La PAC permet alors de couvrir théoriquement 80 % des besoins de chauffage.
 - Le système Gaz doit pouvoir couvrir une large partie de la puissance de chauffage (jusque 100 %) en fonction de la température de référence et la plage de fonctionnement des PAC. La rénovation globale de l'enveloppe permet cependant de diminuer fortement les besoins de chauffage et donc le nombre ou la puissance des chaudières. La place libérée permet alors de positionner les éléments de régulation et volumes de stockage nécessaires au fonctionnement.
- Chaudière en relève de PAC, sans une couverture complète de la puissance par la chaudière :
 - Dans cette solution, les PAC fournissent 50 % de la puissance à la température de référence pour s'assurer une diminution de la puissance de chaudière installée, et donc potentiellement une libération de place en chaufferie.
 - Cette solution présente l'avantage d'obliger au bon fonctionnement de la PAC. L'installation gaz ne peut pas subvenir à la totalité des besoins, la partie PAC de l'installation ne peut pas être « abandonnée » comme cela a pu être constaté pour les panneaux solaires thermiques.
- Chaudière en relève de PAC, avec intervention de la PAC uniquement sur le chauffage :
 - Cette configuration permet de réduire l'encombrement des équipements associés à la PAC (pas de ballons de stockage ECS à ajouter), et augmente très largement les chances de pouvoir les intégrer dans une chaufferie existante.

A noter que si la chaufferie est absente (production individuelle) ou trop petite, la préemption d'un local proche de la chaufferie existante peut permettre de résoudre cette situation. La création de chaufferies extérieures peut également permettre de résoudre ces situations.

➤ **Cas des opérations de très grandes tailles :**

Les projets de très grandes tailles présentent des difficultés complémentaires à la mise en œuvre des solutions PAC Air / Eau collectives pour les raisons suivantes :

- Le nombre de PAC à disposer à proximité du local est important et la place disponible à bonne distance des baies peu manquer ;
- La concentration des PAC augmente la puissance acoustique de l'installation ;
- Les projets multi bâtiments sont souvent dotés de réseaux de distribution de grandes longueurs. La chute de températures engendrées par ces pertes de chaleur amène à une hausse des températures de production et donc baisse des COP ou à une intervention des appoints si la demande dépasse les capacités de la PAC ;
- L'offre en PAC de forte puissance est limitée.

Les projets de très grande taille risquent donc d'engendrer une subdivision de installations de production pour déployer plusieurs solutions indépendantes, ce qui engendre des surcoûts non négligeables.

Régime de température des émetteurs existants et niveau d'isolation

Au-delà de la capacité d'intégration des éléments du système de production de chauffage et d'ECS, le bon fonctionnement du système est dépendant du régime de température délivré par le système.

Le régime de température des émetteurs représente les températures maximales de fonctionnement des émetteurs pour délivrer la chaleur dans les logements (voir chapitre 3) :

- La température maximale délivrée par la PAC est limitée en fonction de la technologie (Moyenne température 55°C, Haute température : 65 ou 70°C,).
- C'est lorsque les températures extérieures sont les plus faibles, que la température des émetteurs est la plus élevées et que la puissance à déployer pour fournir les est la plus importante.

Les régimes de température des émetteurs varient selon les années de construction et sont dans l'existant presque toujours supérieurs ou égaux à 70°C. Pour réduire le régime de température des émetteurs, il y existe deux solutions :

- Isoler le bâtiment pour diminuer la puissance à fournir dans chaque logement et permettre de subvenir aux besoins en abaissant le régime des émetteurs existants ;
- Remplacer les émetteurs existants par des émetteurs fonctionnant à un régime plus bas (ex : 55/40°C). Cela implique cependant une intervention dans tous les logements, un risque de blocage dans certaines situations (copropriétés par exemple) lié notamment à la taille des nouveaux émetteurs (pour une même puissance délivré le passage de 70/50°C à 55/40°C engendre un doublement de l'épaisseur des radiateurs) et au prix de ce type de travaux.

Le tableau suivant présente la capacité de réduction des températures des émetteurs réalisé à travers l'isolation de l'immeuble :

	Evolution du régime de température des radiateurs		
	Etat initial	Rénovation bâti partielle*	Rénovation bâti globale**
Haussmannien (av 1948)	80/60	70/50	65/45
Immeuble de bourg (av 1948)	80/60	70/50	60/40
Immeuble bourgeois (av 1948)	80/60	60/40	60/40
Petit collectifs (1948-1974)	80/60	70/50	45/35
Barres (1948-1974)	80/60	60/40	45/35
Immeuble (1948 -1974)	80/60	70/50	45/35
Barres (1975-1981)	80/60	70/50	65/45
Immeuble (1975-1981)	80/60	75/65	60/40
Immeuble (1982-1989)	80/60	75/65	70/50
Immeuble (1990-2000)	70/50	70/50	60/40
Immeuble (> 2000)	70/50	70/50	65/45

* *Rénovation bâti partielle = renforcement de l'isolation des toitures, planchers, menuiseries et amélioration de la ventilation.*

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

Nota : Attention on constate parfois des régimes des températures supérieurs à 80°C dans certains bâtiments existants non isolés.

L'incidence de l'amélioration du bâti est très variable selon les typologies de bâtiment : plus la performance initiale du bâtiment est bonne (forte compacité et mitoyenneté ou présence d'isolation à l'état initial) plus la baisse des régimes est faible.

On constate qu'une rénovation partielle ne suffit pas à diminuer suffisamment les régimes de températures pour être en adéquation avec les capacités de la très grande majorité des PAC disponibles sur le marché et garantir ainsi des consommations optimisées.

Plusieurs actions peuvent amener à réduire d'avantage le régime de température :

- L'équilibrage des réseaux ;
- L'isolation des réseaux (lorsqu'ils sont accessibles).

Le surdimensionnement initial des émetteurs est courant. Une étude approfondie des émetteurs existants (calcul des déperdition pièce par pièce et l'évaluation des capacités des émetteurs) peut permettre de baisser le régime de températures de manière plus importante. Cependant, ce type d'évaluation est très rarement réalisé à ce jour et les méthodologies d'évaluation de la puissance des émetteurs existants peu diffusées. Les conclusions de ce type d'analyse peuvent amener à changer quelques émetteurs du bâtiment pour permettre une baisse générale des températures. Néanmoins les gains potentiels de températures de ce type d'étude resteront marginaux et ne sont pas comparables aux bénéfices de l'isolation des bâtiments.

Néanmoins, à notre connaissance, il reste difficile d'évaluer précisément les bénéfices de ces différentes actions au-delà du régime théorique de température. Il semble donc important de mener des études expérimentales précises sur différents types de bâtiments (année de construction, régimes de températures initiaux), pour évaluer l'ordre de grandeur des baisses de températures que l'on peut espérer engendrer sans changer les émetteurs. Ces expérimentations permettront de définir et d'optimiser une méthodologie à déployer pour en faire une démarche aux coûts limités¹⁴. Il est d'ailleurs primordial d'intégrer ces différentes actions aux aides financières et donc de les réévaluer en conséquence.

Passage de productions individuelles à des productions collectives

¹⁴ Le « Guide de dimensionnement des radiateurs » de l'association Energies & Avenirs constitue une bonne base de connaissance sur ce sujet

Une large partie du parc de logements est chauffé en production individuelle, qu'elle soit électrique ou au gaz. L'intégration de PAC individuelles sur ce marché est relativement limitée :

- Les PAC Air / Eau individuelles présentent un coût relativement élevé, des contraintes d'intégration fortes (voir début de partie 6.1) et dépendent aujourd'hui uniquement de la volonté du copropriétaire. A l'exception des maîtres d'ouvrages, particulièrement motivés, la mise en œuvre de ces solutions risque d'être marginale. Les bailleurs sociaux sont par ailleurs souvent réticents à présenter des solutions individuelles demandant des actes de maintenance importants à l'intérieur des logements.
- Les solutions PAC Air / Air sont aujourd'hui majoritaires en immeubles collectifs par rapport aux autres systèmes thermodynamiques. Malgré l'absence de module intérieur à intégrer, le positionnement des unités extérieures est souvent complexe.

La mise en œuvre de solutions thermodynamiques collectives dans des immeubles avec productions individuelles initiales peut donc être envisagée comme une solution pertinente. Certains enjeux complémentaires doivent être levés et dépendent du type de production initiale :

➤ **Cas n°1 : Réseau individuel de radiateurs existants (ex : gaz individuel à l'état initial) vers PAC collective**

Les enjeux spécifiques à ce cas sont fortement liés à la création des réseaux de distribution de chauffage et d'eau chaude sanitaire :

- Amiante : Présente dans de nombreuses parties communes et conduits d'immeubles collectifs, les travaux de créations de réseaux collectifs amènent généralement des réflexions quant à son traitement, ce qui peut engendrer des surcoûts.
- Encombrement des réseaux de distribution ECS et chauffage : la création de réseaux de distribution verticaux nécessite de percer des dalles entre étages. En partie privative si des placards sont tous présents aux différents étages ou présence de loggia. En partie collective, si l'utilisation des gaines gaz ou la création d'un réseau verticale en façade peuvent être envisagées.
- Sans isolation, comme pour les productions collectives à l'état existant, les régimes de températures des émetteurs ne sont pas adaptés au système de production thermodynamique. Il est alors nécessaire de changer d'émetteurs.
- L'abandon du gaz nécessite de changer les appareils de cuisson existants.
- La mise en place d'un système thermodynamique collectif nécessite la création d'un espace dédié. Différentes solutions sont envisageables :
 - Construction d'un local à RDC à l'extérieur → opportunité pour solution préfabriquée ;
 - Préemption de places au Rdc ou sous-sol (2 à 3 places de parking, ancien local de stockage ou caves...);
 - Mise en œuvre des éléments en toiture. Cette dernière solution est limitée par la capacité de la toiture à supporter le local (les ballons de stockage peuvent représenter plus d'une tonne).

L'ordre de grandeur des surcoûts liés à la création des réseaux de distribution est d'environ 2 500 €HT/lgt sans compter le changement d'équipement de cuisson.

*Nota : En cas de solution individuelle gaz et d'abandon total du gaz (changement appareil de cuisson), la colonne gaz existante peut représenter un espace intéressant pour déployer les réseaux de distribution collectifs. Néanmoins, la propriété des colonnes gaz est régulièrement cédée au gestionnaire du réseau de manière que le gestionnaire supporte les éventuels coûts d'entretien, de maintenance et rénovation. **Dans ce contexte il paraît important de clarifier les démarches à suivre pour permettre la cession de la propriété de la gaine par le gestionnaire.***

➤ **Cas n° 2 : Pas d'émetteurs hydrauliques (ex : chauffage électrique à l'état initial)**

Dans le cas de production électrique (plancher chauffant, convecteurs...), la mise en œuvre d'une production thermodynamique doit répondre aux mêmes contraintes que les cas en production individuelle gaz, avec la nécessité supplémentaire de mettre en œuvre une distribution individuelle et des émetteurs dans les logements. Cette solution peut cependant permettre d'adapter le régime de température des émetteurs aux capacités de la PAC (néanmoins sans isolation du bâti, les émetteurs seront encombrants et coûteux).

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

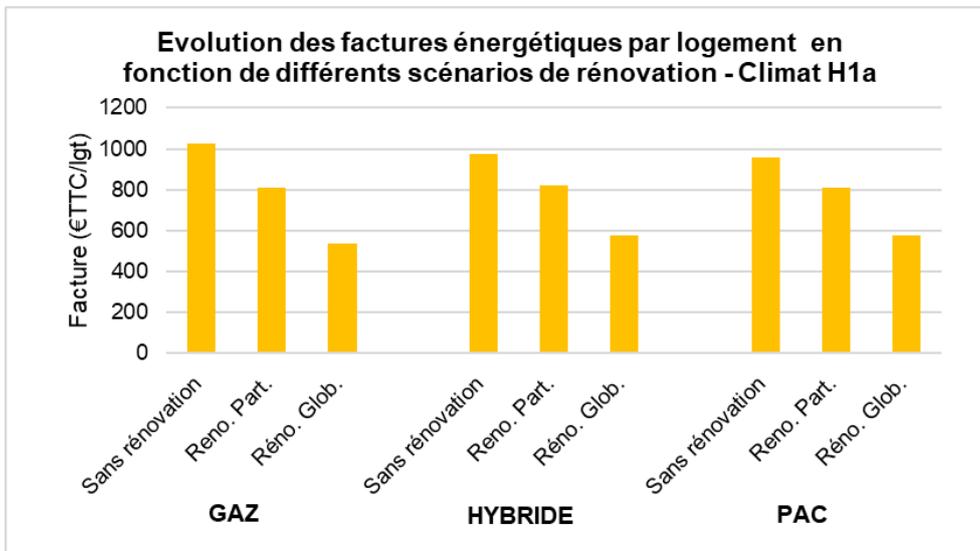
En construction neuve (comme décrit en partie 5.6), les enjeux de hausse de puissance de raccordement peuvent engendrer la mise en place d'un transformateur.

En rénovation, Une demande auprès d'ENEDIS soit nécessaire, pour évaluer la teneur et le cout des éventuels renforcement du réseau à prévoir pour accueillir les PAC collectives. Les projets nécessitant une hausse des puissances de raccordement étant rares, il est à ce jour difficile d'évaluer les incidences du déploiement de la PAC sur un bâtiment initialement au gaz. **Il convient de clarifier ce point auprès des gestionnaires et d'en diffuser les conclusions.**

Coût d'exploitation

Comme en construction neuve, le déploiement de la PAC en remplacement ou complément de chaufferie gaz collective existante ne permet pas une baisse radicale des charges d'exploitations. En effet, en considérant les tarifs des énergies d'avril 2022, la baisse des consommations d'énergie finale est compensée par le tarif du kWh électrique supérieur à celui du gaz.

Les baisses des charges vont largement dépendre des conditions d'intégration des PAC (régime de température des émetteurs, capacité et taux de couverture des PAC, degré d'intervention et type d'appoint). Vous trouverez ci-dessous une évaluation des charges réalisée sur la base de consommations calculées avec la méthode DPE pour un bâtiment de 35 logements. On constate que seule la rénovation thermique de l'enveloppe permet une baisse des charges significative, et ceci quel que soit le système déployé. Ce type d'évaluation mériterait d'être approfondie, avec des outils de calculs plus précis qui permettrait notamment de considérer précisément les spécificités des montages techniques possibles.



Estimation des factures énergétique en fonction du niveau de rénovation de l'enveloppe et du système de chauffage & d'ECS installé (données POUGET Consultants)

7.2. Application « fictive » de PAC collectives sur des bâtiments existants « réels »

Afin de présenter l'impact de la mise en œuvre de PAC collectives Air / Eau sur les différents indicateurs économiques, énergétiques et environnementaux, mais également donner une idée des contraintes d'intégration, il est étudié l'installation de PAC sur 2 bâtiments.

Bâtiment 2 - 64 logements à Boulogne (92) - Gaz collectif à l'état initial

Bâtiment étudié :

64 logements (17 T1 / 9 T2 / 1 T3 / 19 T4 / 17 T5 / 1 T6)

SHAB = 4 534 m²

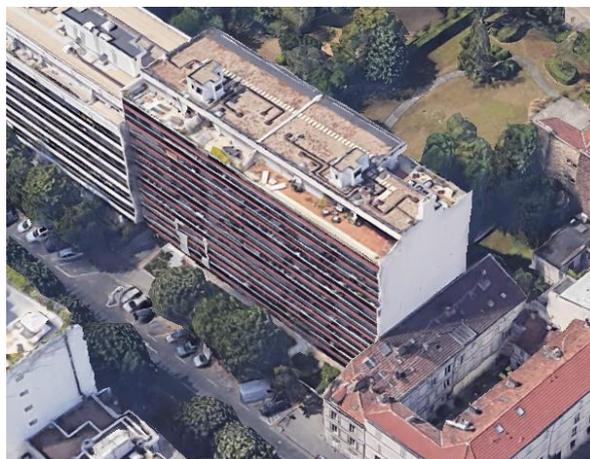
SHAB moyenne = 71 m²/log

Système existant : Gaz collectif

Localisation : Boulogne (92)

Année de construction : 1974

	Etat initial
Murs ext	Béton non isolé
Menuiseries	Simple vitrage
Plancher bas	Flocage 5cm
Plancher haut	PUR 6cm
Ponts thermiques	Pas de traitement
Ventilation	VMC autoréglable



Initialement équipé de gaz collectif et quasiment non isolé, 4 scénarios sont étudiés :

- Etat initial (non isolé) + 100% PAC
- Etat rénové (BBC) + 100% PAC
- Etat initial (non isolé) + Gaz + PAC
- Etat rénové (BBC) + Gaz + PAC

Dans un premier temps se pose la question de l'**implantation** des PAC. L'emplacement idéal semble être en toiture terrasse :

Zone d'implantation des PAC
5 PAC si bâtiment rénové BBC
8 PAC si bâtiment à l'état initial (non isolé)



La mise en place des PAC en toiture est normée par le **DTU 65.16** (Application DTU 43.1 – Etanchéité). Dans le cas étudié, les PAC ont une hauteur de 1,3 m et doivent être posées sur support béton (type plot) non démontable d'une hauteur de 0,8 m. La hauteur totale de l'équipement est donc de 2,1 m.



Il faut ensuite s'assurer que le **PLU** de Boulogne rend compatible l'intégration de ces PAC en toiture terrasse. Malheureusement, la hauteur du bâtiment est déjà supérieure à la hauteur autorisée par le PLU de Boulogne (R+9 vs R+8). De plus, il est précisé que « *Les travaux sur les bâtiments sont autorisés sous réserve de ne pas aggraver le non-respect des règles du PLU* » et les PAC ne font pas l'objet particulière.

L'exercice théorique a quand même été poursuivi sur ce bâtiment, qui est représentatif.

Concernant le **local technique**, la chaufferie existante au sous-sol dispose d'une taille suffisante (52 m²) pour accueillir une installation 100% PAC sans appoint gaz, c'est-à-dire les équipements techniques suivants : ballon ECS bouteille de découplage, panoplie hydraulique, régulateur, ...). Des petits travaux de maçonnerie sont à réaliser pour élargir les portes pour rentrer les ballons ECS.



Dans le cas d'une solution hybride, si le bâti est isolé, il sera possible de retirer une des 2 chaudières gaz existantes (rénovées en 2010). Cela permettra de libérer de la place pour les équipements techniques de la PAC. Dans le cas où le bâti ne serait pas isolé, il ne serait pas possible d'intégrer les équipements à associer à la production d'ECS par PAC. Dans ces conditions il serait nécessaire d'agrandir le local technique en utilisant un éventuel local adjacent ou de limiter l'intervention de la PAC au chauffage

NB : La solution PAC étudiée est monobloc extérieur (et avec volume de ballon tampon chauffage limité) ce qui limite son encombrement en local technique. Dans le cas d'une solution PAC bi-bloc ou de PAC avec ballon tampon chauffage plus important), il faudra prévoir environ 5 à 7 m² supplémentaire.



La liaison PAC-local technique pourra être mise en œuvre la gaine technique qui accueille les conduits de fumées des chaudières gaz, si l'installation gaz est totalement déposée. Dans le cas d'une solution hybride (gaz + PAC), deux solutions sont possibles :

- Rétrécir le conduit de fumée et cloisonner un espace pour faire passer la liaison PAC-local technique
- Faire passer la liaison PAC - local technique dans les circulations (carottage des dalles à prévoir)

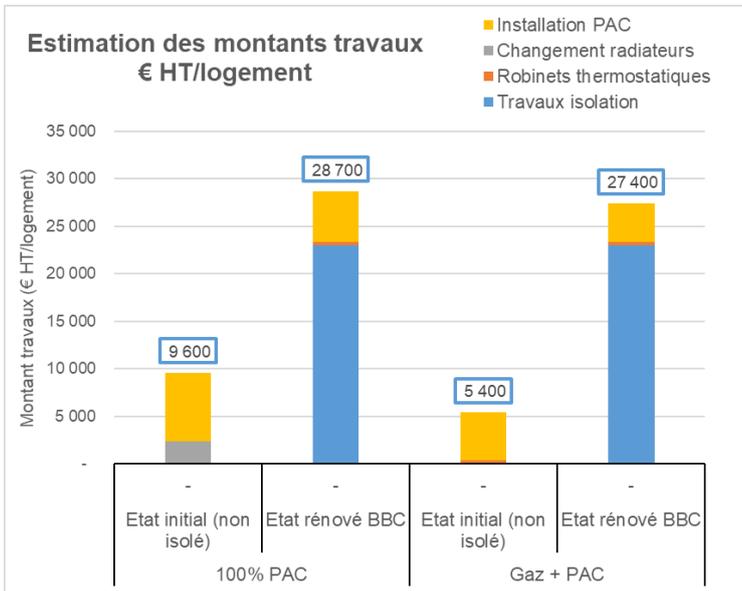
Deux scénarios d'isolation de l'enveloppe ont été étudiés : état initial (non isolé) et **état rénové (BBC)**. Les coûts travaux sur ces lots sont estimés à 23 000 € HT/logement.

Nota : le coût de la rénovation du bati est particulièrement élevé sur ce batiment du fait de la forte proportion de vitrage en façade..

	Etat initial (non isolé)	Etat rénové BBC
Murs ext	Béton non isolé	Béton + ITE 10cm
Menuiseries	Simple vitrage	Double vitrage
Plancher bas	Flocage 5cm	Flocage 5cm
Plancher haut	PUR 6cm	PUR 12cm
Ponts thermiques	Pas de traitement	Traitement via ITE
Ventilation	VMC autoréglable	VMC hygro B
Déperditions à -7°C	83 W/m ²	51 W/m ²
Montant travaux par logements	-	23 000 € HT/lgt

Le niveau d'isolation va influencer le régime de température des **radiateurs**, et donc déterminer s'ils ont besoin d'être changés ou qu'une pompe à chaleur spécifique soit installée :

- Etat initial (non isolé) → radiateurs existants 80/60°C : dans ces conditions deux solutions sont possibles
 - o Changement des radiateurs qui seront deux fois plus encombrants pour atteindre un régime 55-40°C et ainsi permettre une bonne performance des PAC.,
 - o Conservation du régime existant 80/60°C : dans ces conditions, le fonctionnement de la PAC sera limité aux périodes plus clémentes nécessitant une température inférieure à 65-70°C (taux de couverture PAC à étudier), un appoint gaz devra être conservé pour prendre le relais en période froide
- Etat rénové (BBC) → radiateurs existants 60/40°C → possibilité de ré-utiliser les radiateurs existants en 100% PAC (en cas de PAC haute température).



	100% PAC		Gaz + PAC	
	Etat initial (non isolé)	Etat rénové (BBC)	Etat initial (non isolé)	Etat rénové (BBC)
PAC*	350 kW	200 kW	25kW ECS 190kW CH	25kW ECS 100kW CH
Gaz			400kW	200kW
Ballon ECS	4 x 750L	4 x 750L	4 x 750L	4 x 750L
Montant** chauffage par logements	7 200€ HT/lgt	5 300€ HT/lgt	5 000€ HT/lgt	4 000€ HT/lgt

* Puissance à -7°C

** : Cout générateur, ballon ECS, régulation, divers chaufferie (aucun cout de changement ou rénovation des générateurs gaz existants n'est considéré ici, il est considéré que les chaudières sont en bon état)

Les solutions sans travaux d'isolation affichent des couts d'investissement **moins élevés**, mais certains points peuvent être **bloquants** :

- Une solution 100% PAC est n'est pas compatible sans changer les radiateurs qui seront deux fois plus encombrants
- En cas de solution hybride et sans changer les radiateurs, le temps de fonctionnement des PAC sera limité puisque les températures d'eau des radiateurs seront régulièrement trop élevées.
- La place en chaufferie permettra d'intégrer parfois d'intégrer les équipements de la PAC lié à la production de chauffage mais sera insuffisante pour intégrer les ballons dédiés à la production d'ECS par PAC.
- L'encombrement des PAC en toitures sera 2 fois plus important (impact acoustique et visuel accentué)
- Les charges d'exploitation resteront stables par rapport à la situation existante.

Bâtiment collectif de 30 lgts (gaz individuel à l'état existant)

Initialement en gaz individuel et peu isolé, 4 scénarios sont étudiés :

- Etat initial (non isolé) + 100% PAC
- Etat rénové (BBC) + 100% PAC
- Etat initial (non isolé) + Gaz + PAC
- Etat rénové (BBC) + Gaz + PAC

Dans un premier temps se pose la question de l'implantation des PAC. L'emplacement idéal semble être dans le jardin, car les combles en toiture ne sont pas adaptés (plancher haut léger incompatible, hauteur des combles trop faible, nécessite la mise en place de PAC gainable).

Le local existant disponible étant trop petit, il n'aura la capacité d'accueillir que les ballons. Il faudra créer un deuxième local dans le jardin qui accueillera la panoplie hydraulique ainsi qu'un espace local encombrant à la demande du maître d'ouvrage.

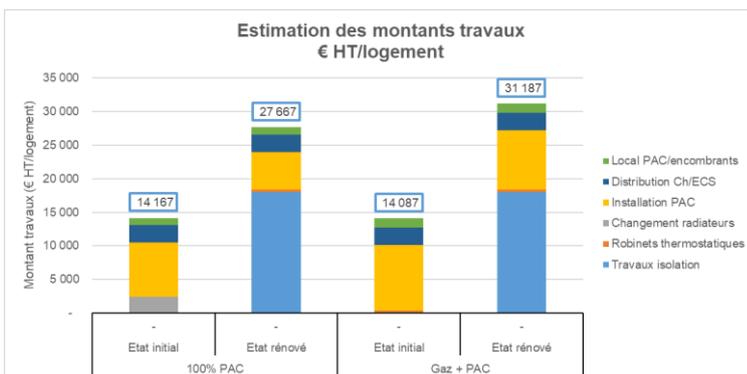
Le plus compliqué sur ce bâtiment est la création des réseaux ECS et chauffage entre le local PAC et les logements. Il n'y a pas de sous-sol et les circulations au RDC ne permettent pas de faire passer les réseaux. L'option retenue est donc de cheminer par l'extérieur jusqu'en toiture, puis de descendre les réseaux au niveau des anciennes chaudières gaz individuelles qui seront déposées.

Deux scénarios d'enveloppe thermique ont été étudiés : état initial (non isolé) et état rénové (BBC). Les coûts travaux énergétiques sont estimés à 18 000 € HT/logement.

	Etat initial (non isolé)	Etat rénové BBC
Murs ext	Béton + 5cm isolant	Béton + ITE 14cm
Menuiseries	Double vitrage	Double vitrage
Plancher bas	4cm isolant sous chape	4cm isolant sous chape
Plancher haut	4cm laine de verre	30cm laine de verre
Ponts thermiques	Pas de traitement	Traitement via ITE
Ventilation	VMC autoréglable	VMC hygro A
Déperditions à -7°C	95 W/m²	45 W/m²
Montant travaux par logements	-	18 000 € HT/lgt

Comme pour le bâtiment de 64 logements, le niveau d'isolation va influencer le régime de température des radiateurs, et déterminer s'ils ont besoin d'être changés :

- Etat initial (non isolé) → radiateurs existants 80/60°C : dans ces conditions deux solutions sont possibles
 - o Changement des radiateurs qui seront deux fois plus encombrants pour atteindre un régime 55-40°C et ainsi permettre une bonne intervention de la PAC.
 - o Conservation du régime existant 80/60°C : dans ces conditions, le fonctionnement de la PAC sera limité aux périodes plus clémentes nécessitant une température inférieure à 65-70°C (taux de couverture PAC à étudier), un appoint gaz devra être conservé pour prendre le relais en période froide
- Etat rénové (BBC) → le régime des radiateurs existants descend à 60/40°C et offre la possibilité de ré-utiliser les radiateurs en 100% PAC (en cas de PAC haute température)



	100% PAC		Gaz + PAC	
	Etat initial	Etat rénové	Etat initial	Etat rénové
PAC*	300 kW	150 kW	20kW ECS 220kW ch	20kW ECS 100kW ch
Gaz			90kW	50kW
Ballon ECS	2000L	2000L	2000L	2000L
Montant** PAC par logements	8 100 € HT/lgt	5 600 € HT/lgt	9 700 € HT/lgt	8 800 € HT/lgt
Montant distribution Ch/ECS par logements	2 600 € HT/lgt			

* : puissances à -7°C
 ** : coût générateur, ballons ECS, régulation, divers chaufferie

Les solutions sans travaux d'isolation apparaissent clairement **moins coûteuses en termes de cout d'investissement**, mais certains points peuvent être **bloquants (voir les conclusions issues du bâtiment précédent)**. **Dans cette configuration, aucune chaufferie n'étant présente à l'état existant, les coûts d'intégration d'une solution hybride sont supérieurs à ceux d'une solution 100 % PAC.**

Synthèses des enseignements de ces applications

Le déploiement des PAC en rénovation doit s'accompagner d'une amélioration de la performance de l'enveloppe, au risque d'engendrer de nombreuses contraintes :

- **Changement des radiateurs en cas de solutions 100% PAC ;**
- **Faible intervention de la PAC en cas de solution hybride ;**
- **Manque de place en chaufferie en cas de solution hybride ;**
- **Baisse des charges d'exploitation limitée.**

7.3. Les opportunités pour la PAC en rénovation

Synthèse des enjeux des différentes stratégies de déploiement des PAC collectives

Les enjeux techniques étant identifiés, 5 stratégies peuvent être proposées pour la mise en œuvre de PAC collectives.

Les deux premières stratégies nécessitent une isolation globale de l'enveloppe (murs, planchers hauts & bas, menuiseries, ventilation). Cela permet généralement une réduction du régime de température des émetteurs.

- Mise en œuvre d'un système 100 % thermodynamique (PAC Haute température).
- Mise en œuvre d'un système thermodynamique avec chaudière en relèvement, ce qui permet une réduction de la puissance de PAC installée.

En cas d'isolation partielle du bâtiment (planchers hauts & bas, menuiseries, ventilation), le régime de température peut diminuer légèrement ce qui permet la mise en œuvre de 3 solutions :

- Mise en œuvre d'un système 100 % thermodynamique (PAC Haute température) ET changement des émetteurs ;
- Mise en œuvre d'un système 100 % thermodynamique (PAC Haute température) ;
- Mise en œuvre d'un système thermodynamique avec chaudière en relèvement.

Le tableau suivant présente le positionnement des différentes solutions en fonction des gains et des contraintes d'intégration. Les résultats détaillés sont présentés en annexe 1.

Type d'isolation	Isolation globale		Isolation partielle		
	< 60°C	< 60°C	50°C	65°C	70°C
Température d'entrée maximale des radiateurs	< 60°C	< 60°C	50°C	65°C	70°C
Type de pompe à chaleur installée	PAC Haute température	Chaudière en relèvement de PAC	PAC Haute* température + Installation émetteurs Basse Température	PAC Haute Température	Chaudière en relèvement de PAC
Coûts travaux (bâti + système)	Elevé	Elevé	Moyen	Moyen	Moyen
Gain en énergie primaire	Fort	Fort	Moyen	Moyen	Moyen
Gain en GES	Fort	Fort	Fort	Fort	Fort
Gain sur la facture	Fort	Fort	Moyen**	Faible à moyen**	Moyen**
Contrainte d'intégration	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Forte

* La PAC doit rester haute température pour subvenir aux besoins ECS du bâtiment.

** Les gains sur la facture sont principalement engendrés par l'amélioration partielle de l'enveloppe thermique du bâtiment.

Les solutions avec une isolation globale, malgré l'investissement plus élevé, permettent donc de répondre à un nombre plus important de problématiques visées par la rénovation que les solutions en isolation partielle : gain énergétique, protection contre la précarité énergétique, contraintes d'intégration, diminution des GES...

Dans le cas du déploiement de PAC haute température avec des émetteurs dont la température d'entrée maximale est de 65°C, il est important de préciser que ceci nécessite :

- De mobiliser des PAC dont la température de production est de 70°C quel que soit la température extérieure.
- De s'assurer que le niveau de la rénovation partielle permet bien d'abaisser les températures des émetteurs à 65°C, ce qui ne sera pas le cas de tous les bâtiments.
- Une bonne qualité des réseaux de distribution de chauffage. En effet les capacités maximales de production des PAC disponibles sur le marché sont de 70°C. Si le réseau de distribution engendre une perte de plus de 5°C entre la PAC et l'émetteur, c'est l'appoint électrique qui complètera la production et engendrera une hausse du coût d'exploitation.

Des travaux complémentaires et plus précis restent à mener pour évaluer les bénéfices de chaque solution de rénovation en termes de consommations et de charges d'exploitations.

Ci-dessous quelques compléments d'information concernant le tableau de synthèse présentés précédemment :

Type d'isolation	Isolation globale		Isolation partielle		
Type de pompe à chaleur installée	PAC Haute température	Chaudière en relève de PAC	PAC Haute température + Installation émetteurs Basse Température	PAC Haute Température	Chaudière en relève de PAC
Coûts travaux enveloppe & ventilation (€TTC/Igt)	18 000	18 000	10 700	10 700	10 700
Coûts travaux systèmes (€TTC/Igt)	6 400	5 600	7 500	9 400	6 100
Coûts émetteurs (€TTC/Igt)	-	-	2 400	-	-
Coût rénovation (€/Igt)	24 400	23 600	20 600	20 100	16 800

Nota : Les couts des travaux de l'enveloppe seront variables selon l'état de rénovation du bâtiment, ici nous avons considéré que le bâtiment n'avait fait l'objet d'aucune rénovation thermique.

Type d'isolation	Isolation globale		Isolation partielle		
Type de pompe à chaleur installée	PAC Haute température	Chaudière en relève de PAC	PAC Haute température + Installation émetteurs Basse Température	PAC Haute Température	Chaudière en relève de PAC
Encombrement module PAC extérieur	Moyen : Puissance dimensionnée sur des besoins diminués, mais devant être couvert à 100% par la PAC	Faible à moyen : Nombre de PAC plus faible	Elevé : Dimensionnement nécessitant une puissance installée importante	Elevé : Dimensionnement nécessitant une puissance installée importante	Faible : Nombre de PAC limité du fait d'un dimensionnement à 50 % de la puissance
Contrainte local technique	Faible : possibilité de libérer beaucoup de place en enlevant les chaudières existantes	Moyenne : Possibilité d'enlever une des chaudières existantes pour libérer de la place.	Faible : possibilité de libérer beaucoup de place en enlevant les chaudières existantes	Faible : possibilité de libérer beaucoup de place en enlevant les chaudières existantes	La production ECS par PAC ne sera pas compatible avec ce type de configuration (besoin d'espace pour intégrer les ballons dédiés à la PAC).
Autres enjeux techniques et d'intégration		Risque de manque de place si la puissance gaz est dimensionnée pour subvenir à l'ensemble des besoins et que la production d'ECS est traitée par la PAC	Encombrement des radiateurs (2 fois plus épais) : intervention en partie privative	Capacité à descendre les températures des émetteurs à 65°C en rénovation partielle très variable selon les projets	

Synthèse des critères de choix des solutions PAC en fonction du contexte

Le tableau suivant présente une synthèse des solutions dont le déploiement est le plus plausible aux vues des technologies disponibles, des contraintes d'intégrations actuelles

Espaces disponibles pour les PAC	Possibilité de baisse des régimes de température	Installations existantes	Installations plausibles
Place disponible en toiture terrasse ou espace extérieur pour les unités extérieures des PAC	Possibilité de baisse régime émetteur < 60°C : Bâtiment compatible avec réno enveloppe BBC	Chauffage-ECS électrique individuel	CET indiv. / PAC ECS coll. Mono-split / multi-split Air/Air PAC 2 usages coll.
	OU Ayant déjà fait l'objet d'une réno enveloppe BBC	Chauffage-ECS gaz individuel	PAC 2 usages coll.
	OU Radiateur BT installable	Chauffage-ECS gaz collectif	PAC 2 usages coll. avec ou sans chaudière en relèvements
	Impossibilité de baisse régime émetteur < 60°C Bâtiment incompatible avec réno enveloppe BBC	Chauffage-ECS élec	CET indiv. PAC ECS coll.
	OU Ayant un état initial performant**	Gaz individuel	PAC 2 usages coll. avec chaudière en relèvements
	OU Radiateur BT incompatible	Chauffage-ECS gaz collectif	PAC 2 usages coll. avec chaudière en relèvements (ou PAC THT*)
Pas de place disponible en toiture terrasse ou espace extérieur pour les unités extérieures des PAC	/	Chauffage-ECS élec	CET indiv. Mono-split / multi-split Air/Air
	/	Chauffage-ECS gaz individuel	CET indiv. PAC individuelle Air/Eau
	/	Chauffage-ECS gaz collectif	RAS

Sortie étiquette DPE E, F et G et atteinte de l'étiquette A et B : quelles opportunités pour les PAC ?

La révision du DPE en 2021 et les dispositifs incitatifs & coercitifs de la loi Climat & Résilience positionnent le DPE comme l'instrument de pilotage de la politique énergétique à l'échelle nationale, mais également à l'échelle de chaque bâtiment. Il est donc essentiel d'évaluer comment les solutions de PAC se positionnent par rapport à ce nouveau « thermomètre » :

➤ Sortie des logements en statut de passoire énergétique (étiquettes E, F & G) :

Les logements d'immeubles collectifs avec une étiquette énergétique pouvant être soumis à un des dispositifs coercitifs de la loi Climat & Résilience (E, F & G) sont principalement des logements peu isolés et chauffés au fioul et/ou à l'électricité :

- Les solutions de pompes à chaleur collectives ne sont pas spécifiquement adaptées pour être la solution prioritaire dans le cas d'électricité individuelle du fait des travaux lourds nécessaires (création de réseau, mise en œuvre d'émetteurs...). La performance après travaux est potentiellement compromise du fait de l'absence d'isolation du bâtiment.
- En cas de chaudière collective présente (au fioul ou gaz par exemple), le gain en énergie primaire n'est généralement pas suffisamment important pour justifier le remplacement de la chaudière par un système thermodynamique.

Le besoin de sortie de passoire n'est donc pas un facteur de décision fort en faveur de la mise en œuvre de PAC collective.

En revanche, ce dispositif de la loi Climat & Résilience pourrait favoriser le déploiement des PAC A/A individuelles, monosplit ou multisplit, notamment dans les logements chauffés à l'effet joule. Dans ce cas, la mise en œuvre de cette solution permet un gain sur les consommations en énergie primaire important qui peut permettre un saut d'étiquette. Cette solution pourrait donc être envisagée par des propriétaires cherchant à maintenir le logement sous le seuil de passoire énergétique. Spécifiquement, cette solution est en concurrence forte avec la mise en œuvre d'une isolation par l'intérieur (génératrice de travaux importants et de perte de SHAB mais d'un meilleur confort). Au-delà du potentiel risque de positionnement anarchique de modules extérieurs, il est important de rappeler que la mise en œuvre d'un système d'émission à l'air, sans isolation et amélioration de l'enveloppe, n'apporte pas un confort satisfaisant, ce qui pousse généralement les occupants à augmenter la température de consigne et donc à limiter l'effet positif de la PAC.

➤ **Atteinte des étiquettes performantes (A & B sauf dérogations)**

Pour les zones climatiques H1 & H2, les étiquettes A & B ne sont atteignables pratiquement qu'avec la mise en œuvre de pompes à chaleur sur le chauffage et l'ECS. Cette production peut être à 100% thermodynamique ou avec une hybridation. L'ensemble des autres systèmes sont très contraints par le seuil en émissions de gaz à effet de serre situé entre l'étiquette C & B (Gaz, Gaz + ENR) ou par le seuil en énergie primaire (électricité directe, bois) et se positionnent donc principalement en étiquette C, même après une rénovation globale et performante de l'enveloppe. Seuls les logements raccordés à des réseaux de chaleur peu carbonés atteignent également l'étiquette B.

En zone H3, les systèmes permettant généralement l'atteinte de l'étiquette B sont un peu plus divers (gaz + solaire, Joule + ECS Thermo). Dans certains cas, l'atteinte de l'étiquette B peut être possible en PAC DS, même sans isolation de l'enveloppe.

La loi climat & Résilience ayant défini une rénovation performante sur la base des étiquettes A & B du DPE, **la pompe à chaleur devient donc le système inévitable pour répondre à cette définition.**

Bilan des aides financières mobilisables pour la mise en œuvre PAC

La mise à disposition d'aides financières est essentielle pour favoriser le passage à l'acte en rénovation, indépendamment du maître d'ouvrage. Les aides disponibles pour la mise en œuvre de PAC sont de 3 types :

- Certificats d'économie d'énergie & Coup de Pouce ;
- MaPrimeRenov' ;
- Fonds chaleur.

➤ **Certificats d'économie d'énergie (CEE) et Coup de Pouce**

Les certificats d'économie d'énergie sont délivrés pour différents travaux décrits dans plusieurs fiches d'opération standardisées. La mise en œuvre de pompe à chaleur en immeuble collectif est encadrée par 3 d'entre elles :

- BAR TH 166 - Pompe à chaleur collective de type Air / Eau ou eau/eau¹⁵ ;
- BAR TH 150 - Pompe à chaleur collective à absorption de type Air / Eau ou eau/eau¹⁶ ;
- BAR TH 129 - Pompe à chaleur de type Air / Air¹⁷.

¹⁵ [Lien vers la fiche BAR TH 166](#)

¹⁶ [Lien vers la fiche BAR TH 150](#)

¹⁷ [Lien vers la fiche BAR TH 129](#)

Les montants en kWhCUMAC délivrés par les fiches dépendent à minima de la performance thermique de l'installation (exprimée en ETAS ou en SCOP), de la zone climatique et de la surface ou du nombre d'appartements. Le tableau suivant présente une estimation du montant de kWhCUMAC et une estimation en euros de la valeur de l'aide en zone H1 par appartement (Prix du MWhCUMAC considéré : 6€).

Code	Travaux	Correctif	Montant kWhCUMAC	Montant (€/lgt)
BAR TH 166	Pompe à chaleur collective de type Air / Eau ou eau/eau	Sans prise en compte d'hybridation de la production CH + ECS ETAS compris entre 110 & 120 %	52 000	312
BAR TH 129	Pompe à chaleur de type Air / Air	Pas de correctif de surface (60 < S < 70 m ²)	21 300	127
BAR TH 150	Pompe à chaleur collective à absorption de type Air / Eau ou eau/eau	CH + ECS ETAS compris entre 110 & 120 %	59 400	356

Les montants d'aide des fiches d'opération standardisées sont donc faibles au regard des coûts d'installation moyens de ce type de système et surtout des surcoûts par rapport au changement de chaudière dans le cadre des chaufferies collectives. **En l'état, ces fiches seules ne sont donc pas un élément déclencheur dans la mise en œuvre de pompes à chaleur en immeuble collectif.**

A compter du 1^{er} septembre 2022, le Coup de pouce 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'économie 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 non performante. Les montants peuvent ainsi atteindre environ 1200 €/logement en fonction des opérations.

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 existe¹⁸. Les montants de ces derniers sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Nature des travaux	Plus de 50 % de chaleur renouvelable après travaux	Inférieur ou égal à 50 % de chaleur renouvelable après travaux
Avec changements d'équipements au charbon ou au fioul autres qu'à condensation	500 € par MWh	300 € par MWh
Autres changements d'équipements	400 € par MWh	250 € par MWh

Etant donné le mode de calcul de la chaleur renouvelable, les pompes à chaleur se retrouvent quasi-systématiquement dans la catégorie inférieure ou égal à 50 % de chaleur renouvelable.

¹⁸ [Lien vers la fiche BAR BAR-TH-145 « Rénovation globale d'un bâtiment résidentiel \(France métropolitaine\) »](#)

A titre d'exemple, pour un immeuble comportant des appartements de taille moyenne (60 m²), le gain en énergie finale d'une rénovation atteignant un gain de 35 % en énergie primaire avec un passage d'une chaudière gaz autre qu'à condensation à PAC est évalué dans le tableau suivant :

	Consommation en énergie primaire initiale (kWhEP/m ² .an)	Consommation en énergie finale initiale (kWhEF/m ² .an)	Consommation en énergie primaire après travaux (kWhEP/m ² .an)	Consommation en énergie finale après travaux (kWhEP/m ² .an)	Montant du coup de pouce (€/lgt)
Chaudière gaz à condensation après rénovation	300	292	195	180	1 680,00
PAC Air Eau Collective après rénovation	300	292	195	85	3 105 € si PAC < 50 % EnR 4 968 € si PAC > 50 % EnR

Dans le cas d'un passage dans la catégorie supérieure via un calcul en énergie finale du taux d'ENR, le gain serait d'environ 2 000 € / lgt supplémentaire. A noter que la faisabilité de l'atteinte du gain de 35 % en énergie primaire est très variable en fonction des situations et ce seuil peut être très contraignant même pour certaines rénovations globales, notamment pour le bâti ancien. Cependant, ce gain est généralement largement atteignable dans le cas des immeubles collectifs de la période 1948 / 1975 qui sont la cible prioritaire du développement d'offre de rénovation globale intégrant la mise en œuvre de PAC. Si des gains supérieurs sont atteints, le volume de CEE délivré sera d'autant plus important.

→ **MaPrimeRenov' Copropriétés**

Le dispositif MaPrimeRenov' Copropriétés délivre un financement qui ne dépend pas du système énergétique mis en œuvre. Cependant, le financement étant lié au montant des travaux, il s'adapte aux travaux réellement réalisés dans le cadre de la rénovation et notamment les travaux induits à la mise en œuvre des PAC (réfection chaufferie, création réseau...).

→ **Fonds chaleur**

Le fonds chaleur permet de financer des installations de géothermie de surface assistée par pompe à chaleur. Les conditions d'éligibilité sont bien plus complètes que celles généralement demandées dans le cadre de MaPrimeRenov' ou des CEE. Les montants dépendent de la production d'énergie renouvelable de l'installation et peuvent ne pas être cumulables avec les CEE. Cependant, les montants accordés par ces aides sont généralement bien supérieurs aux montants des CEE.

7.4. Identification des segments de parc national compatibles avec le déploiement des PAC

Méthodologie

La mise en place des différentes technologies de PAC en rénovation est dépendante de différents paramètres à la fois techniques & organisationnels :

- **Technique** : en fonction des caractéristiques du bâtiment, des logements, du type de chauffage et d'ECS initial, la mise en œuvre de pompes à chaleur présente des faisabilités différentes (voir chap. 7.1).
- **Organisationnel** : parc privé ou HLM, monopropriété ou copropriété, le statut et l'occupation des immeubles collectifs à un fort impact sur la capacité d'intégration de certaines technologies. Les solutions collectives seront ainsi privilégiées par les organismes HLM qui pourront en maîtriser la maintenance, l'exploitation. Au contraire, la mise en œuvre de telles solutions en copropriété est plus complexe car elles nécessitent un vote d'adhésion en AG. Ce constat est encore plus vrai si des travaux en partie privative sont nécessaires (changement des émetteurs, création de réseau de distribution). A l'inverse, la mise en œuvre de solutions individuelles permet de répondre à un besoin d'amélioration du logement qui peut être décorrélié du processus de décision de la copropriété. Les propriétaires bailleurs pourraient ainsi trouver dans certaines solutions une réponse pour permettre à leurs logements de sortir du statut de passoire énergétique (PAC A/A par exemple).

Pour prendre en compte ce double enjeu, l'identification du gisement de logement compatible avec chaque technologie est évaluée en considérant une faisabilité technico organisationnelle :

- **Faisabilité forte** :
 - o L'immeuble possède des caractéristiques permettant la mise en œuvre de la solution (présence d'une toiture terrasse ou d'un espace extérieur pour positionner les unités extérieures, présence d'une ventilation centralisée pour les CET sur air extrait...);
 - o Le maître d'ouvrage (HLM ou privé) dispose d'une organisation permettant la mise en œuvre de la solution sans difficultés majeures (pas de travaux en partie privative nécessaires pour les copropriétaires, système collectif pour les bailleurs);
 - o Les travaux induits sont techniquement possibles et peu impactant.
- **Faisabilité moyenne** :
 - o L'immeuble possède des caractéristiques permettant la mise en œuvre de la solution (présence d'une toiture terrasse ou d'un espace extérieur pour positionner les unités extérieures, présence d'une ventilation centralisée pour les CET sur air extrait...);
 - o Le maître d'ouvrage (HLM ou privé) dispose d'une organisation permettant la mise en œuvre de la solution même si des difficultés techniques doivent être surmontées (travaux en partie privative pour les copropriétés, création de réseau pour les bailleurs...);
 - o Les travaux induits sont réalistes mais impactant.
- **Faisabilité faible** (1 des 3 conditions suivantes)
 - o La solution ne peut pas être mise en œuvre avec les technologies actuelles;
 - o Le maître d'ouvrage (HLM ou privé) ne dispose pas d'une organisation permettant la mise en œuvre de la solution;
 - o Les travaux induits sont trop impactant (prix, technique, organisation, ...).

Pour évaluer la volumétrie de logements concernés par chaque solution, l'étude s'appuie sur les données suivantes :

- Fiches typologiques PROFEEL (<https://programmeprofeel.fr/>) - AQC
- Fichier Détail : Logement 2017 – Insee
- Les conditions de logement en France, édition 2017 – Insee Références ([lien](#))
- 37,2 millions de logements en France au 1er janvier 2021 – Insee ([lien](#))

Le croisement de ces différentes données permet l'estimation de la faisabilité technico économique de chacune des solutions.

Note sur les volumes présentés dans ce rapport :

Cette estimation est réalisée en considérant les solutions techniques et leurs contraintes actuelles. Certaines solutions techniques permettraient une amélioration de la faisabilité dans certaines situations (éléments de chaufferies optimisés, acoustique améliorée des unités extérieurs de PAC, ...). De même, l'évolution de certains dispositifs d'aides pourraient permettre d'augmenter la faisabilité de mise en œuvre des solutions collectives notamment.

Faisabilité technico-économique des solutions de PAC en rénovation d'immeubles collectifs

Le tableau suivant dresse le nombre de logements présentant une faisabilité technico organisationnelle moyenne ou forte par solution et par typologie de bâtiments :

		Nombre de logements	PAC Air/Eau DS coll. HT	Solution hybride coll. (PAC sur CH uniquement)	Solution hybride coll. (PAC sur CH + ECS)	PAC Air/Air Mono Split	PAC Air/Air Multi Split	PAC Air/Eau ind.	CET sur air extrait	CET sur air extérieur	ECS PAC Coll.
Av. 1915	Petit collectif non mitoyen avant 1915	232 000	4%	8%	4%	5%	1%	3%	0%	3%	4%
	Petit collectif mitoyen avant 1915	1 547 000	0%	0%	0%	7%	2%	2%	0%	5%	0%
	Moyen collectif avant 1915	720 000	0%	2%	0%	7%	2%	2%	0%	5%	2%
	Grand collectif avant 1915	489 000	0%	1%	0%	12%	3%	1%	0%	7%	1%
	Petit collectif non mitoyen 1915 - 1945	110 000	10%	17%	10%	6%	1%	2%	0%	4%	8%
1915 - 1945	Petit collectif mitoyen 1915 - 1945	282 000	5%	7%	5%	7%	1%	2%	0%	4%	3%
	Moyen collectif 1915 - 1945	166 000	3%	7%	3%	8%	2%	1%	0%	5%	4%
	Grand collectif 1915 - 1945	272 000	6%	19%	6%	5%	1%	1%	0%	3%	14%
1945 - 1974	Petit collectif - 1945 - 1968	522 000	25%	25%	25%	15%	4%	4%	0%	14%	13%
	Moyen collectif - 1945 - 1968	1 219 000	43%	43%	43%	8%	2%	2%	0%	7%	40%
	Grand collectif - 1945 - 1968	518 000	58%	58%	58%	3%	1%	2%	0%	3%	60%
	Petit collectif - 1969 - 1974	165 000	30%	30%	30%	17%	4%	3%	0%	18%	12%
	Moyen collectif - 1969 - 1974	682 000	49%	49%	49%	9%	2%	2%	0%	10%	47%
	Grand collectif - 1969 - 1974	452 000	62%	62%	62%	5%	1%	1%	0%	5%	69%
1975 - 2000	Petit collectif - 1975 - 1981	142 000	26%	33%	26%	21%	5%	3%	0%	21%	9%
	Moyen collectif - 1975 - 1981	523 000	27%	56%	27%	14%	3%	2%	0%	13%	35%
	Grand collectif - 1975 - 1981	296 000	26%	69%	26%	9%	2%	1%	0%	9%	52%
	Petit collectif - 1982 - 1989	165 000	23%	29%	23%	23%	5%	3%	6%	24%	8%
	Moyen collectif - 1982 - 1989	374 000	24%	41%	24%	21%	5%	2%	6%	22%	20%
	Grand collectif - 1982 - 1989	123 000	24%	53%	24%	18%	4%	1%	5%	18%	35%
	Petit collectif - 1990 - 2000	353 000	15%	20%	15%	27%	6%	3%	3%	22%	5%
	Moyen / Grand collectif - 1990 - 2000	1 065 000	15%	26%	15%	30%	7%	2%	4%	25%	12%
Ap. 2000	Collectif 2001 - 2005	593 000	0%	21%	3%	34%	7%	2%	4%	27%	10%
	Collectif après 2005	2 040 000	0%	34%	8%	23%	6%	1%	4%	22%	23%

Légende :

- PAC Air/Eau DS coll. HT : PAC Air / Eau double service collective Haute Température
- Solution hybride coll. : Deux typologies de solutions hybrides sont étudiées. Dans les deux cas, des besoins de chauffage sont couverts par la PAC. Cependant, les contraintes d'intégration en chaufferie sont plus fortes si l'ECS est couverte par la PAC.
- CET : Chauffe-Eau Thermodynamique.

Globalement, pour la PAC Air / Eau double service collective Haute Température, on constate une faisabilité d'intégration pour les immeubles construits sur une période constructive entre 1948 & 1975. Sur cette période, il y a une forte proportion de logements HLM, avec des chaufferies collectives et disposants de toitures

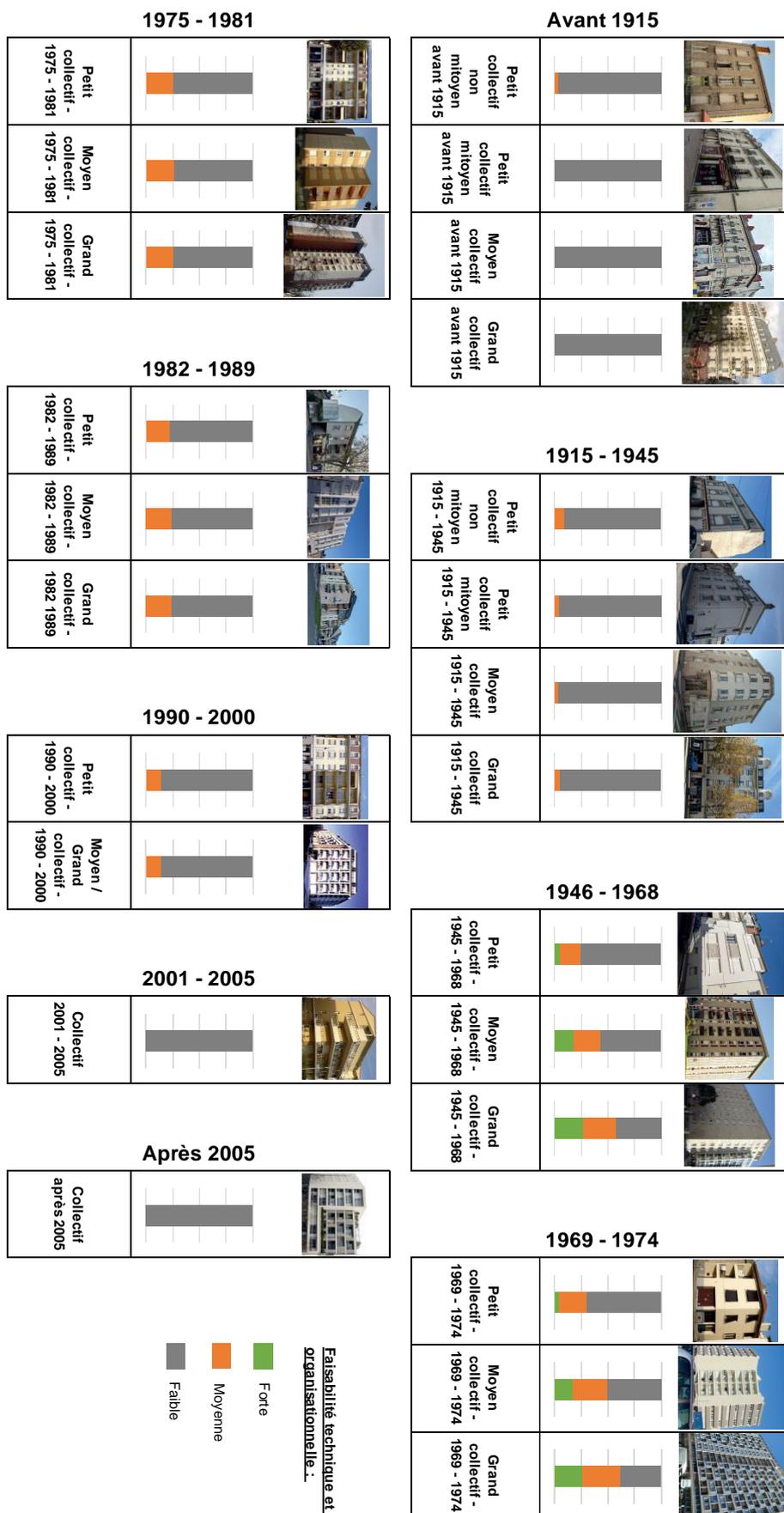
terrasses. Voici les hypothèses retenues pour la comptabilisation de la faisabilité technico organisationnelle sur chacun des segments pour cette solution.

Positionnement des unités extérieures possible *	Période constructive	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Possible	Entre 1945 & 1975	Chauffage central collectif	HLM	Forte
Possible	Avant 1945 ou après 1975	Chauffage central collectif	HLM	Moyenne
Possible	Avant 2000	Chauffage individuel	HLM	Moyenne
Possible	Avant 2000	Chauffage central collectif	Privé	Moyenne
Possible	Avant 2000	Chauffage individuel	Privé	Faible
Possible	Après 2000	Tous	Tous	Faible
Impossible	Tous	Tous	Tous	Faible

* : Le positionnement des unités extérieures est évalué en considérant la présence d'une toiture terrasse ou à un coefficient d'occupation du sol inférieur à 50 % (données PROFEEL).

La faisabilité des PAC Air / Eau collectives sur les bâtiments post année 2000 est faible. Il est considéré que la faisabilité de l'amélioration de l'enveloppe thermique de ces bâtiments est faible (du fait de la présence d'une isolation à l'état initial). Dans ce contexte il sera compliqué de déployer des solutions 100% PAC (régime température émetteur trop élevée). Cependant, dans ces situations, l'hybridation peut permettre de déployer une base en PAC à condition de résoudre le potentiel manque de place en chaufferie pour intégrer les modules hydrauliques.

Pour la PAC AIR / EAU collective, le marché potentiel est d'environ **629 000 logements en faisabilité technico organisationnelle forte** et **1 671 000 logements en faisabilité technico organisationnelle moyenne** sur les 13 millions de logements collectifs. Cela correspond respectivement à environ 26 000 et 108 000 immeubles.



Faisabilité technico organisationnelle par typologie de logements.

7.5. Evolution du marché de la PAC d'ici 2025

Dans l'état actuel des aides et des solutions techniques disponibles, la mise en œuvre de PAC collectives en immeuble collectif reste marginale. Parmi l'ensemble des acteurs interrogés, peu disposent des retours d'expérience en rénovation d'immeubles collectifs. **D'ici 2025, à la vue des aides financières, des solutions disponibles et du niveau de maturité des maîtres d'ouvrage, le marché de la PAC Collective sera probablement marginal dans les prochaines années :**

- Les organismes HLM, à travers leurs PSP (plans stratégiques patrimoniaux), ont projeté les travaux qui seront menés dans les 3 prochaines années. Les outils actuels ne les incitent pas ou peu à privilégier une solution thermodynamique. Le contexte législatif avec l'interdiction de location des passoires énergétiques va par ailleurs concentrer chez certains les investissements vers du patrimoine ne répondant pas spécifiquement aux critères nécessaires pour l'installation de PAC. Sauf volonté d'expérimenter ou ambition inscrite dans une stratégie environnementale de groupe, le marché de la PAC restera probablement faible en organisme HLM.
- En copropriété, la logique économique et les fortes contraintes supplémentaires par rapport aux solutions traditionnelles risquent de limiter fortement les rénovations embarquant des systèmes de pompes à chaleur.

7.6. Conclusion

La capacité d'intégration et de bon fonctionnement de pompes à chaleur dans les projets de rénovation énergétique d'immeubles collectifs est fortement dépendante des caractéristiques du bâtiment existant, du programme de travaux réalisé, de l'accompagnement et du suivi mis en œuvre, des aides associées... Si le marché est aujourd'hui principalement tourné vers des solutions air / air individuelles, la PAC collective Air / Eau ou Eau / Eau répond à de nombreux enjeux de réduction des consommations et des émissions de GES en rénovation, à condition d'une mise en œuvre qualitative. Le marché potentiel est important et pourrait encore augmenter si plusieurs freins techniques étaient levés. Pour ce marché mature et envisager une massification sur le parc résidentiel collectif existant, de nombreux freins sont à lever.

La diffusion en immeuble collectif existant peut rapidement prendre forme en s'assurant que les expérimentations qui seront menées d'ici 2025 permettent bien d'atteindre les économies d'énergie attendues, essentielles dans le modèle de financement de la rénovation. Pour cela, l'ensemble des acteurs de la filière doit s'organiser pour :

1. Accompagner le marché dans la mise en œuvre de solutions collectives en rénovation, en ciblant prioritairement les typologies et configurations les plus simples et adaptées (immeubles construits entre 1948 & 1974 / maîtrise d'ouvrage sociale / chaudière gaz collective à l'état individuel / rénovation globale).
2. Expérimenter dès aujourd'hui des applications en situation de faisabilité moyenne (contrainte intégration forte, bâtiment déjà isolé avec régime température élevé, production individuelle à l'état existant).
3. Former et accompagner les acteurs de la filière ;
4. Mesurer la performance des premiers projets, et la documenter pour que rapidement, les ressources techniques nécessaires à la massification de ces solutions soient disponibles.
5. Adapter le système d'aide pour absorber les surcoûts liés à la mise en œuvre de ces solutions, mais les conditionner à
 - Un encadrement de la qualité de mise en œuvre technique,
 - Un suivi des performances du système après travaux,
 - Une bonne adéquation des régimes de température de production (ex : rénovation globale) qui garantisse une baisse significative des charges.

8. REGLEMENTATION

8.1. Valorisation des PAC dans les méthodes de calculs réglementaires (DPE, RT existant et RE2020)

Le tableau ci-dessous synthétise la manière de modéliser les principaux systèmes thermodynamiques pour trois calculs réglementaires : RE2020, RT existant et DPE.

	Fiches solutions	RE2020	RT existant	DPE
PAC ECS Air / Eau	N°1 & 11	Modélisable	Modélisable via un outil d'aide à l'application (arrêté du 13 mai 2021)	Modélisable mais saisie très simplifiée (1 seul COP notamment : le SCOP)
PAC ECS CO2	N°1	Titre V en cours de transfert RT12 → RE20		
PAC ECS Aérosolaire	N°2	Modélisable via Titre V	Modélisable via Titre V	Non modélisable
PAC sur eaux grises	N°2		Non modélisable	
PAC Air / Eau chauffage PAC Air / Air chauffage	N°3 & 12	Modélisable (Sauf solutions collectives avec ballon tampon chauffage → Titre V nécessaire théoriquement)	Modélisable mais saisie très simplifiée (2 COP à renseigner)	Modélisable mais saisie très simplifiée (1 seul COP notamment : le SCOP)
PAC Air / Eau chauffage + ECS PAC géothermique chauffage	N°5 & 7 & 13		Modélisable en partie, il faut saisir 2 PAC indépendantes (ch et ECS)	Modélisable en partie, il faut saisir 2 PAC indépendantes (ch et ECS)
PAC Air / Eau hybridée avec du gaz	N°8 & 14	Modélisable Certains types de régulation ne sont pas modélisable	Modélisable uniquement en chauffage	Modélisable en partie, il faut saisir 2 PAC indépendantes (ch et ECS). Ch : réparation forfaitaire (80% PAC – 20% gaz) ECS : 100% PAC ou 100% gaz
Solutions mixtes individuelles-collectives	N°9 & 10	Non modélisable (Besoin Titre V)	Non modélisable (Besoin Titre V)	Non modélisable
PAC Air / Air (ch partiel) et Air / Eau (ECS)	N°15	Modélisable	Modélisable	Modélisable

La plupart des solutions PAC sont modélisables dans les réglementations. Il reste tout de même des points d'améliorations :

- PAC hybride (gaz-PAC) : la modélisation n'est pas possible en RT existant et DPE (sauf pour le chauffage). En RE2020, la saisie est possible mais la caractérisation de la régulation des 2 générateurs est partielle et certaines configurations ne peuvent à priori pas être considérées (Intervention appoint uniquement pour le bouclage).
- Appoints : pour tous les types de PAC, le statut des appoints doit être clarifié, notamment la manière de différencier les appoints qui interviennent dans le fonctionnement des PAC de ceux qui interviennent en secours en cas de panne.
- Solutions mixtes individuelles-collectives : non modélisables dans les trois réglementations, ce qui va freiner fortement leur développement.

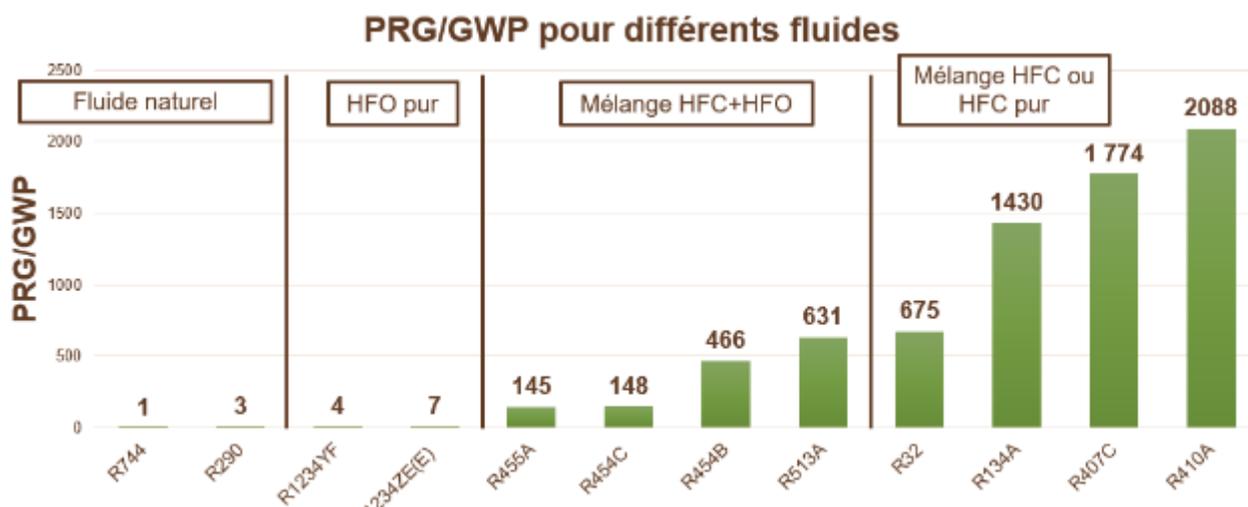
Nota n°1 : La variation du régime de température des émetteurs ne semble pas avoir d'influence sur la performance des PAC dans le calcul DPE. Cet aspect semble problématique au vu du rôle important du DPE dans la définition des prestations de rénovation.

Nota n°2 : Les appoints qui interviennent en chauffage engendrent de faibles hausses de consommations dans le calcul RE2020 et RT2012. Il semble important de vérifier la cohérence de ces résultats.

8.2. Incidences des révisions de la F-Gas

Rappel fluides frigorigènes et PRG :

Les fluides frigorigènes sont de puissants gaz à effet de serre. Des fuites peuvent avoir lieu sur les installations frigorifiques, ainsi il est important de connaître leur pouvoir de réchauffement global (PRG). Le potentiel de réchauffement global est le pouvoir réchauffant d'une masse d'un gaz (par exemple 1 kilogramme), rapporté au pouvoir réchauffant de la même masse de dioxyde de carbone pour une durée de 100 ans. Voici les différents PRG des fluides utilisés actuellement dans les PAC :



Quelques définitions :

- Les hydrofluorocarbures (HFC) : molécules composées d'hydrogène, carbone et fluor.
- Les hydrofluoroléfinés (HFO) : molécules aussi composées d'hydrogène, carbone et fluor mais qui présentent la particularité de contenir au moins une liaison double carbone-carbone (alcène C=C).
- Les fluides inorganiques : une molécule inorganique est une molécule dépourvue de carbone, à l'exception des carbonates et des cyanures. Les fluides inorganiques sont au nombre de 3, l'ammoniac (NH₃), l'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂).
- Les hydrocarbures (HC) : ils ne contiennent que des molécules d'hydrogène et de carbone.
- Fluides naturels : fluides inorganiques et hydrocarbures. Cette dénomination est utilisée pour s'opposer aux fluides contenant du fluor et qui seraient « synthétiques ». En toute rigueur, cette dénomination n'a aucune valeur scientifique.

L'objectif de la F-Gas est une diminution du PRG moyen des fluides, en passant de 2000 à 400 entre 2015 et 2030. Ainsi, trois dispositifs sont mis en place pour atteindre cet objectif :

- Augmenter les contrôles d'étanchéité des HFC
- Limitation progressive de la mise sur le marché des HFC
- Interdiction des HFC pour certaines applications

La réglementation F-gas en vigueur ne va pas directement interdire l'utilisation des HFC comme pour les CFC et HCFC¹⁹. Elle va contraindre leur utilisation par une limitation de leur production. En 2030, les HFC produits ne devront alors servir qu'à l'entretien du parc de PAC existant et pour d'autres applications spécifiques.

¹⁹ Chlorofluorocarbure et hydrochlorofluorocarbures étaient les fluides les plus utilisées, mais ont été progressivement interdits depuis 1987 à cause de leur pouvoir destructeur de la couche d'ozone.

Un projet de révision de la F-Gas est paru et vise à renforcer les objectifs. Les enjeux principaux pour le résidentiel collectif semblent être les suivants :

- Interdiction des « Equipements autonomes – Self contained » dont GWP > 150 en 2025 : Si le terme « self contained » concerne bien les PAC Monoblocs, cet objectif aura un impact fort sur les solutions PAC les plus présentes sur le marché des logements collectif ces prochaines années. Comme le montre la synthèse en partie 3.3 des solutions PAC collectives disponibles à ce jour, seulement 3 solutions sur les 11 identifiées répondent à cet objectif. De nombreux industriels semblent projeter de mettre sur le marché des solutions aux propane ou à très faibles GWP d'ici 2023 ou 2025 (BDR Thermea De Dietrich, ATLANTIC, MISTUBISHI, CARRIER...), néanmoins le calendrier défini semble limiter l'offre étendue en 2025.
- Interdiction en 2027 de mise sur le marché de solution split (mono-split, multi-split et PAC bibloc) < 12kW avec des fluides frigorigènes > 150 : cette interdiction impactera la majorité des solutions de PAC double usage présente sur le marché de la maison individuelle ainsi que le marché des petits bâtiments collectifs. L'alternative la plus simple à mobiliser sera le passage en PAC monobloc à fluide à très faible PRG. A ce jour 3 industriels possèdent des PAC monoblocs au propane (AUER, VIESSMANN, VAILLANT). Une autre incidence sera le changement de type de réseau entre l'unité extérieur et le logement, les liaisons sont hydrauliques en monobloc ce qui augmente leur diamètre et donc leur encombrement. Cet objectif impactera également les solutions split et mono-split, mobilisables en RE2020 (solution de production froid la plus économique en termes de coût d'investissement).
- Interdiction en 2027 de mise sur le marché de solution split (mono-split, multi-split et PAC bibloc) > 12kW avec des fluides frigorigènes > 750 : à la différence des deux points précédents, ce dernier représente un enjeu faible pour le résidentiel collectif étant donné que la très grande majorité des solutions PAC collective sont d'ores et déjà monobloc.
- Renforcement de la baisse des quotas disponibles : Selon l'AFCE, la baisse des quotas disponibles en 2027 ne permettra pas de couvrir les besoins en fluides des équipements existants et ne permettra pas l'installation de nouveaux équipements.

8.3. PLU

Le PLU est régulièrement un frein à la mise en place de PAC Air / Eau collective en toiture. En effet en construction neuve comme en rénovation, le PLU définit des limites de gabarit et de hauteur des bâtiments et stipule que ces limites concernent les équipements techniques tels que les pompes à chaleur. Ci-dessous 2 extraits de PLU de grande ville d'Ile de France :

Extrait PLU n° 1 :

Dans le cas de la hauteur en gabarit, les éléments de construction ou équipements listés ci-après ne sont pas pris en compte dans le calcul de la mesure de hauteur :

- les acrotères, dès lors que leur hauteur est au plus égale à 1 mètre ;
- les souches de cheminées ;
- les locaux et installations techniques, y compris ceux liés à la sécurité des personnes, et les systèmes nécessaires à la production d'énergie à partir de sources renouvelables, au sens des dispositions de l'article L.111-16 du code de l'urbanisme correspondant aux besoins de la consommation domestique des occupants de la construction, sous réserve d'une insertion architecturale qualitative et dans la limite de 1 mètre ;
- les lucarnes, dès lors :
 - qu'elles sont inscrites dans le pan incliné du volume enveloppe de toiture sans contact avec le nu général de la façade,
 - et que leur longueur cumulée soit au plus égale au tiers de la longueur de la façade concernée,
- les installations nécessaires au fonctionnement d'un équipement d'intérêt collectif ou de services publics dont la nature impose une telle localisation.

Extrait PLU n°2 :

1.5. Travaux sur bâtiments existants

Les travaux sur bâtiments existants sont autorisés sous réserve de ne pas aggraver le non-respect des règles définies dans chaque zone du PLU aux articles 1 à 13

R+6 soit 21 m (HV),

plus deux niveaux présentant un retrait par rapport à la façade de 1,5m et une hauteur de 7,5 m (HCL),

soit une hauteur totale de 28,5 m (HT).

URS 10.1.5 Les dépassements du gabarit-enveloppe :

- ne sont pas autorisés pour les machineries d'ascenseur, de réfrigération ou de climatisation, qui doivent être intégrés dans le volume de couronnement,
- sont autorisés pour les antennes, les souches de cheminée ainsi que pour les édicules d'agrément liés à la jouissance d'une terrasse paysagée ; ces édicules, d'une surface unitaire inférieure ou égale à 20 m² d'emprise et d'une hauteur inférieure ou égale à 2,50 m, doivent présenter une emprise totale inférieure ou égale à 30 % de l'emprise de la terrasse,

9. ANNEXE

9.1. Annexe 1 : Fiches solutions

Fiche n°1 : Solution collective - ECS

CET Air / Eau

Domaine d'application : Usage : ECS

Taille de bâtiment : 10 à 400 lgts

Opportunité en rénovation : moyenne

- Un bâtiment initialement en ballon électrique collectif avec toiture terrasse ou espace extérieur (ex : conservation chauffage électrique associé à isolation performante).
- Un bâtiment gaz collectif faisant l'objet d'une isolation pour libérer de la place en chaufferie et permettre l'intégration de ballon ECS dédiée à la PAC.

Opportunité en construction neuve : moyenne à forte

- Associée à du chauffage électrique et une enveloppe très performante (incompatible avec ITI → changement fort des pratiques).
- Associé à une chaufferie gaz collective (appoint ECS et 100% du chauffage).
- Associé à une installation PAC basse température (plus courante sur le marché) pour le chauffage émetteur BT.

Descriptif général :

Une PAC capte des calories sur l'air extérieur et produit de l'eau chaude. On parle parfois de chauffe-eau thermodynamique collectif ou de CET collectif.

Pour pouvoir produire de l'ECS et réaliser le réchauffage du circuit de bouclage ECS sans appoint électrique ou gaz, il est conseillé de mobiliser des PAC pouvant produire de l'eau chaude à plus de 60°C. Ainsi, il existe différents types d'installations :

- Production ECS à 55°C : nécessaire d'associer un appoint électrique et un volume de ballon plus important,
- Production ECS à 60-65°C : PAC en capacité de combattre les pertes de bouclages sans appoint,
- Production ECS à 80°C : cas particulier des PAC au R744 (CO2).

L'ensemble de ces solutions peuvent être équipées d'appoint électrique de secours mobilisé uniquement en cas de panne.

Condition d'intégration :

➤ *Module PAC*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée ou le local est doté de parois très ouvertes). La hauteur des PAC varie entre 1.70 et 2.30m (support compris).

La hauteur entre la PAC et le local technique peut atteindre 100 m (souvent limitée à 25m en cas de liaison frigorigène pour les solutions bi-bloc). Il est préférable de limiter cette longueur au maximum pour diminuer les pertes de chaleur.

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	4 à 8 m ²	6 à 15 m ²	18 à 25 m ²

➤ *Local technique*

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse

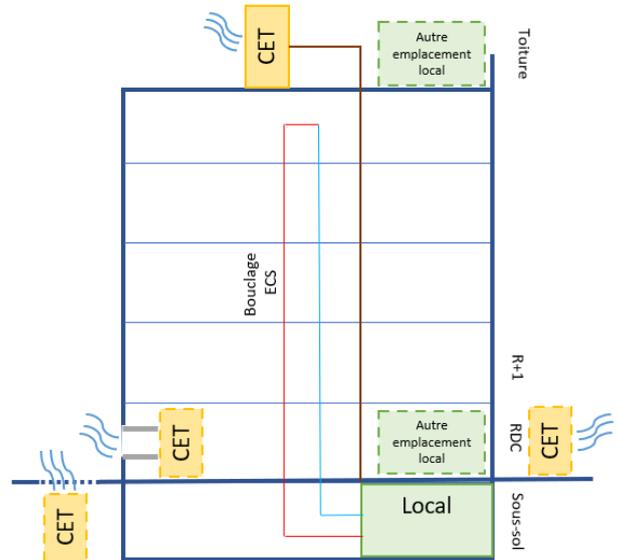
Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

Emprise du local	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	15 à 20 m ²	20 à 30 m ²	30 à 40 m ²

➤ *Acoustique*

La puissance acoustique des PAC est importante (entre 64 et 75 dB(A)). Une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC :

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Les PAC doivent être positionnées à distance des baies,



PAC gainée : ventilateur doit avoir capacité de combattre les pertes de charg engendrées par la gain et de l'évent. traitement acoustique.



PAC en toiture terrasse : à minima 1.5 à 3m d'espace libre devant les ventilateurs, 50cm à l'arrière et sur les côtés. La surface est libre au-dessus.



- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

Nota : les bâtiments à ossature bois sont particulièrement sensibles aux vibrations (prévoir : support béton + plot anti vibratile OU adosser la PAC un élément de structure béton).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Modélisation possible.

RT existant : modélisable via un outil d'aide à l'application Excel (arrêté du 13 mai 2011).

DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 seule valeur à renseigner : le SCOP).

Conception / mise en œuvre :

Nombreuses solutions monobloc sont disponibles, ces solutions limitent l'intervention des frigoristes).

Points de vigilances : les solutions de traitement acoustiques et visuel ne doivent pas compromettre le renouvellement de l'air autour de la PAC (risque de recirculation d'air qui baisse la performance). Le manque de qualité des réseaux de distribution ECS et chauffage a un impact important sur la performance réelle des PAC (équilibre et niveau d'isolation de mauvaise qualité = hausse des températures de production = baisse des COP ou disfonctionnement).

Entretien / maintenance

Entretien annuel intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Points de vigilances : le débouage de la boucle entre les PAC monobloc en toiture et le local technique est parfois négligé et engendre des disfonctionnements les premières années. Pour un suivi des installations de qualité : intégrer des solutions de suivi des performances et créer un lien entre l'exploitant et l'installateur (éviter la période de flottement les premières années d'exploitations).

Maturité de la solution :

Cette solution est présente sur le marché depuis plus de 5 ans et est maintenant maîtrisée par la filière. En construction neuve, elle est très régulièrement mobilisée dans le sud-est de la France en association à du chauffage électrique.

Il manque cependant d'une méthode de dimensionnement pour les solutions en capacité de combattre les pertes de bouclage (la méthode COSTIC existante n'encadre pas cet aspect).

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Solution courante et mature,
- Technologie disponible avec des fluides très peu émissifs,
- Evolutivité et entretien de la solution simple (pas d'intervention dans le logement).

Faiblesses :

- Nuisance acoustique et visuelle,
- Encombrement des modules PAC,
- Retour d'expérience peu documenté (peu ou pas de mesure de performance réelle),
- Aucune méthode de dimensionnement pour les solutions qui combattent les pertes de bouclage.

Conditions de réussite :

- Réseau de distribution bien isolé et équilibré,
- Favoriser le suivi de performance réel.

Solutions disponibles sur le marché :

Industriel	Produit	Fluide frigo
Auer	MégaPAC : 20 à 80 kW Cascade jusqu'à 1200 kW T production : 70°C	R290 GWP = 3
Atlantic	Hydrapac 2 : 10 à 16 kW Cascade jusqu'à 48 kW T production : 55°C	R410A GWP = 2088
Daikin	Altherma 3 H HT : 10 à 14 kW Cascade possible T production : 70°C	R32 GWP= 675
Mistubishi	Yuzen : 35 kW uniquement Cascade possible T production : 80°C	R744A (CO2) GWP = 1
Stiebel Eltron	WPL 23 : De 15 à 35 kW Cascade jusqu'à 130 kW T production : 65°C	R407C-R410A GWP = 1774 ou 2088
Vaillant	AroTHERM plus : 10 à 21 kW Cascade jusqu'à 130kW T production : 70°C	R290 GWP = 3

Fiche n°2 : Solution collective - ECS

PAC sur capteur aérosolaire ou chaleur fatale (eaux grises et air extrait)

Domaine d'application :

Usage : ECS uniquement

Taille de bâtiment : possible pour petit bâtiment mais conseillé à partir de 20 lgts (cout d'investissement élevé pour petit bâtiment), voir 30-40lgts pour les solutions sur eaux grises).

Opportunité en rénovation : faible

- Opportunité moyenne pour les PAC aérosolaire (besoin d'une grande surface en toiture)
- Opportunité faible pour les PAC sur eaux grises (enjeu d'intégration du réseau de captage des eaux grises)

Opportunité en construction neuve : faible à moyenne

- Associée à du chauffage électrique et une enveloppe très performante (incompatible avec ITI → changement fort des pratiques). Les résidences étudiantes sont adaptées à ces solutions (bâtiment compact et fort besoin ECS).
- Associé à une chaufferie gaz collective pour l'appoint ECS et la production de 100% du chauffage.
- Associé à une installation PAC pour le chauffage.



Nappe de tube solaire en EPDM

Descriptif général :

Ces PAC sont des solutions eau/eau qui travaillent sur des sources froides particulières :

- Les PAC aérosolaires captent la chaleur provenant de l'air ambiant et provenant du soleil grâce à des capteurs solaires en toiture dans lesquels circulent de l'eau (2 solutions possibles : l'eau circule dans des nappes de tubes EPDM noirs ou en face arrière de panneaux solaires photovoltaïques),
- Les PAC sur air extrait captent la chaleur provenant de l'air chaud de la VMC collective (non traité dans cette fiche car une seule solution disponible sur le marché, dont la réputation est mauvaise et contrainte d'intégration similaire à PAC Air / Eau),
- Les PAC sur eaux grises captent la chaleur des eaux usées provenant des éviers et douches des logements (chutes EU séparées WC/autres, stockage des eaux grises dans les cuves).

Elles doivent produire de l'eau chaude à plus de 60-65°C pour avoir la capacité de chauffer l'ECS et maintenir le bouclage ECS en température.

Condition d'intégration :

- *Module PAC*

Le module PAC est dans les locaux techniques : pas d'impact acoustique et visuel.

- *Local technique*

Le local technique est plus encombrant que pour une PAC Air/Eau car les volumes de stockage ECS sont généralement plus importants et les pompes à chaleur sont positionnées dans le local. Pour la PAC sur eaux grises, l'encombrement augmente puisqu'il intègre les cuves de stockage d'eaux grises.

Position du local : R-1 ou RDC

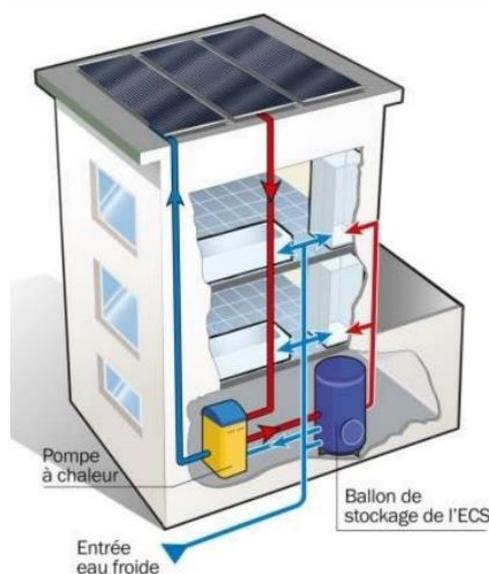
Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur.

Emprise du local	25 lgts	50 lgts	150 lgts
PAC Aérosolaire	20 à 30 m ²	25 à 40 m ²	35 à 50 m ²
PAC sur Eaux Grises	30 à 50 m ²	40 à 60 m ²	50 à 70 m ²

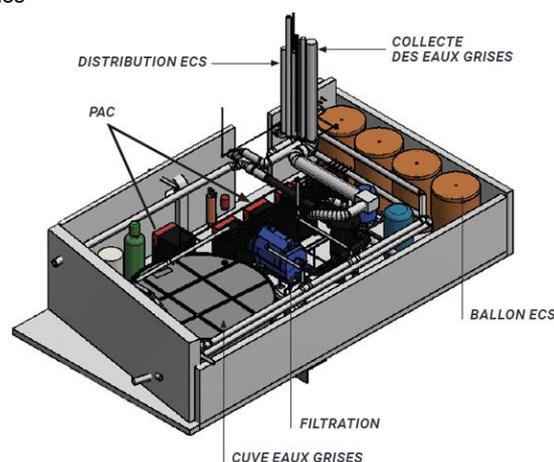
Nota : Pour positionner le local des PAC sur eaux grises, il est indispensable de considérer les contraintes de collecte des eaux grises (écoulement gravitaire avec pente minimale + isolation des réseaux d'eaux usées) ainsi que le point de mise à l'égout. En cas de local au R-1 une pompe de relevage est souvent nécessaire pour mettre les eaux grises à l'égout. On préférera mobiliser cette solution sur des bâtiments de grande hauteur dont l'emprise au sol est faible pour faciliter la collecte des eaux grises.

- *Acoustique*

Aucune incidence acoustique (prévoir isolation acoustique du local).



PAC aérosolaire



PAC sur eaux grises

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Modélisable.

RT existant : Modélisable via un Titre V pour la PAC aérosolaire et non modélisable pour la PAC sur EG (Titre V opération nécessaire).

DPE : Non modélisable.

Entretien

Pour PAC aérosolaire et sur EG : contrôle de l'absence de fuite sur l'ensemble des équipements, manœuvre et contrôle des éléments de sécurités (soupapes...), contrôle des débits et de l'encrassement de l'échangeur, contrôle de l'évacuation des condensats.

Spécificités PAC aérosolaire : 2 visites annuelles comprenant un contrôle visuel et un nettoyage à grandes eaux du capteur.

Spécificités PAC sur EG : 1 visite annuelle si télé-suivi (sinon 6 visites annuelles), pulvérisation annuelle dans la cuve d'eaux grises, vidange journalière des cuves automatique et nettoyage hebdomadaire automatique (par buse de pulvérisation).

Maturité de la solution :

Ces solutions existent sur ce marché depuis plusieurs années : 2010 pour la solution aérosolaire, 2010 et 2014 pour les solutions sur eaux grises. Elles équipent plusieurs centaines de logements et sont bien maîtrisées par certains BE, MO et installateurs.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Pas d'impact acoustique,
- Impact visuel inexistant (ou très modéré pour les PAC aérosolaire),
- Solution de télé-suivi disponible.

Faiblesses :

- Besoin d'un local technique, qui peut être encombrant pour les PAC sur eaux grises,
- PAC aérosolaire : surface de toiture importante nécessaire,
- Aucune solution dotée de fluides à PRG très faible à ce jour,
- Manque de PEP pour caractériser l'impact carbone des PAC et leurs équipements (cuve, capteur solaire, stockage important)

Conditions de réussite :

- Anticiper la position des équipements dès l'esquisse.

Solutions disponibles sur le marché :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Biofluides	ERS	R134A GWP = 1430
Giordanno	Solar pump De 10 et 23 kW Cascade possible	Fluide à fort GWP
Heliopac	Heliopac system De 10 et 14 kW Cascade possible	R513A GWP = 573
Solaronics	PAC Facteur 7 40kW Cascade possible	Mélange 1234ze et R32 GWP < 150

Fiche n°3 : Solution collective - Chauffage – Air extérieur

PAC Air / Eau basse température

Domaine d'application :

Usage : Chauffage (et froid si émetteur et PAC réversible)

Taille de bâtiment : 10 à 400 lgts

Opportunité en rénovation : faible

- Un bâtiment initialement équipé d'émetteur basse température (<50°C : PCBT, ventilo-convecteur, plafond rayonnant) et d'une production collective avec toiture terrasse ou espace extérieur.

Opportunité en construction neuve : faible à moyenne

- Associée à une production ECS indépendante par PAC
- Associé à une chaufferie Gaz (voir fiche n°8 : solution hybride collective)

permet de mobiliser deux solutions matures (PAC basse température pour le chauffage et PAC ECS), le chauffage haute température par PAC étant récent en résidentiel collectif.

Descriptif général :

La PAC capte des calories sur l'air extérieur pour produire de l'eau chaude (ou froide) et alimenter un réseau de distribution hydraulique circulant dans le bâtiment. La température de l'eau produite conditionne le choix des émetteurs.

Condition d'intégration :

➤ Module PAC

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

La hauteur entre la PAC et le local technique peut atteindre 100 m.

Emprise des PAC en toiture (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	6 à 15 m ²	12 à 18 m ²	22 à 50 m ²

➤ Local technique

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse

Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

Emprise du local (Chauffage seul)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	10 à 15 m ²	15 à 25 m ²	30 à 40 m ²

L'encombrement du local technique est variable suivant le volume de ballon tampon à prévoir pour le chauffage (entre 10 et 15 m²).

➤ Acoustique

La puissance acoustique des PAC est importante (entre 64 et 75 dB(A)). Une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC :

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Et les PAC doivent être positionnées à distance des baies,
- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

Nota : les bâtiments à ossature bois sont particulièrement sensibles aux vibrations (prévoir : support béton + plot anti vibratile OU adosser la PAC un élément de structure béton).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : modélisable.

RT existant : modélisable. La saisie est très simplifiée (ex : seulement 2 COP à renseigner).

DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 SCOP).

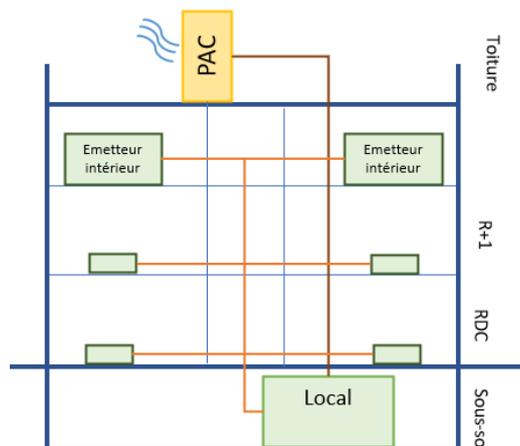
Conception / mise en œuvre :

Nombreuses solutions monobloc disponibles, ce qui limite l'intervention des frigoristes à la mise en service.

Points de vigilances : les solutions de traitement acoustiques et visuel ne doivent pas compromettre le renouvellement de l'air autour de la PAC (risque de recirculation d'air qui baisse la performance). Le manque de qualité des réseaux de distribution chauffage a un impact important la performance réelle des PAC (équilibre et niveau d'isolation de mauvaise qualité = hausse des températures de production = baisse des COP). Les premières années, il est nécessaire de systématiser les études acoustiques en phase conception.

Entretien

Entretien annuel intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).



Points de vigilances : le désembouage de la boucle entre les PAC monobloc en toiture et le local technique est souvent négligé et engendre des disfonctionnements les premières années. Pour un suivi des installations de qualité : intégrer des solutions de suivi des performances et créer un lien entre l'exploitant et l'installateur (éviter la période de flottage les premières années).

Maturité de la solution :

Malgré sa faible présence en résidentiel collectif, cette solution peut être considérée comme mature. Les PAC basse température sont présentes sur le marché du tertiaire depuis de nombreuses années.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Maturité et robustesse de la solution,
- Possibilité de faire du froid si émetteur basse température et PAC réversible,
- Technologie disponible avec des fluides très peu émissifs,
- COP optimisé grâce à l'association à des émetteurs basse température,
- Très forte puissance disponible.

Faiblesses :

- Contraintes d'intégrations fortes : nuisance acoustique et visuelle,
- Nombreuses solutions dotées de ballon tampon (théoriquement impossible à modéliser en RE2020 sans Titre V opération),
- L'association avec un émetteur basse température augmente le cout de l'installation.

Solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
ATLANTIC	EFFIPAC <i>De 14 à 70kW Jusqu'à 6 en cascade</i>	R32 GWP = 675
CIAT	AQUACIAT CALEOTM TD <i>De 20 à 100 kW</i>	R407C GWP = 1774
Enerblue	PUPPLE HP <i>De 36 à 221 kW Cascade possible</i>	R290 GWP = 3
SDEEC	RM 55 <i>De 36 à 240 kW Cascade possible</i>	R410A GWP = 2088
ELCO	AEROTOP M	R32 GWP = 675
DAIKIN	EWYT-CZP <i>De 54 à 88 kW</i>	R32 GWP = 675

Fiche n°4 : Solution collective – Chauffage (Option ECS) – Air extérieur

PAC Air / Air (DRV)

Domaine d'application :

Usage : Chauffage, froid (et ECS possible si « Kit hydraulique disponible »)

Taille de bâtiment : 10 à 70 lgts

Opportunité en rénovation : faible

- Un bâtiment initialement de chauffage électrique avec toiture terrasse ou espace extérieur (pour le chauffage et refroidissement). Une isolation de qualité est indispensable pour garantir le confort si le chauffage est réalisé par l'air.

Opportunité en construction neuve : faible

- Résidence seniors ou logement collectif climatisé

En construction comme en rénovation des verrous techniques et réglementaires restent à lever/clarifier (répartition des charges, intégration de fluides inflammables dans les logements, impact carbone des installations, disponibilité des exploitants/frigoristes). Une fois ces verrous levés, les opportunités de ces solutions pourraient largement augmenter.

Descriptif général :

Les solutions DRV sont très présentes en tertiaire. Un module à l'extérieur capte des calories sur l'air extérieur et alimente des émetteurs par un réseau de fluide frigorigène. Une solution DRV se comporte comme une PAC Air / Air. Elle peut être réversible ou être capable de produire simultanément du chaud/froid. Ses émetteurs sont des unités murales, consoles ou un système plénum.

Pour une application en résidentiel collectif, les variantes suivantes peuvent être intéressantes :

- DRV hybride : DRV avec des boîtiers intermédiaires (ex : à chaque niveau) au départ desquels la distribution vers les émetteurs est réalisée avec de l'eau via un réseau d'eau. Cette disposition permet de limiter le volume de fluide frigorigène de l'installation,
- DRV associé à un « kit hydraulique » pour produire de l'ECS (le module extérieur alimente un module à l'intérieur du bâtiment qui réchauffe de température à 70°C),
- DRV associé à une solution ECS indépendante (type PAC Air / Eau CO2).

Condition d'intégration :

➤ *Module PAC*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

La hauteur maximale entre la PAC et le local technique est autour de 50 m.

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	6 à 15 m ²	12 à 18 m ²	22 à 50 m ²

➤ *Local technique*

L'encombrement du local technique est nul (sauf en cas de production ECS l'encombrement sera similaire au PAC Air / Eau).

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse / Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

➤ *Acoustique*

La puissance acoustique des PAC est non négligeable (ex : 70 à 85 dB(A)). Une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC :

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Et les PAC doivent être positionnées à distance des baies.
- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

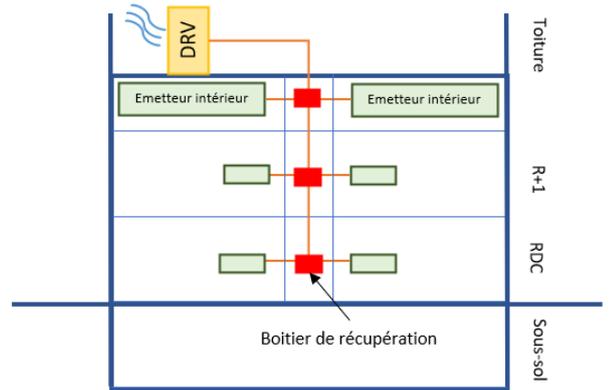
Nota : les bâtiments à ossature bois sont particulièrement sensibles aux vibrations (support béton, plot anti vibratile, traitement des liaisons).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

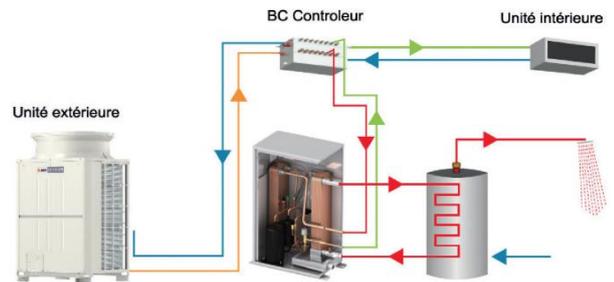
RE2020 : modélisable. Néanmoins pour le « Kit Hydraulique » ECS il est nécessaire de connaître les performances globales en production ECS, ce qui semble rarement disponible à ce jour.

RT existant : modélisable. La saisie est très simplifiée (seulement 2 COP à renseigner notamment).

DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 SCOP).



DRV chauffage seul avec un boîtier Intermédiaire par étage



DRV avec un boîtier intermédiaire par étage et « kit hydraulique » haute température pour la production ECS

Conception / mise en œuvre :

Cette mobilise fortement des compétences rares dans le secteur résidentiel (frigoriste). Les solutions dotées de fluides inflammable devront être équipées de détecteur de fuite et d'aspiration automatique des fluides en cas de fuites détectées.

Entretien

Entretien annuel intégrant : contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air individuel, nettoyage des filtres (air).

En fonction de la présence d'un appareil de détecteur de fuite et du GWP du fluide frigorigène, la F-Gas impose un contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique allant de tous les 3 mois à tous les 2 ans.

Maturité de la solution :

Ces solutions sont rarement mises en œuvre dans le résidentiel collectif mais les DRV sont présents depuis une vingtaine d'années dans le chauffage et refroidissement de bureaux, EHPAD ou hôtels.

L'installation de DRV nécessite une intervention plus forte des frigoristes.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Réseau de distribution des fluides de faible diamètre, qui facilite son intégration
- Sans production d'ECS → ne nécessite pas de local technique.

Faiblesses :

- Contraintes d'intégrations fortes : nuisance acoustique et visuelle,
- Montée en compétence importante pour les acteurs du résidentiel collectif (compétence frigoriste très mobilisée lors de l'installation et l'exploitation),
- Cout d'investissement supérieur à solution PAC Air/Eau monobloc collective,
- Solution d'individualisation des charges peu ou pas disponible à ce jour,
- En cas de distribution fluides frigorigènes dans le bâtiment :
 - Impact carbone important → problème pour l'indicateur Ic Construction RE2020,
 - En cas de fluide inflammable ou légèrement inflammable circulant dans le bâtiment (ex : R32, R290) il est exigé de prévoir des solutions de détection de fuite et d'aspiration automatique des fluides en cas de fuites détectées,

Conditions de réussite :

- Clarifier les contraintes d'intégration réglementaire en résidentiel collectif (fluide inflammable ou légèrement inflammable),
- Développement d'une offre plus clairement dédiée au résidentiel collectif,
- Développer des solutions de répartition des charges individuelles.
- Développement d'un DRV avec un fluide très bas-carbone.

Solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigo
Daikin	VRV Série 5 S 18kW max	R32 GWP = 675
HITACHI	IVX PRIME De 10 à 16 kW	R32 GWP = 675
LG	Multi V 20 à 70 kW Cascade jusqu'à 300 kW	R410A GWP = 2088
Mitsubishi	DRV hydride De 25 à 60 kW	R410A ou R32 GWP = 2088 ou 675
TOSHIBA	DRV SHRM-e	R410A GWP = 2088

Fiche n°5 : Solution collective - ECS et chauffage – Air extérieur

PAC Air / Eau

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : 10 à 300 lgts

Opportunité en rénovation : forte

- Un bâtiment doté de toiture terrasse ou d'espace extérieur, initialement équipé de chaufferie gaz collectif non isolée ayant fait l'objet d'une isolation forte pour diminuer le régime de température des émetteurs et dégager de la place en chaufferie.

Opportunité en construction neuve : forte

- Champs d'application large : bâtiment collectif de plus de 10 logements

Descriptif général :

Une PAC capte des calories sur l'air extérieur et produit de l'eau chaude ou froide. La distribution de la chaleur dans les logements est réalisée par des réseaux d'eau (distribution similaire à celle associée au chaufferie gaz).

La température de production maximum des PAC varie entre 55°C et 70°C selon les technologies. Ceci conditionne la présence d'appoint pour l'ECS et le régime de température des émetteurs. Un régime de température plus faible permet des COP significativement meilleurs.

Condition d'intégration :

➤ *Module PAC*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

La hauteur entre la PAC et le local technique peut atteindre 100 m.

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	10 à 20 m ²	15 à 25 m ²	25 à 60 m ²

➤ *Local technique*

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse

Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

Emprise du local*	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	15 à 20 m ²	20 à 30 m ²	30 à 40 m ²

* La présence d'un ballon tampon pour le chauffage augmente la taille du local d'environ 5 m² par ballon tampon de plus de 1500 L

➤ *Acoustique*

La puissance acoustique des PAC est importante (entre 65 et 85 dB(A)). Une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC :

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Et les PAC doivent être positionnées à distance des baies,
- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

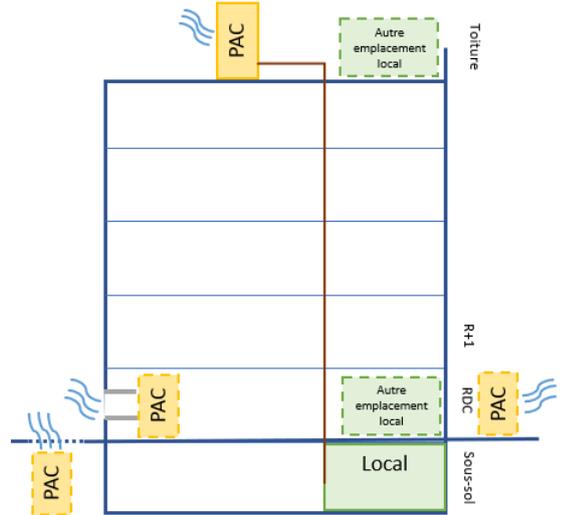
RE2020 : Solution modélisable

→ L'association d'un émetteur basse température ne permet étonnamment pas de diminuer les consommations significativement RT existant et DPE : Il faut saisir 2 PAC indépendantes (chauffage et ECS) ce qui n'est pas représentatif de nombreuses solutions disponibles.

Conception / mise en œuvre :

Nombreuses solutions monoblocs sont disponibles, ce qui limite l'intervention des frigoristes à la mise en service.

Points de vigilances : les solutions de traitement acoustiques et visuel ne doivent pas compromettre le renouvellement de l'air autour de la PAC (risque de recirculation d'air qui baisse la performance). Le manque de qualité de distribution ECS et chauffage a un impact important la performance réelle des PAC (équilibrage et niveau d'isolation de mauvaise qualité = hausse des températures de production = baisse des COP ou disfonctionnement). Les premières années, il est nécessaire de systématiser les études acoustiques en phase conception.



PAC gainée : le ventilateur doit avoir la capacité de combattre les pertes de charges engendrées par la gaine et de l'éventuel traitement acoustique.

PAC en toiture terrasse : à minima 1.5 à 3m d'espace libre devant les ventilateurs, 50cm à l'arrière et sur les côtés. La surface est libre au-dessus.



Représentation local technique

Entretien / maintenance

Entretien annuel intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Points de vigilances : le débouage de la boucle entre les PAC monobloc en toiture et le local technique est souvent négligé et engendre des dysfonctionnements les premières années. Pour un suivi des installations de qualité : intégrer des solutions de suivi des performances et créer un lien entre l'exploitant et l'installateur (éviter la période de flottage les premières années).

Maturité de la solution :

Disponible sur le marché depuis moins de 5 ans. Le leader du marché a déjà équipé plus de 1000 logements. Pour les autres fabricants, les solutions ont été mises en œuvre que ponctuellement. De nombreux fabricants sont en cours de définition ou de consolidation de leur offre dédiée au résidentiel collectif. Aucune méthode de dimensionnement n'est actuellement disponible (la méthode COSTIC n'encadre que partiellement le dimensionnement de l'ECS).

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Distribution de chaleur similaire aux chaudières gaz collectives,
- Technologie disponible avec des fluides très peu émissifs,
- Capacité de faire du froid si émetteur basse température,
- Intervention limitée des frigoristes en cas de PAC monobloc (mise en service, panne sur les PAC),
- Solution disponible dès 2022.

Faiblesses :

- Contraintes d'intégrations fortes : nuisance acoustique et visuelle,
- Nombreuses spécificités des solutions disponibles (schéma hydraulique et régulation très variable),
- Pas de méthode dimensionnement défini à l'échelle de la filière.
- Peu de solution de forte puissance disponible.

Conditions de réussite :

- Réseaux de distributions ECS et chauffage de bonne qualité (isolation et équilibrage),
- Accompagnement de l'industriel de la conception à la première année d'exploitation, Impliqué l'exploitant dès la mise en service,
- Suivre la performance des installations, et partager les retours d'expériences.

Solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

PAC de petite puissance en cascade en capacité de subvenir aux besoins de : 35-50lgts RE2020, 30-45lgts BBC Réno, 10-20 lgts non isolés.

Industriel / nom produit	Produit	Fluide frigo
Daikin Altherma3H HT :	Pmax à 7°C/35°C : 12 kW Pmax à -7°C/65°C : 11 kW T max prod. À -7°C : 65°C T limite ext. à Tmax : -25°C T limite ext : -28°C	R32 GWP= 675
Panasonic T-CAP Monobloc	Pmax à 7°C/35°C : 16 kW Pmax à -7°C/55°C : 16 kW T max prod. À -7°C : 55°C T limite ext. à Tmax : / T limite ext : -20°C	R32 GWP= 675
Stiebel Eltron WPL 57	Pmax à 7°C/35°C : 30 kW Pmax à -7°C/65°C : ? kW T max prod. À -7°C : 60°C T limite ext. à Tmax : / T limite ext : -20°C	R407C ou 410A GWP = 1774-2088
Vaillant AroTHERM plus	Pmax à 7°C/35°C : 16 kW Pmax à -7°C/65°C : 9,6 kW T max prod. À -7°C : 67°C T limite ext. à Tmax : -10°C T limite ext : /	R290 GWP = 3
Yack Bionic	Pmax à 7°C/35°C : 30 kW Pmax à -7°C/65°C : 30 kW T max prod. À -7°C : 65°C T limite ext. à Tmax : -25°C	R744 GWP = 1

PAC de forte puissance en cascade en capacité de subvenir aux besoins de : 80 à 400lgts RE2020, 65 à 350lgts BBC Réno, 30 à 130 lgts non isolés.

Industriel Nom produit	Produit	Fluide frigo
Atlantic Effipac	Pmax à 7°C/35°C : 67 kW Pmax à -7°C/55°C : 46 kW T max prod. À -7°C : 55°C	R32 GWP= 675
Auer Zepac	Pmax à 7°C/35°C : 80 kW Pmax à -7°C/70°C : 50kW T max prod. À -7°C : 70°C	R290 GWP = 3
Carrier Aquasnap61AF	Pmax à 7°C/35°C : 105 kW Pmax à -7°C/65°C : ? kW T max prod. À -7°C : 65°C	R407c GWP = 1774
Eurevia Acquarevia	Pmax à 7°C/35°C : 345 kW Pmax à -7°C/55°C : / kW T max prod. À -5°C : 55°C	R410A GWP = 2088
Mitsubishi Ecodan Power +	Pmax à 7°C/35°C : 45 kW Pmax à -7°C/70°C : ? kW T max prod. À -7°C : 70°C	R407C GWP = 1774
SDEEC PAC 65	Pmax à 7°C/35°C : 192 kW Pmax à -7°C/65°C : 143 kW T max production : 65°C	R407C GWP = 1774
ELCO AEROTOP	Pmax à 7°C/35°C : 85 kW Pmax à -7°C/45°C : 45 kW T max prod. À -7°C : 50°C	R32 GWP = 675
DAIKIN EWYT-CZP	Pmax à 7°C/35°C : 73 kW Pmax à -7°C/55°C : 46 kW T max prod. À -7°C : 55°C	R32 GWP = 675

Fiche n°6 : Solution collective – ECS et chauffage – Air extérieur, sol ou eau

PAC à absorption gaz

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : 10 à 300 lgts

Opportunité en rénovation et construction neuve : **très faible**

- Opportunité faible en raison de l'impact carbone engendré par les consommations de gaz.

Domaine d'application :

25 à 200 logements collectifs

Usage : Chauffage, (froid) et/ou ECS

Descriptif général :

Une PAC à absorption gaz a le même principe de fonctionnement qu'une PAC classique (calorie captée sur l'air extérieur, le sol ou l'eau). La différence entre les deux technologies réside dans le fonctionnement du compresseur : une PAC classique utilise un compresseur électrique alors qu'une PAC à absorption gaz utilise un compresseur thermochimique qui consomme du gaz. L'ammoniac (R717) joue le rôle du fluide frigorigène dont l'impact en termes d'émission de CO2 est négligeable. Ces PAC peuvent produire de l'eau chaude jusqu'à 70°C.

Etant donnée la présence du gaz, elles toujours couplées à un appoint par chaudière gaz, de manière à diminuer la puissance des PAC et optimiser l'encombrement et le prix.

Les COP des PAC absorption gaz sont largement inférieurs aux COP des PAC électrique. Ils oscillent entre 1,2 et 1,5 selon la température produite.

Condition d'intégration :

- *Module PAC*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

PAC eau/eau (géothermie) : en local technique, avec des règles de sécurité contraignantes dues au fluide frigorigène (ammoniac).

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	10 à 20 m ²	15 à 25 m ²	25 à 60 m ²

- *Local technique*

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse

Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

Emprise du local	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	15 à 20 m ²	20 à 30 m ²	30 à 40 m ²

- *Acoustique*

Puissance acoustique des PAC à absorption gaz est aussi importante que les PAC à compresseur électrique (entre 70 et 85 dB(A)) une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC.

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est très souvent nécessaire.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

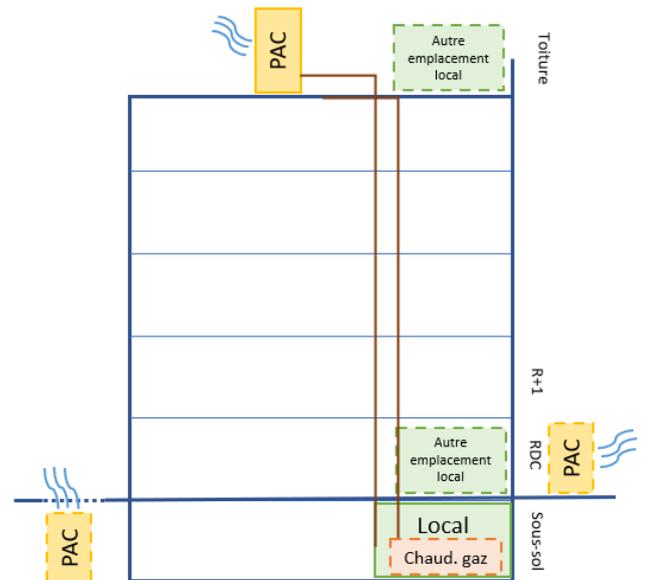
RE2020 : Solution modélisable.

RT existant et DPE : non modélisable.

Entretien

Entretien annuel intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorigère, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...). En complément de ces éléments communs aux PAC électriques l'entretien des PAC gaz doit intégrer : réglage du brûleur tous les deux ans, nettoyage du filtre à gaz, nettoyage et inspection du système d'évacuation des produits de combustion, mesure du CO ambiant, contrôle des dispositifs de sécurité.

Points de vigilances : le désembouage de la boucle entre les PAC monobloc en toiture et le local technique est souvent négligé et engendre des dysfonctionnements les premières années.



Maturité de la solution :

Cette solution existe sur le marché depuis 2009, mais se limite à un marché de niche.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Nuisance acoustique et visuelle,
- Appoint par chaudière gaz ce qui peut rassurer certains acteurs,
- Impact carbone négligeable du fluide ammoniac,
- Solution développée spécifiquement pour du logement collectif,
- Solution adaptée en rénovation si forts besoins de chauffage,
- Système Monobloc.

Faiblesses :

- Consommation de gaz importante (difficilement compatible avec l'énergie 2025),

Conditions de réussite :

- /

Solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
De Dietrich	PGA 38 35kW Cascade jusqu'à 177 kW	R171 (ammoniac) GWP < 1
France Air / Robur	Xinoé GAHP 35kW Cascade jusqu'à 175 kW	R171 (ammoniac) GWP < 1

Fiche n°7 : Solution collective – ECS et chauffage – géothermie

PAC eau/eau et eau glycolée/eau

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : 10 à 500 lgts

Opportunité en rénovation : faible

- Un bâtiment doté de grand espace extérieur ou de parking en sous-sol positionné au-dessus d'une nappe.

Opportunité en construction neuve : forte

- Bâtiment collectif de plus de 20-30 logements, pour optimiser le surcout (mais compatible techniquement pour des bâtiments de toutes les tailles)..

Descriptif général :

La PAC capte des calories :

- En faisant circuler de l'eau glycolée dans des sondes verticales dans le sol.
- En prélevant de l'eau dans une nappe phréatique.
- En prélevant des calories sur une boucle d'eau tempérée circulant dans un quartier.

Cette solution présente les mêmes caractéristiques de fonctionnement que pour les PAC Air / Eau (type émetteur, usage...), toutefois elle présente des COP plus élevé en hiver (pas de ventilateur, échangeur de meilleure qualité et température de l'eau supérieure à celle de l'air l'hiver).

L'été, il est possible de court-circuiter la PAC pour créer un échange direct entre les sondes et les émetteurs basse température de manière à rafraichir le bâtiment sans faire intervenir les PAC. On parle alors de géocooling.

Condition d'intégration :

- *Module PAC et local technique*

Les PAC sont disposées en local technique. Pour la même puissance, elles sont plus petites que les PAC Air / Eau (pas de ventilateur).

Emprise du local et des PAC	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	15 à 20 m²	20 à 30 m²	30 à 40 m²

- *Acoustique*

Les nuisances acoustiques sont très faibles et l'isolation acoustique du local technique est simple : une porte pleine avec des joints sur les côtés, plancher haut en béton de 23 cm ou absorbant acoustique sur les parois.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Solution modélisable. Le géocooling est l'une des solutions les plus efficace pour diminuer l'indicateur DH et de passer facilement sous la barre des 350DH.

RT existant et DPE : modélisable en partie. Il faut saisir 2 PAC indépendantes (chauffage et ECS).

Conception / mise en œuvre :

Les études de conception sont plus longues que pour les autres solutions et doivent être réalisées en amont par des acteurs spécialisés :

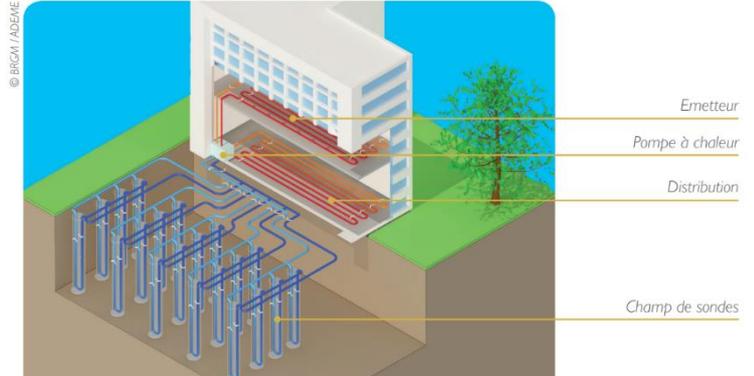
- Société de Forage : réalisation d'un forage test en phase programme
- Bureau d'étude sous-sol : conception du dispositif de captage et faisabilité réglementaire

Nota : en cas de fondation sur pieux, il peut être envisagé de positionner les sondes dans les pieux. Dans ce cas, il est préférable de sélectionner un BE structure ayant déjà travaillé dans ce contexte. A noter qu'il n'est pas toujours simple de trouver une adéquation entre les pieux de fondation et les besoins des sondes en termes de longueur et de position, et rare sont les solutions de sondes adaptées à ce mode de pose (besoin d'un ATEC).

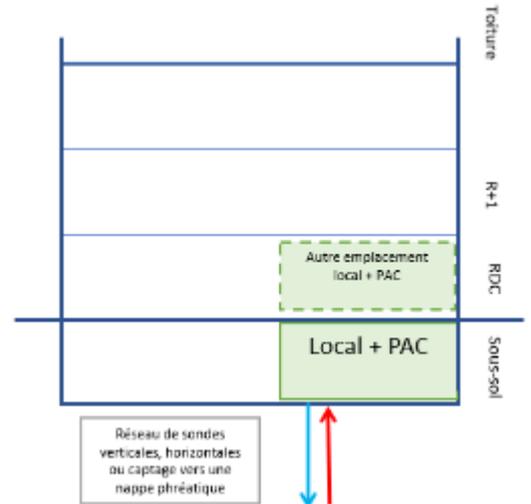
Entretien

Entretien annuel intégrant : vérification des fuites au niveau de sondes géothermiques, contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Schéma d'un bâtiment avec un champ de sondes



Représentation PAC sur champ de sonde avec émetteur PCBT



Forage pour sonde verticale

Maturité de la solution :

Cette solution est mature, elle existe sur le marché depuis plusieurs années, mais le nombre d'installation reste faible. Les ventes sont en baisse depuis une dizaine d'année, notamment à cause de l'essor de la PAC Air / Eau.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Pas de nuisance acoustique et visuelle,
- Performances élevées,
- Aides financières (fond chaleur ADEME),
- Particulièrement aux climats rigoureux (ex : climat froid et altitude),
- Durabilité des PAC (condition de fonctionnement stable),
- Géocooling possible (rafraîchissement gratuit → baisse de l'indicateur DH RE2020),
- Nombre important de PAC disponibles et forte puissance disponible,
- Quelques solutions disponibles avec des fluides frigorigènes à faible GWP, Rafraîchissement sans accentuation du phénomène d'ilot de chaleur (la chaleur est transmise au sol, au lieu d'être transmise à l'air extérieur),
- Impact très fort du géocooling sur l'indicateur DH de la RE2020.

Faiblesses :

- Coût d'investissement élevé,
- Terrain de plus en plus contraint (densification),
- Mise en œuvre impossible sur certains terrains (<5% des cas),
- Phase d'étude nécessitant des acteurs spécialisés,
- Lourdeur administrative des dossiers d'aides financières (fond chaleur),
- Mobilisation d'acteurs spécialisés dès la phase programme.

Conditions de réussite :

- Privilégier les opérations de taille importante pour atténuer l'impact des couts fixes (>60lgs),
- Privilégier les émetteurs basse température pour permettre du rafraîchissement « gratuit » dit géocooling.

Solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
EED	PAC GO60 <i>De 7 à 97 kW</i> <i>Cascade possible</i>	R290 GWP = 3
SDEEC	PACAO HT <i>De 7,5 à 115 kW</i> <i>Cascade possible</i>	R407C et R410A GWP = 2088, 1774
Stiebel Eltron	WPF <i>De 7,5 à 67 kW</i> <i>Cascade jusqu'à 315 kW</i>	R454C GWP = 148
Waterkotte	DS <i>De 31 à 924 kW</i> <i>Cascade possible</i>	R410A, R407C et R134A GWP = 2088, 1774 et 1430

Fiche n°8 : Solution collective – ECS et/ou chauffage hybride – air extérieur

PAC Air / Eau hybridée avec gaz

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS

Taille de bâtiment : 10 à 500 lgts

Opportunité en rénovation : forte

- Un bâtiment doté de toiture terrasse ou d'espace extérieur, initialement équipé de chaufferie gaz collectif.

Opportunité en construction neuve : forte

- Opportunité plus forte pour les bâtiments collectifs de plus de 50 logements, pour atténuer l'incidence de couts fixes (raccordement gaz, conduit de fumée).
- Opportunité pour les zones climatiques rigoureuses

Descriptif général :

Une PAC capte des calories sur l'air extérieur et produit de l'eau chaude. La PAC fonctionne en base, et en cas de faibles températures et/ou de besoins élevés ponctuellement, une chaudière gaz fonctionne en appoint. Cette solution peut faire intervenir la PAC sur le chauffage et/ou l'ECS :

- ECS : la PAC fonctionne en base pour fournir l'ECS avec le gaz intervient en appoint. Le chauffage est en totalité réalisé par une chaudière gaz.
- Chauffage + ECS : la PAC fonctionne en base pour fournir le chauffage et l'ECS, le gaz intervient en appoint sur les deux usages. La distribution de la chaleur dans les logements est réalisée par des réseaux d'eau.

La part des besoins produit par la PAC est très variable (10 à 90%) et s'adapte aux caractéristiques du projet, aux souhaits des équipes de conception et au niveau performance à atteindre.

Condition d'intégration :

➤ *Module PAC*

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	7 à 15 m ²	10 à 17 m ²	17 à 40 m ²

➤ *Local technique*

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse / Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

Emprise du local	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	15 à 20 m ²	20 à 30 m ²	30 à 40 m ²

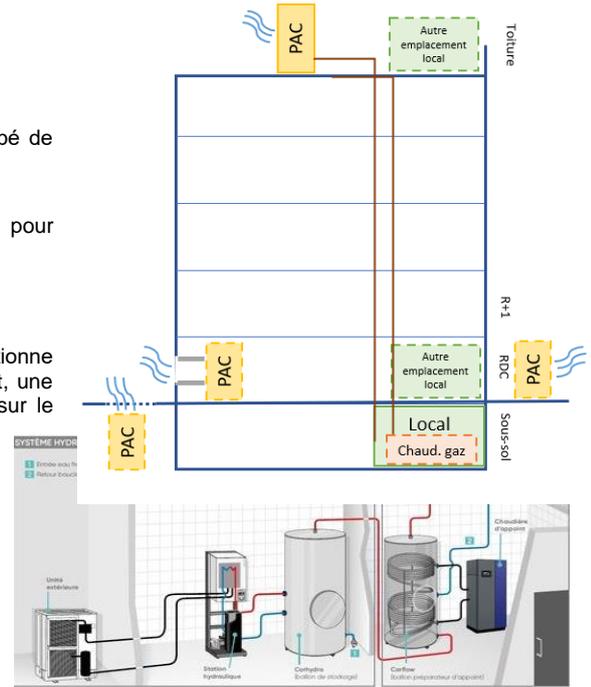


Schéma de principe : hybridation sur l'ECS (Hydramax de la Sté Atlantic)



PAC Monobloc (Effipac de la Sté Atlantic)

➤ *Acoustique*

La puissance acoustique des PAC est importante (entre 65 et 85 dB(A)). Une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation :

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Et les PAC doivent être positionnées à distance des baies.
- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Solution modélisable, en dehors des solutions dotées de ballon tampon chauffage (théoriquement titre V opération nécessaire). Des tests approfondis restent à réaliser pour valider la fiabilité du moteur RE2020 pour ces solutions.

RT existant : non modélisable. Il faut saisir soit 100% PAC soit 100% chaudière gaz.

DPE : modélisable en partie. Il faut saisir 2 PAC indépendantes (chauffage et ECS). Pour le chauffage, la répartition PAC-gaz est forfaitaire (80-20). Pour l'ECS, il faut saisir soit 100% PAC soit 100% chaudière gaz.

Conception / mise en œuvre :

Points de vigilances : dans le cas d'hybridation sur le chauffage, cette solution étant émergente, il est conseillé d'être accompagné par un industriel qui a un regard global sur l'installation (PAC et chaudière gaz).

Les solutions de traitement acoustiques et visuel ne doivent pas compromettre le renouvellement de l'air autour de la PAC (risque de recirculation d'air qui baisse la performance). Le manque de qualité des réseaux de distribution ECS et chauffage a un impact important la performance réelle des PAC (équilibre, niveau d'isolation et régulation de mauvaise qualité = hausse des températures de production = baisse de l'intervention des PAC). Les premières années, il est nécessaire de systématiser les études acoustiques en phase conception.

Entretien

Entretien annuel intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Points de vigilances : risque d'entretien et suivi négligé de la partie PAC, dans les cas où la partie gaz a la capacité de fournir l'ensemble des besoins (taux d'hybridation faible ou surdimensionnement des chaudières gaz). Il faut définir des règles de dimensionnement limitant l'intervention du gaz et équiper les premières installations de solutions de suivi.

Quel que soit le niveau d'hybridation en chauffage, il est conseillé de réaliser un audit indépendant à n+1 durant l'hiver pour s'assurer que l'intervention des PAC est optimale.

Le désembouage de la boucle entre les PAC monobloc en toiture et le local technique est souvent négligé et engendre des dysfonctionnements les premières années. Pour un suivi des installations de qualité : intégrer des solutions de suivi des performances et créer un lien entre l'exploitant et l'installateur (éviter la période de flottement les premières années).

Maturité de la solution :

ECS seule : cette solution existe plusieurs années et de nombreux logements sont équipés.

ECS + chauffage : cette solution est proposée très récemment au catalogue d'un seul industriel. Il est probable que de nombreux acteurs des chaudières gaz collectives s'orientent vers ces solutions.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Appoint gaz ce qui peut rassurer certains acteurs,
- Solution développée spécifiquement pour du logement collectif,
- Système Monobloc à fluide peu émissif disponible,
- Limite le nombre de PAC (impact acoustique et visuel plus faible),
- ECS par PAC : solution mature et disponible dès 2022,
- Solution pouvant répondre à de fort besoin de puissance et de température (ex : réseau de distribution de grande longueur)
- Si ECS et chauffage par PAC : seuils RE2020 2025 atteignables sans renforcement de l'isolation.
- Potentiel d'augmentation du nombre d'offre fort chez les industriels présents sur le marché de la chaufferie et de la PAC en maison individuelle.

Faiblesses :

- Besoin d'un industriel qui fournit les deux la PAC et les chaudières avec régulation et schéma hydraulique adaptés,
- Risque de négligence de la partie PAC (intervention réelle des PAC limitée),
- ECS seule : seuils RE2020 2025 atteignables avec un fort renforcement de l'isolation,
- Schéma hydraulique potentiellement plus complexe
- Nécessite un exploitant ayant la double compétence PAC et gaz

Condition de réussite :

- Accompagnement par un industriel qui a un regard global sur l'installation (PAC et chaudière gaz) et régulation dédiée,
- Solution de suivi des performances avec indentification du taux de couvertures des PAC.

Exemple de solution disponible sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigo
Atlantic	Hydramax 2 : ECS 11, 14 et 16 kW Cascade jusqu'à 48 kW	R410A GWP = 2088
Atlantic	Effipac : ECS et/ou ch De 14 à 70 kW Cascade jusqu'à 420 kW	R32 GWP= 675

Nota : ne sont listées ici uniquement les offres d'hybridation incluant à la fois la PAC, la chaudière et la régulation associée. Il est possible de concevoir des solutions hybrides constituer de PAC et Chaudière de différents industriels, mais ceci représente à ce jour un véritable défi, notamment du fait du manque de solution de régulation dédiée.

Fiche n°9 : Mixte individuelle/collective – ECS – air extérieur

PAC collective chauffage et CET individuel sur retour chauffage

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : 10 à 500 lgts

Opportunité en rénovation : faible

- Un bâtiment collectif doté d'une production collective pour le chauffage (préférentiellement émetteurs basse ou moyenne température) et une production ECS individuel électrique.

Nota : ce type de solution ne permet aucune baisse des émissions si elle est couplée à une production de chauffage collective gaz ou fuel.

Opportunité en construction neuve : moyenne

- Bâtiment collectif équipé de chauffage collectif par PAC Basse température collective.
- Bâtiment raccordé à un réseau de chaleur basse température (35°C)

Descriptif général :

Un CET individuel dans chaque logement prélève ses calories sur de l'eau de chauffage sortant du plancher chauffant (ou autre émetteurs basse température).

Hors période de chauffe le CET prélève toujours ses calories sur le plancher chauffant qui refroidit alors le logement gratuitement. A mi-saison, l'installation maintient en température le réseau de distribution sans alimenter les émetteurs de chauffage.

Ces CET sont à associer à une production de chauffage par PAC collective basse température. Les intérêts sont les suivants :

- Possibilité de mobiliser des PAC collective basse température réversible largement disponibles sur le marché,
- Installation PAC chauffage collective simplifiée et COP optimisé (un seul régime de production à température basse),
- Diminuer les pertes de bouclage ECS (et bouclage chauffage étant donné les niveaux de températures),
- Simplifier l'intégration des CET individuels (pas de connexion à l'air extérieur).

Nota : Le couplage de ces CET avec une production collective de chauffage gaz n'a aucun intérêt → les CET puiseront les calories sur une source dont la production aura nécessité la combustion de gaz, dans ces conditions la production d'ECS restera fortement carbonées.

Condition d'intégration :

- *Module PAC collective extérieure*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
		5 à 8 m ²	10 à 14 m ²

- *Module CET individuels*

Les CET individuels occupent une surface entre 0,6 et 0,8 m² dans les salles de bains

- *Local technique*

Position du local : R-1, RDC ou en terrasse

Hauteur libre sous-plafond : 2,8 m et porte d'accès 1,5 m de largeur

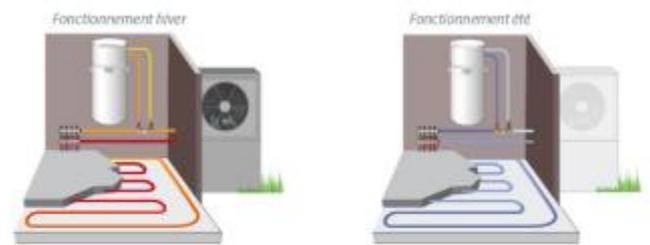
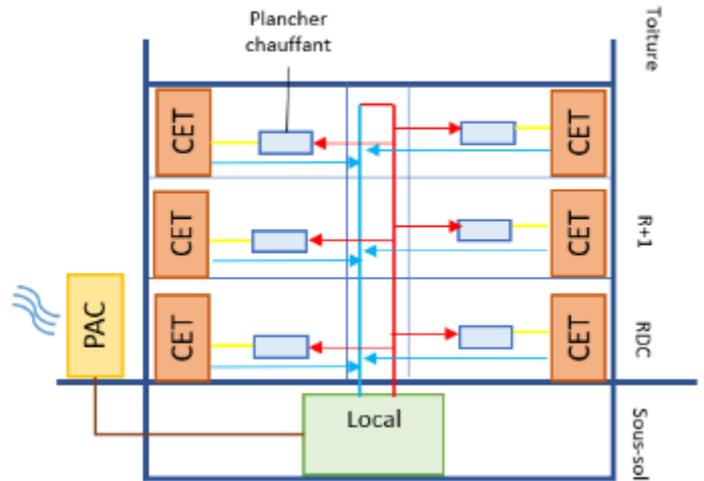
Emprise du local (Chauffage seul)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
		15 à 20 m ²	20 à 30 m ²

- *Acoustique*

Les CET individuels ont une puissance acoustique entre 40 et 50 dB(A), les industriels préconisent une installation dans un placard acoustique pour éviter toute nuisance sonore. Ne pas positionner les CET contre une cloison mitoyenne d'une chambre.

La puissance acoustique des PAC extérieure est importante (entre 70 et 85 dB(A)) une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC.

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est souvent nécessaire. Et les PAC doivent être positionnées à distance des baies,



En hiver, le chauffe-eau thermodynamique Edel EAU prélève les calories gratuites de l'air extérieur, par l'intermédiaire du générateur qui alimente le plancher chauffant pour produire l'eau sanitaire à 60°C.

En été, la chaleur gratuite puisée dans le plancher chauffant est restituée à l'eau sanitaire tout en rafraîchissant votre maison.

Extrait documentation AUER

- Si la PAC est en local technique : l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut le positionner à distance des baies (et si besoin intégrer des filtres acoustiques sur les grilles compatibles avec les capacités de la PAC).

Conception / mise en œuvre :

Points de vigilances : cette solution étant émergente, il est conseillé d'être accompagné par un industriel qui a un regard global sur l'installation (PAC et CET). Positionner le CET à proximité du départ chauffage de chaque logement. Le manque de qualité des réseaux de distribution chauffage aura un impact important sur le bon fonctionnement des installations.

Les solutions de traitement acoustiques et visuel ne doivent pas compromettre le renouvellement de l'air autour de la PAC collective (risque de recirculation d'air qui baisse la performance).

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020, RT existant et DPE : non modélisable, besoin de Titre V opération.

Entretien

CET individuel : 1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

PAC collective : 1 visite annuelle intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Maturité de la solution :

Le CET sur le retour du circuit de chauffage est une solution proposée récemment par un seul industriel (Auer). Cette solution n'est donc pas mature et devra faire l'objet d'opérations pilotes dont le suivi devra attentif (solution de suivi, mesure de performance). Nous n'avons à ce jour pas connaissance de solution de répartitions individuelles des charges ECS compatibles avec une répartition des frais de chauffage au tantième.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Permet de mobiliser des PAC collective Basse température largement disponible sur le marché → simplicité et bonne performance de la production de chauffage collective (température basse, faible perte de bouclage chauffage, absence de bouclage collectif ECS),
- Permet la suppression du réseau de distribution de ECS (encombrement plus faible, diminution des pertes),
- Rafraichissement gratuit en été lors de la production d'ECS (si émetteurs basse température),

Faiblesses :

- Plus coûteuse qu'une solution collective puisque le cout du CET individuel est supérieur au cout du bouclage ECS,
- Conservation des contraintes liées au module PAC extérieur : nuisance acoustique et visuelle,
- Ce type de solution ne permet aucune baisse des émissions si elle est couplée à une production de chauffage fossile.
- Solution non mature (peu ou pas d'installation à ce jour),
- Impact carbone élevé engendrés par la mobilisation de CET individuel en plus des PAC collective.
- Un seul industriel présent sur ce marché à ce jour.

Conditions de réussite :

- Suivi attentif des premières installations (mesure de performance et audit les premières années),
- Accompagnement industriel pour l'ensemble de l'installation (PAC collective et CET).

Solutions disponibles sur le marché :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Auer	CET sur retour chauffage Edel eau 1,4 et 1,7 kW	R290 GWP = 3

Fiche n°10 : Mixte individuelle/collective – ECS et chauffage – air extérieur

PAC individuelle sur boucle d'eau

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : pas de limite de nombre de logement mais conseillé entre 15 et 50lgts

Opportunité en rénovation : moyenne

- Un bâtiment collectif équipé d'une production gaz individuelle et d'une toiture terrasse pour l'implantation de la PAC BT collective (plutôt lors d'une rénovation lourde pour permettre l'intégration du module intérieur).

Opportunité en construction neuve : moyenne

- Opportunité forte si disponibilité d'une source tempérée gratuite disponible à proximité : géothermie, eau de nappes, réseau urbain tempéré.
- Bâtiment à usage mixte (tertiaire + logement) pour permettre la valorisation des rejets de chaleur de l'un pour l'autre).

Descriptif général :

Une PAC individuelle est présente dans chaque logement. Elle produit de l'eau chaude pour l'ECS et/ou le chauffage, et de l'eau froide si les émetteurs sont compatibles (émetteurs basse température : PCBT, ventilo convecteur, plafond rayonnant).

La source froide de la PAC est une boucle d'eau tempérée collective (entre 10 et 30°C).

Récupération de chaleur en été : si l'installation produit de l'ECS et du froid sur la même période, les PAC produisant du froid réinjectent la chaleur dans la boucle tempérée tandis que celles produisant de l'ECS puisent de la chaleur sur la boucle. Dans ces conditions, l'intervention du générateur qui maintient la boucle en température diminue.

Les pertes de chaleur de boucle tempérée collectif sont très faibles.

La boucle d'eau tempérée peut alimenter d'autres usages, tels que les commerces au RDC. Elle permettra de la récupération d'énergie si ces autres usages rejettent de la chaleur lorsque que les logements en consomment.

Condition d'intégration :

- *Module PAC intérieur*

Les PAC individuelles dans un placard occupent une surface entre 0,6 et 0,8 m².

Un local technique peut être nécessaire pour la production de chauffage à partir de la PAC. Compter 8 à 12 m² si la PAC possède un ballon tampon pour le chauffage.

- *Module PAC extérieur*

Position du module : en terrasse (livraison par grue), au sol, en cours anglaise, dans un local technique (la PAC est gainée).

La distance maximale entre le module extérieur et intérieur peut être élevé sans engendrer trop de perte de chaleur étant donné le faible régime de température de la boucle.

Emprise des PAC (surface libre autour des PAC comprise)	25 lgts	50 lgts	150 lgts
	5 à 8 m²	10 à 14 m²	22 à 30 m²

- *Acoustique*

La puissance acoustique des PAC extérieure est importante (entre 70 et 85 dB(A)) une étude acoustique est nécessaire pour valider l'implantation des PAC.

- Si la PAC est en extérieur : position en terrasse inaccessible le plus souvent. En cas d'environnement calme ou d'espace privatif à proximité la pose de panneaux acoustiques est très souvent nécessaire.
- Si la PAC est en local technique → l'impact acoustique à proximité des grilles de refoulement reste important, il faut positionner à distance des baies (et intégrer des filtres acoustiques sur les grilles si la PAC le permet).

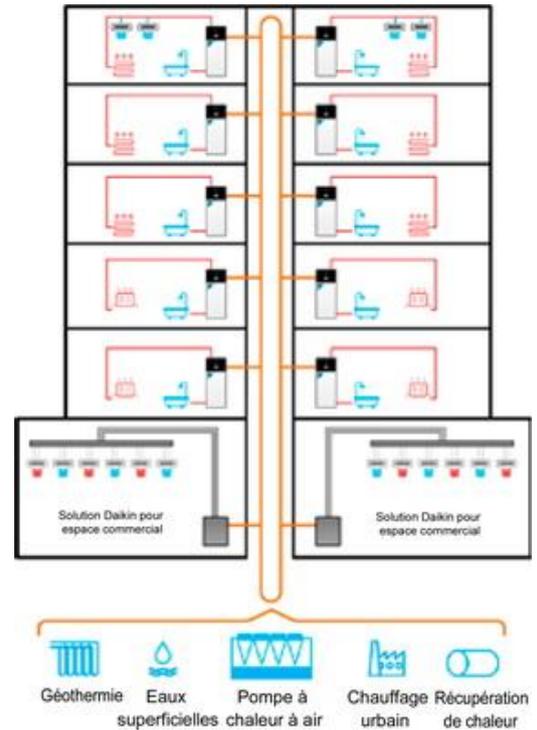
Les PAC intérieures ont une puissance acoustique entre 40 et 50 dB(A), les industriels préconisent une installation dans un placard acoustique pour éviter toute nuisance sonore.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020, RT existant et DPE : non modélisable besoin d'un Titre V opération en RE2020* et RT existant

* sauf si la source de la boucle tempérée est géothermique ou eaux de nappe.

Entretien



Représentation de la solution (DAIKIN)



PAC individuelle Daikin (Dimensions : 1850*60*62)

PAC individuelle : 1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

PAC collective : 1 visite annuelle intégrant : contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique, contrôle des connexions électriques, nettoyage des échangeurs à air, nettoyage des filtres (air, eau), manœuvre et contrôle des organes de sécurité (soupape...).

Maturité de la solution :

Les PAC sur boucle d'eau sont connues depuis plusieurs dizaines d'années dans le secteur tertiaire. Les applications en résidentiel collectif sont récentes : France énergie, NIBE ou Daikin proposent une solution en France depuis 2021 seulement. Les applications dans certains pays de l'EU (Angleterre, pays du nord) sont en hausses ces dernières années.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Solution adaptée mixte résidentiel-tertiaire avec des besoins en chaud et en froid (récupération de chaleur possible),
- Très haute performance globale lorsque la BET n'est pas alimentée par une PAC mais par une source tempérée (ex : géothermie, chaleur fatale de process...),
- En été, refroidir les logements permet de produire de l'ECS avec de bon taux d'efficacité énergétique ,
- Possibilité d'alimenter les maisons et les collectifs d'un même projet (ex : maisons accolées avec peu d'espace extérieur) sans engendrer de perte de distribution importante (projet multi-bâtiment),
- Technologie disponible avec des fluides peu émissif (R32 pour Daikin),
- Technologie adaptée aux villes denses si présence de réseau d'eau tempérée à l'échelle urbaine.

Faiblesses :

- Les boucles d'eau tempérée à l'échelle urbaine sont rares, et les sources géothermiques sont coûteuses et complexes à mobiliser,
- Cout par logement important (PAC individuelle + Boucle tempéré + générateur ou source pour alimenter la boucle),
- Impact carbone élevé des solutions individuelles et fluides associés (impact fort sur l'indicateur Ic Construction),
- Conservation des contraintes liées au module PAC extérieur si présent pour alimenter la boucle tempérée : attention aux nuisances acoustiques et visuelles,
- L'individualisation des charges et de la gestion des équipements n'est pas complète (Boucle tempérée collective),
- Solution émergente non maitrisée par les acteurs.

Conditions de réussite :

- Diminuer les puissances et les couts des PAC individuelles,
- Production de fiches PEP pour justifier l'impact carbone (mais ceci ne permettra pas de diminuer fortement l'impact de la solution sur le Ic Construction),
- Suivi attentif des premières installations (mesure de performance et audit les premières années),
- Association boucle tempérée issue de la géothermie ou d'autres sources « gratuites », notamment si zones climatiques exigeantes.

Exemple de solution disponible sur le marché :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Daikin	Altherma 3 WS: ch, fr et ECS <i>8 et 10 kW</i>	R32 GWP= 675
NIBE	S1255 <i>De 6 à 16 kW</i>	R407 (puis prochainement R454B) GWP = 1600 (puis 466)

Fiche n°11 : Solution individuelle – ECS – air extérieur ou air extrait

CET air extérieur/eau et air extrait/eau

Domaine d'application :

Usage : ECS

Taille de bâtiment : 5 à 40 logements

Opportunité en rénovation : moyenne à faible

- CET sur air extérieur : copropriété initialement équipée de solution individuelle avec cuisine en premier jour ou logement au dernier niveau.
- CET sur air extrait : petit bâtiment (> 1975 car ventilation mécanique) de bailleur intégrant une rénovation de la ventilation (incompatible avec conduit shunt ou ventilation basse pression).

Opportunité en construction neuve : moyenne

- Petit bâtiment < 10lgs associé à une chaudière Gaz individuel
- Bâtiment 5 à 40lgs associé à chauffage électrique ou du chauffage composite (mono-split dans le salon et chauffage électrique dans les chambres).

Descriptif général :

Un chauffe-eau thermodynamique (CET) est présent dans chaque logement et produit de l'ECS, il prélève ses calories :

- Sur l'air extérieur : l'échange peut se faire via un conduit d'air collectif concentrique vertical (solution AEC de AUER, voir illustration en page suivante) ou directement en façade ou en toiture par des double conduit individuel (ou conduit individuel concentrique type « ventouse » pour certaines solutions) ;
- Sur l'air extrait des pièces humides et de la cuisine : Le réseau de ventilation simple flux aspire l'air chaud et vicié dans les pièces humides et l'achemine cet air dans le CET avant de l'expulser dehors par les gaines verticales.

Condition d'intégration :

➤ *CET*

Il est conseillé de mettre le CET dans un placard : il faut compter environ 0,6 m² pour un CET de 100-150 L et 0,8 m² pour un CET de 200-250 L. La hauteur est d'environ 1,8 m (2,30m avec hors raccordement et support).

- Les CET air extérieur : positionné à proximité des façades ou du plancher haut pour limiter le cheminement vertical ou horizontal des 2 gaines 145mm (aspiration et refoulement d'air).
- Les CET air extérieur avec conduit collectif verticale. Positionner en salle de bain les uns au-dessus des autres
- Les CET et sur air extrait : regrouper toutes les pièces humides à proximité du CET pour limiter les « soffites » qui acheminent l'air vicié des pièces humides jusqu'au CET.

➤ *Conduit d'air d'amené et de rejet d'air collectif*

Pour un bâtiment R+1 ou R+2, un conduit concentrique a un diamètre extérieur allant de 20 à 30 cm et pour un double conduit collectif, il faut compter 2 tubes de 15 à 20 cm.

➤ *Acoustique*

La puissance acoustique des CET varie entre 40 dB(A) pour les modèles les plus silencieux à 55 dB(A). Les industriels préconisent de mettre les CET dans des placards acoustiques pour éviter toute gêne, de ne pas le positionner sur des cloisons mitoyennes de chambre.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

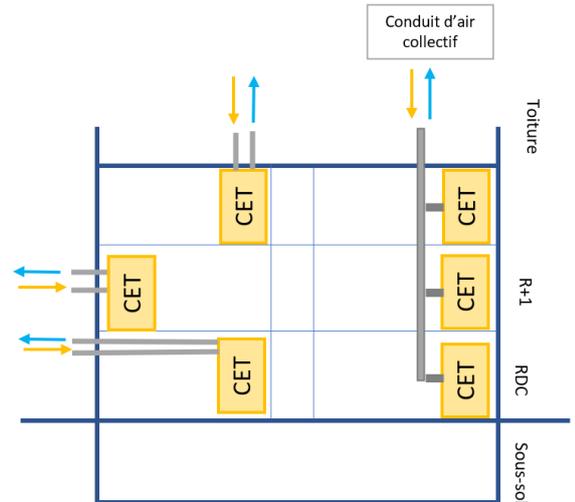
RE2020 : modélisable.

RT existant : modélisable via un outil d'aide à l'application Excel (arrêté du 13 mai 2011). Les informations demandées ne sont cependant pas accessibles facilement pour les bureaux d'études, et demandent des échanges avec les industriels.

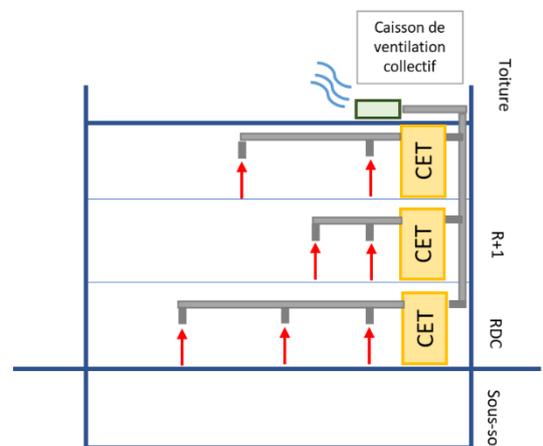
DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 seul COP notamment : le SCOP).

Entretien

1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).



Représentation des possibilités d'intégration des CET sur air extérieur



CET sur air extrait avec ventilation collective simple flux



Exemple d'intégration en cuisine pour un T1 ou T2 (Atlantic)

Point de vigilance : Changement annuel des filtres dans le cas CET sur air extrait (encrassement rapide par l'air vicié de la cuisine). Un filtre encrassé altère significativement la performance du système sans pour autant que l'utilisateur soit privé d'ECS (intervention de l'appoint plus forte). Un filtre encrassé engendre également une baisse de qualité de la ventilation.

Maturité de la solution :

Cette solution thermodynamique est bien répandue, en 2019 les CET individuels équipaient 77 500 logements et 15 000 unités étaient vendues. Les solutions avec échange sur air extérieur sont plus répandues et plus faciles à mettre en place que des solutions sur air extrait.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Solution mature et maîtrisée par les acteurs,
- Permet d'individualiser les systèmes si le CET est associé à un chauffage individuel,
- Contrainte d'intégration simplifiée en CET sur air extrait.

Faiblesses :

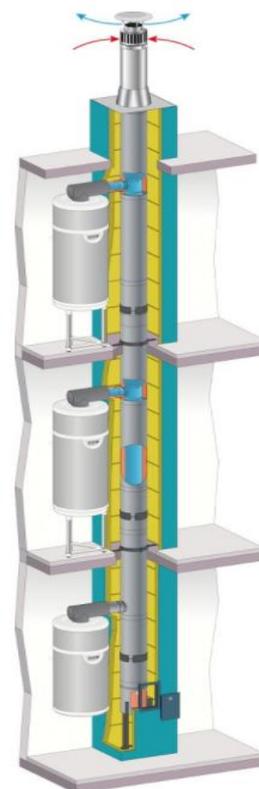
- Aménagement intérieur et disposition des pièces à adapter aux besoins du CET (distance CET/ extérieur, position des pièces humides),
- Plus coûteux qu'un CET collectif à partir de 15-20 logements,
- Besoin d'un niveau d'isolation très important pour respecter la RE2020 si associé à du chauffage électrique,
- Impact carbone des CET important (incidence forte sur l'indicateur Ic Construction de la RE2020),
- CET sur air extrait difficile à mettre en œuvre en rénovation,
- CET sur conduit d'air collectif (amené et rejet d'air) incompatible avec des bâtiments de plus de 4 niveaux.

Conditions de réussite :

- Bâtiments neufs compacts : il faut trouver une solution de chauffage adaptée (effet joule et gaz très contraints en RE2020).

Exemple de solution disponible sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Auer	CET sur air extérieur	R290
	EDEL air 1,4 et 1,9 kW	GWP = 3
Aldes	CET sur air extrait	R513A
	T.Flow Hygro+ 1,9 kW	GWP = 631
Atlantic	CET sur air extrait	R134A
	Aquacosy	GWP = 1430



Représentation AUER du CET sur conduit concentrique verticale collectif (AEC)

NB : La liste est exhaustive pour les CET sur air extrait. Pour les CET sur air extérieur de nombreuses solutions sont disponibles sur le marché, l'étude s'est donc limitée aux solutions sur air extérieur ayant des particularités en termes de fluide frigorigène et/ou de condition d'intégration.

Fiche n°12 : Solution individuelle – Chauffage – air extérieur

PAC Air / Air (dites mono-split et multi-split)

Domaine d'application :

Usage : ECS

Taille de bâtiment : Pas de limite, mais conseillé pour petit bâtiment < 30lgs

Opportunité en rénovation : moyenne

- Bâtiment de copropriété doté de balcon en capacité de dissimuler les unités extérieures individuelles, de solution individuelle de chauffage et de problème de confort d'été.

Nota: La mise en œuvre d'unité individuelle en toiture terrasse collective semble complexe à réaliser (autorisation copropriété, sécurisation accès toiture pour maintenance)

Opportunité en construction neuve : moyenne

- Bâtiment de copropriété de 5 à 40lgs associé à du chauffage électrique dans les chambres et un chauffe-eau thermodynamique individuel (ou collectif pour les bâtiments de grande taille).

Descriptif général :

Ces solutions thermodynamiques individuelles prélèvent des calories sur l'air extérieur et alimentent des un ou plusieurs émetteurs intérieurs via un réseau de fluide frigorigène. On distingue deux solutions :

- Mono-split : une unité extérieure associée à une seule unité intérieure pour chauffer et/ou refroidir une seule pièce (ex : le salon)
- Multi-split : une unité extérieure associée à plusieurs unités intérieures pour chauffer et/ou refroidir plusieurs pièces.

La PAC se situe à l'extérieur du logement : balcon, façade, toiture ou au sol à distance du bâtiment.

Condition d'intégration :

- Module extérieur

La surface varie de 0,3 à 0,6 m² pour la PAC (3,1 à 3,9 m² en comprenant la surface libre pour le refoulement de l'air).

La hauteur des PAC varie entre 0,6 et 0,9 m.

- Unité intérieure

A l'intérieur du logement, les unités intérieures (ou émetteurs) sont fixées sur le mur en hauteur à proximité du plafond ou en console, et reliées à l'unité extérieure par un réseau de fluide frigorigène de faible diamètre.

En cas de production de froid :

- Prévoir une évacuation des condensats pour chaque unité intérieure,
- Si émetteur réversible (ch+fr), incompatible avec ventilation hygro B → passage en hygro A qui augmente largement les consommations de chauffage.

- Acoustique

Puissance acoustique des PAC varie entre 50 et 60 dB(A).

Sur un balcon ou en façade, contrainte acoustique forte : attention à la distance vis-à-vis des baies et balcons voisins pour respecter le décret de 2006 relatif au bruit entre voisins (étude acoustique à réaliser).

En toiture, contrainte acoustique assez faible : PAC de trop faible puissance sonore pour impacter les logements.

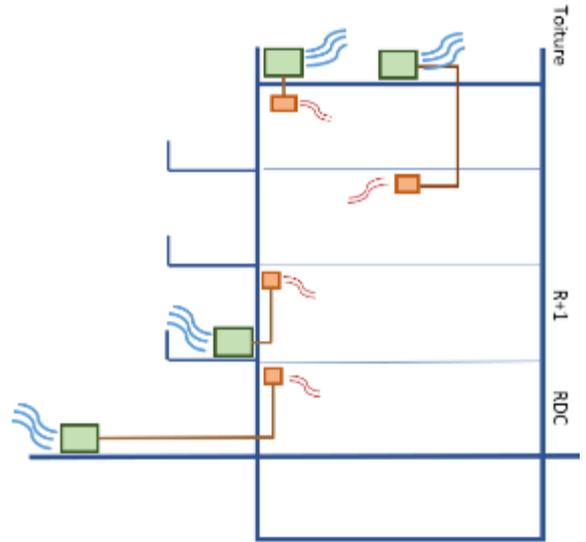
Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : modélisable. Le fait de ne pas déclarer la production de froid permet de maintenir une ventilation hygro B et diminuer les consommations (une production de froid étant incompatible avec une ventilation Hygro B et demande la mise en œuvre d'une ventilation Hygro A).

RT existant : modélisable. La saisie est très simplifiée (seulement 2 COP à renseigner notamment).

DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 seul COP notamment : le SCOP).

Entretien



Représentation des possibilités d'intégration de mono-split



Représentation d'un multi-split associé à 2 unités intérieures



Unité extérieure de mono split disposée en balcon

1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide).

Maturité de la solution :

C'est la solution thermodynamique la plus utilisée en logement collectif grâce aux PAC réversible monosplit Air / Air très utilisées dans les régions avec des besoins en climatisation importants. En 2019, 160 000 PAC individuelles Air / Air étaient vendues en logement collectif et on estime à environ 1 million le nombre de logements équipés. Cette solution également très présente en

Les PAC Air / Eau individuelles (chauffage seulement) sont utilisées en maison individuelle, mais très peu en logement collectif.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Mise en œuvre simple en neuf ou rénovation,
- Individualisation de la production de chauffage, de froid et de la maintenance,
- Criticité réduite en cas de panne,
- Solution disponible avec fluides R32 (PRG moyennement carboné)
- Contrainte d'intégration intérieure faible.

Faiblesses :

- Contrainte acoustique et visuelle forte,
- Besoin d'un autre équipement pour produire l'ECS.

Conditions de réussite :

- Travailler avec les architectes pour faciliter l'intégration des modules extérieurs.

Nota : le fait de permettre le mis en place de mono-split produisant du froid avec une ventilation hygro B

Exemple de solution disponible sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Atlantic	TAKAO M1 Mono-split	R32 GWP = 675
Atlantic	AOYG Multi-split De 4 à 9,5 kW	R32 GWP = 675
Daikin	MXM-N Multi-split De 4,6 à 11,5 kW	R32 GWP = 675
Hitachi	Triple C De 5,5 à 7,8 kW	R32 GWP = 675

Fiche n°13 : Solution individuelle – ECS et chauffage – air extérieur

PAC Air / Eau

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS (et froid si émetteur basse température)

Taille de bâtiment : 5 à 10 logements

Opportunité en rénovation : faible

- Rénovation lourde de petit bâtiment (<15lgts + R+2 max)

Opportunité en construction neuve : moyenne

- Petit bâtiment < 20lgts en R+2 avec position des unités extérieures en toiture.

Descriptif général :

Une PAC capte des calories sur l'air extérieur et produit de l'eau chaude pour ECS et le chauffage pour un logement dans un bâtiment collectif. Si les émetteurs de chaleur sont réversibles, la PAC peut produire de l'eau froide pour refroidir le logement.

La PAC peut être située à :

- L'extérieur du logement (balcon, façade ou toiture), elle est reliée à un module intérieur via une liaison hydraulique (PAC monobloc) ou une liaison frigorifique (PAC bibloc). Un « module hydraulique » est disposé à l'intérieur, il assure la distribution du chauffage dans le logement et contient un ballon ECS (à gauche dans l'encart et le schéma).
- L'intérieur du logement : l'échange avec l'air extérieur se fait via une grille connectée à la façade (à droite dans l'encart et le schéma).

Condition d'intégration (PAC extérieure) :

- *Module extérieur*

PAC Air / Eau : 0,3 à 0,6 m² pour la PAC (3,1 à 3,9 m² en comprenant la surface libre pour le refoulement de l'air).

La hauteur des PAC varie entre 0,6 et 0,9 m.

- *Module intérieur*

La surface au sol occupée est d'environ 0,4 m², avec une hauteur d'environ 1,8 m.

- *Acoustique*

Puissance acoustique des PAC entre 50 et 60 dB(A)

Sur un balcon ou en façade, contrainte acoustique forte : attention à la distance vis-à-vis des baies et balcons voisins pour respecter décret de 2006 relatif au bruit de voisinage. En toiture, contrainte acoustique assez faible : PAC de trop faible puissance sonore pour impacter les logements.

Le module intérieur a une puissance acoustique faible, il peut être intégré en cuisine.

Condition d'intégration (PAC intérieure) :

- *Module intérieur*

La surface des PAC varie entre 0,4 et 0,6 m² (0,8 et 1 m² avec le placard acoustique). Les PAC doivent être intégrées dans un placard acoustique dans une pièce en contact avec l'extérieur (distribution de pièce particulière pour avoir une cuisine en premier jour). La hauteur est d'environ 2,3 m.

- *Acoustique*

Puissance acoustique intérieure de 55 à 60 dB(A) et puissance acoustique extérieure (refoulement de l'air) de 60 à 65 dB(A).

La PAC ne doit pas être située près des chambres pour éviter toute gêne.

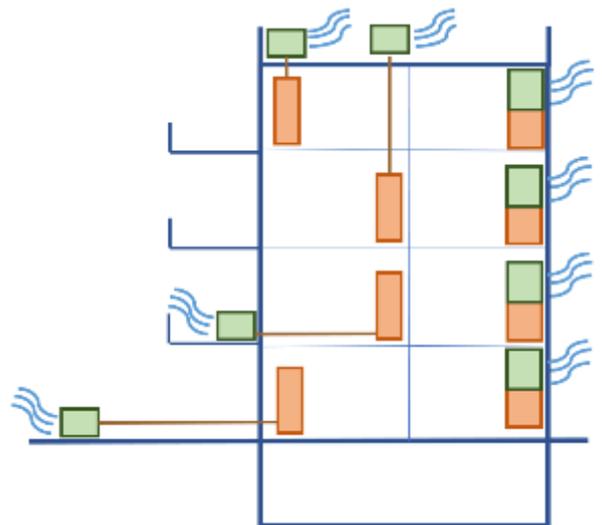
Il faut faire attention que le refoulement de l'air ne fasse pas près de fenêtre ou dans une petite cour intérieure.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Solution modélisable.

RT existant et DPE : modélisable en partie. Il faut saisir 2 PAC indépendantes (chauffage et ECS).

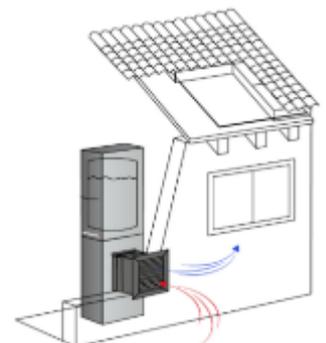
Entretien



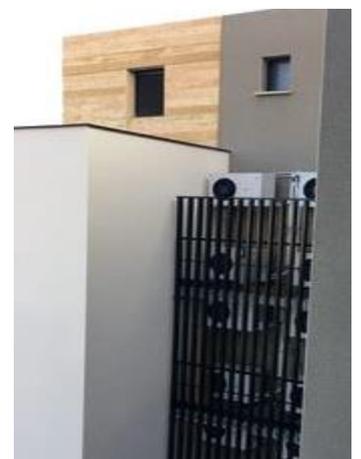
Représentation des différentes solutions d'intégration de PAC extérieure (à gauche) et PAC intérieure (à droite)



PAC extérieure : module hydraulique (à gauche) et unité extérieure (à droite)



PAC intérieure : positionnée à l'intérieur du logement connectée à l'extérieur par une grille droite



Intégration d'unités extérieures en résidentiel collectif (accès à prévoir)

1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

Maturité de la solution :

En logement individuel, les PAC Air / Eau sont largement répandus et équipent presque la moitié des maisons neuves. Cependant, en logement collectif, cette solution est peu répandue, les modules extérieurs étant compliqués à intégrer.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Individualisation de la production de chaleur, d'ECS et de la maintenance,
- Criticité réduite en cas de panne,
- Solution existe sans module extérieur (avec grille en façade).

Faiblesses :

- Solution plus coûteuse qu'une installation collective à partir de 10 lgts,
- Difficile d'intégrer les modules extérieurs en balcon ou façade : contrainte visuelle et acoustique élevée,
- PAC intérieure : Encombrement intérieur élevé et contrainte acoustique (intérieur et extérieur) et visuelle (grille en façade),
- Impact carbone important des PAC individuelle (impact fort sur l'indicateur Ic Construction).

Conditions de réussite :

- Développement de solution Monobloc pouvant être disposée à distance de la façade (positionnement en salle de bain),
- Travailler dès l'esquisse avec les architectes pour définir la position des PAC,
- Réaliser une étude acoustique en cas de PAC en balcon, façade ou intérieure,
- Développer des PAC de plus petite puissance (2 et 3 kW) pour limiter les coûts,
- Développer des solutions d'intégration des unités extérieures en façades en conservant un accès maintenance depuis le logement,
- Ne pas mobiliser de PAC pour les T1 et T2 mais du chauffage électrique et un CET individuel sur air extérieur pour limiter les coûts d'investissements.

Exemple de solution disponible sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Aldes	PAC extérieure T.One® AquaAIR 4 à 6 kW	R410A (puis R32 en 2022) GWP = 2088 (puis 675)
Amzair	PAC intérieure Optim' Duo (ou Renov HT) 4 à 9 kW	R410A GWP = 2088
Daikin	PAC extérieure Daikin Altherma 3 R 4 à 8 kW	R32 GWP = 675

Fiche n°14 : Solution individuelle – ECS et chauffage hybride – air extérieur

PAC Air / Eau hybridée avec gaz

Domaine d'application :

Usage : Chauffage et ECS

Taille de bâtiment : 5 à 10 logements

Opportunité en rénovation : faible

- Bâtiment de copropriété doté de balcon en capacité de dissimuler les unités extérieures individuelles, initialement équipé de solution individuelle gaz → PAC hybride sans production d'ECS pour obtenir un encombrement de l'unité intérieur similaire à celui de la chaudière existante.

Nota : La mise en œuvre d'unité individuelle en toiture terrasse collective semble complexe à réaliser (autorisation copropriété, sécurisation accès toiture pour maintenance)

Opportunité en construction neuve : faible

- La solution Gaz individuel associé un CET pourra trouver une place dans les petits bâtiments : pas d'unité extérieur + solution maîtrisée par les acteurs. Mais elle nécessite une surisolation forte pour passer les seuils IC Energie 2025.
- Les solution PAC hybride avec unité extérieure apporte peu de bénéfice comparée à une solution PAC individuelle électrique.

Descriptif général :

La dénomination « PAC hybride individuelle » fait souvent référence à une solution packagée qui intègre une PAC et une chaudière gaz dans un seul et même équipement. Or, l'hybridation signifie uniquement que la production de chaleur est issue de deux générateurs différents. L'hybridation peut concerner l'ECS, le chauffage ou les deux. On distingue plusieurs technologies :

- La PAC peut produire l'ECS et le chauffage. La chaudière gaz peut prendre une relève partielle ou totale de la production de chauffage ou d'ECS. L'évacuation des fumées de gaz peut se faire par une ventouse ou un Conduit 3CE (voir représentation en ventouse).
- Hybridation avec un CET indépendant associé à une chaudière gaz indépendante : le CET* produit de l'ECS (la chaudière gaz peut intervenir en appoint, mais ce n'est pas favorable en termes d'émission de CO2).

* Le CET peut être sur l'air extérieur ou l'air extrait (voir fiche n°11).

Condition d'intégration (PAC hybride sur air extérieur)

➤ *Module extérieur*

PAC Air / Eau : 0,3 à 0,6 m² pour la PAC (3,1 à 3,9 m² en comprenant la surface libre pour le refoulement de l'air). La hauteur des PAC varie entre 0,6 et 0,9 m.

➤ *Module intérieur*

PAC hybride Air / Eau avec ballon : La surface au sol occupée est d'environ 0,4 m², avec une hauteur d'environ 1,8 m.

➤ *Acoustique*

Modules extérieurs : la puissance acoustique varie entre 50 et 60 dB(A). A positionner en toiture (contraintes acoustique faible) ou en balcon/façade (contraintes acoustiques fortes).

Module intérieur : la puissance est assez faible, le module peut être intégré en cuisine.

Condition d'intégration (CET + Gaz individuel) :

Voir fiche n°11 pour les conditions d'intégration des CET.

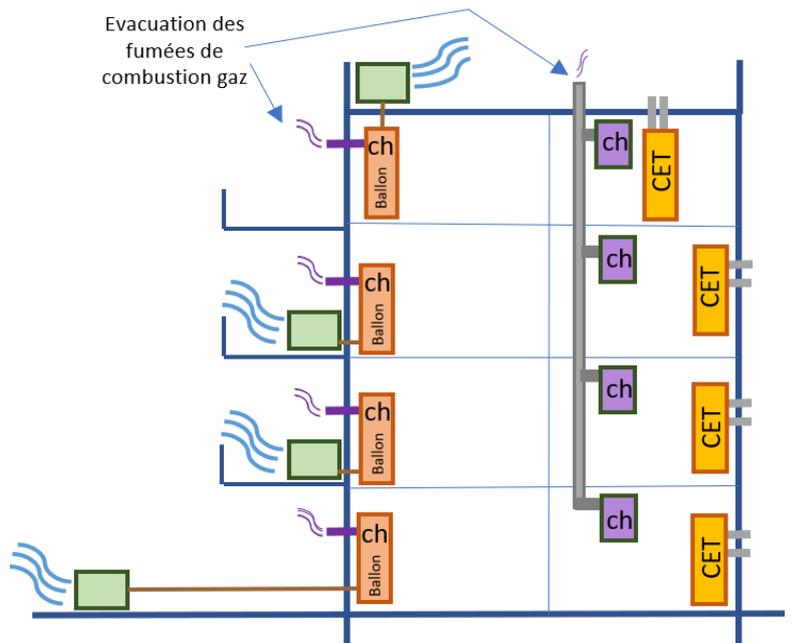
Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : Solution modélisable.

RT existant : non modélisable. Il faut saisir soit 100% PAC soit 100% chaudière gaz.

DPE : modélisable en partie. Il faut saisir 2 PAC indépendantes (chauffage et ECS). Pour le chauffage, la répartition PAC-gaz est forfaitaire (80-20). Pour l'ECS, il faut saisir soit 100% PAC soit 100% chaudière gaz.

Entretien



Représentation des différentes solutions d'intégration de PAC hybride (à gauche) et CET + Chaudière gaz (à droite)



PAC hybride Atlantic : le module intérieur (à gauche) intègre la chaudière gaz et le ballon d'ECS

Entretien/maintenance de la chaudière gaz individuelle associé à l'intervention suivante dédiée à la PAC : vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

Point de vigilance pour les CET sur air extrait : Changement annuel des filtres (encrassement rapide par l'air vicié de cuisine).

Maturité de la solution :

La solution PAC hybride (avec gaz) est développée en maison individuelle. Cependant, en logement collectif, cette solution est peu répandue, les modules extérieurs étant compliqués à intégrer. En collectif, la solution chaudière Gaz associé à un CET sur air extrait est un peu plus courante.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Individualisation de la production de chaleur, d'ECS et de la maintenance,
- Criticité réduite en cas de panne de la PAC,
- L'appoint gaz permet de produire tout niveau de température d'eau pour le chauffage et l'ECS

Faiblesses :

- Cout d'entretien et d'abonnement élevé (1 chaudière Gaz et 1 PAC par logement),
- Pas de solution avec fluide frigorigène à très faible PRG,
- Contrainte d'intégration forte (lien avec l'air extérieur pour la PAC et évacuation des fumées),
- Solution plus coûteuse qu'une installation collective à partir de 10 lgts,
- Difficile d'intégrer les modules extérieurs en balcon ou façade : contrainte visuelle et acoustique élevée,

Conditions de réussite :

- Travailler avec les architectes pour faciliter l'intégration des modules extérieurs,
- Optimiser la régulation pour augmenter le taux de couverture de la PAC (pour seuil RE2020 2025),
- Privilégier une solution chaudière gaz associée à un CET pour simplifier l'intégration.

Exemple de solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive)

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Atlantic	Hynéa Hybrid Duo	R410A
	Hysaé Hybrid	GWP = 2088
Atlantic	Riveo	R134A
		GWP = 1430
Chaffoteaux	Aquanext Opti 110	R134A
		GWP = 1430
Daikin	Altherma hybrid	R32
		GWP = 675

Fiche n°15 : Solution individuelle – ECS et chauffage partiel – air extérieur

PAC Air / Air et Air / Eau

Domaine d'application :

Usage : ECS et chauffage partiel

Taille de bâtiment : 5 à 40 logements

Opportunité en rénovation : moyenne

- Rénovation lourde de petit bâtiment sans espace extérieur pour positionner des unités extérieures.

Opportunité en construction neuve : forte

- Bâtiment collectif intermédiaire < 40lgts et de moins 4 étages

Descriptif général :

Une PAC individuelle dans chaque logement prélève ses calories sur l'air extérieur via un conduit d'air collectif. La PAC fonctionne soit en PAC Air / Air pour chauffer le salon soit en PAC Air / Eau pour produire l'ECS.

Cette PAC ne peut chauffer ou refroidir que la pièce principale du logement via la PAC Air / Air. Les chambres sont chauffées avec des panneaux rayonnants électriques (effet joule).

L'ECS est produite par la PAC Air / Eau et est stockée dans un ballon. En été, l'ECS est produite en partie grâce aux calories de l'air intérieur, ce qui permet de rafraichir gratuitement le logement.

Condition d'intégration :

➤ Module PAC

Il est conseillé de mettre la PAC dans un placard : il faut compter environ 0,4 m². La hauteur est d'environ 1,8 m.

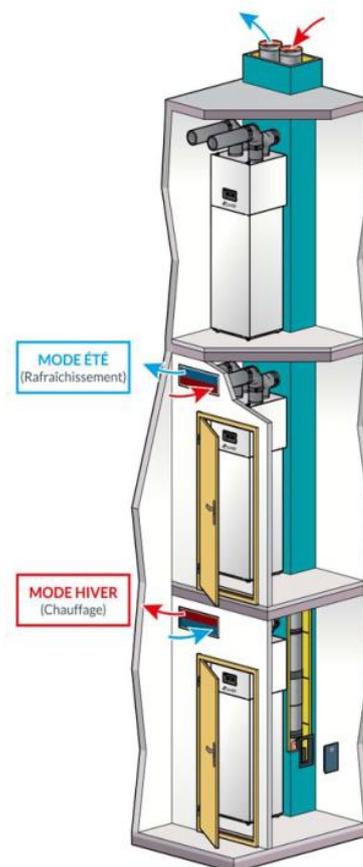
Les PAC doivent être alignées les unes au-dessus des autres car elles sont reliées à un conduit d'air collectif.

➤ Conduit d'air collectif

Le double conduit collectif est composé de 2 tubes de 12,5 à 20 cm. Il est possible de raccorder jusqu'à 5 PAC par conduit.

➤ Acoustique

La puissance acoustique de la PAC varie entre 40 dB(A) à 55 dB(A). Il est préconisé de mettre la PAC dans un placard acoustique pour éviter tout gêne.



Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : modélisable

RT existant : modélisable. Pour le CET, la modélisation se réalise via un outil d'aide à l'application Excel (arrêté du 13 mai 2011). Pour le monosplit, la saisie est très simplifiée (seulement 2 COP à renseigner notamment) et le chauffage du monosplit n'a pas d'impact dans les chambres.

DPE : modélisable. La saisie est très simplifiée avec peu de valeurs à renseigner (1 seul COP notamment : le SCOP). Le chauffage du monosplit n'a pas d'impact dans les chambres.

Le rafraîchissement passif en été lié à la production d'ECS n'est pas valorisable en RE2020, RT existant ou DPE. Une démarche titre V (opération ou système) pourrait être envisagée pour diminuer les DH en RE2020.

Entretien

1 visite annuelle avec un contrat de maintenance conseillé mais non obligatoire. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

Point de vigilance : Changement annuel des filtres du CET (encrassement rapide par l'air vicié de cuisine).

Maturité de la solution :

Cette solution est très récente (2022) et n'est installée sur aucun logement.

Forces et faiblesses de la solution :

Forces :

- Solution individuelle à coût optimisé,
- Aucun impact visuel et acoustique à l'extérieur,

Faiblesses :

- Limitation du nombre maximum de PAC connectées sur un conduit d'air collectif → incompatible si bâtiment de plus de 4 étages,
- Les PAC doivent être alignées les unes au-dessus des autres → Incidence l'aménagement intérieur des logements,
- La PAC doit être placée dans un placard acoustique,
- Solution difficile à mettre en œuvre en rénovation.

Conditions de réussite :

- Travailler en amont avec les architectes pour faciliter l'intégration des équipements,

Solutions disponibles sur le marché :

Industriel	Produit	Fluide frigorigène
Auer	ZéCET 2 kW	R290 GWP = 3

Fiche n°16 : Solution individuelle – ECS et chauffage – air extrait

PAC air extrait/eau et air extrait/air

Domaine d'application :

Usage : ECS et chauffage (et froid si émetteur basse température)

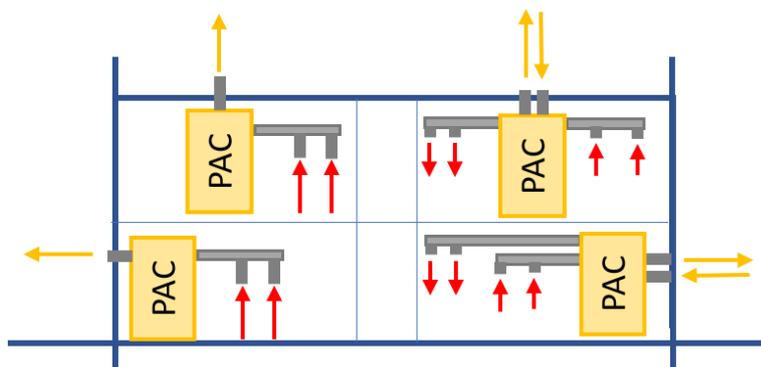
Taille de bâtiment : 5 à 40 logements

Opportunité en rénovation : faible à moyenne

- Faible pour les solutions dotées de ventilation double flux : Nécessite une rénovation très lourde sur des bâtiments avec un niveau d'isolation très élevé (puissance chauffage limitée).
- Moyenne pour les solutions simple flux : contraintes d'intégration beaucoup plus faibles, niveau de puissance chauffage plus élevé.

Opportunité en construction neuve : faible à forte

- Faible pour les solutions dotées de ventilation double flux : Nécessite des bâtiments avec un niveau d'isolation très élevé (puissance chauffage limitée).
- forte pour les solutions simple flux : contraintes d'intégration simplifiée (pas d'unité extérieure), niveau de puissance chauffage plus élevé adapté au T3n T4 et T5.



Représentation des différentes solutions d'intégration de PAC sur air extrait avec ventilation simple flux (à gauche)
PAC sur air extrait avec ventilation simple double flux (à droite)

Descriptif général :

On distingue deux solutions de PAC sur air extrait :

- Les PAC sur air extrait avec ventilation simple flux : l'air extrait est aspiré dans les pièces humides (salle de bains, toilettes et cuisine), la PAC prélève des calories sur cet air chaud et rejette un air froid à l'extérieur. La PAC produit de l'ECS ou du chauffage.
- Les PAC sur air extrait avec ventilation double flux : l'air neuf n'entre plus au niveau des menuiseries, mais via un conduit relié sur l'air extérieur. Cet air neuf est réchauffé par l'air extrait grâce à un échangeur Air / Air dans la PAC. Ainsi l'hiver, l'air neuf ne rentre plus à des températures faibles dans le logement. La PAC peut utiliser l'air extrait pour produire de l'ECS ou le chauffage de l'air neuf.

Les puissances de chauffage des équipements double flux sont souvent très faibles et nécessitent un niveau d'isolation très élevé. Certaines solutions simple flux (ex : F730 de NIBE) ont des puissances plus importantes, mais nécessitent d'augmenter significativement les débits de ventilation (débit autoréglable soit une multiplication par 2 en comparaison à la ventilation hygroréglable).

Condition d'intégration :

➤ Module PAC

La surface du module de la PAC intérieure varie entre 0,4 et 0,6 m² selon les modèles. Avec un placard acoustique, il faut compter entre 0,6 et 0,8 m². Sa hauteur varie entre 2 et 2,3 m.

➤ Acoustique

La puissance acoustique de ces PAC est assez faible : de l'ordre de 45 dB(A). Il est alors possible de mettre la PAC sans placard acoustique dans la cuisine par exemple.

La puissance acoustique du refoulement l'air extrait est de l'autre 60 à 65 dB(A), il faut faire attention que le refoulement ne soit pas proche d'une fenêtre ou dans une petite cour intérieure.

Compatibilité avec les calculs réglementaires :

RE2020 : modélisable

RT existant et DPE : non modélisable.

Entretien

1 visite annuelle avec un contrat de maintenance. Interventions sur la pompe à chaleur (vérification de la propreté du conduit d'évacuation des condensats, nettoyage du filtre du régulateur de pression, nettoyage de l'évaporateur, vérifier la charge en fluide) et sur le ballon de stockage ECS (contrôle de l'entartrage et de l'anode en magnésium).

Point de vigilance : Changement annuel des filtres (encrassement rapide par l'air vicié de cuisine).

Maturité de la solution :

Technologies éprouvées dans les pays Nord européens, toutefois peu présentes en France.



PAC sur air extrait avec ventilation double flux + réseau de gaine de ventilation (soufflage et extraction)

Forces et faiblesses de la solution avec ventilation double flux :

Forces :

- Solution monobloc sans groupe extérieur,

Faiblesses :

- Nécessite besoin de chauffage très faible (niveau d'isolation très fort) pour les solutions avec ventilation double flux
- Passage en ventilation autoréglable nécessaire pour les solutions avec ventilation simple flux
- Solution difficile à mettre en œuvre en rénovation.
- Solution

Forces et faiblesses de la solution avec ventilation simple flux :

Forces :

- Solution monobloc sans groupe extérieur,
- Puissance chauffage disponible compatible avec le niveau d'isolation exigé par la RE2020

Faiblesses :

- Passage en ventilation autoréglable nécessaire pour les solutions avec ventilation simple flux
- Solution difficile à mettre en œuvre en rénovation.

Exemple de solutions disponibles sur le marché (liste non exhaustive) :

Industriel	Produit	Fluide frigo
GECCO	VMC double flux thermodynamique	R134A GWP = 1430
NIBE	F730 et F750 <i>PAC sur air extrait simple flux</i> F735 <i>PAC sur air extrait simple flux</i>	R407C GWP = 1774 R290 GWP = 3
Nilan	Compact P et compact S doté de ventilation double flux	R134A GWP = 1430

9.2. Annexe 2 : Gisement pour l'installation des différentes technologies de PAC en rénovation

Les graphiques suivants présentent le gisement pour chaque typologie de l'étude « Analyse détaillée du parc » du programme PROFEEL lié à l'installation des différents types de PAC :

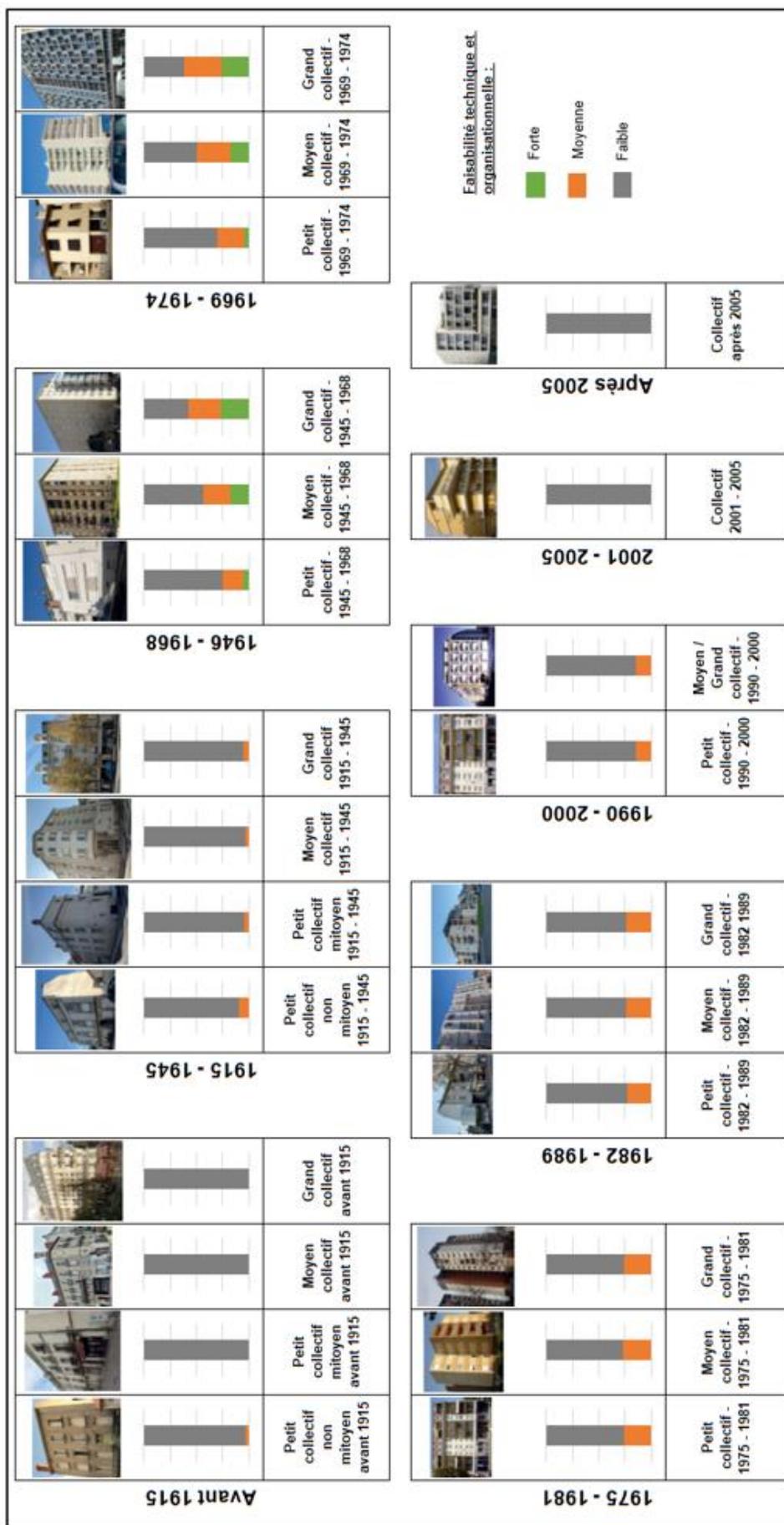
- **PAC Air / Eau collective en Chauffage (fiche n°5)**
- **PAC Air-Air individuelle MONO-split (fiche n°12)**
- **PAC Air-Air individuelle Multi-split (fiche n°12)**
- **PAC Air eau individuelle (fiche n°13)**
- **CET sur air extrait (fiche n°11)**
- **CET sur air extérieur (fiche n°11)**
- **PAC Air / Eau ECS collective (fiche n°1)**

PAC Air / Eau collective en Chauffage (fiche n°5) ou PAC Air / Eau hybride collective Double Service

<p>PAC Air Eau Collective sur boucle d'eau pour chauffage ou double service</p> <p>555 000 logements avec une forte faisabilité soit environ 24 000 bâtiments</p> <p>2 300 000 logements avec une faisabilité moyenne soit environ 143 000 bâtiments</p> <p>■ Forte ■ Moyenne ■ Faible</p> <p><i>Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC AE collectives en fonction du secteur de logement</i></p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 4 critères :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La possibilité de pouvoir positionner une PAC à l'extérieur en considérant soit la présence de toiture terrasses (données PROFEEL), soit un coefficient d'occupation des sols faible (< 50% - données PROFEEL) - Le type de chauffage à l'état existant (chaufferie collective ou non) (données INSEE & PROFEEL) - La période constructive : pour les immeubles après 2000, les chaufferies ont été optimisées. Sauf à réduire de manière importante les déperditions, il sera difficile d'intégrer l'ensemble des nouveaux éléments de la production (ballons, systèmes de régulation, échangeur...) - Le statut d'occupation : la mise en œuvre d'une chaudière collective présente une faisabilité organisationnelle plus importante en HLM qu'en copropriété. <p>Le tableau en page suivante présente les hypothèses détaillées.</p> <p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Type d'émetteurs à l'état existant (plancher chauffant, ...) - Niveau de besoin de chauffage et capacité d'isolation <p>Interactions avec d'autres solutions :</p>
---	---

Chauffage : Oui / ECS : Oui

Positionnement des unités extérieures possible	Période constructive	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Possible	Entre 1945 & 1975	Chauffage central collectif	HLM	Forte
Possible	Avant 1945 ou après 1975	Chauffage central collectif	HLM	Moyenne
Possible	Avant 2000	Chauffage individuel	HLM	Moyenne
Possible	Entre 1945 & 1975	Chauffage central collectif	Privé	Moyenne
Possible	Avant 2000	Chauffage individuel	Privé	Faible
Possible	Après 2000	Tous	Tous	Faible
Impossible	Tous	Tous	Tous	Faible

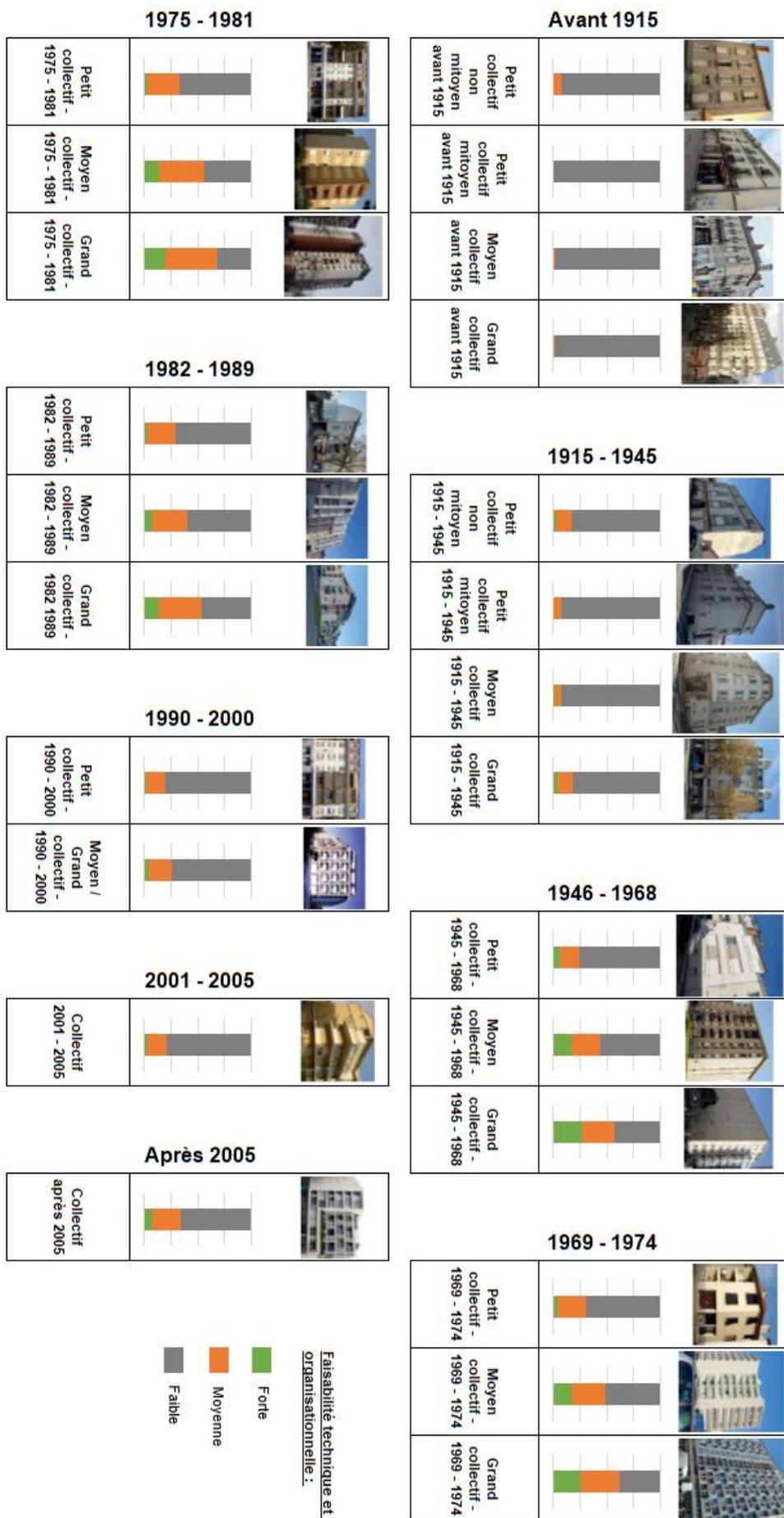


PAC Air / Eau hybride collective en chauffage uniquement (fiche n°8)

PAC Air Eau Collective hybride sur boucle d'eau pour chauffage	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 4 critères :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La possibilité de pouvoir positionner une PAC à l'extérieur en considérant soit la présence de toiture terrasses (données PROFEEL), soit un coefficient d'occupation des sols faible (< 50% - données PROFEEL) - Le type de chauffage à l'état existant (chaufferie collective ou non) (données INSEE & PROFEEL) - Le statut d'occupation : la mise en œuvre d'une chaudière collective présente une faisabilité organisationnelle plus importante en HLM qu'en copropriété. <p>Le tableau en page suivante présente les hypothèses détaillées.</p>												
<p>555 000 logements avec une forte faisabilité soit environ 24 000 bâtiments</p> <p>2 300 000 logements avec une faisabilité moyenne soit environ 143 000 bâtiments</p>	<p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Type d'émetteurs à l'état existant (plancher chauffant, ...) - Niveau de besoin de chauffage et capacité d'isolation 												
<p>Millions de logements (résidences principales)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Secteur</th> <th>Forte</th> <th>Moyenne</th> <th>Faible</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HLM</td> <td>~0.5</td> <td>~1.5</td> <td>~2.0</td> </tr> <tr> <td>PRIVE</td> <td>~0.5</td> <td>~1.5</td> <td>~7.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>■ Forte ■ Moyenne ■ Faible</p> <p><i>Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC AE collectives Hybride Chauffage en fonction du secteur de logement</i></p>	Secteur	Forte	Moyenne	Faible	HLM	~0.5	~1.5	~2.0	PRIVE	~0.5	~1.5	~7.0	<p>Interactions avec d'autres solutions :</p>
Secteur	Forte	Moyenne	Faible										
HLM	~0.5	~1.5	~2.0										
PRIVE	~0.5	~1.5	~7.0										

Chauffage : Oui / ECS : Non

Positionnement des unités extérieures possible	Période constructive	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Possible	Tous	Chauffage central collectif	HLM	Forte
Possible	Tous	Chauffage individuel	HLM	Moyenne
Possible	Tous	Chauffage central collectif	Privé	Moyenne
Impossible	Tous	Tous	Tous	Faible

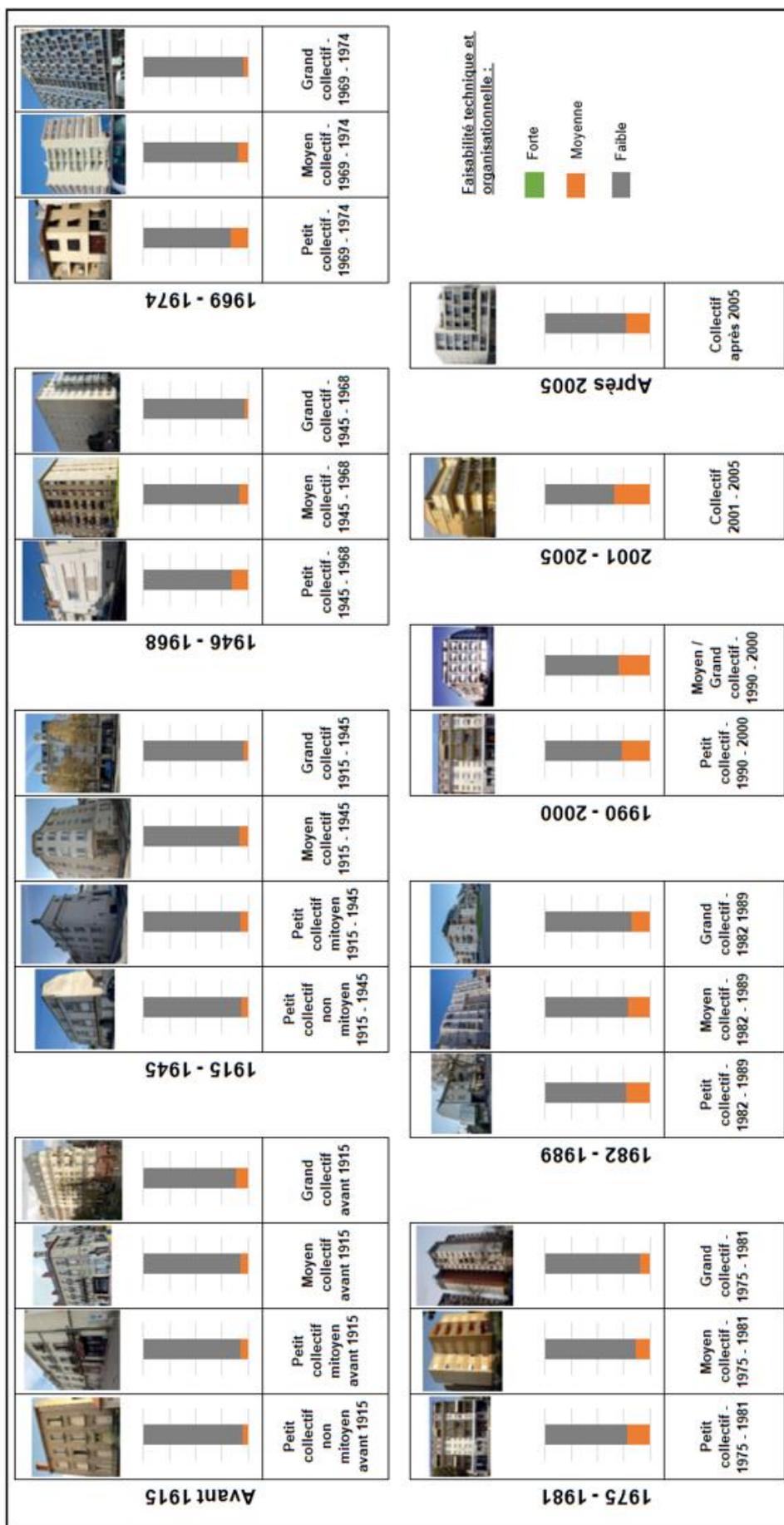


PAC Air-Air individuelle MONO-split (fiche n°12)

<p>PAC Air Air Monosplit</p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 3 critères importants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La présence de balcon (INSEE) : il est nécessaire d'avoir un espace extérieur individuel pour mettre en œuvre cette solution - Le type de chauffage à l'état existant (électricité) (données INSEE & PROFEEL) : A priori, cette solution est techniquement plus facile à mettre en œuvre dans les logements électriques (pas de réseau collectif, système de chauffage indépendant de l'ECS). - Le secteur de logement : chez les bailleurs sociaux, pour des questions de maintenance, cette solution présente une faisabilité faible <p>Seuls les logements qui répondent aux 3 critères décrits ici présentent une faisabilité moyenne. Pour les autres, la faisabilité est faible.</p>
<p>1 958 000 logements avec une faisabilité moyenne</p> <p style="font-size: small;">Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC Air Air mono-split en fonction du secteur de logement</p>	<p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles tels que le positionnement du balcon et les contraintes acoustiques associées, les contraintes d'intégration patrimoniales...</p>
	<p>Interactions avec d'autres solutions :</p> <p>Cette solution est en interaction avec la PAC Air Air multisplit et les ballons thermodynamiques.</p>

Chauffage : Oui / ECS : Non

Présence d'un balcon	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Oui	Electrique	Privé	Moyenne
	Autres cas		Faible



PAC Air-Air individuelle Multi-split (fiche n°12)

PAC Air Air Multisplit

450 000 logements avec une faisabilité moyenne

Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC Air Air multi-split en fonction du secteur de logement

Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :

La faisabilité technique dépend principalement de 3 critères importants :

- La présence de balcon (INSEE) : il est nécessaire d'avoir un espace extérieur individuel pour mettre en œuvre cette solution. Cependant, il est considéré uniquement 50 % des logements, la taille de l'unité extérieure étant plus imposante qu'en PAC monosplit.
- Le type de chauffage à l'état existant (électricité) (données INSEE & PROFEEL) : A priori, cette solution est techniquement plus facile à mettre en œuvre dans les logements électriques (pas de réseau collectif, système de chauffage indépendant de l'ECS).
- La mise en œuvre de PAC multisplit est privilégié dans les logements de typologie T3 ou plus.
- Le secteur de logement : chez les bailleurs sociaux, pour des questions de maintenance, cette solution présente une faisabilité faible

Seuls les logements qui répondent aux 3 critères décrits ici présentent une faisabilité moyenne. Pour les autres, la faisabilité est faible.

Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :

La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles tels que le positionnement du balcon et les contraintes acoustiques associées, les contraintes d'intégration patrimoniales... De plus, l'isolation du logement doit être réalisée pour limiter la taille de l'unité extérieure.

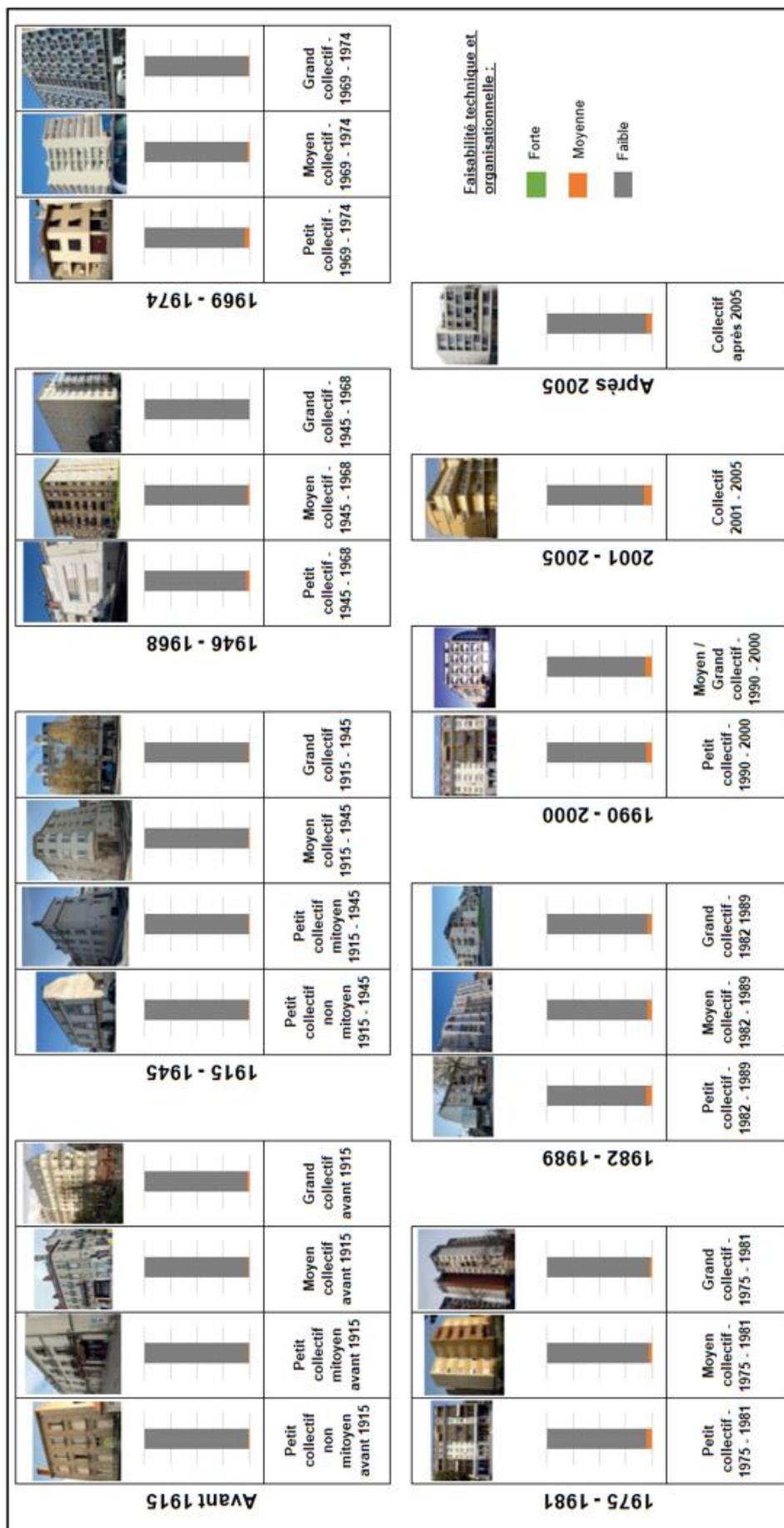
Interactions avec d'autres solutions :

Cette solution est en interaction avec la PAC Air Air multi-split et les ballons thermodynamiques.

Chauffage : *Oui* / ECS : *Non*

Présence d'un balcon	Typologie d'appartement	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Oui	T3 ou plus	Electrique	Privé	Moyenne
Autres cas				Faible



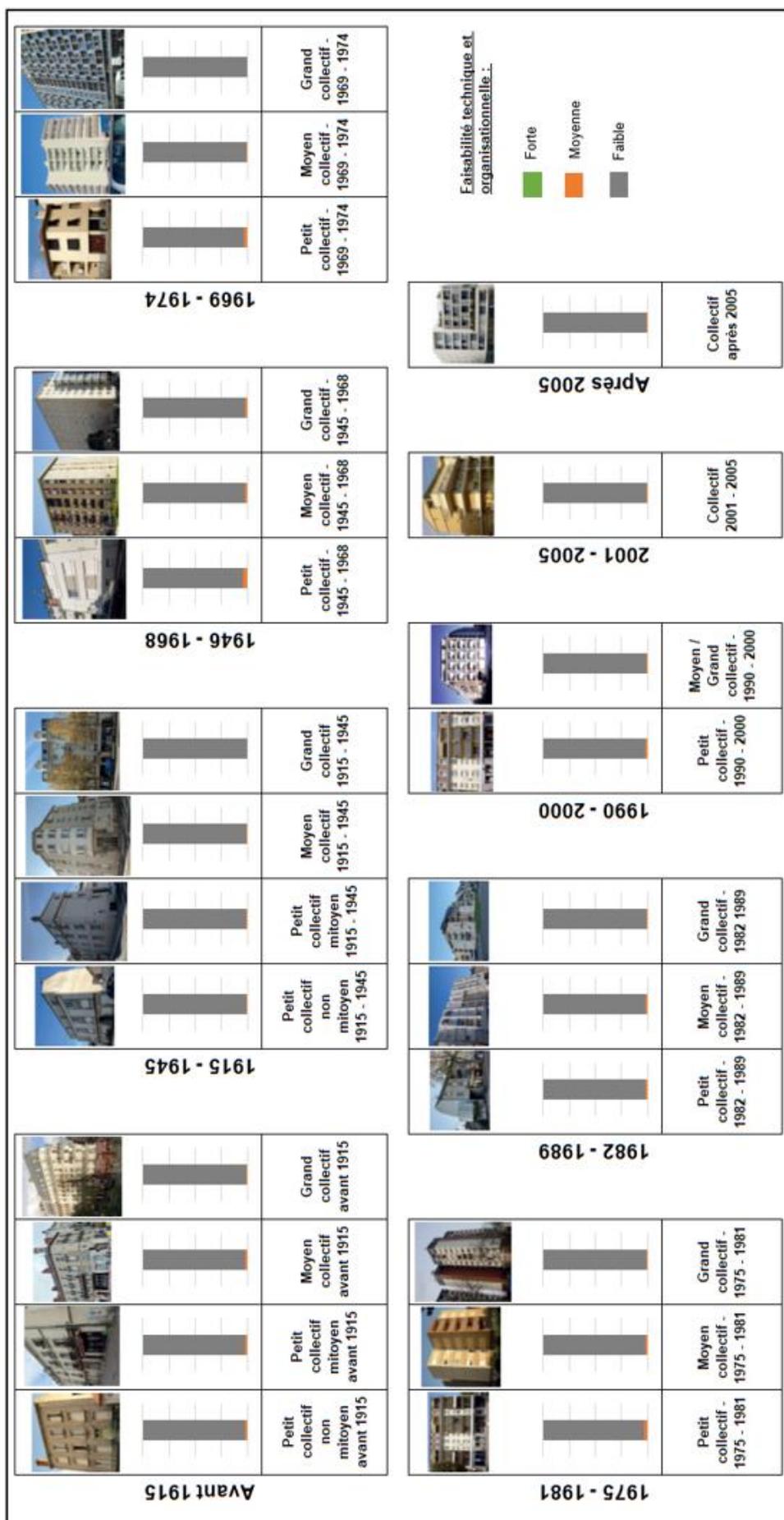


PAC Air eau individuelle (fiche n°13)

<p>PAC Air Eau individuelle</p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 4 critères importants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La présence de balcon (INSEE) : il est nécessaire d'avoir un espace extérieur individuel pour mettre en œuvre cette solution. Cependant, il est considéré uniquement 50 % des logements, la taille de l'unité extérieure étant importante pour couvrir les besoins. - Le type de chauffage à l'état existant (gaz individuel) (données INSEE & PROFEEL) : Cette solution est à envisager en remplacement de gaz individuel, avec un réseau de distribution et des émetteurs individuels - Le secteur de logement : chez les bailleurs sociaux, pour des questions de maintenance, cette solution présente une faisabilité faible - La taille des logements : A partir de T4 (INSEE) car encombrement intérieur et extérieur important de cette solution <p>Seuls les logements qui répondent aux 4 critères décrits ici présentent une faisabilité moyenne. Pour les autres, la faisabilité est faible.</p>
<p>250 000 logements avec une faisabilité moyenne</p> <p style="text-align: center;">■ Forte ■ Moyenne ■ Faible</p> <p><i>Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC Air Eau individuelle en fonction du secteur de logement</i></p>	<p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles tels que le positionnement du balcon et les contraintes acoustiques associées, les contraintes d'intégration patrimoniales... De plus, l'isolation du logement doit être réalisée pour limiter la taille de l'unité extérieure.</p> <p>Interactions avec d'autres solutions :</p> <p>Cette solution n'est pas en interaction avec les autres catégories de PAC.</p>

Chauffage : *Oui* / ECS : *Non*

Présence d'un balcon	Typologie d'appartement	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Oui	T3 ou plus	Gaz individuelle	Privé	Moyenne
Autres cas				Faible

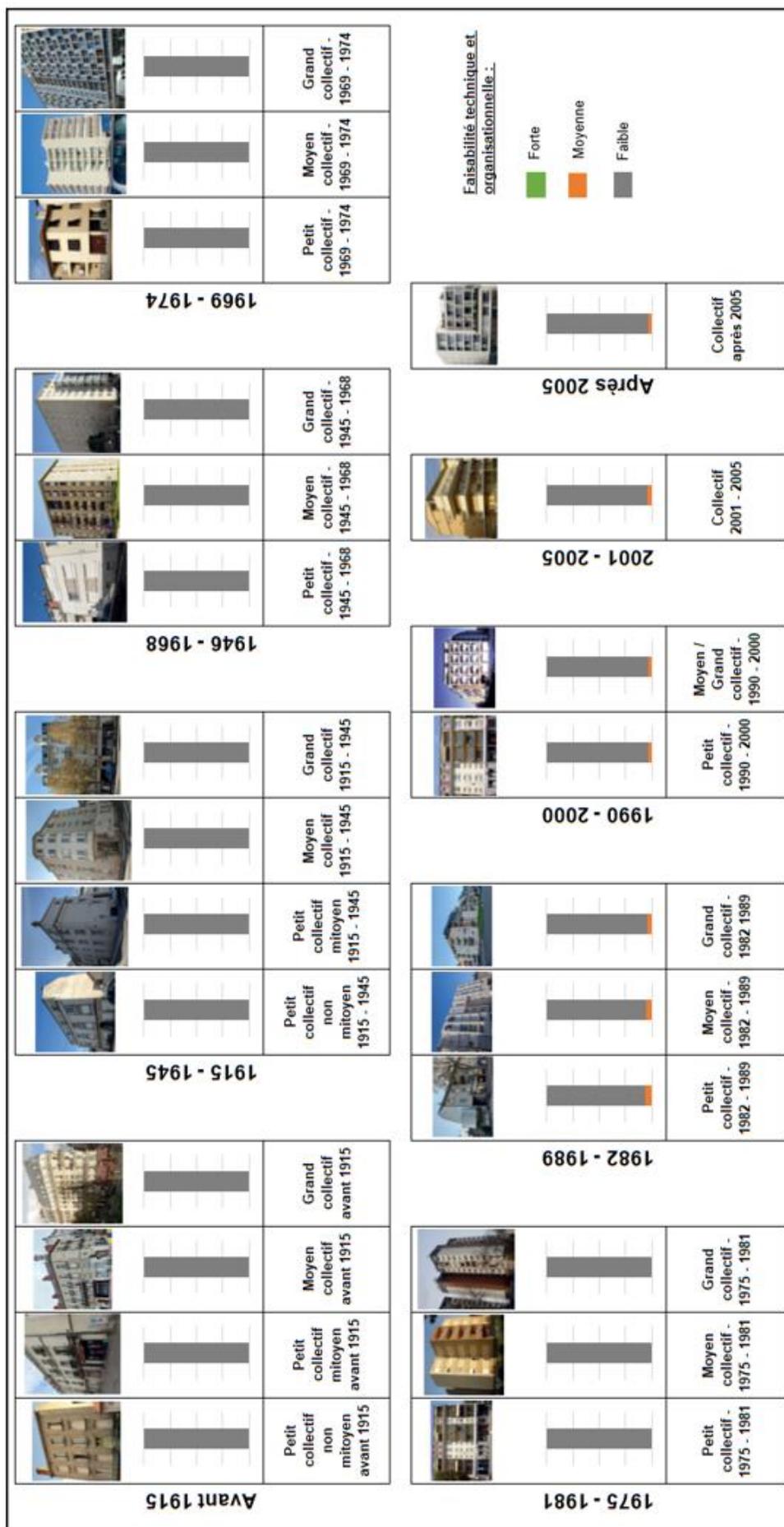


CET sur air extrait (fiche n°11)

<p>Chauffe Eau Thermodynamique sur air extrait</p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 4 critères importants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La taille des logements (T3 ou plus – INSEE) : Les solutions actuelles présentent des contraintes acoustiques qui limitent la mise en œuvre dans les petits logements. - Le type de chauffage à l'état existant (électricité) (données INSEE & PROFEEL) : Ce type de solution sera prioritairement mis en œuvre dans les logements avec un ballon électrique à l'état existant. Cette donnée n'étant pas directement accessible, il est uniquement considéré les logements chauffés à l'électrique à l'état existant. - La période constructive : Cette solution présente une faisabilité très faible si aucun système de ventilation centralisé n'est présent à l'état existant. Il est donc uniquement considéré les logements après la réglementation de 1981 sur la ventilation des logements. - Le statut d'occupation : Ce système présente une très faible probabilité de mise en œuvre en copropriété. <p>Seuls les logements qui répondent aux 4 critères décrits ici présentent une faisabilité moyenne. Pour les autres, la faisabilité est faible.</p>
<p>195 000 logements avec une faisabilité moyenne</p> <p style="font-size: small;">Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de chauffe eau thermodynamique sur air extrait en fonction du secteur de logement</p>	<p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles tels que la possibilité d'intégration dans le logement vis-à-vis de la cuisine, la capacité de maintenance du ballon...</p>
	<p>Interactions avec d'autres solutions :</p> <p>Cette solution est en interaction avec le ballon thermodynamique sur air extérieur.</p>

Chauffage : **Non** / ECS : **Oui**

Période constructive	Typologie d'appartement	Type de chauffage à l'état existant	Occupation	Faisabilité technique et organisationnelle
Après 1981	T3 ou plus	Electrique	HLM	Moyenne
Autres cas				Faible

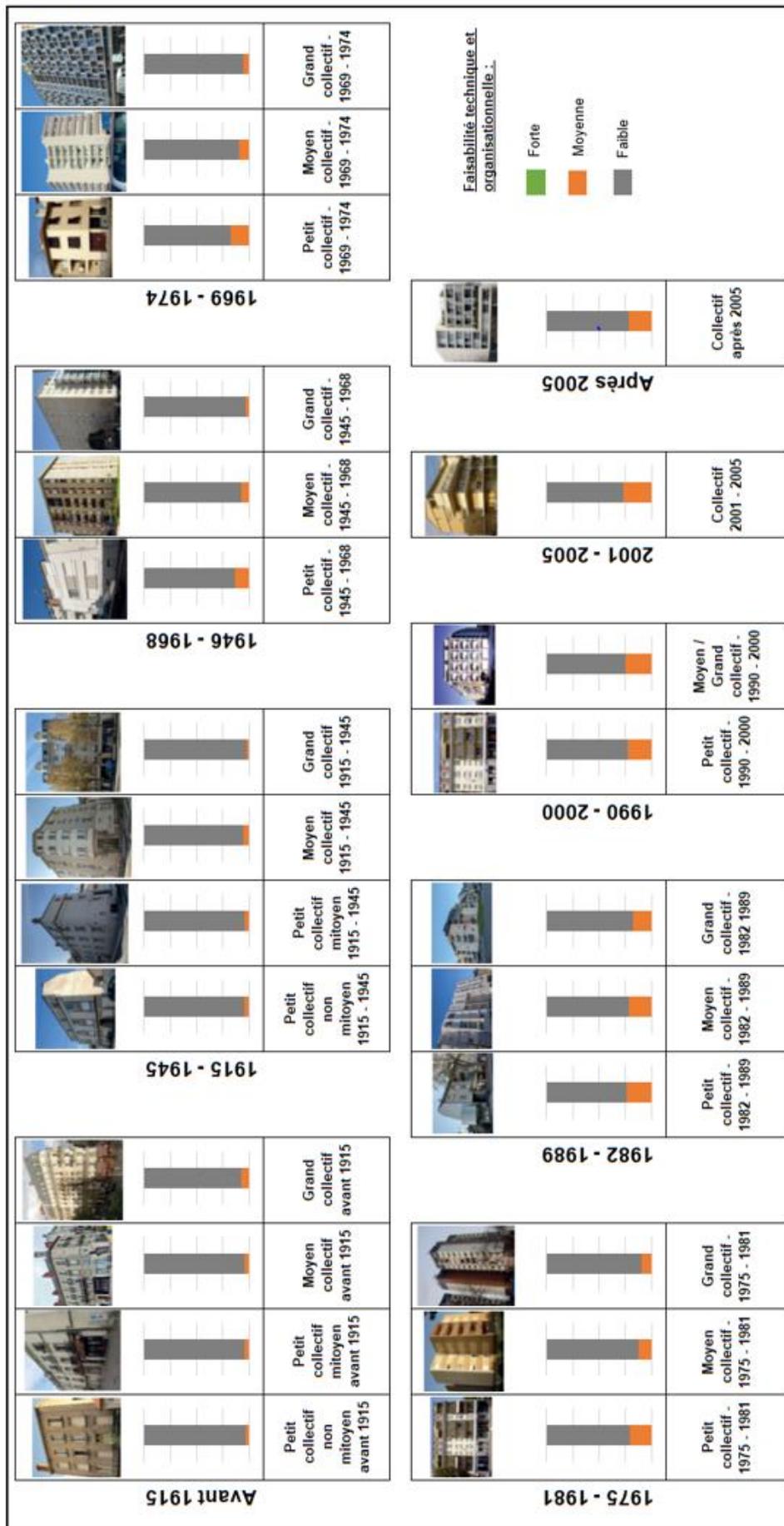


CET sur air extérieur (fiche n°11)

<p>Chauffe Eau Thermodynamique sur air extérieur</p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 3 critères importants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La taille des logements (T3 ou plus – INSEE) : Les solutions actuelles présentent des contraintes acoustiques qui limitent la mise en œuvre dans les petits logements. - Le type de chauffage à l'état existant (électricité) (données INSEE & PROFEEL) : Ce type de solution sera prioritairement mis en œuvre dans les logements avec un ballon électrique à l'état existant. Cette donnée n'étant pas directement possible, il est uniquement considéré les logements chauffés à l'électricité à l'état existant, par simplification. - La période constructive : Pour les logements avant 1948, l'intégration des ballons est de la capacité d'intégration d'une prise d'air ce qui ne peut généralement se faire que sur les façades sur cours ou courette. Il est considéré que 30 % des logements avant 1948 répondent à cette contrainte. <p>Seuls les logements qui répondent aux 3 critères décrits ici présentent une faisabilité moyenne. Pour les autres, la faisabilité est faible.</p>												
<p>1 690 000 logements avec une faisabilité moyenne dont environ 1 400 000 dans le parc privé</p>	<p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles tels que la possibilité d'intégration dans le logement vis-à-vis de la cuisine, la capacité de maintenance du ballon...</p>												
<p>Millions de logements (résidences principales)</p> <p>■ Forte ■ Moyenne ■ Faible</p> <table border="1"> <caption>Data for the chart: Millions of residential units by feasibility level</caption> <thead> <tr> <th>Secteur</th> <th>Forte</th> <th>Moyenne</th> <th>Faible</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HLM</td> <td>0.2</td> <td>0.2</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>PRIVE</td> <td>0.2</td> <td>1.2</td> <td>7.6</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de chauffe eau thermodynamique sur air extérieur en fonction du secteur de logement</i></p>	Secteur	Forte	Moyenne	Faible	HLM	0.2	0.2	3.6	PRIVE	0.2	1.2	7.6	<p>Interactions avec d'autres solutions :</p> <p>Cette solution est en interaction avec le ballon thermodynamique sur air extrait.</p>
Secteur	Forte	Moyenne	Faible										
HLM	0.2	0.2	3.6										
PRIVE	0.2	1.2	7.6										

Chauffage : **Non** / ECS : **Oui**

Période constructive	Typologie d'appartement	Type de chauffage à l'état existant	Faisabilité technique et organisationnelle
Après 1948	T3 ou plus	Electrique	Moyenne
Avant 1948	T3 ou plus	Electrique	Moyenne (30%) / Faible (70%)
	Autres cas		Faible



PAC Air / Eau ECS collective (fiche n°1)

<p>PAC Air Eau ECS Collective</p> <p>881 000 logements avec une faisabilité forte 1 888 000 logements avec une faisabilité moyenne</p> <p style="font-size: small;">Faisabilité technique et organisationnelle pour la mise en œuvre de PAC AE ECS en fonction du secteur de logement</p>	<p>Liste des critères de faisabilité technique et organisationnelle pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La faisabilité technique dépend principalement de 4 critères importants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La possibilité de pouvoir positionner une PAC à l'extérieur en considérant soit la présence de toiture terrasses (données PROFEEL), soit un coefficient d'occupation des sols faible (< 50% - données PROFEEL) - Le type de chauffage à l'état existant (électricité ou production collective) (données INSEE & PROFEEL) : cette solution est principalement envisagée pour les logements dont l'ECS est produite à l'électricité ou les productions collectives à l'état existant. Les immeubles avec des productions individuelles gaz sont peu adaptées pour la mises en œuvre de production collective d'ECS. - La période constructive : pour les immeubles après 2000, les chaufferies ont été optimisées. Sauf à réduire de manière importante les déperditions, il sera difficile d'intégrer l'ensemble des nouveaux éléments de la production (ballons, systèmes de régulation, échangeur...) <p>Les logements qui répondent aux 3 critères ci-dessus sont en faisabilité moyenne.</p> <p>Liste des critères agissant sur la faisabilité technique et organisationnelle mais NON pris en compte dans l'estimatif du volume :</p> <p>La mise en œuvre est conditionnée à d'autres éléments qui ne sont pas analysables avec les données disponibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de mise en œuvre de réseau collectifs - Positionnement d'une chaufferie possible en sous sol ou extérieur <p>Interactions avec d'autres solutions :</p> <p>PAC Air <u>Air</u></p>
---	---

Positionnement possible de l'unité extérieure	Période constructive	Type de chauffage à l'état existant	Statut	Faisabilité technique et organisationnelle
Oui	Avant 2000	Chauffage central collectif	HLM	Forte
Oui	Après 2000	Chauffage central collectif	HLM	Moyenne
Oui	-	Electrique	HLM	Moyenne
Oui	Avant 2000	Chauffage central collectif	Privé	Moyenne
Autres cas				Faible

