

Feuille de route 2030 Systèmes thermodynamiques en Résidentiel et Tertiaire

Une feuille de route par et pour
la filière et les parties prenantes



HORIZONS

sept
2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des participants des groupes de travail

Catégorie	Structure	Représentant
Fabricants	ALDES	Damien Labaume
	ALDES	François-Yves Prévost
	ALDES	Sophie Bapt
	ARISTON THERMO GROUP	Virgile Schuhmacher
	ARKTEOS	Bertrand Noble
	ARKTEOS	Richard Bachelier
	ATLANTIC	Christophe Thebault
	ATLANTIC	Emmanuel Antoine
	ATLANTIC	Juliette Moreau
	AUER	Ségolène Lathuile
	AUER	Sergii Pylypko
	BDR THERMEA FRANCE	Mathieu Dietrich
	DAIKIN FRANCE	Eric Bokobza
	DAIKIN FRANCE	Michel Rambaud
	DAIKIN FRANCE	Madyou Touré
	elm leblanc (groupe Bosch)	François Vuillaume
	ETT	Mickaël Le Borgne
	Groupe Atlantic Guillot Industrie	Olivier Guerber
	Groupe Atlantic Guillot Industrie	Vincent Loubejac
	HELIO PAC - ARKTEOS	Xavier Martinez
	JOHNSON CONTROLS HITACHI	Anthony Touboul
	JOHNSON CONTROLS HITACHI	Kahina Saaoui
	JOHNSON CONTROLS HITACHI	Mickael Glod
	Lennox EMEA	Alain Compingt
	Mitsubishi Electric	Romain Blot
	Mitsubishi Heavy Industries - Yack - Galletti	Armand Hue
	Stiebel Eltron	Christelle Eber
	Trane	Laurent Legin
	Vaillant Group	Jean-Luc Savin
	Viessmann	Emmanuel Bertocchi
Associations représentatives de la filière	Accenta - AFPG	Jean-Marc Percebois
	AFCE	Bernard Philippe
	AFCE	Direction générale
	AFCE	François Heyndrickx
	AFF	Eric Devin
	AFPAC	François Deroche
	AFPAC	Gérard Charney
	CAPEB	David Amadon
	CAPEB	Julien Darthou
	CINOV	Dominique Cena
	FEDENE	Hugo Belin

	FFB	Bertrand Hannedouche
	FFB - UMGCCP	Bruno Lanneree
	FFB - UMGCCP	Nicolas Vincent
	Syntec	C. Longepierre
Centres scientifiques et techniques	AQC	Philippe Estingoy
	AQC	Takfarinasse Abdat
	CETIAT	Michèle Mondot
	CETIM	Pascal Goldstein
	Coda Stratégies	Jean-Claude Migette
	COSTIC	Cédric Beaumont
	CSTB	Charles Pelé
	Mines ParisTech, Centre Efficacité énergétique des Systèmes, Département Energétique et Procédés, Université PSL	Cong Toan Tran
Fournisseurs et distributeurs d'énergie	EDF	Odile Cauret
	ENGIE	David Da Silva
	ENGIE	David Dupuis
	GrDF	Emmanuel Khan
	GrDF	Jérôme Besancon
Pouvoirs publics	DGE	Christine Rebêche
	DGEC	Martin Tudesq
	DGPR	Camille Siefritd
	DHUP	Aloïs Thiebaut
	DHUP	Sébastien Khun
	Ministère de la Transition Ecologique	Benoît Lebot
	Plan Bâtiment Durable	Anne-Lise Deloron
	Plan Bâtiment Durable	Marie Gracia

CITATION DE CE RAPPORT

UNICLIMA Valérie LAPLAGNE, UNICLIMA Emmanuelle BRIERE, ADEME Céline LARUELLE, ACCTEES Aurélien ALFARE, SUNSQUARE Pierre BAUX. 2021 Feuille de route 2030 Systèmes thermodynamiques en Résidentiel et Tertiaire. 98 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020MA000397

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : ACCTEES, SUNSQUARE, AGILIA, SERVICE ET SENS

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline ingénieur

Direction/Service : Service Bâtiment

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	6
ABSTRACT	7
1.1. Le mot de l'ADEME.....	8
1.2. Le mot d'UNICLIMA	8
1.3. Constitution du groupe de travail	8
2.3. Périmètre d'analyse.....	15
2.4. Structuration et Utilisation de la feuille de route	15
3.ETAT DES LIEUX 2020.....	16
3.1. Contexte général pour les systèmes thermodynamiques	16
3.2. Etat des lieux dans le Résidentiel.....	25
3.3. Etat des lieux dans le Tertiaire	35
4.VISION 2030.....	42
4.1. Vision globale	42
4.2. Déclinaison de la vision en objectifs de marché Résidentiel et Tertiaire.....	42
5.FEUILLE DE ROUTE POUR PASSER DE L'ETAT DES LIEUX A LA VISION 2030	48
5.1. Vision.....	48
5.2. Objectifs quantitatifs.....	48
5.3. Actions à mettre en œuvre par la filière	53
5.4. Accompagnement et financement de la R&D.....	58
5.5. Conclusion : Axes principaux de la feuille de route	60
6.ANNEXES.....	60
6.1. Annexe 1 : Quelques performances des systèmes thermodynamiques en Résidentiel 60	
6.2. Annexe 2 : Méthodologie des 8 Groupes de Travail Thématiques (GTT).....	61
6.3. Annexe 3 : Thématique 1 : Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale.....	66
6.4. Annexe 4 : Thématique 2 : Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques.....	68
6.5. Annexe 5 : Thématique 3 : Identifier les pistes d'évolutions technologiques les plus prometteuses	70
6.6. Annexe 6 : Thématique 4 : Déployer les PAC en logements collectifs.....	84
6.7. Annexe 7 : Thématique 5 : Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre.....	87
6.8. Annexe 8 : Thématique 6 : Proposer des actions pour la formation de la filière.....	92
6.9. Annexe 9 : Thématique 7 : Développer des PAC « intelligentes »	94
6.10. Annexe 10 : Thématique 8 : Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG	97
6.11. Annexe 11 : Détail des résultats de la dernière plénière	101
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	103
SIGLES ET ACRONYMES	105

RÉSUMÉ

Le déploiement des systèmes thermodynamiques dans les secteurs Résidentiel et Tertiaire est un levier essentiel pour que la France atteigne ses objectifs climatiques. Ces systèmes offrent par ailleurs des solutions pour faire face aux défis socio-économiques actuels (emploi, précarité énergétique...).

Malgré leurs atouts, ils sont encore minoritaires au sein des systèmes de chauffage et ECS des maisons individuelles, des logements collectifs et de nombreuses branches du secteur tertiaire. Par ailleurs, la filière thermodynamique fait face à un contexte en profonde évolution, qu'il s'agisse de la réduction des besoins de chaud dans les bâtiments ou des nouvelles exigences réglementaires sur les fluides frigorigènes issues du règlement européen F-Gas.

Sous l'égide de l'ADEME et d'UNICLIMA, la filière a co-construit cette feuille de route pour relever ces défis et prendre toute sa place dans la Transition Ecologique.

Elle y exprime sa vision pour 2030 : « La filière thermodynamique s'impose comme un leader sur le marché français des équipements chaud, froid, ECS en résidentiel et en tertiaire. Son positionnement bas carbone et ses performances énergétiques sont à la fois un atout économique et une forte contribution aux objectifs des accords de Paris sur le Climat. »

Pour atteindre cette vision, elle a identifié 8 grandes thématiques, traitées au sein de groupes de travail :

1. Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale
2. Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques
3. Identifier les pistes d'évolution technologique les plus prometteuses
4. Déployer les PAC en logements collectifs
5. Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre
6. Proposer des actions pour la formation de la filière
7. Développer des PAC « intelligentes »
8. Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG

Ces groupes de travail ont abouti à la construction et à la hiérarchisation d'actions prioritaires que les participants, l'ADEME et UNICLIMA se sont engagés à mettre en œuvre. Ces actions couvrent la totalité du champ des systèmes thermodynamiques, de la conception à la maintenance en passant par la réglementation ou les actions de R&D.

ABSTRACT

The deployment of thermodynamic systems in the Residential and Tertiary sectors key for France to achieve its climate objectives. These systems also offer solutions to face current socio-economic challenges (employment, fuel poverty, etc.).

Despite their strengths, they are still in the minority in the heating and DHW systems of individual houses, collective housing and many subsectors of the tertiary sector. In addition, the thermodynamic sector is facing a context in profound change, whether it concerns the reduction of heating needs in buildings or the European F-Gas regulation.

Under the aegis of ADEME and UNICLIMA, the sector has co-constructed this roadmap to meet these challenges and take its place in the Ecological Transition.

It expresses its vision for 2030: "The thermodynamic sector is establishing itself as a leader in the French market for heating, cooling and DHW equipment in residential and tertiary sectors. Its low carbon positioning and energy performance are both an economic asset and a strong contribution to the objectives of the Paris Climate Agreements. "

To achieve this vision, it identified 8 major themes, dealt with in working groups:

1. Better define Heat Pumps (HP) with regard to renewable energies and their place in a global approach
2. Better promote HPs in thermal regulations
3. Identify the most promising technological development paths
4. Deploy the HPs in collective housing
5. Improve the rules of design, sizing and implementation
6. Propose actions for the training of the sector
7. Develop "smart" HPs
8. Design offers with low GWP refrigerants

These working groups resulted in the construction and prioritization of main actions that the participants, ADEME and UNICLIMA committed to implement. These actions cover the entire field of thermodynamic systems, from design to maintenance, including regulations or R&D actions.

1. Préambule

1.1. Le mot de l'ADEME

Depuis 2010, l'ADEME a rédigé plusieurs feuilles de routes stratégiques sur différentes filières. Cet exercice a pour but de réunir des groupes d'experts issus de la recherche dans les secteurs de l'industrie, des organismes de recherche et des agences de financement, de programmation de la recherche et de rédiger un document permettant :

- D'éclairer les enjeux industriels, technologiques, environnementaux et sociétaux du développement d'une filière ;
- D'identifier les verrous technologiques, organisationnels, environnementaux et socio-économiques, et donc d'initier (ou de poursuivre) le développement de technologies performantes et économiquement viables ;
- De mettre en avant les besoins et priorités de recherche, de développement, d'innovation et d'accompagnement à déployer pour améliorer la compétitivité des offres et des entreprises dans un secteur, permettre d'atteindre des objectifs environnementaux ambitieux, favoriser et accompagner le développement d'une filière française.

Ces besoins peuvent servir ensuite de base pour :

- La rédaction des textes d'appels à projets de financement ;
- La programmation de la recherche au sein de l'ADEME et d'autres institutions.

Ces priorités de recherche et d'expérimentation proviennent du croisement entre les visions et les verrous, mais prennent également en compte les capacités françaises dans les domaines de la recherche et de l'industrie.

Dans un contexte de réchauffement climatique et de forte hausse du taux d'équipement en pompes à chaleur et en équipements de climatisation, l'ADEME a accompagné les professionnels dans la constitution de sa feuille de route de la filière thermodynamique de production d'eau chaude sanitaire, chauffage et refroidissement dans le bâtiment.

1.2. Le mot d'UNICLIMA

Uniclimate, le syndicat français des industriels du génie climatique, tient à remercier l'ADEME pour le copilotage de cette feuille de route des systèmes thermodynamiques. Uniclimate remercie également l'ensemble des personnes ayant participé à son élaboration.

Cette filière manquait jusqu'alors de lisibilité sur son état des lieux, ses perspectives et ses enjeux, notamment en matière de R&D et de structuration de la filière.

C'est donc chose faite grâce à la feuille de route des systèmes thermodynamiques qui va permettre aux pouvoirs publics et aux décideurs de mieux connaître cette filière, de s'approprier ses atouts et ses besoins.

La filière aura désormais pour ambition de mettre à jour cette feuille de route régulièrement.

1.3. Constitution du groupe de travail

Maîtrise d'ouvrage



Céline Laruelle
Ingénieur
Service Bâtiment



Valérie Laplagne,
Responsable PAC et EnR



Emmanuelle Brière
Responsable Froid, Conditionnement d'air,
Pompes à chaleur Air/Air, Chef de projet PEP
(Profil Environnemental Produit)

Assistance à Maîtrise d'ouvrage



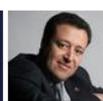
Aurélien Alfaré
co-animation, expertise
technique, feuille de route



Louis Marie-Blanchard
Animation des plénières



Pierre Baux, Matthieu
Engles
co-animation, expertise
technique, feuille de route



Laurent Mellah
Appui animation pour les
réunions distancielles

Participants aux groupes de travail

Fabricants



atlantic



BDR THERMEA FRANCE



HITACHI
Air conditioning solutions



STIEBEL ELTRON



VIESMANN

Associations représentatives de la filière



Centres scientifiques et techniques



Fournisseurs et distributeurs d'énergie



Pouvoirs publics



**MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES
ET DE LA RELANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**MINISTÈRE
DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES
ET DES RELATIONS
AVEC LES COLLECTIVITÉS
TERRITORIALES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



DGE



DHUP



DGPR



DGEC

2. Présentation de la feuille de route

2.1. La filière « systèmes thermodynamiques » au sens de la feuille de route

Dans le cadre de cette feuille de route, un système thermodynamique désigne un équipement qui met en œuvre un fluide frigorigène au sein d'un cycle thermodynamique pour produire de la chaleur et/ou du froid afin de fournir un service de chauffage et/ou de refroidissement et/ou de production d'eau chaude dans un bâtiment résidentiel et/ou un bâtiment tertiaire. Il ne participe en revanche pas à un process : les systèmes pour chambre froide ou réfrigérateur par exemple sont exclus.

Il peut être alimenté par l'électricité, le solaire, le gaz ou de manière « hybride ».

Cette famille de systèmes regroupe de nombreux équipements détaillés plus loin. Ils ont en commun leur principe général de fonctionnement, les services rendus ainsi qu'une place essentielle dans la transition écologique des bâtiments au regard de leurs performances environnementales (énergie et émissions de gaz à effet de serre notamment).

Le terme « filière » souligne que nous nous intéressons à l'ensemble de la chaîne permettant au consommateur final d'utiliser la technologie : fabricants, prescripteurs, bureaux d'études, commerciaux, installateurs, services de maintenance...

2.2. Pourquoi une feuille de route ?

2.2.1. Les systèmes thermodynamiques, à la croisée d'enjeux essentiels

2.2.1.1. Enjeux énergétiques et climatiques

Les bâtiments résidentiels et tertiaires représentaient, en 2019, **46% de la consommation d'énergie finale française** (Figure 1) et environ **17% des émissions de gaz à effet de serre (GES)** de l'inventaire national et 24% des émissions liées à l'utilisation de l'énergie (Figure 2).

Dans le secteur Résidentiel, ces consommations énergétiques et ces émissions de gaz à effet de serre sont largement dominées par les usages chauffage (autour de 70%¹) et eau chaude sanitaire (autour de 20%). Dans le secteur Tertiaire les répartitions sont très différentes selon le sous-secteur (bureau, hôtel, santé, éducation, etc. que nous détaillons plus loin), mais, tous sous-secteurs confondus, le chauffage reste le premier poste de consommation d'énergie (suivi par l'électricité spécifique) et il constitue avec l'ECS et la climatisation environ 65% des consommations énergétiques² et une part plus élevée des émissions de gaz à effet de serre (l'usage chauffage notamment étant plus carboné que l'usage électricité spécifique).

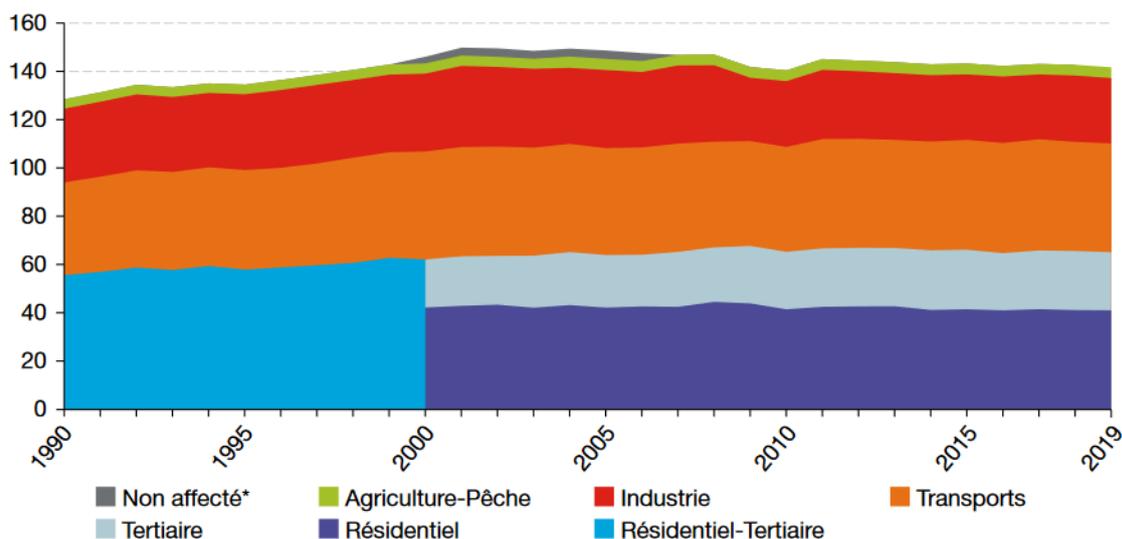
La réduction des consommations énergétiques et la décarbonation des usages chauffage, froid, ECS en Résidentiel et Tertiaire sont donc des enjeux essentiels pour l'atteinte par la France de ses engagements environnementaux et notamment de l'Accord de Paris. Les systèmes thermodynamiques font partie des solutions pour faire face à ces enjeux.

¹ Chiffres clés climat air énergie ADEME 2018 : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/2018-climat-air-energie_chiffres-cles-010354.pdf

² Chiffres clés climat air énergie ADEME 2018 : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/2018-climat-air-energie_chiffres-cles-010354.pdf

CONSOMMATION FINALE ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR TOTAL : 142 Mtep en 2019 (corrégées des variations climatiques)

En Mtep (données corrigées des variations climatiques)

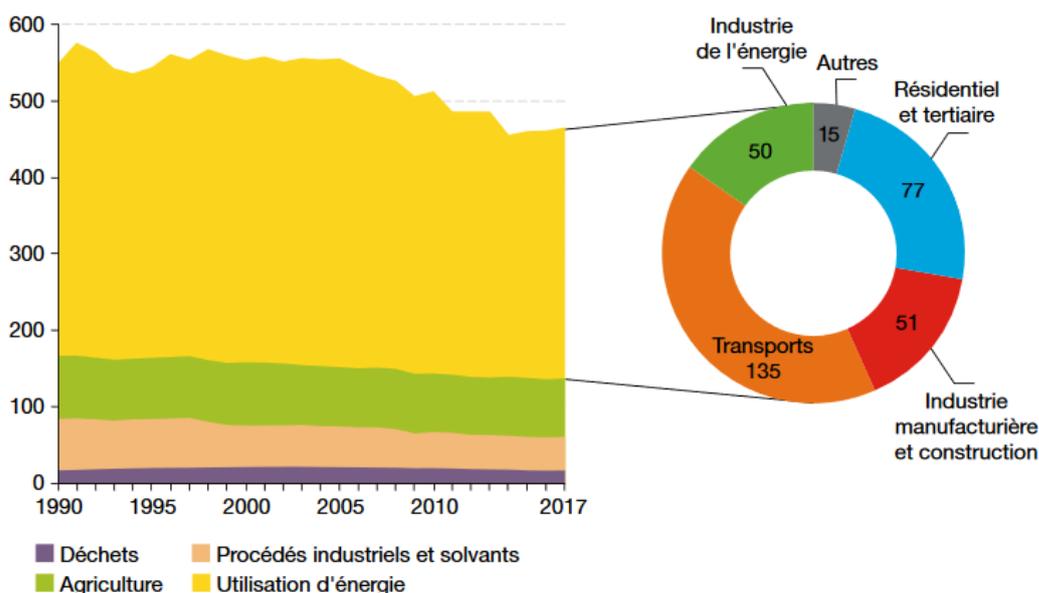


* La répartition de la chaleur par secteur consommateur n'est pas disponible entre 2000 et 2006.
Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DOM.
Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Figure 1 : Répartition de la consommation finale par secteur (Source : SDES, Chiffres clés de l'énergie - Édition 2020, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2020-0?rubrique=19&dossier=170>)

RÉPARTITION PAR SOURCE DES ÉMISSIONS DE GES EN FRANCE ENTRE 1990 ET 2017

En Mt CO₂ éq



Source : AEE, 2019

Figure 2 : Répartition des GES de l'inventaire national entre 1990 et 2017 (Source : SDES, Chiffres clés du climat 2020, https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-11/datalab-62-chiffres-cles-du-climat-france-europe-monde-edition2020-novembre2019_0.pdf)

2.2.1.2. Enjeux socio-économiques

La filière thermodynamique peut participer à l'amélioration des conditions socio-économiques dans plusieurs domaines, de l'activité économique et l'emploi à la précarité énergétique.

Du côté de l'offre, elle représente plusieurs dizaines de milliers d'emplois et plusieurs milliards de chiffres d'affaires, comme l'illustre la Figure 3 (pourtant limitée à la filière strictement « pompe à chaleur électrique »).



Figure 3 : Poids de la filière PAC électriques (Source : AFPAC, *La Pompe à Chaleur au centre de la Transition énergétique*, https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-au-centre-de-la-transition-energetique-une-filiere-prete-a-relever-les-enjeux-de-la-relance_a621.html)

Côté consommateurs, la filière thermodynamique peut participer à révéler le défi de la **réduction des factures d'énergie des ménages**, voire la réduction de la **précarité énergétique**. En effet, selon l'Observatoire National de la Précarité Énergétique³ (ONPE) 15% des Français ont souffert du froid dans leur logement pendant au moins 24h au cours de l'hiver 2018 et 11,7% des Français dépensent plus de 8% de leurs revenus dans leur facture énergétique et sont parmi les plus modestes. Cependant, les coûts d'investissement peuvent être élevés et il est donc important que les ménages les plus précaires soient accompagnés par des aides élevées ou des solutions de type « tiers investissement ».

La facture énergétique est aussi un enjeu dans le Tertiaire. A titre d'exemple l'INSEE avait analysé en 2014 (sur les données 2011) les factures énergétiques du secteur tertiaire marchand⁴, elle montrait que la facture totale d'énergie dépassait les 17 milliards d'euros et qu'elle portait en grande partie (même si variable suivant les secteurs) sur le chauffage, le froid et l'eau chaude sanitaire (Figure 4).

³ https://onpe.org/sites/default/files/chiffres_cles2.pdf

⁴ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281370>

Secteur d'activité ¹	Quantités achetées (milliers de tep ²)	Usages liés ...	
		... au fonctionnement ³ de l'établissement (%)	... à l'activité ⁴ de l'établissement (%)
Hébergement et restauration	3 104	56,4	43,6
Commerce ; réparation d'automobiles et de motocycles ; artisanat commercial	7 352	65,2	34,8
Information et communication	585	66,7	33,3
Activités spécialisées, scientifiques et techniques	2 153	75,1	24,9
Autres activités de services	840	77,8	22,2
Activités de services administratifs et de soutien	1 520	80,5	19,5
Activités financières et d'assurance	1 690	80,7	19,3
Activités immobilières	460	89,5	10,5
Ensemble	17 704	69,0	31,0

1. Les secteurs d'activité correspondent aux sections de la NAF rév. 2 (voir sources).

2. Tonnes d'équivalent pétrole. Voir définitions.

3. Usages liés au fonctionnement de l'établissement : éclairage, chauffage, climatisation et ventilation des bâtiments, eau chaude sanitaire et fonctionnement des équipements bureautiques.

4. Usages liés à l'activité de l'établissement : cuisson, informatique intensive, blanchisserie, réfrigération, autres usages.

Champ : France, établissements des secteurs tertiaires principalement marchands, y compris artisanat commercial, hors transports et entreposage.

Source : Insee, enquête sur les consommations d'énergie dans le tertiaire.

Figure 4 : Achats d'énergie par secteur d'activité et type d'usage en 2011 (Source : INSEE)

2.2.2. Une feuille de route pour faciliter l'atteinte d'une vision partagée

Au regard des enjeux très forts présentés ci-dessus et des évolutions qui en découlent (engagement de la France dans l'Accord de Paris, concurrence économique sur les systèmes performants, etc.) la filière thermodynamique a souhaité se doter d'une feuille de route, d'une boussole pour orienter son activité économique, des fabricants aux installateurs en passant par les concepteurs.

La présente feuille de route est un outil stratégique présentant un état des lieux de la filière, une vision et des pistes d'action dont chacune et chacun devra se saisir pour passer de l'état des lieux à la vision.

Cette feuille de route est le résultat d'un travail concerté de l'ensemble des acteurs de la filière. Elle peut donc être portée aisément auprès des pouvoirs publics et des partenaires économiques.

2.3. Périmètre d'analyse

2.3.1. Horizon temporel

La feuille de route porte exclusivement sur la période 2020 – 2030 afin de présenter des actions concrètes à mener dans les mois et années à venir.

2.3.2. Résidentiel et Tertiaire, Neuf et Rénovation

La feuille de route porte sur l'ensemble des bâtiments résidentiels et tertiaires (segmentation CEREN exposée dans le Tableau 1), en neuf comme en rénovation, elle exclut en revanche le secteur industriel.

Branche CEREN	Sous-Branches
Cafés, Hôtels, Restaurants	Hôtels et hébergements similaires ; Restaurants ; Cafés, cantines, traiteurs
Habitat communautaire	Maisons de retraite ; Autres habitats communautaires
Santé	Activités hospitalières ; Autres activités de la branche
Enseignement	Enseignement primaire ; Collèges ; Lycées ; Enseignement supérieur, Recherche
Sport, culture, loisirs, équipements collectifs divers	Equipements collectifs ; Locaux sportifs ; Locaux culturels
Bureaux et administration	Bureaux de l'Etat ; Bureaux des collectivités ; Secteur privé fortement informatisé ; Reste du secteur privé
Commerce	Entrepôts ; Commerce de gros ; Grand commerce alimentaire Petit commerce alimentaire ; Activités avec process ; Commerce de détail non alimentaire
Transport	« Le Ceren retient en sus des activités traditionnelles du Tertiaire une branche «Transport». Les consommations d'énergie couvertes par nos enquêtes concernent exclusivement les consommations des bâtiments d'établissements relevant de ce secteur : aéroports, gares, ports autonomes, locaux des compagnies de taxi, des transporteurs routiers... Ces consommations n'incluent donc pas les consommations des véhicules (routiers, aériens, ferroviaires, maritimes) de ces établissements. »

Tableau 1 : Branches et sous branches tertiaires au sens du CEREN

2.4. Structuration et Utilisation de la feuille de route

Cette feuille de route est structurée en 3 grandes parties :

1. Un état des lieux des systèmes thermodynamiques en 2020
2. L'expression de la vision de la filière pour 2030 et sa déclinaison en objectifs opérationnels
3. La feuille de route synthétique pour passer de l'état des lieux 2020 à la vision 2030

La première partie expose l'état des lieux et ses grands déterminants. Elle vise à donner les informations nécessaires aux parties prenantes extérieures à la filière pour qu'elles comprennent les dynamiques à l'œuvre. Elle est aussi utile aux membres de la filière pour qu'ils acquièrent une vision globale.

La deuxième partie, plus courte, propose une vision à 2030 et une déclinaison en objectifs opérationnels en termes de ventes. Elle a vocation à rassembler la filière sous un même objectif exprimé dans la vision globale. Cette vision peut et doit être partagée au sein de la filière et

avec les parties prenantes externes. Les déclinaisons opérationnelles permettent de comprendre les ordres de grandeur à atteindre.

La troisième partie synthétise les travaux des huit groupes de travail thématiques (GTT) et expose les pistes d'action qui ont été sélectionnées parmi les propositions des GTT pour atteindre la vision 2030 ainsi que les prises de position communes. Elle doit être utilisée par les membres de la filière pour mettre en place leurs propres programmes d'action. Elle doit être portée auprès des parties prenantes externes pour partager, discuter et améliorer conjointement les propositions.

3. Etat des lieux 2020

3.1. Contexte général pour les systèmes thermodynamiques

3.1.1. Changements climatiques

Les changements climatiques induisent une obligation de **réduire nos émissions de gaz à effet de serre**. Comme nous l'avons exposé plus haut, c'est un enjeu essentiel auquel le secteur des systèmes thermodynamiques peut apporter des réponses concrètes.

A l'inverse, les changements climatiques déjà constatés ont un impact sur les systèmes thermodynamiques eux-mêmes. Ainsi, la **baisse des besoins de chauffage⁵** et **l'augmentation des jours chauds⁶** (température et fréquence) et de la fréquence et de la sévérité des canicules et des problématiques de confort d'été qui y sont liées sont à prendre en compte. Les systèmes thermodynamiques doivent ainsi offrir un service de chauffage dont la puissance sera peut-être limitée et doivent s'intégrer au mieux aux stratégies globales de maîtrise des hautes températures. Ces stratégies impliquent **des approches bioclimatiques à l'échelle du bâtiment mais aussi des quartiers et des villes** visant à limiter le besoin de climatisation active. Il s'agit donc pour les systèmes thermodynamiques de s'intégrer à ces stratégies globales.

3.1.2. Réglementation F-Gas

Les systèmes thermodynamiques utilisés pour le chauffage, le refroidissement ou la production d'eau chaude sanitaire participent partiellement aux émissions de gaz à effet de serre via leurs fluides frigorigènes dont le pouvoir de réchauffement global (PRG ou GWP en anglais) peut être élevé.

Depuis la signature du Protocole de Montréal en 1987, différentes réglementations ont été mises en place aux niveaux européen et national afin de limiter l'impact environnemental des fluides frigorigènes (cf. Figure 5).

⁵ <http://climaplusconfort.pyc.ylly.fr/Actualites/Fiche/2554>

⁶ <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/impacts-du-changement-climatique-sur-les-phenomenes-hydrometeorologiques/changement-climatique-et-canicules>

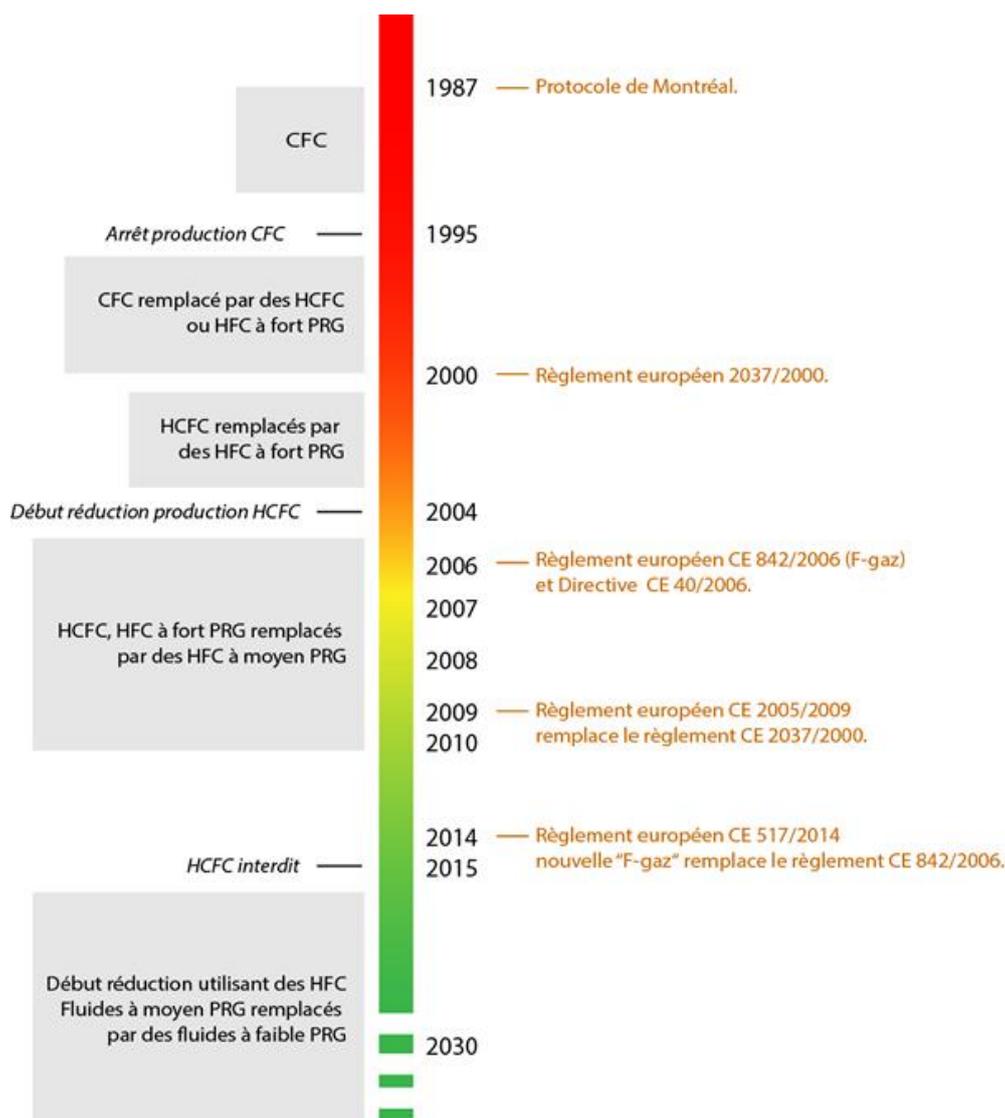


Figure 5 : Récapitulatif des réglementations en lien avec les fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes thermodynamiques (Source : <https://energieplus-lesite.be/reglementations/climatisation-et-refrigeration3/reglementation-des-fluides-frigorigenes/>)

Le règlement européen F-Gas révisé en 2015 (n°517/2014 UE) a interdit de façon générale l'utilisation des fluides de type HCFC car ils étaient nocifs pour la couche d'ozone (exemple : R22), et incite à l'utilisation de fluides ayant un PRG plus faible (mélanges HFC, HFO, HC, CO₂, NH₃...).

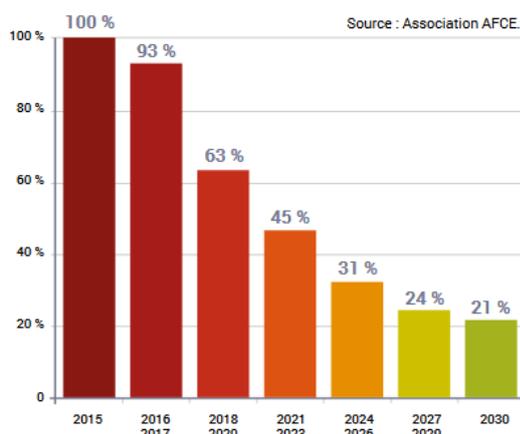
Ce règlement a pour **objectif de diviser par 5 les émissions de GES liées aux gaz fluorés⁷ entre 2015 et 2030**, via un système de quotas et des interdictions de mise sur le marché comme le montre la Figure 6 issue de l'analyse d'UNICLIMA⁸. Une révision est prévue par la commission européenne en 2022.

⁷ Gaz fluorés : HFC, PFC, SF₆

⁸

https://www.uniclimate.fr/userfiles/Doc/Guides%20Techniques%20Uniclimate/uniclimate_livret%20fluides%20hfc%202020.pdf

OBJECTIFS F-GAS EN MOYENNE



CLIM DOMESTIQUE ET CONFORT

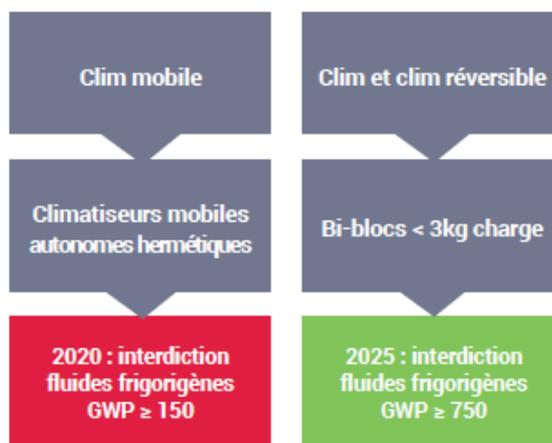


Figure 6 : Objectifs de réduction des PRG moyens et interdictions de mise sur le marché pour les équipements neufs (Source : UNICLIMA)

Les industriels développent alors des équipements utilisant de nouveaux fluides frigorigènes (Figure 7) qui pénètrent peu à peu le marché. Ces fluides frigorigènes engendrent aussi des enjeux spécifiques, notamment dans le domaine des risques incendie car certains sont inflammables. Il en découle de nouveaux défis en termes de conception des systèmes et de formation des intervenants et de communication auprès des clients finaux et des prescripteurs.

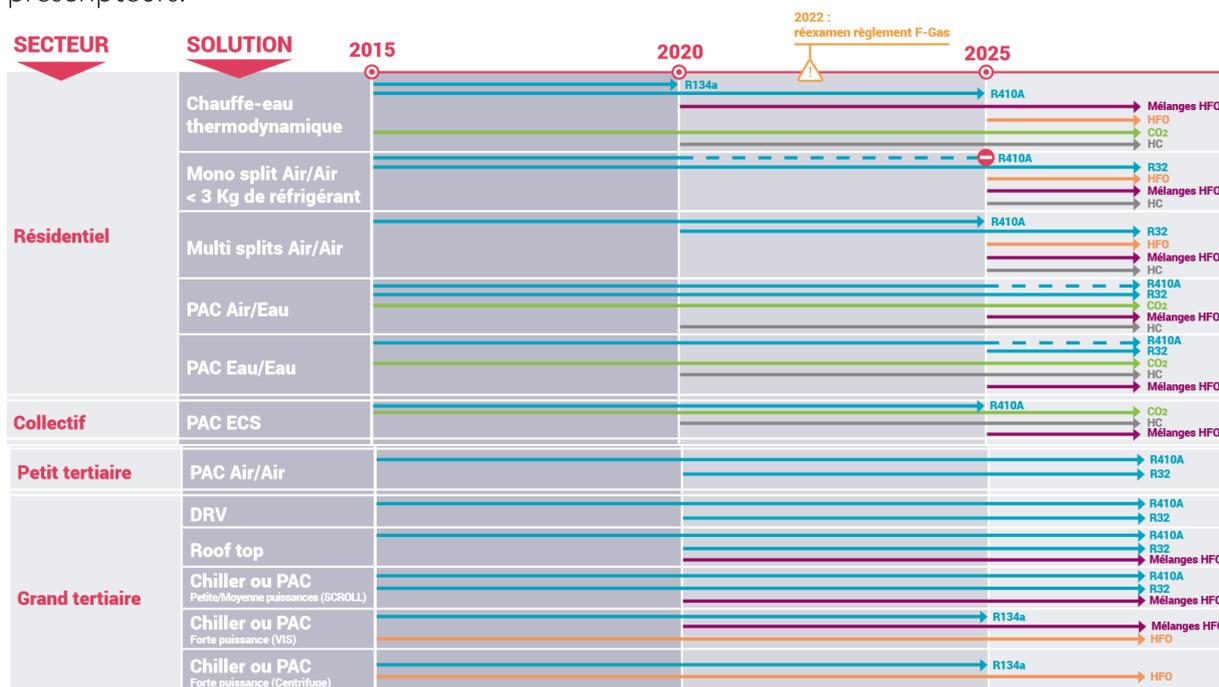


Figure 7 : Vision des solutions proposées par les industriels sur 10 ans (Source : UNICLIMA)

3.1.3. Réglementations thermiques des bâtiments et DPE

La part élevée des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre dues au chauffage et au refroidissement des bâtiments a poussé le législateur à mettre en place des réglementations thermiques pour les bâtiments neufs et les bâtiments existants, résidentiels et tertiaires.

Aujourd'hui, les bâtiments existants sont principalement soumis à la RT Existant⁹ et les bâtiments neufs à la RT 2012¹⁰. Ces réglementations limitent la consommation énergétique des bâtiments neufs ou en cours de rénovation, elles mettent en avant les systèmes les plus performants sur la base de calculs conventionnels. Il est donc essentiel pour chaque filière de bien positionner « ses » systèmes en apportant des preuves de leurs performances et des propositions de méthodes de calculs et de conventions, par exemple sur le passage entre l'énergie finale délivrée au consommateur et l'énergie primaire puisée dans la « nature ».

La nouvelle réglementation « thermique » pour les bâtiments neufs, qui va remplacer la RT 2012 sera une réglementation dite « environnementale », RE 2020¹¹. Elle visera toujours à limiter les consommations énergétiques des bâtiments mais aussi leurs émissions de gaz à effet de serre et plus largement leurs impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie.

Outre ces réglementations, les bâtiments neufs et existants doivent afficher une étiquette énergie et une étiquette climat (lors de la construction, de la vente ou de la location) dans le cadre du Diagnostic de Performance Énergétique¹² (DPE). Le DPE vient de faire l'objet d'évolutions méthodologiques et conventionnelles fortes¹³.

Deux évolutions conventionnelles concernent les réglementations thermiques et le DPE : le coefficient de passage de l'énergie finale à l'énergie primaire (Cep) passe de 2,58 à 2,3 et le contenu CO₂ de l'électricité passe de 210gCO₂/kWh à 79gCO₂/kWh pour le chauffage. Ces évolutions devraient fortement avantager les systèmes thermodynamiques électriques.

3.1.4. Aides et subventions aux équipements performants pour les particuliers

Les équipements les plus performants dans le bâtiment peuvent bénéficier de différentes aides et subventions. Les principales aides accessibles aujourd'hui ont été compilées par l'ADEME¹⁴:

- MaPrimeRénov'
- L'éco-prêt à taux zéro
- La TVA à taux réduit
- Le programme « Habiter Mieux » de l'Anah
- Les aides des fournisseurs d'énergie (dispositif des certificats d'économie d'énergie) et surtout les « coups de pouce », mis en place par les pouvoirs publics, qui bonifient les CEE
- Le chèque énergie
- L'exonération de la taxe foncière
- Les aides des collectivités locales
- L'aide des caisses de retraite
- Le dispositif Denormandie
- Les aides d'Action Logement
- Des prêts pour améliorer l'habitat

En raison de leur nombre et leur diversité, les pouvoirs publics ont développé un outil permettant à un ménage de simuler son projet de travaux et d'être informé sur les aides auxquelles il a droit : <https://www.faire.gouv.fr/aides-de-financement/simulaid.es>.

⁹ <http://www.rt-batiment.fr/presentation-generale-dispositif-a35.html>

¹⁰ <http://www.rt-batiment.fr/presentation-a12.html>

¹¹ <http://www.batiment-energiecarbone.fr/>

¹² <http://www.rt-batiment.fr/presentation-a43.html>

¹³ https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2021.02.15_ew_dp_dpe.pdf

¹⁴ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-aides-financieres-renovation-habitat-2020.pdf>

Ces aides peuvent réduire l'investissement total de manière significative, comme le révèle l'exemple de Ma Prime Renov' (Tableau 2). Le fait qu'un système soit ou non soutenu a un impact financier qui peut être majeur dans son déploiement en logements individuels et collectifs. Cet impact est beaucoup plus modéré en tertiaire.

MONTANTS DES PRIMES POUR DES TRAVAUX RÉALISÉS DE FAÇON INDIVIDUELLE
(en maison individuelle ou appartement en habitat collectif)

Équipements et matériaux éligibles	Aide pour les ménages			
	aux ressources très modestes	aux ressources modestes	aux ressources intermédiaires	aux ressources supérieures
CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE				
Chaudière gaz à très haute performance énergétique pour les bâtiments non raccordés à un réseau de chaleur vertueux aidé par l'ADEME	1 200 €	800 €	non éligible	non éligible
Raccordement à un réseau de chaleur et/ou de froid en Métropole et Outre-mer	1 200 €	800 €	400 €	non éligible
Chauffe-eau thermodynamique	1 200 €	800 €	400 €	non éligible
Pompe à chaleur air/eau (dont PAC hybrides)	4 000 €	3 000 €	2 000 €	non éligible
Pompe à chaleur géothermique ou solarothermique (dont PAC hybrides)	10 000 €	8 000 €	4 000 €	non éligible
Chauffe-eau solaire individuel (et dispositifs solaires pour le chauffage de l'eau)	4 000 €	3 000 €	2 000 €	non éligible
Système solaire combiné (et dispositifs solaires pour le chauffage des locaux)	Pour les dossiers déposés en 2020			
	8 000 €	6 500 €	3 000 €	non éligible
	Pour les dossiers déposés en 2021			
	10 000 €	8 000 €	4 000 €	non éligible
Partie thermique d'un équipement PVT eau (système hybride photo-voltaïque et thermique)	2 500 €	2 000 €	1 000 €	non éligible
Poêle à bûches et cuisinière à bûches	2 500 €	2 000 €	1 000 €	non éligible
Poêle à granulés et cuisinière à granulés	3 000 €	2 500 €	1 500 €	non éligible
Chaudière bois à alimentation manuelle (bûches)	8 000 €	6 500 €	3 000 €	non éligible
Chaudière bois à alimentation automatique (granulés, plaquettes)	10 000 €	8 000 €	4 000 €	non éligible
Foyer fermé et insert à bûches ou à granulés	2 000 €	1 200 €	600 €	non éligible

10 | Aides financières 2020 MaPrimeRénov'

ISOLATION THERMIQUE				
Isolation des murs par l'extérieur (surface de murs limitée à 100 m ² depuis le 15 juillet 2020)	75 €/m ²	60 €/m ²	40 €/m ²	15 €/m ²
Isolation des murs par l'intérieur	25 €/m ²	20 €/m ²	15 €/m ²	7 €/m ²
Isolation des rampants de toiture ou des plafonds de combles	25 €/m ²	20 €/m ²	15 €/m ²	7 €/m ²
Isolation des toitures terrasses	Pour les dossiers déposés en 2020			
	100 €/m ²	75 €/m ²	non éligible	non éligible
	Pour les dossiers déposés en 2021			
	75 €/m ²	60 €/m ²	40 €/m ²	15 €/m ²
Isolation des parois vitrées (fenêtres et portes-fenêtres) en remplacement de simple vitrage	100 €/équipement	80 €/équipement	40 €/équipement	non éligible
Protection des parois vitrées ou opaques contre le rayonnement solaire (uniquement pour l'Outre-mer)	25 €/m ²	20 €/m ²	15 €/m ²	non éligible
AUTRES TRAVAUX				
Audit énergétique hors obligation réglementaire	500 €	400 €	300 €	non éligible
Ventilation double flux	4 000 €	3 000 €	2 000 €	non éligible
Dépense de cuve à fioul	1 200 €	800 €	400 €	non éligible
Forfait « rénovation globale »	-	-	7 000 €	3 500 €
Forfait pour « Assistance à maîtrise d'ouvrage »	150 €	150 €	150 €	150 €
Forfait « Bonus pour les travaux permettant de sortir du statut de passoire énergétique »	1 500 €	1 500 €	1 000 €	500 €
Forfait « Bonus Bâtiment Basse Consommation »	1 500 €	1 500 €	1 000 €	500 €

Aides financières 2020 MaPrimeRénov' | 11 |

Tableau 2 : Exemple de montants d'aides pour les particuliers via Ma Prime Renov' (Source : ADEME)

3.1.5. Réglementations relatives à l'économie circulaire

Les systèmes thermodynamiques engendrent des impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie, comme tout produit et tout service. Ils sont donc soumis aux réglementations mises en place par les pouvoirs publics français et européens pour réduire la pression globale sur l'environnement.

Les principales réglementations dans ce domaine sont la RE 2020 (à l'échelle du bâtiment pour les bâtiments neufs) ainsi que les textes spécifiques à l'échelle du produit, relatifs à l'éco-conception, à l'économie circulaire et aux déchets : notamment la responsabilité Élargie des Producteurs¹⁵ (REP DEEE), la directive eco-design¹⁶ et la F-Gas (voir plus haut). Les enjeux liés à l'économie circulaire pour les équipements thermodynamiques, ont été résumés dans une récente étude de l'AFPAC¹⁷. De nouvelles réglementations sur le sujet sont en cours, en application de la loi AGEC (anti gaspillage pour une économie circulaire) et la loi Climat et Résilience (lutte contre le dérèglement climatique et le renforcement de la résilience face à ses effets).

¹⁵ <https://www.ecologie.gouv.fr/cadre-general-des-filières-responsabilité-elargie-des-producteurs>

¹⁶ https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/product-policy-and-ecodesign_en

¹⁷ https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-Au-prisme-de-l-economie-circulaire_a540.html

3.1.6. Industrie française

La crise sanitaire a **révélé l'importance d'un tissu industriel français**. Le secteur des systèmes thermodynamiques se saisit donc de cet enjeu et certains industriels font du « made in France » un argument commercial.¹⁸

D'un point de vue industriel et de création de valeur en France, les systèmes thermodynamiques (limités ici aux PAC), présentent de nombreux atouts, comme le montre l'AFPAC¹⁹ :

- « 60 % de la valeur d'une PAC air-eau installée en rénovation chez un particulier (+/-12k€ HT) sont liés aux coûts de distribution et d'installation non délocalisables, d'autant plus que les installateurs doivent être qualifiés RGE pour les PAC, ce qui est une spécificité française.
- **La part de marché des PAC chauffage produites et vendues en France est légèrement inférieure à 50 %**, le solde provenant principalement de pays européens (Belgique, République tchèque, Royaume Uni, Espagne).
- **Les importations de produits finis d'Asie sont minoritaires**. Mais des composants importants (notamment l'unité extérieure) pouvant représenter 10 à 15 % de la valeur totale d'une installation sont, selon les fabricants, importés d'Asie. Cette partie est potentiellement localisable en France concernant les fabricants implantés sur notre territoire.
- 85 % des PAC ECS (CET) sont produites en France avec un fort contenu européen. »
- **Plus de 50 % des groupes de production d'eau glacée ou des roof top**, installés dans les bâtiments tertiaires ou industriels et exportés en Europe ou en Angleterre, sont fabriqués en France.
- Pour les équipements de climatisation, les principaux fabricants produisent une partie en Europe (Belgique, Italie, République Tchèque, Ecosse...). Pour les climatiseurs monobloc ou de petite puissance, les importations directes d'Asie existent également et elles sont majoritaires en départements d'Outre-Mer.

3.1.7. Emploi et formation

Comme exposé plus haut, la filière systèmes thermodynamiques représente plusieurs dizaines de milliers d'emplois en France. Il est à **noter qu'il existe des métiers essentiels à la filière qui sont en tension, c'est-à-dire que les besoins existent mais que les entreprises peinent à recruter** : techniciens d'installation de pompes à chaleur, frigoristes, techniciens de maintenance. Ces emplois ont été identifiés dans le cadre du Comité Stratégique de Filière Industries des Nouveaux Systèmes énergétiques. L'AFPAC précise d'ailleurs que la filière PAC créera 20 000 emplois dans les 10 ans à venir dont :

- 2000 dans les métiers de l'industrie
- 3000 dans les métiers de la distribution
- 5000 dans les métiers de l'installations
- 10 000 dans les métiers de la maintenance

En termes de formation initiale et continue, il est évident que les enjeux listés au-dessus induisent de forts besoins d'accompagnement des évolutions de compétences des travailleurs de la filière. Les principaux enjeux dans ce domaine sont :

- Le nombre encore trop limité d'entreprises intervenant dans l'installation des PAC :

¹⁸ Certains fabricants comme Frisquet font du « made in France » un argument commercial

¹⁹ https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-au-centre-de-la-transition-energetique-une-filiere-prete-a-relever-les-enjeux-de-la-relance_a621.html

- Près de 18 000 entreprises attestées (soit 32 000 personnes) pour la manipulation des fluides frigorigènes type HFC (au 1er juin 2019, catégories 1 à 4 pour la climatisation -dont PAC- et la réfrigération)
- Entreprises qualifiées en PAC (couvre les domaines PAC Air/eau, PAC Géo, PAC Air/Air) : 8000 entreprises qualifiées en PAC, 500 entreprises qualifiées en CET
- Opérateurs compétents pour mettre en œuvre les nouveaux fluides dont une grande partie est inflammable
- Il existe globalement une bonne couverture de formation en PAC (68 centres en 2019) mais il faudra probablement prévoir un renforcement à l'avenir.

L'AFPAC se mobilise sur le recrutement des jeunes et des moins jeunes dans les filières thermodynamiques avec 3 grands axes de travail synthétisés dans le Tableau 3.

Des actions simples vers deux cibles identifiées	Cible 1	Cible 2
Informer pour donner envie d'intégrer le métier et se former en amont >	Jeunes et leurs parents	Personnes en reconversion professionnelle
Être partenaire de la formation initiale >	Dotations de moyens pédagogiques nouveaux	-
Être partenaire du retour à l'emploi >	-	Définition des parcours de formation adaptés

Tableau 3 : Axes d'action de l'AFPAC pour l'attractivité et la formation

3.1.8. Qualité

La qualité des produits - de leur conception comme de leur mise en œuvre - est essentielle. C'est pourquoi, il existe tout un corpus de réglementations et de directives européennes qui définissent des exigences en termes de sécurité, de performance et d'environnement. Les metteurs sur le marché doivent les appliquer pour pouvoir apposer le marquage CE sur les produits et permettre leur commercialisation sur le marché communautaire.

Pour tenir compte des spécificités locales, ces réglementations peuvent être complétées à l'échelle nationale par des réglementations ou des règles de l'art à destination des professionnels de la filière (exemple : DTU).

Toutefois, des contre-références ont été constatées notamment en maison individuelle dans les années 2008 à 2010. Face à ces enjeux, la filière PAC a mis en place des systèmes de certification des équipements et de qualification des installateurs résumés dans la Figure 8. La filière a également élaboré le DTU 65.16 paru fin 2017.



Figure 8 : Principales certifications et qualifications pour les PAC (Source : AFPAC)

3.1.9. Crise du COVID

La crise sanitaire touche la majorité des secteurs économiques dont la filière systèmes thermodynamiques. La santé de la plupart des entreprises est plutôt bonne malgré les circonstances, notamment grâce aux aides à l'installation en logements. Il est cependant à noter que les acteurs présents sur les marchés tertiaires souffrent plus que les autres en raison du ralentissement de l'activité économique (cafés, hôtels, etc.) et des incertitudes à venir (mutation du travail vers plus de télétravail ?).

3.1.10. Une dynamique mondiale en faveur des systèmes thermodynamiques

Cette feuille de route s'adresse spécifiquement au marché français mais il est notable que la dynamique à l'œuvre en France et en Europe est le reflet d'une vague mondiale en faveur des systèmes thermodynamiques, notamment électriques.

En effet, les enjeux énergétiques et climatiques liés aux bâtiments sont présents sur l'ensemble du globe (même s'ils diffèrent d'une zone climatique à l'autre) : l'Agence Internationale de l'Energie indique ainsi que les émissions de GES des bâtiments directes et indirectes représentent environ 40% des émissions mondiales et qu'elles ne sont pas (encore) sur la voie du scénario de développement durable (SDS) de l'Agence²⁰ comme le montre la Figure 9.

²⁰ <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020>

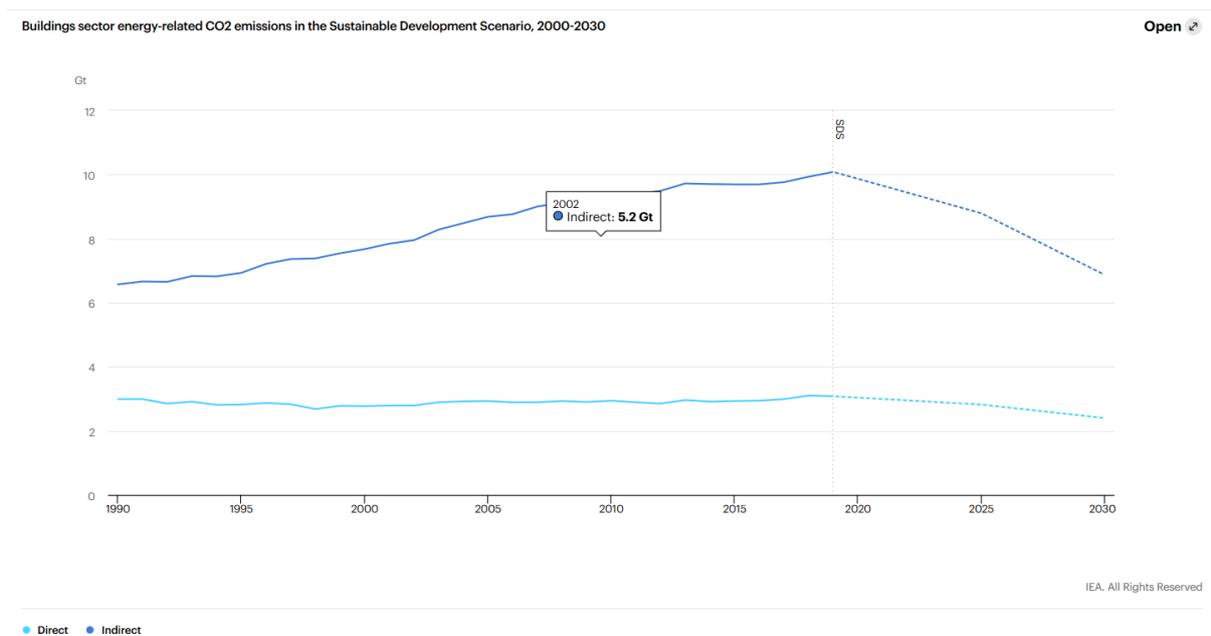


Figure 9 : Emissions de CO2 des bâtiments et trajectoire pour atteindre le SDS

Par ailleurs, les besoins et les ventes d'équipements de froid augmentent fortement dans l'ensemble des pays et l'AIE appelle de ses vœux une stratégie soutenable (Figure 10) pour que ces usages ne viennent pas contrecarrer les avancées en matière climatique.

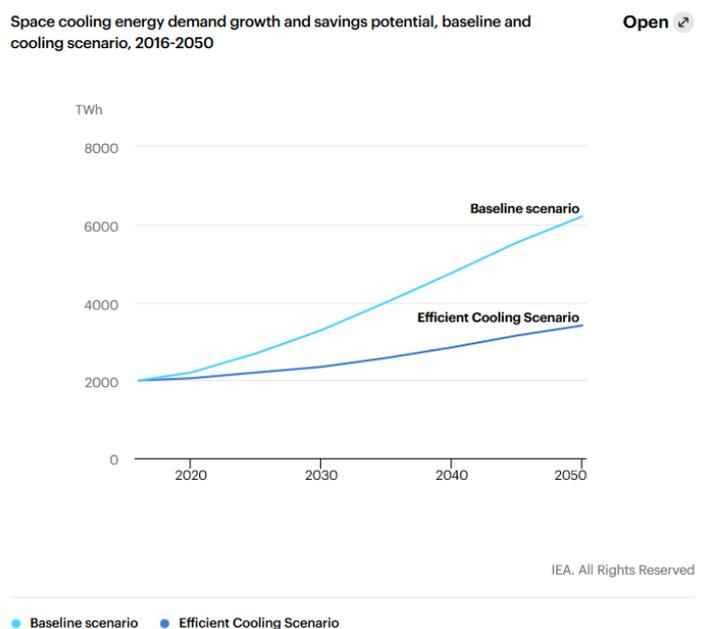


Figure 10 : Consommation d'énergie pour le froid selon un scénario de base ou un scénario soutenable (Source : AIE, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>)

Pour l'AIE, les systèmes thermodynamiques sont essentiels pour atteindre le SDS et l'Agence considère qu'il faut faire plus d'efforts dans ce domaine, plus particulièrement dans le domaine des PAC pour les logements. L'Agence indique²¹ que 20 millions de ménages ont acquis une PAC en 2019, que le marché n'est encore que partiellement développé et qu'il est tiré par la construction neuve mais que tous les types de PAC sont de mieux en mieux connues et que leurs performances augmentent régulièrement.

²¹ <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>

L'AIE fait aussi des recommandations pour favoriser le développement des PAC électriques :

- Abaisser les barrières à une adoption plus large, notamment en rénovation :
 - Mettre en place et conserver des subventions notamment dans l'existant
 - Adapter les offres liées aux PAC à la transformation du système électrique à venir (pénétration élevée des EnR) en offrant des solutions pour participer à la gestion de la demande électrique
- Repenser la construction des prix pour réduire l'écart entre le prix de l'électricité et le prix du gaz
- Poursuivre le renforcement des obligations de performance et des labels (qui tirent le marché vers le haut)

L'AIE a d'ailleurs récemment produit deux analyses intégrant les enjeux des systèmes thermodynamiques qui ont alimenté les travaux du groupe :

- Energy technology perspective 2020²²
- The future of cooling²³
- The critical role of buildings²⁴

3.1.11. Un secteur très innovant

Notre système économique repose en grande partie sur l'innovation technique. Or, le secteur des systèmes thermodynamiques innove dans de nombreux domaines dont notamment : compresseur inverter, fluides HFC à plus faible PRG, double service voire triple service, couplage avec la ventilation, etc.

3.2. Etat des lieux dans le Résidentiel

3.2.1. Le Parc résidentiel et la part des systèmes thermodynamiques

Le parc de logements français compte environ 29 millions de résidences principales composées de logements collectifs et de maisons individuelles (Figure 11). Ces dernières représentent un peu plus de la moitié des logements. Le parc de logements s'accroît d'environ 120 000 unités par an dont moins de 10% de maisons individuelles²⁵.

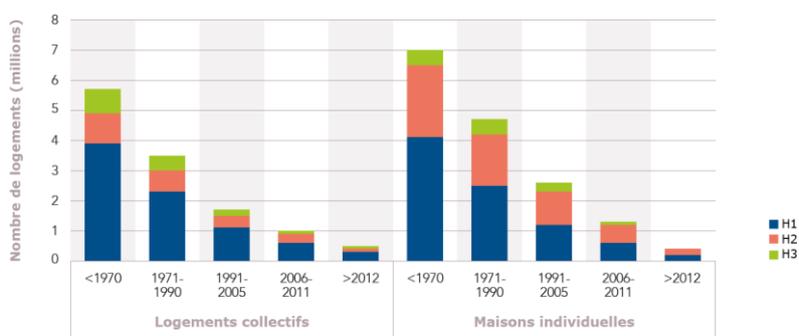


Figure 11 : Parc de résidences principales selon leur date de construction et la zone climatique en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE 2020²⁶ sur la base de chiffres CEREN)

Le rapport ADEME RTE sur les systèmes de chauffage²⁷ montre que les systèmes thermodynamiques sont actuellement minoritaires dans le parc des systèmes de

²² <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>

²³ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>

²⁴ <https://www.iea.org/publications/reports/PerspectivesfortheCleanEnergyTransition/>

²⁵ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/257>

²⁶ https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-01/Rapport%20chauffage_RTE_Ademe.pdf

²⁷ https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-01/Rapport%20chauffage_RTE_Ademe.pdf

chauffage en Résidentiel (Figure 12). Un constat identique peut être dressé pour les systèmes d'ECS (à dire d'expert). Dans les paragraphes suivants, nous détaillons les systèmes que l'on trouve ainsi que leurs parts respectives dans les différents marchés (maisons individuelles/logements collectifs, neuf/rénovation).

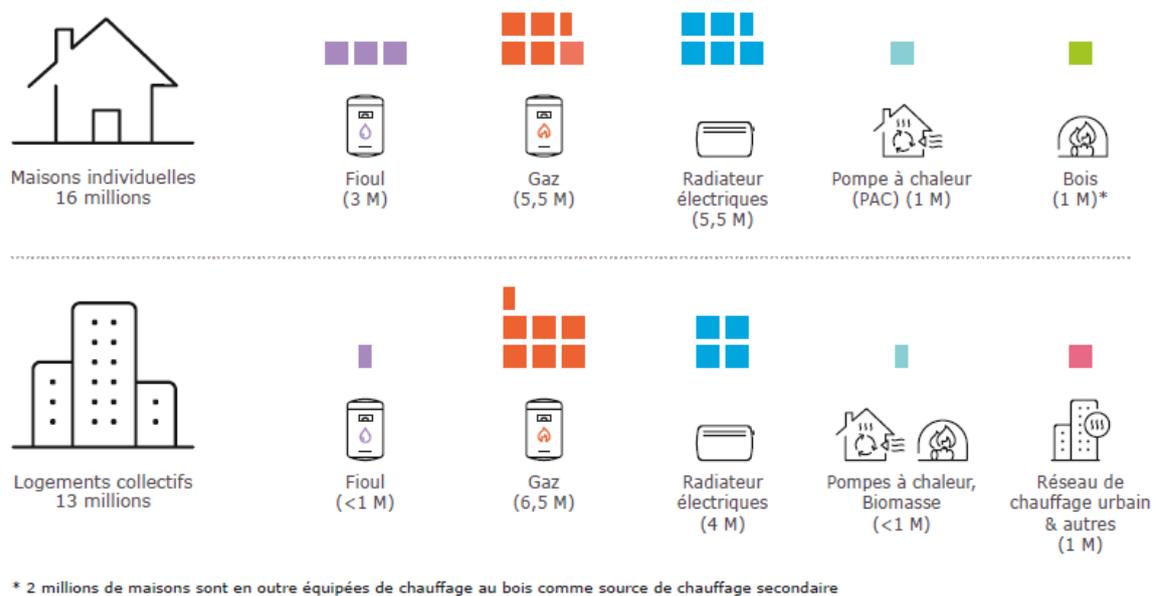


Figure 12 : Parc des installations principales de chauffage dans les résidences principales en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE sur la base de données SDES)

3.2.2. Les systèmes thermodynamiques en Résidentiel

Systèmes les plus courants (en termes de développement sur le marché)

Pour le chauffage ou le rafraîchissement et/ou la climatisation sur vecteur eau et la production d'ECS :

- Pour une installation sur émetteurs à eau muraux ou sur plancher
 - PAC électrique air/eau
 - PAC électrique géothermique
 - PAC hybride air/eau
- Pour une diffusion de chaleur ou de froid sur vecteur air
 - PAC air/air

Pour la production d'ECS uniquement, le chauffe-eau thermodynamique (CET) :

- Sur air extérieur
- Sur air extrait

Autres systèmes

- PAC sur réseau d'eau tempérée à l'échelle d'un quartier ou d'un îlot de bâtiments²⁸ (on parle alors de systèmes de production décentralisée)
- PAC sur réseau de chaleur et/ou de froid (on parle alors de système de production centralisé)
- PAC « solaires »²⁹

²⁸ <http://www.afpg.asso.fr/nos-2-filieres/geothermie-surface/boucle-deau-temperee/>

²⁹ <https://pompe-a-chaaleur.ooreka.fr/comprendre/pompe-a-chaaleur-solaire>

- PAC sur eaux grises³⁰ ou sur eaux usées
- Systèmes de stockage géothermiques BTES (Borehole Thermal Energy Storage³¹) et ATES (aquifère)
- PAC Gaz à absorption³²
- Système DRV (il existe quelques dizaines de projets en logements collectifs dans les zones climatiques les plus chaudes)

Le Tableau 4 présente le marché accessible (maison individuelle MI, Immeuble collectif IC), les fonctions assurées (X = fonction « de base »; X = fonction « optionnelle ») et les performances « typiques ».

Les performances (voir encadré ci-dessous) dépendent évidemment non seulement de chaque système mais aussi de leur mise en œuvre. La performance « typique » affichée ici a vocation à refléter l'ordre de grandeur des performances d'un type de systèmes sur le marché. Nous nous sommes fondés pour ce faire sur le Guide TopTen³³ pour les performances PAC électriques en chaud et froid (l'ensemble des tableaux est en Annexe 1). Pour les autres systèmes nous indiquons pour chacun la source utilisée.

La performance d'un système thermodynamique est définie pour le « chaud » (chauffage, ECS) par un coefficient de performance saisonnier (SCOP) et pour le « froid » par le ratio d'efficacité saisonnière (SEER, seasonal efficiency energy ratio). Par ailleurs, dans le cadre de la directive ErP, le législateur a introduit l'efficacité énergétique saisonnière η_S (étaS). L'ADEME en donne la définition :

- Pour le chauffage : « l'efficacité énergétique saisonnière (exprimée en %) est le rapport entre la demande de chauffage sur une saison de chauffe et la consommation annuelle d'énergie pour la fournir. Elle traduit le rendement global sur toute la saison de chauffe ». Pour passer du SCOP à l'efficacité énergétique saisonnière en chauffage il faut diviser par le coefficient d'énergie primaire pour l'électricité.
- Pour l'ECS : l'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau (exprimée en %) est le rapport entre l'énergie de référence du profil de soutirage (volume d'eau chaude puisée sur 24h) et l'énergie nécessaire pour la produire.

Système	MI	IC	Chauffage	Climatisation	Rafraîchissement	ECS	Ventilation	Performance minimale pour être éligible à Ma Prime renov (ηS)	Performance typique (Efficacité ou SCOP, SEER)
PAC électrique air/eau	X	X	X		X	(X)		111% (Haute T°C) 126% (Basse T°C)	200% (Basse T°C) 150% (Haute T°C)
PAC électrique géothermique	X	X	X		X	(X)			Eau/Eau

³⁰https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0030824/TERL1909701A_Annexe_PAC%20EG.pdf

³¹<https://www.pv-magazine.com/2020/05/22/borehole-thermal-energy-storage-for-solar/>

³²<https://cegibat.grdf.fr/produit/pac-absorption-aerothermique>

³³<https://www.guidetopten.fr/grand-public>

									300% (Basse T°C) 210% (Haute T°C) Sol/Eau 220% (Basse T°C) 170% (Haute T°C)
PAC hybride (gaz/électricité) air eau	X	X	X		X	(X)			Autour de 100% ³⁴
PAC électrique air/air réversible	X	X	X	X				Non éligible	Split SEER 7 à 10 SCOP 4,3 à 5,2 Multi-Split SEER 6,7 à 8,7 SCOP 4,6
PAC sur réseau d'eau tempéré			X			(X)		Fonds Chaleur PME : dispositif de suramortissement si fluide autre que HFC	Manque de données
PAC sur réseau de chaleur et/ou de froid			X			(X)		Fonds Chaleur PME : dispositif de suramortissement si fluide autre que HFC	Manque de données
PAC solaire			X			(X)		Fonds Chaleur	COP (10°C/45°C) 3,6
PAC sur eaux grises ou usées		X	X			(X)		Manque de données	Manque de données
BTES/ATES		X	X			(X)		Manque de données	Manque de données
PAC Gaz absorption	X	X	X		X	X		Manque de données	Aérothermique : rendement de l'ordre de 140% ³⁵
Système DRV	X	X						Non éligible	SCOP 138% SEER 198%

³⁴

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj4mPC40aPwAhULLBoKHd5fApEQFjAMegQIFxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.afpac.org%2Ffile%2F187026%2F&usq=AOvVaw3KFbiO2DkLoL-DjWo4y_vX

³⁵ <https://cegibat.grdf.fr/produit/pac-absorption-aerothermique>

CET sur air extérieur	X	X				X		95 % profil de soutirage M ; 100 % profil de soutirage M ;	COP de 2 en conditions réelles ³⁶
CET sur air extrait	X	X				X			110 % profil de soutirage M ;
Système multifonction sur VMC SF ou DF thermodynamique	X	X	X			X	X	Manque de données	COP de 2,5

Tableau 4 : Marché accessible, Fonctions et Performances des systèmes thermodynamiques en Résidentiel

3.2.3. Dynamiques de marché en Résidentiel

Selon l'AFPAC, le marché français est le 1^{er} marché européen pour les systèmes thermodynamiques, loin devant le marché allemand qui arrive en 2^{ème} position.

Une dynamique positive dans le neuf comme dans l'existant mais un contraste fort entre maisons individuelles et logements collectifs

En rénovation, les systèmes thermodynamiques pour le chauffage sont minoritaires en logements collectifs comme en maisons individuelles. Néanmoins, il existe une dynamique favorable en construction neuve (Figure 13) comme en rénovation (Figure 14) pour les maisons individuelles. Les projets BBC Rénovation en maison individuelle se fondent à plus de 15% de systèmes thermodynamiques (Figure 15)

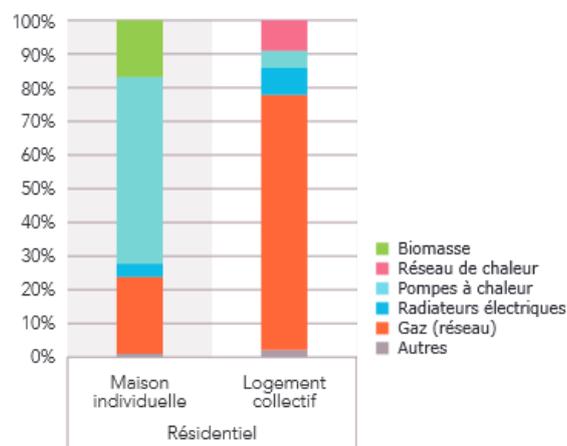


Figure 13 : Répartition des systèmes de chauffage dans la construction neuve (Source : Rapport ADEME RTE 2020)

³⁶ <https://www.ademe.fr/expertises/batiment/passer-a-laction/elements-dequipement/leau-chaude-sanitaire>

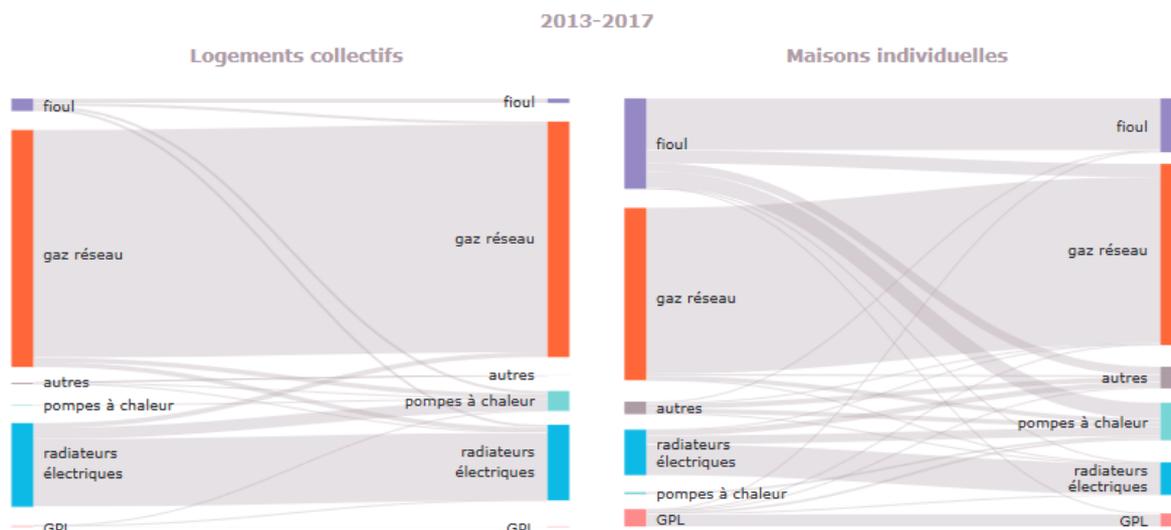


Figure 14 : Conversion des modes de chauffage vers les PAC (Source : Etude ADEME RTE 2020)

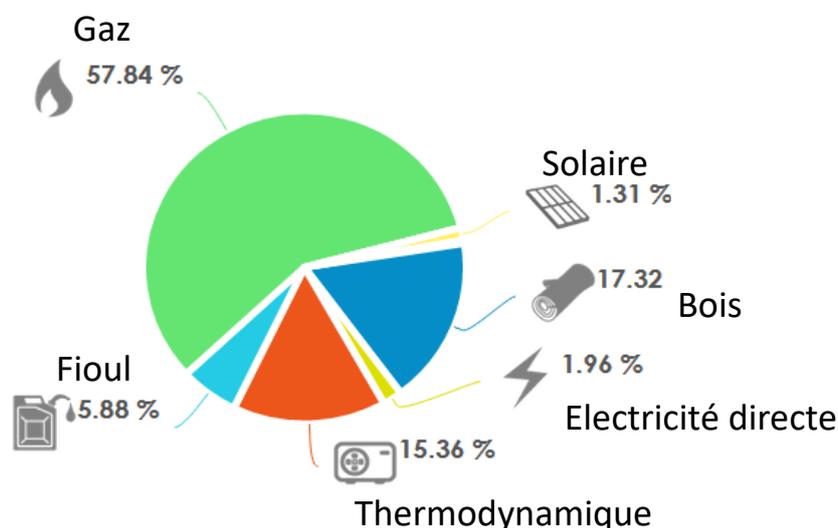


Figure 15 : Part des projets BBC Effinergie Renovation en Maison Individuelle en fonction de l'énergie de chauffage (Source : Observatoire BBC)³⁷

Les solutions PAC sont en revanche encore très peu présentes dans le Résidentiel collectif. Ainsi, à ce jour et selon les membres du groupe de travail :

- Les solutions PAC sont quasi inexistantes en rénovation.
- Sur le marché du neuf les pompes à chaleur sont installées dans moins de 15 % des logements collectifs, souvent pour n'assurer que la production d'eau chaude sanitaire. Les PAC pour le chauffage représentent moins de 5 % de ce marché (dont 40 % sont des PAC air-eau et 53 % des PAC air-air).

Cet avis est corroboré par les chiffres disponibles exposés via la Figure 13 et la Figure 14 ainsi que la part qui montre la très faible part des logements collectifs avec un chauffage thermodynamique dans les projets BBC Rénovation.

³⁷ <https://www.observatoirebbc.org/statistiques/conception-performance>

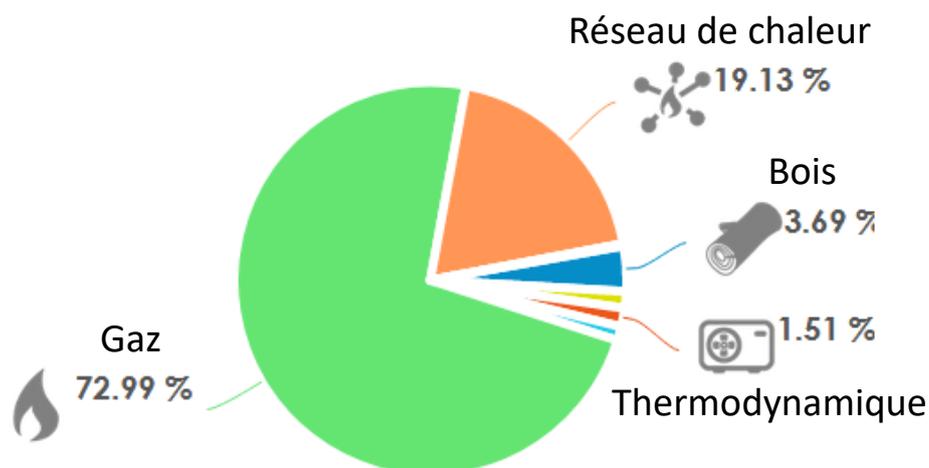


Figure 16 : Part des projets BBC Effinergie Rénovation en Logement Collectif en fonction de l'énergie de chauffage (Source : Observatoire BBC)

Des dynamiques variables selon la technologie

Toutes technologies confondues au sein des résidences principales, les systèmes thermodynamiques électriques pour le chauffage équipaient en 2019³⁸ 65 858 appartements représentant 4,6 millions m² et 1 545 000 maisons individuelles représentant 210 millions m².

Le Tableau 5 et le Tableau 6 présentent respectivement les marchés de la maison individuelle et du logement collectif en France (résidences principales et secondaires incluses), ils ont été établis sur la base d'échanges avec les experts présents lors des groupes de travail et d'études techniques³⁹.

INTERPRETATION DES CHIFFRES

Les tableaux ci-dessous présentent le parc et le marché des systèmes thermodynamiques vendus en France, qu'ils soient ou non le système de chauffage principal du bâtiment. Ils ne peuvent donc être comparés directement aux études portant uniquement sur le système de chauffage.

³⁸ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel>

³⁹ Principales études techniques utilisées pour établir les chiffres marché : <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/etudes/Observ-ER-Marche-2019-PAC-CET-20200914.pdf> ; http://www.afpg.asso.fr/wp-content/uploads/2019/09/AFPG_etude_marche_2019_BAT.pdf ; https://www.uniclimate.fr/userfiles/Doc/presse/2020_02_04_DP_UNICLIMATE_RESULTATS.pdf ; https://conseils.xpair.com/actualite_thermpresse/pac-gaz-absorption-hybrides-marche.htm ; <https://www.afpac.org/file/200368/>

Maisons individuelles					
Fonction principale chauffage					
Système	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant
PAC air/air	2 295 110	420 000	0%	5%	95%
PAC air/eau	1 180 500	176 227	52%	31%	69%
PAC géothermique	156 600	2582	20%	> 50%	< 50%
PAC hybride	~ 30 000	4300	100%	~ 50%	~ 50%
PAC Gaz (absorption et autres à venir)	0	0	100%	0%	100%
Fonction principale ECS					
Système	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant
Chauffe-eau thermodynamique (CET)	599 700	116 929	-	66%	34%

Tableau 5 : Principales tendances du marché des systèmes thermodynamiques en Maison Individuelle en France

Logements Collectifs								
Fonction principale chauffage								
Système	Individuel	Collectif	Collectif + appoint	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant
PAC air/air	X			1 000 000	160 000	***	<<50 %	>>50%
Systèmes hybrides individuels (y compris CET + chaudière)	X			***	***	100 %	90%	10%
DRV		X		Quelques unes dans le Sud	2 600	***	>> 50%	<<50%
PAC air/eau		X		Quelques centaines	100	***	>50%	<50%
PAC géothermique		X		3000	600	***	>50%	<50%
Systèmes hybrides collectifs incluant du gaz (sous forme chaudière ou PAC absorption ou moteur ou autre)		X		***	***	100 %	90%	10%

PAC sur réseau de chaleur et sur réseau d'eau tempérée (BETEG)		X		***	***	***	***	***
PAC sur eaux grises et sur eaux usées		X		***	***	***	***	***
Double flux thermodynamique		X		***	***	***	***	***
PAC centralisée sur boucle d'eau avec module individuel (MTA) ou avec PAC individuelle			X	***	***	***	***	***
Fonction principale ECS								
Système	Individuel	Collectif	Collectif +	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant
CET individuel	X			77 500	15 000	-	>50%	<50%
CET collectif (PAC air/eau dédiée ECS)		X		2000	300	-	90%	10%
PAC Solaire		X		1000	100	-	75%	25%

Tableau 6 : Principales tendances du marché des systèmes thermodynamiques en Logement Collectif en France

*** Données non disponibles et/ou secret commercial et/ou données inexistantes car technologie très récente sur le marché ou trop peu déployée

3.2.4. Principaux facteurs explicatifs de l'état du marché en Résidentiel

Réglementation et subvention

Il existe deux facteurs explicatifs majeurs de l'état du marché : la contrainte réglementaire et les aides et subventions :

- Contrainte réglementaire :
 - La RT 2012 impose une obligation d'EnR en maison individuelle. Cette obligation a permis un fort développement des PAC en MI tandis que ce développement est beaucoup plus mesuré en IC où cette obligation n'existe pas.
 - A l'inverse, les promoteurs de technologies thermodynamiques émergentes soulignent que la prise en compte dans les réglementations thermiques neuf et existant par les Titre V n'est pas tout le temps adéquate et pourrait être simplifiée.
 - Outre les RT, les obligations liées aux qualifications (QualiPAC) sont perçues à la fois comme un gage de qualité pouvant rassurer le consommateur final mais aussi comme un frein au développement de petites structures pour lesquelles les coûts de qualification sont non négligeables.
 - Même s'il est difficile d'indiquer un mouvement clair, il est certain que les obligations liées à la F-GAS ont eu un impact sur l'offre de systèmes thermodynamiques concernés (budgets de R&D, éventuellement incertitude, etc.)
 - La totalité des équipements de chauffage ou de refroidissement, résidentiels ou tertiaires, sont couverts par un règlement européen au titre de la directive

2009/125/CE relative à l'éco-conception des produits en lien avec l'énergie et qui fixe des limites précises en termes de consommation d'énergie maximale et, prochainement, en termes de quantités minimales de matériaux recyclés devant être utilisés dans la fabrication par exemple.

- Aides et subventions
 - Il est clair que le Coup de pouce chauffage est un facteur majeur pour le positionnement des différentes technologies dans l'existant en maison individuelle.
 - En revanche, en logement collectif ou en tertiaire, seules les PAC géothermiques sont aidées grâce au Fonds Chaleur de l'ADEME
 - Plus largement les aides et subventions, dès lors qu'elles sont substantielles, ont une influence majeure sur le marché. Le niveau de « substantialité » est difficile à fixer (il dépend du coût de la technologie elle-même, de l'impact psychologique d'un chiffre élevé sur le consommateur, de l'intégration ou non de la technologie dans un projet plus global et plus cher...) mais un ordre de grandeur autour de 30% minimum du coût semble réaliste

Formation et compétences

Par ailleurs, la question de la formation et du recrutement de personnels compétents traverse toute la filière, des fabricants aux installateurs en passant par les bureaux d'études. Cet enjeu est particulièrement criant dans le domaine de la géothermie malgré les qualifications mises en place⁴⁰ (voir Tableau 7) mais il est présent à divers degrés pour tous les systèmes thermodynamiques.

Image

Enfin, comme le souligne une étude qualitative d'Observ'ER⁴¹, l'image que les consommateurs se font des systèmes a un impact non négligeable sur leur déploiement :

- « Les PAC aérothermiques sont bien reconnues par les particuliers » alors que « les PAC géothermiques sont largement inconnues ou méconnues du grand public »
- « Les utilisateurs sont dans l'ensemble satisfaits »
- « Certains hésitent encore à considérer les équipements aérothermiques comme pleinement renouvelables »

Facteurs explicatifs par système

Nous proposons dans le Tableau 7 quelques facteurs explicatifs spécifiques à certaines technologies (les éléments qui ne sont pas entre guillemets sont issus des déclarations des membres du groupe de travail en séance).

Système	Principaux facteurs explicatifs
PAC air/air	MI (maison individuelle) neuf et existant : « Les pompes à chaleur air/air restent les plus diffusées avec une activité portée à la fois par le remplacement d'anciens systèmes de chauffage électrique et par l'équipement de logements neufs. En 2018 et 2019, ce segment a surtout profité de deux périodes estivales très chaudes, comportant parfois des épisodes de canicule comme en 2019, ce qui a eu un effet direct sur les ventes. » (Source : Obser'ER ⁴²). Ces systèmes sont réversibles.

⁴⁰ <http://www.afpg.asso.fr/nos-2-filieres/geothermie-surface/pac-individuelles/qualifications/>

⁴¹ <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/etudes/Observe-ER-Etude-2019-qualitative-PAC-individuelles.pdf>

⁴² <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/etudes/Observe-ER-Marche-2019-PAC-CET-20200914.pdf>

DRV	Le marché est encore limité mais devrait se développer pour répondre à la demande croissante de maintien du confort en été dans les bâtiments.
PAC air/eau	MI neuf : porté par l'obligation de renouvelable en MI de la RT 2012 MI existant : forte croissance en rénovation avec le coup de pouce chauffage. « A la différence des autres technologies [renouvelables : biomasse, solaire, PAC eau/eau], elles profitent d'un réseau commercial très bien implanté en France et elles sont familières à un grand nombre d'installateurs. » (Source : Observ'ER) IC : pas de facteur influençant fortement le marché comme en MI. Dans le neuf il n'y a pas le même aiguillon réglementaire qu'en MI et dans l'existant pas d'aide.
PAC géothermique	« Le contexte général du segment reste inchangé : des équipements chers à l'achat qui dissuadent la grande majorité des particuliers d'envisager plus avant ces solutions et une technologie très mal connue du grand public. La mise en place en 2019 de l'opération Coup de pouce Chauffage, qui propose une aide de 2 500 euros à 4000 euros pour les PAC eau-eau, n'a pas influé sur l'activité du secteur. Pour 2020, les professionnels s'attendaient initialement à une année au moins égale par rapport à 2019. Cependant, la crise de la Covid 19 pourrait venir à nouveau orienter les ventes à la baisse » (Source : Observ'ER) Par ailleurs, une installation géothermique requiert plus de travail de commercialisation qu'une PAC air/eau (22h de travail avant la vente environ contre 2h pour une PAC air/eau). En outre, du point de vue du client la PAC géothermique est une installation beaucoup plus complexe qu'une PAC aérothermique. Il y a la crainte de dysfonctionnements.
PAC hybride	La progression récente est due, dans l'existant, au Coup de pouce chauffage mais cela reste un « petit » marché. Les PAC hybrides permettent de réduire la charge du réseau électrique et les émissions de GES associées en période de pointe, mais aucune offre n'est aujourd'hui proposée aux particuliers pour rémunérer ce service.
PAC absorption gaz	Le marché est encore limité à quelques fournisseurs et la gamme de puissance est encore peu élargie et plutôt adaptée au collectif (40kW).
Chauffe-eau thermodynamique	Il s'est imposé avec la RT 2012, en association avec le gaz ou avec le chauffage à effet Joule direct en zone sud. Il s'installe également pour partie (environ 30%) en rénovation en remplacement du chauffe-eau électrique « Ces équipements profitent d'une bonne pénétration dans le marché du neuf et ont été poussés par divers aides en place. » (Source : Obser'ER).

Tableau 7 : Facteurs explicatifs des tendances du marché français en Résidentiel pour certains systèmes

3.3. Etat des lieux dans le Tertiaire

3.3.1. Le parc Tertiaire et la part des systèmes thermodynamiques

La Figure 17 expose la décomposition des surfaces chauffées du tertiaire selon les 8 branches définies par le CEREN. Les bureaux, les commerces et les bâtiments d'enseignement/recherche représentent à eux trois près des deux tiers des surfaces chauffées.

Répartition des surfaces par branche
Total : 972 millions de m²

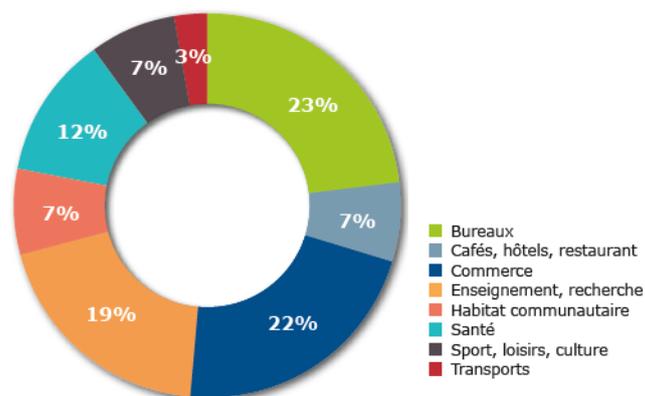


Figure 17 : Répartition des branches tertiaires en fonction de leur part de surface chauffée dans la surface chauffée totale (Source : Rapport ADEME RTE 2020)

Toutes branches confondues, selon l'étude ADEME RTE 2020, le chauffage par pompe à chaleur est minoritaire dans le Tertiaire (Figure 18). Il couvre un peu moins de 100 millions de m² soit environ 10%.

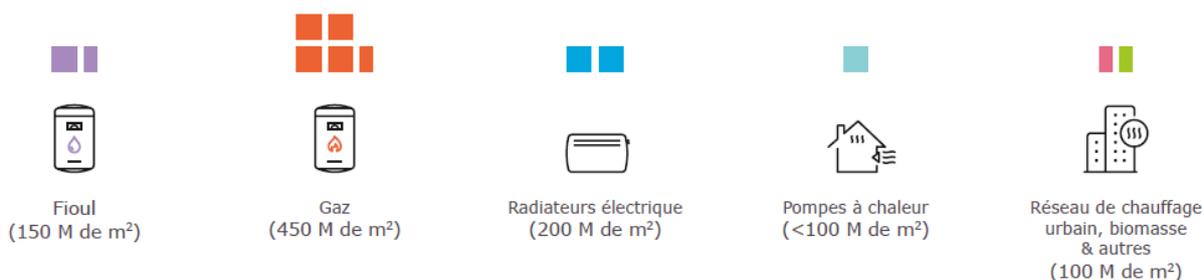


Figure 18 : Part des surfaces chauffées par énergie de chauffage dans le Tertiaire en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE sur la base de données CEREN/SDES)

La situation est cependant variable d'une branche à l'autre (Tableau 8 ; Attention en l'absence de données plus récentes les chiffres datent de 2013) et au sein d'une branche d'une tranche de surface du bâtiment à l'autre (Tableau 9 ; Attention en l'absence de données plus récentes les chiffres datent de 2013).

Globalement, les branches ayant recours à la climatisation ont plus de surfaces chauffées par PAC que les autres. Au sein d'une même branche le taux de chauffage par PAC peut être très variable selon la surface mais aucune tendance ne se dégage qui serait applicable à toutes les branches.

*PAC = DRV + Mono et Multisplit + Chillers + Roof top

Branche	Surfaces chauffées totales (*1000 m ²)	Dont chauffées par PAC* (%)	Dont climatisées par PAC* (%)
CAHORE	65 441	9,3	8
Commerces	207 758	8	6,4
Bureaux	214 103	7,3	6
Transports	25 295	5,9	4,4
Sport, Culture, Loisirs	70 174	5,1	3,7
Habitat communautaire	68 535	2,8	1,8
Santé	111 899	2,2	1,4
Enseignement	184 715	0,9	0,5
TOTAL	947 920	5,2	4,1

Tableau 8 : Part des surfaces chauffées et climatisées par des PAC en 2013 (Source : AFPAC⁴³ à partir de données CEREN)

*PAC = DRV + Mono et Multisplit + Chillers + Roof top

Branche	Part de la surface chauffée par une PAC* (%)			Total (%)
	<2500 m ²	2500 à 5000 m ²	>5000 m ²	
CAHORE	8,6	15,3	9,5	9,3
Commerces	7,7	8,2	8,7	8
Bureaux	7,8	7,2	5,8	7,3
Transports	7,3	4,5	4,7	5,9
Sport, Culture, Loisirs	5,3	5,5	4	5,1
Habitat communautaire	3,3	3,4	1,9	2,8
Santé	3,1	2,2	1,6	2,2
Enseignement	1,1	1	0,7	0,9
TOTAL	6	4,9	3,9	5,2

Tableau 9 : Part des surfaces chauffées et climatisées par des PAC en 2013 (Source : AFPAC à partir de données CEREN)

⁴³ https://www.afpac.org/De-nos-ambitions-2030-a-nos-perspectives-2050-Pompe-A-Chaleur_a112.html

3.3.2. Les systèmes thermodynamiques en Tertiaire

INTERPRETATION DES CHIFFRES

Le tableau ci-dessous présente le parc et le marché des systèmes thermodynamiques vendus en France, qu'ils soient ou non le système de chauffage principal du bâtiment. Ils ne peuvent donc être comparés directement aux études portant uniquement sur le système de chauffage.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente des détails sur le parc installé et sur les dynamiques de marché pour chaque technologie il a été établi sur la base d'échanges avec les experts présents lors des groupes de travail et d'études techniques⁴⁴.

Système	Fonctions			Branches principales							Marché actuel							
	Chauffage	Froid	ECS	Ventilation	CAHORE	Habitat communautaire	Santé	Enseignement	Sport, culture, loisirs	Bureaux	Commerces	Transport	Parc total installé	Ventes totales 2019	Part des ventes en froid	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant	Tendances récentes
PAC air/air (Split et Multi-Split)	X	X	X							X	X		2 220 000	150 400	0%	20%	80%	L'ensemble du marché résidentiel et petit tertiaire a doublé en 5 ans
DRV	X	X	X		X		X			X			250 000	23 400	0%	20%	80%	+ 17% entre 2018 et 2019
Roof top	X	X		X					X		X		21 500	1 666	***	***	***	+ 27% entre 2018 et 2019

⁴⁴ Principales études techniques utilisées pour établir les chiffres marché : <https://www.afpac.org/file/200368/>; <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/etudes/Observ-ER-Marche-2019-PAC-CET-20200914.pdf>; http://www.afpg.asso.fr/wp-content/uploads/2019/09/AFPG_etude_marche_2019_BAT.pdf; PAC&Clim Info

Chiller ⁴⁵ (yc réversibles)**	X	X			X	X				X	X		14 400	1 814	50%	***	***	Le marché est stable (+0,8%) entre 2018 et 2019 mais il y a eu une chute entre 2017 et 2018 (- 16,2%)
PAC eau/air sur boucle d'eau ou eaux grises	X	X*	X		X	X	X			X			***	***	***	***	***	***
PAC géothermique	X	X	X		X		X	X	X	X	X		4500	1 196 (2018)	***	***	***	***
PAC Gaz absorption	X	X*	X				X	X	X				***	***	***	10%	90%	***
PAC moteur Gaz ⁴⁶	X	X	X										***	***	***	10%	90%	***
Systèmes hybrides incluant du gaz	X	X	X		X	X	X	X	X				***	***	***	30%	70%	***
CET collectif			X	X	X	X	X		X				Qques centaines	Qques dizaines	***	***	***	***
PAC « solaire » (ECS principalement)	X	X	X		X	X	X		X				Qques centaines	Qques dizaines	***	***	***	***

Tableau 10 : Systèmes thermodynamiques en Tertiaire

* Rafraîchissement

** Les chillers sont surtout installés dans les ERP⁴⁷ et IGH⁴⁸.

*** Données non disponibles et/ou secret commercial et/ou données inexistantes car technologie très récente sur le marché ou trop peu déployée

⁴⁵ https://conseils.xpair.com/consulter_savoir_faire/solutions-climatisation-eau-glacee.htm

⁴⁶ <https://media.xpair.com/pdf/pompe-a-chaleur/PAC-MOTEUR-GAZ-XPair.pdf>

⁴⁷ Etablissement Recevant du Public, voir définition ici : <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F32351>

⁴⁸ Immeuble de Grande Hauteur, voir définition ici : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-les-superstructures-du-batiment-tiacd/archive-1/securete-contre-l-incendie-dans-les-igh-c3281/definition-et-classification-des-igh-c3281niv10001.html>

3.3.3. Principaux facteurs explicatifs de l'état du marché en Tertiaire

Facteurs intrinsèques aux sous-secteurs tertiaires

Les sous-secteurs les plus propices au développement des systèmes thermodynamiques sont ceux qui ont un besoin de froid substantiel. Il s'agit des bureaux, des commerces, des bâtiments de santé et des établissements regroupés sous la dénomination CAHORE ainsi que des bâtiments culturels et une partie de l'habitat communautaire (maisons de retraite).

Les équipements sportifs, les bâtiments d'enseignement et les bâtiments pour les transports semblent a priori moins demandeurs de solutions thermodynamiques.

Réglementations

Comme dans le secteur Résidentiel, les réglementations thermiques ont un impact important sur le déploiement des systèmes, notamment dans le neuf. Ainsi, le bon positionnement en termes de performances énergétiques est un atout pour le déploiement des systèmes thermodynamiques. De même, la question de la difficulté à faire accepter une innovation via un Titre V se pose.

La totalité des équipements de chauffage ou de refroidissement, résidentiels ou tertiaires, sont couverts par un règlement européen au titre de la directive 2009/125/CE relative à l'éco-conception des produits en lien avec l'énergie et qui fixe des limites précises en termes de consommation d'énergie maximale et, prochainement, en termes de quantités minimales de matériaux recyclés devant être utilisés dans la fabrication par exemple. Par ailleurs, la majorité des équipements CVC sont couverts par la Directive « Déchets des Equipements Electriques et Electroniques » et font donc l'objet d'une REP (Responsabilité Elargie des Producteurs). Ainsi, les producteurs financent la reprise et le traitement de l'équipement lorsqu'il est arrivé en fin de vie. Toutes ces réglementations s'inscrivent dans une démarche responsable de type « Economie circulaire ».

La F-Gas joue un rôle qui diffère selon les technologies et qui est difficilement quantifiable, mais il est certain qu'elle a eu un impact sur le déploiement de certaines technologies (budgets de R&D, liens avec la sécurité incendie, etc.).

Aides et subventions

A notre connaissance, le rôle des aides et subventions dans la dynamique de marché d'une technologie est beaucoup plus faible en Tertiaire qu'en Résidentiel. Il existe cependant plusieurs fiches CEE (liste ci-dessous) ainsi que le Fonds Chaleur.

- BAT TH 113 Pompe à chaleur de type air/eau ou eau/eau
- BAT TH 139 Récupération de chaleur sur groupe de production de froid
- BAT TH 140 Pompe à chaleur à absorption de type air/eau ou eau/eau
- BAT TH 141 Pompe à chaleur à moteur gaz de type air/eau

Formation et compétences

De même qu'en Résidentiel, la question de la formation et du recrutement de personnels compétents est un enjeu qui traverse toute la filière, des fabricants aux installateurs en passant par les bureaux d'études. La formation et le recrutement concerne particulièrement le domaine de la géothermie mais il est présent à divers degrés pour tous les systèmes thermodynamiques.

Par ailleurs, la F-Gas conduit à l'utilisation massive de fluide inflammable (R32, R290...), toxique (R717/NH3) ou fonctionnant à des pressions plus élevées (R744/CO2) dans les équipements ou les installations. Il est donc nécessaire de s'assurer que les intervenants soient formés à l'utilisation de ces nouveaux fluides.

Facteurs explicatifs par système

Nous proposons dans le Tableau 11 quelques facteurs explicatifs spécifiques à certaines technologies (issus de déclarations des membres du groupe de travail).

Système	Principaux facteurs explicatifs
PAC air/air (Split et Multi-Split)	C'est un marché qui croit naturellement en raison de la demande.
DRV	Se développe naturellement sans aides car il y a un besoin en petits et moyens bureaux et en hôtellerie car apporte plus de modularité que le chiller. Se développe aussi sur le marché du neuf en zone climatique chaude.
Roof top	Progression portée essentiellement par la rénovation des grandes surfaces et le développement de plusieurs plateformes de logistiques en France portées par le commerce en ligne.
Chillers (yc réversibles)	Solution concurrente au DRV Grands bâtiments ERP et IGH mais évolution vers de plus petites puissances Marché en dents de scie : il est très lié au marché du neuf. Il est donc très lié aux nouveaux projets tertiaires.
PAC Gaz absorption	Idem Résidentiel : Le marché est encore limité à quelques fournisseurs et la gamme de puissance est encore peu élargie et plutôt adaptée au collectif (40kW)
PAC « solaire »	Pour la production d'ECS collective essentiellement

Tableau 11 : Facteurs explicatifs des tendances du marché français en Tertiaire pour certains systèmes

4. Vision 2030

4.1. Vision globale

La groupe de travail a établi une vision globale à 2030 ambitieuse et réaliste pour l'ensemble de la filière thermodynamique.

La filière thermodynamique s'impose comme un leader sur le marché français des équipements chaud, froid, ECS en résidentiel et en tertiaire.

Son positionnement bas carbone et ses performances énergétiques sont à la fois un atout économique et une forte contribution aux objectifs des accords de Paris sur le Climat.

4.2. Déclinaison de la vision en objectifs de marché Résidentiel et Tertiaire

Les membres du groupe de travail proposent, à dire d'expert et sur la base des études disponibles, les objectifs 2030 suivants selon le marché et la technologie.

INTERPRETATION DES CHIFFRES

Les tableaux ci-dessous présentent le parc et le marché des systèmes thermodynamiques vendus en France, qu'ils soient ou non le système de chauffage principal du bâtiment. Ils ne peuvent donc être comparés directement aux études portant uniquement sur le système de chauffage.

Maisons Individuelles

Maisons individuelles						
Fonction principale chauffage						
Système	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant	Objectif de ventes annuelles 2030
PAC air/air	2 295 110	420 000	0%	5%	95%	870 000
PAC air/eau	1 180 500	176 227	52%	31%	69%	300 000 à 320 000
PAC géothermique	156 600	2582	20%	> 50%	< 50%	4 700 à 20 000
PAC hybride	~ 30 000	4300	100%	~ 50%	~ 50%	30 000 à 40 000
PAC Gaz (absorption et autres à venir)	0	0	100%	0%	100%	5 000 à 10 000
Fonction principale ECS						
Système	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant	Objectif de ventes annuelles 2030
Chauffe-eau thermodynamique (CET)	599 700	116 929	-	66%	34%	230 000 à 270 000

Tableau 12 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Maisons Individuelles

Logements Collectifs

Logements Collectifs									
Fonction principale chauffage									
Système	Individuel	Collectif	Collectif + appoint	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant	Objectifs de ventes annuelles 2030
PAC air/air	X			1 000 000	160 000	***	<<50%	>>50%	330 000
Systèmes hybrides individuels (y compris CET + chaudière)	X			***	***	100%	90%	10%	Voir encadré*
DRV		X		Quelques unes dans le Sud	2 600	***	>>50%	<<50%	7 500
PAC air/eau		X		Quelques centaines	100	***	>50%	<50%	7 000 à 10 000
PAC géothermique		X		3000	600	***	>50%	<50%	600 à 4800
Systèmes hybrides collectifs incluant du gaz (sous forme chaudière ou		X		***	***	100%	90%	10%	Voir encadré*

PAC absorption ou moteur ou autre)									
PAC sur réseau de chaleur et sur réseau d'eau tempérée (BETEG)		X		***	***	***	***	***	100
PAC sur eaux grises et sur eaux usées		X		***	***	***	***	***	100
Double flux thermodynamique		X		***	***	***	***	***	***
PAC centralisée sur boucle d'eau avec module individuel (MTA) ou avec PAC individuelle			X	***	***	***	***	***	5 000 à 10 000 modules individuels
Fonction principale ECS									
Système	Individuel	Collectif	Collectif +	Parc installé	Ventes 2019	Part des ventes en double service	Part des ventes dans le neuf	Part des ventes dans l'existant	Objectifs de ventes annuelles 2030
CET individuel	X			77 500	15 000	-	>50%	<50%	20 000
CET collectif (PAC air/eau dédiée ECS)		X		2000	300	-	90%	10%	4 000
PAC Solaire		X		1000	100	-	75%	25%	500 à 1 000

Tableau 13 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Logements Collectifs

***Part des systèmes hybrides incluant du gaz**

Les échanges au sein du groupe de travail n'ont pas abouti à un consensus sur les systèmes hybrides en logements collectifs à l'horizon 2030.

Selon l'ADEME, la part des systèmes hybrides en neuf devrait être faible à l'horizon 2030. Elle pourrait être plus élevée en rénovation, à plus long terme, comme une solution de transition. Il n'est cependant pas possible de donner une estimation basse fiable.

Pour information, l'estimation haute proposée par GrDF atteint 3000 systèmes hybrides collectifs et 60 000 systèmes hybrides individuels en logements collectifs. Ces systèmes peuvent inclure des PAC Gaz (absorption ou moteur) ou des chaudières gaz.

*** Données non disponibles et/ou secret commercial et/ou données inexistantes car technologie très récente sur le marché ou trop peu déployée

Tertiaire

Système	Fonctions				Branches principales							Marché actuel					Objectifs de ventes annuelles 2030		
	Chauffage	Froid	ECS	Ventilation	CaHORE	Habitat communautaire	Santé	Enseignement	Sport, culture, loisirs	Bureaux	Commerces	Transport	Parc total installé	Ventes totales 2019	Part des ventes en froid	Part des ventes dans le neuf		Part des ventes dans l'existant	Tendances récentes
PAC air/air (Split et Multi-Split)	X	X	X							X	X		2 220 000	150 400	0%	20%	80%	L'ensemble du marché résidentiel et petit tertiaire a doublé en 5 ans	300 000
DRV	X	X	X		X					X			250 000	23 400	0%	20%	80%	+ 17% entre 2018 et 2019	42 500
Roof top	X	X		X					X		X		21 500	1 666	***	***	***	+ 27% entre 2018 et 2019	2 000
Chiller ⁴⁹ (yc réversibles)**	X	X			X					X	X		14 400	1 814	50%	***	***	Le marché est stable (+0,8%) entre 2018	12 000

⁴⁹ https://conseils.xpair.com/consulter_savoir_faire/solutions-climatisation-eau-glacee.htm

																		et 2019 mais il y a eu une chute entre 2017 et 2018 (- 16,2%)	
PAC eau/air sur boucle d'eau ou eaux grises	X	X*	X		X	X	X			X			***	***	***	***	***	***	1 000 à 5 000
PAC géothermique	X	X	X		X		X	X	X	X	X		4 500	1 196 (2018)	***	***	***	***	1 250 à 9 600
PAC Gaz absorption	X	X*	X				X	X	X				***	***	***	10%	90%	***	1 000
PAC moteur Gaz ⁵⁰	X	X	X										***	***	***	10%	90%	***	1 000
Systèmes hybrides incluant du gaz	X	X	X		X	X	X	X	X				***	***	***	30%	70%	***	Voir encadré*
CET collectif			X	X	X	X	X		X				Qques centaines	Qques dizaines	***	***	***	***	Quelques milliers
PAC « solaire » (ECS principalement)	X	X	X		X	X	X		X				Qques centaines	Qques dizaines	***	***	***	***	Quelques milliers

Tableau 14 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Tertiaire

***Part des systèmes hybrides incluant du gaz**

Les échanges au sein du groupe de travail n'ont pas abouti à un consensus sur les systèmes hybrides en tertiaire à l'horizon 2030. Selon l'ADEME, la part des systèmes hybrides en neuf devrait être faible à l'horizon 2030. Elle pourrait être plus élevée en rénovation, à plus long terme, comme une

⁵⁰ <https://media.xpair.com/pdf/pompe-a-chaaleur/PAC-MOTEUR-GAZ-XPair.pdf>

solution de transition. Il n'est cependant pas possible de donner une estimation basse fiable. Pour information, l'estimation haute proposée par GrDF atteint 30 000 systèmes hybrides.

* *Rafraichissement*

** *Les chillers sont surtout installés dans les ERP⁵¹ et IGH⁵².*

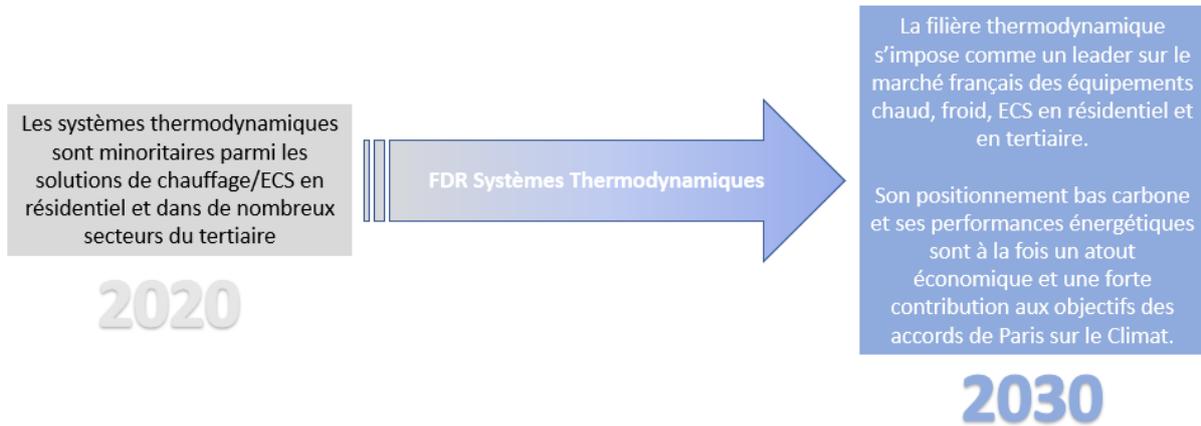
*** *Données non disponibles et/ou secret commercial*

⁵¹ Etablissement Recevant du Public, voir définition ici : <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F32351>

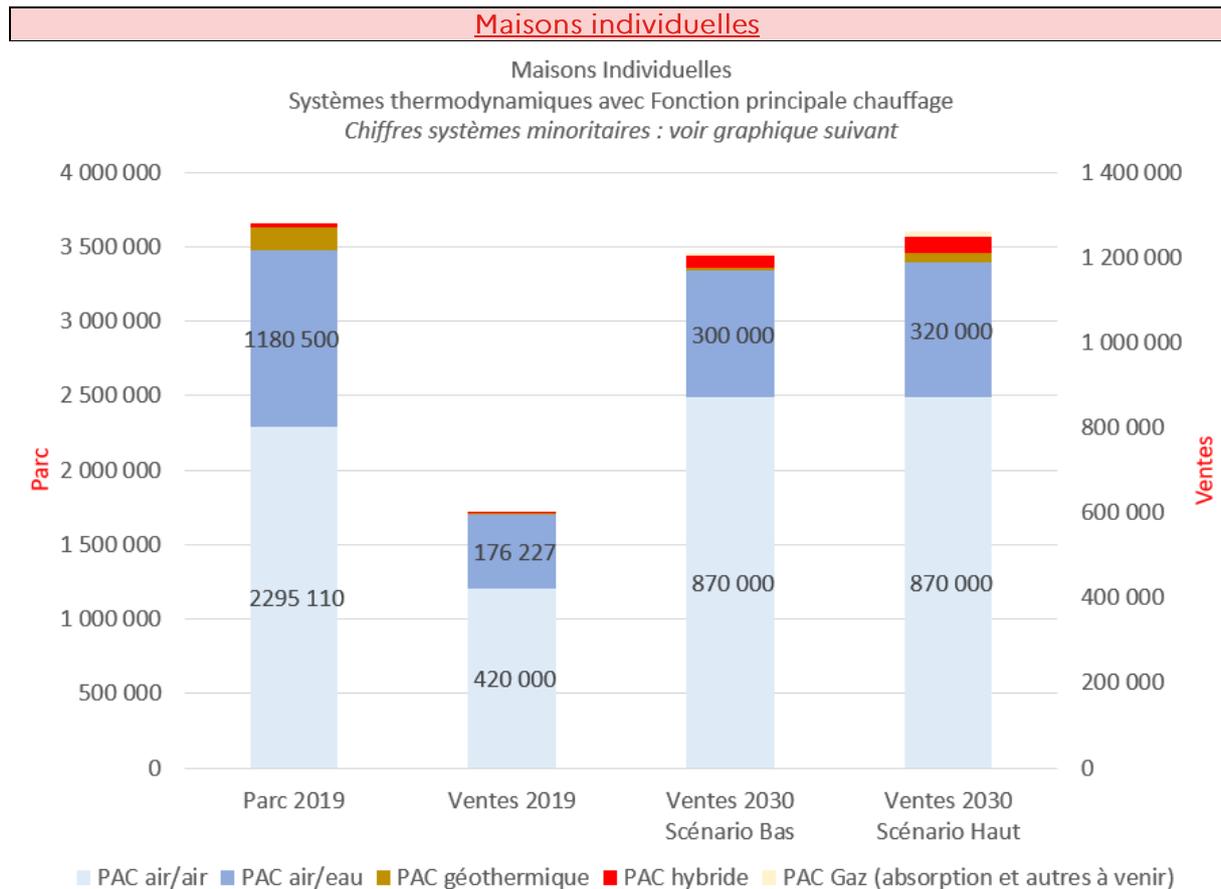
⁵² Immeuble de Grande Hauteur, voir définition ici : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-les-superstructures-du-batiment-tiacd/archive-1/securete-contre-l-incendie-dans-les-igh-c3281/definition-et-classification-des-igh-c3281niv10001.html>

5. Feuille de route pour passer de l'état des lieux à la vision 2030

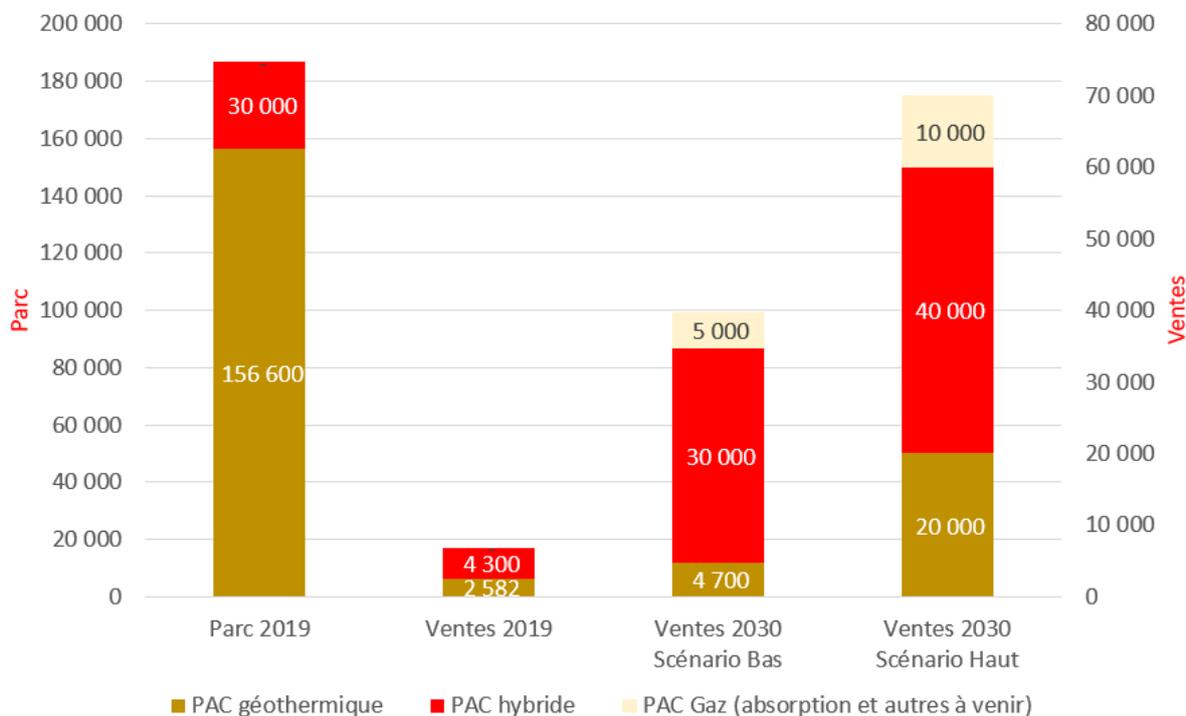
5.1. Vision



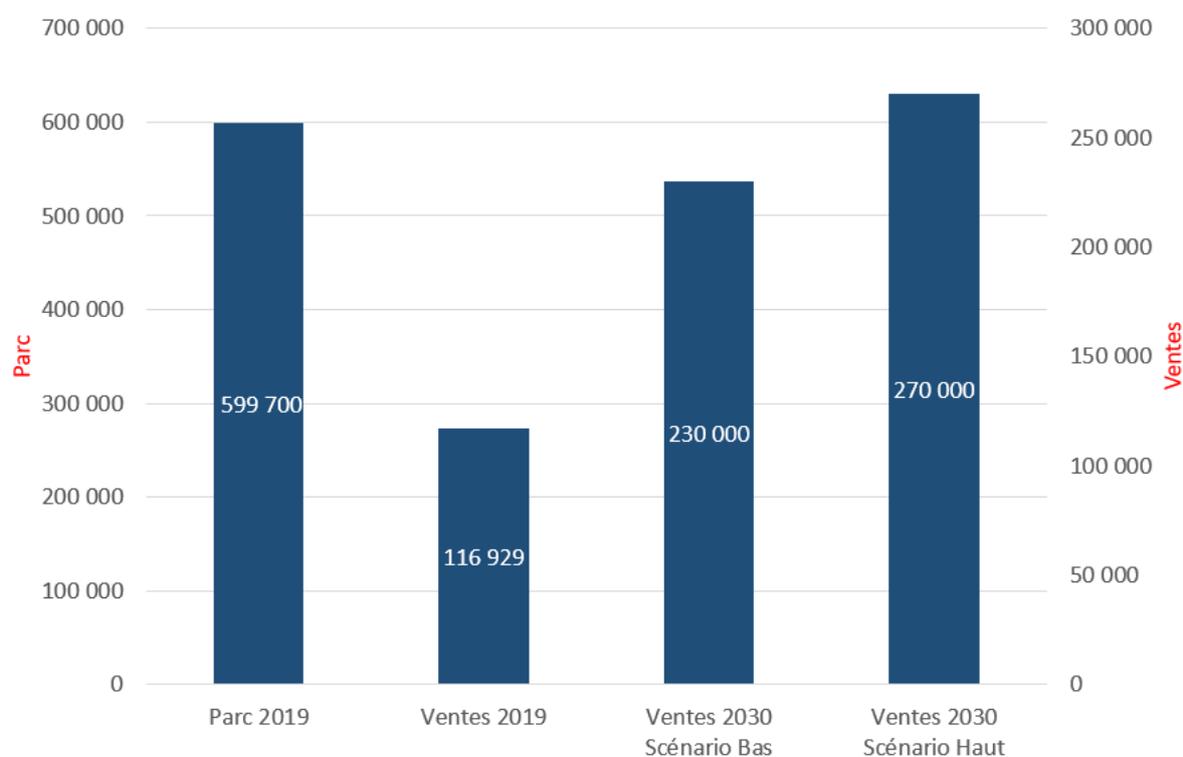
5.2. Objectifs quantitatifs



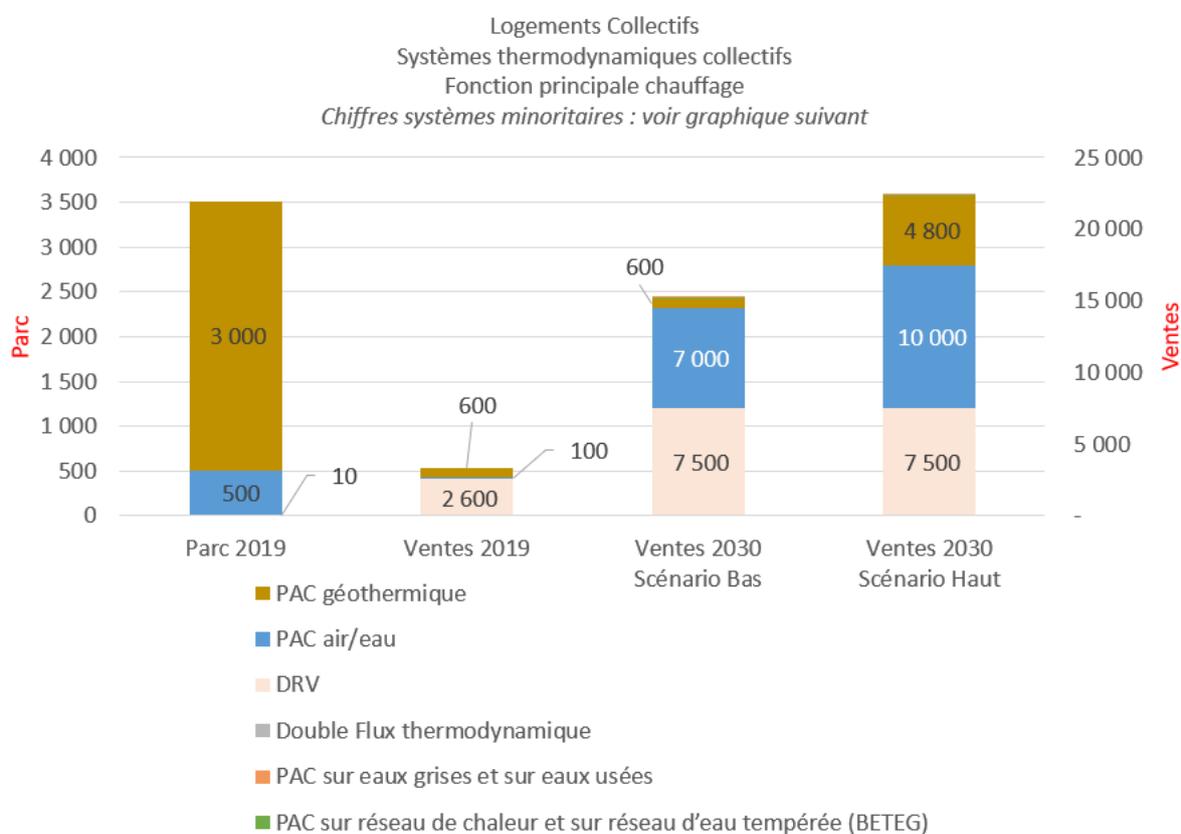
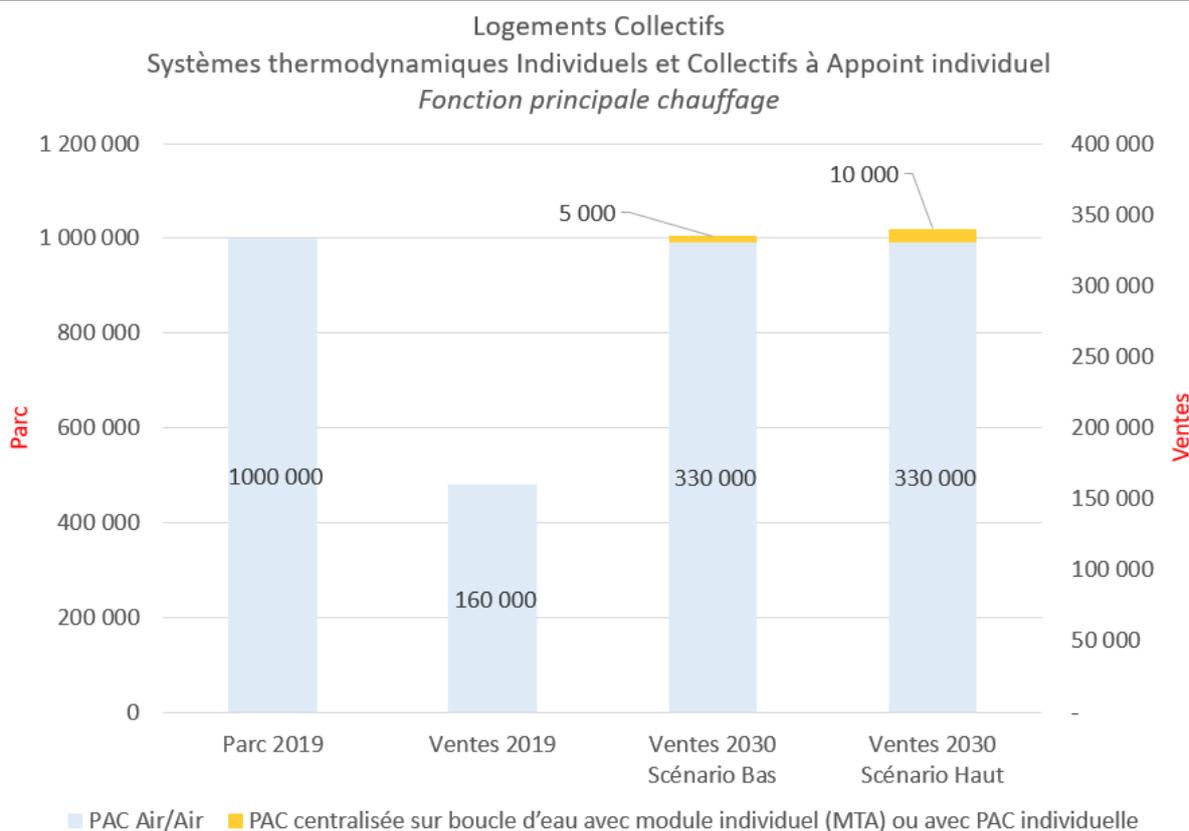
Maisons Individuelles
Systèmes thermodynamiques avec Fonction principale chauffage
Focus systèmes minoritaires



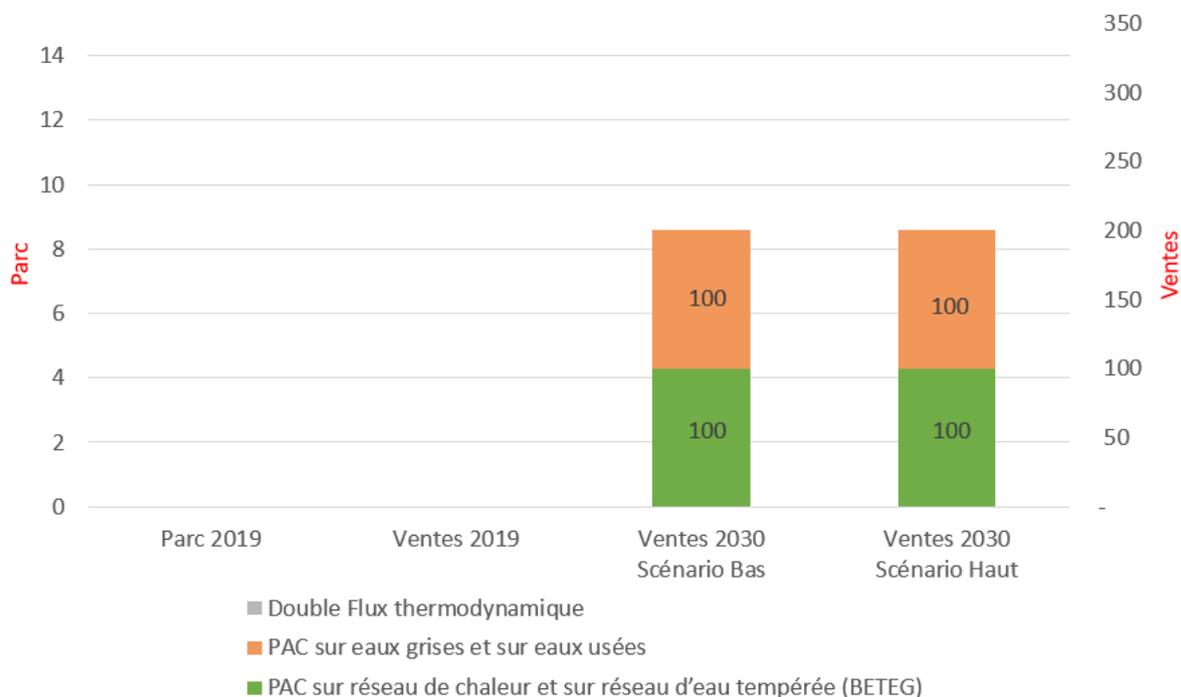
Maisons Individuelles
Chauffe-eaux thermodynamiques (CET)



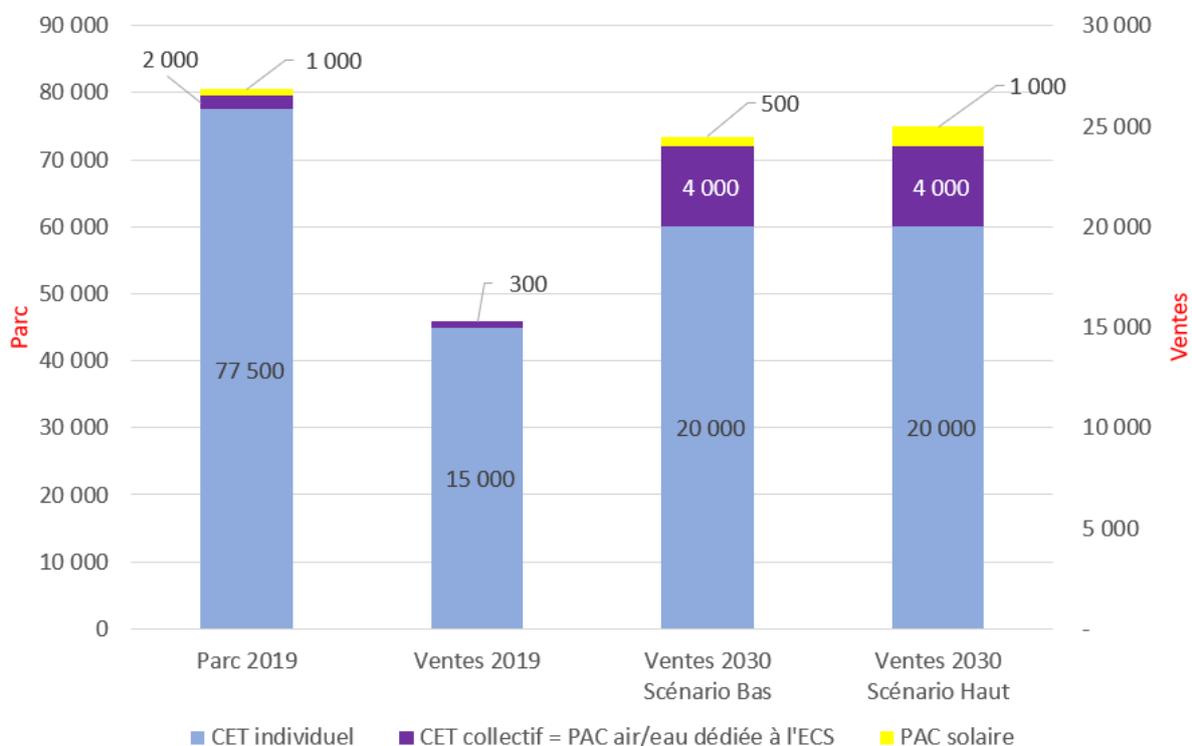
Logements collectifs



Logements Collectifs
Systèmes thermodynamiques collectifs
Fonction principale chauffage
Focus systèmes minoritaires

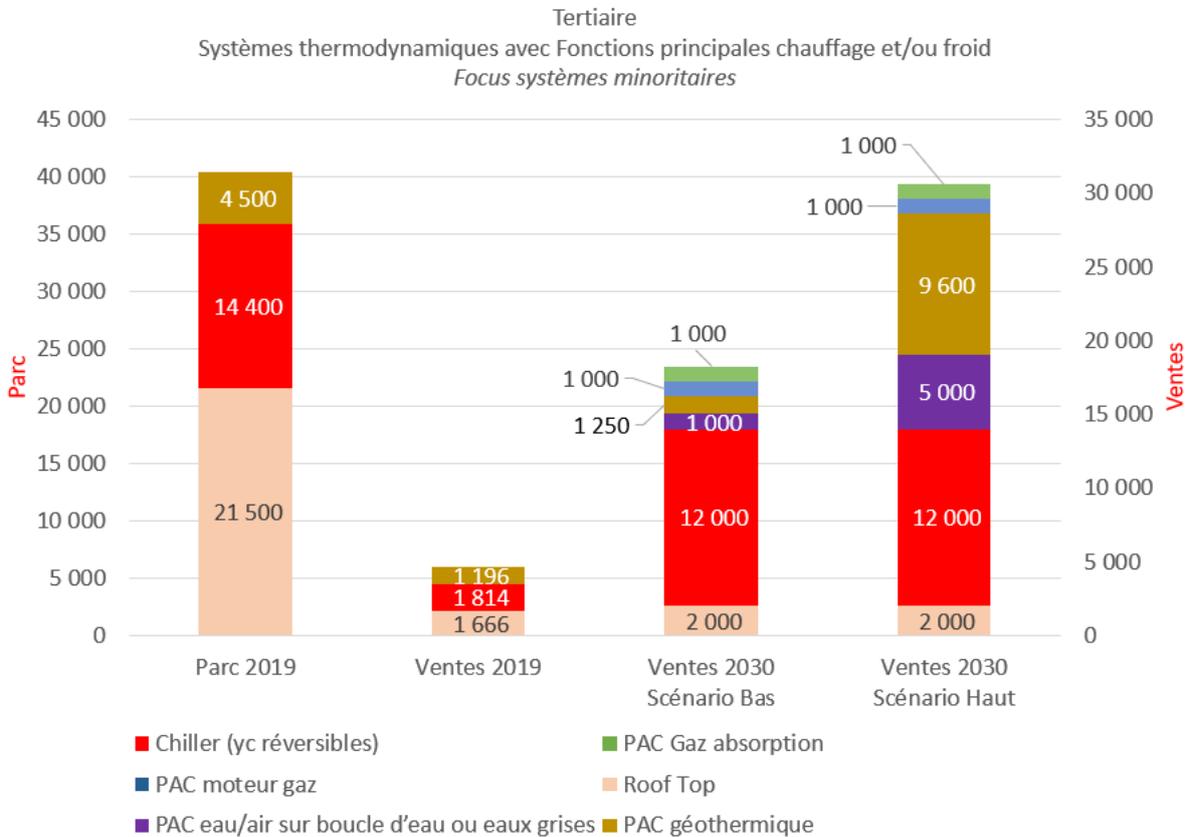
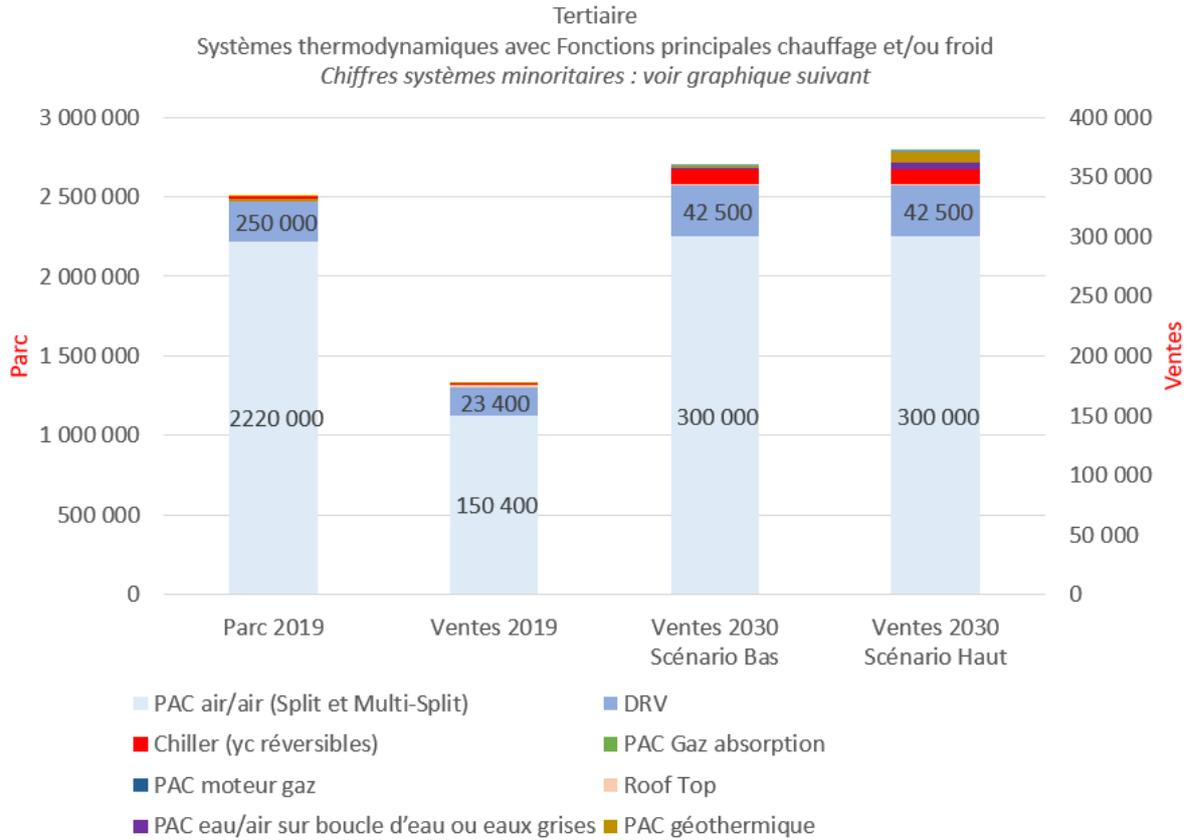


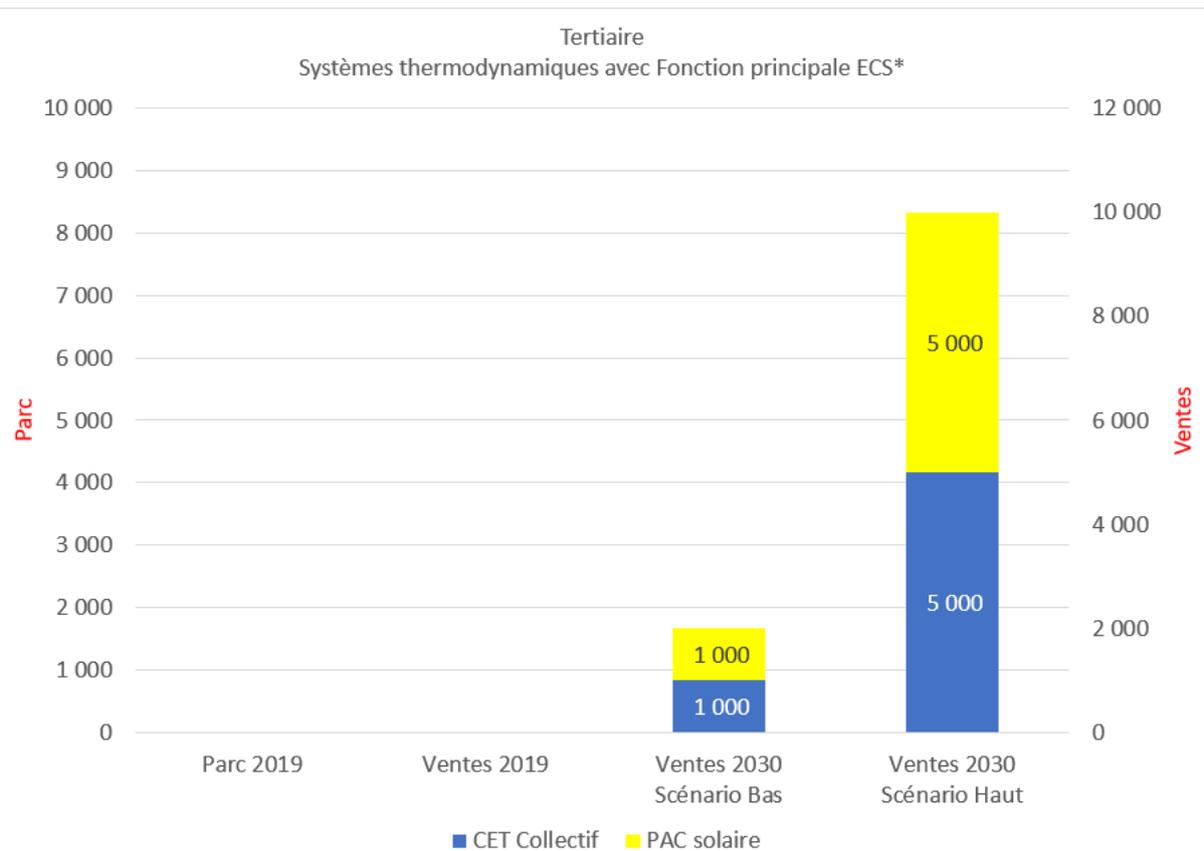
Logements Collectifs
Systèmes thermodynamiques avec Fonction principale ECS



Systèmes hybrides avec du gaz (chauffage et/ou ECS): certains marchés de logements collectifs dans lesquels il y a actuellement une forte part de gaz pourraient accueillir à l'avenir une faible part de systèmes hybrides avec du gaz, en rénovation notamment.

Tertiaire





Systèmes hybrides avec du gaz : certains marchés tertiaires dans lesquels il y a actuellement une forte part de gaz pourraient accueillir à l’avenir une faible part de systèmes hybrides avec du gaz, en rénovation notamment.

5.3. Actions à mettre en œuvre par la filière

Lors du lancement des travaux, le groupe de travail a identifié 8 thématiques essentielles à traiter pour passer de l’état des lieux 2020 à la vision 2030 :

1. Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale
2. Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques
3. Identifier les pistes d’évolution technologique les plus prometteuses
4. Déployer les PAC en logements collectifs
5. Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre
6. Proposer des actions pour la formation de la filière
7. Développer des PAC « intelligentes »
8. Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG

Les Groupes de Travail Thématiques (GTT) ont proposé des actions relatives à chacune des 8 thématiques listées ci-dessus. Les Annexes 2 à 10 présentent le détail de la méthodologie, des travaux et des résultats des GTT qui ont abouti à ces propositions. L’équipe d’animation les a synthétisées et affinées pour aboutir à une liste de 47 actions exposées dans le Tableau 15.

N° GTT	Thématique	Secteur	Type d'action	N°	Action
1	Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur	R & T	Réglementation	1.1	Campagnes de mesure in situ pour mieux évaluer la part EnR des systèmes thermodynamiques : Collecter les résultats des campagnes de mesure réalisées récemment (y compris en froid), en lancer d'autres et communiquer sur les résultats

	place dans une approche globale	R & T	Réglementation	1.2	Harmoniser le calcul de la part EnR des PAC en chaud avec la Directive EnR
		R & T	Information/Communication	1.3	Sensibiliser les utilisateurs et les exploitants à une utilisation responsable de la climatisation en Métropole, par exemple, en étendant le programme Clim'Eco validé par le MTE et piloté par l'AFF
		R & T	Etudes	1.4	Mener une étude afin d'évaluer l'impact potentiel des systèmes de climatisation dans les phénomènes d'îlots de chaleur urbain
		R & T	Lobbying	1.5	Communiquer auprès des pouvoirs publics sur les conclusions du document produit par UNICLIMA « Contribution relative à la prise en compte du froid renouvelable pour le confort des occupants dans le bâtiment »
		R & T	Lobbying	1.6	Sur les réseaux de froid, sur le sujet du froid renouvelable, assurer une équité entre les réseaux et les équipements. Si nécessaire mettre en place un groupe de concertation ad hoc
2	Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques	R & T	Réglementation	2.1	Intégration des titres V de la RT 2012 dans la RT 2020
		R & T	Réglementation	2.2	Considérer une contribution des PAC Air/Eau dans le calcul du rafraîchissement de la RE 2020
		R & T	Réglementation	2.3	Prise en compte du confort d'été dans la RT Existant
		R & T	Réglementation	2.4	Prendre en compte les performances saisonnières des équipements dans la RE 2020 et RT Existant
		R & T	Réglementation	2.5	RE : assurer un lobbying pour prendre en compte un indicateur RCFR (Ratio de Chaleur et/ou de Froid Renouvelable) dans les futures réglementations (avec formule conforme à la directive EnR). Ratio non pris en compte dans la RE2020.
		R & T	Réglementation	2.6	RTex globale : introduire un indicateur RCFR conforme
		R & T	Réglementation	2.7	Avoir un RCFR dans le DPE
3	Identifier les pistes d'évolution technologique les plus prometteuses	R & T	Etudes	3.1	Identifier les pistes d'évolution technologique les plus prometteuses

4	Déployer les PAC en logements collectifs	R	Réglementation	4.1	Mettre en place un GT pour la prise en compte des systèmes thermodynamiques dans le collectif dans le label RE2020
		R	Réglementation	4.2	Mettre en place un GT pour la prise en compte des systèmes thermodynamiques dans le collectif dans la RT existante (méthode globale)
		R	Lobbying	4.3	Faire du lobbying pour un soutien du FC aux PAC air/eau dans le collectif
		R	Réglementation	4.4	Mettre en place un GT pour faire évoluer la réglementation incendie dans les logements collectifs
		R	Etudes	4.5	Mettre en place un GT sur la réduction des coûts des solutions en LC
		R	Produits	4.6	Développer de nouvelles solutions en LC (adaptation de PAC tertiaire au LC, PAC sans UE, PAC par quartier, solutions d'intégration architecturale...).
5	Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre	R & T	Information/Communication	5.1	Sensibiliser l'ensemble de la filière à l'importance des DTU et des documents RAGE
		R & T	Développement de règles de l'art	5.2	Compléter et améliorer les DTU existants (BAO, règles de dimensionnement, prise en compte du froid et mise à jour de la norme EN 12831 sur le calcul des déperditions, révision des fichiers météo)
		R & T	Développement de règles de l'art	5.3	Etablir des schémas partagés
		R & T	Information/Communication	5.4	Communiquer auprès des acteurs de la filière sur les documents techniques pertinents, les règles de l'art et les bonnes pratiques (focus sur la loi d'eau, sur le calcul des déperditions)
		R & T	Développement de règles de l'art	5.5	A propos des DRV Gainables : faire évoluer le DTU pour prendre clairement en compte tous les systèmes. UNICLIMA va lancer un GT.
		R & T	Développement de règles de l'art	5.6	A propos de l'ECS thermodynamique collective : au-delà du guide COSTIC préciser les règles techniques. UNICLIMA va lancer un GT.
		R & T	Développement de règles de l'art	5.7	Cas de l'hybride gaz/élec : Règles de dimensionnement pour la puissance de la PAC : GT UNICLIMA en cours et GT AFPAC qui a aussi démarré et qui s'attachera plutôt à la diffusion vers la filière
		R & T	Développement de règles de l'art	5.8	Compléter les règles de l'art pour que les installateurs/mainteneurs interviennent dans un environnement le moins risqué possible : communiquer sur l'Etude AFCE et les travaux PROFEEL en cours.

		R & T	Formation	5.9	Améliorer/approfondir la formation des installateurs et mainteneurs
6	Proposer des actions pour la formation de la filière	R & T	Information/Communication	6.1	Pénurie d'ingénieurs, de techniciens et d'opérateurs spécialisés : il faut donc communiquer vers les jeunes
		R & T	Formation	6.2	Aller chercher des moyens auprès des OPCA pour former sur les PAC
		R & T	Lobbying	6.3	Intégrer les PAC dans les formations globales à destination des maîtres d'œuvres et des BE
		R & T	Lobbying	6.4	Faire évoluer la qualification des acteurs de la filière : installateurs, BE
		R & T	Formation	6.5	L'ADEME avec le programme SARE a mis en œuvre de nombreuses formations. Le COSTIC forme actuellement les conseillers FAIRE sur les systèmes thermodynamiques.
7	Développer des PAC « intelligentes »	R & T	Etudes	7.1	Faire un état de l'art sur les systèmes thermodynamiques. Cet état de l'art pourra alimenter l'INPAC pour les travaux de R&D à mener.
		R & T	Produits	7.2	Développer des PAC intelligentes : système « communicant », couplage PV, couplage réseau, risque fluide.
8	Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG	R & T	Produits	8.1	Concevoir des produits "monobloc" ou à circuit(s) hermétiquement scellé(s) pour limiter le risque en cas de fluide hautement inflammable, toxique ou fonctionnant à plus haute pression
		R & T	Information/Communication	8.2	Diffuser l'information concernant les règlements applicables et leurs impacts
		R & T	Produits	8.3	Ajouter des sécurités embarquées pour assurer la sécurité des utilisateurs, des opérateurs et des pompiers ; par exemple : vannes, isolation M0, ventilation.
		R & T	Produits	8.4	Contrôler l'application des normes et des réglementations, et aussi conduire les évaluations de risques associées, avec essais associés si nécessaires.
		R & T	Formation	8.5	Former la chaîne des personnels intervenants sur ces produits aux risques potentiels.
		R & T	Lobbying	8.6	Obtenir un soutien des pouvoirs publics français face aux nouveaux enjeux de sécurité soulevés par les produits et installations contenant un fluide à risque.

	R & T	Formation	8.7	Renforcer la dynamique de formation des intervenants sur des produits ou installations contenant des fluides à risque. - Manipulation des fluides, matériel spécifique et adapté aux fluides inflammables, formations produits / stages pour sensibiliser sur les risques - Connaissance des caractéristiques des fluides, des risques et bonnes conditions d'installation - Charge / recharge d'installations pour les mélanges de fluides
	R & T	Lobbying	8.8	Obtenir un référentiel européen sur la manipulation des fluides à risque
	R & T	Information/Communication	8.9	Communiquer sur l'étude du AFCE / COSTIC qui définit les référentiels de formation à mettre en œuvre selon les catégories de fluides.
	R & T	Information/Communication	8.10	Communiquer sur l'étude du programme PROFEEL sur les PAC résidentielles utilisant des fluides naturels qui précise les compétences, les outils et les dispositions techniques à suivre par les professionnels installateurs.
	R & T	Information/Communication	8.11	Communiquer sur les guides professionnels existants (ex. : Uniclimate, SNEFCCA...) sur les fluides alternatifs qui rappelle les réglementations applicables, les compétences et les outils nécessaires.

Tableau 15 : 47 Actions proposées au Groupe de Travail

Lors de la dernière session plénière, les membres du groupe de travail se sont engagés à mettre en œuvre une ou plusieurs de ces 47 actions (le détail des engagements est en Annexe 11).

Huit actions ont suscité un engagement plus fort que les autres, dans l'ordre de classement :

- 7.2 : Développer des PAC intelligentes : système « communicant », couplage PV, couplage réseau, risque fluide.
- 7.1 : Faire un état de l'art sur les systèmes thermodynamiques. Cet état de l'art pourra alimenter l'INPAC pour les travaux de R&D à mener.
- 2.4 : Prendre en compte les performances saisonnières des équipements dans la RE 2020 et RT Existant
- 4.1 : Mettre en place un GT pour la prise en compte des systèmes thermodynamiques dans le collectif dans le label RE2020
- 1.1 : Campagnes de mesure in situ pour mieux évaluer la part EnR des systèmes thermodynamiques : Collecter les résultats des campagnes de mesure réalisées récemment (y compris en froid), en lancer d'autres et communiquer sur les résultats
- 4.6 : Développer de nouvelles solutions en LC (adaptation de PAC tertiaire au LC, PAC sans UE, PAC par quartier, solutions d'intégration architecturale...).
- 8.1 : Concevoir des produits "monobloc" ou à circuit(s) hermétiquement scellé(s) pour limiter le risque en cas de fluide hautement inflammable, toxique ou fonctionnant à plus haute pression
- 8.2 : Diffuser l'information concernant les règlements applicables et leurs impacts

Ce classement met clairement en lumière les principales préoccupations de la filière : le développement de systèmes « intelligents », les enjeux liés aux nouveaux fluides frigorigènes, les enjeux liés au déploiement en logements collectifs, le positionnement des systèmes thermodynamiques dans les réglementations et par rapport aux EnR.

Renforcement des moyens de l'AFPAC

A la demande d'UNICLIMA et de l'ADEME, le Groupe de Travail s'est par ailleurs prononcé sur la nécessité de renforcer les moyens de l'AFPAC pour mieux accompagner la filière. Comme le montre la Figure 19, à la quasi-unanimité les participants se sont prononcés pour un renforcement des moyens de l'association.

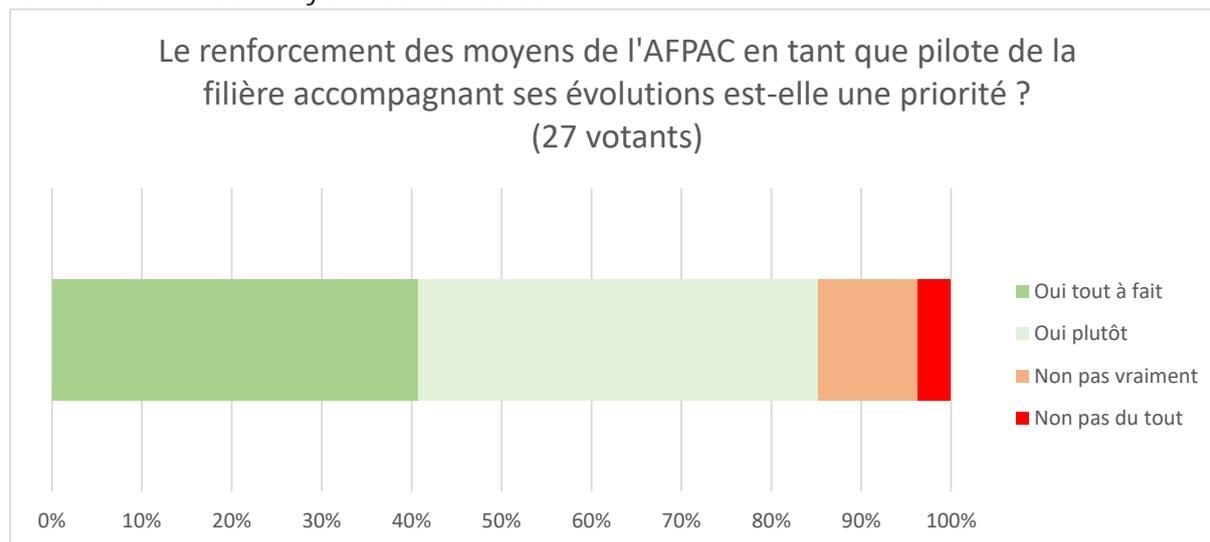


Figure 19 : Résultat du sondage sur le renforcement des moyens de l'AFPAC

5.4. Accompagnement et financement de la R&D

La R&D est enjeu essentiel pour faire advenir la vision 2030, elle transcende les différentes thématiques exposées plus haut. Ainsi, les pouvoirs publics et UNICLIMA ont sondé les membres du GT lors de la dernière session plénière afin d'établir et hiérarchiser les actions les plus efficaces pour accompagner et financer la R&D.

Création d'un centre de R&D sur les PAC

Comme le montre la Figure 20, le groupe de travail s'est prononcé plutôt en faveur de la création d'un centre de R&D dédié au PAC. Néanmoins, plusieurs participants ont souligné qu'il était difficile pour eux de se prononcer sans une définition stricte de ce centre. Cette question sera donc débattue à nouveau au sein de la filière (hors du GT feuille de route).

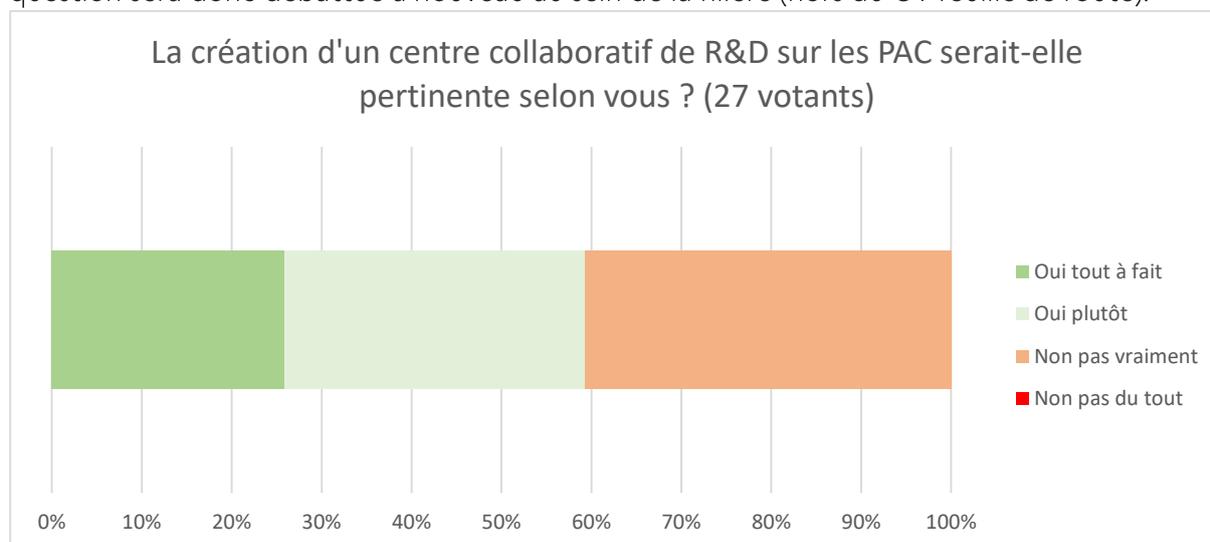


Figure 20 : Résultats du sondage sur la création d'un centre de R&D sur les PAC

Actions de R&D à financer en priorité

Le groupe de travail s'est positionné les actions de R&D à accompagner en priorité. 27 actions de R&D ont été sélectionnées pour être évaluées via la méthode du jugement majoritaire (utilisée aussi pour lister les 8 thématiques essentielles au lancement du groupe de travail) : chaque participant évalue chaque proposition avec 7 possibilités : **Excellent** - **Très bien** - **Bien** - **Assez bien** - **Passable** - **Insuffisant** - **A rejeter**. Le classement obtenu est exposé dans le **Tableau 16** (le détail des notations est en Annexe 11).

Voici les principales conclusions issues de ce classement :

- Les fluides à faible PRG et les PAC intelligentes sont les sujets les plus prisés
- Toutes les actions de recherche semblent a minima assez pertinentes aux yeux des membres de la filière
- Comme le montre l'évaluation détaillée exposée ci-dessous, les pouvoirs publics devront encore trier les pistes d'action selon qu'ils voudront privilégier des actions consensuelles (faible opposition) ou des actions fortement soutenues par moins d'acteurs.
- Les actions classées 1 (Fluides à faible PRG : Impact environnemental) et 2 (PAC intelligentes: Couplage au réseau) bénéficient à la fois d'un très fort soutien (beaucoup d'évaluations « excellent ») et d'une très faible opposition.

Thème	Action de R&D évaluée	Résultat	Rang
Fluides à Faible PRG	Impact environnemental	Très Bien	1
	Sécurité	Très Bien	3
	Efficacité énergétique	Très Bien	4
	Nouvelles alternatives de fluide	Très Bien	8
PAC intelligentes	Couplage au réseau	Très Bien	2
	Détection de défauts et maintenance prédictive	Très Bien	6
	PAC Connectée	Très Bien	9
	Auto-apprentissage	Bien	12
	PAC Communicante	Bien	13
	Couplage au PV	Bien	18
PAC en logement collectif	Adaptation de PAC existante en tertiaire	Très Bien	10
	Solutions d'intégration architecturale	Bien	16
	PAC sans UE	Bien	19
	PAC par quartier	Bien	23
Hybridation	Intégration de nouvelles énergies (récupération, renouvelables)	Très Bien	7
	Hybridation PAC / autre système	Assez Bien	25
Remplacement	Effet Joule par PAC	Très Bien	5
	Chaudière par PAC	Bien	22
Optimisation	Impact acoustique	Bien	11
	Réduction des coûts (nouveaux matériaux, nouvelles technologies, recyclage...)	Bien	14
	Amélioration des performances (composants, régulation, cycles de dégivrage...)	Bien	15
	Economie circulaire (yc recyclage)	Bien	17
	Adaptation des produits aux besoin des bâtiments (ratio chauffage/ECS notamment)	Bien	20

	Réduction de la charge en fluide	Bien	21
Stockage	Stockage d'énergie	Bien	24
Multifonctions	Multifonctions (intégration de la ventilation notamment)	Assez Bien	26
Gaz vert	PAC Gaz vert	Assez Bien	27

Tableau 16 : Evaluation et Hiérarchisation des actions de R&D

5.5. Conclusion : Axes principaux de la feuille de route

Les actions proposées par la filière et dans lesquelles ses membres souhaitent s'engager tout comme l'expression de besoins en termes de R&D dessinent des axes forts pour l'atteinte de la vision 2030.

Les principaux axes pour passer de l'état des lieux à la vision 2030 selon la filière sont :

- Le positionnement réglementaire des PAC en neuf comme en existant
- Le positionnement de la PAC au regard des EnR
- Le développement de solutions « intelligentes »
- Le développement et la prise en compte des enjeux liés aux nouveaux fluides frigorigènes
- Le développement de solutions en logements collectifs.

6. Annexes

6.1. Annexe 1: Quelques performances des systèmes thermodynamiques en Résidentiel

PAC Air/Eau Haute température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance haute température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à haute température (ETAS)
STIEBEL	WPL-A 07 HK 230 Premium	Air	Monobloc	8R454C		148	153
STIEBEL	WPL-A 05 HK 230 Premium	Air	Monobloc	5.6R454C		148	151
Nibe	F2120-12 1x230	Air	Monobloc	8.3R410A		2088	148
CTC	EcoAir 614M	Air	Bibloc	7.6R407C		1774	148
WOLF	CHA-07/400V	Air	Bibloc	5.93R290		3	148
CTC	EcoAir 622M	Air	Bibloc	8.5R407C		1774	147
Nibe	F2120-8 1x230	Air	Monobloc	6.3R410A		2088	147
Alpha Innotec	LWV 91-12-40V 12-3	Air	Bibloc	8.9R290		3	147
Bosch	CS7000AW 7 IRMS	Air	Bibloc	5R410A		2088	145
Buderus	Logatherm WLW196i-14 IRE	Air	Bibloc	10R410A		2088	145
VAILLANT	VWL 125/6 A 230V S3	Air	Monobloc	9.66R290		3	144
Bosch	CS7000AW 9 IRMS	Air	Bibloc	6R410A		2088	143
Buderus	Logatherm WLW196i-11 IRE	Air	Bibloc	9R410A		2088	143
CTC	EcoAir 610M	Air	Bibloc	6.6R407C		1774	143
Buderus	Logatherm WLW196i-14 ARE	Air	Bibloc	10R410A		2088	142
Hitachi	RAS-4WHNPE RWH-4.0VNFE - Type 1	Air	Bibloc	11R410A		2088	142
WOLF	CHA-10/400V	Air	Bibloc	7.4R290		3	141
Hitachi	RAS-4WHNPE RWH-2.0NE	Air	Bibloc	4R32		675	140
Bosch	CS7400AW 7 ORB	Air	Bibloc	5.91R410A		2088	140
Hitachi	RAS-4WHNPE RWH-4.0NFE - Type 1	Air	Bibloc	11R410A		2088	140

PAC Air/Eau Basse température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance basse température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à basse température (ETAS)
Heliotherm	Basic Comfort HP20L M-BC	Air	Bibloc	16R410A		2088	208
Midea	MHA-V10W/D2NB-B+HB-A100/C****GN8-B	Air	Bibloc	9.1732		675	205
Bosch	CS7000AW 7 IRMS	Air	Bibloc	5R410A		2088	203
Buderus	Logatherm WLW196i-11 IRE	Air	Bibloc	10R410A		2088	202
Panasonic	WH-ADC03093E5 / WH-UD03E5	Air	Bibloc	4R32		675	200
VAILLANT	VWL 125/6 A 230V S3	Air	Monobloc	9.35R290		3	200
Bosch	CS7000AW 9 IRMS	Air	Bibloc	7R410A		2088	199
Bosch	CS7400AW 7 ORB	Air	Bibloc	6.2R410A		2088	198
Buderus	Logatherm WLW196i-14 IRE	Air	Bibloc	11R410A		2088	197
Bosch	CS7400AW 5 ORB	Air	Bibloc	4.76R410A		2088	196
Heliotherm	Sensor Comfort Compact	Air	Monobloc	16R410A		2088	195
DAIKIN	ERGAD0V7 / ERVX0452303V	Air	Bibloc	6R32		675	194
Mitsubishi	PLZ-VM112VAA(-BS) + ERPT30X-VM*D	Air	Monobloc	10R32		675	195
Hitachi	RAS-2WHNPE RWH-2.0NE	Air	Bibloc	4R32		675	194
WOLF	CHA-07/400V	Air	Bibloc	5.59R290		3	194
CTC	EcoAir 622M	Air	Bibloc	8.5R407C		1774	193
CTC	EcoAir 614M	Air	Bibloc	7.5R407C		1774	193
VAILLANT	VWL 57/5 230V	Air	Monobloc	4.84R410A		2088	193
VAILLANT	VWL 35/5 AS 230V + VWL 57/5 IS	Air	Bibloc	4.04R410A		2088	192
SAUNIER DUVAL	HA 3-5 OS 230V + HA 5-5 STB	Air	Bibloc	4.04R410A		2088	192
STIEBEL	WPL-A 07 HK 230 Premium	Air	Monobloc	8.1R454C		148	192
VAILLANT	VWL 37/5 230V	Air	Monobloc	4.84R410A		2088	191
Midea	MHA-V4W/D2NB-B+HB-A60/C****GN8-B	Air	Bibloc	5.52R32		675	191
WOLF	CHA-10/400V	Air	Bibloc	7.58R290		3	191
Buderus	Logatherm WLW196i-14 ARE	Air	Bibloc	12R410A		2088	191
Nibe	F2120-12 1x230	Air	Monobloc	8R410A		2088	190

PAC eau/eau Haute température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance haute température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à haute température (ETAS)
Thermia	ATLAS 18 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	17.55R410A		2088	223
Thermia	ATLAS 12 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	12.54R410A		2088	217
Nibe	F1155-6 1x230	Aquifère	Monobloc	17.55R410A	R9407C	1774	214
Thermia	Calibra 7 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	8.51R410A		2088	211
Thermia	Calibra 12 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	11.6R410A		2088	206

PAC eau/eau Basse température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance basse température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à basse température (ETAS)
Thermia	ATLAS 12 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	12.54R410A		2088	334
Thermia	ATLAS 18 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	17.55R410A		2088	319
Thermia	Calibra 7 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	8.51R410A		2088	305
Thermia	Calibra 12 400V (aquifère)	Aquifère	Monobloc	11.6R410A		2088	290

PAC sol/eau Haute température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance haute température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à haute température (ETAS)
STIEBEL	WPE-1 12 H(K)(W) Premium	Sol	Monobloc	11.99R454C		148	169
Thermia	ATLAS 18 400V (sol)	Sol	Monobloc	15.68R410A		2088	168
STIEBEL	WPE-1 15 H(K) (W) 230 Premium	Sol	Monobloc	13.77R454C		148	168
Thermia	ATLAS 12 400V (sol)	Sol	Monobloc	10.48R410A		2088	162

PAC sol/eau Basse température

Marque	Modèle	Source d'énergie	Type	Puissance basse température (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Efficacité énergétique à basse température (ETAS)
Thermia	ATLAS 18 400V (sol)	Sol	Monobloc	15.05R410A		2088	228
Thermia	ATLAS 12 400V (sol)	Sol	Monobloc	11.49R410A		2088	222
Thermia	Calibra 12 400V (sol)	Sol	Monobloc	11.69R410A		2088	219
Viessmann	VITOCAL 300-G BWC 301.C16	Sol	Monobloc	13.08R410A		2088	217
Döhsner	TERRA 11 HPLA	Sol	Monobloc	10.9R410A		2088	216
STIEBEL	WPE-1 12 H(K)(W) Premium	Sol	Monobloc	12.03R454C		148	216

PAC Air/Air Split

Marque	Modèle	Type	Puissance du mode froid (kW)	Puissance de chauffage (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Performance de chauffage (SCOP)	Performance de climatisation (SEER)
Mitsubishi Electric	MSZ-LN35VC-R/W/W/B	Split	2.3	3.2R32		675	5.4	10.5
Toshiba	RAS-10R9KPC-E	Split	2.3	3.2R32		675	5.2	10.5
Daikin	FTXZ25N	Split	2.3	3.6R32		675	5.3	9.5
Mitsubishi Electric	MSZ-LN35VC-R/W/W/B	Split	4	6.3R32		675	5.1	9.5
Toshiba	RAS-13R9KPC-E	Split	3.5	4.6R32		675	5.3	9.5
LG	F10MT NSM	Split	3.5	4.6R32		675	5.3	9.4
LG	F12MT NSM	Split	3.3	4.6R32		675	5.1	9.1
Daikin	FTXZ35N	Split	3.5	4.6R32		650	5.7	9
Hitachi	RAK-20PSE(W/S)	Split	3.5	4.6R32		675	5.3	9
Hitachi	RAK-20PSE(W/S)	Split	3.5	4.6R32		675	5.3	9
Daikin	FXA-20A2V1BS	Split	2.3	2.9R32		675	5.19	8.75
Daikin	FXA-25A2V1BS	Split	2.3	2.8R32		675	5.18	8.74
Daikin	FXA-35A2V1BS	Split	3.5	4.6R32		675	5.15	8.73
Daikin	FTXM-20N	Split	2.3	2.9R32		675	5.15	8.65
Daikin	FTXM-25N	Split	2.3	2.8R32		675	5.1	8.65
Daikin	FTXM-35N	Split	3.5	4.6R32		675	5.1	8.65
Daikin	FTXM-45N	Split	4.7	6.3R32		675	5.1	8.65
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Split	2.3	3.2R32		675	5.3	8.6
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Split	2.3	3.2R32		675	5.3	8.6
Fujitsu	ASYG 9 KGTB	Split	2.3	2.8R32		675	5.11	8.52
Fujitsu	ASYG 12 KGTB	Split	3.4	4.6R32		675	5.3	8.51
Fujitsu	ASYG 18 KGTB	Split	4.6	6.3R32		675	5.3	8.5
Panasonic	CS-220VKEW	Split	2.3	3.6R32		675	5.3	8.5
Panasonic	CS-235VKEW	Split	3.5	4.6R32		675	5.3	8.5
Toshiba	RAS-10R9KPC-E	Split	2.3	3.2R32		675	4.6	8.5
Toshiba	RAS-807J2KVS-E	Split	2.3	2.8R32		675	5.1	8.5
Panasonic	CS-250VKEW	Split	3.5	5.8R32		675	4.7	7.9
Mitsubishi Electric	MSZ-AP42V2G	Split	4.2	6.3R32		675	4.7	7.8
Toshiba	RAS-10R9KPC-E	Split	2.3	3.2R32		675	4.6	7.8
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Split	4.4	5.8R32		675	4.4	7.8
Daikin	FTXM-25N	Split	7.4	9.6R32		675	4.62	7.78
Daikin	FXTA30AW	Split	4.3	5.8R32		675	4.7	7.5
Daikin	FXA-42A2V1BS	Split	4.3	5.8R32		675	4.6	7.5
Daikin	FTXM-42M2V1B	Split	4.2	5.4R32		675	4.4	7.5
Hitachi	RAK-42RPE	Split	4.2	5.8R32		675	4.6	7.5
Hitachi	RAK-50PSE(W/S)	Split	5	6.3R32		675	4.7	7.5
Mitsubishi Electric	RAC-650J2G5/W/W/B	Split	2.3	3.2R32		675	4.7	7.5
Daikin	FTXM42N	Split	4.3	5.8R32		675	4.71	7.41
Daikin	FTXM50N	Split	5	5.8R32		675	4.71	7.41
Mitsubishi Electric	MSZ-AP50V2G	Split	5	6.3R32		675	4.7	7.4
Hitachi	RAK-50PSE	Split	5	6.3R32		675	4.4	7.35
Daikin	FXA-30A2V1BS	Split	3	3.6R32		675	4.4	7.3
Toshiba	RAS-B22J2KVS-E	Split	6.1	8.3R32		675	4.4	7.3
LG	AC1880 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	DC1880 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	DC1880 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	PC1850 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	PC1850 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	PC1850 NSK	Split	3	3.6R32		675	4.3	7
LG	PC2450 NSK	Split	6.4	7.9R32		675	4.3	6.9
LG	PC2450 NSK	Split	6.4	7.9R32		675	4.3	6.9
LG	PC2450 NSK	Split	6.4	7.9R32		675	4.3	6.9
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Split	5	6.3R32		675	4.3	6.8

PAC Air/Air Multi-Split

Marque	Modèle	Type	Puissance du mode froid (kW)	Puissance de chauffage (kW)	Réfrigérant	Impact du réfrigérant sur le climat (PRG)	Performance de chauffage (SCOP)	Performance de climatisation (SEER)
Daikin	FTXM-20N	Multi split	4	5.2R32		675	4.61	8.7
Daikin	FTXM-20N	Multi split	5.2	6.6R32		675	4.61	8.51
Daikin	FTXM-20N	Multi split	4	4.6R32		675	4.6	8.5
Panasonic	CS-220VKEW	Multi split	3.5	4.2R32		675	4.6	8.5
Panasonic	CS-220VKEW	Multi split	4.1	4.6R32		675	4.6	8.5
Panasonic	CS-220VKEW	Multi split	5	5.6R32		675	4.6	8.5
Panasonic	CS-220VKEW	Multi split	9	10.6R32		675	4.6	8.5
Panasonic	CS-220VKEW/CS-235VKEW	Multi split	6.8	8.3R32		675	4.6	8.5
Daikin	FTXM-20N/FTXM-35N	Multi split	6.8	8.6R32		675	4.65	7.95
Panasonic	CS-220VKEW	Multi split	8	9.6R32		675	4.7	7.9
Daikin	FTXM-25N/FTXM-35N	Multi split	8.5	10.6R32		675	4.68	7.77
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Multi split	5.2	5.6R32		675	4.6	6.9
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Multi split	5.2	6.6R32		675	4.6	6.9
Toshiba	RAS-810J2KVS-E	Multi split	5.2	6.6R32		675	4.6	6.9

6.2. Annexe 2 : Méthodologie des 8 Groupes de Travail Thématiques (GTT)

6.2.1. Huit thématiques prioritaires pour atteindre la vision 2030

Le groupe de travail a établi et hiérarchisé (impact estimé pour atteindre la vision x faisabilité technico-économique) une liste de pistes d'actions pour lever les freins et activer les leviers afin de passer de l'état des lieux 2020 à la vision 2030. Elles sont exposées dans le Tableau 17. La Figure 21 détaille les évaluations attribuées par le groupe de travail.

Les 8 pistes prioritaires pour passer de l'état des lieux 2020 à la vision 2030

Remarque : la numérotation a été revue par rapport au tableau ci-dessous pour établir un programme de travail cohérent.

1. Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale
2. Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques (regroupement des pistes listées 6 et 14)
3. Identifier les pistes d'évolution technologique les plus prometteuses
4. Déployer les PAC en logements collectifs
5. Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre
6. Proposer des actions pour la formation de la filière
7. Développer des PAC « intelligentes »
8. Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG

La plupart des autres pistes ont semblé pertinentes aux membres du GT. Nous invitons donc l'ensemble de la filière à se saisir de ces pistes en dehors du cadre de la feuille de route ADEME / UNICLIMA.

N°	Action	Détails
1	Identifier les pistes d'évolution technologique les plus prometteuses	Deux grandes catégories (qui peuvent se recouper) porteuses d'innovation technologiques : PAC utilisant une source froide spécifique (eaux grises, solaire, etc.); Hybridation Etablir une liste de ces systèmes et présenter leurs avantages/inconvénients et leurs potentiels (y compris besoin de R & D)
2	Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG	Enjeux associés <ul style="list-style-type: none"> • Enjeux réglementaires : F-GAS, Taxe HFC, réglementation incendie (CH 35 et autres), intégrant les enjeux de sécurité • Enjeux de formation : manipulation de fluides inflammables • Enjeux de communication : rassurer sur l'utilisation de fluides inflammables (pas uniquement mais présents) • Tout en conservant a minima la même performance énergétique
3	Déployer les PAC en logements collectifs	Freins <ul style="list-style-type: none"> • Pas d'obligation EnR ou de niveau de performance suffisamment exigeant en collectif en RT2012 • Pas d'incitation en rénovation • L'investisseur n'est pas forcément celui qui paie la facture énergétique (beaucoup de locations, pas décisionnaire en promotion) • Surcoût important, • Problème d'intégration architecturale de l'unité extérieure ou problème global d'accès à la source froide. • Impact des fluides frigorigènes Leviers <ul style="list-style-type: none"> • Développer des PAC alimentant un quartier (intérêt pour la géothermie par ex).?

		<ul style="list-style-type: none"> Faire de la RE 2020 un levier (reprise des titres V déjà déposés en RT 2012 par ex.) <p>Etablir un programme de travail avec des pistes concrètes pour desserrer ces freins et activer ces leviers</p>
4	Proposer des actions pour la formation de la filière	<p>Manque de compétence relevé par plusieurs acteurs du groupe de travail</p> <p>Notamment surdimensionnement des PAC qui nuit à leur performance</p> <p>Pas assez de personnels formés (Remarque: Côté géothermie, il existe des qualifications des bureaux d'études (par exemple OPQIBI 10.07 «études des ressources géothermiques» et 20.13 «ingénierie des installations de production utilisant l'énergie géothermique»)</p> <p>Travailler sur l'attractivité de la filière</p> <p>Améliorer et massifier les formations</p>
5	Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre	<p>Manque-t-il des règles professionnelles pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des systèmes thermodynamiques afin d'assurer leur performance dans le temps ?</p> <p>Pistes : tertiaire, logement collectif, hybride, froid</p>
6	Mieux valoriser les PAC dans la RE 2020	<p>Proposer une procédure « Titre V » plus simple que celle déployée dans le cadre de la RT 2012</p> <p>Mettre le calcul de la part EnR des PAC en conformité avec la directive EnR</p> <p>Mettre en place une obligation de solution renouvelable ou un niveau de performance suffisant pour permettre de valoriser ces systèmes performants en logement collectif</p> <p>Proposer une prise en compte pertinente des aspects de climatisation</p>
7	Développer des PAC « intelligentes »	A expliciter
8	Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale	<p>Les PAC sont-elles des EnR ? Oui en chaud et en froid ? Oui seulement en chaud ? Partiellement ? Quelle que soit leur énergie (électricité, gaz) ?</p> <p>Quelle est leur place dans la dynamique de lutte contre les températures élevées dans les logements ? Quelle articulation avec le bioclimatisme ? Faut-il « dédiaboliser » la climatisation dans un contexte de changements climatiques ?</p> <p>Etablir un consensus qui permettra de mieux communiquer</p>
9	Améliorer le bilan des PAC en termes d'économie circulaire	<p>En France existence d'une REP (DEEE), en Europe peut être nécessité d'utiliser une part de matières recyclées, retraitement des fluides frigorigènes</p> <p>Prise en compte de la loi sur l'économie circulaire</p> <p>Prise en compte de la durabilité dans le temps des PAC</p> <p>Révision de la directive ecodesign (Europe)</p> <p>Etablir des pistes pour améliorer la réparabilité des PAC et/ou pour intégrer des matières recyclées</p>
10	Mieux valoriser les PAC via les aides publiques	<p>De nombreux participants ont fait état de l'impact des aides publiques sur le déploiement des PAC (frein ou levier)</p> <p>Emettre des propositions concrètes (définir les grands axes) pour des aides publiques pertinentes sur années à venir.</p>

11	Réduire les coûts des PAC	Le coût d'investissement est plus élevé que d'autres systèmes (chaudières par exemple) notamment parce que ce sont des systèmes plus complexes qui requièrent une main d'œuvre plus qualifiée (dont la certification elle-même est un coût) pour être mis en place et entretenus Est-il possible de réduire ces coûts ? Si oui comment et de « combien » ?
12	Mieux intégrer les PAC dans les réglementations européennes	Les rooftops pourraient souffrir d'un point de vue réglementaire (au moins d'un point de vue européen, écoconception) de la difficulté de prendre en compte de manière couplée leurs fonctions chauffage / refroidissement et ventilation / possibilité de free cooling / de récupération de chaleur. Eviter le développement des mobiles -> peser pour mettre les climatiseurs mobiles et les splits sur la même étiquette lors de la révision du règlement européen sur l'étiquette énergie des climatiseurs règlement (EU) 626/2011. Réaliser une action coordonnée sur les sujets Etiquette Energie
13	Desserrer les freins et activer les leviers spécifiques à la géothermie	Leviers <ul style="list-style-type: none"> • Performances • Stockage intersaisonnier en chaud ou en froid Freins <ul style="list-style-type: none"> • Concurrence PAC air/eau • Aides publiques pas au niveau de l'investissement nécessaire • Plus compliquée à installer que les autres PAC • Pertes de compétence de la filière Etablir un programme d'actions
14	Mieux valoriser les PAC dans la RT Existante	Proposer une nouvelle définition du label BBC Réno Proposer une procédure « Titre V » plus simple que celle déployée actuellement Prendre en compte la notion de confort d'été dans l'existant Mieux valoriser la chaleur renouvelable dans l'existant
15	Identifier des pistes pour relocaliser la production de systèmes thermodynamiques en France	Et soutenir les fabricants qui sont déjà implantés en France
16	Analyser puis communiquer sur la pointe électrique	Une dynamique publique en faveur de l'électrification (révision contenu CO ₂ de l'électricité dans les réglementations et le DPE, révision du coefficient de passage en énergie primaire pour l'électricité dans les réglementations et le DPE, DPE en énergie finale) Mais des systèmes qui pourraient participer à la pointe électrique (hiver/été) Etablir le cahier des charges pour une étude sur l'impact des PAC sur la pointe électrique en hiver et en été

17	Mieux communiquer sur les systèmes PAC	Il faut « éduquer » le consommateur (et peut être les décideurs) à cette technologie plus complexe qu'une chaudière. Pour se faire il semble nécessaire de bien préciser les termes (PAC, systèmes thermodynamiques, différentes dénominations en Résidentiel et Tertiaire...) Bien définir les produits et proposer des axes de communication scientifique faisant consensus (les avantages / inconvénients des PAC)
18	Proposer une adaptation des certifications	Frein : les qualifications (notamment Qualipac) sont trop chères à obtenir pour les petites structures Proposer une adaptation de la procédure

Tableau 17 : Liste hiérarchisée des Freins et des Leviers

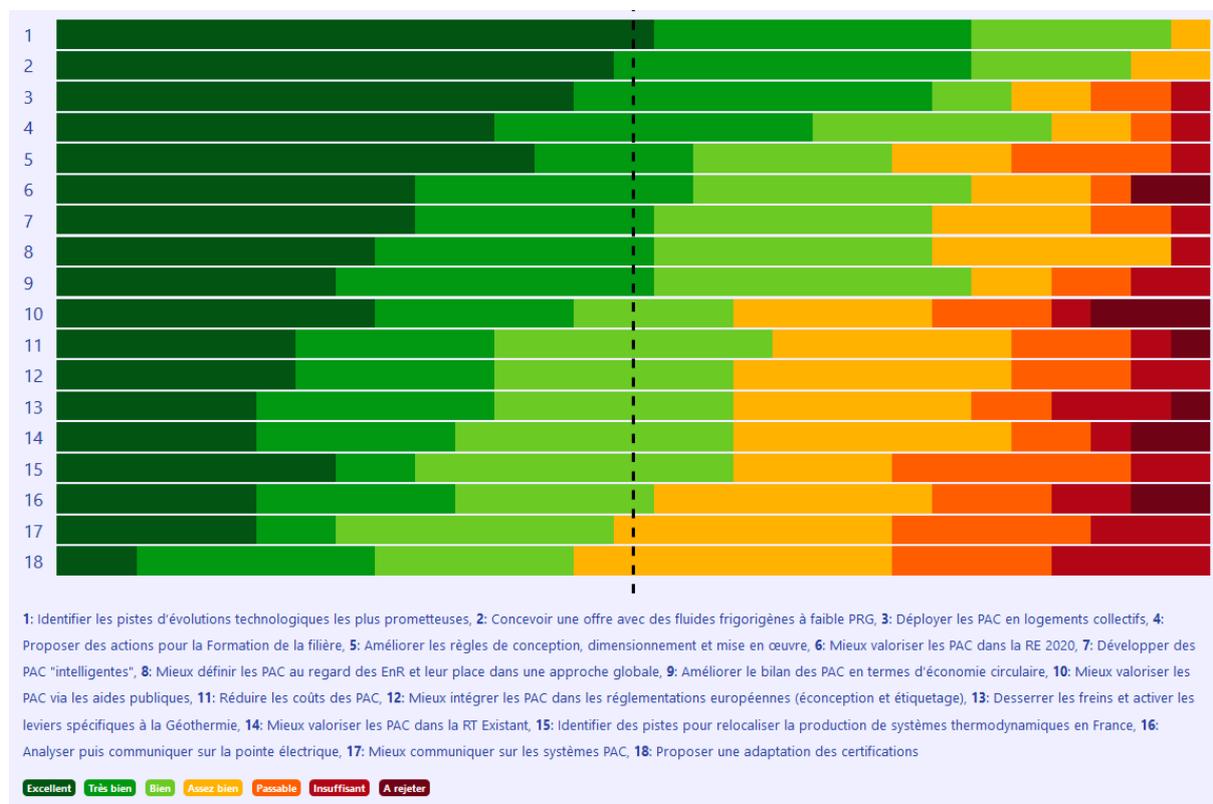


Figure 21 : Détail des évaluations attribuées par le groupe de travail

6.2.2. Méthode de travail des GTT

La méthode de travail mise en œuvre pour chacun des groupes de travail thématique (GTT) a été la suivante :

- Questionnaire préparatoire créé par l'équipe AMO/MO et envoyé aux participants du GTT
- Création d'un diaporama par l'équipe AMO et MO synthétisant la problématique et des pistes d'actions
- Réunion du GTT en visioconférence pendant 1h30: amélioration du diaporama en intelligence collective et engagement des participants pour la mise en œuvre d'actions
- Rédaction d'un compte rendu soumis à l'ensemble des participants.
- Mise en cohérence des actions et des engagements lors d'une réunion plénière en visioconférence

Tous les GTT ont par ailleurs pris en compte les enjeux transverses suivants :

- Les meilleures pratiques internationales
- La feuille de route porte sur le résidentiel et le tertiaire
- La question de la fabrication en France
- La question de la performance énergétique et environnementale des systèmes
- La question de l'intégration des systèmes dans leur environnement (architecturale et acoustique notamment)

6.3. Annexe 3 : Thématique 1 : Mieux définir les PAC au regard des EnR et leur place dans une approche globale

6.3.1. Enjeux

Pour promouvoir les solutions fondées sur des systèmes thermodynamiques, il est essentiel de pouvoir communiquer clairement sur la nature même de ces systèmes ainsi que sur leur place dans le cadre d'une action globale de performance environnementale des bâtiments.

Le GTT1 s'est à ce titre intéressé au mode de calcul de la part EnR des systèmes thermodynamiques, sur leur place dans la lutte contre la chaleur en été et sur la définition et la place spécifiques des systèmes Air/Air.

6.3.2. Calculer la part EnR en énergie primaire ou finale ?

Le GTT1 n'a pas pu établir de consensus sur le mode de calcul à retenir, certains membres promouvant un calcul en énergie primaire et d'autres en énergie finale :

- Arguments des promoteurs de l'énergie primaire :
 - La PAC est insérée dans un système global, il est nécessaire notamment de prendre en compte la performance de la production et l'acheminement d'électricité en amont
 - Le calcul en énergie primaire est cohérent avec les réglementations thermiques et avec la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments
 - La consommation d'énergie primaire est assez bien corrélée à la facture énergétique qui sera payée par le consommateur
- Arguments de promoteurs de l'énergie finale :
 - La directive EnR calcule la part EnR en énergie finale, il est donc logique de s'aligner sur cette directive européenne
 - La PAC est un système performant donc les qualités doivent être reconnues intrinsèquement et en dehors des performances amont de production d'électricité notamment
 - La consommation en énergie primaire de la PAC est calculée par ailleurs, avec un paramètre différent de la part EnR
 - Afin de pouvoir être comparée aux autres équipements qui produisent de la chaleur renouvelable, il est nécessaire de quantifier la chaleur renouvelable fournie en énergie finale

Cependant, dans le cadre du GTT2 portant sur les réglementations thermiques, le positionnement suivant a été adopté : « conformément à la Directive EnR, la part EnR des PAC dans les dispositifs de soutien (CEE, etc.) doit être calculée en énergie finale ».

6.3.3. Mieux évaluer la part EnR et les performances *in situ* par des campagnes de mesure

Le GTT1 considère qu'il est nécessaire de mener des campagnes de mesure pour mieux évaluer la part EnR des systèmes thermodynamiques et plus globalement leurs performances *in situ*. A ce titre, les membres du GTT1 proposent les actions suivantes :

- Collecter les résultats des campagnes de mesure réalisées récemment (y compris en froid)
- Réaliser des campagnes de mesure complémentaires
- Communiquer sur les résultats des campagnes de mesures
- Harmoniser le calcul de la part EnR des PAC avec la Directive EnR

6.3.4. Place des systèmes thermodynamiques dans la lutte contre la chaleur et définition du froid renouvelable

Le GTT1 propose de porter le discours suivant sur la place des systèmes thermodynamiques dans la lutte contre la chaleur :

- Avant de mettre en œuvre un système de climatisation il faut réduire les besoins de froid à l'échelle du bâtiment et si possible de l'urbanisme
- Après avoir réduit les besoins il est nécessaire d'envisager la mise en place de systèmes passifs avant les systèmes actifs
- Une fois le système mis en œuvre il faut inciter les occupants à utiliser la climatisation de manière responsable.

Le GTT1 est en accord⁵³ avec la définition proposée par UNICLIMA sur le froid renouvelable dans son document « Contribution relative à la prise en compte du froid renouvelable pour le confort des occupants dans le bâtiment » et résumée ci-dessous.

6. Conclusion sur les équipements et systèmes à froid renouvelable ou à partir d'énergie récupérée

Au regard des définitions précitées, seuls les équipements ou systèmes suivants peuvent être considérés pour le froid renouvelable au titre de la Directive 2018/2001/UE :

- Réseau ou système de froid « efficace » au sens de la directive 2012/27/UE
- Roof top, Centrale de Traitement d'Air, Ventilation double flux ou simple flux par insufflation avec freecooling ou sur ventilation nocturne
- Systèmes de refroidissement/rafraîchissement dits « passifs ».

Les systèmes suivants permettent de produire du froid à partir d'énergie récupérée :

- CET avec récupération sur la source de chaleur
- DRV avec récupération entre unités intérieures
- Thermofrigopompe.

Pour certains de ces équipements, la part d'énergie renouvelable peut être calculée selon la directive 2018/2001. Pour d'autres de ces équipements, des travaux complémentaires doivent être menés afin de préciser la part d'énergie renouvelable fournie puisqu'il n'existe pas de norme ou de réglementation pour la calculer.

Les membres du GTT1 proposent alors les actions suivantes :

- Sensibiliser les utilisateurs et les exploitants à une utilisation responsable de la climatisation en Métropole, par exemple, en étendant le programme Clim'Eco validé par le MTE et piloté par l'AFF

⁵³ Le CSTB précise qu'il devra encore lire ce document en détail, il indique que le froid renouvelable n'est pas pris en compte dans la RE 2020 à l'heure actuelle mais que c'est un sujet de travail pertinent.

- Mener une étude afin d'évaluer l'impact potentiel des systèmes de climatisation dans les phénomènes d'îlots de chaleur urbain
- Communiquer sur les conclusions du document produit par UNICLIMA
- Sur les réseaux de froid, si nécessaire mettre en place un groupe de concertation ad hoc.
- Porter les positions du groupe de travail auprès des instances nationales et européennes

6.3.5. Définition et place des PAC Air/Air ou climatiseurs

Le GTT1 n'a pas pris de position spécifique sur le sujet. Il propose en revanche les actions suivantes :

- Communiquer autour du mode d'utilisation des climatiseurs en résidentiel
- Porter cette communication auprès des professionnels pour qu'ils conseillent mieux leurs clients

6.4. Annexe 4 : Thématique 2 : Mieux valoriser les PAC dans les réglementations thermiques

6.4.1. Enjeux

Les différents types de systèmes thermodynamiques ne sont pas tous pris en compte dans les réglementations thermiques

Le calcul de la part « énergie renouvelable » des PAC dans les réglementations thermiques et les dispositifs de soutien (CEE, etc.) pose question.

6.4.2. Prise en compte de toutes les solutions thermodynamiques à leur juste valeur dans les réglementations thermiques

Afin de favoriser une performance reconnue de manière équitable pour tous les systèmes à l'échelle européenne, le GTT2 se positionne pour l'utilisation des performances reconnues à l'échelle européenne dans les réglementations françaises. Il précise cependant qu'il faut envisager deux horizons de temps : une évolution modérée dans le cadre de l'évolution de la RE 2020/RT Existant et une évolution plus radicale lors de la révision de la RE 2020 (5 ans ?) et RT Existant (dont les travaux d'évolution devraient reprendre en 2021).

Par ailleurs, afin d'intégrer au mieux les solutions thermodynamiques dans les réglementations thermiques, le GTT2 propose les actions suivantes :

- Intégration des titres V de la RT 2012 dans la RT 2020*
- Considérer une contribution des PAC Air/Eau dans le calcul du rafraîchissement de la RE 2020
- Intégration de la ECS thermodynamique dans la RT Existant
- Prise en compte du confort d'été dans la RT Existant**
- Prendre en compte les performances saisonnières des équipements dans la RE 2020 et RT Existant***

*Précision sur l'action :

- CSTB : Entre la RT 2012 et la RE 2020 le calcul de CO₂ a été intégré et il y a eu une demande de l'Etat de mettre en place un coefficient qui mesure la part d'EnR au niveau du bâtiment. Ca nécessitait des liens informatiques supplémentaires pour aller chercher la part EnR dans les Titres V. Donc le CSTB a décidé pour la robustesse de la RE 2020 d'intégrer des Titres V RT 2012 dans le cœur de calcul. En RT 2012 les Titres V

formaient une « verrue » informatique sur le cœur de calcul. La DHUP a décidé de ne transférer que les principaux Titres V et les Titres V génériques. Donc certains Titres V RT 2012 ne sont pas repris en RE 2020. Pour que ce soit repris, l'industriel doit se rapprocher de la DHUP.

- CETIAT : les Titre V génériques ne sont pas tous repris.

**Précision sur l'action de la part du CSTB :

- Ce ne sera possible que si l'on transfère le cœur de calcul RE 2020 vers la RT Existant. On ne peut pas « brancher » la seule partie confort d'été de la RE 2020 vers la RT Existant.

***Précisions sur l'action :

- A l'heure actuelle les industriels doivent faire des essais aux points « Eco-Conception » (réglementation européenne) et en plus des points de mesures spécifiques pour les réglementations françaises.
- Les industriels focalisent leurs améliorations sur les points de mesure Eco-Conception et pas sur les points de mesure des réglementations françaises, les performances de leurs produits sont donc probablement sous-évaluées.
- Il n'est pas possible de remplacer tout simplement les points de calcul RE 2020 et RT Existant par les points Eco-Conceptions car ce ne sont pas des points d'essai à pleine charge.
- L'Action 5 vise à mettre en place un groupe de travail pour améliorer la situation aussi rapidement que possible.

6.4.3. Calcul de la part EnR dans les réglementations

Le GTT2 considère que le Ratio de Chaleur et/ou de Froid Renouvelable (RCFR) est un indicateur pertinent qui doit être introduit dans les réglementations. A ce titre il propose les actions suivantes :

- RE2020 : en vue du label RE2020, garder l'indicateur RCFR (Ratio de Chaleur et/ou de Froid Renouvelable) avec la formule conforme, suivi de la pénétration des équipements de chaleur EnR en résidentiel
- RTex globale : introduire un indicateur RCFR conforme*
- Avoir un RCFR dans le DPE**

*Précisions sur l'action :

- CSTB : techniquement impossible de faire un RCFR dans la RT Existant actuelle. Il faut un nouveau cœur de calcul (cf. remarque Action 4)
- SUNSQUARE souligne que le décret tertiaire est calé sur des gains réels et qu'il faudrait donc que la RT existant reflète mieux la réalité terrain. Le CSTB est d'accord sur ce sujet.

**Précisions sur l'action :

- Le CSTB s'interroge sur l'intérêt pour le client final d'avoir un ratio RCFR, est-ce que ce n'est pas redondant avec l'étiquette CO₂ ?
- UNICLIMA souligne que l'intérêt est d'afficher auprès du client final un certain niveau d'énergies renouvelables.

6.5. Annexe 5 : Thématique 3 : Identifier les pistes d'évolutions technologiques les plus prometteuses

6.5.1. Enjeux

Les innovations participent à l'atteinte des objectifs climatiques et énergétiques nationaux et internationaux dans les secteurs résidentiel et tertiaire. **Il s'agit alors d'établir une liste de ces systèmes innovants et des grandes tendances et présenter leurs avantages/inconvénients et leurs potentiels de marché.**

6.5.2. Tendances générales

Pour le GTT3 les tendances générales pour les innovations en cours et à venir portent sur les fluides frigorigènes, l'efficacité énergétique, l'évolution du périmètre des services rendus, le confort d'été, l'économie circulaire, les modèles d'affaire, le high tech et/ou low tech.

Fluides frigorigènes

Remarque : le GTT8 porte spécifiquement sur les fluides frigorigènes à bas potentiel de réchauffement global (PRG), nous n'exposons ici que quelques grandes pistes.

La directive F-GAS va fixer les seuils d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et donc les types de fluides vers lesquels il faudra aller.

Pour le GTT3, il faut **conduire des recherches sur tous les fluides à bas PRG dont les fluides naturels** dans une approche d'évaluation globale (émissions du fluide mais aussi émissions évitées grâce aux performances que le fluide permet d'atteindre).

Concernant le cas spécifique du R32, le GTT3 considère que c'est un fluide de transition entre 2020 et 2030 qui sera remplacé à terme par d'autres fluides lorsqu'ils seront techniquement disponibles, c'est-à-dire qu'ils répondront aux enjeux énergétiques mais aussi économiques et de sécurité.

Outre la nature du fluide, l'étanchéité du système est gage de réduction des émissions fugitives, de sécurité et de facilité de mise en œuvre pour les systèmes monoblocs, elle est donc indispensable dans les installations qui ne peuvent pas être traitées par des systèmes monoblocs

Efficacité énergétique

C'est évidemment une piste d'innovation essentielle. Elle repose notamment sur :

- Le **fluide** utilisé
- Les **sources froides** utilisées et notamment l'utilisation de sources comme les eaux usées, une boucle tempérée, etc.
- Le **couplage** avec d'autres systèmes de production comme le photovoltaïque (PV)
- Le **stockage** d'énergie avec ou sans changement de phase

Elle doit par ailleurs **respecter l'intégration environnementale** : l'efficacité ne doit pas nuire à l'esthétique du bâtiment, ne pas créer un problème de bruit, etc.

Evolution du périmètre des services rendus par les systèmes thermodynamiques

Cette évolution concerne notamment le **périmètre géographique** : passage du logement au bâtiment (systèmes à la fois collectifs et individuels) et au quartier (réseau de chaleur).

Elle porte aussi sur le **périmètre des usages** : au sein d'un bâtiment ou un quartier traiter aussi bien les logements que les bureaux

Confort d'été

C'est un enjeu essentiel des années à venir au regard des évolutions des températures. A ce titre, les systèmes thermodynamiques devront proposer des **solutions de rafraîchissement à haute performance énergétique** et en cohérence avec le renforcement des niveaux d'isolation et de protection solaire.

Economie circulaire

Comme pour l'ensemble des produits manufacturés, les questions de **l'écoconception, de la réparabilité, du réemploi, du remanufacturing et des matériaux recyclés** seront au cœur des développements techniques.

Modèles d'affaires

Des modèles d'affaires **vertueux du point de vue de la sobriété** nécessitent le développement de solutions robustes, précises et à coûts maîtrisés de systèmes de suivi et de pilotage/régulation à distance.

High tech ou low tech

Chez les consommateurs aujourd'hui il existe **deux grandes tendances** soit vers la « high tech » (objets connectés par exemple) soit vers la « low tech » (systèmes simples qui mono-usages, etc.). Ces tendances sont à prendre en compte dans le design des nouveaux systèmes.

6.5.3. Tendances spécifiques au Résidentiel

Outre les tendances générales exposées ci-dessus, il y a des tendances spécifiques au Résidentiel. Elles portent sur les aspects suivants :

- **Maintenance** : notamment la détection des défauts et la maintenance préventive
- **Optimisation du fonctionnement** : la régulation, et la gestion à distance
- **Acoustique** : développement d'unités extérieures aussi « silencieuses » que possible
- **Disparition des équipements fixes air/air froid seul** (A noter : il n'y a plus de vente d'équipement fixes froid seul depuis plus de 5 ans selon les chiffres de PAC&Clim info ; selon un suivi Uniclimate sur 30 000 installations présenté lors de la J5PAC 2020 de l'AFPAC, les PAC air/air réversibles sont utilisées majoritairement en chauffage (2/3 du temps))

Dans les **logements neufs**, on note un développement d'**applications « froid » en complément du chauffage et de l'ECS** pour aller vers des PAC double, triple voire quadruple services.

Dans les **logements collectifs neufs**, trois grandes tendances se font jour :

- Remarque : le GTT4 porte spécifiquement sur le logement collectif, nous n'exposons ici que quelques grandes pistes.
- **Adaptation au logement collectif de solutions tertiaires** et développement de solutions mixant collectif et individuel
- Intégration architecturale dans le cas d'unités extérieures individuelles
- **Repositionnement de la PAC géothermique** (pour gérer les enjeux de confort d'été notamment)
 - Nécessite le développement de PAC géothermiques de petite puissance car faible demande chaud/froid dans le neuf.
 - Nécessite aussi de développer des capteurs plus petits (mais contrainte pour ne pas les geler).
 - Possibilité de développer des capteurs sur boucle d'eau tempérée.

Dans les **maisons individuelles existantes**, trois tendances coexistent :

- **l'hybridation** avec les systèmes en place (par ex. PAC + chaudière) voire au remplacement
- **le remplacement des chaudières par des PAC** (donc des PAC capables de fonctionner à plus haute température ou des logements dont l'isolation a été fortement améliorée)
- le remplacement des systèmes à effet Joule par des PAC Air/Air

6.5.4. Tendances spécifiques au Tertiaire

La tendance principale est le développement d'une offre multifonction et notamment le couplage avec la ventilation afin d'assurer un service « qualité de l'air ».

Dans le neuf il y a trois grandes tendances :

- l'anticipation des enjeux fluides (0 HFC)
- la modularité (un équipement par étage ou par local)
- la baisse de la puissance moyenne des équipements vendus

En rénovation, on note surtout un élargissement progressif des gammes proposées (type d'équipement, puissance...).

6.5.5. Innovations exposées par les membres du GTT3

Les membres du GTT3 ont exposé les solutions qu'ils développent ou qui leur semble prometteuses. Elles sont synthétisées dans le tableau ci-dessous et détaillées, via une fiche, dans les paragraphes suivants.

Secteur	Innovation	Déclarant
Résidentiel et Tertiaire	1-VRV avec réfrigérant à faible PRP	DAIKIN France
	2-Batteries à ailettes « frost free »	AFCE
	3-Dr Danil Doubochinski's Refrigeration through nonlinear oscillations	MTE
	4-Mesure de performance embarquée	Mines ParisTech
	5-Diagnostic de performances embarqué	EDF
	6-Stockage Energie BTES et ATES	Accenta AFPG
	7-Auto-consommation des EnR locales	EDF
Résidentiel	8-PAC DS eau/eau sur boucle tempérée	DAIKIN
	9-PAC chauffage et ECS de faible encombrement	ATLANTIC
Tertiaire	10-Solution avec la technologie hautement performante et améliorée	DAIKIN

Tableau 18 : Innovations mises en avant par le GTT3

1 - VRV avec réfrigérant à faible PRP Fabricant : DAIKIN France Source : https://www.daikin.fr/fr_fr/famille-produits/vrv/vrv5.html	
<p>Principe</p> <p>Développement d'un système VRV (bureaux, commerces, hôtels) avec un réfrigérant à faible PRP (diminution de 71% vs solutions actuelles).</p> <p>Aujourd'hui les systèmes VRV ou équivalent du marché fonctionnent avec du R410A (PRP = 2080) alors que la prochaine génération utilisera un réfrigérant avec un PRP beaucoup plus bas (R32 = 675).</p> <p>Les premiers modèles de petites puissances (petit tertiaire) viennent d'être lancés alors que les groupes de moyennes puissances (moyen et grands tertiaire) sont en cours de développement.</p>	<p>Illustration</p> 

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Régulation

Stade de développement : disponible sur le marché

Avantages : Gain en performance énergétique ; Gain en confort

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

Système sorti parce qu'il a atteint le quadruple objectif : sécurité, performance empreinte CO₂, économie.

Il y a 10 ans jour pour jour VRV au CO₂ lancé par DAIKIN mais peu de ventes car le marché n'était pas prêt (maintenance, etc.)

2 - Batteries à ailettes « frost free »
Expert présentant la solution : AFCE

Principe

Recherche de matériaux d'ailettes limitant l'accroche de la glace tout en conservant un bon échange thermique = objectif efficacité énergétique.

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Génération

Stade de développement : Tests en laboratoire

Avantages : Gain en performance énergétique ; Gain en performance climatique

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

Il y a des recherches actuelles sur les matériaux

Il faut sinon éviter le givrage (par exemple déshumidifier l'air)

3 - Dr Danil Doubochinski's Refrigeration through nonlinear oscillations

Expert présentant la solution : MTES

Source : <http://www.danil-doubochinski.com/EV%20Refrigeration.htm>

Principe

Procédé qui semble permettre la production de froid à partir d'"oscillations non-linéaires".

« A sweeping revolution in the technology of refrigeration may in fact now be on the way, thanks to a fundamental discovery in the domain of nonlinear oscillations, accomplished by the Russian physicists Danil and Yakov Doubochinski in the 1960s and 1970s. »

Illustration

Multiresonant atomization

With the preceding discussion of argumental interactions in mind, we now return to the atomizing reactor [1].

Figure 3 shows the reactor in schematic form. A pulsating flow of water enters through a tube at the left, and interacts with a pulsating flow of air, arriving from the air pump through a second tube. Of crucial importance is to insure that the air and water pulsate at widely differing frequencies.

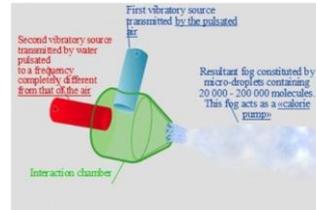


Figure 3
The atomizing reactor

Résidentiel / Tertiaire

Pas d'information certaine.

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Génération

Stade de développement : Tests en laboratoire

Avantages : Gain en performance énergétique

Ordre de grandeur du coût : -

Remarques du GTT3

Les membres du GTT3 ne connaissent pas cette solution et n'ont pas d'avis technique a priori.

4 - Mesure de performance embarquée
 Expert présentant la solution : Mines Paristech
 Source : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-03166726>

Principe

Il existe aujourd'hui des méthodes pour tous les types de PAC qui permettraient aux clients d'accéder à la performance de leur équipement en temps réel.

Ceci pourrait permettre de donner confiance dans l'efficacité de ces systèmes, faire la part entre besoins (à corriger via isolation), niveaux de température et efficacité intrinsèque de l'équipement. C'est une étape nécessaire vers la garantie de performance.

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Génération

Stade de développement : Disponible sur le marché

Avantages : Gain en performance énergétique

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

En collaboration avec EDF.

Documents publics : publications scientifiques, thèse.

5 - Diagnostic de performances embarqué
Expert présentant la solution : EDF

Principe

Basé sur une méthode embarquée de mesures de performance

Il s'agit d'y associer une méthode de détection de défauts

Ceci permettrait d'avoir un outil complet de diagnostic de performances, dans un objectif de e-maintenance et de maintenance préventive

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Génération

Stade de développement : En cours d'évaluation technique

Avantages : Gain en performance énergétique ; Meilleur fonctionnement ; Aide à la filière

Ordre de grandeur du coût : -

Remarques du GTT3

L'outil est en cours de développement mais EDF ne sait pas encore qui va porter l'outil (installateurs ? autres ?).

Système installable sur n'importe quelle PAC y compris dans l'existant.

Remarque : auto-apprentissage. DAIKIN travaille sur le sujet mais pas encore au niveau du pré-apprentissage de la loi d'eau. Mais utilisation du digital (smartphone) pour faciliter la mise en service des équipements.

6 - Stockage Energie BTES et ATES

Expert présentant la solution : Accenta / AFPG

Source : <https://www.accenta.ai/solutions/chauffage-geothermie>

Principe

Il s'agit de stocker de l'énergie venant de la chaleur fatale de climatisation dans un BTES pour la récupérer lors de la saison de chauffage.

Cela permet d'élever la température du sol autour des sondes géothermique (BTES) ou du réservoir (ATES) qui a pour conséquence d'élever la puissance des PAC et les rendements COP et SCOP.

Pour le SEER et EER il est bien supérieur à des systèmes Air car on fait fonctionner les PAC à une condensation plus faible (<30°C)

Illustration



2. Stockez-là

Cette chaleur renouvelable est injectée en été dans un Borehole Thermal Energy Storage. C'est un champ de sondes géothermiques dont la profondeur peut atteindre 200m. Il y a un fluide permettant d'échanger des calories avec le sol, lequel agit comme une véritable batterie.

Cette chaleur est stockée plusieurs mois pour répondre aux besoins énergétiques du bâtiment en hiver. A ce jour, le BTES est la seule solution pertinente pour le stockage inter-saisonnier de chaleur.

Nous utilisons également des cuves d'eau et l'inertie thermique du bâtiment pour un stockage de court terme bas carbone pour répondre aux pointes journalières de consommation.

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Stockage ; Régulation

Stade de développement : Disponible sur le marché

Avantages : Gain en performance énergétique ; Gain en coût

Ordre de grandeur du coût : -

Remarques du GTT3

-

7 - Auto-consommation des EnR locales

Expert présentant la solution : EDF

Principe

Il s'agit de concevoir et d'optimiser le pilotage d'un ensemble {PAC (+ stockage) + capteurs PV}

L'optimisation est réalisée à l'échelle du bâtiment pour favoriser localement l'auto-consommation d'EnR et valoriser la flexibilité de la PAC vis-à-vis du réseau, créée par ce couplage

A terme, une optimisation à plus grande échelle pourra être envisagée

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

Tertiaire

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Stockage ; Pilotage ; génération

Stade de développement : Fonctions « solar ready » disponibles commercialement, pilotage optimisé intégrant éventuellement un stockage à développer

Avantages : Gain en coût d'exploitation

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

A terme, une optimisation à plus grande échelle pourra être envisagée (flexibilité plus large, au-delà du bâtiment).

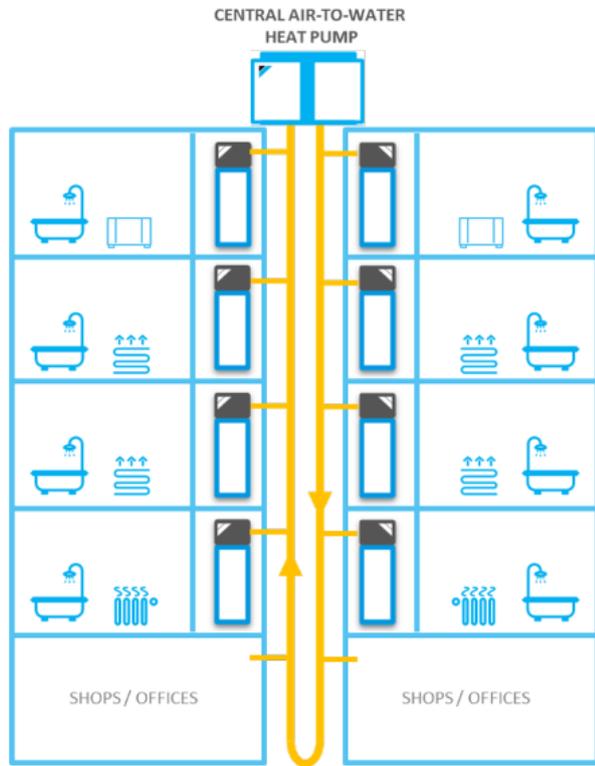
Couplage entre PAC et PV, optimisation pour favoriser autoconsommation.

8 - PAC DS eau/eau sur boucle tempérée
Fabricant : DAIKIN

Principe
PAC réversible de forte puissance (au R32) alimentant une boucle basse température sur laquelle seront raccordés des PAC triple services assurant le chauffage, le rafraîchissement, la production d'eau chaude sanitaire dans chaque appartement.

Fonctionnement indépendant appartement par appartement.
Comptage d'énergie à prévoir sur la boucle pour la répartition de la production de chaleur sur la boucle basse température.

Illustration



Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Génération ; Stockage ; Distribution ; Régulation ; Programmation ; Emission

Stade de développement : Tests terrain (sortie prévue pour 2024)

Avantages : Gain en performance énergétique ; Gain en performance climatique ; Gain en confort

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

On raccorde appartement par appartement des PAC géothermiques triple service. Solution mixte collective et individuelle.

9 - PAC chauffage et ECS de faible encombrement
Fabricant : ATLANTIC

Principe

Il s'agit de concevoir une PAC qui fait de l'ECS et du chauffage avec un module intérieur qui s'accroche au mur. Ceci pour limiter la place prise par l'appareil dans des logement où la surface est chère.

Résidentiel

0 = inadapté ; 3 = très pertinent

	0	1	2	3
Maison individuelle neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maison individuelle existante	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logement collectif existant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Stockage

Stade de développement : Tests en laboratoire

Avantages : Gain en encombrement

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

-

10 - Solution avec la technologie hautement performante et améliorée
Fabricant : DAIKIN

Principe
Il s'agit de solution toujours basée sur la technologie INVERTER avec un dispositif de sécurité et de régulation très avancé permettant à la fois de respecter toutes les normes de sécurité actuelles (EN 378 - CH35) mais également toutes les réglementations françaises et Européennes de régulation, d'automatisation et de connectivité (décrets Tertiaire et BACS, EPBD (SRI)).
Une solution qui vise à développer le caractère "INTELLIGENT" du bâtiment.

Illustration

Tertiaire

	0	1	2	3
CaHoRe - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CaHoRe - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habitat Communautaire - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Santé - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Santé - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignement - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignement - Existant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport, Culture, Loisirs - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bureaux et administration - Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Commerce - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Commerce Existant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transport - Neuf	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transport - Existant	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Précisions techniques

Partie de la chaîne concernée : Régulation ; Programmation

Stade de développement : Disponible sur le marché

Avantages : Gain en performance énergétique ; Gain en performance climatique ; Gain en coût ; Gain en confort

Ordre de grandeur du coût : -

Compléments

Technologie inverter permet de respecter les normes de sécurité. Connectivité accrue (côté « intelligent »)

6.6. Annexe 6 : Thématique 4 : Déployer les PAC en logements collectifs

6.6.1. Enjeux

De nombreux freins existant au déploiement des systèmes thermodynamiques en logements collectifs. Ce GTT a vocation à les identifier et à identifier aussi les leviers de déploiement.

6.6.2. Analyse des freins

Le GTT4 valide globalement la hiérarchie des freins déterminée par les réponses au questionnaire qui lui avait été soumis (Figure 22) à l'exception de la question des fluides frigorigènes qui est peut être plus bloquante que les réponses ne le laissent penser.

Le GTT4 a par ailleurs des remarques sur les freins proposés dans le questionnaire et sur d'autres freins non mentionnés :

- **Décision en copropriété** : en effet toute décision en copropriété est difficile à faire passer, notamment si l'investissement est élevé
- **Réglementation thermique / environnementale** :
 - En Allemagne la part de marché est à peu près la même en maison individuelle (MI) et en LC en raison de contraintes réglementaires identiques (obligation d'EnR)
 - RT 2012 : frein car pas d'obligation d'EnR et des niveaux d'exigence pas assez élevés
 - RE2020 : les seuils n'étant pas fixés il n'est pas possible de dire aujourd'hui si elle va favoriser les PAC en LC ou non. Mais au regard des seuils actuellement proposés par le Ministère les PAC pourront se développer plus largement à partir de 2025 voire 2028.
 - RT Existant globale : Pas de prise en compte des solutions ECS thermodynamiques en RT existant (globale)
- **Aides financières**
 - Tous les systèmes thermodynamiques ne sont pas aidés à un niveau adéquat car il y a une méconnaissance technique de la part des pouvoirs publics et un manque de campagnes de mesures permettant de mieux connaître leurs performances.
 - De leur côté des acteurs terrain et industriel ont parfois du mal à comprendre ce qui préside au choix d'aider ou non tel ou tel système. A ce titre, la DGEC précise que parmi plusieurs facteurs se pose la question de la rentabilité (si le système est rentable en lui-même il n'est pas aidé) et de la taille du marché (pas ou peu d'aides si marché de niche)
 - Les PAC en LC sont probablement considérées comme un marché de niche par les pouvoirs publics qui de ce fait proposent peu d'aides, ce qui contribue à ce que ce marché reste un marché de niche
 - Le gain en confort d'été qui peut être apporté par des solutions PAC lié à leur capacité de rafraîchissement ou refroidissement n'est pas valorisé dans les aides publiques
- **Coûts**
 - Dans le neuf, le coût des PAC est plus élevé mais il faut prendre en compte le coût global de l'installation qui permet de gagner des m2 par rapport aux solutions avec chaudière ou Effet Joule direct. Il faut donc travailler sur l'appréhension du système dans sa globalité.
 - Toutes les solutions ne sont pas forcément bien maîtrisées par la filière terrain (du bureau d'études à l'entreprise), ce qui renchérit les coûts (marges de sécurité lors de la conception et de l'installation)
- **Solutions techniques**

- Il manque probablement des solutions individuelles « 3 fonctions » notamment en rénovation
- L'intégration architecturale est aussi un frein
- Accompagnement des nouvelles offres notamment en rénovation
 - Le marché de la rénovation, c'est du cas par cas. Une rénovation va toucher plusieurs lots. Ça demande un accompagnement sur la partie financière et technique. Lorsqu'on vient apporter une nouvelle offre, il faut un accompagnement sans quoi on ne peut pas avancer et convaincre les copropriétaires.

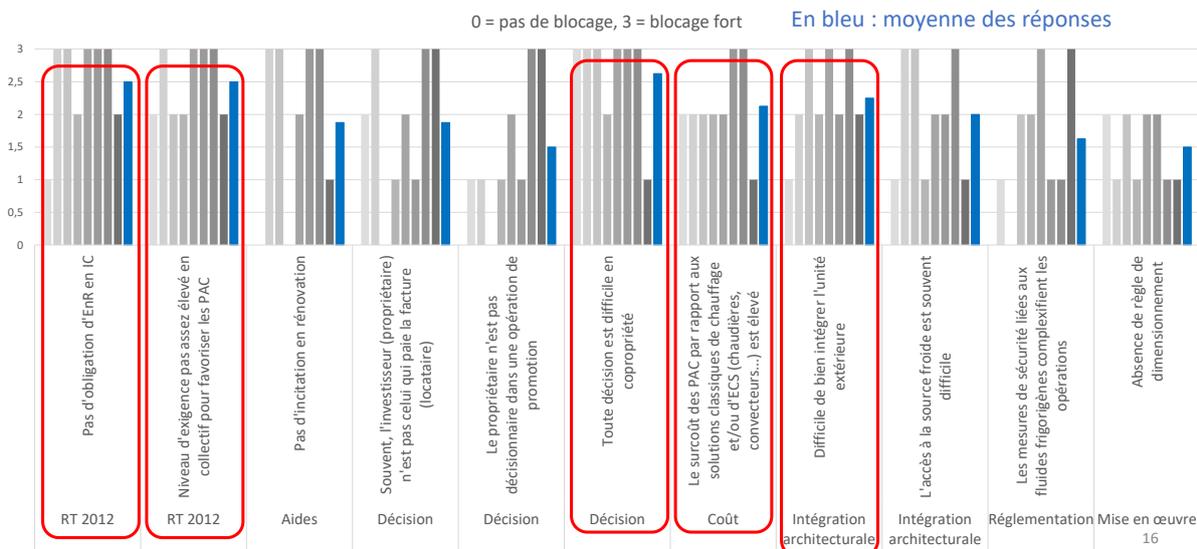


Figure 22 : Evaluation des freins au déploiement des systèmes thermodynamiques en logements collectifs

6.6.3. Analyse des leviers

Le GTT4 valide globalement la hiérarchie des leviers déterminée par les réponses au questionnaire (Figure 23). Le GTT4 a par ailleurs des remarques sur les freins proposés dans le questionnaire et sur d'autres freins non mentionnés :

- Réglementation
 - RE 2020 :
 - Agir sur les seuils énergie et CO2 pour les rendre plus contraignants
 - Agir pour que les systèmes thermodynamiques permettant du rafraîchissement (géocooling ou freecooling) soient pris en compte dans le confort d'été (indicateur DH) et pour que la consommation forfaitaire de refroidissement soit représentative du marché en zone sud (elle est aujourd'hui sous-évaluée par rapport à la consommation obtenue à partir des performances des équipements de refroidissement du marché pour un même bâtiment)
 - Transférer les titres V de la RT2012 dans la RE2020
 - Rendre « traditionnelle » la compatibilité des systèmes de ventilation hygro-réglable avec les PAC air/air gainable réversibles : à ce jour, un avis technique doit être demandé par les fabricants de VMC hygro B et de PAC air/air gainables pour s'assurer de la compatibilité des systèmes entre eux. Or, un AT coûte cher. Il est peut être possible de proposer des critères sur les systèmes PAC air/air gainable pour les rendre compatibles a priori avec tous les systèmes de ventilation.

- Aides
 - Incitations beaucoup plus fortes pour la rénovation - ou au moins un avantage significatif pour les solutions thermodynamique VS solutions fossiles en collectif.
 - Incitations pour les PAC sur vecteur air
- Technologie
 - Adaptation des DRV et des petits chillers du tertiaire vers le logement collectif.
- Formation et information
 - Formation des professionnels : Evolutions des savoirs faire en conception et mise en oeuvre pour concilier Fluides et Réglementation
 - Information des bailleurs sociaux : en effet actuellement un bailleur social en rénovation reste sur ce qu'il connaît notamment réseau de chaleur et chaudière collective.
 - Information des promoteurs : par exemple la solution PAC air/air peut leur faire peur, mais si on leur explique qu'il y a un gain en termes de qualité de l'air alors l'écoute peut être plus attentive
- Accompagnement au changement
 - Aider les bailleurs sociaux, les bailleurs privés et les copropriétaires à envisager les gains futurs en termes de gains financiers et de confort afin qu'ils soient plus réceptifs aux offres actuelles
- Offre
 - Développer une véritable gamme de solutions allant de l'individuel au collectif, en neuf comme en rénovation, adaptée aux différents marchés (solutions individuelles pour le marché privé, solutions collectives pour le logement social)
- Financement
 - Développer des offres de tiers investissement pour éviter que l'investissement plus élevé ne soit une barrière infranchissable (R&D sur modèle d'affaire)

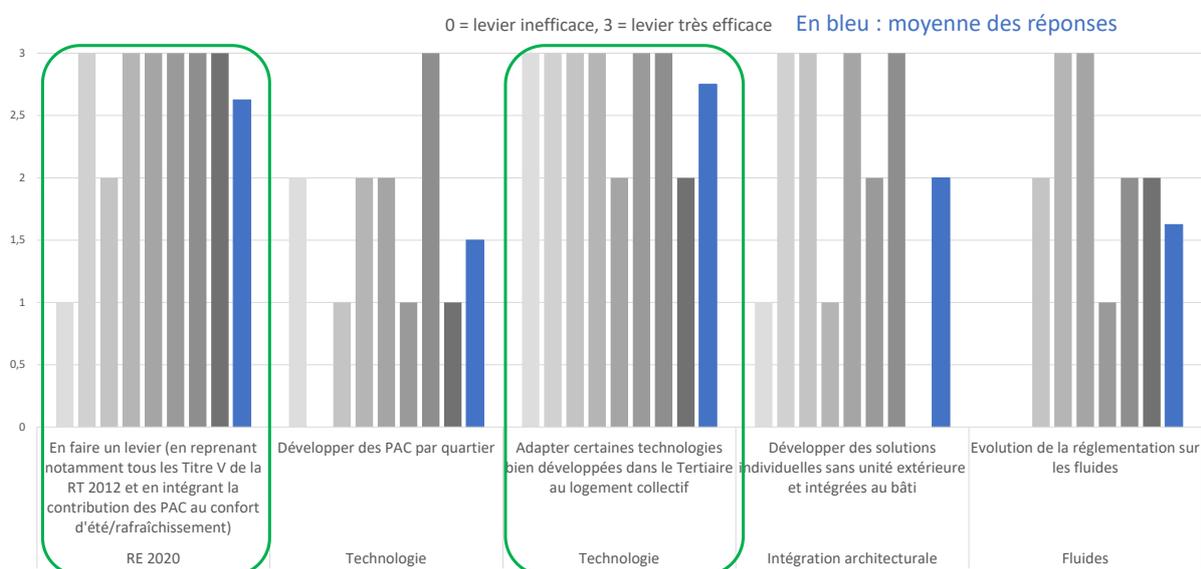


Figure 23 : Evaluation des leviers au déploiement des systèmes thermodynamiques en logements collectifs

Face aux freins à desserrer et aux leviers à activer **certaines actions sont déjà mises en œuvre ou en cours :**

- Demande de titre V rénovation pour ECS thermodynamique en RT existant (globale) [UNICLIMA]
- Guide de solutions PAC en logement collectif neuf [AFPAC]

- CDC pour développer de nouvelles solutions en LC (adaptation de PAC tertiaire au LC, PAC sans UE, PAC par quartier, solutions d'intégration architecturale, ...) [AFPAC]
- Programme PROFEEL
 - Réalisation d'un guide sur la rénovation des chaufferies fioul [AQC]
 - Réalisation de fiches pratiques pour les installateurs sur les PAC à fluide naturel [AQC]
 - Faire un outil de dimensionnement des PAC en logement collectif (comme il y en a pour la maison individuelle)
- Place des systèmes thermodynamiques dans le label RE 2020 [UNICLIMA]
- Place des systèmes thermodynamiques dans l'évolution de la RT Existant Globale [UNICLIMA]
- Faire évoluer la réglementation incendie [UNICLIMA / COPREC]
- Information des points FAIRE (programme SARE) et des ALEC (réseau FLAME) [ADEME ?]

Les membres du GT ont souhaité participer à certains groupes de travail et ont aussi suggéré la mise en place de groupes de travail au sein desquels ils sont prêts à s'engager :

- Label RE 2020
- RT globale
- Fonds chaleur
- Incendie Tertiaire vers IC
- Règles conception dimensionnement et mise en œuvre (yc VMC/PAC Air/air)
- Information/formation des BE
- Information des MO
- Transfert des titre V de la RT 2012 vers RE 2020
- Réduire les coûts des solutions en LC
- Information des prescripteurs / AMO (réseau FAIRE, FLAME...)

6.7. Annexe 7: Thématique 5: Améliorer les règles de conception, dimensionnement et mise en œuvre

6.7.1. Enjeux

Il manque des règles professionnelles pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des systèmes thermodynamiques afin d'assurer leur performance dans le temps, notamment dans les domaines ou secteurs suivants : tertiaire, logement collectif, hybride, froid, fluides inflammables, eau chaude sanitaire. **Il s'agit alors d'identifier précisément quels sont les manques et produire quelques grands axes de solutions** (qui seront éventuellement précisés dans des GT en dehors de cette feuille de route).

6.7.2. Des manques à tous les niveaux

Pour les membres du GTT5, il existe des manques dans les trois domaines étudiés (figure ci-dessous). Pour l'ensemble des manques recensés, les membres du GTT5 ont proposé des solutions, présentées dans les paragraphes suivants.

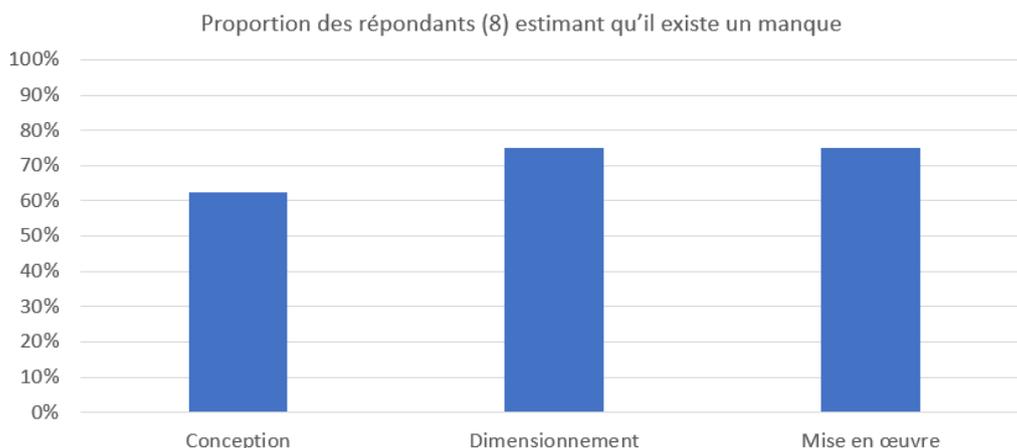


Figure 24 : Analyse des manques de règles professionnelles par les membres du GTT5

6.7.3. Distinguo Individuel VS Collectif et tertiaire

En collectif/tertiaire il y a de nombreux acteurs professionnels autour de la table qui ont des compétences pointues. Il y a un intérêt à avoir des schématèques mais leur absence peut être palliée par les échanges entre professionnels.

En individuel le DTU apporte des règles partagées à appliquer, MAIS :

- Les DTU sont payants, ils ne sont pas toujours bien connus par les entreprises. On se tourne souvent vers le DTU uniquement lorsqu'il y a un litige assurantiel.
 - Solutions :
 - Sensibiliser l'ensemble de la filière à l'importance des DTU
 - Si l'entreprise ne peut/ne veut acquérir le DTU, il est aussi possible de la sensibiliser via les fiches de retour d'expérience de l'AQC⁵⁴ ou les documents RAGE⁵⁵
- Il existe des difficultés spécifiques dans l'existant pour :
 - Adapter le système de production au système d'émission si celui-ci n'est pas rénové. Il faut notamment bien évaluer la puissance des radiateurs. Or cette action indispensable n'est pas suffisamment connue des entreprises. Des fields tests d'ENGIE montrent que la régulation ne se fait pas très bien lorsqu'il y a des émetteurs différents.
 - Adapter l'ensemble du système au bâtiment en évaluant correctement les déperditions
 - Dans les deux cas, il manque parfois des informations exhaustives sur le système de production lui-même (puissance de la PAC à différentes températures, etc.)

6.7.4. Règles de conception

Planchers chauffants rafraichissants

- Manque : Il y a de l'embouage dans les planchers chauffants et les planchers chauffants-rafraichissants, il faudrait a minima imposer une barrière anti-oxygène (BAO). En effet, les traitements chimiques induisent un surcoût (analyses à mener en laboratoire au cours du temps) et des impacts écologiques
- Solutions
 - Vérifier si la BAO est imposée dans le DTU correspondant

⁵⁴ <https://qualiteconstruction.com/>

⁵⁵ <https://www.programmepacte.fr/catalogue>

- Si non : faire évoluer le DTU
- Dans tous les cas : diffuser l'information et sensibiliser tous les acteurs (particulier, dans les CDC, ...)
- Informations complémentaires
 - En l'absence de BAO, on doit mener des analyses régulières : il faut une semaine d'analyse dans un laboratoire pour savoir s'il y a des algues dans l'eau. Ce sont des coûts supplémentaires (c'est l'utilisateur qui va payer) Et ce n'est pas envisageable dans le cadre de la maintenance obligatoire.
 - SUNSQUARE en tant que MOE a imposé la BAO dans ses cahiers des charges. En effet, en l'absence de BAO il est très difficile de faire réaliser le suivi (en plus des coûts engendrés, cf. ci-dessus) d'autant que pendant les 5 premières années en général il n'y a pas de problème.
 - Il y a un surcoût au mètre linéaire de systèmes avec BAO d'à peu près 20%. Mais il est possible que ce surcoût soit absorbé par la plus grande facilité de mise en œuvre des tubes avec BAO (ex. multicouche).

Hybridation des chaufferies en rénovation

- Manque: la norme EN378⁵⁶, qui encadre la sécurité et l'environnement des PAC, prévoit beaucoup de dispositifs de sécurité lorsqu'il y a dans le même local une chaudière et une PAC, cette norme a-t-elle des impacts sur la filière ?
- Solution : pas de retour de la filière sur cet enjeu

Approche systémique

- Manque : Lorsqu'il y a plusieurs systèmes (PAC plus chaudière notamment) venant de différents fabricants, il peut être difficile de bien régler la loi d'eau et globalement d'optimiser la solution ; il y a un manque de règles de conception/dimensionnement en tertiaire et collectif
- Solutions :
 - Créer des schémas très précis multi-fabricants ne semble pas possible pour des questions de relation avec la filière, de responsabilité, etc.
 - Lorsque l'on est dans une opération collective ou tertiaire il faut faire intervenir un BE bien formé
 - Etablir des schématiques partagées
 - Par ailleurs, il existe des documents cadres qui permettent d'éviter de nombreuses erreurs
 - Le programme RAGE⁵⁷ propose des documents d'approche globale
 - Dans le programme PROFEEL⁵⁸ un document traitant de la rénovation des chaufferies fioul dans lequel on traite un certain nombre de conversions vers les PAC sera publié sous peu
 - La norme NF EN 378⁵⁹ traite des enjeux de mix PAC / chaudière gaz
 - Energies et Avenir a aussi produit un document sur les émetteurs⁶⁰

⁵⁶ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-378-1a1/systemes-frigorifiques-et-pompes-a-chaleur-exigences-de-securite-et-d-environnement-partie-1-exigences-de-base-definitions-class/article/950964/fa200991>

⁵⁷ <https://www.programmepacte.fr/catalogue>

⁵⁸ <https://programmeprofeel.fr/>

⁵⁹ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-378-1a1/systemes-frigorifiques-et-pompes-a-chaleur-exigences-de-securite-et-d-environnement-partie-1-exigences-de-base-definitions-class/article/950964/fa200991>

⁶⁰ <https://www.energies-avenir.fr/etude/lintelligence-hydraulique/>

Logements collectifs

- Manque 1 : le DRV gainable n'est pas couvert par le DTU selon l'interprétation d'un bureau de contrôle national.
- Solution 1 : faire évoluer le DTU pour prendre clairement en compte tous les systèmes. Uniclimate va lancer un GT.
- Manque 2 : Règles de dimensionnement adaptées à l'ECS thermodynamique collective. Il y a un guide du COSTIC⁶¹ mais il y a besoin de préciser des règles pour l'ECS thermodynamique en particulier.
- Solution 2 : UNICLIMATE souhaite lancer un GT.
 - Remarque : le COSTIC a mené une analyse en 2018. A l'époque il a été confronté à une offre très hétéroclite sur les productions ECS.

PAC hybrides en maisons individuelles

- Manque : règles de dimensionnement pour la puissance de la PAC.
 - Précision : il y a une double responsabilité dans ce dimensionnement puisque l'industriel va devoir dimensionner la PAC et la chaudière dans un « package » et l'entreprise va devoir choisir la bonne solution pour qu'elle s'adapte à la situation terrain. Aujourd'hui les retours d'expérience terrain montrent que les entreprises sont marquées par leur « historique » : une entreprise habituée à poser des chaudières par exemple va choisir presque systématiquement la PAC la plus puissante possible.
- Solution : GT UNICLIMATE en cours et GT AFPAC qui a aussi démarré et qui s'attachera plutôt à la diffusion vers la filière

6.7.5. Règles de dimensionnement

Surdimensionnement en CHAUD

- Qu'est-ce que le « surdimensionnement » ?
 - Le fonctionnement à faible taux de charge sur une grande partie de l'année n'est pas forcément un surdimensionnement puisque le dimensionnement doit permettre que le système offre le niveau de confort souhaité pour des températures « extrêmes » (température de base)
 - Il faut alors mener l'analyse à deux niveaux :
 - Il existe un surdimensionnement au sens où certains acteurs ajoutent des « coefficients de sécurité » supplémentaires par rapport au calcul actuel issu des températures de base
 - Le dimensionnement sur une température de base unique est-il pertinent ?
- Manque 1 : surdimensionnement par rapport au calcul issu de la température de base.
- Solution 1 : ce surdimensionnement peut avoir plusieurs causes et donc plusieurs solutions
 - Calcul peu précis des déperditions : il faut donc accompagner/former les acteurs sur ce point
 - Impact de la réglementation :
 - Il faut informer les acteurs du fait que le moteur de calcul réglementaire ne doit pas être un outil de dimensionnement.
 - Mais il faut aussi traiter les cas de blocages induits par la phrase « la PAC n'est pas adaptée aux besoins » qui apparaît lors des calculs réglementaires. Cette phrase peut apparaître alors même que le

⁶¹ <https://www.costic.com/documentation/document/la-production-decs>

dimensionnement est bon par ailleurs. Dans certains cas il est possible de simplement l'ignorer mais dans d'autres cas (sous dimensionnement estimé par le moteur RT supérieur à 72h) elle bloque le calcul. Une analyse approfondie doit être menée sur ce point avec les pouvoirs publics.

- Manque 2 : évolution des règles de calcul du DTU. Par exemple le DTU prend en compte un besoin en pleine nuit avec un débit de renouvellement d'air comme si tout le monde était réveillé. Ce qui induit du surdimensionnement. Sur des bâtiments très bien isolés on peut arriver à un surdimensionnement de 40%.
- Solutions 2 :
 - La norme qui cadre le dimensionnement EN 12831⁶² a été révisée mais en France on ne peut pas l'appliquer car on n'a pas mis à jour notre annexe nationale.
 - Une évolution intelligente des règles de conception consisterait à regarder deux points de température : le point le plus défavorable et un point à une température dont l'occurrence est plus fréquente afin que l'on ne dimensionne pas que sur la température de base.

Dimensionnement en FROID

- Manque : pas de règle de dimensionnement en froid dans le DTU PAC.
 - Explication de ce manque : aujourd'hui il y a beaucoup de systèmes réversibles et il n'est pas possible de dimensionner à la fois sur le chaud et sur le froid. Le besoin de froid étant vu comme secondaire, le dimensionnement se fait sur le chaud. Par ailleurs, les acteurs se fondent sur les « recommandations » en tertiaire de ne pas descendre en dessous de 26°C ou d'avoir un delta T de 7°C entre intérieur et extérieur. Cet état de fait devrait évoluer car les besoins de froid pourraient devenir prépondérants dans les années à venir (amélioration drastique de l'isolation / changements climatiques)
 - Les fichiers météo ne sont pas révisés
- Solutions :
 - EN 15316-4-2⁶³ et EN 16798-13⁶⁴ en cours de révision : ce qui devrait jouer sur le dimensionnement en froid et en chaud. La réglementation française ne suit pas ces évolutions. Le CETIAT suit déjà ces travaux.
 - Réviser les fichiers météo (suivi en normalisation par le TC247)

6.7.6. Règles de mise en œuvre

Fluides frigorigènes plus inflammables

- Manque : compléter les règles de l'art pour que les installateurs/mainteneurs interviennent dans un environnement le moins risqué possible
- Solution : Etude AFCE⁶⁵, travaux PROFEEL en cours. Ces enjeux sont aussi traités dans le GTT8 de cette feuille de route.

⁶² <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-12831/systemes-de-chauffage-dans-les-batiments-methode-de-calcul-des-deperditions-calorifiques-de-base/article/737700/fa045762>

⁶³ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-15316-4-2/performance-energetique-des-batiments-methode-de-calcul-des-besoins-energetiques-et-des-rendements-des-systemes-partie-4-2/article/822086/fa184811>

⁶⁴ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-16798-13/performance-energetique-des-batiments-ventilation-des-batiments-partie-13-calcul-des-systemes-de-refroidissement-module-m4-8-gen/article/904294/fa186651>

⁶⁵ <https://www.afce.asso.fr/publication-devoirs-en-matiere-de-fluides-inflammables/>

Loi d'eau :

- Manque : beaucoup d'installateurs ne réalisent pas correctement le paramétrage de la loi d'eau. Ce manque est principalement dû à la difficulté de prise en compte de la température des émetteurs dans l'existant (cf. manques listés plus haut).
- Solution : meilleure formation des installateurs et imaginer des solutions pour pouvoir programmer à distance ces lois d'eau via des IoT (internet of things) avec réglage par le fabricant.

Complexité due à la diversité des usages :

- Manque : les fields tests d'ENGIE en maison individuelle montrent qu'il est difficile de bien faire la mise au point
- Solution :
 - La formation ou les compétences ne sont pas forcément en cause, il peut s'agir d'un manque de temps prévu dans les contrats pour les entreprises
 - Certains modes de fonctionnement de la PAC (lancement d'un cycle pour une raison de sécurité) ne sont parfois pas connus des services SAV du fabricant. Il est nécessaire que ces services SAV soient au fait de tous les paramètres de fonctionnement.

Développer des logiciels de calcul « générique » :

- Manque : chaque fabricant développe ses logiciels de calcul, il peut y avoir des difficultés en cas de multiples systèmes.
- Solutions : il semble très compliqué de développer des logiciels génériques multi-fabricants car ce sont des systèmes « propriétaires ». Un guide oui mais la mise à disposition des accessoires de MOE pré-packagés semble très compliquée.

6.8. Annexe 8 : Thématique 6 : Proposer des actions pour la formation de la filière

6.8.1. Enjeux

La filière devrait faire face à une demande en très forte hausse dans les années à venir, il est indispensable de former les personnels qui devront y répondre. L'AFPAC chiffre ces besoins :

- Côté industrie entre 2020 et 2030 il y aura 2500 emplois à pourvoir
- Côté installateurs / mainteneurs on aura besoin de 15 000 personnes en plus

Il existe un **manque de compétence** relevé par plusieurs acteurs du GTT6 :

- Surdimensionnement des PAC qui nuit à leur performance
- Besoins en maintenance
- Etc.

Ce manque de compétences est probablement **dû à 3 facteurs**

- Les formations répondent-elles aux enjeux de compétence ?
- Y a-t-il assez de personnels formés ?
- Y a-t-il un manque d'attractivité de la filière ?

Il s'agit alors d'analyser ces manques et de proposer des pistes d'action pour renforcer les compétences et améliorer l'attractivité de la filière.

6.8.2. Une analyse selon 3 axes

Qu'il s'agisse de la montée en compétence ou de l'attractivité, il y a 3 grands axes pour chaque maillon de la filière avec des interlocuteurs spécifiques :

1. **Formation initiale** : éducation nationale / ONISEP
2. **Formation continue** : organismes de formation, acteurs de la filière

3. Reconversion et retour à l'emploi : Ministère du travail, Pôle Emploi

L'AFPAC a mis en place une action visant à proposer des solutions pour toutes les cases de la matrice maillon de la chaîne / Axe de formation attractivité (travaux en cours complémentaires à cette feuille de route).

6.8.3. Etat des lieux et solutions pour améliorer les compétences

Constats généraux

Le GTT6 souligne que les besoins de montée en compétence sont souvent liés à des évolutions réglementaires. Or, une grande partie des acteurs du GTT considère que les réglementations européennes suffisent et ne devraient pas être complétées par des réglementations françaises.

L'ensemble du GTT6 constate qu'il n'y a pas assez de personnel formé notamment parce que la formation initiale, comme la formation continue, ne sont pas assez adaptées aux besoins de la filière thermodynamique. Ces systèmes sont vus trop rapidement. Le GTT6 constate aussi qu'il y a de très nombreuses reconversions vers le bâtiment et qu'il faudrait profiter de l'afflux de personnes pour les former aux systèmes thermodynamiques.

Le GTT6 souligne enfin que les formations à distance, en plein essor en raison de la crise sanitaire, peuvent être de bonnes solutions de formation si les groupes ne sont pas trop nombreux pour assurer un bon échange entre les participants et avec le formateur.

Analyse par acteur

Le GTT6 a par analysé les principales problématiques pour différents acteurs essentiels et a proposé des solutions (tableau ci-dessous).

Acteur	Etat des lieux	Solutions
Fabricants	<p>Deux sujets : problématique nationale pour les ingénieurs et techniciens et problématique locale pour les opérateurs spécialisés sur les chaînes de fabrication. Liée notamment au manque de connaissance de la filière thermodynamique.</p> <p>Il y a une pénurie de techniciens spécialisés sur le marché : metteurs au point, dépanneurs, etc. Il y a aussi un désamour de tous les métiers industriels depuis des années</p>	<p>Il faut donc communiquer vers les jeunes (voir partie suivante portant sur l'attractivité).</p>
MOe et BE	<p>Les MOe et BE ont un naturel curieux et ont des fondamentaux en physique. Mais ils ont peu de temps pour se former. Ils sont d'ailleurs minoritaires dans les formations du COSTIC.</p> <p>En formation initiale, on apprend la thermodynamique, mais pas le fonctionnement des PAC. Les formations des fabricants sont un bon outil pour approfondir leurs connaissances sur certains systèmes spécifiques. Mais souvent leurs</p>	<p>Lorsque l'audit énergétique a été vu comme une priorité par les pouvoirs publics, des moyens ont été débloqués pour la formation via les OPCA (FAFIEC, etc.), il faut faire de même avec les PAC.</p> <p>Il faut mieux articuler les formations globales proposées par exemple par le COSTIC et les formations spécifiques à une technologie proposées par les fabricants.</p>

	rencontres avec les fabricants portent sur la présentation de nouveaux matériels sans entrer dans les détails techniques.	
Installateurs	<p>La formation est très calibrée par QUALIPAC qui est rendue quasi obligatoire. S'il doit y avoir des évolutions elles doivent se faire dans ce cadre.</p> <p>C'est une formation assez exigeante mais qui ne dure « que » 5 jours (or c'est la plus longue des formations dans les EnR). Cette formation est une condition nécessaire à la compétence sur le terrain mais pas suffisante.</p>	<p>Deux points de vue divergents dans le GT :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certains plaident pour un « éclatement » de QUALIPAC en plusieurs formations (PAC air/air, air/eau, géothermie, etc.) afin de coller aux besoins réels des installateurs par rapport à la (ou aux) solution(s) qui mettent vraiment en œuvre sur le terrain - D'autres soulignent que l'éclatement de la formation nuirait aux entreprises qui mettent en œuvre différentes technologies.
Espaces FAIRE	Des techniciens avec des compétences qui peuvent être variables	L'ADEME avec le programme SARE a mis en œuvre de nombreuses formations. Le COSTIC forme actuellement les conseillers FAIRE sur les systèmes thermodynamiques.

Tableau 19 : Etat des lieux et solutions pour le manque de compétence des acteurs

6.8.4. Etat des lieux et solutions pour améliorer l'attractivité

L'AFPAC a lancé un GT « attractivité » fondée sur l'analyse matricielle exposée plus haut. Le GTT6 a décidé de se fonder sur les travaux de l'AFPAC et de les alimenter et/ou les diffuser autant que possible en proposant les actions suivantes :

- Diffusion des vidéos dans leurs réseaux : l'AFPAC enverra les liens lorsque les vidéos seront prêtes
- Participation au GT AFPAC
- Trouver des sources de financement pour cette initiative
- L'ADEME relaiera les vidéos sur les réseaux sociaux et son site MTaTerre⁶⁶ à destination des jeunes

6.9. Annexe 9 : Thématique 7 : Développer des PAC « intelligentes »

6.9.1. Enjeux

Le développement de systèmes dits « intelligents » est une tendance de fond dans tous les secteurs. Dans le domaine du bâtiment, ce terme peut recouvrir de nombreuses réalités (régulation entre différents systèmes, connectivité, auto-apprentissage, etc.). Afin de favoriser des évolutions souhaitables (amélioration des performances, etc.), **il convient de mieux définir ce terme et d'anticiper les évolutions technologiques à venir.**

⁶⁶ <https://www.mtaterre.fr/>

6.9.2. Une tendance généralisée qui recouvre différentes réalités

L'ensemble des fabricants de systèmes thermodynamiques ayant répondu au questionnaire préparatoire au GTT7 déclare développer des « systèmes intelligents ».

Ces systèmes intelligents recouvrent en revanche différentes réalités. Ainsi, les fabricants ont déclaré développer les types de systèmes suivants :

- PAC communicante
- PAC couplée au photovoltaïque (PV)
- PAC couplée au réseau
- PAC connectée
- PAC optimisant ses performances via l'analyse de données / l'autoapprentissage

Face à ces différentes réalités, il est important de tenter de proposer un cadre les englobant et de mettre une frontière entre ce qu'est un système intelligent et ce qu'il n'est pas.

6.9.3. Définition d'un système thermodynamique intelligent

Il n'existe pas encore de définition adoptée largement mais, selon le GTT7 l'indicateur « Smart Readiness⁶⁷ » est une base très pertinente qui sera discutée et probablement adoptée dans le cadre de la révision de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD). Le GTT7 propose une définition synthétique d'un « système thermodynamique intelligent » :

« Un système thermodynamique intelligent est a minima un système capable d'utiliser des données internes et/ou des données externes pour adapter son fonctionnement en temps réel afin d'optimiser sa mise en service et/ou son utilisation et/ou sa maintenance. »

Ainsi, un « système intelligent » est un système qui permet de répondre à l'un ou à plusieurs de ces **cinq grands enjeux** synthétisés par l'AFPAC (figure ci-dessous) :

- Simplifier la mise en service
- Anticiper les besoins
- Optimiser la performance
- Optimiser le coût
- Optimiser la maintenance

⁶⁷ Voir par exemple la présentation qu'en fait le CEREMA : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/evaluation-du-degre-intelligence-batiments-indicateur-smart>

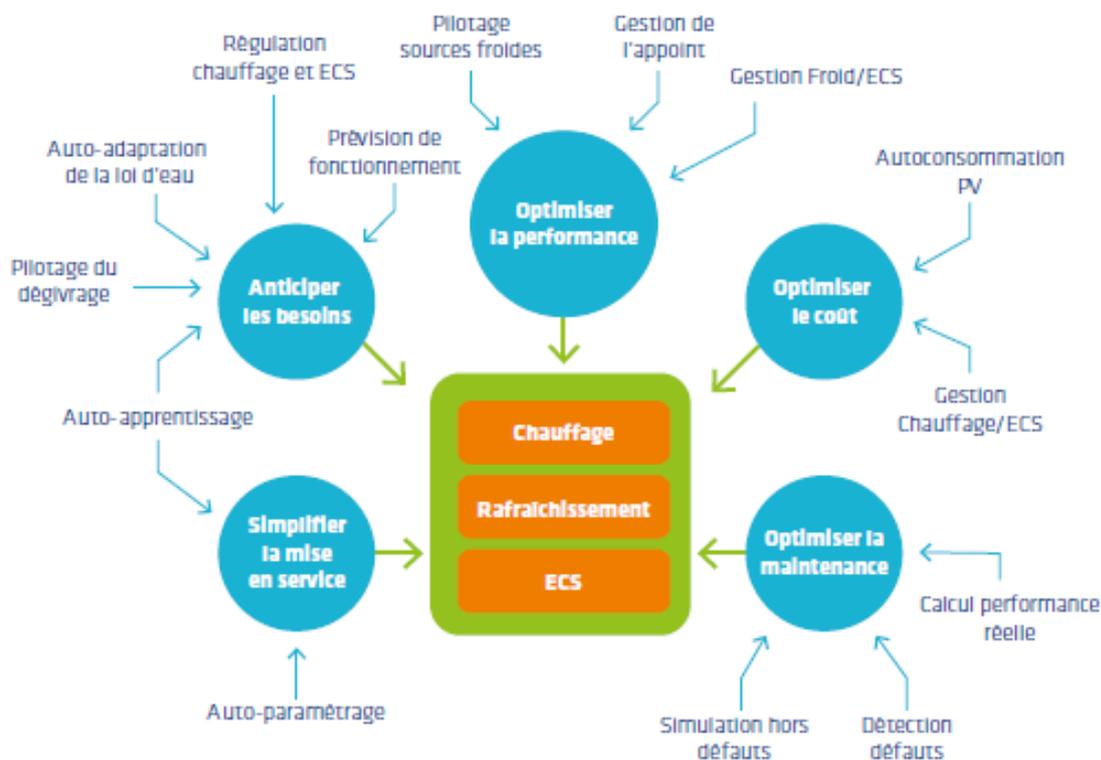


Figure 25 : Les enjeux des systèmes intelligents selon l'AFPAC (Source : https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-du-futur-Intelligence-et-connectivite_a519.html)

Le GTT7 a par ailleurs proposé une distinction entre deux termes souvent employés pour les systèmes thermodynamiques et parfois confondus :

- **Connecté** : un système thermodynamique connecté a la capacité à recevoir et/ou émettre de l'information
- **Communicant** : un système thermodynamique communicant est un système connecté (qui reçoit et/ou émet des données) et qui les traite, c'est-à-dire qu'il décrypte l'information.

Le GTT7 précise qu'au sein des enjeux de communication, l'interopérabilité (capacité de divers systèmes à communiquer entre eux) est un cruciale et qu'il reste encore beaucoup à faire en termes réglementaires et normatifs à ce sujet.

6.9.4. Principales tendances dans le domaine des PAC intelligentes

Il existe aujourd'hui deux grandes tendances dans le domaine des systèmes thermodynamiques intelligents :

- Tendance majeure : aller vers des systèmes « communicants »
- Tendance secondaire : aller vers des couplages avec les systèmes photovoltaïques et avec le réseau électrique.
 - **Couplage PV** : lorsque le tarif de rachat arrive à son terme il est plus intéressant d'autoconsommer et le couplage devient d'autant plus pertinent (c'est aussi probablement le cas pour les installations PV seules selon la zone géographique).
 - **Couplage réseau** : il n'existe à ce jour aucune incitation économique assez forte pour que des offres de flexibilité voient massivement le jour sur le marché. Il manque aussi des acteurs qui agissent comme agrégateurs sur le marché. Cependant, les technologies sont matures du côté des fabricants et dans des

pays comme l’Australie il y a des pénalités pour la consommation d’été et là les systèmes s’adaptent.

6.9.5. Approfondir l’état des lieux et les perspectives pour les systèmes thermodynamiques intelligents

L’AFPAC a produit de nombreuses fiches techniques dans son dossier « La pompe à chaleur du futur : intelligence et connectivité »⁶⁸. Des travaux sont par ailleurs en cours au sein de l’Agence Internationale de l’Energie sur les couplages PAC/PV/Stockage.

Afin d’accélérer le déploiement de ces technologies, UNICLIMA propose d’aller plus loin sur les systèmes thermodynamiques intelligents et propose de piloter un état de l’art détaillé en y associant l’AFPAC et en se fondant notamment sur le travail de l’AFPAC cité ci-dessus. UNICLIMA lancera sous peu un appel à contribution. Cet état de l’art pourra alimenter l’INPAC pour les travaux de R&D à mener.

6.10. Annexe 10: Thématique 8: Concevoir une offre avec des fluides frigorigènes à faible PRG

6.10.1. Enjeux

Le développement de systèmes à faible Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) engendre de nombreuses questions en termes de réglementation, de formation, de communication, de performance, de risques. Il s’agit ici de faire l’état des lieux de ces enjeux et de proposer des pistes d’action.

6.10.2. Les fabricants travaillent sur de nombreux fluides différents et particulièrement sur le R32

Les participants au GTT8 ont répondu à un questionnaire sur les fluides sur lesquels ils travaillent actuellement. Comme le montre le graphique ci-dessous, le R32, les hydrocarbures (HC) et les mélanges de HFO sortent en tête.

*Autres: R290, R454c, et d’autres fluides sur lesquels les répondants n’ont pas souhaité communiquer de détail.

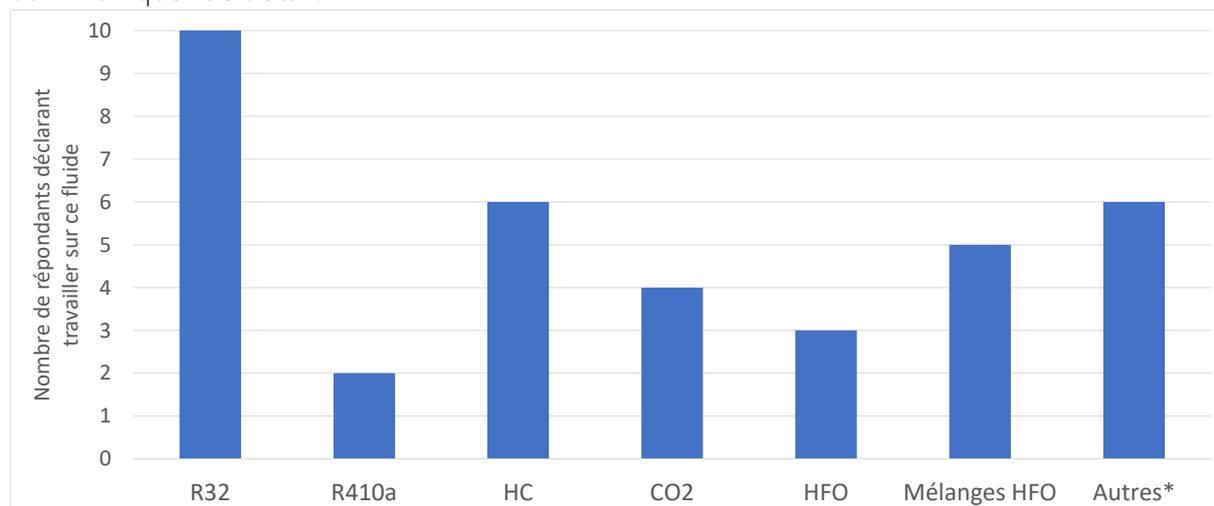


Figure 26 : Nouveaux fluides sur lesquels les participants au GTT8 travaillent

Le GTT8 tient cependant à apporter les précisions suivantes :

⁶⁸ https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-du-futur-Intelligence-et-connectivite_a519.html

- La gamme des fluides utilisés sera différente entre Résidentiel et Tertiaire : les HC devraient s'imposer en Résidentiel (charges plus faibles car besoins chaud/froid plus faibles donc risque plus facilement maîtrisable) et il devrait y avoir une plus grande diversité de fluides en Tertiaire
- Après 2030 :
 - il pourrait y avoir **de nouvelles évolutions fortes** en fonction des fluides qui seront autorisés par la F-Gas
 - on devrait voir **l'arrivée massive des fluides dits « naturels »** (Rappelons que tous les fluides sont fabriqués industriellement y compris les fluides à faible PRG comme le CO₂, le R290... Ils ne sont pas disponibles directement parmi les ressources naturelles...) ainsi que les fluides A3 (schématiquement, on abaisse les critères de sécurité pour améliorer le bilan environnemental) et le propane notamment pour les faibles puissances.
- Certains industriels ont déjà des solutions de fluides sans HFC ce qui les exonèrent de la F-Gas. Sur les PAC air/eau monobloc en Résidentiel on a déjà des PAC au CO₂ ou au propane par exemple.

6.10.3. Défis et actions

Les membres du GTT8 ont identifié 5 grands défis liés au développement des nouveaux fluides (graphique ci-dessous) : le coût, la sécurité, la formation du personnel, la communication et la performance. Ils sont détaillés dans les paragraphes suivants.

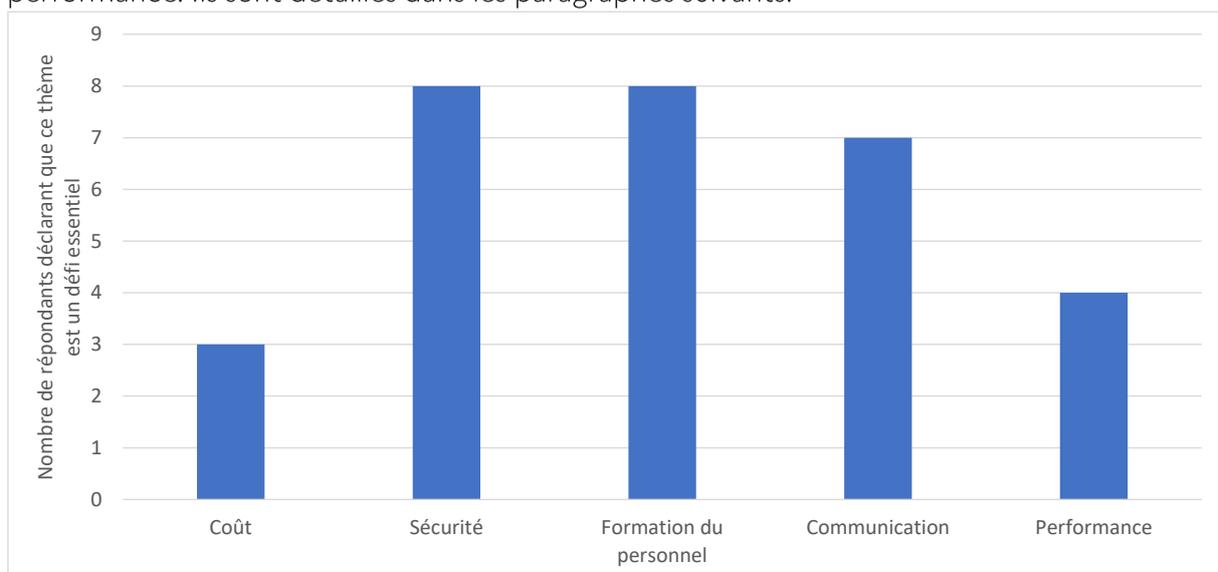


Figure 27 : Défis identifiés par les membres du GTT8

Aides et subventions

De manière transverses à tous les points qui seront abordés ci-dessous, il est important de mettre à disposition des acteurs de la filière les informations pour qu'ils puissent bénéficier des aides et des subventions utiles aux évolutions en cours :

- En France :
 - ADEME : <https://agirpoulatransition.ademe.fr/entreprises/>
 - BPI : <https://www.bpifrance.fr/Toutes-nos-solutions>
- En Europe
 - Recovery and resilience facility : https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/recovery-coronavirus/recovery-and-resilience-facility_en
 - Just transition mechanism : https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/just-transition-mechanism_en

- Horizon H2020 : <https://www.horizon2020.gouv.fr/>

Enjeux de coûts

L'évolution des fluides ne semble pas générer une explosion insurmontable des coûts sauf pour certains systèmes comme les PAC au CO₂ et les PAC amenées à se développer dans le logement collectif. Par exemple, les PAC au R290 (PRP = 3) ont des coûts raisonnables.

Le GT souligne cependant que, **dans l'existant, la problématique peut être plus forte**. En effet, les solutions disponibles sont moins nombreuses que dans le neuf alors que l'existant exige de l'adaptabilité et donc une offre plus large en général. Elles peuvent aussi poser des problèmes de conception ou de mise en œuvre. Par exemple, en collectif, il est difficile d'installer une PAC contenant du réfrigérant dans un local technique déjà équipé d'une chaudière collective si cette dernière n'a pas d'amenée d'air étanche directement reliée à l'extérieur comme l'exige l'EN 378 afin d'éviter la production de gaz toxique en cas de fuite éventuelle.

Enjeux de sécurité

Les fluides à plus bas PRP sont souvent plus inflammables (classe A2L/A2/A3). Les réglementations de sécurité incendie dans les ERP (Etablissements recevant du Public) ou les IGH (Immeubles de Grande Hauteur) imposent des surfaces minimales en fonction de la masse de réfrigérant du système et inversement. La masse de ces fluides est donc plus limitée, et **peut entraîner une limitation de puissance/service** (exemple DRV au R32).

Solutions : différentes options peuvent être choisies par les fabricants pour assurer la sécurité :

- Conception des produits en « Monobloc » pour limiter le risque de fuite de réfrigérant
- Circuits hermétiquement scellés sur lesquels les installateurs n'ont pas à intervenir
- Diffusion d'information concernant les règlements applicables et leurs impacts
- Il y a la sécurité des utilisateurs, des opérateurs, des pompiers : cela implique l'ajout de sécurité embarquée, de vannes, d'isolation MO, de ventilation, et influe sur les coûts de matériel et de mise en œuvre
- Contrôler chaque point des normes, et aussi conduire les évaluations de risques associées, avec essais associés si nécessaires.
- La chaîne des personnels intervenants sur ces produits devra être formée aux risques potentiels.

Les fabricants actuellement installés sur le marché produisent des systèmes sûrs. Ils mettent notamment place des routines de sécurité fondées sur des organes ad hoc : sondes de détection, alarmes, vannes de coupure. Ces éléments de sécurité sont encadrés par la directive européenne « sécurité basse tension » reliée à la norme EN 60335-2-40⁶⁹ pour le résidentiel et la norme EN 378 dont la partie 2 est harmonisée avec les directives européennes machines et équipements sous pression. Dans les produits au R32, **si on augmente les charges de réfrigérant, alors la norme produit définit les organes de sécurité à installer et comment ils doivent être testés**.

Le GTT8 souligne que des nouveaux entrants peuvent engendrer des questions de sécurité :

- **Au stade de la fabrication** : par exemple, des chillers au propane produits en Europe de l'Est qui bénéficient pourtant du marquage CE.
- Au stade de l'installation :
 - Certains installateurs RGE n'ont pas réellement les compétences pour mettre en place des installations sûres avec des fluides inflammables puisqu'il n'existe

⁶⁹ <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-60335-2-40/appareils-electrodomestiques-et-analogues-securite-partie-2-40-regles-particulieres-pour-les-pompes-a-chaaleur-electriques-les-cl/article/741889/fa124174>

pas d'obligation d'attestation de capacité ou d'aptitude alors que c'est le cas pour les fluides HFC.

- Il y a aussi une vraie problématique avec les ventes en ligne qui suggèrent que le consommateur pourrait monter sa PAC lui-même.

Solutions : le GTT8 invite les pouvoirs publics à se pencher sur ces nouveaux enjeux de sécurité.

Enjeux de formation

La manipulation des fluides à faible PRP peut en effet être délicate :

- Fluides inflammables (R32/Propane)
 - R32 : mauvaise information/croyance de certains frigoristes que le R32 est un drop in du R410A car les pressions de fonctionnement sont proches.
 - Quant au propane, il s'agit d'un fluide hautement inflammable (explosif) qui nécessite des compétences et des équipements spécifiques pour être manipulé.
- Fluides supercritiques (CO₂) : les pressions de fonctionnement sont plus élevées que les autres fluides

L'AREA (Europe) a mené une étude sur les personnels informés/formés sur les nouveaux fluides⁷⁰ et les niveaux sont extrêmement faibles : seuls 3,5 à 7% des personnels certifiés F-Gas sont formés aux fluides alternatifs ! La F-Gas demande que les producteurs de fluides ou d'équipements proposent des formations mais ne prévoit pas d'obligation de formation aux fluides alternatifs.

Solutions :

- Les fabricants ont mis en place des formations mais ils soulignent qu'il faut une dynamique de formation bien plus forte notamment sur les enjeux suivants :
 - Manipulation des fluides, matériel spécifique et adapté aux fluides inflammables, formations produits / stages pour sensibiliser sur les risques
 - Connaissance des caractéristiques des fluides, des risques et bonnes conditions d'installation
 - Charge / recharge d'installations pour les mélanges de fluides
- Un référentiel français sur la manipulation des fluides inflammables va être publié sous peu. Les membres du GT soulignent qu'il faudrait un référentiel européen mais admettent qu'il s'agit d'un vœu pieu.

Le GTT8 se veut tout de même rassurant sur le fait que les centres de formation sont là, il faut « simplement » qu'ils s'adaptent aux référentiels et que les professionnels prennent le temps de se former. Il précise aussi que, si le grand public ne peut plus installer lui-même, il y aura une plus forte demande de professionnels. Le risque vient surtout des GSB (Grandes Surfaces de Bricolage) qui proposent des climatisations air/air à installer soi-même.

Le GTT8 souligne enfin qu'il y a une grande difficulté à recruter des personnels compétents en installation / maintenance mais que cette problématique n'est pas propre aux systèmes thermodynamiques.

Enjeux de performance

Le GTT8 souligne que l'enjeu de performance n'est absolument pas bloquant pour l'émergence de nouveaux fluides et que les industriels, par le travail de conception globale de la PAC, arriveront à produire des systèmes avec des performances élevées de l'ordre de ceux actuellement sur le marché :

- A titre d'exemple, l'un des derniers modèles DRV au R32 propose des performances saisonnières de 8,2 en froid et 5,1 en chaud.

⁷⁰ <http://www.area-eur.be/news/mandatory-certification-alternative-refrigerants-time-now>

- De même, les PAC au CO2 atteignent de hautes performances dès lors que le delta T est élevé, donc en production d'ECS.

Enjeux de communication

Le GTT8 souligne qu'il faut mettre en place une communication différenciée entre consommateurs et professionnels :

- Consommateur : impact GES/énergie
- Professionnels : enjeux de mise en œuvre, maintenance, risques, etc. et attractivité de la filière

Il est indispensable de rassurer l'ensemble de la filière sur les enjeux sécurité, des BE aux installateurs en passant par les assureurs.

Solutions :

- Des travaux sur la communication sont en cours avec le COSTIC, l'ADEME, l'AFCE et UNICLIMA. Ainsi, l'ADEME et l'AFCE ont confié au COSTIC une étude qui va sortir sous peu et qui définit les référentiels de formation à mettre en œuvre selon les catégories de fluides.
- Par ailleurs, le programme PROFEEL⁷¹ a réalisé une étude sur les PAC résidentielles utilisant des fluides naturels qui précise les compétences, les outils et les dispositions techniques à suivre par les professionnels installateurs.
- A priori, le SNEFCCA⁷² a également prévu de publier un guide sur les fluides alternatifs qui rappellent les réglementations applicables, les compétences et les outils nécessaires.

Autres enjeux

UNICLIMA souligne des difficultés de mise à disposition de certains composants essentiels pour aller vers les nouveaux fluides (par ex. compresseurs qualifiés). Le GTT8 ne remet pas en cause ce constat sans pour autant en faire un sujet crucial.

6.11. Annexe 11 : Détail des résultats de la dernière plénière

Détail des engagements des participants :

⁷¹ <https://programmeprofeel.fr/ressources/pompes-a-chaleur-pac-a-fluide-naturel-etat-des-lieux-et-bonnes-pratiques/>

⁷² <https://www.snefcca.com/>

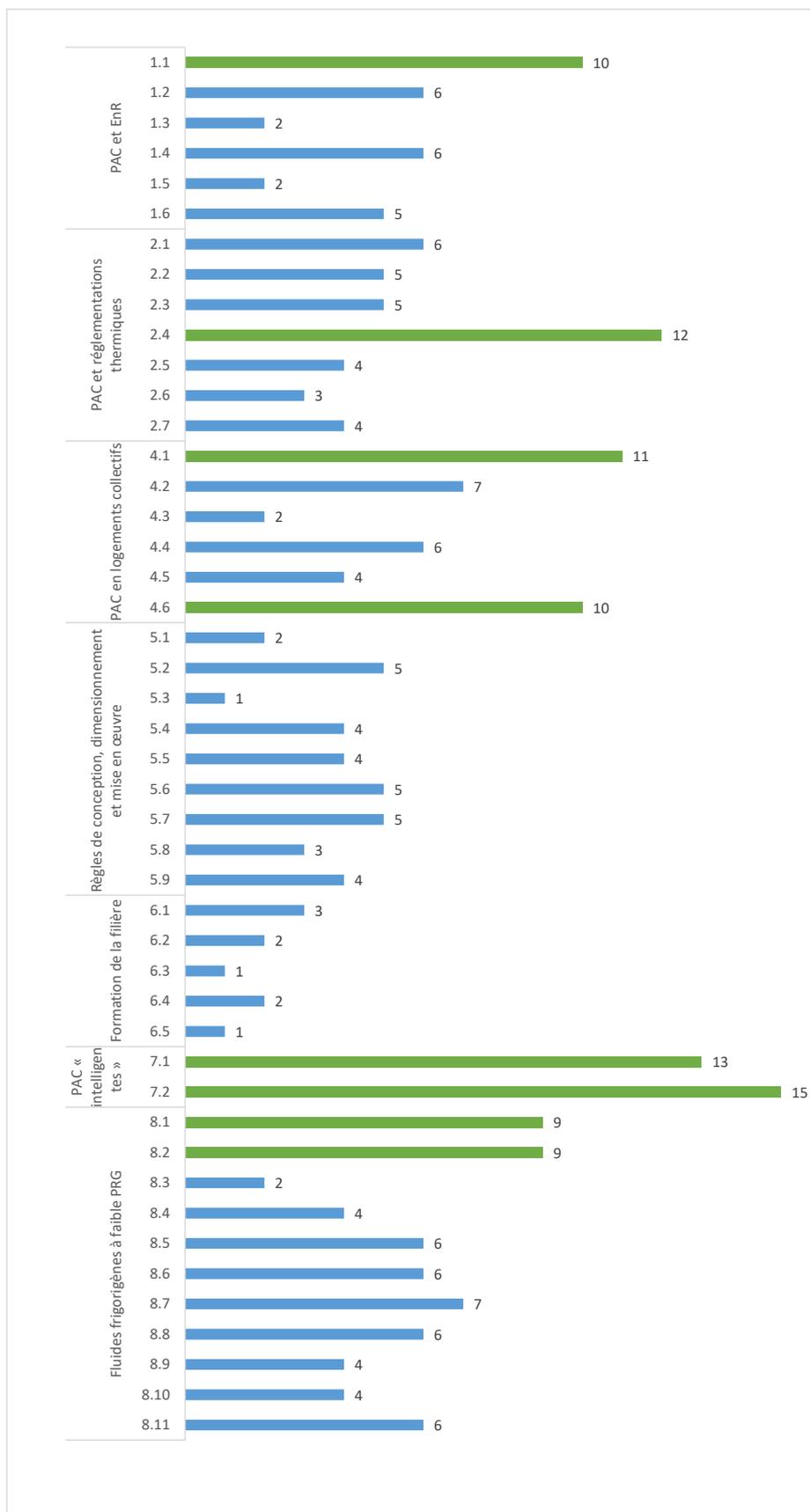


Figure 28 : Engagement des participants au GT dans les différentes actions proposées

Détail des notations des actions de R & D :

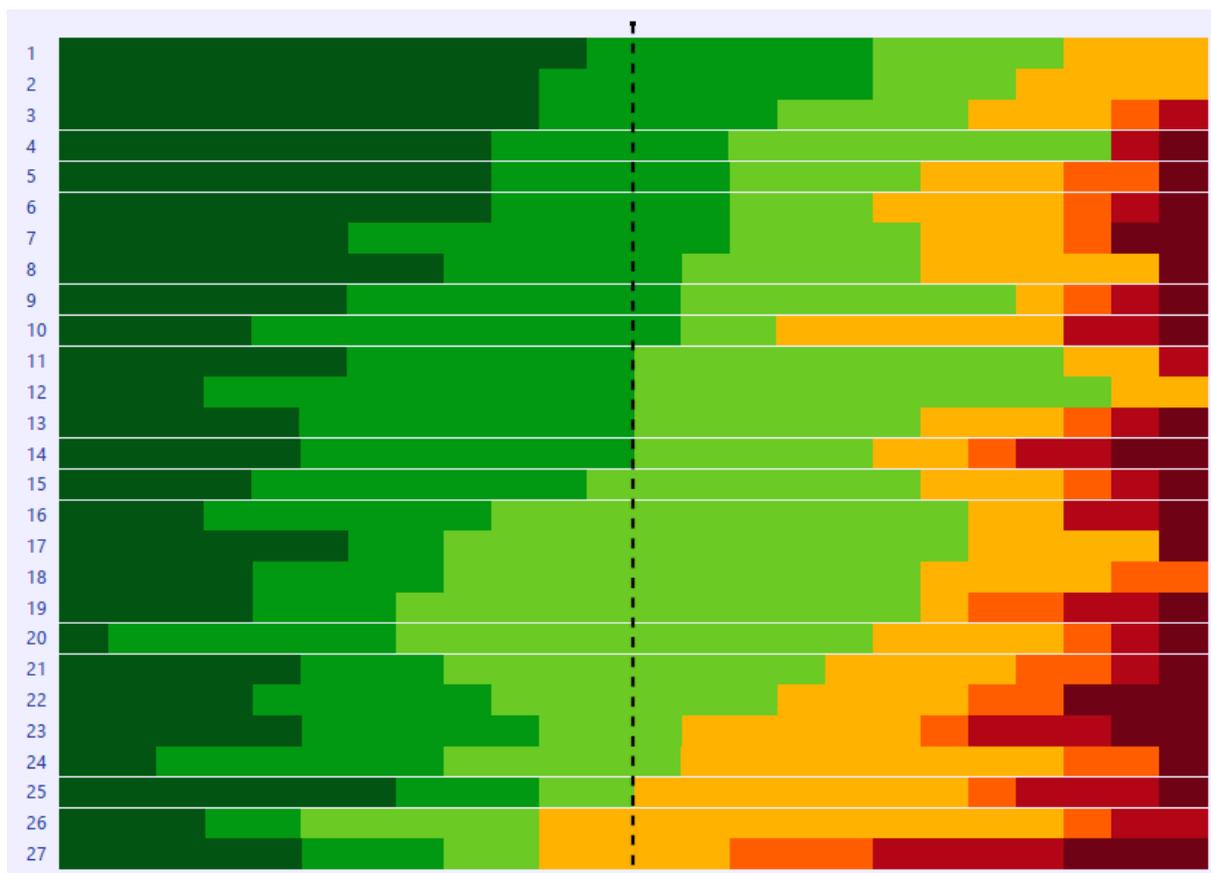


Figure 29 : Evaluation détaillée de chaque action de R&D (Les numéros renvoient au rang du tableau 19)

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Branches et sous branches tertiaires au sens du CEREN	15
Tableau 2 : Exemple de montants d'aides pour les particuliers via Ma Prime Renov' (Source : ADEME)	20
Tableau 3 : Axes d'action de l'AFPAC pour l'attractivité et la formation	22
Tableau 4 : Marché accessible, Fonctions et Performances des systèmes thermodynamiques en Résidentiel	29
Tableau 5 : Principales tendances du marché des systèmes thermodynamiques en Maison Individuelle en France	32
Tableau 6 : Principales tendances du marché des systèmes thermodynamiques en Logement Collectif en France	33
Tableau 7 : Facteurs explicatifs des tendances du marché français en Résidentiel pour certains systèmes	35
Tableau 8 : Part des surfaces chauffées et climatisés par des PAC en 2013 (Source : AFPAC à partir de données CEREN)	37
Tableau 9 : Part des surfaces chauffées et climatisés par des PAC en 2013 (Source : AFPAC à partir de données CEREN)	37
Tableau 10 : Systèmes thermodynamiques en Tertiaire	39
Tableau 11 : Facteurs explicatifs des tendances du marché français en Tertiaire pour certains systèmes	42
Tableau 12 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Maisons Individuelles	43
Tableau 13 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Logements Collectifs	44
Tableau 14 : Etat des lieux et Objectifs 2030 de ventes de systèmes thermodynamiques en Tertiaire	46
Tableau 15 : 47 Actions proposées au Groupe de Travail	57

Tableau 16 : Evaluation et Hiérarchisation des actions de R&D.....	60
Tableau 17 : Liste hiérarchisée des Freins et des Leviers.....	65
Tableau 18 : Innovations mises en avant par le GTT3	72
Tableau 19 : Etat des lieux et solutions pour le manque de compétence des acteurs.....	94

FIGURES

Figure 1 : Répartition de la consommation finale par secteur (Source : SDES, Chiffres clés de l'énergie - Édition 2020, https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2020-0?rubrique=19&dossier=170).....	12
Figure 2 : Répartition des GES de l'inventaire national entre 1990 et 2017 (Source : SDES, Chiffres clés du climat 2020, https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-11/datalab-62-chiffres-cles-du-climat-france-europe-monde-edition2020-novembre2019_0.pdf).....	12
Figure 3 : Poids de la filière PAC électriques (Source : AFPAC, La Pompe à Chaleur au centre de la Transition énergétique, https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-au-centre-de-la-transition-energetique-une-filiere-prete-a-relever-les-enjeux-de-la-relance_a621.html)	13
Figure 4 : Achats d'énergie par secteur d'activité et type d'usage en 2011 (Source : INSEE).....	14
Figure 5 : Récapitulatif des réglementations en lien avec les fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes thermodynamiques (Source : https://energieplus-lesite.be/reglementations/climatisation-et-refrigeration3/reglementation-des-fluides-frigorigenes/)	17
Figure 6 : Objectifs de réduction des PRG moyens et interdictions de mise sur le marché pour les équipements neufs (Source : UNICLIMA).....	18
Figure 7 : Vision des solutions proposées par les industriels sur 10 ans (Source : UNICLIMA)	18
Figure 8 : Principales certifications et qualifications pour les PAC (Source : AFPAC)	23
Figure 9 : Emissions de CO2 des bâtiments et trajectoire pour atteindre le SDS	24
Figure 10 : Consommation d'énergie pour le froid selon un scénario de base ou un scénario soutenable (Source : AIE, https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling).....	24
Figure 11 : Parc de résidences principales selon leur date de construction et la zone climatique en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE 2020 sur la base de chiffres CEREN).....	25
Figure 12 : Parc des installations principales de chauffage dans les résidences principales en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE sur la base de données SDES)	26
Figure 13 : Répartition des systèmes de chauffage dans la construction neuve (Source : Rapport ADEME RTE 2020)	29
Figure 14 : Conversion des modes de chauffage vers les PAC (Source : Etude ADEME RTE 2020) .	30
Figure 15 : Part des projets BBC Effinergie Rénovation en Maison Individuelle en fonction de l'énergie de chauffage (Source : Observatoire BBC).....	30
Figure 16 : Part des projets BBC Effinergie Rénovation en Logement Collectif en fonction de l'énergie de chauffage (Source : Observatoire BBC).....	31
Figure 17 : Répartition des branches tertiaires en fonction de leur part de surface chauffée dans la surface chauffée totale (Source : Rapport ADEME RTE 2020)	36
Figure 18 : Part des surfaces chauffées par énergie de chauffage dans le Tertiaire en 2018 (Source : Rapport ADEME RTE sur la base de données CEREN/SDES)	36
Figure 19 : Résultat du sondage sur le renforcement des moyens de l'AFAPC	58
Figure 20 : Résultats du sondage sur la création d'un centre de R&D sur les PAC	58
Figure 21 : Détail des évaluations attribuées par le groupe de travail	65
Figure 22 : Evaluation des freins au déploiement des systèmes thermodynamiques en logements collectifs.....	85
Figure 23 : Evaluation des leviers au déploiement des systèmes thermodynamiques en logements collectifs.....	86
Figure 24 : Analyse des manques de règles professionnelles par les membres du GTT5	88
Figure 25 : Les enjeux des systèmes intelligents selon l'AFPAC (Source : https://www.afpac.org/La-Pompe-a-Chaleur-du-futur-Intelligence-et-connectivite_a519.html)	96
Figure 26 : Nouveaux fluides sur lesquels les participants au GTT8 travaillent	97
Figure 27 : Défis identifiés par les membres du GTT8.....	98
Figure 28 : Engagement des participants au GT dans les différentes actions proposées.....	102
Figure 29 : Evaluation détaillée de chaque action de R&D (Les numéros renvoient au rang du tableau 19).....	103

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de la Transition Ecologique
AFCE	Alliance Froid Climatisation Environnement
AFF	Association Française du Froid
AFPAC	Association Française pour la Pompe à Chaleur
AFPG	Association Française des Professionnels de la Géothermie
AQC	Agence Qualité Construction
CAPEB	Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment
CETIAT	Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques
CETIM	Centre Technique des Industries Mécaniques
CINOV	Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique
COSTIC	Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques
CSTB	Centre Scientifique et technique du Bâtiment
DGE	Direction Générale des Entreprises
DGEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DHUP	Direction de l'Habitat de l'Urbanisme et des Paysages
DRV	Débit de Réfrigérant Variable
ECS	Eau Chaude Sanitaire
FEDENE	Fédération des Services Energie Environnement
FFB	Fédération Française du Bâtiment
GTT	Groupe de Travail Thématique
PAC	Pompe à Chaleur
PRG	Pouvoir de Réchauffement Global
UNICLIMA	Syndicat des industries Thermiques, Aérauliques et Frigorifiques

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



FEUILLE DE ROUTE 2030 SYSTEMES THERMODYNAMIQUES EN RESIDENTIEL ET TERTIAIRE

Le déploiement des systèmes thermodynamiques dans les secteurs Résidentiel et Tertiaire est un levier essentiel pour que la France atteigne ses objectifs climatiques.

Malgré leurs atouts, ils sont encore minoritaires au sein des systèmes de chauffage et ECS des maisons individuelles, des logements collectifs et de nombreuses branches du secteur tertiaire.

Sous l'égide de l'ADEME et d'UNICLIMA, la filière a co-construit cette feuille de route pour relever ces défis et prendre toute sa place dans la Transition Ecologique.

Elle y exprime sa vision pour 2030 : « La filière thermodynamique s'impose comme un leader sur le marché français des équipements chaud, froid, ECS en résidentiel et en tertiaire. Son positionnement bas carbone et ses performances énergétiques sont à la fois un atout économique et une forte contribution aux objectifs des accords de Paris sur le Climat. »

Elle y présente des pistes d'actions pour atteindre la vision 2030, de la conception à la maintenance des systèmes thermodynamiques en passant par la réglementation ou les actions de R&D.

En 2030, la filière thermodynamique s'impose comme un leader sur le marché français des équipements chaud, froid, ECS en résidentiel et en tertiaire. Son positionnement bas carbone et ses performances énergétiques sont à la fois un atout économique et une forte contribution aux objectifs des accords de Paris sur le Climat.

