

Janvier 2020



Étude

La filière des pompes à chaleur au
prisme de l'économie circulaire



Un mot du Président de l'INEC

La consommation énergétique des bâtiments compte parmi les premiers postes d'émissions de CO₂ à l'échelle nationale.

Environ 80 millions de tonnes de CO₂e sont émises chaque année dans le secteur résidentiel-tertiaire. Dans un objectif de lutte contre le réchauffement climatique et de recherche de neutralité carbone, il est important de rendre nos bâtiments économes en énergie.

L'économie circulaire propose de découpler la création de valeur de l'impact environnemental, en optimisant l'utilisation des ressources tout au long du cycle de vie des produits. Les équipements thermiques, essentiels pour répondre aux besoins de chauffage et de rafraîchissement grandissants, concentrent des enjeux ressources et énergétiques considérables et sont donc à considérer avec attention. C'est l'objet de cette collaboration entre l'Association Française pour la Pompe à Chaleur (AFPAC) et l'Institut National de l'Economie Circulaire (INEC).

L'économie circulaire est aujourd'hui au cœur des politiques publiques. L'action de la France en ce sens va s'accroître et les équipements performants doivent être valorisés. Depuis plus de 30 ans, la technologie des pompes à chaleur fait ses preuves en matière d'efficacité énergétique. Face à un potentiel de développement du parc important, les acteurs de la chaîne de valeur ont manifesté leur ambition de s'inscrire dans les principes d'économie circulaire.

En 2020 la France sera dotée d'une loi relative à la lutte contre le gaspillage et pour l'économie circulaire. Celle-ci aborde directement la question des ressources et de l'efficacité matière des produits. C'est sur ces enjeux que la filière française des pompes à chaleur souhaite progresser, pour devenir exemplaire à l'échelle européenne. L'objectif est de promouvoir des pratiques respectueuses à tous les maillons de la chaîne de valeur et de travailler à l'amélioration constante du cycle de vie de l'équipement.

Des leviers organisationnels, comme de nouveaux business model, ont été proposés lors de cette collaboration. L'économie de fonctionnalité, qui préfère la vente d'usage à la vente de biens, fait partie des pistes envisagées par et pour la filière. Ainsi, cette riche collaboration a fait émerger des propositions novatrices et participe de la progression de l'économie circulaire dans le domaine du bâtiment et des équipements thermiques. Cette étude présente le fruit de ces travaux.

François-Michel Lambert
Président de l'Institut National de l'Economie Circulaire



Un mot du Président de l'AFPAC

La démarche qualité entreprise par la filière depuis plus de 10 ans, qui s'est caractérisée par la mise en place de la certification des matériels et la qualification des installateurs, a contribué à fiabiliser le fonctionnement et l'installation des pompes à chaleur. Quels que soient le lieu ou la configuration de l'installation, une solution pompe à chaleur existe.

La transition énergétique devient effective, et la pompe à chaleur est une réponse aux critères d'économie d'énergie, d'énergie renouvelable et de lutte contre les émissions de CO₂.

Mais au-delà de la performance, de l'intelligence et de la connectivité qui permettent de remplir pleinement les fonctions attendues, imaginer la pompe à chaleur du futur c'est également ancrer la filière au cœur de l'économie circulaire.

La pompe à chaleur en est déjà un acteur, puisqu'elle recycle de l'énergie. Mais la filière doit travailler de concert pour continuer d'assurer son développement dans un environnement où les ressources doivent être préservées. Les principes de l'économie circulaire telles que l'efficacité matière, la durabilité, la réparabilité, l'optimisation du recyclage, sont amenés à prendre de plus en plus d'importance. Nos actions déjà entreprises en ce sens comme par exemple l'analyse de cycle de vie de nos PAC à travers les fiches de Profil Environnemental Produit, ou la collecte et le retraitement de nos produits en fin de vie devront être intensifiés mais très certainement complétés par d'autres volets.

Cette étude étudie de manière prospective des évolutions du modèle économique de la filière en vue d'accélérer son déploiement vers l'économie circulaire et

nous livre ainsi des pistes de réflexion. Il nous appartient de les examiner et de travailler ensemble pour qu'elles s'avèrent créatrices de valeur ajoutée économique, sociale et environnementale pour la filière et la société dans son ensemble.

Renforcer ces activités favorisera l'ancrage de la filière PAC dans l'économie circulaire et dans son principe d'optimisation de gestion des ressources.

Eric Bataille
Président de l'AFPAC

L'Association Française des Pompes A Chaleur (AFPAC) et l'Institut National de l'Economie Circulaire s'associent dans la réalisation d'une étude visant à caractériser l'ancrage de la filière des pompes à chaleur dans l'économie circulaire. Cette étude réalise un état des lieux de la filière, de l'échelle individuelle des équipements thermodynamiques à la contribution globale de la filière aux objectifs de politiques publiques environnementales. L'évolution de l'offre économique de la filière, notamment à destination du marché résidentiel, est proposée de manière plus prospective, à la fois pour répondre aux enjeux de déploiement massifié des pompes à chaleur et pour en optimiser le cycle de vie.

The Association Française pour la Pompe à Chaleur (AFPAC) and l'Institut National de l'Economie Circulaire join together to do a research about heat pumps and circular economy. This paper makes an assessment of the french sector and focuses on both heat pump systems and the contribution from the entire sector to environmental public policies objectives. The supply evolution of the sector, particularly for the residential market, is presented. This evolution might respond to several issues: the sector growth and the improvement of heat pumps life cycle.

Remerciements à Gérard Charney, Eric Bataille et Jean-Pascal Chirat, avec lesquels l'INEC a travaillé étroitement pour réaliser cette étude.

Rédaction :

Adrian Deboutière, Responsable Etudes et Territoires, INEC

Amélie Vaz, Chargée d'études, INEC

Mise en page :

Naomi Poignant, Responsable de communication, INEC

Lisa Venturi, Chargée de communication, INEC

Introduction

La maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment est un enjeu central des politiques publiques environnementales. En effet, selon le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, ce secteur représente 44% de l'énergie consommée en France, loin devant le secteur des transports par exemple (qui représente 31,3% de l'énergie consommée en France). Le bâtiment est donc un pôle clé pour lutter contre le réchauffement climatique et réduire les émissions de CO₂. Les efforts portés doivent à la fois concerner les rénovations et les constructions à venir et ont trait à plusieurs aspects des bâtiments dont les équipements de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Dans ce contexte, la filière des pompes à chaleur est amenée à se développer : le parc des pompes à chaleur (PACs) est effectivement en augmentation constante. Cela s'explique d'abord par les bonnes performances énergétiques de ces équipements thermiques. Avec un apport énergétique réduit, les PACs sont capables de produire de la chaleur essentielle au bien-être des habitants à « moindre coût ». Un autre intérêt réside dans leur bilan carbone avantageux, lié à la valorisation de calories naturellement présentes dans les milieux, et donc comptabilisées en tant qu'énergie renouvelable.

De par leur fonctionnement, elles participent donc à l'atteinte d'objectifs de politiques publiques comme la Stratégie Nationale Bas Carbone ou la Programmation Pluriannuelle de l'Energie.

Pour assurer cet enjeu de massification, notamment dans le secteur résidentiel, l'économie circulaire, principe d'organisation économique en pleine expansion comme le démontre l'actualité réglementaire en France et en Europe, constitue un levier. Cette étude montre en quoi l'économie circulaire peut contribuer au déploiement des PACs, dans un contexte où les ressources doivent être préservées et où l'attention portée aux performances énergétiques des bâtiments est majeure. Mettant en lumière la nécessité de faire un usage sobre des ressources et de concevoir des biens durables, l'économie circulaire encourage les pratiques de « logistique inverse » ainsi que l'écoconception et la recherche d'une plus grande efficacité matières. Ces principes permettent d'allonger le cycle de vie des PACs et peuvent être créateurs de valeur ajoutée économique, sociale et environnementale pour la filière et la société dans son ensemble.

Cette étude étudie enfin de manière plus prospective les évolutions possibles du modèle économique de la filière en vue d'accélérer son déploiement vers l'économie circulaire, en évoquant notamment l'économie de fonctionnalité et la vente d'usage. Ce nouveau modèle économique concentre de sérieux atouts, à même de faire de la filière PAC une filière exemplaire aux échelles nationale et européenne.

Fonctionnement des pompes à chaleur

Les pompes à chaleur sont des équipements thermodynamiques qui s'inscrivent dans l'économie circulaire. Elles produisent de la chaleur (ou de l'air froid) à l'intérieur des bâtiments en optimisant les ressources présentes dans les milieux extérieurs environnants et en récupérant l'énergie fatale issue d'autres process (ventilation, eaux usées, etc). Elles nécessitent peu d'énergie pour leur fonctionnement et valorisent de l'énergie renouvelable.

Comment améliorer la durabilité des PACs ?

Les acteurs de la filière des PACs concentrent leurs efforts pour améliorer l'efficacité énergétique des équipements.

L'efficacité matières est une piste d'amélioration qui reste à explorer. Pour renforcer cette tendance, le développement de boucles d'économie circulaire est essentiel.

✚ Le recyclage est bien traité ✚

■ Mais la réparabilité, le reconditionnement et le remanufacturing peuvent être améliorés ■

Un déploiement économique vertueux

Le déploiement de la filière PAC participe à atteindre les objectifs fixés par les politiques publiques environnementales (SNBC, PPE), cela en fait une filière vertueuse. De plus grandes parts de marché peuvent permettre à la filière de développer des boucles d'économie circulaire.

104 000 chauffe-eau thermodynamiques installés
15 000 dans le résidentiel collectif

600 000 pompes à chaleur air-air installées
1/3 à destination du tertiaire

97 000 pompes à chaleur air-eau installées dans le résidentiel individuel

Pour inscrire davantage la filière dans l'économie circulaire, l'économie de fonctionnalité présente des avantages à la fois pour les prestataires et les bénéficiaires et encourage son développement dans le résidentiel.



Résumé	4
Introduction	5
Synthèse de l'étude de la filière pompe à chaleur	6
1. Les pompes à chaleur vues au prisme de l'économie circulaire	9
1. Enjeux environnementaux	9
A. Principes généraux de fonctionnement des pompes à chaleur	9
B. La valorisation des calories extérieures et d'énergie fatale	10
C. Un équipement performant et producteur d'énergie renouvelable	12
D. Les principes de fonctionnement énergétique des PACs au prisme de l'économie circulaire	13
2. La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante	18
A. L'écoconception des PACs	18
B. Réparabilité, réemploi, reconditionnement et remanufacturing : des pratiques existantes à consolider et à développer	24
2. Une filière au coeur de la transition de modèle économique	34
1. Potentiel de déploiement de la filière et contribution aux politiques publiques environnementales	34
A. Descriptif de la filière	34
B. Développement de la filière	37
C. Les bénéfices sociaux-économiques attendus suite au déploiement de la filière	41
2. Mise en mouvement des acteurs publics et privés pour accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire	42
A. Assurer la reconnaissance des bénéfices environnementaux des pompes à chaleur	43
B. Renforcer les boucles de l'économie circulaire au sein de la filière	46
3. L'économie de fonctionnalité, un nouveau modèle économique pour le déploiement des pompes à chaleur ?	54
1. L'économie de fonctionnalité, comme levier «circulaire» de déploiement des pompes à chaleur sur le marché résidentiel	54
A. Les leviers à la définition d'un business model d'économie de fonctionnalité	55
B. Faciliter l'ancrage de la filière dans l'EC, via l'économie de fonctionnalité	62
2. Freins et leviers à la transition de modèle économique de la filière vers l'économie de fonctionnalité	67
A. Le financement et le contrat	68
B. Durée de vie du contrat	70
C. Fin de contrat	72
Conclusion	74
Annexe	75
Bibliographie	77

1. Les pompes à chaleur vues au prisme de l'économie circulaire

Dans cette partie, nous souhaitons montrer que le fonctionnement de cet équipement thermodynamique valorise les calories présentes à l'extérieur des bâtiments ainsi que la chaleur fatale et constitue une source de production d'énergies renouvelables. Après avoir étudié ses performances énergétiques, nous nous intéresserons à l'équipement en tant que tel. En effet, l'économie circulaire vise à adopter une vision holistique. Elle inclue donc la question de l'efficacité matière, dont nous présenterons les enjeux en seconde sous-partie.

1. Enjeux environnementaux

Le mode de fonctionnement des PAC l'ancre dans les principes d'économie circulaire : l'optimisation des calories présentes en milieu extérieur en fait un équipement efficient pour produire de la chaleur à l'intérieur des bâtiments. L'énergie fatale est aussi récupérable par les différents types de PACs.

1.A. Principes généraux de fonctionnement des pompes à chaleur

Différents types de PACs existent sur le marché mais toutes fonctionnent selon un même principe : la « récupération » et l'optimisation des calories présentes en milieu extérieur et/ou de chaleur fatale. Les PACs récupèrent les calories présentes dans un milieu extérieur (air, eau, sol) mais aussi celles issues de chaleur fatale et les redirigent vers le réseau de chauffage d'un bâtiment. Elles génèrent ainsi un flux opposé aux déperditions énergétiques du bâtiment.

La distribution de chaleur à l'intérieur des bâtiments peut se faire via des conduits d'air ou un circuit d'eau (un plancher chauffant par exemple). Nous relevons donc comme types de PACs : les PACs sol-eau, les PACs eau-eau, les PACs air-eau, les PACs air-air et les chauffe-eau thermodynamiques (qui produisent de l'eau chaude sanitaire). A noter que les pompes à chaleur, notamment air-air, sont généralement réversibles, c'est-à-dire qu'elles intègrent un système de climatisation ou de rafraîchissement l'été et rejettent la chaleur à l'extérieur du bâtiment. Deux exemples de PAC retiendront particulièrement notre attention

dans le cadre de cette partie : **PAC air-eau et PAC air-air** (ou PACs aérothermiques), qui représentent environ 85% du marché en France en 2018¹.

Une PAC est composée de quatre éléments, présentés sur la figure 1 ci-dessous, ainsi que d'un circuit fermé et étanche, dans lequel circule un fluide frigorigène. Les composants interviennent, tour à tour, pour produire de la chaleur amenée ensuite à l'intérieur du bâtiment grâce à ce fluide. Le premier de ces composants est un **compresseur**, qui sert à aspirer le fluide frigorigène sous forme de gaz dont la température s'élève avec la compression.

1. Statistiques marché de la PAC – CR AFPAC – 24 octobre 2018

Ce gaz est ensuite dirigé vers un **condenseur**, dans lequel circule un fluide à réchauffer. Le gaz transmet donc une partie de son énergie au fluide à chauffer, dont la température augmente (ce fluide est l'eau du circuit à réchauffer qui sert par exemple aux radiateurs ou au plancher

chauffant). Se faisant, le gaz frigorigène « condense » : il passe de l'état gazeux à l'état liquide. Une fois liquide, le gaz passe dans un **détendeur** et sa pression chute. Devenu froid, le gaz frigorigène, toujours à l'état liquide, traverse un **évaporateur** dans lequel circule le fluide extérieur (air, eau,

sol), plus chaud que le gaz frigorigène. Ce dernier récupère donc les calories du fluide extérieur, entre en ébullition et se transforme en gaz. Il est alors aspiré par le compresseur pour que débute un nouveau cycle.



Figure 1. Le fonctionnement d'une PAC. Source : AFPAC

1.B. La valorisation des calories extérieures et d'énergie fatale

La valorisation des calories extérieures fait de la PAC un outil qui s'inscrit dans les principes d'économie circulaire. C'est aussi un équipement qui fait appel à différentes sources d'énergie et qui peut répondre à plusieurs usages,

ce qui en fait une technologie adaptable à différentes configurations².

Pour **les PACs aérothermiques**, la chaleur est prélevée dans l'air extérieur puis est transférée à l'intérieur du bâtiment. Ce transfert se fait soit dans l'air ambiant, soit dans le circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage. Le marché des PACs air-eau ou air-air est en

forte croissance, notamment du fait des augmentations des températures estivales, car l'équipement est généralement réversible et permet de produire de l'air froid. Aux calories extérieures dans l'air s'ajoutent aussi **les déperditions énergétiques** du bâtiment que les PACs aérothermiques peuvent récupérer. Il s'agit des pertes de chaleur du bâtiment, issues de la toiture, des parois vitrées etc.

Le mode de fonctionnement **des PACs géothermiques** (PACs eau-eau et sol-eau) diffère. La chaleur est prélevée directement dans le sol pour les PACs sol-eau et eau-eau sur sonde géothermique et dans une nappe phréatique, un lac ou un cours d'eau

pour les autres PACs eau-eau. Elle est extraite via un échangeur, des sondes verticales ou horizontales, puis est ensuite transférée au circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage. La performance des PACs géothermiques est plus stable que celle des PACs

aérothermiques : la température de l'eau en sous-sol varie plus. La croissance du marché des PACs eau-eau est plus faible que celle du marché des PACs aérothermiques. Le marché des PACs sol-eau est celui dont la croissance se ralentit.

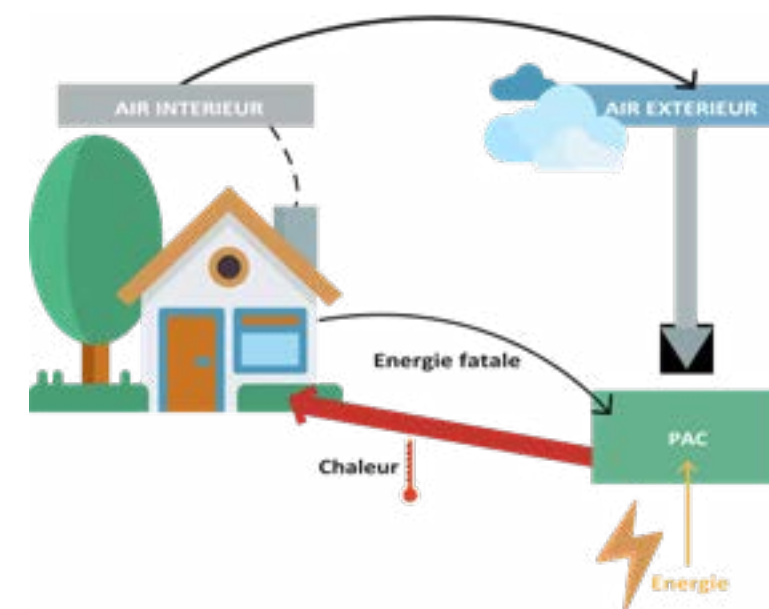


Figure 2. La pompe à chaleur au service du métabolisme calorifique du bâtiment.

L'énergie fatale ou de récupération est aussi mobilisée par les pompes à chaleur³. L'énergie fatale est une production d'énergie dérivée d'un usage, « qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui, de ce fait, n'est pas nécessairement récupérée⁴ ». Les PACs permettent de contrer ce phénomène. Par exemple, **les eaux usées** constituent des énergies fatales qui peuvent être mobilisées par les PACs géothermiques. Les PACs aérothermiques quant à elles peuvent récupérer la chaleur fatale dérivée d'un autre usage dans le bâtiment (par exemple, dérivée de **la ventilation**).

Le potentiel de développement des PACs géothermiques

Notre étude se focalise sur les PACs pour logement individuel ou pour de petites mutualisations. Un partage d'équipement plus large est toutefois possible pour les pompes géothermiques.

L'usage mutualisé des PACs géothermiques sur des réseaux de chaleur est privilégié par les institutions publiques. Il présenterait des avantages non-négligeables et permettrait à ce marché de se développer. Les PACs géothermiques ont un coefficient de performance (COP) élevé et constant durant la saison de chauffe⁵.

Ainsi, bien que ce type d'équipement ne soit pas préféré pour le moment par les utilisateurs, son potentiel de développement peut s'accroître.

2. Fiche technique de l'ADEME, Les pompes à chaleur électriques pour l'habitat individuel, Juin 2012, p. 2

3. ADEME, Fiche technique, Les pompes à chaleur électriques pour l'habitat individuel, juin 2012, p. 1

4. CEREMA, Définition, Chaleur fatale, avril 2014

5. Entretien J.-M. DENOYEL, chargé de mission chaleur renouvelable, DGEC

1.C. Un équipement performant et producteur d'énergie renouvelable

Le mode de fonctionnement des

différentes PACs, résumé à travers la figure 1, se base donc sur **l'efficacité de gestion des ressources**. Elle récupère et valorise trois unités d'énergie en provenance du milieu extérieur pour une unité d'énergie consommée (pour son fonctionnement). Son coefficient

de performance (**COP**) est donc égal à quatre. Cette performance est manifeste de l'usage sobre des ressources que fait la PAC, ce qui inscrit son fonctionnement dans les principes d'économie circulaire.

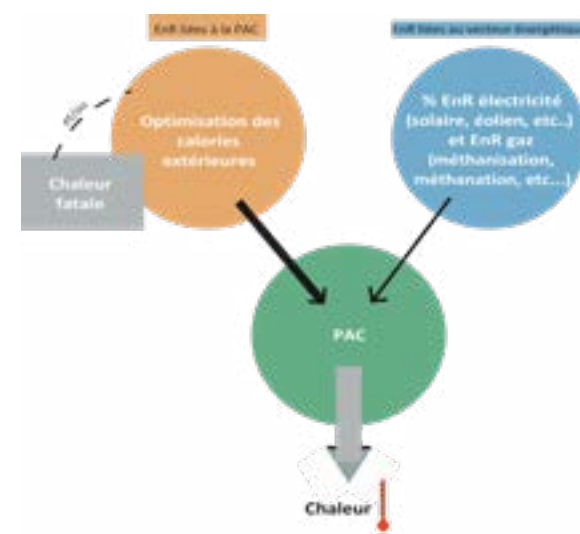


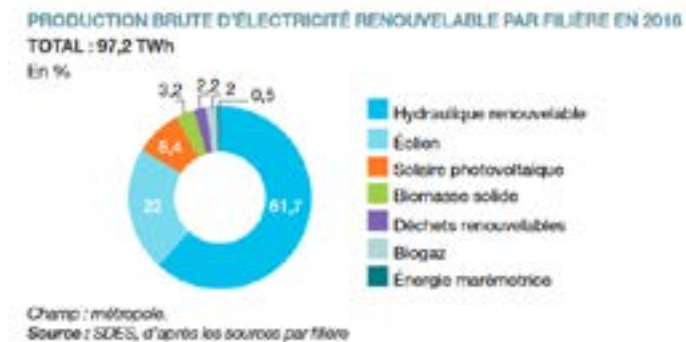
Figure 3. Le coefficient de performance des pompes à chaleur.

Le gaz comme vecteur énergétique des pompes à chaleur

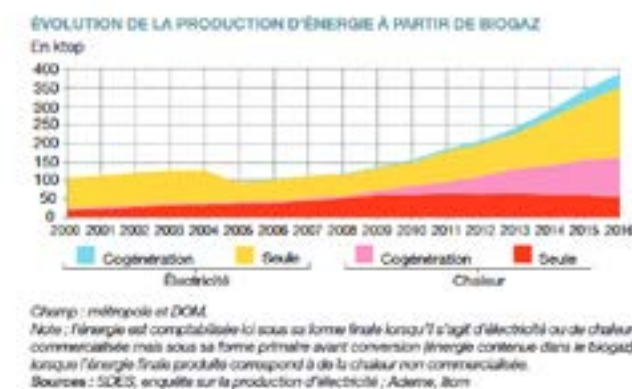
En fusionnant les techniques de la chaudière et de la pompe à chaleur, les ingénieurs de la jeune entreprise **BoostHeat**, basée dans le bassin lyonnais ont conçu des pompes à chaleur alimentées par du gaz à destination des logements individuels. La compression thermique double le pouvoir calorifique du combustible, tout en réduisant la quantité de gaz utilisée pour chauffer la maison et produire de l'eau chaude sanitaire⁶.

À noter que la part d'énergie renouvelable est croissante à la fois pour le gaz et pour l'électricité. En effet, **les filières EnR connaissent une dynamique positive** et ont des objectifs ambitieux sur le territoire national, fixés par la loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) : 23% de la production d'énergie totale sera d'origine renouvelable en 2020 et 32% en 2030⁷. En 2016, la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique de la France (métropolitaine) représentait 10,9% et avait augmenté de 10 points en 10 ans (cette part ne représentait que 5,9% en 2006)⁸.

L'éolien et le solaire notamment sont en progression pour produire de l'électricité largement décarbonée⁹, bien que l'hydraulique demeure le secteur le plus pourvoyeur d'électricité renouvelable¹⁰.



Biogaz



Biométhane



Pour l'alimentation des PACs à gaz, les industriels bénéficient du développement du **biométhane**. Le biométhane est produit à partir de biogaz : il provient de l'épuration du biogaz issu de la fermentation de matières organiques. Comme le montre le graphique ci-dessous¹¹, la production d'énergie à partir de biogaz tend à croître et s'est accélérée à partir de 2014, tirée par les installations de cogénération. Le biogaz est encore principalement produit en métropole et permet la production d'électricité (62%) et de chaleur (36%)¹².

Le biométhane ne représente actuellement que 2% de l'énergie produite par le biogaz, mais il constitue un débouché intéressant et de plus en plus utilisé : « en 2016, 215 GWh de biométhane ont été injectés dans les réseaux de gaz naturel, soit 2,6 fois plus que l'année précédente¹³ ». Début 2018, on compte 48 sites de production de biométhane à partir de déchets agricoles.

Les sources énergétiques pour alimenter les PACs sont complémentaires et le fonctionnement des PACs participe à l'atteinte d'un mix énergétique équilibré sur le territoire national.

Trois figures extraites de ADEME, Chiffres clés des énergies renouvelables, Édition 2018

6. Entretien T. MARCHAIS, Responsable Marketing Produit, Boostheat

7. ADEME, Avis, Les énergies renouvelables et de récupération, décembre 2017, p. 4

8. Commissariat général au développement durable (CGDD), Chiffres clés des énergies renouvelables, Édition 2018, p. 6

9. « L'éolien et le photovoltaïque sont les deux filières qui connaissent la croissance la plus rapide, donnant naissance à deux filières industrielles majeures, globalisées et compétitives. » extrait de Fiche technique de l'ADEME, « Les énergies renouvelables et de récupération », Décembre 2017, p. 6

10. CGDD, Chiffres clés des énergies renouvelables, Édition 2018, p. 8

11. Ibid., p. 47

12. CGDD, Chiffres clés des énergies renouvelables, Édition 2018, p. 47

13. Ibid., p. 50

1.D. Les principes de fonctionnement énergétique des PACs au prisme de l'économie circulaire

a. Les principes de l'économie circulaire (EC) : présentation

Les définitions de l'économie circulaire peuvent différer selon les acteurs ; néanmoins, deux caractéristiques majeures sont

communes à toutes les visions d'économie circulaire : l'opposition à un modèle économique linéaire et son inscription dans un contexte de développement durable.

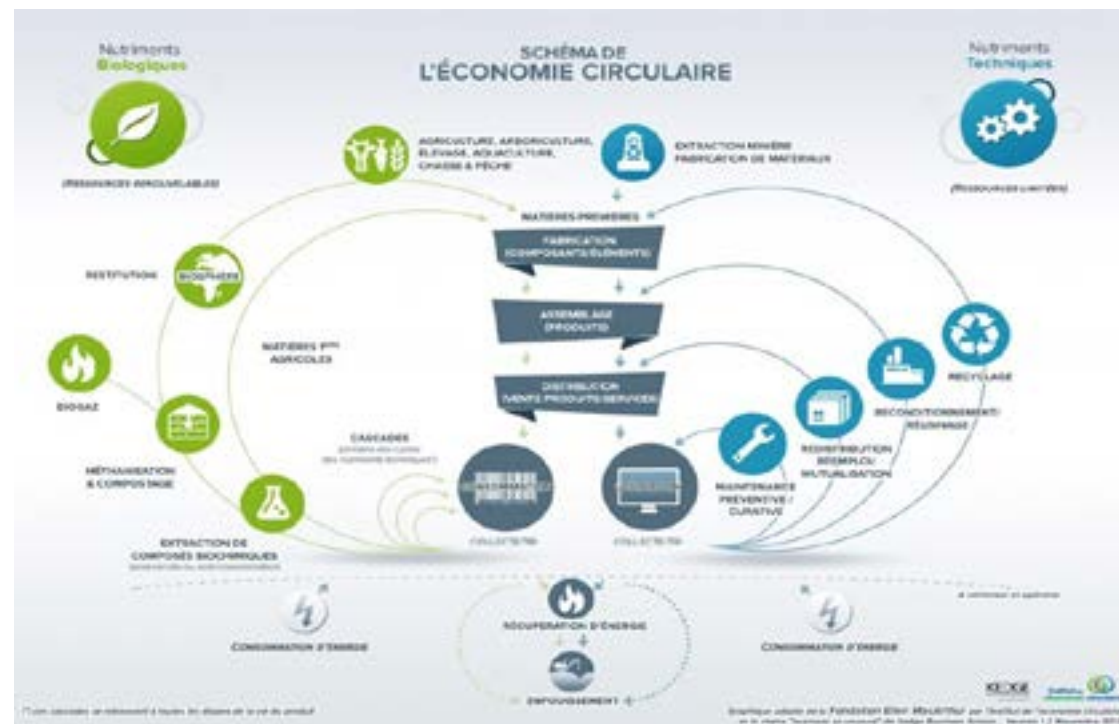


Figure 4. Schéma de l'économie circulaire

L'économie circulaire est un « principe d'organisation économique visant à découpler la création de valeur sociétale de l'impact sur l'environnement, à travers une gestion optimisée des ressources. Ce modèle implique la mise en place de nouveaux modes de conception, de production et de consommation plus sobres et efficaces (éco-conception, écologie industrielle et territoriale, économie de fonctionnalité, etc.) et à considérer les déchets comme des ressources. »¹⁴.

mation plus sobres et efficaces (éco-conception, écologie industrielle et territoriale, économie de fonctionnalité, etc.) et à considérer les déchets comme des ressources. »¹⁴.

Ce modèle repose sur la création de boucles positives, générant de la valeur à chaque utilisation ou

réutilisation de la matière ou du produit avant destruction finale. Il met notamment l'accent sur de nouveaux modes de conception, de production, de consommation, le prolongement de la durée d'usage des produits, l'usage plutôt que la possession de biens, le réemploi, la réutilisation, le recyclage et la valorisation des composants.

Il s'agit de passer d'une économie de la quantité à une économie de la qualité, en s'appuyant sur la mise en place de boucles courtes, une logistique optimisée et respectueuse de l'environnement, et sur l'innovation dans les modèles économiques et sociétaux.

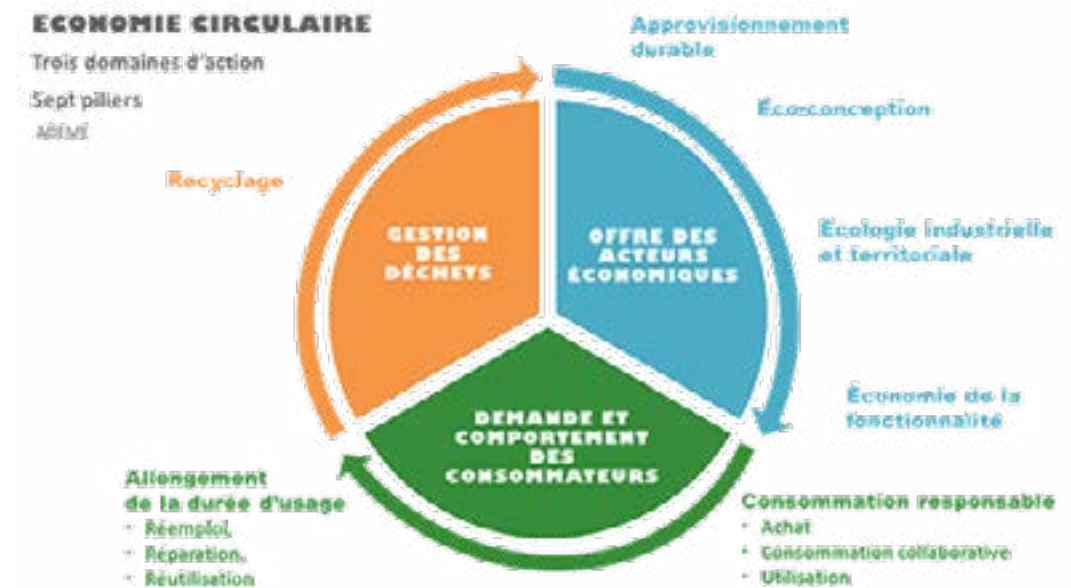


Figure 5. Les sept piliers de l'économie circulaire selon l'ADEME

L'économie circulaire se décline en **sept piliers**, présentés par l'ADEME. Ils concernent trois domaines d'action : l'offre des acteurs économiques, la demande et le comportement des consommateurs, la gestion des déchets.

Il y a **quatre piliers** liés à la production et l'offre de biens et services. Premièrement l'approvisionnement : dans une perspective d'économie circulaire, le mode d'extraction/d'exploitation des ressources doit être durable et efficace et limiter les rebuts d'exploitation. On définit ensuite **l'écoconception**. Elle doit prendre en compte le cycle de vie des produits et

limiter les impacts environnementaux. Vient après l'écologie industrielle et territoriale (EIT), aussi nommée symbiose industrielle, qui valorise la mise en place d'une organisation interentreprises afin de mutualiser les besoins. Enfin, le développement d'une économie de fonctionnalité privilégie la location d'usage plutôt que la vente de biens. Ce business model a pour effet de réduire l'extraction de matières nouvelles et d'allonger le cycle de vie des produits au maximum lors de leur conception.

Le domaine d'action concernant la demande et les comportements des acteurs inclut **deux piliers**. Tout d'abord, la définition de pratiques de consommation

responsable. Est responsable un choix de consommation qui prend en compte les impacts environnementaux. Ensuite, l'allongement de la durée d'usage, qui est aussi lié à des choix de consommation responsable. Il s'agit d'opter pour la réparation, à l'achat d'occasion etc.

Enfin, la gestion des déchets est liée aux pratiques **de recyclage** (matière et organique) des produits. Il s'agit de valoriser les matières premières issues de déchets. **La valorisation énergétique**, lorsque la **valorisation matières** n'est pas possible, s'inscrit également dans ce cadre.

14. Définition de l'Institut National de l'Économie Circulaire

b. La PAC et les principes de l'économie circulaire

Les principes de l'économie circulaire à l'échelle du bâtiment peuvent s'appliquer sur l'enveloppe du bâtiment (les matériaux) et sur les équipements thermiques, dont les pompes à chaleur. Leur **mode de fonctionnement**, ainsi que **deux autres fonctions** plus spécifiques aux PACs inscrivent cet équipement dans les principes d'économie circulaire.

Le mode de fonctionnement des pompes à chaleur intègre les principes d'économie circulaire. En effet, les PACs font un **usage optimisé des ressources** du milieu environnant (eau, air, sol) auquel elles s'intègrent. Leur **coefficient de performance est élevé**, quel qu'en soit le type (aérothermique ou géothermique). Les PACs permettent de restituer 3 à 4 fois plus d'énergie que l'énergie qu'elles ne requièrent pour leur fonctionnement. De plus, elles s'adaptent au métabolisme du bâtiment en générant un flux opposé aux déperditions calori-

fiques du bâtiment. On parle de « déperditions énergétiques » lorsque des calories s'échappent d'un milieu chauffé (par le plancher bas, les murs, les fenêtres, la toiture etc.) et se fondent directement dans l'environnement proche. Une partie de ces calories « perdues » est récupérée par la PAC, qui les réinjecte aussi partiellement dans le bâtiment pour augmenter sa température, à travers son système de chauffage. Ce mécanisme s'apparente à une **boucle courte de valorisation énergétique**.

Deux fonctions supplémentaires plus spécifiques des PACs s'inscrivent aussi dans les principes du cadre inclusif de l'économie circulaire. Premièrement, les PACs permettent de produire de **l'énergie renouvelable** et secondement, elles valorisent l'énergie fatale ou de récupération.

Les énergies renouvelables sont des énergies dérivées de processus naturels, en perpétuel renouvellement¹⁵. Ce dernier est

rapide et inépuisable à l'échelle humaine. Le principe des PACs est de valoriser des calories naturellement présentes à l'extérieur. Stockée naturellement dans l'environnement, la PAC prélève cette énergie et permet de la transférer à plus haute température dans les bâtiments. Ce processus s'apparente à de **l'approvisionnement durable**, le premier des sept piliers de l'économie circulaire selon l'ADEME. A noter que la PAC, en se déployant peu à peu sur le marché des équipements thermiques, devient un acteur important de la production d'énergies renouvelables sur le territoire national. Selon le Commissariat au développement durable en 2018, « la croissance importante de la production primaire d'énergies renouvelables depuis 2005 (+63%) est principalement due à l'essor des biocarburants, **des pompes à chaleur** et de la filière éolienne »¹⁶. En 2016, les pompes à chaleur représentent 8,4% des sources d'énergies renouvelables¹⁷ et cette proportion va en s'accroissant, comme le montre le graphique ci-dessous¹⁸ :

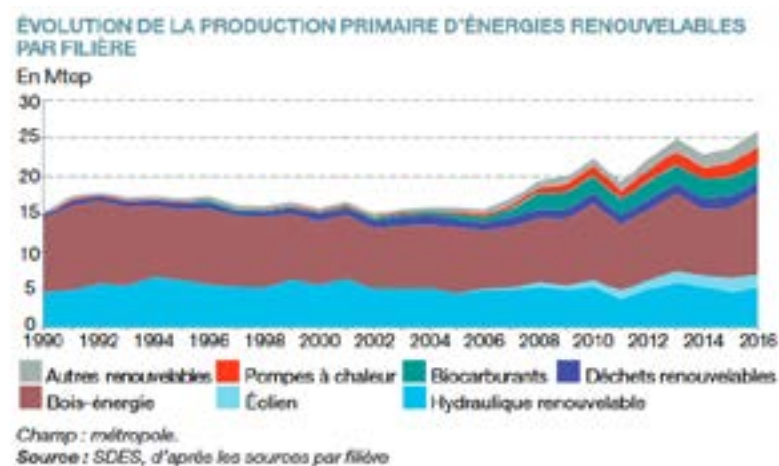


Figure extraite de ADEME, Chiffres clés des énergies renouvelables, Edition 2018, p. 7

15. CGDD, Chiffres clés des énergies renouvelables, Edition 2018, p. 70

16. Ibid., p. 5

17. Ibid., p. 7

18. Ibid., p. 7

A la production d'énergies renouvelables, s'ajoute la fonction **de valorisation d'énergie fatale** par la PAC. L'énergie fatale est une énergie calorifique valorisable, résultant de process qui ne l'utilise pas en totalité ou qui en rejette inévitablement. On parle d'énergie fatale ou d'énergie perdue¹⁹. Les PACs permettent de valoriser cette énergie perdue. Le chauffage ou de ventilation par exemple, à l'intérieur d'une maison, dispersent des

calories dont la plus grande partie sera perdue sans être utile. Ce type de gaspillage peut être largement réduit grâce à la PAC. La valorisation d'énergie fatale s'apparente ici à de **la valorisation énergétique**, septième pilier de l'économie circulaire selon l'ADEME.

La figure 6 ci-dessous illustre les enjeux présentés précédemment. Le principe de fonctionnement de

la PAC s'inscrit pleinement dans les principes d'économie circulaire à travers son efficacité et son optimisation du métabolisme calorifique du bâtiment, sa capacité produire de l'énergie renouvelable et sa capacité à valoriser la chaleur fatale. La PAC s'inscrit donc dans une recherche d'efficacité d'usage des ressources et un objectif de bien-être optimisé, ce qui contribue aux objectifs d'économie circulaire.

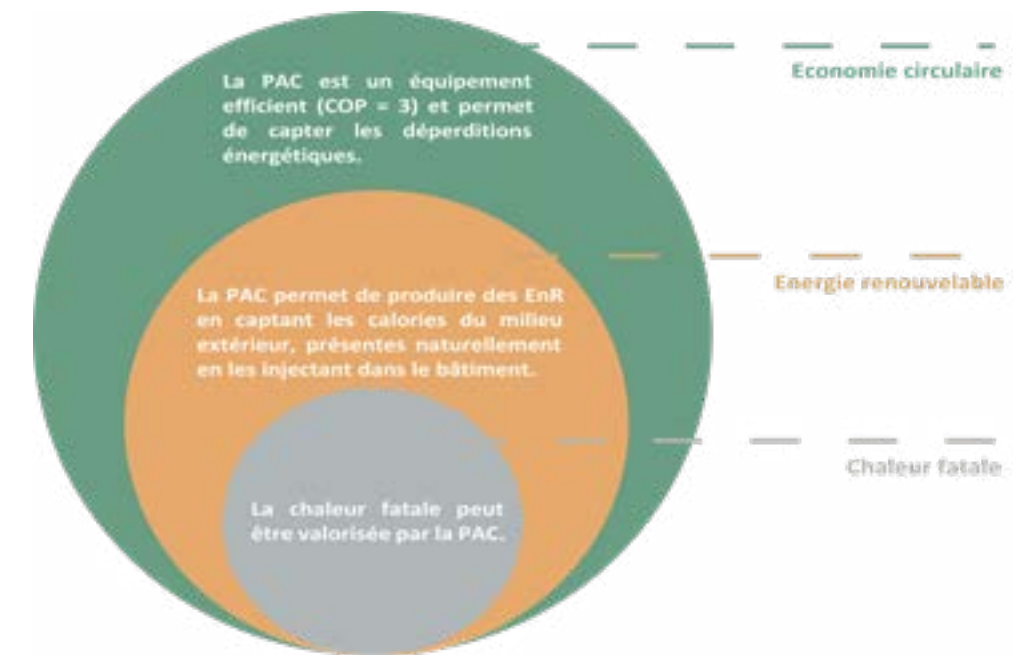


Figure 6. Les bénéfices environnementaux de la PAC schématisés en "poupées russes".

Récapitulatif « La PAC comme vecteur d'optimisation de la ressource calorie »

Les pompes à chaleur sont **des équipements thermodynamiques performants**. Elles produisent de la chaleur (ou de l'air froid) à l'intérieur des bâtiments en optimisant les ressources présentes dans **les milieux extérieurs environnants** (air, eau, sol) et en récupérant l'énergie fatale issue d'autres process, comme la ventilation ou les eaux usées. Elles nécessitent peu d'énergie pour leur fonctionnement (électricité ou gaz) et sont de plus, productrices d'énergie renouvelable. Avec ses caractéristiques, le mode de fonctionnement des PACs s'inscrit pleinement dans les principes de l'économie circulaire.

19. ADEME, Fiche technique, La chaleur fatale, septembre 2017, p. 3

Ce focus de la PAC au prisme de l'économie circulaire implique d'étudier l'équipement pompes à chaleur en tant que tel, notamment du point de vue de son efficacité matières. Il est donc nécessaire de s'intéresser au cycle de vie des produits et des boucles que déploie la filière (réparation, réemploi, remanufacturing) pour allonger la durée de vie des produits.

Le confort d'usage des utilisateurs

La notion de confort n'est pas absente de la vision d'économie circulaire. Les solutions d'économie circulaire prennent en compte l'usage et l'optimisation des besoins des usagers. La PAC, en tant qu'équipement thermique permet d'optimiser la distribution de la chaleur pour les habitants d'un bâtiment. Les acteurs de la filière travaillent à pallier les écueils généralement attribués aux PACS.

Les problématiques liées aux **jambes lourdes** causées par les planchers chauffants ont été évacuées grâce aux progrès techniques.

Les nuisances liées au **bruit** des pompes à chaleur sont aussi prises en compte par les industriels de la filière et des programmes de R&D leur sont dédiés. Le bon dimensionnement de la pompe à chaleur au bâtiment permet de parer à cet inconvénient : il est important que la pose soit réalisée par un installateur compétent et qualifié. De plus, un défaut d'entretien peut parfois concourir à l'augmentation des nuisances sonores et à une dégradation de sa performance, il est donc important que l'utilisateur veille à faire un bon usage de la PAC.

2. La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

Après avoir étudié le mode de fonctionnement des PACs, c'est l'équipement en tant que tel qui est analysé à l'aune des principes de l'économie circulaire. La recherche d'un meilleur usage des ressources matières et énergétiques pour la production d'un bien ou d'un service fait partie de ces principes. Pour améliorer l'efficacité énergétique et l'efficacité matières d'un bien ou service produit, une notion est particulièrement utilisée : « le cycle de vie ». Le « **cycle de vie** » d'un produit ou d'un service sert à rendre compte de toutes les activités qui entrent en jeu dans sa fabrication, son transport, son utilisation, sa maintenance et son élimination finale. Plusieurs outils permettent d'améliorer le cycle de vie des biens ou services produits : l'écoconception, les possibilités de réparation, les boucles de réemploi, reconditionnement, remanufacturing (qui interviennent avant le recyclage et l'élimination). Une production qui inclue le cycle de vie se veut donc transversale et prend en compte la durée de vie entière des produits ou services des bâtiments.

2.A. L'écoconception des PACs

La prise en compte du cycle de vie des PACs peut se faire dès la conception des équipements. Dans cette perspective, l'écoconception est un outil intéressant

: cette méthode vise à **intégrer des enjeux environnementaux dès la conception** d'un produit ou service et d'anticiper ses impacts tout au long de sa durée de vie.

Plusieurs initiatives sont déjà mises en place par les acteurs de

la filière PAC pour intégrer le cycle de vie des produits lors de l'écoconception. Deux réglementations européennes viennent, de plus, encadrer leurs actions et fixent des objectifs.

Les acteurs de la filière concentrent donc leurs efforts à répondre à l'objectif d'efficacité énergétique fixé par ces réglementations. L'efficacité matières, relativement mise de côté, doit faire l'objet d'une pareille prise en compte par les acteurs de la filière, afin d'inscrire pleinement l'équipement PAC dans les principes d'économie circulaire.

a. État des lieux : les efforts portés sur les enjeux énergie-climat

La conception des PACs est encadrée par deux réglementations européennes, retraduites en droit français. La première fixe des objectifs d'efficacité énergétique et la seconde limite l'usage des fluides frigorigènes. L'efficacité énergétique est un outil qui vise à réduire la consommation d'énergie primaire et à limiter les importations énergétiques, ce qui contribue ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre²⁰. Des contradictions peuvent émerger du fait de ces deux réglementations car les gaz dont l'usage est encore le plus répandu (car ils permettaient d'atteindre un bon niveau d'efficacité) sont ceux dont l'usage tend à être restreint (voire interdit) par la seconde réglementation. Les industriels de la filière doivent donc composer avec ces contraintes réglementaires et investissent dans de la R&D pour

améliorer la performance des PACs.

i. Eco-design

Premièrement, **Ecodesign**, qui « établit un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicable aux produits liés à l'énergie »²¹. Cette réglementation a été instaurée en octobre 2009, par la directive européenne de l'ErP, Energy related Products, 2009/125/CE puis a été transposée en droit français le 28 juin 2011. Il s'agissait, pour chaque stade du cycle de vie, d'évaluer les caractéristiques des produits conçus telles que : « les matériaux et l'énergie consommés, les émissions et les déchets prévus, les possibilités de réemploi, de recyclage et de récupération »²². Les fabricants doivent aussi produire les profils écologiques de leurs produits : il s'agit d'énumérer (en quantités physiques mesurables) les intrants et les extrants associés au produit, tout au long de son cycle de vie. Le cas échéant, les produits sont autorisés à être commercialisés sur le marché européen.

La directive 2012/27/UE a modifié la législation de 2009 pour inclure davantage l'efficacité énergétique.

Ainsi, cette dernière fixe en plus **des niveaux d'efficacité énergétique** pour les équipements thermodynamiques vendus sur le marché européen.

Dès lors, la production des matières premières, la production de l'équipement thermodynamique, son usage et son traitement en fin de vie se voient imposer **des niveaux de rendement énergétique et des limites d'émissions polluantes ou sonores**²³.

Cette réglementation est progressive : elle renforce ses exigences pas à pas et inclut petit à petit de nouveaux équipements. La prochaine étape, prévue tous les 5 ans mais vraisemblablement attendue en **2022**, ajoutera donc des niveaux de performance énergétique à l'ensemble des équipements de chauffage.

A cela s'ajoute **un marquage énergétique** à destination des consommateurs, pour les aiguiller dans leur choix d'équipement. Plusieurs données sont donc inscrites sur les PACs, entre autre, la puissance de l'équipement, sa classe d'efficacité énergétique et son coefficient de performance. La réglementation prévue pour 2022 viendra préciser ces informations.

ii. F-Gas

Un second règlement européen, F-Gas²⁴, est entré en vigueur en janvier 2015 et régle, quant à lui, l'usage **des fluides frigorigènes** et gaz à effet de serre fluorés avec lesquels les PACs peuvent fonctionner.

20. Directive 2012/27/UE du Parlement Européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique

21. Directive 2009/125/EC du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie

22. Ibid

23. Directive 2012/27/UE du Parlement Européen et du Conseil

24. Règlement (UE) n°15/2014 sur F-Gas

Ce règlement européen est une retraduction de l'amendement de Kigali au protocole international de Montréal, qui instaurait la réduction volontaire du recours aux fluides frigorigènes en 1987. En France, ce règlement a été transposé par les articles du code de l'environnement R-543-75 à R-543-123.

Les hydrofluorocarbures (HFC) sont des produits de substitution pour remplacer des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SACO), comme les CFC (chlorofluorocarbures) et HCFC (hydrochlorofluorocarbures), deux familles de fluides frigorigènes qui ont été bannies avec le protocole

de Montréal²⁵. Les HFC ne sont pas des SACO mais sont des gaz à effet de serre, dont le pouvoir de réchauffement global n'est pas sans impact.

Ainsi, tous les fluides HFC ont été classifiés selon leur Potentiel de Réchauffement Global (PRG) ou GWP (Global Warming Potential) : un PRG de 1 430 par exemple, indique qu'une molécule contribue 1 430 plus au réchauffement de l'atmosphère que le CO₂. L'objectif est de réduire la part de marché des fluides HFC à fort GWP et pour ce faire, quatre vagues d'interdictions sont prévues jusqu'en 2050. Pour les PACs, l'interdiction des fluides frigorigènes au GWP supérieur

ou égal à 750 est prévue pour 2025²⁶. En parallèle, est instauré un mécanisme de suramortissement de 30% pour ceux qui investiraient à partir du 1er janvier 2018 et jusqu'au 31 décembre 2021, dans des équipements utilisant des fluides autres que les HFC visés. Une taxe similaire a été mise en place au Danemark depuis 2000, ce qui a eu pour effet de diminuer par trois la quantité de HFC mis sur le marché. Dans le même temps, les quantités de HFC mises sur le marché en France ont été multipliées par deux. La filière travaille donc à réduire l'impact carbone de ses équipements, en utilisant des fluides frigorigènes décarbonnés.

Quelles options de substitution pour les HFC ?

Les pouvoirs publics envisagent la substitution totale des HFC par des gaz comme le **dioxyde de carbone CO₂** et le **propane**²⁷.

Le remplacement des HFC par le CO₂ est une opération complexe selon certains acteurs de la filière PAC. S'il est possible de l'utiliser dans les équipements de réfrigération, la duplication de son usage aux PACs ne peut se faire sans difficultés technologiques et surtout, sans risquer de manquer les objectifs d'efficacité énergétiques importants exigés sur Ecodesign. Cependant, certains industriels, comme Boostheat, ont développé des technologies pour que les PACs produites puissent fonctionner avec du CO₂. Cela reste donc envisageable, bien que complexe. En ce qui concerne le propane, cet usage est également problématique. Le propane est difficilement confinable et est donc peu sécuritaire. Le volume nécessaire au bon fonctionnement d'une PAC est aussi non-négligeable²⁸.

Un projet de taxe française sur les HFC²⁹?

Un projet de création de taxe pour 2021 sur les HFC a été adopté par la loi de finance 2019 en France. Toutefois, les industriels de la filière PAC expriment des réticences pour deux raisons. Taxer fortement les fluides frigorigènes viendra augmenter « brutalement » le coût des PACs. Le risque est de voir les usagers se diriger vers des solutions de chauffage classiques (utilisant des énergies fossiles), car moins onéreuses³⁰. En effet, les industriels craignent que cette taxe n'induisse une augmentation de 5 à 20% du coût d'une PAC, se répercutant sur le prix de l'équipement pour les usagers³¹.

Le second point de tension est lié au fait que cette taxe s'appliquerait dans un marché européen et risquerait de pénaliser l'industrie française. Après des négociations avec le gouvernement, la filière s'est donc engagée à proposer des démarches volontaires pour aller plus vite que le règlement européen F-Gaz. Si cet engagement est tenu, le gouvernement supprimera la taxe prévue.

La filière a donc pleinement conscience des enjeux et travaille à les intégrer en amont de l'application officielle des réglementations.

iii. Deux réglementations sources de tension

Une **tension** résulte de ces deux réglementations. En effet, les gaz les plus émetteurs et polluants sont généralement ceux qui s'avèrent être les plus efficaces. Dans un objectif de réduction des émissions, F-Gaz restreint peu à peu leur usage. Les industriels doivent donc composer avec les contraintes réglementaires pour proposer des équipements performants. Ces derniers doivent respecter la réglementation Ecodesign, tout en se passant de fluides fortement émetteurs d'effet de serre. Il s'agit donc pour les industriels de proposer des solutions innovantes qui permettent de concilier les différentes variables en jeu : un besoin de solidité des équipements, un usage de fluides à faible effet de serre et une exigence de performance énergétique.

De ce fait, certains acteurs alertent sur le besoin d'une mise en place **progressive** des réglementations restreignant l'usage des fluides historiquement utilisés. Il semble aussi nécessaire d'autoriser **des dérogations**, pour permettre de réparer les équipements qui utiliseraient des gaz frigorigènes anciens. Cela éviterait la destruction et le remplacement d'équipements entiers, lorsqu'ils sont encore opérationnels.

A ce stade, **l'enjeu d'efficacité matières** est relativement peu pris en compte du fait de l'importance de cet enjeu d'efficacité énergétique et des contradictions qui peuvent naître entre Ecodesign et F-Gas. Or, cet aspect doit être intégré conjointement aux performances énergétiques lors de la conception des PACs, dans un objectif d'économie circulaire. Un travail sur l'efficacité matière des PACs permettra aux équipements d'allonger leur durée de

vie et de devenir des équipements durables, pleinement inscrits dans les principes d'économie circulaire.

b. L'écoconception au service de l'efficacité matières

L'efficacité matières, comprise dans le concept d'efficacité des ressources, vise à créer plus de valeur avec un usage plus sobre des ressources. Un objectif d'efficacité matières comprend, entre autres, l'économie de ressources vierges, la valorisation de matières recyclées ou biosourcées et d'allongement de la durée de vie des biens et services produits.

Même si l'efficacité matières n'est que relativement prise en compte par les acteurs de la filière PAC, des bonnes actions sont tout de même mises en place. La filière peut réaliser des progrès et renforcer ces premières réalisations, dès l'écoconception des PACs, afin d'en améliorer la durée de vie.

25. WEISS B., « La grande glaciation des HFC », Alternatives économiques Environnement +, publié le 25/04/2018

26. Figure 3 du Rapport annuel de l'observatoire des gaz fluorés, ADEME, 2017, p. 12

27. Entretien L.-M. DENOYEL, DGEC

28. Entretien F. DEROCHE, Daikin

29. Entretien V. LAPLAGNE, Vice-présidente, UniClima

30. Entretien E. BATAILLE, Directeur des affaires publiques, Groupe ATLANTIC

31. La pompe à chaleur, une réponse au défi CO₂, AFPAC, Octobre 2017

i. Les bonnes actions de la filière

Les industriels de la filière manifestent une volonté d'intégrer des matières recyclées, dans le but d'économiser des matières non-re-

nouvelables et/ou en voie de raréfaction. Ce processus permet d'éviter toute dépendance envers des ressources épuisables. Par la même, cela permet de valoriser des matières premières secon-

dares et d'éviter toute extraction de ressources nouvelles, dans un objectif **d'approvisionnement durable** (premier pilier de l'économie circulaire).

Le besoin de métaux rares pour construire des PACs

Le choix des matériaux et des matières premières pour construire les PACs est contraint par leur disponibilité et leur rareté. Les industriels, avant de concevoir les produits, doivent s'interroger sur la disponibilité des matériaux. En effet, les réglementations et les règles **de marketing** ne sont pas leurs uniques contraintes : leurs décisions sont aussi fonctions de problématiques environnementales, qu'ils doivent prendre en compte.

À cela, s'ajoute le fait que les industriels doivent concevoir des appareils robustes, afin de prévenir les fuites de fluides frigorigènes et les pannes. Pour ce

faire, ils tâchent de produire des composants de plus en plus fiables, notamment les condenseurs, les compresseurs et les échangeurs. Il s'agit aussi par la même de faciliter

les opérations de maintenance in situ, en concevant des équipements facilement réparables, avec des composants accessibles pour les opérationnels de terrain.

Atlantic a conçu un échangeur particulièrement robuste. Celui-ci résiste aux problèmes d'embouage ou de salissure des circuits des chauffages centraux. Pour Atlantic, de manière générale, **la course à l'efficacité peut se révéler contreproductive si la solidité et la robustesse des produits sont laissées de côté**³². La solidité des équipements est donc essentielle.

Enfin, la filière réalise **des fiches PEP** (Profils Environnementaux Produits) depuis 2016, dont le but est d'analyser l'impact environnemental de la PAC sur l'ensemble de son cycle de vie. Ces fiches PEP se basent sur 27 indicateurs. C'est une démarche qui s'inspire des analyses de cycle de vie (ACV) et qui s'inscrit dans le cadre de l'expérimentation **du Label E+C- pour les bâtiments neufs**³³.

Les données sont principalement axées sur les performances énergétiques et l'impact carbone des PACs, dans le but de réaliser des

ACV global à l'échelle du bâtiment. Certaines de ces fiches PEP sont réalisées collectivement par les acteurs de la filière au sein du syndicat UniClima. La dynamique s'accélère depuis 2018. Pour ces réalisations collectives, les acteurs décident d'un produit moyen et caractérisent l'équipement.

Les impacts environnementaux sont aussi calculés, à différentes étapes du cycle de vie du produit : **distribution, installation, utilisation et fin de vie**. Différents indicateurs sont utilisés : « contribution à l'acidification des sols et des eaux », « contribution à l'eutrophication de l'eau », « contribution à la formation d'ozone photochimique » etc. sont, entre autres, des indicateurs obligatoires dans l'étude d'un ACV. D'autres **indicateurs facultatifs** sont étudiés par les acteurs de la filière : « contribution à la pollution de l'eau », « contribution à la pollution de l'air », « utilisation de matières secondaires ».

Cet outil peut être mis au service de la recherche de performance environnementale globale des PACs, au renforcement de son efficacité matière. De plus, il peut permettre de différencier les produits les plus performants dans le marché des équipements thermiques.

ii. Les freins

Pour certains acteurs de la filière, les enjeux d'efficacité matières et d'économie circulaire restent encore trop « théoriques »³⁴. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet état de fait, notamment l'absence de réglementation et d'incitation liées à ces enjeux. Cela concourt au fait que l'efficacité matières n'est pas considérée comme un objectif majeur, au même titre que l'efficacité énergétique.

- L'absence d'incitation fiscale.

L'incitation fiscale peut jouer un rôle pour aider les acteurs à prendre en compte cette problématique car elle vient améliorer la rentabilité relative de processus industriels sobres et qui optimisent l'efficacité matières des équipements produits. Deux types d'incitations fiscales pourraient encourager les acteurs de la filière à rééquilibrer leurs efforts : une subvention (fiscalité positive) et/ou une taxe (fiscalité négative).

- L'efficacité matière peut aller à l'encontre des objectifs d'efficacité énergétique.

Les objectifs réglementaires d'efficacité énergétique imposent aux industriels de concevoir des appareils plus légers. Or, il est nécessaire que les PACs soient robustes pour prévenir les pannes et les fluides. L'exigence de robustesse de l'équipement peut rentrer en contradiction avec les objectifs de performances énergétiques.

- La quantification des

coûts et des économies réalisées avec prise en compte de l'efficacité matières est complexe.

Si l'efficacité matières tend à une moindre consommation de matières premières, les acteurs de la filière peuvent craindre qu'elle soit contrebalancée par des coûts d'organisation ou de formation.

- Le manque de sensibilisation des firmes à ces enjeux et le déficit d'informations et d'outils pratiques à mettre en place.

iii. Le besoin de rééquilibrer les efforts

Il est nécessaire que la filière opère **un rééquilibrage des efforts** portés entre efficacité matière et énergétique, afin d'améliorer la durée de vie des équipements et de s'inscrire pleinement dans les principes d'économie circulaire. Il est important de souligner que des matériels robustes et démontables ont un bilan environnemental global positif sur l'ensemble du cycle de vie même s'ils peuvent paraître moins performants à court terme d'un point de vue énergétique. Il est donc nécessaire de travailler à l'efficacité matières des équipements. Les objectifs d'efficacité énergétique ne doivent pas aller sans une vision de long terme.

Pour opérer ce rééquilibrage, les acteurs de la filière appellent à **une mise en place progressive des réglementations**. A l'heure actuelle, les évolutions réglementaires sont rapides et peuvent sembler contraignantes pour les acteurs de la filière. Il est important d'y répondre rapidement et c'est pourquoi les efforts

se concentrent majoritairement sur la réduction d'usages de fluides polluants et la recherche d'une meilleure efficacité énergétique, au détriment de l'aspect matière.

Le rééquilibrage des efforts pourrait être encouragé par **l'évolution de la directive européenne Ecodesign**.

En effet, la commission européenne chargée de réviser Ecodesign a indiqué travailler sur le sujet d'économie circulaire³⁵ et étudier la faisabilité d'instaurer des obligations à respecter en termes d'écoconception³⁶. La commission explore pour le moment les possibilités d'intégrer des matériaux recyclés, instaurer une durée de vie minimum (pour les composants ou les produits eux-mêmes) etc³⁷.

Enfin, les éco-modulations sont autant d'outils incitatifs pour prendre en compte l'efficacité matière.

Les efforts portés en vue d'une amélioration de l'efficacité matière des PACs permettent d'allonger la durée de vie de l'équipement, ce qui s'accorde avec les principes d'économie circulaire : l'approvisionnement durable (1er pilier), l'écoconception (2ème pilier) et l'allongement de la durée d'usage (6ème pilier).

Dans cette même perspective d'allongement de la durée de vie du produit et d'amélioration globale de la performance environnementale des PACs, l'écoconception peut aussi faciliter la réparabilité, la déconstructibilité et le démontage.

32. Entretien Eric Bataille, Groupe Atlantic

33. Ce label est une expérimentation qui servira à l'établissement de la prochaine réglementation thermique

34. Entretien T. NILLE, De Dietrich

35. Commission européenne, Communiqué: Ecodesign Working Plan 2016-2019, « Contribution to the circular economy », novembre 2016, p. 8

36. Ibid., traduction : « La possibilité de réparer, remanufacturer, recycler un produit et ses composants dépend d'un travail initial de conception. Il est crucial que ces aspects soient pris en compte, pendant qu'Ecodesign met en place des mesures. », p. 8

37. Ibid., p.9

Quatre boucles d'économie circulaire doivent donc faire l'objet d'une prise en compte par les acteurs de la filière : la réparabilité, le réemploi, le reconditionnement et le remanufacturing. En

2.B. Réparabilité, réemploi, reconditionnement et remanufacturing : des pratiques existantes à consolider et à développer

Les boucles de réparabilité, de réemploi, de reconditionnement et de remanufacturing participent d'une amélioration de la durée de

les développant, la durée de vie des PACs s'allonge et l'efficacité matière s'améliore. Cela permet aussi d'anticiper la prochaine révision de la directive Ecodesign, qui peut potentiellement inclure

vie des PACs et s'inscrivent dans une démarche d'économie circulaire. En réalisant un état des lieux des différentes pratiques de la filière, nous identifierons les freins et les leviers au développement de ces boucles. Des bonnes pratiques à l'œuvre dans d'autres secteurs pourront servir de modèles pour la filière PAC, afin que celle-ci devienne aussi exemplaire en la matière.

de nouvelles exigences au regard de l'efficacité matière, comme présenté plus haut. Nous donnerons des définitions et des exemples concrets de ces quatre boucles.

a. Entretien, réparation sur site et réemploi

i. Etat des lieux

La réparation in situ est déjà bien pratiquée par la filière. La maintenance et la réparation sont impératives pour assurer une longévité à l'équipement et maintenir ses bonnes performances. Les acteurs de la filière veillent donc à assurer ces services.

RGE

La mention RGE, Reconnu Garant de l'Environnement, est un moyen d'identifier un professionnel compétent pour des travaux de rénovation énergétique et porteur des aides de l'Etat. Les aides sont soumises à **l'éco-conditionnalité** : c'est le principe qui permet à l'Etat de délivrer ces aides financières publiques ou des déductions fiscales si les travaux de rénovation énergétique sont bien réalisés par des installateurs agréés. Il s'agit, par exemple, de l'éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ) ou du crédit d'impôt pour la transition énergétique (Cite).

Avec l'évolution de la réglementation sur les fluides, les pratiques doivent aussi évoluer et les formations des professionnels **se mettent à jour régulièrement**. Grâce au SYNASAV (Syndicat

national de la maintenance et des services en efficacité énergétique), les professionnels de maintenance bénéficient d'une organisation professionnelle qui les réunit, depuis 1966, et encouragent leur

formation et leur qualification.

Dans une perspective d'économie circulaire, une autre pratique pourrait venir compléter la réparation : le réemploi.

Le réemploi : la réparation ex-situ, un autre débouché pour allonger la durée de vie des PACs

Le réemploi consiste en « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. »³⁸

Selon l'ADEME « Le réemploi est l'opération par laquelle un produit est donné ou vendu par son propriétaire initial à un tiers qui, a priori lui donnera une seconde vie. Le produit garde son statut de produit et ne devient à aucun moment un déchet. Il s'agit d'une composante de la prévention des déchets. ».

Le réemploi est possible mais plusieurs contraintes viennent freiner son développement. Il est nécessaire de pouvoir démonter la machine et la remonter dans un autre lieu, en assurant son bon fonctionnement. Cela suppose une vérification de ses performances techniques, un second dimensionnement etc. Le fait de démonter une machine pour la réinstaller possiblement dans un autre endroit génère un coût et des contrôles de bon fonctionnement, ainsi que des besoins en main d'œuvre plus conséquents (qui représentent d'autres coûts, qui ne sont forcément standardisés au départ). Il faut donc **les prendre en compte en amont**³⁹.

Malgré quelques freins, les pratiques de réparation et de réemploi sont **intéressantes**, au regard des gains environnementaux et économiques permis, si l'on compare avec un remplacement complet d'équipement. Selon **une étude conduite par l'Agence Qualité Construction (AQC)**⁴⁰ réalisée sur trois types de pannes, il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont les mêmes entre équipement réparé et équipement de remplacement. D'un point de vue environnemental, il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre équipement réparé et équipement

neuf. Il est toujours préférable de réparer plutôt que de remplacer si la diminution de consommation totale (due à un remplacement) est inférieure à 3.1%.

D'un point de vue économique, la réparation est toujours moins chère que le remplacement et davantage intensive en main-d'œuvre.

Il moins cher de remplacer une PAC air-air > 12 kW si la diminution de consommation d'énergie totale est d'au moins 23%, ce qui est rarement le cas.

De plus, la réparation permet d'atténuer l'impact négatif lié au temps d'attente d'un remplacement, si les pièces détachées sont disponibles rapidement.

Un futur indice de réparabilité ?

Dans la feuille de route économie circulaire (FREC) publiée par le gouvernement le 23 avril 2018, la mesure 10 vise à instaurer un indice de réparabilité des **EEE** (équipements électriques et électroniques). Selon cette mesure, les producteurs d'équipements électriques et électroniques devront afficher de manière obligatoire, à partir du 1er janvier 2020, une information simple sur la réparabilité de leur équipement. L'indice de réparabilité s'inspire de de l'étiquette énergie et prendra la forme d'une note comprise entre 1 et 10. Cette information se base sur un référentiel développé par l'Ademe, en concertation avec les parties prenantes (dont des distributeurs, comme le Groupe Fnac-Darty, des spécialistes de la réparation et des associations, comme HOP -Halte à l'Obsolescence Programmée). Parmi les critères qui pourraient être retenus, on relève la disponibilité des pièces détachées, les délais d'une réparation etc. Un groupe de travail, animé par le ministère et l'ADEME, s'est donc penché sur le contour et le mode de calcul de cet indice. Les conclusions devraient bientôt être publiées (source : communication du MTES du 23 avril 2019⁴¹).

ii. Limites

La mise à disposition des pièces détachées est essentielle pour permettre une bonne réparabilité. Or celle-ci n'est pas toujours effective.

39. Entretien J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

40. AQC, Rapport réparabilité des équipements thermiques, publication à venir

41. « Un an de travail, une feuille de route qui avance », https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/sites/default/files/bilanpersFREC_web.pdf

38. Article L541-1-1 du Code de l'environnement

La mise à disposition des pièces détachées contrainte par la directive Ecodesign

La réglementation européenne sur l'Ecodesign est contraignante dans la mesure où elle impose des performances minimums **aux composants** des PACs, en plus de l'équipement entier - par exemple les pompes de circulation.

Si ces pièces détachées n'atteignent pas les performances requises, alors elles ne sont plus commercialisées. Si une PAC tombe en panne et nécessite le remplacement d'une pompe de circulation qui n'est plus commercialisée, la PAC sera donc entièrement remplacée alors qu'elle aurait pu être réparée. La Commission Européenne a autorisé des dérogations sur demande des industriels ; mais la filière continue de plaider pour que les composants utilisés ne soient plus réglementés par la directive Ecodesign puisque les produits finis, eux, le sont⁴².

La réglementation sur les fluides frigorigènes constitue elle-aussi un frein. En effet, la taxe sur les fluides frigorigènes pose la question de la capacité à assurer la réparabilité de PACs comprenant des gaz frigorigènes « anciens ». Le risque serait que des PAC potentiellement réparables soient jetées, faute de pouvoir trouver du gaz à des conditions économiques et législatives favorables.

La taxe HFC et le potentiel de réparabilité des PACs

Pour exemple, le prix du gaz R410A ayant augmenté, les réparateurs peuvent inciter au remplacement (et à l'achat d'une machine dont les fluides seraient **moins soumis aux aléas de prix**) plutôt qu'à la réparation.⁴³

iii. Leviers

Tout d'abord, des cycles de formation ont été modifiés pour répondre à ce marché en progression : des compétences électriques, d'automatisme, sur les hydrauliques et sur les fluides frigorigènes sont nécessaires⁴⁴ et sont donc enseignées aux futurs installateurs. Mais cette dynamique doit être boostée selon les acteurs de la filière car, au même titre que la maintenance, l'installation des PACs est une étape essentielle pour assurer son fonctionnement et allonger sa durée de vie. Son bon dimensionnement est notamment

un point d'attention particulier car il conditionne ses performances.⁴⁵

Un autre levier consiste en **l'amélioration de la qualité des composants** les plus souvent défectueux. Le remplacement d'un compresseur est une grosse opération pour le chauffagiste car cela suppose plusieurs sous-opérations (dont le besoin de vider le circuit frigorifique de son fluide, de couper les tubes au niveau du compresseur, de le remplacer, de ressouder et de recharger en fluide le circuit frigorifique). Un retour vers les industriels peut donc être

envisagé pour retravailler certains éléments de la pompe à chaleur. En ce cas, une reverse logistique (un retour des appareils vers le site industriel) doit être mise en place.

Pour prévenir cette boucle inverse et les coûts qu'elle peut impliquer, il est important d'améliorer la qualité de base des éléments de la PAC (afin de prévenir toute faille). Il est aussi possible de concevoir des machines dont les éléments essentiels seraient démontables et permettraient des interventions très en aval de la chaîne, sans mettre en péril les conditions d'étanchéité du circuit frigorifique.

La progression sur la qualité des équipements doit donc poursuivre sa dynamique positive. Certains techniciens de terrain signalent un défaut d'information sur certains composants, ce qui rend difficile le démontage.

Il est aussi important de permettre aux personnels de maintenance une marge de manœuvre importante pour conduire des opérations in situ. Le démontage in situ est important. La carte électronique, par exemple, est une pièce qu'il est facile de changer car facilement accessible. Les professionnels de maintenance rencontrent donc moins de difficultés à les remplacer. Tout en respectant les besoins de robustesse de l'équipement, la PAC pourrait être élaborée de telle sorte à faciliter les opérations de maintenance sur ses composants défectueux.

L'incitation à la maintenance des équipements est donc essentielle.

La mise en place de contrôles obligatoires est, dans cette perspective, intéressante. Aujourd'hui, 30% des PACs sur le total du parc bénéficient d'un entretien⁴⁶. En comparaison, les propriétaires des chaudières ont l'obligation de faire mener un entretien annuel sur l'équipement, dont le but est d'en vérifier les émissions. Pour les PACs, seuls des contrôles d'étanchéité des circuits frigorifiques⁴⁷

(pour prévenir les fuites) ont été mis en place et ils ne concernent que certains équipements : ceux dotés d'une certaine quantité de fluide HFC (**plus de 2 kg environ pour du R410-A**). Un autre dispositif d'inspection a été instauré mais celui-ci ne concerne que les PACs réversibles, dont la production d'énergie est **supérieure à 12 kWh⁴⁸**. Il doit se faire tous les cinq ans⁴⁹. A noter qu'en 2018, seulement 11% de la totalité des PACs aérothermiques vendues (591 700 équipements) disposaient d'une puissance supérieure à 10 kW⁵⁰.

L'inspection ne concernera donc qu'un dixième de la totalité des PACs aérothermiques vendues en 2018. 49% des PACs géothermiques vendues en 2018 ont une puissance supérieure à 10 kW⁵¹ mais seulement 3 080 équipements de ce type se sont vendus cette année.

Un des enjeux actuellement en discussion par les acteurs de la filière et les pouvoirs publics concerne la mise en place d'un dispositif d'entretien régulier. Sa fréquence est encore à déterminer. A nouveau, la question de la formation des professionnels de la filière se pose puisqu'il faudra s'assurer de la présence de techniciens de maintenance suffisamment nombreux pour réaliser les

entretiens sur tout le parc des PACs.

b. Reconditionnement et remanufacturing

Suite aux opérations de maintenance et de réparation in situ, d'autres opérations existent pour permettre un allongement maximal de la durée de vie de la PAC, avant d'envisager son élimination : le reconditionnement et le remanufacturing. Ces deux opérations ont l'avantage de limiter l'extraction de ressources vierges et participent d'un renouvellement des composants. Ce sont deux boucles qui font partie intégrante de l'économie circulaire.

Le reconditionnement consiste en la remise à neuf d'appareils en fin de vie pour les remettre en circulation. **Le remanufacturing**, quant à lui, consiste en la réutilisation de certains composants issus d'appareils endommagés ou en fin de vie dans l'objectif de les réincorporer dans des produits neufs. Les activités de reconditionnement et remanufacturing nécessitent donc de mettre en œuvre **une reverse logistique**. Il faut récupérer des équipements installés sur sites puis les transporter jusqu'à des plateformes de stockage (plateformes industrielles ou de distribution).

42. Entretien E. BATAILLE, Groupe Atlantic

43. Entretien E. BATAILLE, Groupe Atlantic

44. Entretien J.-F. CERISE, FFB

45. "Les performances d'une PAC sont très dépendantes de la qualité d'installation et d'exploitation", ADEME, Fiche technique, Les pompes à chaleur électriques pour l'habitat individuel, juin 2012, p. 2

46. Entretien V. LAPLAGNE, UniClima

47. Arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques climatiques

48. Entretien L.-M. DENOYEL, Chargé de mission chaleur renouvelable, DGEC

49. Selon le décret n°2010-349 du 31 mars 2010 relatif à l'inspection périodique des systèmes de climatisation et des PACs réversibles dont la puissance frigorifique est supérieure à 12 kW

50. Observ'ER, Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles, 2019, p. 22

51. Ibid., p. 15

Ensuite, il s'agit de les remettre à neuf ou de trier les composants pour faire des pièces détachées voire réinjecter certaines pièces sur des machines neuves. Cette dynamique innovante entre en complémentarité des business model classiques et crée des activités supplémentaires aux acteurs de la filière. Malgré les bénéfices économiques et environnementaux qu'elles peuvent engendrer, ces pratiques sont **encore peu développées** dans la filière PAC. De plus, les « cibles » d'un tel marché sont encore à définir (associations des mal-logés, social, particuliers etc.). L'absence de pratiques de reconditionnement et de remanufacturing des pompes à chaleur peut s'expliquer

pour plusieurs raisons. Toutefois, des leviers existent pour le rendre possible et ainsi allonger le cycle de vie des pompes à chaleur.

i. Etat des lieux

Le modèle économique de la filière PAC en France ne permet pas de réaliser ces activités. **Les économies d'échelle** ne sont pas suffisantes pour assurer une rentabilité à ces boucles de reverse logistique. Les économies d'échelle correspondent à la diminution du coût unitaire de production, résultante de l'accroissement des quantités produites. La production de grande série permet de réduire le coût moyen de production car les coûts fixes,

liés aux bâtiments, aux machines etc. permettant la production, n'augmentent pas. Pour réaliser des économies d'échelle, la filière PAC doit se développer et gagner des parts de marché. Pour le moment, la taille du parc existant n'est pas propice à l'établissement de boucles de reconditionnement et de remanufacturing⁵².

De plus, le reconditionnement et le remanufacturing ne sont **pas encore développés** car l'offre de PACs qui en résulterait ne serait pas nécessairement attractive pour les clients. Sans économies d'échelle, les prix des PACs reconditionnées ou remanufacturées ne seraient pas forcément inférieurs aux prix des équipements neufs.

Pas de reverse logistique dans la filière PAC

Aujourd'hui, la démarche de la filière PAC est linéaire : les plateformes de distribution reçoivent les équipements des industriels et les distribuent/les mettent à disposition pour les professionnels. Seuls les retours réglementés par les procédures de garantie peuvent revenir dans la plateforme et les équipements sont alors réacheminés vers le fabricant. Cette procédure est plus ou moins rémunérée et reste marginale⁵³.

Focus reconditionnement : l'exemple de l'entreprise Remade Group

Remade achète, déconstruit, reconstruit et distribue des équipements reconditionnés partout dans le monde. L'objectif est de prolonger la durée de vie des produits électroniques grand public (téléphones portables, tablettes). Remade reconstruit plus de 500 000 produits par an.

Plus précisément, Remade se charge de remplacer et de certifier plusieurs pièces de ces produits : la batterie, l'écran (la couche LCD), la carte-mère. Plusieurs tests sont effectués sur ces pièces, par des laboratoires indépendants, afin de prévenir toute panne. Le produit est aussi retravaillé esthétiquement.

Les actions de l'entreprise Remade Group s'inscrivent dans les principes d'économie circulaire : une économie de ressources vierges, une réutilisation des pièces des équipements en fin de vie pour allonger leur durée de vie, la recherche d'un bien-être optimal pour l'utilisateur.

Focus remanufacturing : l'exemple de Renault⁵⁴

Le constructeur d'automobiles remet à neuf les pièces usagées de véhicules Renault, notamment les moteurs et les boîtes de vitesses. Depuis 1949, sur le site de Choisy-le-Roi (en région Île-de-France), les pièces remanufacturées par Renault sont destinées à la réparation des véhicules en cours d'usage : on parle d'« échange standard » ou « E/S ». Un des avantages à faire réparer sa voiture avec une pièce E/S est d'économiser jusqu'à 50% du coût de la réparation classique (avec des pièces neuves). Les garanties pour les pièces E/S sont les mêmes que celles appliquées aux pièces neuves. L'opération de remanufacturing est aussi moins coûteuse en matières premières et en consommation d'énergie que la production d'une pièce neuve.

Le remanufacturing permet, de plus, d'éviter de déclarer des véhicules « économiquement irréparables » : c'est le cas lorsque le montant des réparations nécessaires excède la valeur première du véhicule.

ii. Les limites

La limite première qui empêche l'établissement de boucles de reconditionnement et remanufacturing est liée à **l'absence d'économies d'échelle suffisantes** pour mettre en place ces activités et à la taille du parc existant. Les PACs ne sont pas encore assez implantées dans le secteur des équipements thermiques pour envisager la construction de nouvelles machines avec des composants de PACs anciennes par exemple. Toutefois, avec le potentiel de développement de la filière (voir partie II), une attention particulière doit être portée sur ces pratiques, qui participent à l'ancrage de la filière PAC dans les principes d'économie circulaire.

Un second point de blocage important réside dans **le renouvellement rapide des deux réglementations Ecodesign et F-Gaz**.

Il existe une tension entre la recherche d'allongement de la durée de vie des PACs et les évolu-

tions réglementaires et techniques.

Premièrement, parce que la directive **Ecodesign** impose des niveaux d'efficacité énergétique à l'équipement entier mais aussi à ses composants.

La durée de vie d'une PAC (entre 15 et 20 ans) est plus longue que ne s'opère le renouvellement des réglementations et des techniques disponibles, qui vont en s'améliorant. Les équipements et les composants deviennent donc rapidement « désuets ». Or, dans une perspective d'économie circulaire, l'élimination d'équipements est à éviter. Il s'agit donc pour les réglementations d'accorder une certaine souplesse quant à l'usage des fluides, pour pouvoir faire durer au maximum les PACs. Lorsqu'une PAC est en fin de vie, il ne fait plus sens de réutiliser ses pièces pour des PAC neuves : ces dernières sont obsolètes et inutiles pour la nouvelle version de la PAC.

Deuxièmement, les fluides majoritairement utilisés aujourd'hui

seront rapidement interdits par **F-Gaz**. A noter qu'à partir de 2025, les fluides au GWP supérieur à 750 seront interdits. Or, ce sont majoritairement ces gaz qui servent aux PACs. Ces dernières sont conçues pour fonctionner avec un type particulier de gaz et ne seront donc plus fonctionnelles pour un usage avec d'autres HFC. Concernant les nouveaux fluides, ces derniers ont un pouvoir de réchauffement faible (notamment le butane).

Leurs caractéristiques nécessitent **une adaptation des compétences des techniciens** (voire la création de nouvelles formations), pour pouvoir les manipuler en toute sécurité⁵⁵.

Un autre point de blocage concerne la garantie de tels équipements, notamment les PACs reconditionnées. Pour être **garantie**, la PAC doit être **certifiée**. Cela implique que ses performances soient à nouveau vérifiées sur les bancs d'essais, que possèdent les industriels.

52. « Le parc est trop récent pour songer à du démantèlement », entretien V. LAPLAGNE

53. Entretien J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

54. LE MOIGNE R. L'économie circulaire, Stratégie pour un monde durable, Editions Dunod, 2018, p. 120

55. Entretien J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

Il faut donc s'assurer que les coûts liés à un reconditionnement soient inférieurs à ceux liés à la production d'un nouvel équipement pour

les industriels. Utiliser les plateformes des distributeurs pour la logistique inverse est envisagée par certains acteurs mais, à

première vue, cela ne suffira pas à certifier un produit⁵⁶.

La NFPAC ou HP Keymark sont des certifications pour une PAC qui sont délivrées par des organismes certificateurs. Le calcul du COP de la PAC se base sur la norme d'essai 4511-2. Les organismes de certification indépendants sont sollicités par les fabricants. Ils font passer au banc une machine sélectionnée au hasard, dans le cadre d'audits.

Cette certification a un coût qui doit être intégré par les industriels lors de la conception des PACs. Il en va de même pour les opérations de reconditionnement : si l'équipement PAC est reconditionné sur le site industriel ou sur une plateforme de distribution équipée de banc d'essai, quel acteur intégrera le coût de la certification ?

Enfin, un dernier point de blocage concerne **le financement** de la mise en place de boucles de reverse logistique. Ces boucles impliquent différentes activités, dont le coût doit être intégré en amont. Parmi ces dernières : acheminer les appareils endommagés sur un site industriel ou sur une plateforme de distribution, les stocker, trier les composants et les identifier etc. Ces activités nécessitent organisation et mise à disposition d'espaces dédiés sur les différents sites concernés.

De plus, du point de vue d'un potentiel usager, le prix d'une PAC reconditionnée ou remanufacturée doit être inférieur à une PAC neuve pour constituer une offre intéressante économiquement. Sa garantie doit être identique à celle applicable lors de l'achat d'une PAC neuve.

Dans le cas contraire, l'offre ne sera pas intéressante. La fabrication et la mise en place de boucles

de reverse logistiques ne doivent donc pas impliquer des coûts supérieurs à la production de PACs neuves pour les acteurs de la filière (industriels, distributeurs, techniciens), auxquels cas ils se répercuteront sur le prix d'achat final.

iii. Les leviers

Des leviers existent pour lever les freins précédemment identifiés. Tout d'abord, **le déploiement massifié** des PACs attendu permettra de réaliser **les économies d'échelle** nécessaires à la mise en place de boucles de reverse logistique. Dans le même temps, **une éco-modulation des contributions DEEE** pourrait être encouragée comme un levier à l'écoconception.

Une autre solution envisageable dans le but de réduire les coûts pourrait être d'équiper de bancs d'essais **les plateformes logistiques des distributeurs**. Cela

aurait pour avantage de pouvoir tester les machines reconditionnées. Le distributeur est un acteur qui s'intègre naturellement à la boucle de reconditionnement, du fait de ses capacités logistiques et techniques - sans toutefois se substituer à l'industriel et à ses chaînes de production. Il pourrait être en mesure d'assurer des premières opérations de maintien de contrôle sur un circuit de logistique inverse, permettant de renvoyer les équipements vers les usines de production ou de **les remettre en état** pour une deuxième vie⁵⁷.

Des incitations fiscales sont aussi des outils intéressants : une réduction renforcée de la TVA ou l'octroi de crédit d'impôts par exemple, qui s'appliqueraient à l'achat de produits remanufacturés ou reconditionnés. **Les incitations fiscales**, qui prennent la forme d'aides ou de crédit, incitent à un certain type de comportement considéré comme vertueux.

Dans ce cadre, ce type de mesures faciliterait les débouchés des PACs reconditionnées et remanufacturées. La demande de ces équipements augmente car l'offre devient attractive pour les utilisateurs, du fait des économies qu'ils peuvent réaliser (le prix est inférieur au prix d'un équipement neuf). Se faisant, la démarche des industriels est encouragée et ces pratiques de logistique inverse deviennent rentables. Un autre avantage pourrait être **l'octroi de CEE** (certificats d'économie d'énergie).

Enfin, il est possible de faire financer du reconditionnement en amont du recyclage dans le cadre de la filière responsabilité élargie du producteur.

c. Recyclage en fin de vie

La filière de recyclage des pompes à chaleur est bien établie et encadrée, malgré la complexité de

l'équipement. En effet, les PACs contiennent plusieurs éléments qui nécessitent un traitement particulier. Les deux premières étapes du traitement des PACs ont lieu lors de la désinstallation de celles-ci. Au regard des exigences F-Gaz, c'est un installateur agréé qui doit extraire les fluides frigorigènes de l'équipement. Le deuxième contrôle concerne les huiles, qui doivent aussi faire l'objet d'une attention particulière. Lorsque l'équipement est mis au rebut, la problématique de dépollution est donc évacuée.

Les PACs sont traitées avec les appareils de type « gros appareils électro-ménagers », qui peuvent aussi être composés de fluides frigorigènes (gros appareils frigorifiques, réfrigérateurs etc.). Parmi les appareils de ce type, les PACs se distinguent par leur forte valeur matières. En effet, les PACs sont intéressantes car certains de leurs composants peuvent

être valorisés. La présence importante de métaux et de cuivre (notamment dans l'échangeur) et l'absence de caisson d'isolation de l'appareil confèrent à la PAC une valeur ajoutée.

De ce fait, malgré le bon encadrement du recyclage des PACs, une part du gisement de l'équipement peut potentiellement échapper à la filière de recyclage.

Pour rappel, la filière Responsabilité Élargie des Producteurs (REP), qui inclue modalités de collecte et de valorisation, existe en France depuis 1975 et a été introduite par l'article L. 541-10 du code de l'environnement.

Concernant en premier temps les piles, les accumulateurs, les papiers etc., le principe REP s'est par la suite étendu aux équipements électriques et électroniques (EEE). Ainsi, la filière de recyclage des déchets des EEE a été introduite par la directive européenne 2002/96/CE.

Les déchets d'équipements électriques et électroniques

Les DEEE sont issus d'équipements électriques et électroniques (EEE) en fin de vie. Le code de l'environnement définit les équipements électriques et électroniques comme étant des équipements « fonctionnant grâce à des courants électriques ou à des champs électromagnétiques, ainsi que les équipements de production, de transfert et de mesure de ces courants et champs, conçus pour être utilisés à une tension ne dépassant pas 1 000 volts en courant alternatif et 1 500 volts en courant continu »⁵⁸. La filière de collecte et de recyclage des EEE est opérationnelle en France depuis 2005 pour les EEE professionnels et depuis 2006 pour les EEE ménagers.

Dans ce cadre, les producteurs de PACs sont responsables de l'enlèvement et du traitement des DEEE ménagers collectés sélectivement sur le territoire national. Ils peuvent créer des organismes individuels, approuvés par les pouvoirs publics ou adhérer à un éco-organisme. On compte deux principaux éco-organismes dédiés à la filière DEEE généralistes : **Ecologic et ESR**. Pour éviter les potentielles récupérations de PACs par des filières informelles, leur bonne traçabilité est essentielle.

56. Entretien M. LAURENTIN, Conciliateur de Justice

57. Entretien J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

57. Entretien J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

58. Définition issue de la directive européenne 2012/19/UE

Une filière de recyclage dédiée à l'équipement PAC ?

Les circuits de recyclage dans lesquels s'insèrent les PACs sont communs à d'autres équipements (systèmes de climatisation, de chaudières, VMC etc.). La possibilité de créer une filière de recyclage « plus sélective » est envisagée par des acteurs de la filière. Pour le moment, le volume des PACs sur le marché ne semble pas suffisant pour dédier une filière de recyclage à cet équipement. Toutefois, au regard du potentiel de croissance de la filière, cette possibilité pourrait devenir pertinente. Elle aurait pour effet de responsabiliser l'ensemble des acteurs (des prescripteurs aux utilisateurs) afin qu'ils s'attachent à bien passer par la filière de recyclage.

PV Cycle : écoorganisme spécifique aux panneaux photovoltaïques

Pour mettre en place une filière de recyclage dédiée, il est possible de s'inspirer de PV CYCLE (société européenne, avec plusieurs filières nationales) qui est l'organisme en charge du recyclage des panneaux photovoltaïques. Les panneaux défectueux/cassés/en panne sont acheminés par les techniciens vers un conteneur prêté par PV CYCLE. Ce conteneur centralise uniquement des panneaux photovoltaïques pour ensuite les envoyer pour être recyclés à 85% à Marseille. La création d'une telle filière de recyclage peut s'expliquer par l'absence de voie de valorisation classique. Fondé en 2014 par la filière photovoltaïque, l'écoorganisme PV CYCLE a plusieurs missions : sensibiliser, collecter la totalité des panneaux photovoltaïques usagés puis recycler. Il pourrait aussi être intéressant pour les PACs de communiquer davantage sur les bénéfices de la filière de recyclage : la sensibilisation est une mission importante. Cela aurait pour effets positifs la maximisation de la valeur ajoutée de l'équipement et la limitation des impacts environnementaux.

Le mode de fonctionnement des PACs répond aux principes d'économie circulaire. Toutefois, le cycle de vie du produit doit être sujet à une démarche d'amélioration continue. Des efforts sont fournis par les acteurs de la filière pour l'étudier et le prendre en compte lors de l'écoconception mais une marge de manœuvre subsiste, notamment concernant les boucles de reverse logistique. Si la réparation et la maintenance sont des activités déjà bien pratiquées par la filière, le reconditionnement et le remanufacturing ne sont pas encore mis en place. Du fait de l'absence d'économies d'échelles suffisantes et des enjeux réglementaires, avec lesquels la filière doit composer, l'efficacité matière de la PAC n'est pas encore au cœur des priorités de la filière.

Des progrès sont possibles et la filière montre un intérêt certain à ces enjeux en développant des technologies innovantes. Afin de contribuer activement à la transition énergétique des bâtiments, la filière doit faire de la PAC un équipement performant au regard de l'efficacité énergétique et de l'efficacité matière. Pour ce faire, une meilleure intégration des enjeux de l'économie circulaire est nécessaire.

Récapitulatif « La PAC, un équipement au cycle de vie en amélioration constante »

La conception des PACs est encadrée par deux réglementations qui portent respectivement sur les performances énergétiques et l'usage des fluides HFC. Les acteurs de la filière concentrent leurs efforts pour améliorer **l'efficacité énergétique** des équipements, tout en réduisant l'usage des fluides à haut potentiel de réchauffement. Dans une perspective d'économie circulaire, **l'efficacité matières** doit aussi faire l'objet d'un travail équivalent par la filière. Dans le but d'allonger la durée de vie de l'équipement, le développement de boucles d'économie circulaire est essentiel. **Le recyclage** est bien traité, mais les pratiques de **réparabilité, de reconditionnement et de remanufacturing** peuvent être améliorées.



Figure 7. Fonctionnement de PV Cycle France (Source : site internet)

2. Une filière au cœur de la transition de modèle économique

Après avoir étudié l'ancrage de l'équipement au sein des principes d'économie circulaire, cette deuxième partie se focalise sur le potentiel de la filière à contribuer à la transition vers un modèle économique plus circulaire. Pour ce faire, il est essentiel d'établir un état des lieux de la filière et d'observer son potentiel de développement. Il est attendu que la PAC devienne un acteur important de la transition énergétique des bâtiments, compte-tenu de sa participation à l'atteinte des différentes politiques publiques environnementales, comme la SNBC et la PPE. Les efforts dans ce sens doivent être approfondis, afin d'accélérer le passage de la filière vers un modèle d'économie circulaire, tout en assurant le déploiement de l'équipement sur le territoire national. Les boucles de reverse logistique doivent se développer en vue de faire de la filière PAC une industrie pionnière à l'échelle européenne.

1. Potentiel de déploiement de la filière et contribution aux politiques publiques environnementales

La filière PAC, au regard de ses performances énergétiques, doit devenir un acteur central des équipements thermiques des bâtiments. En réalisant un état des lieux de la filière et en étudiant son potentiel de déploiement, il convient de mettre en valeur sa participation aux objectifs des politiques publiques environnementales (SNBC, PPE) et aux objectifs de la loi de transition énergétique pour une croissance verte (LTECV). Le développement de la filière permettra de répondre à plusieurs mesures phares de la LTECV : améliorer les performances énergétiques du parc de bâtiments existant (en les rénovant), améliorer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments neufs, participer au développement des énergies renouvelables et réduire les émissions de CO₂ sur le territoire national.

1.A. Descriptif de la filière

Le premier marché des PACs destinées au résidentiel est apparu au milieu des années 1970⁵⁹ aux Etats-Unis. La France important alors les équipements, principalement des PACs air-air,

puis une filière nationale s'est développée dans les années 1980. Après un premier déploiement, la part de marché des PACs a reculé sur le territoire national, jusqu'aux années 1990. Ceci s'explique par la chute du prix du fioul domestique mais aussi par un manque de préparation de la filière face au succès des années 1980 : absence

de formation des acteurs, absence de structures d'après-vente, dimensionnement des machines etc.

Après avoir travaillé sur ces écueils, la filière progresse et la part de marché augmente à nouveau, pour atteindre un développement très régulier.

59. La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018, p. 29

En 2002, des acteurs principaux (fabricants, installateurs, bureaux d'étude, énergéticiens) se rejoignent pour créer l'AFPAC.

A partir de 2005, le marché de l'existant prit le pas sur le marché de la construction neuve. La

progression a été sans précédent : 17 000 PACs installées en France en 2004 contre 153 000 PACs en 2008. Le marché se ralentit suite à la crise économique mondiale de 2008, du développement des EnR et d'une baisse importante

du prix du fioul (qui n'a pas incité au remplacement des chaudières au fioul).⁶⁰ La chute des ventes annuelles de PACs se poursuit jusqu'en 2013.

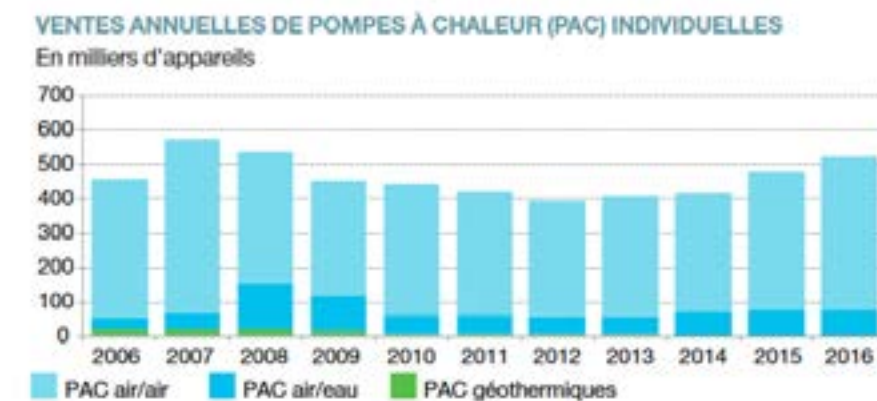


Figure 8. Source : SDES, d'après Clim'Info

Les pompes à chaleur sont aujourd'hui en forte progression, suite à un regain d'attractivité de l'équipement, une revalorisation de ses performances et une amélioration de « la mise en œuvre, de l'entretien et de la maintenance de celles-ci »⁶¹. La réglementation thermique (RT) de 2012 a aussi participé d'un retournement de marché dans le résidentiel⁶².

En 2018, le marché des PACs aéro-

thermiques est en progression de 18% par rapport à 2017⁶³. Cela s'explique en partie par le **développement de la PAC air-air** dans certaines régions pour sa fonction de refroidissement⁶⁴. La PAC air-eau s'est aussi développée, mais à moindre mesure. Pour un total de 591 700 PACs aérothermiques vendues en 2018, on compte 498 120 PACs air-air et 93 580 PACs air-eau. La vente des chauffe-eau thermodynamiques est également en croissance

(+25% par rapport à 2017)⁶⁵.

Les PACs géothermiques, en revanche, sont en décroissance depuis 2008. Cette technologie a quasiment disparu du marché en maison individuelle. Cela s'explique par son coût, qui dissuade les particuliers d'envisager cette solution et par son mode de prescription (qui « se réduit à de la prescription auprès des BET chargés des études thermiques dans le cadre de la RT 2012 »⁶⁶).

60. La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018, p. 30

61. Ibid., p. 30

62. Ibid., p. 19

63. Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles, Observ'ER, 2019, p. 18

64. Ibid., p. 26

65. Ibid., p. 18

66. La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018, p. 35

On compte en 2008, 21 725 pièces vendues contre 3 080 pièces vendues en 2018. Les PACs géothermiques concernent principalement les logements résidentiels.

Les progrès des PACs air-air peuvent s'expliquer par plusieurs

facteurs. Premièrement, par la RT2012 comme indiqué plus haut, car elle oriente le marché vers des PACs de petite taille qui répondent aux objectifs de consommation énergétique exigés dans l'habitat neuf⁶⁷. En effet, les industriels ont développé des appareils de faible puissance, adaptés aux nouvelles

constructions relevant de la RT2012. Ensuite, ces progrès s'expliquent par le besoin grandissant de se rafraîchir l'été⁶⁸. Les températures chaudes participent des bonnes ventes de ces appareils, qui sont réversibles et peuvent produire du froid.

Les chiffres en 2018⁶⁹:

- 97 000 pompes à chaleur air-eau installées dans le résidentiel individuel.
- Plus de 600 000 pompes à chaleur air-air installées, majoritairement en rénovation. Près d'un tiers de ces pompes à chaleur était à destination du tertiaire.
- 104 000 chauffe-eau thermodynamiques (CET) installés, dont 15 000 dans le résidentiel collectif (principalement dans l'habitat neuf).
- Le parc existant en 2018 équivalait à **3,2 millions de PACs**, dont 504 000 CET.

En 2018, le chiffre d'affaires de la filière était **de 3,1 milliards d'euros**⁷⁰. La filière emploie au total 24 000 personnes (pour les activités de fabrication, distribution, installation et maintenance)⁷¹ et constitue en termes d'emploi la 1ère filière EnR. Il y a 7 700 entreprises qualifiées (QualiPAC, QualiFélec, Qualibat) au 31 décembre 2018⁷². Enfin, 12 355 stagiaires ont été formés par la filière en 2017, ce qui témoigne de la prise

en compte par la filière des freins passés (manque de formation des acteurs notamment) qui ont pu ralentir la croissance du secteur des PACs dans les années 1990.

Concernant la répartition selon **les types d'opération**, les installations dans l'existant de PACs géothermiques représentent 76% des opérations totales⁷³. Il y a donc une prépondérance des rénovations pour ce type de PAC. Pour

les PACs aérothermiques (tout type confondu), la répartition se situe aux alentours de 83% pour la rénovation et 17% pour le neuf en 2017⁷⁴ et **74% pour la rénovation et 26% pour le neuf en 2018**⁷⁵. Il y a donc une récente croissance de la part de marché dans l'habitat neuf. Cela peut s'expliquer par la relance des constructions neuves amorcées en 2016 et qui s'est poursuivie jusqu'en 2018⁷⁶.

Toutefois, il faut distinguer ici les PACs air-eau et les PACs air-air. Les PACs air-eau pénètrent davantage le marché de l'habitat neuf que les PACs air-air, qui sont majoritairement installées en rénovation (15% dans l'habitat neuf et 85% dans l'existant)⁷⁷. Enfin, les chauffe-eau thermodynamiques bénéficient d'une bonne pénétra-

tion dans le marché des bâtiments neufs (63% des CET vendues en 2018 sont à destination des habitats neufs)⁷⁸.

A noter que ce ne sont pas les PACs air-air qui produisent le plus d'EnR en maison individuelle, mais **les PACs air-eau**. Les PACs air-eau sont plus puissantes et

produisent généralement de l'eau chaude sanitaire, mêmes si moins nombreuses dans le parc. Les PACs air-air, bien que constituant les équipements les plus présents sur parc, produisent généralement de l'air froid. Or, l'activité de climatisation n'est pas considérée comme une production d'EnR.



Figure 9. Source : AFPAC, Avril 2018.

1.B. Développement de la filière

La filière estime que les ventes annuelles de PACs pourraient progresser de 3,3% à 5% par an, sur huit ans (hors PAC air-air)⁷⁹. Globalement, les perspectives de croissance sont de l'ordre **de 10% par an jusqu'à l'horizon 2030**⁸⁰. Cette estimation permettrait aux

acteurs d'atteindre des économies d'échelle. Comme évoqué en première partie, les économies d'échelle sont essentielles à la mise en place de boucles de reverse logistique, ce qui pourrait permettre à la filière de transiter vers l'économie circulaire.

A ces perspectives s'ajoute le fait que les PACs participent à l'atteinte des objectifs des politiques

publiques environnementales : la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE).

En effet, la filière contribue de façon conséquente aux objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). La SNBC⁸¹ a été introduite par la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015.

67. Ibid., p. 23

68. Entretien E. BATAILLE, Groupe ATLANTIC

69. Statistique marché de la PAC, 24 octobre 2018

70. Le poids de la filière PAC en France, Chiffres année 2018, AFPAC

71. Ibid

72. Ibid

73. Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles, Observ'ER, 2019, p. 16

74. Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles, Observ'ER, 2018, p. 25

75. Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles, Observ'ER, 2019, p. 25

76. Ibid., p. 26

77. Ibid., p. 25

78. Ibid., p. 25

79. La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018, p. 17

80. La pompe à chaleur, une réponse au défi CO2, AFPAC, Octobre 2017, p. 22

81. La SNBC a été fixée par le décret n°2015-1491 du 18 novembre 2015

C'est la feuille de route de la France pour conduire la politique d'atténuation du changement climatique ; elle donne des orientations pour mettre en œuvre la transition vers **une économie bas-carbone**. Elle définit des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle nationale à court et moyen termes. A l'horizon 2050, elle vise l'atteinte de la neutralité carbone et l'objectif du secteur du bâtiment en particulier est **la décarbonation quasi-complète**. Pour ce faire, la SNBC recommande **un usage « sobre » des énergies pour chauffer l'intérieur des espaces** (le chauffage représente 60% des émissions scope 1+2 du bâtiment).

Pour rappel, le scope 1 correspond aux émissions directes des bâtiments, liées aux consommations d'énergie pendant la phase d'usage/d'habitation et le scope 2 correspond aux émissions indirectes, liées à la production de l'énergie pour l'électricité, la chaleur ou le froid via les réseaux urbains. La pompe à chaleur présente l'avantage d'avoir une faible teneur en carbone, d'autant plus si l'énergie qu'elle consomme pour sa mise en service provient d'une ressource renouvelable (éolien, solaire, biogaz). Du fait des avantages de la PAC au regard des objectifs fixés par la SNBC, la part de marché qu'occupe cet équipement peut progresser.

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie 2016 (PPE), introduite par la LTECV⁸², fixe les priorités d'actions des pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie pour les dix années à venir, en partageant la programmation en deux périodes de cinq ans. Elle ne doit pas rentrer en contradiction avec les objectifs sectoriels fixés par la SNBC. Elle concerne l'ensemble des énergies et la politique énergétique (maîtrise de la demande, promotion des énergies renouvelables, maîtrise des coûts, entre autres). En 2016, les pompes à chaleur avaient presque répondu aux objectifs fixés pour 2018.

PRODUCTION BRUTE DE CHALEUR ET FROID RENOUVELABLES

En ktep

	Réalisé 2015	Réalisé 2016	Objectifs 2018	Objectifs 2023	
				Fourchette basse	Fourchette haute
Biomasse	9 616	10 545	12 000	13 000	14 000
Biogaz	188	236	300	700	900
Pompes à chaleur	1 990	2 178	2 200	2 800	3 200
Géothermie de basse et moyenne énergie	122	135	200	400	550
Solaire thermique	99	101	180	270	400
Total	12 015	13 195	14 880	17 170	19 050
dont quantités de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrées par les réseaux de chaleur et de froid	962	1 114	1 350	1 900	2 300
Injections de biométhane dans le réseau de gaz (en GWh)	82	215	1 700	8 000	

Champ : France métropolitaine continentale. Les données relatives au réalisé 2015 et 2016 pour la production de chaleur et de froid par filière portent toutefois sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Source : SDES, d'après les sources par filière

Tableau extrait de ADEME, Chiffres clés des énergies renouvelables, Edition 2018, p. 25

82. La PPE a été fixée par le décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016

Pour prospective, l'AFPAC a collaboré avec les pouvoirs publics afin d'anticiper la contribution des PACs aux politiques publiques nationales (**SNBC et PPE**), en prenant en compte les scénarios d'efficacité énergétique prévus

par l'ADEME (scénario énergie-climat ADEME 2035 – 2050). L'AFPAC a contribué à travers son document **« De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050 »** à quantifier la part EnR valorisée par les pompes à chaleur et la part de

CO2 évitée. Les résultats de cette analyse ont été publiés dans le cadre d'un document et prévoient trois scénarios de développement des PACs (bas, médian et haut) à différentes échelles temporelles.

Le scénario énergie-climat ADEME

L'ADEME a réalisé des études prospectives entre 2012 et 2013, nommées « Visions » pour 2030 et 2050 : ce sont des voies possibles pour la transition énergétiques en France, qui se basent sur deux horizons temporels. Ce document a participé aux bases des objectifs de la loi de la transition énergétique pour une croissance verte (LTECV). Considérant des besoins énergétiques de la France pour couvrir ses activités, cette évaluation servait à calculer notamment les émissions de gaz à effet de serre, y compris les émissions non-énergétiques. Une révision de ces visions a été publiée en 2017, pour mettre en cohérence les données et prendre en compte les nouvelles orientations du Plan Climat. L'objectif est de tendre vers la sobriété énergétique, l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables.

L'ADEME prévoit une baisse **de 29%** de la demande finale d'énergie en MTep d'ici 2035, à compter de 2010. Pour 2050, c'est une baisse **de 45%** à compter de 2010 qui est prévue.

La part d'énergie renouvelable augmente dans la demande finale : de 10% en 2010, elle passe de 34 à 41% en 2035 et atteint 46 à 69% en 2050.

Enfin, les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) connaissent aussi une réduction importante⁸³. Par rapport à 1990, la réduction de GES CO₂ eq. équivaut à 51% en 2035 et est comprise entre 70% et 72% en 2050.

Pour les logements résidentiels, l'ADEME pose comme hypothèse **la réduction du nombre de logements neufs** construits chaque année, du fait de la croissance démographique et ce, malgré une moindre cohabitation⁸⁴. Parallèlement, **le nombre de logements collectifs et intermédiaires** va augmenter dans la part des logements neufs, pour atteindre plus de la parité en 2050 (à savoir 60% ; aujourd'hui, les logements collectifs représentent 42% des constructions neuves). Selon ce scénario, **500 000 logements par an en moyenne seront rénovés** sur la période 2010-2030. Enfin, il est prévu qu'en 2050, l'ensemble du parc de **35 millions de logements** sera composé de deux grands types de bâtiments : 9 millions de logements récents et 26 millions de logements rénovés.

Toujours selon ces scénarios, les PACs devraient équiper 20% du parc de logements en 2035 et 50% en 2050. La pénétration de cet équipement s'expliquerait notamment par le besoin en climatisation dans certaines régions. Les rendements des équipements s'améliorent au global.

Le coefficient des PACs, pour le tertiaire comme pour le résidentiel devra passer **de 3 aujourd'hui en moyenne à 4**⁸⁵.

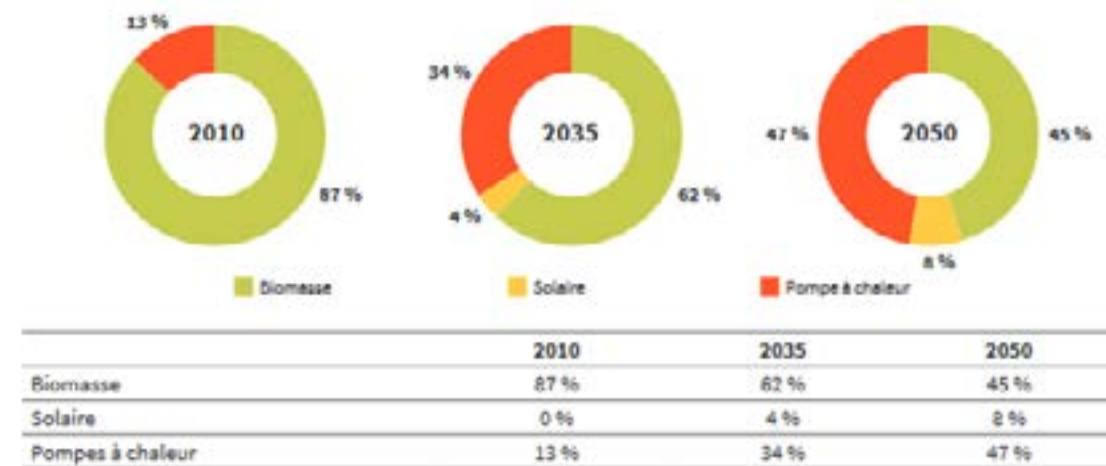
83. ADEME, Visions 2035-2050, 2017, p. 2

84. La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018, p. 23

85. Ibid., p. 25

Les sources d'énergies et de chaleur renouvelables dans le résidentiel proviennent de plus en plus des pompes à chaleur, qui équipent les bâtiments. En 2050, c'est même le premier poste de production de chaleur et d'énergies renouvelables dans le résidentiel, devant la biomasse et le solaire⁸⁶.

CHALEUR ET SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN USAGE DIRECT DANS LE RÉSIDENTIEL



Figures extraites de ADEME, Visions 2035-2050 (Version révisée)

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats et est tiré de l'étude réalisée par l'AFPAC en avril 2018 « **De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050** ». Les trois scénarios prévoient tous

une progression des PACs dans le parc des équipements thermiques en France, mais leur intensité varie (voir Annexes). On remarque que dans le scénario maxi (le déploiement le plus massifié des pompes

à chaleur), **45 Mt de CO₂/an devraient être économisées** à l'échelle 2050. Cela permet de répondre aux objectifs de la SNBC.

	2014		2030		2050	
	Tep EnR valorisées/an	CO ₂ évité/an	Tep EnR valorisées/an	CO ₂ évité/an	Tep EnR valorisées/an	CO ₂ évité/an
Scénario Mini	1 692 084	6 798 127	2 892 527	12 170 281	4 538 619	19 509 441
Scénario Médian	1 692 084	6 798 127	3 330 677	14 124 877	7 254 985	31 578 882
Scénario Maxi	1 692 084	6 798 127	4 056 563	17 350 322	10 284 341	45 043 589

86. ADEME, Visions 2035-2050, 2017, p. 8

1.C. Les bénéfices sociaux-économiques attendus suite au déploiement de la filière

Les détenteurs de pompes à chaleur sont appelés à réaliser des économies du fait de l'augmentation de la taxe carbone, également appelée « contribution climat-énergie ». Cet impôt environnemental est direct et proportionnel aux quantités de dioxyde de carbone émises lors de la production ou de l'usage d'une ressource, d'un bien, d'un service. Il vise à sanctionner financièrement les émissions, sur le principe du pollueur-payeur. La taxe carbone prend la forme d'une redevance tarifée à la tonne de CO₂ émise.

Comme la PAC est largement décarbonnée, elle ne sera pas

touchée par l'alourdissement de la facture énergétique d'autres équipements thermiques (utilisant des combustibles fossiles). Cela pourrait inciter les consommateurs à s'équiper avec des pompes à chaleur, afin **de gagner en pouvoir d'achat** et pourrait aider la PAC à mieux pénétrer le marché de la rénovation. Globalement, la PAC est peu affectée par une fiscalité écologique, comparé à d'autres équipements thermiques qui fonctionnent avec des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon)⁸⁷. Il s'agit donc d'une forte incitation pour les consommateurs.

Le développement de la filière pourrait être aussi bénéfique en termes de création d'activités durables et d'emplois. Le passage aux économies d'échelle

permettra à la filière de gagner en compétitivité : le coût unitaire de production d'un équipement sera réduit pour les industriels, ce qui induit une baisse du prix d'achat pour l'utilisateur. Ce mécanisme vertueux encourage la croissance de la filière et les gains de productivité. Des évolutions sont donc à prévoir : la quantité de professionnels d'installation, de réparation etc. va augmenter, afin de répondre à la demande croissante. De plus, pour déployer les activités de boucles d'économie circulaire présentées précédemment, des besoins supplémentaires en main-d'œuvre vont émerger. La création d'emplois et le besoin de nouvelles compétences sont donc attendus.

En réalisant un calcul lié à la croissance prévisionnelle de la filière, entre 20 000 et 80 000 emplois pourraient être créés.

	Tep EnR valorisées par les PACs	Emplois créés par la filière
2018	2 363 411	24 000
2050 – scénario mini	4 538 619	46 088
2050 – scénario maxi	10 284 341	104 435

Néanmoins, cette augmentation des besoins en personnels compétents sur les PACs peut aller de pair avec la destruction d'emplois sur d'autres filières (autres équipements thermiques), ce qui réduit

la création globale d'emplois en absolu.

Malgré le besoin de pondérer ces chiffres, la création d'emplois demeure une opportunité encourageante.

Elle peut aussi participer à un renouveau de l'activité industrielle en France. La filière PAC peut devenir une filière d'excellence avec des opportunités de gains de marché à l'international.

87. ADEME, Infographie, A quoi sert la taxe carbone ?, janvier 2019

Récapitulatif « Potentiel de déploiement de la filière, contribution aux politiques publiques »

La filière PAC en France développe son expertise depuis plus de 30 ans. Globalement, les PACs gagnent des parts de marché dans le secteur des équipements thermiques depuis 2012. Néanmoins, des disparités existent entre les différents équipements et les opérations qu'elles recouvrent. Les PACs géothermiques sont en déclin alors que **les PACs aérothermiques**, et particulièrement les PACs air-air, connaissent une forte croissance. Les PACs sont des contributeurs majeurs à l'atteinte des différentes politiques publiques (SNBC, PPE). Elles participent à la transition énergétique des bâtiments et il est nécessaire de valoriser cette participation. La filière a pleinement conscience de ces enjeux de déploiement et a fourni aux pouvoirs publics des scénarios de développement, qu'il faut considérer attentivement. De plus, le développement à venir de la filière est porteur de bénéfices sociaux-économiques. Il peut être créateur de nouveaux emplois, s'il intègre les modes de fonctionnement de l'EC et faire de l'industrie des pompes à chaleur française une filière à haut potentiel de développement à l'échelle européenne et à l'échelle mondiale.

2. Mise en mouvement des acteurs publics et privés pour accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

Pour mettre en mouvement les acteurs publics et privés afin d'accélérer le passage à l'échelle de la filière en l'ancrant pleinement dans l'économie circulaire, deux leviers principaux existent.

• La valorisation des bénéfices environnementaux liés à l'utilisation des PACs.

Leur mode de fonctionnement tend à la sobriété énergétique et s'accorde avec les principes de l'économie circulaire. De plus, les PACs contribuent aux objectifs de politiques publiques environnementales en produisant une chaleur en grande partie renouvelable et décarbonée. Historiquement, les PACs ont été présentées comme des équipements d'économie d'énergie, non pas comme des équipements producteurs d'énergie renouvelable⁸⁸. Il est donc nécessaire de capitaliser sur l'ensemble de ces bénéfices environnementaux et de communiquer positivement sur cet équipement.

Les incitations et réglementations à venir doivent tendre à faciliter le déploiement de la filière.

• L'amélioration de l'efficacité matière de la filière via le développement de boucles d'économie circulaire, en amont du recyclage.

La filière doit s'adapter aux contraintes de ressources et aux enjeux de l'EC dans le cadre de son déploiement massifié. Les bonnes pratiques de la filière doivent être davantage valorisées (éco-conception, réparation, reconditionnement, etc.) et récompensées grâce à des outils d'incitation. Les freins et leviers à la mise en œuvre des boucles de l'économie circulaire doivent être davantage étudiés pour pouvoir se développer à plus grande échelle.

88. Entretien V. LAPLAGNE, UniClima

2.A. Assurer la reconnaissance des bénéfices environnementaux des pompes à chaleur

La filière PAC a l'ambition de contribuer à l'atteinte des objectifs de la PPE et de la SNBC. La valorisation des bénéfices environnementaux des PACs, à la fois sur le marché des logements neufs et sur le marché de la rénovation, doit encourager leur déploiement.

a. La dynamique sur les logements neufs à maintenir et encourager

En France, l'installation des équipements thermiques dans les logements neufs relève de la réglementation thermique. Les acteurs de la filière ont pointé le manque à gagner de la valorisation des résultats de la PAC due à cette réglementation. Celle-ci est amenée à évoluer dans les prochaines années, suite à l'expérimentation E+C- qui peut contribuer à faciliter le déploiement des PACs sur les bâtiments neufs.

i. RT 2012

Le Grenelle de l'Environnement a mis en œuvre un programme de lutte contre le changement climatique, incluant comme mesure, la mise en place d'une nouvelle

réglementation thermique (article 4 de la loi Grenelle 1, adoptée le 23 juillet 2009). La réglementation thermique (RT) a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs et introduit un niveau de qualité énergétique à respecter.

Avant la RT2012, d'autres réglementations thermiques se sont succédées. La première date de 1974 et a été instaurée dans le but de compenser l'augmentation des prix des énergies (suite au choc pétrolier notamment) par une meilleure isolation. En 1976, 1988, 2000, 2005 et enfin 2012, les RT se sont enrichies et ont ouvert leur champ d'application à tous les bâtiments neufs. Afin d'intégrer une vision plus globale, les RT ont aussi peu à peu intégré les enjeux de besoins en chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation, de climatisation, d'éclairage et d'intégration d'énergies renouvelables⁸⁹.

Le secteur du bâtiment en France est le premier secteur consommateur d'énergie⁹⁰ et génère des émissions de gaz à effet de serre qu'il s'agit de réduire (plus de 123 millions de tonnes de CO₂⁹¹), **en travaillant sur la qualité des équipements**. La RT 2012⁹² impose en maison individuelle certaines exigences et parmi elles, une consommation d'énergie primaire inférieure à 50 kWh par m², ce que permet la PAC. Autre

exigence, uniquement en maison individuelle aussi, l'usage d'une source d'énergie renouvelable (EnR) devant représenter 5KWh/m² par an, ce à quoi répond la PAC, qui valorise des calories provenant de l'extérieur (air, sol, eau). Du fait de ces deux axes (efficacité énergétique et production d'EnR) **la RT2012** a pu constituer un tremplin pour l'installation de PACs dans la construction neuve, ces dernières années. Néanmoins, le tremplin a pu être modéré par la non-prise en compte de certaines variables, pourtant intéressantes au regard des performances de la PAC.

ii. Les limites de la RT 2012

Les bonnes performances de la PAC ne sont **pas entièrement valorisées** par la RT. De ce fait, le tremplin qu'a pu être cette nouvelle réglementation en 2012 est en réalité assez modéré. Cela s'explique par les variables retenues dans le calcul de cette réglementation.

La RT 2012 ne fixe pas de limites en termes d'émission carbone car **la variable « carbone »** n'est pas prise en compte.

89. La pompe à chaleur, une réponse au défi CO₂, AFPAC, octobre 2017

90. En 2016, le secteur du bâtiment représentait 44% de l'énergie consommée en France. Le secteur des transports en représentait 31,3%. Source : « Énergie dans les bâtiments », Ministère de la Transition écologique et solidaire, publié le 21 novembre 2016

91. Source : ibid

92. Définie par le décret n° 2012-1530 du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments

Or, les performances des PACS pourraient être mieux valorisées du fait de la prise en compte de cette variable carbone. Les PACs sont des équipements thermiques qui n'émettent pas/peu de CO₂ relativement à d'autres. De plus, les acteurs de la filière tâchent de réduire l'usage de fluides HFC fortement émetteurs en CO₂ et renforcent la qualité des appareils pour prévenir les fuites.

Energie primaire

La RT exprime ses résultats en énergie primaire. L'énergie primaire est l'énergie potentielle, contenue dans les ressources naturelles, alors que l'énergie finale est l'énergie consommée et prend en compte la production, le transport et la transformation du combustible.

Le principal vecteur énergétique utilisé dans les pompes à chaleur est l'électricité. Hormis l'énergie électrique, le taux de conversion de toutes les autres énergies équivaut à 1. Pour l'électricité, le taux de conversion est différent et impacte les valeurs de la part EnR valorisée par la PAC : il équivaut à 2,58. Autrement dit, 1 kWh d'énergie finale équivaut à 2,58 kWh d'énergie primaire. Ce taux de conversion a été calculé selon le rendement moyen de production d'électricité dans les centrales (43,5%) et les pertes lors de la distribution (5%).

De ce fait, des discussions sont en cours à l'échelle européenne pour rajuster au besoin ce coefficient, en vue de mieux prendre en compte le développement de l'éolien et du solaire. Ces sources d'énergie se développent et les PACs en bénéficient.

iii. Valorisation des bons résultats des PACs

La nouvelle RT (prévue pour 2020) peut encourager les bénéfices environnementaux des PACs en répondant aux différents points relevés par la filière concernant la RT2012. Renommée « Réglementation Environnementale » (RE), cette réglementation se basera sur **l'expérimentation E+C- (Energie positive et Réduction carbone)**. Cette expérimentation permet de tester les méthodes de calcul sur des cas pratiques de bâtiments et de fixer des niveaux d'ambitions justes dans la RT. La démarche E+C- s'insère dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte. Ses deux ambitions principales sont : la généralisation des bâtiments à énergie positive et le déploiement de bâtiment à faible empreinte

environnementale.

La RE2020 va intégrer des exigences en termes **d'impact carbone** et de consommation énergétique, le tout dans une perspective de cycle de vie du bâtiment (depuis la fabrication des matériaux, la construction, l'utilisation, la déconstruction et le recyclage). Cela peut d'une part, valoriser les performances des PACs et d'autre part, encourager les efforts portés sur l'efficacité matières. Toutefois, un encadrement plus strict de l'usage des fluides frigorigènes peut être attendu car ils constituent le composant le plus émetteur en gaz à effet de serre des pompes à chaleur. Mais cet aspect est déjà traité par les industriels de la filière qui respectent, voire devancent, la directive européenne F-Gaz.

De plus, la RE2020 voudrait aller plus loin que la RT2012 et pourrait **intégrer une exigence sur un minimum de production d'EnR** pour tous les bâtiments. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) vise l'augmentation de la part des EnR dans la consommation de chaleur de 1,2 point en moyenne par an⁹³ : pour ce faire, la future réglementation environnementale pourrait rendre obligatoire un taux minimum de chaleur renouvelable pour tous les bâtiments neufs (individuel, collectif et tertiaire). La PAC répond à ces exigences. Ces points ont été portés par la filière lors de la concertation préalable à l'établissement du référentiel du Label E+C-. Toutefois, des dérogations pourraient intervenir pour les logements collectifs.

Enfin, les critères de « confort » pour les usagers seront revus pour intégrer le confort d'été. Cela peut avoir pour effet la revalorisation de la fonction de refroidissement des PACs.

b. Capitaliser sur les rénovations des bâtiments

La rénovation énergétique des bâtiments a fait l'objet d'une reconsidération par les pouvoirs publics en 2017 via un plan national⁹⁴. Des facteurs incitatifs réglementaires sont mis en place pour faciliter le déploiement des PACs à chaleur sur ce type d'opération. De plus, des incitations fiscales pourraient aussi l'encou-

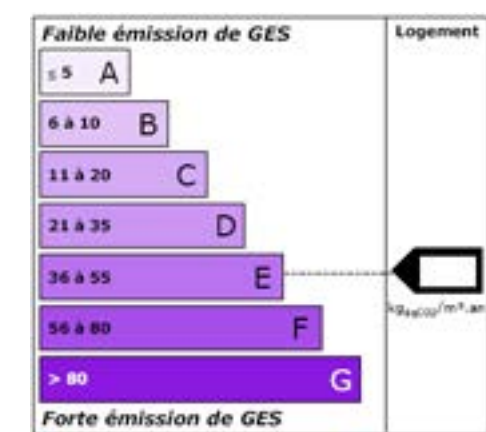
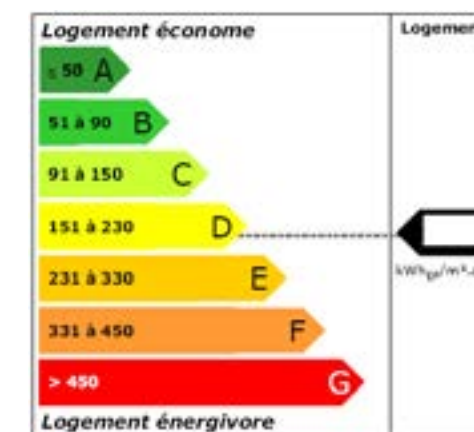
rager.

- Les facteurs de succès réglementaires

La rénovation des bâtiments est encadrée par le **Diagnostic de Performance Énergétique (DPE)**, réalisé sur les biens immobiliers. Ce diagnostic est obligatoire pour la vente et la rénovation de bâtiments existants (logements et bâtiments tertiaires). Pour la filière, le DPE ne valorise pas suffisamment les bénéfices environnementaux liés à la PAC car il ne met pas en valeur les gains en termes d'économies d'émissions de gaz à effet de serre de l'équipement.

En effet, le DPE (renseigne la performance de bâtiments en

mesurant la consommation d'énergie et l'impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre du logement (en prenant en compte la surface, l'orientation, les murs, les fenêtres, les matériaux ainsi que ses équipements de chauffage, de production d'eau chaude etc.)⁹⁵. Il se compose donc de deux étiquettes : l'étiquette énergie qui indique la consommation d'énergie primaire et l'étiquette climat qui indique la quantité de gaz à effet de serre émise. Or, selon la filière, l'échelle « Énergie » est généralement mieux valorisée que l'échelle « Climat », qui serait « souvent omise ou marginalisée ».⁹⁶



La filière estime que cet indicateur pourrait mieux prendre en compte l'échelle climat. Celle-ci est généralement favorable aux PACs et pourrait constituer un facteur

différenciant les équipements.

A noter que le DPE est obligatoire pour les bâtiments neufs (et les parties nouvelles de bâtiment

dont la date de dépôt de demande de permis de construire est postérieure à juin 2017)⁹⁷ et concerne à la fois les bâtiments privés et les bâtiments publics.

94. Appelé « Plan rénovation énergétique des bâtiments »

95. Site du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, publié le 23 mai 2018

96. La pompe à chaleur, une réponse au défi CO₂, AFPAC, Octobre 2017, p. 60

97. Arrêté du 21 septembre 2007 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments neufs en France métropolitaine

93. Ministère de la transition écologique et solidaire, Synthèse, Programmation pluriannuelle de l'énergie, mars 2019

- Les incitations publiques

Des incitations publiques existent et permettent aux usagers-maîtres d'ouvrage de financer l'équipement PAC (qui permet de réduire la consommation énergétique des bâtiments) dans le cadre de rénovations. Ce mécanisme se révèle pertinent, puisqu'il permet de réduire le coût de l'équipement et le rend donc plus attractif.

La plupart des aides publiques sont octroyées si les travaux sont réalisés par des professionnels RGE : cela permet d'insister sur la formation des professionnels de la filière.

Lors de la rédaction de cette étude (2019), plusieurs aides destinées à l'achat de PACs en rénovation existent.

Parmi elles, nous pouvons citer :

- 1) **le CITE, crédit d'impôt pour la transition énergétique**
- 2) **Le coup de pouce « certificat d'économie d'énergie »**

Ce coup de pouce s'appuie sur le dispositif des Certificats d'Economie d'Energie (CEE), créé en 2006. Il constitue l'un des principaux instruments de la politique de maîtrise de la demande énergétique et repose sur « une obligation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie ». Ces derniers sont incités à promouvoir l'efficacité énergétique auprès de leurs clients. Le coup de pouce « CEE » quant à lui a été lancé en 2019.

- 3) **L'éco prêt à taux zéro**
- 4) **LA réduction de la TVA**
- 5) **Les aides de l'ANAH, Agence Nationale de l'Habitat**

Ces aides sont davantage détaillées dans l'**annexe 1** de la présente étude. Il sera judicieux de mettre à jour cette annexe, relative aux conditions d'attribution de ces incitations publiques, au tournant de l'année 2019. Des discussions sont actuellement pour revoir les montants et les taux (notamment du CITE).

Ces aides participent à mieux valoriser la PAC et à en encourager le déploiement. Le passage à l'échelle supérieure, permis grâce à ces aides, est nécessaire à l'atteinte des objectifs d'économie circulaire.

2.B. Renforcer les boucles de l'économie circulaire au sein de la filière

Conjointement aux efforts déjà portés sur l'efficacité énergétique

et à la prise en compte de l'efficacité matière, le renforcement des boucles d'économie circulaire est essentiel pour faire de la filière PAC une industrie exemplaire à l'échelle européenne. Le développement de ces boucles bénéficie-

ra des économies d'échelle que la filière peut réaliser, au regard de son potentiel de déploiement et de sa contribution aux objectifs de politiques publiques environnementales.

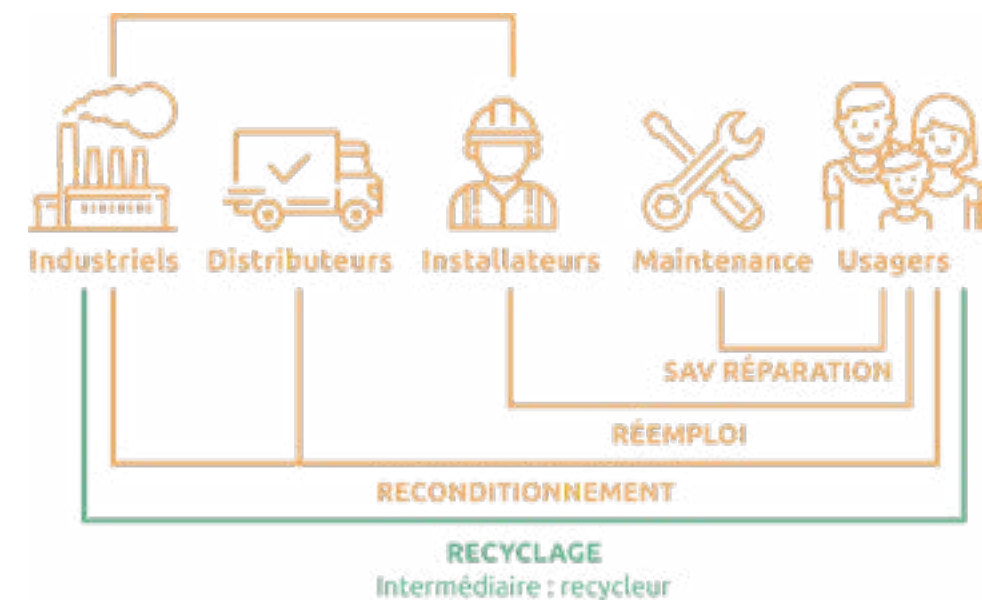


Figure 10. Les boucles de l'économie circulaire appliquées à la PAC.

a. Les boucles de l'EC à renforcer

La réparation in-situ est déjà existante mais peut être renforcée. Les opérateurs de maintenance, formés, interviennent sur les machines et les démontent, si nécessaire. La mise à disposition de pièces détachées est essentielle pour rendre cette opération plus facile. Les différents composants des PACs doivent être rendus facilement accessibles. Enfin, il semble important que les professionnels de terrain puissent avoir à disposition des plans, des informations, des indications concernant les équipements et leur composant, afin de faciliter les opérations de maintenance. La valorisation des bénéfices liés à **la réparation** vis-à-vis d'un remplacement des équipements a été démontrée dans une étude de l'AQC.

Le réemploi est aussi une option à considérer attentivement. Néanmoins, il semble complexe

du fait des obligations de faire passer des tests aux équipements avant de les installer sur le terrain. Pour le moment, la certification des PACs n'est possible que dans les laboratoires référencés par les certificateurs. De plus, le réemploi nécessite plusieurs sous-opérations : la vérification de l'état de la PAC, un démontage, un dimensionnement au nouveau logement, une validation des caractéristiques techniques de l'équipement sur le nouveau lieu d'installation. Un besoin en main d'œuvre conséquent est attendu pour pouvoir conduire des opérations de réemploi. Malgré quelques freins, le réemploi demeure une option intéressante car il suppose peu de transformations et quasiment pas de retours vers les industriels ou les distributeurs.

La définition de boucles de **reconditionnement**, puis le **remanufacturing** sont également à encourager mais requièrent de

définir des boucles de logistique inverse. Pour ce faire, les industriels doivent développer des chaînes de déconstruction, de démontage et de vérification. Les distributeurs peuvent aussi s'intégrer dans ces opérations, car ils disposent de plateformes conséquentes dans lesquelles il est possible d'entreposer des PACs.

Le recyclage des PACs fait toujours l'objet d'un passage par un intermédiaire. Les matières premières secondaires issues du recyclage peuvent être réintégrées par les industriels en substitution de matières vierges.

Le renforcement de ces activités favoriserait l'ancrage de la filière PAC dans l'économie circulaire et dans son principe d'optimisation de gestion des ressources. L'enjeu ici est d'identifier les points de blocage qui entravent le développement de ces boucles et d'étudier des solutions adéquates.

b. Renforcer les boucles d'économie circulaire : les leviers à un déploiement de la filière pleinement inscrit dans l'économie circulaire

Pour développer les boucles de l'économie circulaire au sein de la filière, l'engagement des différents acteurs dans cette dynamique est essentiel. On recense cinq principaux leviers à un déploiement de la filière pleinement inscrit dans l'économie circulaire. Ils concernent :

- La formation et la visibilité de la filière

- L'intégration de tous les acteurs de la filière

- Des nouveaux modèles technico-économiques et environnementaux viables

- Des incitations

- Des réglementations adaptées.

i. La formation et la visibilité de la filière/de l'équipement à

améliorer

FORMATION

Les métiers techniques souffrent d'un manque d'intérêt chez les jeunes, dû à une mauvaise visibilité. De ce fait, les techniciens de terrain (opérateurs de maintenance, installateurs) qualifiés sont peu nombreux et ne peuvent parfois pas assurer toutes les opérations. Ils risquent de ne pas être suffisamment nombreux pour répondre à l'évolution croissante de la filière.

Pour améliorer la visibilité et la réputation des métiers techniques, **le Synasav** a produit des vidéos qui seront diffusées sur les réseaux sociaux. A destination de leurs jeunes utilisateurs, ces vidéos informent sur les activités métiers techniques, les compétences requises et les voies scolaires pour y parvenir⁹⁸.

Deux compétences sont indispensables pour intervenir sur une installation de pompe à chaleur : la qualification RGE pompe à chaleur qui valide des compétences en conception, dimensionnement et installation, plus la certification qui atteste l'aptitude à manipuler des fluides frigorigènes. Donc, il existe un risque réel à ce que des installateurs non-agrèés ou aptes à manipuler des fluides frigori-

gènes se procurent des PACs et les installent sans avoir les compétences requises, malgré les efforts de la filière pour former les acteurs et les stagiaires. La pose, non-réalisée par **un installateur qualifié**, peut conduire à des pertes d'efficacité de la machine.⁹⁹ Sa bonne installation et son bon dimensionnement conditionnent en effet ses performances. Il est donc essentiel de bien veiller à la formation de

tous les professionnels.

En plus de bien veiller à la formation des professionnels et à leur agrément, il pourrait être intéressant de diversifier l'offre de formation et notamment de renforcer notions commerciales de ces acteurs de terrain. Des notions en marketing constituent un atout supplémentaire pour développer leur portefeuille clients et contribuer au déploiement de la filière.

Développer les compétences en marketing des acteurs de la filière

La filière encourage le développement des compétences **en marketing des professionnels de terrain**. Cela leur permet d'acquiescer un discours plus vendeur pour les utilisateurs. Autre raison d'insister sur la formation : les consommateurs s'assimilent parfois à des semi-professionnels car de nombreuses informations sont disponibles sur Internet. Il est donc nécessaire que les professionnels apprennent à tenir un discours à la fois technique et marketing, qui parle aux clients.¹⁰⁰

COMBLER LE DÉFICIT D'IMAGE

Les bénéfices environnementaux des PACs ne sont pas assez publicisés selon les acteurs de la filière, notamment au regard du bilan carbone de l'équipement. En effet, comme précisé dans la partie précédente, l'efficacité énergétique de la PAC est bien considérée, mais son rôle actif dans la production d'énergie renouvelable tend à être mis de côté.

ii. Atteindre une meilleure intégration des acteurs de la filière, notamment grâce au numérique

Le dialogue interne entre les acteurs doit se renforcer. Il est essentiel de permettre aux professionnels de terrain de faire remonter des informations aux concepteurs, afin d'améliorer la qualité et l'ergonomie des équipements.

Cela pourrait aussi faciliter la résolution de panne en temps réel. Par exemple, un professionnel de maintenance pourrait alerter un industriel d'une panne en direct et ils pourraient travailler conjointement à résoudre le problème, chacun grâce à leur expertise. Enfin, la traçabilité des équipements pourrait aussi s'en retrouver améliorée¹⁰¹.

Un programme numérique pour intégrer tous les acteurs de la filière

Plusieurs industriels, notamment l'entreprise Daikin, lancent des programmes de R&D pour étudier l'impact du numérique sur les performances des équipements et les échanges entre les acteurs de filière. Il s'agit de développer pour les nouvelles générations de PAC air/eau un système connecté, via le Cloud, qui permettra à distance de mesurer en temps réels les paramètres de fonctionnement des PACs, qui grâce à ses IA pourront établir des scénarios de maintenance prédictive et ainsi apporter une garantie d'usage à l'utilisateur (simplification de l'usage, optimisation des consommations, automatisation de la détection de défaut, réduction des délais d'intervention de l'installateur, et optimisation des paramètres). Ce programme sera lancé fin 2019 par l'entreprise Daikin. Les techniciens devront alors être formés en informatique¹⁰². Au sein du Synasav, un nouveau contrat de travail pour la surveillance à distance des PACs connectées est en discussion¹⁰³.

Faire remonter des informations de terrain pour améliorer la démontabilité

Les techniciens de terrain constatent que la durabilité et bonne qualité des composants n'est pas toujours systématique : certains s'avèrent trop fragiles, certains sont mal dimensionnés etc. Les retours des opérateurs de terrain et des techniciens ne sont pas suffisamment entendus par le reste des acteurs de la filière. La communication et les liens intra-filière doivent être renforcés pour améliorer la qualité des équipements¹⁰⁴. Le numérique constitue une voie intéressante pour développer ces liens.

Au sein de l'AFPAC, un groupe de travail étudie le format de **la PAC du futur**, qui bénéficie du développement des objets connectés et des évolutions liées au numérique.

Dans cette perspective, la PAC du futur est conçue de telle sorte à ajuster son fonctionnement, sa puissance et les températures qu'elle fournit. La mise en service

de la PAC du futur (ou « Smart Pac ») ainsi que sa maintenance sont aussi optimisées.

98. Entretien R. BOUQUET, Synasav

99. Entretien R. BOUQUET, Synasav

100. Entretien J.-P. CHIRAT

101. Entretien R. BOUQUET, Synasav

102. Entretien F. DEROCHÉ, Daikin

103. ThermPress n°998. « La pompe à chaleur au cœur des systèmes d'énergie & la PAC du futur », p.2

104. Entretien J.F. CERISE, FFB

v. Etudier la viabilité technico-économique et environnementale des nouveaux modèles de production et de logistique inverse au sein de la filière

Un nouveau modèle d'économie circulaire avec la mise en place de boucles de reverse logistique doit pouvoir répondre à plusieurs enjeux et être bénéfique à plusieurs égards.

D'un point de vue économique, sa viabilité doit être assurée. Tous les acteurs de la filière doivent pouvoir bénéficier de la mise en place de boucles de logistique inverse et la création de valeur doit être effective à chaque étape de la chaîne. Aucun acteur ne doit supporter de manière trop impor-

tante les coûts de mise en place de reverse logistique, au détriment de son activité.

D'un point de vue environnemental, les boucles de reverse logistique doivent se développer dans une proximité relative, afin de limiter les impacts négatifs sur l'environnement et d'être préféré à la production/installation d'équipements neufs. Par exemple, les transports et l'acheminement des machines dans le cadre de boucles de remanufacturing ou reconditionnement doivent être optimisés et si possible, s'inscrire dans un cadre local. Il en va de même lors des opérations de démontage/remontage dans le cadre de réemplois par exemple : une

attention toute particulière doit être portée sur les déplacements, les possibles pertes énergétiques des équipements, les potentielles fuites de fluides etc. Le développement de boucles de reverse logistique locales valorise les territoires et les bassins industriels.

Enfin, **d'un point de vue social,** le développement de boucles de reverse logistique s'accompagne de création de compétences mais aussi d'emplois locaux. Les bassins industriels peuvent bénéficier d'une nouvelle dynamique. Enfin, l'intégration des acteurs de l'Economie Sociale et Solidaire peut aussi être envisagée, afin de rendre la filière encore plus vertueuse.

Récapitulatif « Mise en mouvement des acteurs pour accélérer le passage à l'EC »

Afin d'accélérer le passage de la filière dans une perspective d'EC, deux leviers sont importants : le renforcement et une meilleure considération des bénéfices environnementaux ainsi que **le développement des boucles d'EC**, en amont du recyclage. Pour ce faire, il est nécessaire d'encourager la dynamique de croissance sur les logements neufs et les opérations de rénovation, en adaptant **les réglementations** et en développant **des incitations financières**. Le renforcement des boucles d'EC est aussi essentiel et doit se faire conjointement à la progression du parc des PACS, afin de faire de la filière française une industrie exemplaire dans une perspective européenne voire internationale.

Le tableau SWOT (pour Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – Forces, faiblesses, opportunités, menaces, en français) qui suit résume les différents enjeux évoqués dans les deux précédentes parties.

La PAC est un équipement thermique dont les performances s'accordent avec les objectifs de politiques environnementales. Les forces de la filière concernent donc en premier lieu la qualité des PACs produites : c'est un équipement producteur d'énergie renou-

velable, qui fait un usage sobre des ressources, réversible (qui permet donc de produire du froid) et qui participe d'un bien-être optimisé pour les usagers. L'efficacité énergétique des PACs est bien travaillée et les acteurs travaillent à anticiper les réglementations sur l'usage des fluides HFC polluants, afin de réduire au maximum l'impact climatique des équipements. Cette anticipation par la filière des normes réglementaires, ainsi que la réponse apportée aux objectifs des politiques publiques

est non-négligeable dans une perspective de déploiement du secteur.

Ce développement, à la fois dans le secteur du neuf et de la rénovation, et les économies d'échelle qui en découleront pourront permettre à la filière de dévelop-

per des boucles de reverse logistique et d'organiser des opérations de reconditionnement, réemploi et de remanufacturing. Ces activités permettraient à la filière

de s'ancrer davantage dans l'économie circulaire. La filière a donc intérêt à capitaliser sur les bons résultats de ses équipements.

Tableau 1. Forces et Faiblesses, Opportunités, Menaces de la filière PAC en France

Forces de la filière	Faiblesses de la filière
- Equipement de production de chaleur renouvelable et peu carbonée - Sobriété et efficacité énergétique - Mix des énergies d'approvisionnement - Valorisation des énergies fatales - Réversibilité adaptée aux problématiques de haute chaleur	- Facteurs d'émission importants des fluides frigorigènes - Manque de valorisation des bénéfices de la filière - Prix d'achat des PACs relativement élevé et aides publiques parfois difficiles à capter - Maintenance hétérogène du parc
Opportunités	Menaces
- Contribution de la filière aux objectifs de la transition bas-carbone (PPE et SNBC) - Engagement de la filière pour réduire l'usage des fluides frigorigènes à haut PRG - Avancées collectives réalisées en matière d'écoconception (fiches PEP) - Elargissement probable des critères pris en compte par la RT 2020 - Marché en déploiement et relativement jeune, propice à l'émergence d'innovations	- Croissance fluctuante sur les PAC air-eau sur le marché résidentiel - Taxe française sur les fluides frigorigènes prévue pour 2021 - Réglementation qui reste fortement centrée sur l'efficacité énergétique - Disponibilité d'une main d'œuvre suffisante et qualifiée pour accompagner la croissance de la filière

Plusieurs opportunités permettront aux PACs de se déployer et d'intégrer pleinement les principes d'économie circulaire, comme présentés dans le tableau 1. Néanmoins, **le prix** de la PAC, qui constitue une de ses faiblesses principales peut freiner son développement et l'atteinte des objectifs de transition vers

l'économie circulaire. Ces derniers concernent l'amélioration de l'efficacité matière et le développement de boucles de reverse logistique (réemploi, reconditionnement et remanufacturing).

La recherche d'un modèle économique alternatif peut constituer une solution à **cette barrière économique** et encourager un

travail sur les objectifs d'économie circulaire. Il s'agit d'un modèle d'économie de fonctionnalité. Ce dernier permet de répondre à l'enjeu de financement pour les particuliers et permet d'organiser la filière de telle sorte à ce qu'elle soit davantage intégrée.

3. L'économie de fonctionnalité, un nouveau modèle économique pour le déploiement des pompes à chaleur ?

En privilégiant la fourniture d'usage et de performance à la vente de biens, l'économie de fonctionnalité permet de sortir de la logique de rentabilité basée sur la vente de volumes. Ce modèle incite les producteurs/fournisseurs à allonger la durée de vie des produits, puisqu'ils en restent les propriétaires. Selon le Ministère de la transition écologique et solidaire, l'économie de fonctionnalité « consiste à remplacer la notion de vente de bien par celle **de la vente de l'usage du bien**, ce qui entraîne le découplage de la valeur ajoutée par rapport à la consommation d'énergie et matières premières.¹⁰⁶ ». La troisième partie étudie les modalités de mise en œuvre d'une offre d'économie de fonctionnalité sur les pompes à chaleur, notamment en vue de faciliter son déploiement sur le logement résidentiel.

Ce modèle pourrait répondre aux défis posés par la massification attendue des PACs dans le secteur résidentiel car il porte une attention toute particulière à l'efficacité matières et à la durabilité des équipements. Ce modèle permet aussi à la filière de s'intégrer pleinement aux principes d'économie circulaire et s'inscrit dans la « démarche générale de transition vers l'économie circulaire¹⁰⁷ ». Il constitue une « alternative économiquement viable¹⁰⁸ », un modèle économique « plus sobre sur le plan des ressources et de la pollution grâce au découplage production et revenu, et à l'optimisation de l'utilisation des ressources et des biens¹⁰⁹ » et qui peut permettre de créer des emplois (en gestion des produits en location, en marketing, en réparation, en réemploi etc.). Il est donc intéressant d'en étudier les modalités d'application pour la filière PAC en France.

1. L'économie de fonctionnalité, comme levier « circulaire » de déploiement des pompes à chaleur sur le marché résidentiel

L'économie de fonctionnalité se différencie du business model classique, en permettant de découpler la création de valeur de l'entreprise de la vente de volumes et donc de la consommation de ressources. Dans ce cadre, la filière travaille à optimiser la performance finale fournie à l'utilisateur, en réduisant les coûts. Parallèlement, il est attendu que les PACs produites aient une durée de vie plus longue, grâce à l'amélioration de leur efficacité matière. Enfin, elle concourt à une meilleure intégration des acteurs de la filière et à une création de valeur pour chacun.

¹⁰⁶. Ministère de la transition écologique et solidaire, L'économie de fonctionnalité, février 2019

¹⁰⁷. Ibid

¹⁰⁸. Ibid

¹⁰⁹. Ibid

1.A. Les leviers à la définition d'un business model d'économie de fonctionnalité

L'économie de fonctionnalité présente des avantages pour les potentiels usagers : une offre intégrée, plus claire et accessible. Elle permet aussi de renforcer les liens infra-filière et d'optimiser l'usage de la PAC (les pannes sont prises en charge rapidement, le matériel défectueux est réparé, reconditionné, remanufacturé). L'achat d'une PAC qui est parfois

rendu difficile par son coût facilité puisqu'il s'étalonne et prend la forme de mensualités de paiement à l'usage. Toutefois, cette forme de paiement doit être intéressante sur le long terme. Sur ce point, la définition de l'unité d'usage est un travail que les acteurs de la filière doivent conduire.

a. Lever les freins à l'acquisition d'une PAC pour les utilisateurs

Dans le business model classique, **la chaîne de valeur est segmentée**. Malgré des échanges, notamment

au sein de l'AFPAC, les différents acteurs travaillent successivement. L'industriel conçoit l'équipement. Le distributeur réceptionne les stocks de pompes à chaleur et les mets à disposition d'installateurs formés, qui eux, vont dimensionner et mettre en service la pompe à chaleur chez le particulier. Les opérateurs de maintenance assurent un suivi in situ et une réparation des équipements si nécessaire. Dans ce modèle de business classique, c'est l'utilisateur/le particulier qui achète l'équipement et en devient le propriétaire.

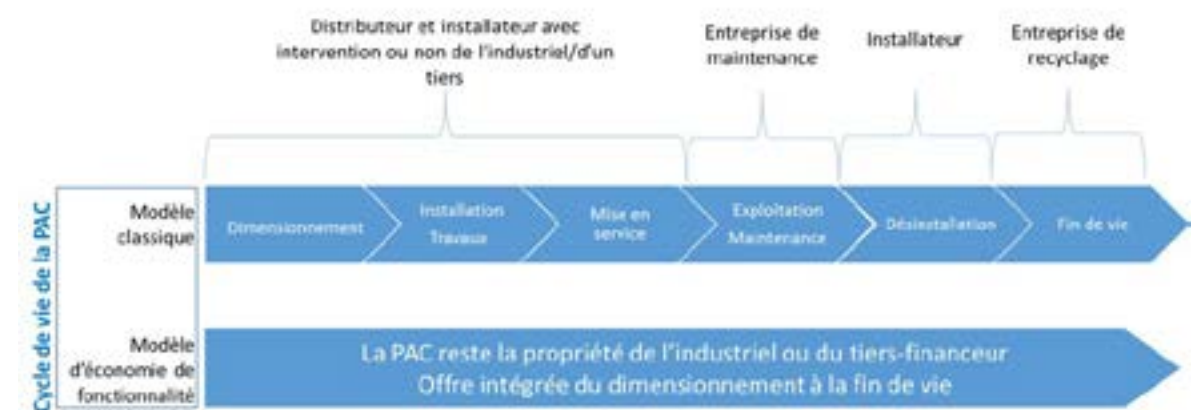


Figure 14. Cycle de vie d'une PAC selon les business model.

Or, plusieurs points viennent freiner l'acquisition d'une PAC pour les particuliers :

- **Un prix d'achat élevé** pour les consommateurs, qui implique une avance de trésorerie, couplé à des difficultés pour capter les aides publiques disponibles.
- Il existe aussi **une réserve** vis-à-vis des performances énergétiques et des économies réalisables. L'aspect décarbonné de l'équipement notamment n'est pas suffisamment mis en valeur selon les acteurs de la filière, comme expliqué dans la partie précédente.
- La « **complexité** » du produit et de la chaîne,

composée de beaucoup d'opérateurs.

Pour surmonter ces points de blocage, une transition vers l'économie de fonctionnalité constitue une solution pour répondre aux **trois freins identifiés** précédemment.

- Le captage des aides publiques est facilité car l'utilisateur est mis au courant des différentes aides au financement de la PAC par le fournisseur, dans le cas où celles-ci seraient étendues à l'économie de fonctionnalité. De plus, la location permet un étalement du financement de la PAC. Ainsi, **les freins liés au prix de l'équipement sont largement réduits**.

Dans un business model classique à l'inverse, l'achat de la PAC est conséquent lors de son acquisition, ce qui corrélé à un manque d'information sur les aides publiques disponibles, constitue un frein majeur à son achat.

- La maintenance de l'équipement est assurée par le fournisseur afin de garantir **sa durée de vie**. L'utilisateur est conseillé voir accompagné dans son utilisation de l'équipement. Une logique « servicielle »¹¹⁰ peut se mettre en place en fonction de l'unité d'usage retenue (voir plus bas). Cette logique se base sur « l'obtention d'un résultat/d'une performance et non sur la simple mise

à disposition de moyens matériels et de temps de service »¹¹¹. Dans cette perspective, le bénéficiaire est accompagné par le prestataire dans son usage de la PAC.

- L'économie de fonctionnalité favorise l'intelligence collective de la filière. Le prestataire s'assure de la transparence et clarté de l'offre et **de l'articulation des différentes mailles** de la chaîne de valeur (de l'industriel aux opérateurs de maintenance). La recherche d'informations est moins coûteuse en temps pour le particulier puisqu'il n'y a que le prestataire qui constitue l'interlocuteur de référence.

Tableau 2. Récapitulatif des réponses apportées par l'économie de fonctionnalité aux freins du business model classique.

Freins Business model classique	Leviers Economie de fonctionnalité
Prix d'achat élevé	Étalement des paiements et captage des aides publiques
Réserve sur les performances	Maintenance assurée tout au long de la durée de vie, offre « servicielle »
Manque de connaissances : complexité de l'offre et de la chaîne	Conseil/installation/dimensionnement/maintenance/réparation prises en charge

Ainsi, les futurs utilisateurs sont accompagnés, à la fois lors de l'acquisition de l'équipement et tout au long de sa durée de vie. Cela renforce l'attractivité de l'offre et permet de lever les barrières à l'acquisition d'une PAC dans un business model classique. En plus

son attractivité, le prix des mensualités doit rester intéressant sur le long terme pour le futur acquéreur, afin qu'il ne se tourne pas vers l'achat d'équipement. Pour fixer les mensualités qu'il devra payer au fournisseur, la définition de **l'unité d'usage** est essentielle.

b. Définir l'unité d'usage

L'économie de fonctionnalité est une organisation différente du business model classique : on préfère **la fourniture d'usage à la "ventes" de PACs**. Dans cette perspective, la PAC reste la propriété d'un fournisseur (industriel, tiers-financeur etc. à définir) et **l'utilisateur paie l'usage de l'équipement**. Le modèle d'affaire « ne repose plus sur le transfert de

propriété de biens, qui restent la propriété du fournisseur tout au long de son cycle de vie »¹¹² mais sur la fourniture d'une unité d'usage, dont **l'unité préférentielle doit être déterminée**. Dans un rapport co-rédigé par l'ADEME et la société ATEMIS¹¹³, trois dynamiques d'économie de fonctionnalité sont présentées et correspondent à trois unités d'usage différentes. Ces options constituent des voies à explorer pour les acteurs de la filière PAC.

i. Le maintien de l'usage

La première solution se base sur **le « maintien de l'usage »**. Une solution centrée sur le maintien d'usage permet à l'utilisateur de bénéficier de la PAC, qui reste dans le patrimoine du prestataire.

Dans cette perspective, l'unité d'usage correspond donc à une

location (comprenant le matériel, la maintenance et les boucles de reverse logistique) et l'énergie (kWh) nécessaire au bon fonctionnement de la PAC. L'utilisateur paye la location au prestataire (fournisseur 1 sur le schéma) et doit payer à un fournisseur d'énergie (fournisseur 2 sur le schéma), les kWh nécessaires au fonctionnement de

la PAC. On peut donc distinguer deux fournisseurs : le fournisseur/prestataire qui loue la PAC et le fournisseur d'énergie.

Ce modèle s'apparente à du leasing (location) ou à des stratégies dites de « product-service systems » (ou LLD pour les voitures).

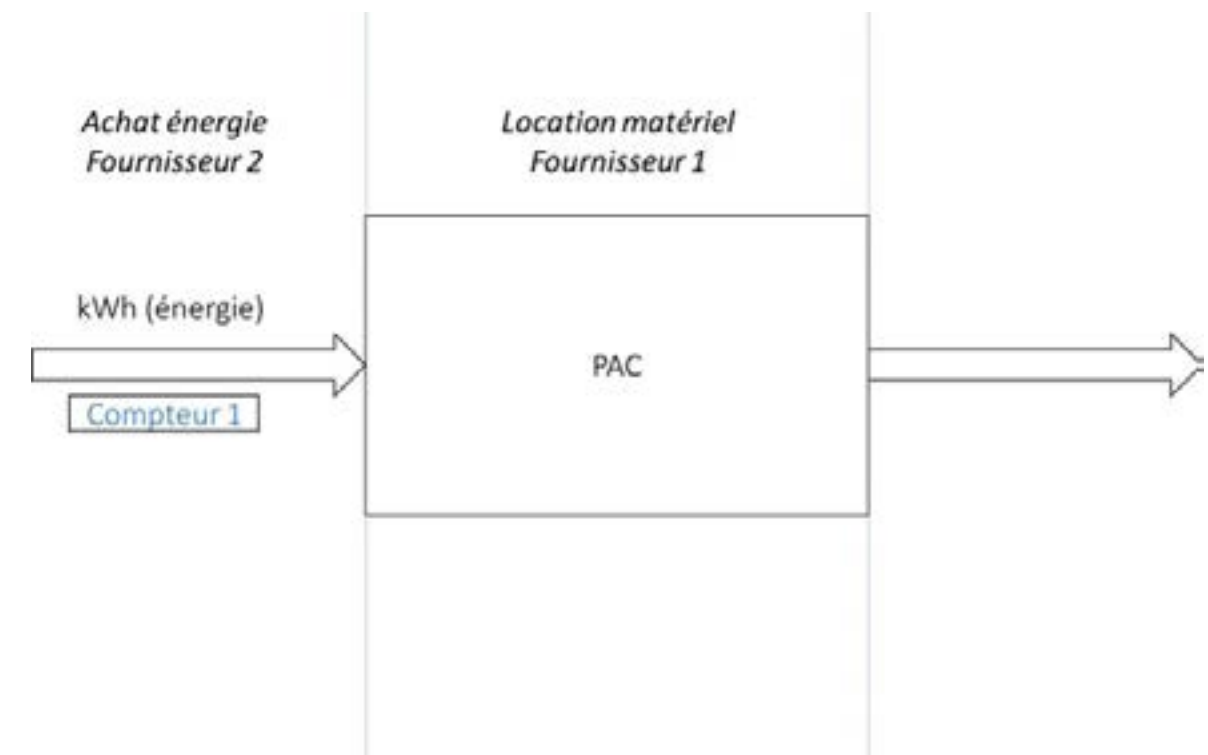


Figure 15. Economie de fonctionnalité et valeur d'usage : maintien.

ii. La performance d'usage ou la « vente des effets utiles » du service

La seconde offre d'économie de fonctionnalité se concentre sur **la performance d'usage ou les effets utiles du service**. Une solution basée sur la performance d'usage se distingue de la solution précédente car elle fait converger les intérêts du prestataire et du bénéficiaire ; à savoir produire

le maximum de chaleur avec le minimum d'énergie. Le but est d'augmenter la valeur servicielle de l'offre.

Ici, l'unité d'usage qui permet de facturer le service correspond aux kWh délivrés par la pompe à chaleur. Il s'agit de « chaleur ». Le client paye donc une redevance proportionnelle aux kWh du compteur, calculée au niveau du compteur 2, ainsi que la location

du matériel (encadré rouge en pointillés). Deux options : soit la redevance du matériel est incorporée dans le package kWh, soit la facture est détaillée.

Le prestataire lui, paie l'énergie en compteur 1 (cercle bleu) et fournit le matériel (en assurant l'exploitation et la maintenance et les boucles de reverse logistique).

110. ADEME, Fiche technique, L'économie de fonctionnalité : de quoi parle-t-on ?, mai 2017, p. 4

111. Ibid., p. 4

112. Ministère de la transition écologique et solidaire, L'économie de fonctionnalité, février 2019

113. ADEME, ATEMIS, Patrice VUIDEL, Brigitte PASQUELIN, Rapport annexe, Vers une économie de la fonctionnalité à haute valeur environnementale et sociale en 2050. Les dynamiques servicielle et territoriale au cœur du nouveau modèle, 2017, p. 6

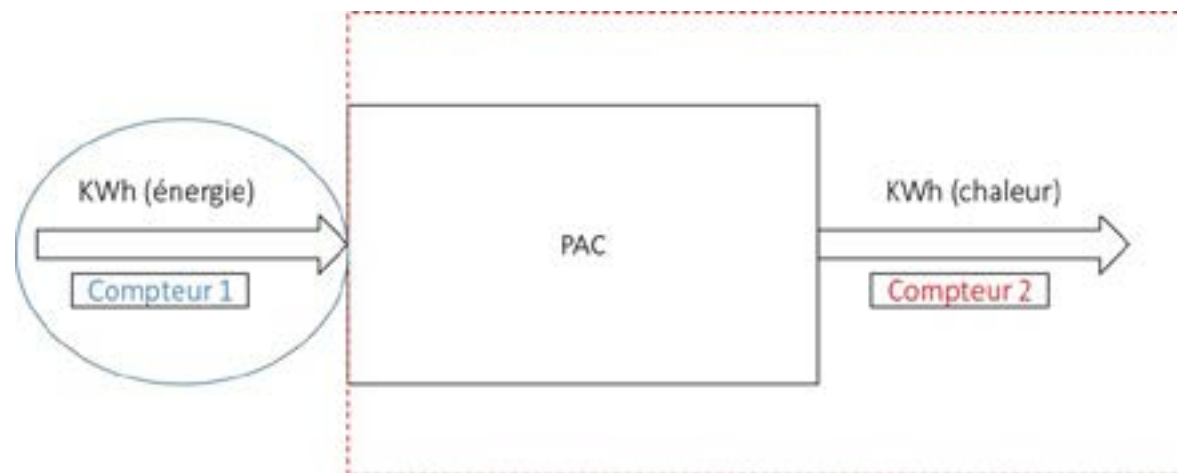


Figure 16. Economie de fonctionnalité et valeur d'usage : effets utiles du service/performance.

Les rapports entre prestataire et bénéficiaire se redéfinissent car ils partagent un intérêt commun : celui d'optimiser l'usage de la pompe à chaleur. Pour ce faire, il faut maximiser la quantité de

chaleur produite par la pompe à chaleur en minimisant l'apport d'énergie (KWh) pour la faire fonctionner. La performance est en partie liée à l'usage qui est fait de la PAC par l'usager : « il y a un enjeu

de coopération avec lui »¹¹⁴ et la qualité de l'exploitation. Le fournisseur ainsi que le bénéficiaire recherchent donc à atteindre un niveau de « confort »¹¹⁵.

Un exemple de l'ADEME pour l'unité de performance

Dans son focus sur l'économie de fonctionnalité publié en 2017, l'ADEME prend pour exemple une solution de confort thermique. La production de l'équipement est assurée par un prestataire, qui met à disposition le matériel et reste « à l'écoute des besoins du client pour ajuster son offre à son besoin spécifique »¹¹⁶. Parallèlement, « la solution sera aussi produite par l'usager qui est le mieux à même de réguler la température aux différents moments de la journée et d'ajuster ses pratiques d'aération de son habitat »¹¹⁷.

L'économie de fonctionnalité a pour visée de redéfinir les liens entre entreprise et client, dont les intérêts convergent.

Pour le paiement, deux formules peuvent être envisagées. Soit l'usager paie la redevance proportionnelle et les KWh « chaleur », à l'**exactitude**. Soit le prestataire élabore un **forfait**, qui se réac-

tualise, en fonction des conditions climatiques et des situations géographiques. Dans ce dernier cas, le prestataire garantit alors un **niveau de température** à l'usager. La recherche d'un niveau de

température encourage le fournisseur à renforcer la performance énergétique de l'équipement, qui doit être peu consommateur, puisque l'énergie apportée à la PAC (compteur 1) est à sa charge.

Il est aussi plus intéressant pour le bénéficiaire d'optimiser l'usage de la PAC. Il est ainsi responsabilisé, puisque l'usure ou un mauvais traitement de l'équipement peuvent (entre autres) affecter les performances de l'équipement.

Tableau 3. Synthèse des modalités de paiement dans une offre de vente de performance d'usage.

Vente de la performance d'usage		
Chaleur et redevance séparées (cas 1)	Chaleur incorporant la redevance (cas 2)	Forfait chaleur (cas 3)
- Paiement d'une redevance proportionnelle (PAC, maintenance et boucles de reverse logistique). - Paiement des KWh d'énergie (en compteur 2) à un fournisseur d'énergie.	- Paiement des KWh chaleur qui incorpore la redevance de la PAC (compteur 2).	- Paiement d'un forfait, qui incorpore la redevance de la PAC, réactualisé en fonction des conditions climatiques et géographiques. - Garantie de température.

iii. La vente d'un service avec mutualisation et réseau de chaleur

Enfin, la dernière solution présentée dans le rapport mentionné plus haut est orientée sur « la dynamique territoriale », qui intègre tous les acteurs d'un territoire. Elle s'éloigne d'une logique de secteur. Pour les pompes à chaleur, il serait intéressant de travailler avec les énergéticiens et les pouvoirs publics à

l'échelle locale. Par exemple, les auteurs de l'étude relèvent comme sphère fonctionnelle « l'habiter »¹¹⁸. Dans ce cadre, deux types de réseaux de chaleur peuvent être envisagés.

Premièrement, il peut s'agir d'une PAC reliant plusieurs logements. Cette solution permet d'économiser des ressources matières et autorise une hybridation des ressources pour fonctionner. Dans ce cas, le bénéficiaire paie une

redevance proportionnelle aux KWh du compteur 2. Dans cette redevance, les investissements du réseau et des pompes à chaleur sont compris.

Le prestataire, quant à lui, paie l'énergie au compteur 1 (et les investissements de départ, pour la pompe à chaleur et les réseaux).

Cette solution nécessite **de bien isoler** le réseau de chaleur. Il faut que température fournie dans les bâtiments reste élevée.

114. ADEME, ATEMIS, Patrice VUIDEL, Brigitte PASQUELIN, Rapport annexe, p. 7

115. Entretien P. VUIDEL, ATEMIS

116. ADEME, ATEMIS, Patrice VUIDEL, Brigitte PASQUELIN, Rapport annexe, p.4

117. Ibid., p. 4

118. Ibid., p. 8

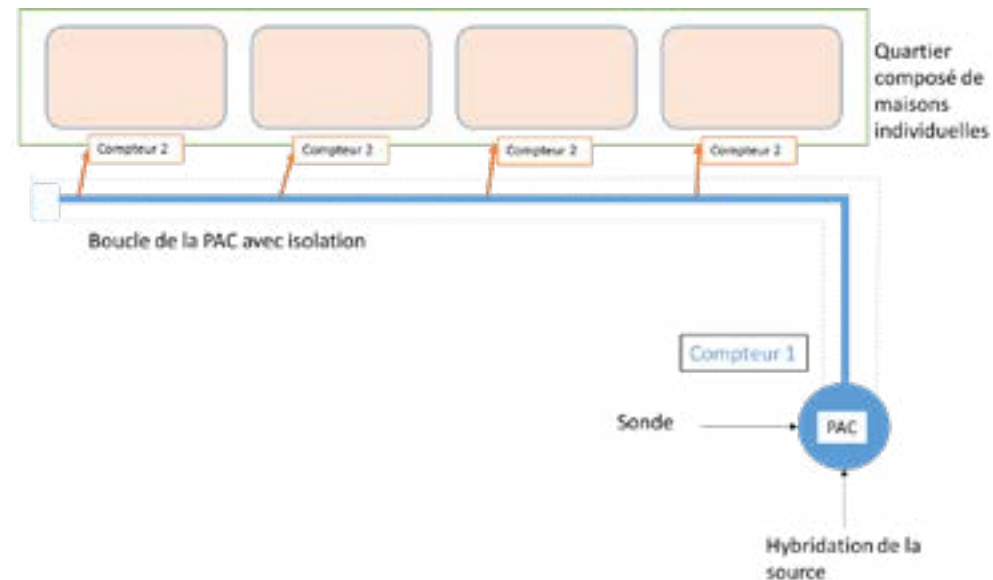


Figure 17. Une pompe à chaleur à l'échelle d'un quartier de maisons individuelles.

Dans le cas de figure 17 ci-dessus, le bénéficiaire paie une redevance proportionnelle aux KWh calculés en compteur 2 (soit la consommation exacte, soit un forfait) au prestataire. Ce compteur est individuel et propre à chaque bâtiment. Le prestataire, quant à lui, est responsable de l'entretien du réseau

et de la PAC et paie l'énergie au compteur 1.

Une seconde option peut être d'installer des PACs individuelles dans chaque bâtiment et de les connecter à une boucle tempérée, installée directement dans un lotissement. L'investissement de départ

pour le prestataire est donc moins lourd que dans l'option précédente. De plus, il n'y a pas obligation d'isoler la boucle tempérée, comme dans le cas précédent. Toutefois, cette solution est plus coûteuse en ressource matières (il faut adosser une PAC à chaque maison).

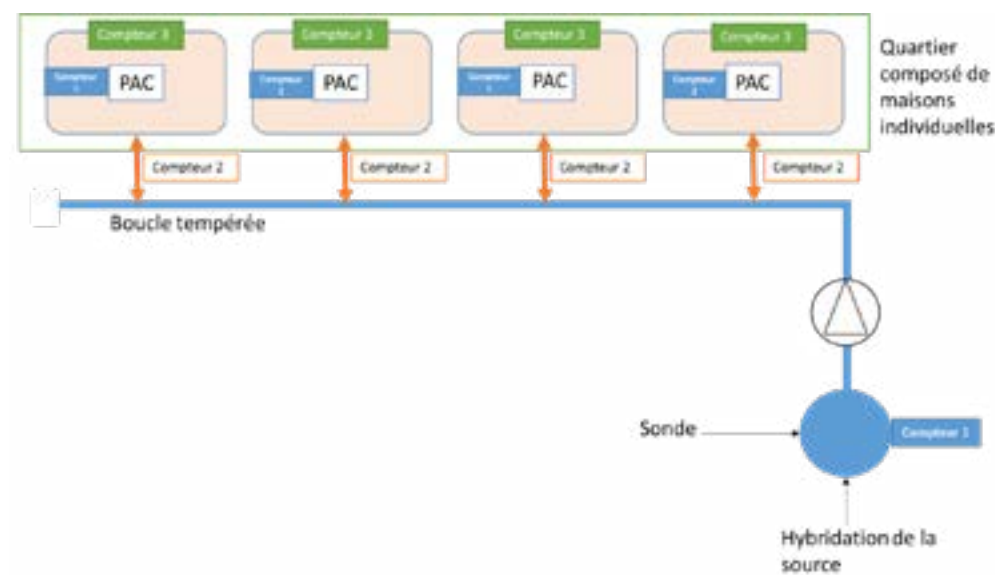


Figure 18. Une boucle tempérée et plusieurs pompes à chaleur.

Le **bénéficiaire** paie exactement la même chose : une redevance proportionnelle aux KWh calculés en **compteur 3** (soit la consommation exacte, soit un forfait). Le **prestataire**, quant à lui, paie l'énergie en **compteur 1** (pour faire fonctionner les différentes PACs) et un montant au lotisseur pour l'énergie en source froide et la connexion à la boucle tempérée (**compteur 2**).

Tableau 4. Récapitulatif des différentes unités d'usage

1 ^{ère} offre : le maintien de l'usage	Location du matériel (incluant maintenance, boucles de reverse logistique) Paiement de l'énergie en compteur 1.
2 ^{ème} offre : les effets utiles du service / la performance	Chaleur et redevance séparée Chaleur incorporant redevance Forfait chaleur
3 ^{ème} offre : service avec mutualisation de réseau de chaleur	Une PAC et une boucle de chaleur, reliées à plusieurs bâtiments Une boucle tempérée présente sur un lotissement et plusieurs PACs individuelles installées dans les bâtiments

c. S'inspirer des modèles de contrat en copropriété : P1, P2, P3, P4

Dans l'objectif de définition de l'unité d'usage, les **contrats d'exploitation de chauffage en copropriétés** (P1, P2, P3, P4) peuvent servir de base. Les contrats d'exploitation des

copropriétés peuvent combiner plusieurs types de prestation (1, 2, 3 ou 4). En fonction du type de prestations retenues, le prestataire a différentes obligations. Les obligations peuvent être les suivantes : l'entretien, la conduite et le dépannage des installations collective, le renouvellement du

matériel, la fourniture d'énergie, la garantie des températures, des objectifs de consommation d'énergie.

Nous allons les présenter et voir quels liens peuvent être faits avec les modèles présentés dans la partie précédente (« Définir l'unité d'usage »).

PRESTATION P1 Fourniture d'énergie par l'exploitant (gaz, électricité...).

PRESTATION P2 Maintenance des installations (maintien en bon état de fonctionnement de l'installation) et conduite du chauffage (opérations de pilotage de la production et de distribution de la chaleur nécessaire pour obtenir les températures contractuelles dans les différents locaux et, le cas échéant, celle de l'eau chaude sanitaire). Le contrat le plus simple est le P2, qui consiste en un contrat de conduite de chauffe et d'entretien de matériel.

PRESTATION P3 Garantie totale et renouvellement du matériel (gros entretien).

PRESTATION P4 Financement d'une rénovation de chaufferie.

Plusieurs types de contrat d'exploitation existent pour les installations de chauffage en copropriétés¹¹⁹.

Pour un contrat incluant les prestations (**P2, P3, P4**), la fourniture d'énergie n'est pas assurée par l'exploitant. Ce marché est

appelé « prestation et forfait » par l'ADEME dans son guide Contrats d'exploitation de chauffage en copropriétés.

119. ADEME, Guide pratique, Contrats d'exploitation de chauffage en copropriétés, 2012

Dans ce contrat, le bénéficiaire paie le crédit pour financer le matériel et sa maintenance, ainsi que l'énergie nécessaire pour faire tourner la PAC (le compteur 1). Ce contrat présente l'avantage d'être simple mais il n'incite pas le bénéficiaire et le prestataire à optimiser l'usage de la PAC. Ce contrat est semblable à la première offre présentée dans le Tableau n°4 (voir page précédente), à la seule différence qu'à la fin du contrat, le bénéficiaire devient propriétaire du matériel.

Dans le cas où la prestation P1 s'ajoute, celle-ci peut prendre différentes formes : il peut s'agir d'un forfait ou d'un montant flexible et adapté aux aléas climatiques. Dans le cas où il s'agit d'un forfait, on parle de marché « forfait » : le coût est déterminé à l'avance pour le bénéficiaire. Dans le cas où il s'agit d'un montant flexible, on parle de marché « à température » : le poste 1 s'adapte mais

il faut ajuster le seuil en cas de changement d'équipements, en cas d'amélioration énergétique du bâtiment etc.

Pour un contrat incluant les prestations **(P1, P2, P3, P4)** le prestataire intègre, de plus, le financement d'une rénovation dans son offre. Celui-ci est semblable à la deuxième offre présentée dans le tableau 4, à la seule différence qu'à l'issue de ce financement, l'installation sera la propriété du bénéficiaire. Nous ne retenons pas cette offre car elle s'apparente à un crédit. Or, l'économie de fonctionnalité suppose que le prestataire reste propriétaire du bien.

Pour un contrat incluant les prestations **(P1, P2, P3)**, le bénéficiaire paie un prix qui correspond aux kWh indiqués sur le compteur 2 (voir schéma précédent). Dans une perspective d'économie de fonctionnalité, doit se rajouter au contrat, le coût de la location du matériel, qui peut correspondre à

reconditionnement, remanufacturing) car elles permettent d'assurer un cycle de vie long à la pompe à chaleur. L'économie de fonctionnalité renforce l'efficacité matière de l'équipement et les innovations techniques sont, dans cette perspective, vivement encouragées. L'économie de fonctionnalité constitue une opportunité de renforcement des activités d'écoconception. Le Ministère de la transition écologique et solidaire souligne à ce propos la création d'emplois que permet

une nouvelle prestation : **(P4) bis**. Il ne s'agit pas d'un crédit, qui fera du bénéficiaire le propriétaire de la PAC à terme, mais d'un service de location.

Les différents contrats déjà à l'œuvre dans les copropriétés peuvent donc **servir de modèles** pour les PACs dans bâtiments individuels. Dans une perspective d'économie circulaire et de fonctionnalité, il s'agit **d'aller plus loin** que les contrats présentés par le guide de l'ADEME. Par exemple, à la prestation **4 bis** (financement d'une rénovation), pourrait s'ajouter la prise en charge des activités de reverse logistique et de remplacement. Dans ce cas, si la PAC vient à être inopérante, elle est alors récupérée et remplacée par le fournisseur. Ce dernier peut la réinsérer dans le marché, une fois reconditionnée ou remanufacturée par les acteurs de la filière (industriels, distributeurs).

l'économie de fonctionnalité dans le secteur de la R&D¹²⁰.

Ainsi, l'économie de fonctionnalité permet le développement de boucles de reverse logistique et d'échanges intra-filière. Elle encourage l'allongement de la durée de vie des équipements **(6ème pilier de l'économie circulaire)**, ce qui s'inscrit aussi dans une exploitation sobre des ressources **(1er pilier de l'économie circulaire)**.

Dans la première figure ci-dessous (figure n°2), nous identifions les liens qui se développent entre les différents acteurs de la filière.

Les industries conçoivent les équipements en respectant les réglementations F-Gaz et Ecodesign et peuvent aussi participer au financement d'un modèle de location. Elles sont alors partie prenante de **l'ingénierie financière** de l'offre. Le fait de rester propriétaire des équipements incite à l'amélioration de l'efficacité matières de l'équipement. Si les industriels ne peuvent financer la totalité des activités, d'autres acteurs peuvent en partie ou totalement la prendre en charge (publics, privés). On

parle alors **de tiers-financeur**. Le tiers-financeur finance les activités des prestataires de service sur toute la chaîne et tout en percevant le revenu de la location de la PAC. Ainsi, le service de fourniture de chaleur n'est pas discontinu.

Les distributeurs réceptionnent les équipements produits par les industriels, les stockent et les mettent à disposition des installateurs. Ils peuvent aussi stocker les PACs dans le cadre de boucles de reverse logistique, voire, en fonction des réglementations sur les garanties de réaliser des opérations de reconditionnement et remanufacturing.

Enfin, in situ, **les installateurs et professionnels de maintenance** assurent la mise en marche de la PAC et son suivi. Avec l'essor **des technologies numériques**, le dialogue avec les autres professionnels de la chaîne est facilité. Les pannes peuvent être prévenues en amont, ce qui allonge la durée de vie des équipements. Les professionnels de terrain ont aussi la possibilité de solliciter directement les industriels pour obtenir des informations nécessaires (dimension des PACs, fonctionnement, accessibilité des pièces etc.) à la bonne réalisation des opérations de maintenance.

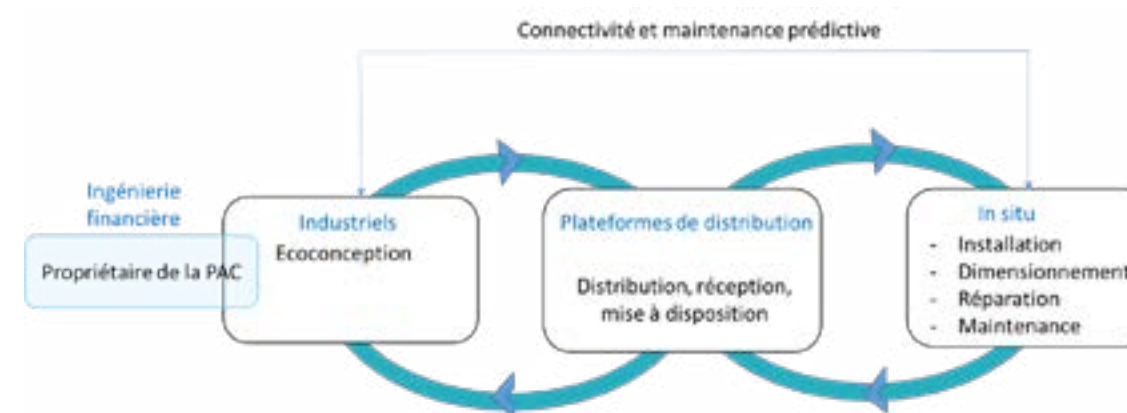


Figure 19. Les boucles d'EC appliquées à l'économie de fonctionnalité.

Le schéma suivant décline les activités de reverse logistique mises en œuvre par les différents acteurs dans un modèle d'économie de fonctionnalité.

120. Ministère de la Transition écologique et solidaire, L'économie de fonctionnalité, « Il s'agit d'un modèle économique qui permet de créer des emplois peu délocalisables (...) » dans des secteurs comme « l'innovation nécessaire dans la recherche et le développement (...) », publié en ligne le 7 février 2019

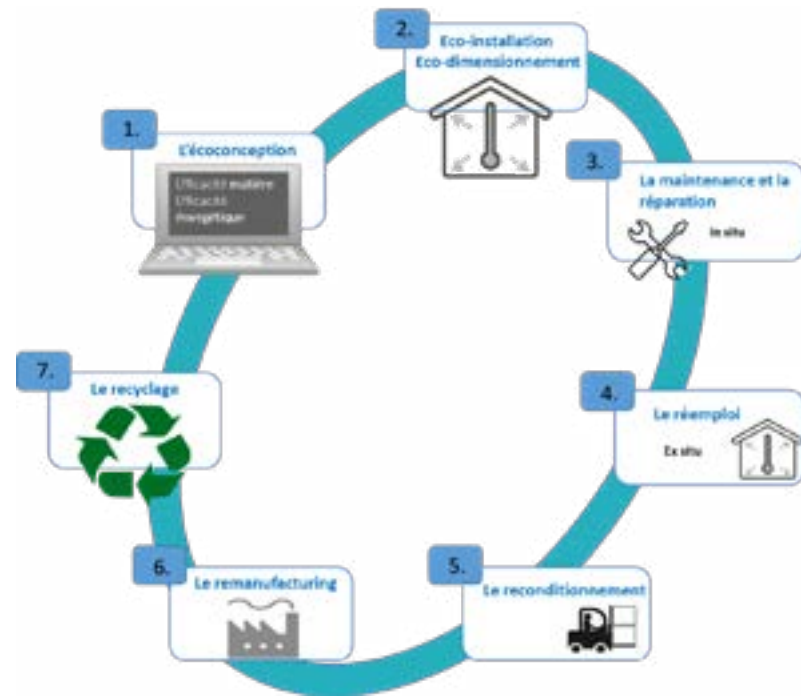


Figure 20. Les activités d'économie circulaire.

L'exemple de l'entreprise Michelin : un business model basé sur l'économie de fonctionnalité

Confrontée à des contraintes de marché, l'entreprise Michelin a peu à peu développé une offre alternative au modèle de vente de pneus classique et a ainsi transité vers un modèle d'économie de fonctionnalité. Les prix des pneus ont augmenté, suite à d'importantes évolutions techniques. Conséquence, les clients se sont détournés de l'offre. Pour contrer cette difficulté et la perte de marché du fait de l'augmentation des prix de ses pneumatiques, Michelin a adopté un modèle d'économie de fonctionnalité, dès 1920 pour certains poids lourds¹²¹. Ce modèle consiste en la prise en charge du cycle de vie des pneus par Michelin, et de leur location aux conducteurs. Ces derniers ne paient plus les pneus mais les kilomètres parcourus. Michelin s'occupe de la gestion des activités de gonflage des pneus et des techniques de recreuse et de rechapage. Cela permet d'en allonger la durée de vie. Dans cette même perspective, les équipes techniques de l'entreprise conseillent les conducteurs sur leur conduite, pour éviter de les user. Enfin, les pneumatiques « sont éco-conçus dans l'objectif de maintenir leur performance dans la durée »¹²².

Pour rappel, la valorisation de la technique de rechapage permet le remplacement de la carcasse de certaines parties (la bande de roulement, les flancs) du pneu, lorsque celles-ci sont usées. Le pneu peut donc avoir une seconde vie. Cette technique est particulièrement développée pour les poids lourds, car les tailles des pneus sont importantes.

121. Ministère de la transition écologique et solidaire, L'économie de fonctionnalité, février 2019

122. Ministère de la Transition écologique et solidaire, L'économie de la fonctionnalité, publié en ligne le 7 février 2019

Une réglementation datant de 2002 encadre strictement la fabrication et la commercialisation de pneus rechapés, afin de garantir leur qualité. L'entreprise travaille donc à faire durer au maximum les pneus. Se faisant, elle réalise des économies de matières premières.

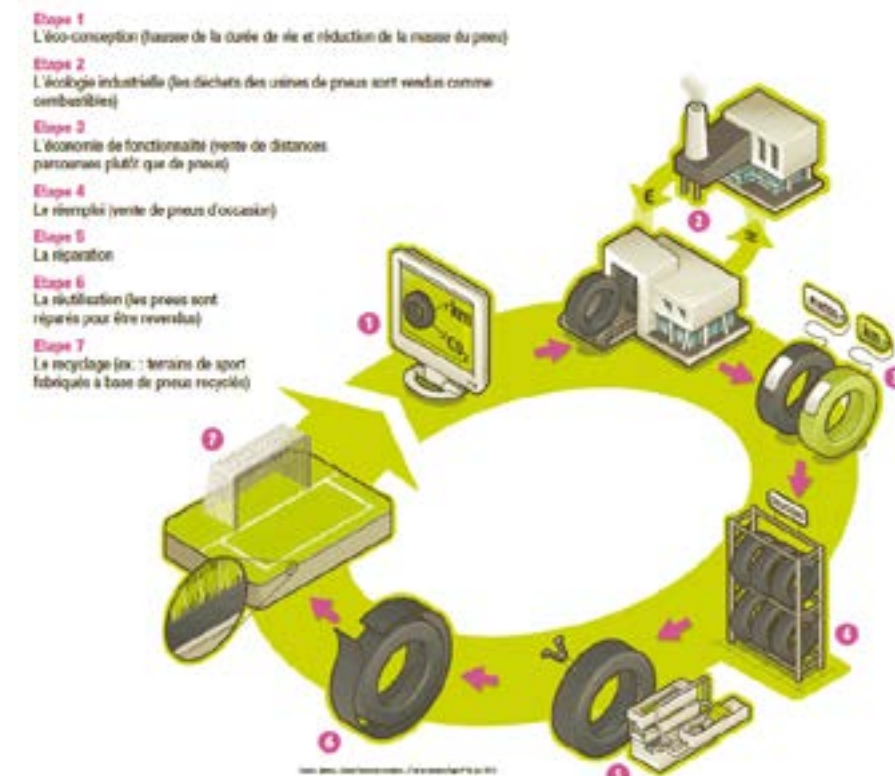


Figure 21. La location de pneus par Michelin. Source : Alternatives économiques.

Increasing the Danish Heat Pump Market – Une étude prospective danoise sur trois business model intégrés

La transition vers un modèle d'économie de fonctionnalité a été étudiée par des chercheurs danois en 2013 (de l'Université Technique du Danemark). Les résultats de l'étude « Increasing the Danish Heat Pump Market »¹²³ ont vocation à encourager la massification des pompes à chaleur dans le but de réduire l'usage des énergies fossiles. Cette étude s'inscrit dans un cadre politique ambitieux : après des années de discussions, le gouvernement danois a voté une loi en 2016 qui vise à se passer des énergies fossiles d'ici 2050 à hauteur de 100%. Les PACs ont donc vocation à remplacer les chaudières à fioul dans les années à venir.

Au Danemark, 5000 à 7000 PACs sont venues par an. Le prix moyen d'une PAC est de 130 000 couronnes danoises, à savoir 17 500 euros. Les chercheurs notent que le premier frein à l'acquisition d'une PAC est son prix.

Les trois modèles danois, du moins intégré au plus intégré (de bas en haut) :

123. Guide publié dans le cadre d'une thèse « Conceptualisation of a Product/Service-System to increase the Use of Heat Pumps in Danish Households », K. M. KROEJGAARD, M. MAAGENSEN. Disponible en ligne <http://www.metttemaagensen.dk/Varmepumper/IndustryGuide.pdf>

Tableau 5. Les différents modèles présentés dans l'étude danoise

Easy Heat	Ce modèle est basé sur l'achat individuel de PAC mais il inclue une aide financière, un consulting (sur les économies liées à la PAC, son coût d'installation etc.) et l'installation/mise en service de la PAC. Le consommateur paie une partie du coût de la PAC lors de son installation et le reste du montant est remboursé mensuellement à l'industriel. Ce modèle correspond à l'offre locative présentée plus haut.
Heat Service	Ce modèle est locatif : la PAC est installée dans la maison du consommateur mais demeure la propriété de Heat Service. Le consommateur paie alors le prix de sa consommation de chaleur, calculée sur une moyenne, tous les mois. Ce modèle correspond à l'offre de vente de service, présentée plus haut.
Near Heat	Ce modèle est aussi locatif mais s'adresse à toute une communauté de consommateurs, à l'échelle d'un quartier par exemple. La chaleur est distribuée, via un système de distribution d'eau chaude dans plusieurs habitations. Cela nécessite la mise en place d'une structure de distribution d'eau chaude (réseau de chaleur). Le consommateur paie un coût pour la mise en place de cette structure puis, paie par mois le prix de sa consommation de chaleur (calculée en moyenne). On observe que des économies sont réalisées pour chacun des utilisateurs, grâce à la mutualisation de la PAC (modèle 3.1). De plus, son entretien est facilité et ne nécessite l'intervention d'opérateurs de maintenance que sur un seul site (là où la PAC est installée).

AVANTAGES EASY HEAT

- Le prix de la PAC est attractif à l'achat
- Le process de décision est simplifié, des conseils sont délivrés afin d'améliorer l'usage de la PAC et de réaliser des économies pour l'utilisateur
- Les revenus sont continus pour l'industriel

AVANTAGES HEAT SERVICE

- L'utilisateur a accès directement à l'énergie
- La chaleur est vendue comme un service
- Les revenus sont continus pour l'industriel

AVANTAGES NEAR HEAT

- Les revenus sont continus pour l'industriel
- L'industriel exerce un contrôle sur le réseau de chaleur et peut ainsi l'optimiser
- Créé une alternative écologique à l'échelle d'un quartier, réduit l'impact environnemental du chauffage des bâtiments
- Ce modèle permet l'optimisation des sources froides

Ces trois modèles présentent **plusieurs avantages communs**. Premièrement, l'assurance d'une **continuité des revenus** pour les industriels/les détenteurs de la PAC. Cela permet de financer les investissements de départ.

De plus, **le process de décision pour l'utilisateur est simplifié** dans tous les cas. Dans le cadre d'Easy Heat, l'acquisition d'une PAC est accompagnée de conseils à l'achat. Dans le cadre de Heat

Service, l'utilisateur bénéficie d'un accès à l'énergie directement et la PAC est installée et entretenue par le détenteur. Dans le cadre de Near Heat, c'est l'habitation de l'utilisateur qui est intégrée à la boucle d'eau

chaude par le producteur de la PAC. L'avantage d'une solution qui s'impose à l'échelle d'un quartier est **l'hybridation de la source de chaleur**, qui n'est pas possible pour les PACs individuelles.

Récapitulatif. L'EF comme levier « circulaire » de déploiement des PACs sur le marché résidentiel

L'économie de fonctionnalité représente une alternative intéressante pour la filière et les utilisateurs. Ce modèle se base sur des ventes d'usage, qui assurent des revenus continus pour les fournisseurs des PACs et qui viennent compenser les investissements de départ. Outre l'attractivité de ce modèle et les freins qu'il lève à l'acquisition d'une PAC, l'économie de fonctionnalité permet d'inscrire davantage la filière dans l'économie circulaire et répond aux améliorations attendues en termes d'efficacité matières. Ce modèle peut aussi servir à des équipements thermiques appliqués à l'échelle de quartier, ce qui ouvre des perspectives de marché aux pompes à chaleur et renforce leur potentiel de déploiement important.

2. Freins et leviers à la transition de modèle économique de la filière vers l'économie de fonctionnalité

L'économie de fonctionnalité amène les acteurs de la filière à adopter une logique en termes de « services », qui intègre les externalités. Pour faciliter la mise en place d'une telle offre, il est important de visualiser l'organisation qu'elle requiert. Le tableau ci-dessous résume les principaux tenants et aboutissants d'un business model d'économie de fonctionnalité à la filière PAC.

Tableau 6. Business model de l'économie de fonctionnalité en approche CANVA



Source : Matrice d'affaires conçue par Alexander Osterwalder

En plus de cette organisation, il faut recenser les freins et les contraintes à l'établissement d'un tel business model. Trois types d'enjeux sont donc à traiter : **le financement et la mise en place du contrat** (qui constituent la première étape), **l'octroi du service à proprement parlé** (étape intermédiaire – durée de vie de l'équipement in situ) et enfin, **la fin du contrat** (dernière étape).

2.A. Le financement et le contrat

La définition d'un business model d'économie de fonctionnalité suppose une organisation particulière pour l'entreprise, qui se différencie d'un mode classique de « ventes de bien ». Le financement d'une telle offre est le premier aspect à considérer : à la fois pour les usagers, qui doivent trouver l'offre suffisamment intéressante sur le long terme mais aussi pour les investisseurs de départ, qui portent le projet. Les enjeux contractuels à la mise en place d'une offre d'économie de fonctionnalité doivent aussi être étudiés dans un second temps. Il est nécessaire d'analyser les types de contrats envisageables pour la filière, en s'inspirant de contrats existants et en relevant les points de tension à ne pas omettre.

i. Le financement

POUR LES USAGERS

Le financement de l'offre doit pouvoir se compenser par les économies d'énergie réalisées dès le premier mois. Si l'unité retenue est « la performance » de la pompe à chaleur, il est attendu que des économies d'énergie soient réalisées. Cette option rend

l'offre de fonctionnalité encore plus intéressante. Pour renforcer cette attractivité, il pourrait être envisagé d'instaurer une baisse des mensualités, une fois l'équipement et l'installation amortis par le fournisseur du service. Cela rend l'offre de vente d'usage plus attractive que la vente d'équipement pour l'utilisateur. Toutefois, cette option peut être coûteuse pour le prestataire car le besoin de maintenance de l'appareil peut augmenter avec le temps. En effet, l'appareil s'use et est donc plus susceptible d'être réparé. Le besoin en maintenance augmente avec la durée de vie de l'appareil et les dépenses du prestataire risquent d'être alourdies. L'utilisateur doit donc être accompagné par le prestataire, pour optimiser sa consommation du bien et réduire tout risque d'usure avancée. C'est là que la réduction du prix constitue une incitation à faire durer la PAC et un moyen de responsabiliser l'utilisateur¹²⁴.

Cependant, aucun dispositif de soutien n'est adapté au développement de l'économie de la fonctionnalité. Une solution pourrait résider en **la duplication des incitations fiscales et financières existantes lors de l'achat de PAC** (TVA, CITE, CEE, aides ANAH) pour les offres locatives. Le destinataire de l'aide est encore à définir

: s'agit-il du propriétaire de la PAC (autrement dit, le fournisseur) ou de l'utilisateur ? Si elles sont destinées au fournisseur, elles seraient alors déduites du montant final servant à définir la redevance. Si elles sont destinées à l'utilisateur, alors il financerait en partie le coût d'usage. Cette opportunité est à explorer.

Enfin, il ne faut pas oublier les coûts liés **au changement de paradigme et des comportements**. Pour les utilisateurs, un temps d'explication et d'information est à prévoir car l'économie de fonctionnalité induit une redéfinition des rapports entre entreprise et consommateur¹²⁵. Le consommateur « n'est plus la dernière étape du processus de production, il en devient un des parties prenantes »¹²⁶. Toutefois, le changement des comportements est déjà à l'œuvre parmi certains consommateurs et n'est donc **pas à surestimer**.

L'ADEME relève que le « modèle locatif »¹²⁷ constitue une des nouvelles façons de consommer responsable et que « le développement des modèles de location, de la « récup », du « sharing » démontrent la prédominance de l'usage sur la possession du bien¹²⁸ ».

POUR LES INVESTISSEURS

Cette évolution va de pair avec une évolution de l'organisation de l'entreprise et son insertion dans le territoire. L'entreprise doit redéfinir son business model. Or, un business model d'économie de fonctionnalité paraît plus risqué qu'un modèle de vente classique puisque le fournisseur reste propriétaire de l'équipement et assume la charge des aléas. De plus, la mise en œuvre d'un nouveau modèle oblige à faire évoluer l'organisation, la relation-client, la

forme contractuelle (évoqué plus bas). Toutefois, la transition doit se penser en termes de « trajectoire », avec une période où peuvent cohabiter deux modèles¹²⁹.

D'autres leviers existent. Les coûts d'organisation, qui pouvaient apparaître comme des contraintes, sont dorénavant évaluées à travers d'autres logiques marchandes, créatrices de valeurs et qui permettent de répondre aux besoins « complexes et évolutifs »¹³⁰ des clients (à savoir, des objectifs de performances et

un comme précisé plus haut). Il s'agit de s'adapter au mieux aux nouvelles pratiques de consommation et un business d'économie de fonctionnalité est un investissement porteur et novateur, avec peu de concurrence.

A noter qu'il existe des solutions de mutualisation incluant un portage public des collectivités, qui peuvent se dupliquer pour des PACS et qui permettraient d'aider au financement de l'offre/des équipements.

Modèles de financement alternatifs : l'exemple de la mutualisation des réseaux de chaleur dans les collectivités.

Certaines collectivités font le choix de chauffer les bâtiments qui leur sont alloués grâce à des réseaux de chaleur et à une mutualisation des équipements. Les gros réseaux de chaleur s'inscrivent dans **une logique de concession**. Les plus petits s'inscrivent dans **une logique de régie** (avec des investissements directs de la collectivité). Pour les réseaux de taille intermédiaire, les cas se définissent individuellement et l'affermage est possible. Si les collectivités ne peuvent investir entièrement dans un réseau de chaleur mutualisé et mais en manifestent la volonté, **des contrats de type leasing** sont intéressants. Dans ce cas, les collectivités ne sont en charge que de l'achat d'énergie uniquement.

Enfin, **la garantie d'une performance** dans le contrat (si l'unité d'usage retenue est la performance) peut permettre à des inves-

tisseurs autres (pas le fournisseur) de financer l'offre en partie. Cela peut avoir pour effet de renforcer la qualité des équipements, afin de

les rendre performants énergétiquement et d'éviter toute panne, besoin de maintenance etc. en améliorant la qualité matière.

Tableau 7. Financement : les leviers

Prestataire	Bénéficiaire
- Coûts d'organisation valorisables	- Economies d'énergie pour compenser le financement
- Portage public	- Aides à l'achat duplicables
	- Tarif décroissant sur le long terme

ii. Le type de contrat

Nous avons présenté les contrats qui s'appliquent aux bâtiments collectifs (**P1, P2, P3, P4**). D'autres

options sont possibles : les contrats de location longue durée (LDD) ou location avec option d'achat (LOA) et la location à taux zéro, dont

nous présentons les avantages. Il convient aussi de recenser les points de vigilance et les informations essentielles à y inclure.

124. Entretien P. VUIDEL, ATEMIS

125. BOUTILLIER S., VAILEANU-PAUN I., « Economie de fonctionnalité, une nouvelle synergie entre le territoire, la firme et le consommateur ? », Innovations, De Boeck Supérieur, 2012, p. 114

126. Ibid., p. 114

127. ADEME, ATEMIS, Patrice VUIDEL, Brigitte PASQUELIN, Rapport annexe, p. 121

128. Ibid., p. 122

129. Entretien P. VUIDEL, ATEMIS

130. Ibid., p. 116

LES TYPES DE CONTRATS ENVISAGEABLES

Les contrats **de location longue durée (LDD)** ou **les contrats de location avec option d'achat (LOA)**. Le principe du « leasing » est de mettre en relation un particulier et le propriétaire de la PAC, qui loue le service. Il peut s'agir du tiers-financeur ou de l'industriel directement. L'utilisateur paie une somme forfaitaire mensuelle pour bénéficier de la fourniture de chaleur produite par la PAC, dont il n'est pas le propriétaire.

La location à taux zéro constitue un mode de contractualisation envisageable pour un modèle de fonctionnalité. Pour ce faire, les pouvoirs publics doivent mettre en place un crédit d'impôt, dont l'objectif serait de rembourser les intérêts aux investisseurs et propriétaires de la PAC. Il s'agit par ce biais de lever les freins des particuliers, liés aux moyens financiers pour l'acquisition d'une PAC. Cela vient aussi lever les principaux freins qui concernent les montants à investir pour les fournisseurs, qui sont conséquents. Le remboursement des intérêts par les pouvoirs publics permet d'assurer des revenus aux fournisseurs et les lourds investissements de départ dans l'équipement et son installation sont assurés d'être amortis. Le risque financier est donc moins grand. De plus, cela permet au fournisseur de financer les opérations nécessaires au bon fonctionnement de la PAC tout au long du cycle de vie. Comme les autres types de contrat propres à l'économie de fonctionnalité, la location

à taux zéro incite les industriels à concevoir des PACs à la durée de vie optimisée.

LA FORME D'UN CONTRAT

Quelle qu'en soit la nature (P1, P2, P3, P4 ; leasing ; location à taux zéro...), l'établissement d'un contrat d'exploitation de chauffage est essentiel pour poser les contours de l'offre et éviter les dérives. En ce sens, **l'ADEME recommande 6 mois de préparation** pour établir un nouveau contrat. Pour rappel, un contrat se décline en **cinq parties** (au moins). Une partie administrative **(1)** premièrement, qui définit les contractants et l'objet du contrat (la location). Une partie juridique **(2)**, qui inclue la durée du bail (date de début et date de fin de contrat de location) afin de prévenir une rupture de contrat rapide, les obligations contractuelles, les clauses de pénalité. La partie financière **(3)** ensuite, qui est obligatoire : le coût de la prestation, ainsi que les modalités de paiement doivent être explicités. La quatrième partie **(4)** est relative aux enjeux techniques : quel est le champ des interventions, les clauses, les assurances. Ici, les clauses peuvent être de plusieurs natures. Dans le cas d'une offre de fonctionnalité liée aux PACs, il peut être question d'exiger un dépôt de garantie au locataire, restitué par le propriétaire de la PAC à la fin du contrat. Il faut aussi décider des modalités d'entretien et de réparation. Celles-ci peuvent être forfaitaires ou sur présentation de factures.

Un plafond est fixé, comme dans le cas des LDD ou LOA d'automobiles. Les modalités d'interruption de contrat doivent aussi être établies. Dans le cadre de LOA/LDD d'automobiles, si le locataire décide de suspendre le contrat, il doit prévenir le propriétaire 60 jours avant et régler toutes les sommes dues. Une clause semblable peut se décliner pour un contrat de location de PAC. Enfin, une dernière partie **(5)** doit prendre la forme d'un inventaire des matériels.

Certains points doivent faire l'objet d'une vigilance de la part des contractants : les clauses à ajouter, la définition des pénalités (en cas de non-respect des températures contractuelles par exemple ou de non-renouvellement des installations), la durée du marché, la durée de reconduction tacite et les conditions de facturation.

2.B. Durée de vie du contrat

Une fois la valeur d'usage ainsi que le contrat définis, il est important que la durée de vie de la PAC in situ soit optimisée et qu'aucun frein d'ordre contractuel ne dégrade sa performance.

a. Les enjeux

Les fondateurs de l'entreprise **Boostheat**¹³¹, entreprise qui propose des offres locatives, rappelle néanmoins les inconvénients d'une offre de location à taux zéro.

Premièrement, **le crédit est attaché à l'individu**, pas à la l'habitation.

Par conséquence, si maison est vendue, la question de la poursuite du paiement se pose. Est-ce que l'individu doit continuer le remboursement même s'il n'a plus usage du service rendu par la pompe à chaleur ? Les utilisateurs potentiels peuvent donc être réfractaires à faire un crédit. Autre cas complexe : l'achat d'une maison par un nouvel individu, qui ne souhaite pas « acheter avec » une location de PAC. **Le turnover des habitations** est un enjeu tout particulier pour les fournisseurs du service. Enfin, si une personne ne veut/peut plus payer la location, l'entreprise est en droit d'enlever l'équipement : or, la maison non-chauffée deviendra insalubre et la question de la responsabilité se pose. Il en va de même pour la question de précarité énergétique, si l'habitation est toujours occupée. Ces enjeux sont communs aux précédents types de contrats précédemment présentés (leasing, offre similaire aux bâtiments collectifs).

Sur ce type de marché, il est donc essentiel de se pencher sur **le risque d'impayé**. Un impayé peut être dû à une cession de bâtiment, à une vacance de bâtiment ou à toute autre raison relative aux propriétaires du bâtiment (perte d'autonomie, incapacité à

travailler etc.). Rappelons que les revenus constituent une partie du remboursement des investissements initiaux fournisseurs et qu'ils sont nécessaires au financement des activités relatives à la maintenance, réparation, reconditionnement etc. qui allongent la durée de vie du produit. La poursuite du service ou son annulation, avec récupération de la PAC doivent être étudiées.

De plus, si un impayé conduit à une cessation du service rendu, deux autres effets négatifs peuvent survenir et la responsabilité du fournisseur doit être définie.

- **L'inaptitude à l'usage qui conduit à la dégradation du bâtiment.**

L'insalubrité d'un bâtiment est déclarée lorsqu'il présente un danger pour la santé ou la sécurité de ses occupants ou le voisinage. Plusieurs critères d'évaluation sont pris en compte : la structure, l'étanchéité et l'isolation thermique du bâtiment, la présence de plomb ou d'amiante, le raccordement à des circuits d'équipements collectifs. Si plusieurs éléments sont défaillants, une procédure est mise en place par le préfet. En fonction du degré d'urgence, le bâtiment est évacué ou démolit¹³².

- **Un phénomène de précarité énergétique, si le bâtiment est toujours habité.**

La précarité énergétique est

traitée par la loi du 12 juillet 2010¹³³ portant engagement national pour l'environnement en pose la définition suivante « est en situation de précarité énergétique une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat ». Cette notion fait le lien entre les ressources et les conditions d'habitat. Elle met aussi en lumière les conséquences négatives sur la santé d'une situation de précarité énergétique¹³⁴.

b. Les leviers

Pour contrer ces effets, **des clauses d'assurance** doivent être définies dans le contrat, en amont. Par exemple, la société ENGIE Home Service (filiale d'ENGIE) propose une assurance facultative (Décès, Perte Totale et Irréversible d'Autonomie, Incapacité Temporaire ou Totale de Travail) pour ses offres de confort thermique intégrée. Une réflexion doit se mener en lien avec les assurances, afin d'éviter les deux effets négatifs dus à des impayés (insalubrité et précarité énergétique).

Un autre levier réside dans **la mise en place d'un fond de garantie**, au global.

131. Entretien T. MARCHAIS, Boostheat

132. Circulaire du 8 février 2019 relative au renforcement et à la coordination de la lutte contre l'habitat indigne

133. Loi n°2010-788

134. ADEME, Expertise, Précarité énergétique, de quoi parle-t-on, mars 2017

Tableau 8. Le contrat

Freins et risques	Leviers
- Impayé(s), cession de contrat, turnover des habitations - Insalubrité du bâtiment, précarité énergétique	- Clauses d'assurance (décès, perte totale et irréversible d'autonomie, incapacité temporaire ou totale de travail...) - Mise en place d'un fond de garantie au global (public ou privé)

2.C. Fin du contrat

La fin du contrat nécessite d'être réfléchi. Si le contrat n'est pas reconduit, la question de la gestion de l'équipement se pose, notamment de sa récupération par le propriétaire. Comme présenté précédemment, la récupération de l'équipement sur site est une opération délicate car elle suppose de démonter l'appareil et

de manipuler les fluides.

Un aspect doit être pris en compte et peut permettre de prévenir et préparer toute opération de démontage. Selon **l'article L. 215-1 du Code de la consommation**, le propriétaire est obligé d'informer le consommateur (au plus tôt **3 mois avant la fin du contrat et au plus tard 1 mois avant**) de la fin du contrat et d'une potentielle

reconduction tacite (qui implique que le contrat est renouvelé à terme). Si le contrat venait à ne pas être renouvelé par l'utilisateur, le propriétaire de la PAC disposerait d'un temps suffisamment long pour engager les démarches nécessaires au démontage de la PAC et organiser une logistique inverse (récupération du matériel, reconditionnement, remontage ex-situ ou remanufacturing etc.).

Tableau 9. Récapitulatif : les leviers au passage à l'économie de fonctionnalité

FREINS	LEVIERS
Enjeux contractuels et assurantiels	- S'inspirer des contrats existants : (P1, P2, P3, P4) sur le parc collectif, - Etudier les opportunités/contraintes liées à la mise en œuvre de différents modèles contractuels : - o une location avec option d'achat (LOA), - o une location longue durée (LDD), - o les crédits « longue durée », - Analyser le cas "transfert locatifs" entre propriétaires successifs des bâtiments.
Enjeux économiques et financiers	- Etudier les contraintes liées au modèle de financement : des investissements initiaux importants de la part des industriels ou tiers-financeurs sont à prévoir. - Permettre aux ménages de financer le coût locatif de l'équipement grâce aux économies réalisées dès le premier mois. - Veiller à ce que les incitations financières déjà à l'œuvre lors de l'achat d'une PAC (TVA, CITE, CEE, aides ANAH) soient également applicables dans le cadre d'un contrat de location.
Enjeux comportementaux et organisationnels	- Intégrer le changement de comportement (pour les industriels et les utilisateurs) - Intégrer le coût de l'organisation

Conclusion

Le mode de fonctionnement des PACs s'inscrit dans les principes d'économie circulaire : un usage sobre des ressources, une optimisation des flux calorifiques, une production d'énergies renouvelables etc. La filière prend déjà en compte les contraintes en termes d'efficacité énergétique et de fluides frigorigènes à fort impact carbone.

L'efficacité matière, quant à elle, doit être davantage développée. Les industriels de la filière, en réalisant collectivement des fiches PEP qui définissent l'impact environnemental des PACs ont fait un premier pas vers l'éco-conception de leurs équipements. L'ensemble des acteurs de la filière doivent travailler à l'allongement de la durée de vie des produits et pour ce faire, les boucles de valorisation des PACs en amont du recyclage doivent être renforcées.

Il est nécessaire de lever certains blocages existants. Par exemple, la maturité du parc, encore en déploiement, ne permet pas de réaliser les économies d'échelle inhérentes aux activités de remanufacturing. Des progrès sont réalisables à moyen terme et certaines incitations publiques permettraient de contribuer à l'amélioration de l'efficacité matière.

La filière contribue d'ores-et-déjà à la transition écologique et solidaire et souhaite contribuer activement à l'atteinte des objectifs de la Stratégie Nationale

Bas Carbone. Dans le but d'assurer un déploiement massifié du parc de PACs en l'ancrant dans les principes de l'économie circulaire, il est nécessaire de mieux valoriser les bénéfices environnementaux et socio-économiques dus à la PAC et d'encourager les activités de réemploi, de reconditionnement et de remanufacturing au sein de la filière.

Le développement d'un modèle d'économie de fonctionnalité est un levier à explorer pour atteindre ces objectifs. Cela suppose de lever les freins au niveau du financement et de la contractualisation d'un tel modèle pour les industriels. Les solutions disponibles sur le logement collectif ou à l'international sont à étudier. Le modèle d'économie de fonctionnalité incite à l'allongement de la durée de vie des équipements et viendrait ainsi pleinement ancrer la filière dans l'économie circulaire.

Annexe - Les aides publiques à l'acquisition de PAC - 2019

- **Le CITE** (crédit d'impôt pour la transition énergétique)

Le crédit d'impôt pour la transition énergétique s'applique à certains travaux de rénovation du logement, qui le rendent moins « énergivore ». Le CITE permet de financer jusqu'à 30% du matériel pour une PAC et finance la pose de l'échangeur souterrain s'il s'agit d'une PAC géothermique. Les conditions d'octroi du CITE sont en révision pour 2020. Il est nécessaire que les travaux réalisés soient faits par une entreprise « RGE ».

A noter que la PAC air-air n'est pas éligible au CITE.

- **Le coup de pouce « certificat d'économie d'énergie »**

Le dispositif des Certificats d'Economie d'Energie (CEE) a été créé en 2006. Il constitue l'un des principaux instruments de la politique de maîtrise de la demande énergétique et repose sur « une obligation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie ». Les vendeurs d'énergie (électricité, gaz, GPL, chaleur et froid, fioul domestique), appelés « obligés » sont incités à promouvoir l'efficacité énergétique auprès de leurs clients.

Le coup de pouce CEE a été lancé en 2019. Il s'agit d'un mécanisme de bonification qui se base sur les CEE et qui bonifie les PACs dans le cadre du remplacement accéléré des chaudières à combustible fossile (autres qu'à condensation). Pour les ménages modestes ou en

situation de précarité énergétique, cela correspond à une prime pouvant aller jusqu'à 4000 euros. C'est l'Etat français qui choisit de donner aux vendeurs d'énergies des certificats : ces derniers obtiennent un bonus CEE, lui-même incitatif pour donner un coup de pouce financier aux particuliers.

- **L'éco prêt à taux zéro**

Dans le but d'encourager les rénovations lourdes des logements existants, l'Etat a mis en place deux dispositifs dont l'éco prêt à taux zéro. Il est valable pour les travaux visant une amélioration de la performance énergétique des bâtiments. C'est l'article 184 de la loi de finances du 28 décembre 2018 qui l'instaure.

- **La réduction de la TVA**

Le projet de loi de Finances pour 2019 prévoit le maintien de la TVA réduite, c'est-à-dire limitée à 5,5% au lieu de 20%, pour les travaux de « rénovation thermique » éligibles au CITE. Dans ce cadre, l'installation de la pompe à chaleur en fait partie.

Les travaux d'amélioration, de transformation, d'aménagement ou d'entretien non-concernés par le CITE bénéficient d'un taux intermédiaire de 10%, s'ils sont réalisés sur des logements d'habitation achevés depuis plus de 2 ans. Dans les départements de Guadeloupe, Martinique et La Réunion, le taux applicable est de 2,1%.

Les PACs air-air ne sont pas éligibles à la TVA réduite.

- **Les aides de l'ANAH** (concernent les ménages modestes et très modestes)

Les aides de l'Agence Nationale de l'Habitat sont réservées aux propriétaires de leur habitation principale de plus de 15 ans. Elles sont en direction des foyers modestes et très modestes, en priorité. Elles visent à financer un certain pourcentage des travaux de rénovation. Ces aides se déclinent en deux types :

- o L'aide « Habiter Mieux Sérénité », qui est réservée à un ensemble de travaux de rénovation énergétique
- o L'aide « Habiter Mieux Agilité » : réservée aux travaux d'urgence.

L'Anah est représentée dans chaque département métropolitain par une délégation locale, nommée **Direction départementale des territoires et/ou de la Mer (DDT/M)**. C'est le préfet qui décide de l'attribution des aides. Les habitats d'un territoire peuvent faire l'objet d'une opération programmée entre l'Anah et la collectivité locale : dans ce cas, les propriétaires

occupants et les bailleurs sont incités à effectuer des travaux en fonction des priorités locales définies dans le contrat. Autre cas de figure : les habitats d'un territoire ne rentrent pas dans le périmètre d'une opération programmée. Il s'agit d'un secteur « diffus ». Les subventions de l'Anah ne sont pas de droit et les décisions sont prises au niveau local. Les « priorités nationales sont adaptées en fonction des contextes propres à chaque territoire et des moyens disponibles » et les projets sont étudiés sous différents aspects : économique, social, environnemental et technique. De ce fait, les subventions de l'Anah ne sont pas de la même ampleur dans toutes les régions.

1. Article 200 quater du Code général des impôts, en vigueur au 24 avril 2019
2. Direction de l'information légale et administrative, Fiche Pratique, Le CITE, janvier 2019
3. Ministère de la transition écologique et solidaire, Dispositif des Certificats d'économies d'énergie, juillet 2018
4. Modification de la loi n°2008-1425 du 27 décembre 2008 – art. 99 (V)
5. Code général des impôts : articles 278-0 bis à 279

ADEME, Fiche technique, *La chaleur fatale*, septembre 2017

ADEME, Fiche technique, *Les pompes à chaleur électriques pour l'habitat individuel*, juin 2012

ADEME, Fiche technique, *L'économie de fonctionnalité : de quoi parle-t-on ?*, mai 2017

ADEME, Avis, *Les énergies renouvelables et de récupération*, décembre 2017

ADEME, Guide pratique, *Contrats d'exploitation de chauffage en copropriétés*, 2012

ADEME, Infographie, *A quoi sert la taxe carbone ?*, janvier 2019

ADEME, *Rapport annuel de l'observatoire des gaz fluorés*, 2017

ADEME, *Visions 2035-2050, 2017* (version révisée)

ADEME, ATEMIS, Patrice VUIDEL, Brigitte PASQUELIN, Rapport annexe, *Vers une économie de la fonctionnalité à haute valeur environnementale et sociale en 2050. Les dynamiques servicielle et territoriale au cœur du nouveau modèle, 2017.*

ADEME, Expertise, *Précarité énergétique, de quoi parle-t-on*, mars 2017

ANAH, *Le Guide des aides*, établi au 1er janvier 2018

AQC, *Rapport, réparabilité des équipements thermiques*, publication à venir

CEREMA, Définition, *Chaleur fatale*, avril 2014

Commissariat général au développement durable (CGDD), *Chiffres clés des énergies renouvelables, Edition 2018*

Commission européenne, Communiqué : *Ecodesign Working Plan 2016-2019*, « Contribution to the circular economy », novembre 2016

Direction de l'information légale et administrative, Fiche Pratique, Le CITE, janvier 2019

LE MOIGNE R. L'économie circulaire, *Stratégie pour un monde durable*, Editions Dunod, 2018

Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES), *Energie dans les bâtiments*, novembre 2016

Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES), *Dispositif des Certificats d'économies d'énergie*, juillet 2018

Ministère de la transition écologique et solidaire, *L'économie de fonctionnalité*, février 2019

Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES), Synthèse, *Programmation pluriannuelle de l'énergie*, mars 2019

Observ'ER, *Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles*, 2019

Observ'ER, *Suivi du marché des pompes à chaleur individuelles*, 2018

ARTICLES

Fondation Concorde, « *L'économie de fonctionnalité : vers un modèle économique durable* », *Nouvelles visions*, novembre 2010

ThermPress n°998. « *La pompe à chaleur au cœur des systèmes d'énergie & la PAC du futur* »

BOUTILLIER S., VAILEANU-PAUN I., « *Economie de fonctionnalité, une nouvelle synergie entre le territoire, la firme et le consommateur ?* », *Innovations*, De Boeck Supérieur, 2012

WEISS B., « *La grande glaciation des HFC* », Alternatives économiques Environnement +, publié le 25/04/2018

THÈSE

KROEJGAARD K. M., MAAGENSEN M., *Conceptualisation of a Product/Service-System to increase the Use of Heat Pumps in Danish Households*, août 2013.

TEXTES JURIDIQUES

Echelle européenne

Directive 2012/27/UE du Parlement Européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique

Directive européenne 2012/19/UE du Parlement Européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

Règlement (UE) n°15/2014 sur F-Gas

En France

Article L541-1-1 du Code de l'environnement

Article 200 quater du Code général des impôts, en vigueur au 24 avril 2019

Code général des impôts : articles 278-0 bis à 279

Arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques climatiques

Arrêté du 21 septembre 2007 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments neufs en France métropolitaine

Décret n°2010-349 du 31 mars 2010 relatif à l'inspection périodique des systèmes de climatisation et des PACs réversibles dont la puissance frigorifique est supérieure à 12 kW

Décret n° 2012-1530 du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments

Décret n°2015-1491 du 18 novembre 2015 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas-carbone

Décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie

Circulaire du 8 février 2019 relative au renforcement et à la coordination de la lutte contre l'habitat indigne

DOCUMENTS AFPAC

Statistiques marché de la PAC – CR AFPAC – 24 octobre 2018

La pompe à chaleur, une réponse au défi CO2, AFPAC, Octobre 2017

La pompe à chaleur, De nos ambitions 2030 à nos perspectives 2050, AFPAC, Avril 2018

Le poids de la filière PAC en France, Chiffres année 2018, AFPAC

ENTRETIENS

E. BATAILLE, Groupe ATLANTIC

R. BOUQUET, Synasav

J.-F. CERISE, FFB

J.-P. CHIRAT, Saint-Gobain Distribution

J.-M. DENOYEL, DGEC

F. DEROCHE, Daikin

V. LAPLAGNE, UniClima

E. LAURENTIN, Conciliateur de Justice

T. MARCHAIS, Boostheat

T. NILLE, De Dietrich

P. VIUDEL, ATEMIS

Étude

Les filières pompes à chaleur au prisme de l'économie circulaire