

La Pompe à Chaleur du futur

Intelligence et connectivité



La pompe à chaleur au cœur de votre confort

A propos de l'AFPAC - www.afpac.org

Créée en février 2002, l'Association Française pour les Pompes À Chaleur, association de filière exclusivement dédiée à la PAC, est l'interlocuteur privilégié des pouvoirs publics et de tous les acteurs du domaine des pompes à chaleur en France et en Europe, afin de faire valoir l'intérêt énergétique et environnemental des systèmes de production de chaleur par pompe à chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire), et la contribution actuelle et future qu'ils apportent au développement des énergies renouvelables.

En coordination avec ses membres – Energéticiens, Bureaux d'Etudes, Centres d'Essais, Centres Techniques, de contrôle et certification, Industriels-fabricants, Distributeurs, Installateurs, Associations, Organisations syndicales –, l'AFPAC suit et contribue aux travaux réglementaires, de normalisation, de qualification et de certification, françaises et européennes, sur les pompes à chaleur et les systèmes les utilisant. L'AFPAC s'assure à l'échelle européenne de la présence et de la cohérence de la représentativité des acteurs de la filière PAC en France. A ce titre l'AFPAC est l'interlocuteur privilégié de l'EHPA.

Par son expertise et sa représentativité, l'AFPAC crée, met en place et active les conditions nécessaires à la promotion des PAC, à la qualité de leur mise en œuvre et à la satisfaction de leurs utilisateurs.



Préface du Président

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 d'économie circulaire.

Elle se décline sous différentes technologies afin de subvenir aux besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Dans certaines conditions, elle peut également apporter du rafraîchissement l'été lors des « grandes chaleurs », qui deviennent de plus en plus fréquentes.

Les PAC sont les produits de chauffage les mieux placés sur l'étiquette énergie ; cette étiquette permet de visualiser toutes les vertus des solutions thermodynamiques, efficaces, économiques et qui préservent l'environnement.

La pompe à chaleur exige l'excellence, et depuis sa création l'AFPAC a toujours œuvré pour la qualité des installations. Le numérique se développe à grands pas et touche tous les domaines de notre société. C'est pourquoi l'AFPAC se devait d'apporter un éclairage à la filière pour qu'elle intègre cette dimension incontournable dans son développement.

Devant la multitude d'offres de services proposées sur le marché, l'AFPAC a souhaité mettre à disposition des industriels et des entreprises, une analyse sur les fonctionnalités que devront intégrer les pompes à chaleur pour répondre aux attentes des consommateurs et rester au cœur du confort thermique du logement.

Eric BATAILLE
Président de l'AFPAC

Sommaire

1.	Introduction	9
2.	Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur intelligente ?	11
3.	Les fonctions principales ou fonctions d'usage	13
4.	Les actions qui servent les fonctions d'usage	15
5.	Technologies associées à l'intelligence.....	17
5.1.	Mise en service	17
5.2.	Le chauffage	18
5.3.	La production d'eau chaude sanitaire.....	19
5.4.	Le rafraîchissement.....	20
5.5.	Maintenance	21
6.	Cartographie fonctionnelle.....	23
7.	Enjeux et perspectives	25
7.1.	Connectivité.....	25
7.2.	Optimisation des sources	26
8.	Conclusion	29

1. Introduction

La loi de transition énergétique met en évidence la nécessité de réaliser des économies d'énergie, de développer les énergies renouvelables, et l'économie circulaire. Au sein de l'AFPAC, une réflexion prospective a été menée pour donner un éclairage à la filière sur les évolutions technologiques à amorcer. Avec le développement des objets connectés, de nouveaux acteurs liés au numérique apparaissent. Comment se positionne la pompe à chaleur parmi ces offres ?

Les pistes de réflexion qui sont explorées ci-après sont les suivantes :

La PAC dans son environnement futur

- La pompe à chaleur idéale imaginée par le client et les acteurs de la filière
- L'hybridation sous toutes ses formes
- La valorisation de l'énergie fatale
- L'îlotage thermique à travers des boucles tièdes
- La flexibilité, le stockage, l'autoconsommation

La PAC et le développement du numérique

- La pompe à chaleur intelligente
- La pompe à chaleur connectée
- Quelles datas ?
- Quels services associés aux datas ?
- Quelle contribution en interaction avec le réseau électrique ?

2. Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur intelligente ?

Une pompe à chaleur intelligente est un générateur thermodynamique qui fournit le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire et/ou le rafraîchissement dans un bâtiment en assurant le confort souhaité par les occupants (confort thermique, confort d'usage, confort acoustique), tout en minimisant l'impact environnemental, la consommation et la facture énergétiques, et en facilitant l'installation, la mise en service et la maintenance, sans affecter la qualité de l'air intérieur et l'esthétique.

La pompe à chaleur intelligente Smart PAC ajuste son fonctionnement, sa puissance et les températures qu'elle fournit en traitant et en interagissant avec un ou plusieurs des éléments suivants, selon leurs valeurs observées, actuelles ou anticipées :

- Besoins de confort du bâtiment et des occupants,
- Conditions thermiques intérieures, extérieures et des sources froides,
- Besoins ou signaux reçus du réseau électrique (fournisseur d'énergie, gestionnaire de réseau),
- Fonctionnement d'autres systèmes de génération de chaleur ou de production locale d'électricité,
- État du stockage de chaleur et du réseau de distribution de chaleur.

La PAC intelligente peut fournir des informations, par des interfaces adaptées, aux propriétaires du bâtiment, aux occupants et aux exploitants sur la consommation d'énergie effective, le rendement énergétique, la facture énergétique, l'état de fonctionnement. Elle peut aussi signaler des défauts de fonctionnement et des besoins de maintenance préventive.

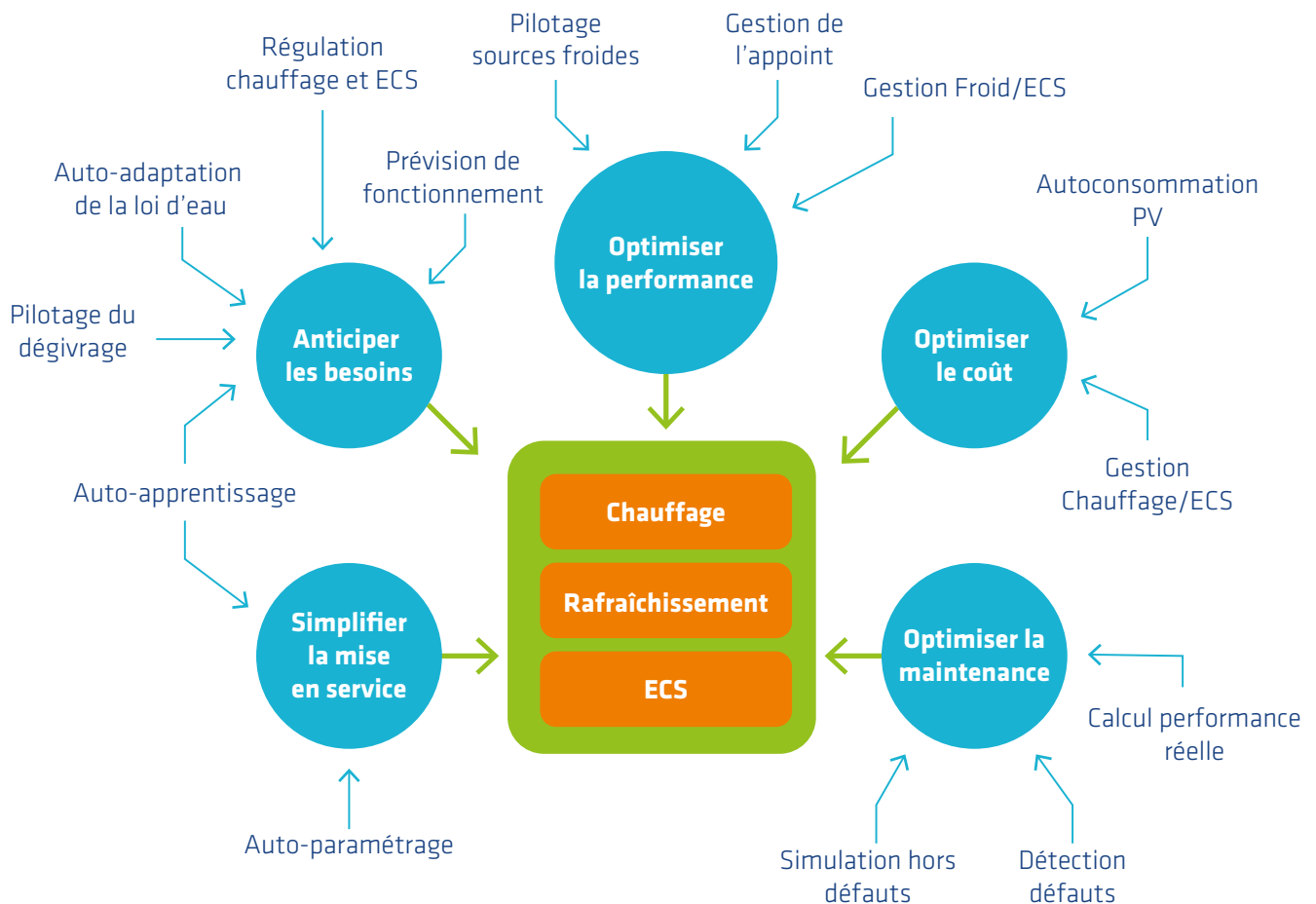
3. Les fonctions principales ou fonctions d'usage

L'attente exprimée par les utilisateurs de pompe à chaleur correspond à la mise à disposition du confort dans leur logement autour de fonctions principales qui sont :

- Le chauffage
- La production d'eau chaude (ECS)
- Le rafraîchissement dans certains cas afin d'assurer le « confort d'été »

La réponse à cette attente doit se faire avec des outils esthétiques, conviviaux dans la communication lors de réglages ou de programmations, et qui se font « oublier » dans leur fonctionnement, sauf pour signaler un besoin d'intervention ou répondre aux informations demandées par l'utilisateur ou le professionnel.

4. Les actions qui servent les fonctions d'usage



Les fonctions d'usage définies précédemment ne sont remplies selon les attentes de l'utilisateur que si une « intelligence » assure le déroulement d'actions telles que :

- Simplifier la mise en service
- Anticiper les besoins
- Optimiser la performance
- Optimiser les coûts
- Optimiser la maintenance.

5. Technologies associées à l'intelligence

5.1. Mise en service

Fonctionnalité		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimiser et simplifier la mise en service
Intelligence	Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimisation du COP ▪ Optimisation du coût de mise en service
	Moyens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capteurs intégrés ▪ Connexion sécurisée : embarquée ou déportée (via le cloud) ▪ Algorithmes d'auto-apprentissage ▪ Algorithmes d'auto-paramétrage
Données d'entrée		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température Intérieure ▪ Température des sources froides disponibles ▪ Données météo Géolocalisation ▪ Température départ et retour d'eau
Technologies associées		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tablettes ▪ BIM ▪ Carnet de bord numérique
Interactions avec d'autres fonctionnalités ou d'autres usages		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ne pas dégrader le confort

5.2. Le chauffage

Fonctionnalité		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atteindre la consigne à l'intérieur du bâtiment
Intelligence	Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité à anticiper les besoins ▪ Optimisation du COP ▪ Optimisation du coût
	Moyens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connexion sécurisée : embarquée ou déportée (via le cloud) ▪ Algorithmes d'auto-apprentissage ▪ Algorithmes d'auto-adaptation de la loi d'eau ▪ Algorithmes de gestion de l'appoint ▪ Régulation optimisée ▪ Algorithmes de gestion des fonctions chauffage et ECS ▪ Métrologie : capteurs intégrés ▪ Algorithmes prévision du fonctionnement ▪ Pilotage des sources froides ▪ Algorithmes d'optimisation de l'autoconsommation PV ▪ Algorithmes d'optimisation et du pilotage du dégivrage
Données d'entrée		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température intérieure ▪ Température des sources froides disponibles ▪ Température dans le ballon, éventuellement à plusieurs niveaux ▪ Température départ et retour d'eau ▪ Temps de fonctionnement du compresseur ▪ Prévisions tarifaires (issues du gestionnaire de réseau et du fournisseur d'énergie) ▪ Débit eau chauffage ▪ Position vanne trois voies ▪ Données météo Géolocalisation ▪ Présence de l'occupant
Technologies associées		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combinaison multi-sources froides (Air, Eau, Solaire, Eaux usées) ▪ Stockages ▪ Association avec le PV ▪ Utilisation de fluides à bas GWP
Interactions avec d'autres fonctionnalités ou d'autres usages		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sécurité sanitaire (fluides, pression, température) ▪ Ne pas dégrader le confort ECS

5.3. La production d'eau chaude sanitaire

Fonctionnalité		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fournir de l'eau chaude sanitaire en quantité et à la température souhaitées
Intelligence	Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capable d'anticiper les besoins ▪ Optimisation du COP ▪ Optimisation du coût
	Moyens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connexion sécurisée : embarquée ou déportée (via le cloud) ▪ Algorithmes d'auto-apprentissage ▪ Algorithmes de régulation centralisée ou par point de puisage ▪ Algorithmes de gestion de l'appoint ▪ Régulation optimisée ▪ Métrologie : capteurs intégrés ▪ Algorithmes de prévision du fonctionnement ▪ Pilotage des sources froides ▪ Algorithmes d'optimisation de l'autoconsommation PV
Données d'entrée		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température de l'eau froide ▪ Température des sources froides disponibles ▪ Température dans le ballon, éventuellement à plusieurs niveaux ▪ Temps de fonctionnement du compresseur ▪ Prévisions tarifaires (issues du gestionnaire de réseau et du fournisseur d'énergie) ▪ Données météo Géolocalisation
Technologies associées		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combinaison multi-sources froides (Air, Eau, Solaire, Eaux usées) ▪ Stockages ▪ Association avec le PV ▪ Utilisation du CO₂ par Cycle transcritique ou utilisation fluide bas GWP
Interactions avec d'autres fonctionnalités ou d'autres usages		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sécurité sanitaire (fluides, pression, température) ▪ Ne pas dégrader le confort chauffage ▪ Production simultanée froid/ECS

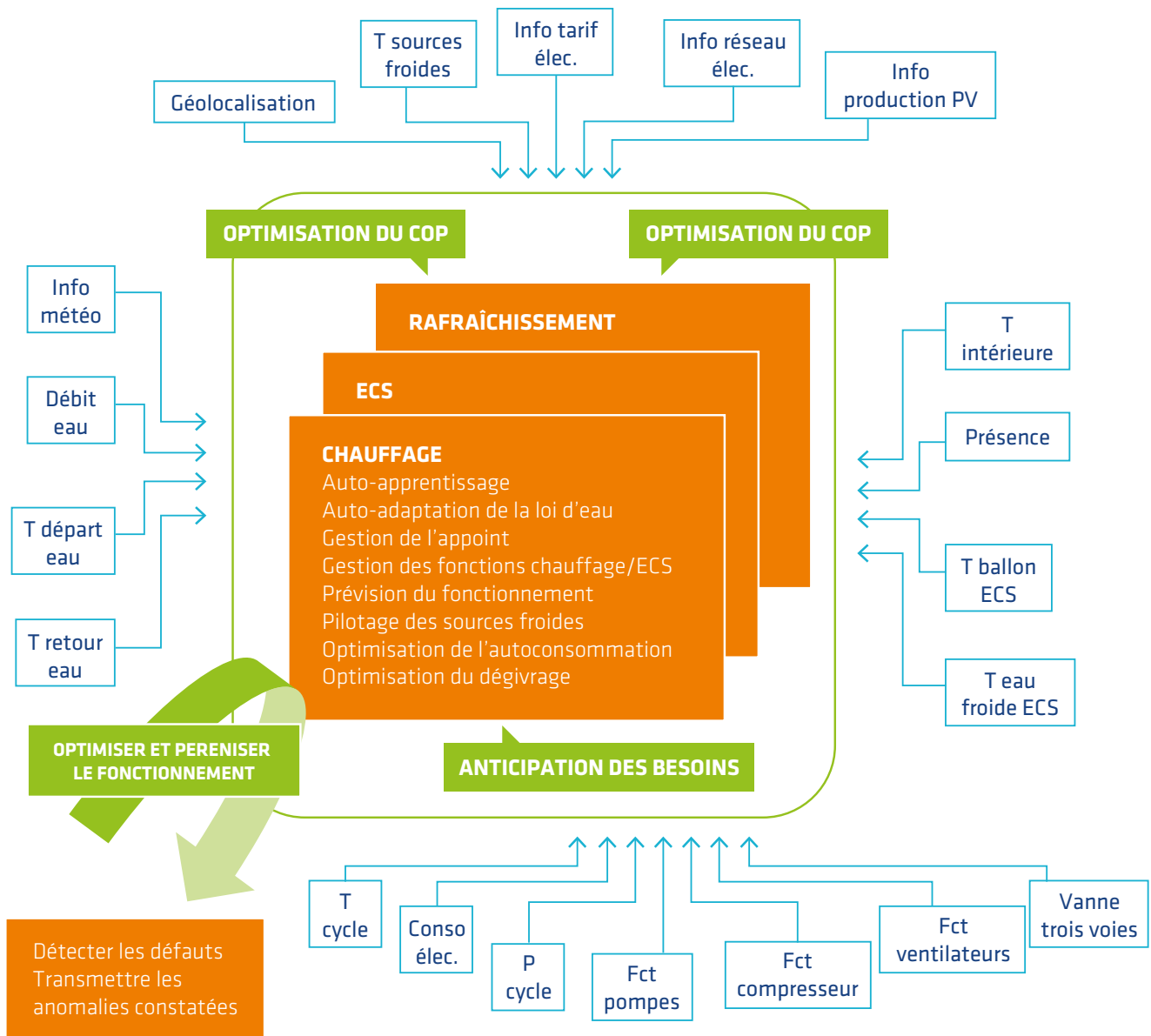
5.4. Le rafraîchissement

Fonctionnalité		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atteinte de la consigne à l'intérieur du bâtiment (climatisation ou réduction de la température)
Intelligence	Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité à anticiper les besoins ▪ Optimisation du COP ▪ Optimisation du coût
	Moyens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connexion sécurisée : embarquée ou déportée (via le cloud) ▪ Algorithmes d'auto-apprentissage ▪ Algorithmes d'auto-adaptation de la loi d'eau (température limite pour éviter la condensation sur certains émetteurs) ▪ Algorithme de gestion des fonctions froid et ECS ▪ Métrologie : capteurs intégrés ▪ Algorithmes de prévision du fonctionnement ▪ Pilotage des sources froides en production ECS ▪ Algorithme d'optimisation de l'autoconsommation PV
Données d'entrée		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température intérieure ▪ Température des sources froides disponibles ▪ Température dans le ballon, éventuellement à plusieurs niveaux ▪ Température départ et retour d'eau ▪ Position vanne trois voies ▪ Temps de fonctionnement du compresseur ▪ Prévisions tarifaires (issues du gestionnaire de réseau et du fournisseur d'énergie) ▪ Données météo Géolocalisation
Technologies associées		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combinaison multi-sources (Air/Eau/Solaire/Eaux usées) ▪ Stockages ▪ Association avec le PV ▪ Utilisation fluide bas GWP
Interactions avec d'autres fonctionnalités ou d'autres usages		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sécurité sanitaire (fluides, pression, température) ▪ Ne pas dégrader le confort ECS

5.5. Maintenance

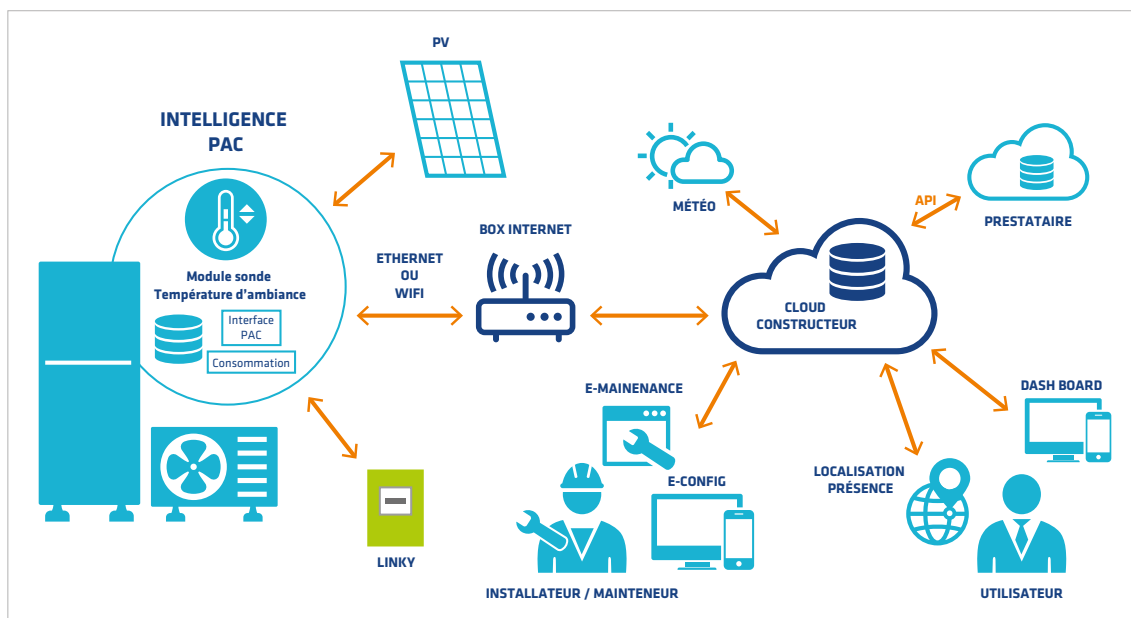
Fonctionnalité		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimiser et pérenniser le fonctionnement
Intelligence	Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection des défauts ▪ Optimisation du COP ▪ Optimisation du coût ▪ Transmettre les anomalies constatées ▪ Analyse de certains défauts
	Moyens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Connexion sécurisée : embarquée ou déportée (via le cloud) ▪ Algorithmes d'auto-apprentissage ▪ Algorithmes de simulation hors défauts (performances attendues) ▪ Algorithmes de détection de défauts (écart entre paramètres réels et attendus) ▪ Métrologie : capteurs intégrés ▪ Algorithmes de calcul de la performance réelle
Données d'entrée		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température intérieure ▪ Température des sources froides disponibles ▪ Température dans le ballon, éventuellement à plusieurs niveaux ▪ Temps de fonctionnement du compresseur ▪ Etat de fonctionnement des pompes et ventilateurs ▪ Température départ et retour d'eau ▪ Position vanne trois voies chauffage / ECS ▪ Températures et pressions du cycle ▪ Prévisions tarifaires (issues du gestionnaire de réseau et du fournisseur d'énergie) ▪ Données météo Géolocalisation ▪ Consommations électriques
Technologies associées		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation des capteurs, sondes, embarquées pour définir les scénarios de pannes probables ▪ Utilisation d'APP smartphone pour accompagnement au dépannage ▪ Utilisation d'APP smartphone pour commander la pièce et dépanner rapidement.
Interactions avec d'autres fonctionnalités ou d'autres usages		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ne pas dégrader le confort

6. Cartographie fonctionnelle



7. Enjeux et perspectives

7.1. Connectivité



Une PAC connectée est composée physiquement de plusieurs modules communiquant entre eux pour assurer la régulation de température intérieure du logement : liaison entre le module d'ambiance et la PAC (liaisons filaires ou radio) et nécessairement liaison vers internet.

Une PAC connectée doit permettre la mise à disposition d'une application du constructeur pour la commande par l'utilisateur et le retour d'informations :

- Programmation temporelle plus aisée et choix multiple des consignes de confort grâce à une interface plus ergonomique (via smartphone)
- Dérogation au programme et modification à distance des consignes.

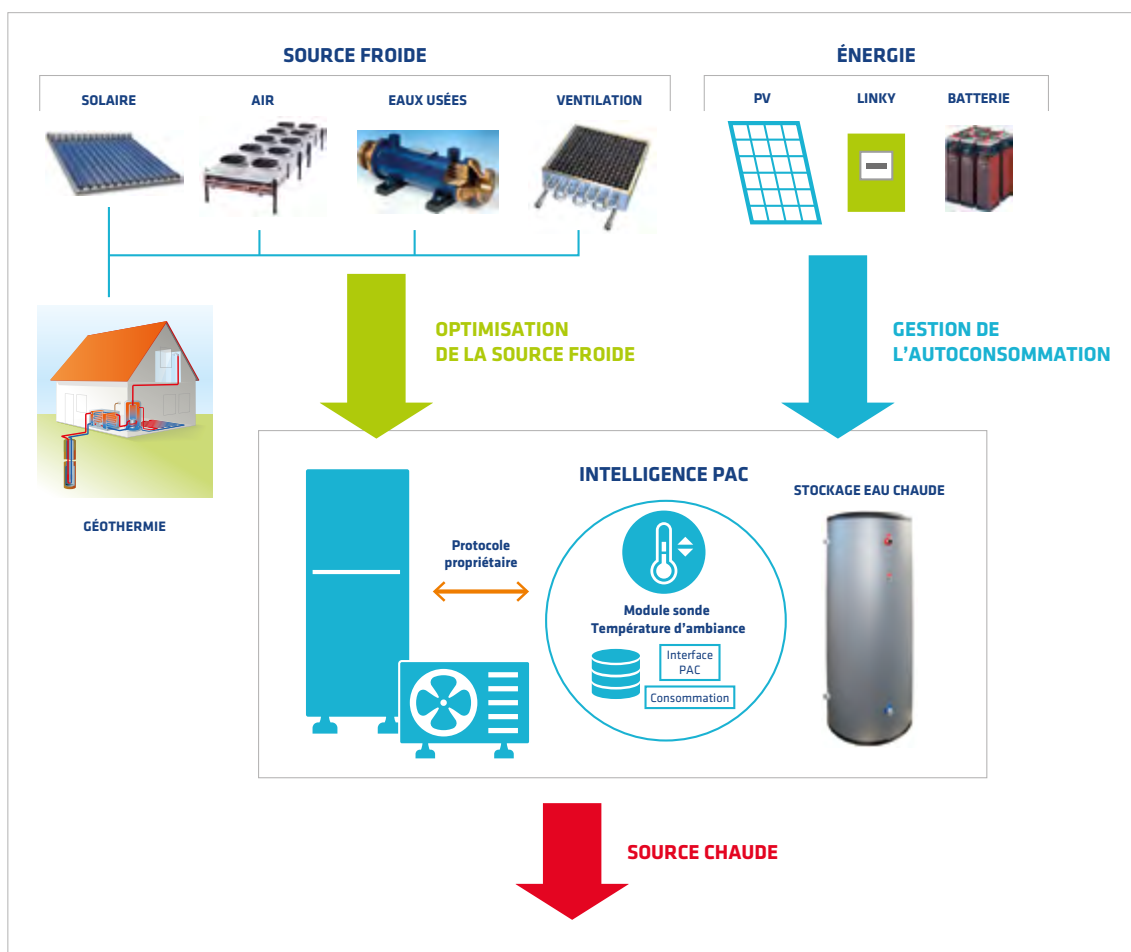
L'historisation et le traitement statistique des données collectées par les PAC connectées permettent d'envisager une gamme de services à valeur pour l'utilisateur (meilleure régulation via une connaissance des prévisions météo, une optimisation de la programmation via la connaissance des scénarios de présence...).

La mise à disposition des données collectées à un tiers (industriel, installateur, mainteneur, fournisseur de services divers, ...) après consentement de l'utilisateur et via une API permet la valorisation des données.

Une politique d'ouverture sur le partage et l'échange de données est souhaitable.

L'échange de données en local avec les autres objets et équipements connectés permet d'enrichir la gamme de services proposés (ex: pilotage de PAC hybride en fonction des coûts de l'énergie).

7.2. Optimisation des sources



Au niveau énergétique, la pompe à chaleur doit être le cœur d'un concept global, compact, prêt à fonctionner, pour assurer d'une façon efficace les besoins de chauffage et/ou rafraîchissement (confort d'été), eau chaude sanitaire du bâtiment, en particulier la maison individuelle neuve ou rénovée, le bâtiment résidentiel.

Cet ensemble technique, qui va tendre vers l'autonomie, doit intégrer :

- Un système thermodynamique, principalement avec un cycle thermodynamique à compression électrique ou thermique, avec deux sources de chaleur : froide et chaude.
- L'accès à la source froide (air extérieur, eau, sol, rejet d'énergie fatale sur l'air vicié, les eaux usées, panneaux solaires, ...) avec éventuellement un stockage d'énergie (chaleur sensible ou latente).
- Le raccordement aux besoins de confort du bâtiment, en chauffage, rafraîchissement et ECS, avec les contraintes temporelles de puissance, de température (stockage éventuel de chaleur, comme dans le cas d'un chauffe-eau thermodynamique).
- Un appoint ou complément de chaleur assuré par un thermoplongeur électrique, un appareil à combustion (chaudière à condensation, pile à combustible, micro-cogénérateur).
- De l'intelligence pour les régulation/gestion/auto-apprentissage/MAO, associée avec les informations des besoins de chaleur de l'habitat, les données climatiques du site, des réseaux d'énergie (électrique, gaz, ...).
- L'interface intelligente avec l'utilisateur, l'exploitant, la société de maintenance, le fabricant, etc.

Différents schémas de principe génériques peuvent être esquissés, mais avant tout, il est nécessaire de bien connaître les caractéristiques et performances des différents besoins, des sources froides, des machines thermodynamiques.

Pour les besoins :

Chauffage : évolution du besoin en puissance en fonction du bilan thermique de l'habitat (données climatiques, déperditions par l'enveloppe et la ventilation QAI, apports internes et solaires, inertie thermique, système de chauffage à basse température (émission, gestion, distribution...))

ECS : profil des puisages ECS dans la journée, en fonction de l'équipement sanitaire, des usagers, de la distribution, du stock ECS, du niveau des températures EFS, ECS distribuée, ECS utilisée, des volumes et débits.

Rafraîchissement : évolution du besoin similaire au chauffage, approche de la température ambiante de confort, puissance de rafraîchissement optimisée, consommation d'énergie réelle.

Pour les sources froides :

Air : potentiel de fourniture d'énergie en fonction du niveau de température et d'humidité, débit d'air en fonction du niveau de puissance, caractéristiques de l'échangeur de chaleur (évaporateur/condenseur – givrage), ventilateur et niveau sonore, échange statique.

Eau : potentiel de fourniture d'énergie en fonction du niveau de température, risque de gel et chaleur latente, protection antigel (glycol ou autre solution)

Sol : potentiel de fourniture d'énergie en fonction de la nature du sol et du type de sonde géothermique (sondes verticales, corbeilles, capteurs horizontaux).

Sources d'énergie fatale :

Air extrait et vicié du bâtiment, des espaces tampons, ...

Eaux grises et eaux usées du bâtiment : profil de débit et niveau de température

Les stockages d'énergie :

Electricité : principe général des batteries (ion-lithium) avec potentiel de stockage en kWh (ratio poids/kWh d'énergie stockée, contenu CO₂ et environnemental, coût...) puissance possible en phase de stockage et de restitution.

Chaleur : principe général du stockage d'énergie en chaleur sensible et latente, les pertes de chaleur, le potentiel d'énergie stockée (ratio poids-volume-prix/kWh d'énergie, contenu CO₂ et environnemental, coût...) puissance possible en phase de stockage et de restitution.

Nota : le stockage d'énergie permet normalement de limiter le niveau de puissance de la PAC et augmenter sensiblement son temps de fonctionnement. Cependant il faut bien gérer le potentiel de restitution du stockage. Par exemple pour une simple douche de 5 minutes, on a besoin de 60 litres d'eau à 40 °C (2.1 kWh de chaleur en partant d'EFS à 10 °C), mais le niveau de puissance instantanée est de 21 kW ($10 \text{ l/min} = 600 \text{ l/h} \times \text{DT } 30 \times 1.163 = 21 \text{ kW}$).

8. Conclusion

Au-delà de l'intelligence et de la connectivité qui permet 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.

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.

La filière doit travailler de concert dans les boucles d'économie circulaire:

- La réparation in-situ est déjà existante mais peut être renforcée, notamment grâce aux PAC intelligentes.
- Le reconditionnement, puis le remanufacturing peuvent être pris en charge par les industriels mais nécessitent de définir une logistique inverse en partenariat avec les autres acteurs de la filière.
- Le recyclage fait toujours l'objet d'un passage par un intermédiaire. Les matières premières secondaires issues du recyclage sont réintégréées par les industriels en substitution de matières vierges.

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

Inscrire l'usage et la fonctionnalité au cœur du modèle économique de déploiement des pompes à chaleur est également un enjeu pour demain. 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 uniquement sur la vente de volumes.

**L'AFPAC,
un acteur majeur de la transition
énergétique et bas carbone**

AFPAC - Association Française pour les Pompes À Chaleur - 31 rue du Rocher - 75008 Paris
contact@afpac.org - www.afpac.org

OCTOBRE 2019



La pompe à chaleur au cœur de votre confort