



Sommaire

- **Rappel du principe de base de la pompe à chaleur** 2
- **Mesure de la performance chauffage d'une PAC**..... 2
- **Différents types de pompes à chaleur**..... 3
- **Zoom sur une technologie : l'aérothermie**..... 3
 - Les PAC aérothermiques aujourd'hui sur le marché..... 4
 - La PAC 3 en 1 (ou Ventilation double flux thermodynamique) 4
- **Quelles étapes pour réussir une installation ?** 5
- **Optimisation du fonctionnement d'une PAC** 5
 - Optimiser sa température de distribution 6
 - La loi d'eau (pour les PAC Air/Eau) : 6
 - Les émetteurs de chaleur 7
 - L'isolation du logement 8
 - **La régulation du système** 8
 - Installer les organes de régulation 8
 - Optimiser sa loi d'eau (PAC air/eau) 8
 - Limitation du cyclage 9
 - Equilibrer son réseau (PAC air/eau) 9
 - Le circuit de distribution 10
 - La température extérieure 10
 - Dimensionnement de la puissance de la PAC 11
- **Entretien et maintenance**..... 12
- **Quelques éléments de vigilance**..... 13
- **Ressources** 14

📌 Rappel du principe de base de la pompe à chaleur

Une pompe à chaleur sert à :

- **Récupérer de l'énergie** dans le milieu extérieur d'un bâtiment (sol, eau ou air) grâce à un évaporateur.
- **Augmenter** le niveau de température de cette énergie récupérée via un compresseur.
- **Transférer** cette énergie, au bon niveau de température, au milieu intérieur du bâtiment que l'on souhaite chauffer.



📌 Mesure de la performance chauffage d'une PAC

Pour mesurer l'efficacité de la PAC, on parle de :

- **COP (Coefficient de performance en chauffage)** : C'est le rapport entre la quantité d'énergie consommée et la quantité d'énergie produite sous forme de chaleur. Si le COP est de 3, cela signifie que la pompe à chaleur produit 3 fois plus de chaleur que ce qu'elle consomme en électricité. Le COP est toujours associé à un **point de fonctionnement**, c'est-à-dire associé à **une température de l'air extérieur** (exemple : 7°C) et à **une température de l'eau de chauffage** (exemple : 35°C). **Un COP sans conditions n'a aucune valeur technique.**

→ Ne tient pas compte :

- Des variations climatiques annuelles
- Des phases de dégivrage
- Des consommations annexes
- Des cycles marche/arrêt

Le COP ne reflète pas la performance réelle sur une année.

- Le **SCOP (Coefficient de performance saisonnier en chauffage)** est un **COP moyen saisonnier**, représentatif de la performance **sur toute une saison de chauffe**. On le calcule en prenant une variation des températures extérieures considérées comme proche de la réalité. Il représente la performance « réelle ».
- L'**ETAS** est l'indicateur **réglementaire** d'efficacité énergétique saisonnière, exprimé en **pourcentage**.

📌 Différents types de pompes à chaleur

Les différentes pompes à chaleur sont nommées **selon la source où elles vont puiser l'énergie**. Ainsi on parle **d'aérothermie** (pour l'air), **d'aquathermie** (pour une nappe) et de **géothermie** (pour le sol).

Le type de pompe à chaleur **le plus répandu** chez les particuliers est **l'aérothermie**, suivi de la **géothermie de surface**.

Le terme de géothermie est abusif puisqu'aux profondeurs considérées (environ 1,20m pour la géothermie horizontale), les principaux fournisseurs d'énergie sont le soleil et les précipitations. Le flux géothermique (chaleur provenant du centre de la terre) y est négligeable.

Il n'y a que quelques sites en France qui utilisent la véritable source d'énergie que peut être le centre de la terre (par exemple Soultz-les Forêts, en Alsace du nord, où les forages de plus de 2000 m de profondeur servent à la production d'électricité).

📌 Zoom sur une technologie : l'aérothermie

Contrairement à la géothermie (la chaleur de la terre reste quasiment constante tout au long de l'année), **l'aérothermie puise ses calories dans un milieu dont la température varie significativement** suivant les saisons.

En sachant que **la source dans laquelle la pompe à chaleur puise son énergie doit être la plus élevée possible pour un meilleur rendement**, la géothermie sera donc par principe la technologie la plus appropriée pour tous types de situations (elle sera à même de fournir l'ensemble des besoins en chauffage, voire en eau chaude sanitaire selon le dimensionnement).

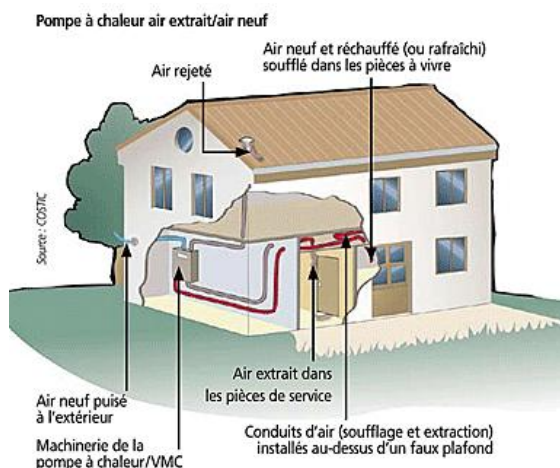
Cependant, dans certaines configurations et selon le type de technologie, la solution aérothermie peut prendre tout son sens.

● Les PAC aérothermiques aujourd'hui sur le marché

- **Standard** : cette technologie est peu adaptée aux régions froides. La **température d'arrêt*** de ce type de PAC est de -5°C .
- **Inverter** : la vitesse du compresseur est variable pour adapter la puissance aux besoins. La température d'arrêt* de la PAC est repoussée jusqu'à -15°C extérieur (avec perte de puissance).
- **Power Inverter** : système Inverter permettant d'optimiser l'énergie échangée à l'évaporateur. Cela permet un gain de puissance mais ne permet pas de fonctionner à des températures plus basses que la PAC Inverter.
- **EVI** : cette technologie permet de maintenir la puissance jusqu'à une température extérieure de -15°C , sans appoint. La **température d'arrêt*** de la PAC est repoussée jusqu'à -25°C extérieur, c'est donc un système particulièrement adapté aux régions froides.

* Température d'arrêt : température à laquelle le fonctionnement de la pompe à chaleur est interrompu. En deçà, c'est l'appoint qui fournit au circuit la chaleur nécessaire.

● La PAC 3 en 1 (ou Ventilation double flux thermodynamique)



Elle assure le **renouvellement d'air** (via une ventilation double flux), le **chauffage de l'air soufflé** et la **production d'eau chaude**. Ce type de pompe à chaleur fonctionne sur l'air extrait (donc chauffé), ce qui permet d'obtenir des performances (COP) très intéressantes.

Ce type d'installation reste encore peu diffusé sur le marché.

Pour faire le choix de la technologie la plus adaptée au climat, on doit se baser sur **la température extérieure de base du site concerné** (la température la plus basse constatée au minimum 5 jours dans l'année sur une période de 30 ans).

📌 Quelles étapes pour réussir une installation ?

Comme dans tous les cas de remplacement d'un système de chauffage en vue de réaliser des économies d'énergie, **il convient d'abord de prendre des mesures qui réduisent les consommations.**

Des travaux d'isolation peuvent, par exemple, s'avérer moins coûteux et tout aussi efficaces que le remplacement d'un système de chauffage.

- 1) Le choix de la technologie** – à étudier avec soin selon l'état de l'isolation du logement, la température extérieure de base, le système existant, ...
- 2) Le choix de l'installateur – n'hésitez pas à comparer plusieurs devis** avec des matériels de marques différentes. Vous pouvez pour cela vous baser sur le devis-type établi par l'AGEDEN. Vous pouvez également opter pour un artisan « QUALIPAC ». Cette appellation, délivrée par Qualit'EnR depuis début 2010 impose à l'entreprise d'installation de s'engager à accepter le contrôle de certaines de ses installations et à disposer de personnels ayant suivi un cursus de formation. N'hésitez pas à **demander des références**, quitte à rendre visite à l'un des clients déjà équipés.
- 3) Prévoir l'optimisation du système en amont** traitant l'ensemble des points de la section Optimisation du fonctionnement d'une PAC de cette fiche avec l'installateur. Le devis doit contenir le maximum d'information pour vous garantir une installation performante.
- 4) Prévoir un contrat de maintenance et d'entretien**



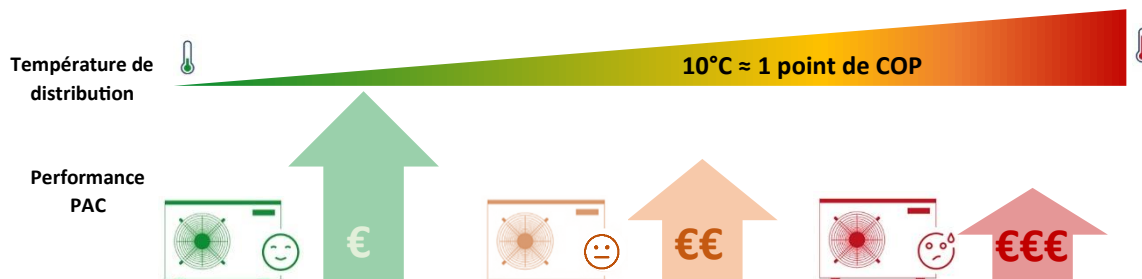
📌 Optimisation du fonctionnement d'une PAC

Le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur correspond au rapport entre **la chaleur restituée** pour le chauffage et l'énergie électrique nécessaire pour la faire fonctionner.

Il est important de résonner sur des **performances moyennes saisonnières (SCOP)** (ou annuelles) et non sur un COP nominal calculé dans des conditions de laboratoire, qui ne reflète pas l'efficacité énergétique de l'ensemble de l'installation sur une durée de fonctionnement normale.

Voici quelques **conditions nécessaires au bon fonctionnement** de l'appareil et au maintien d'un COP élevé

● Optimiser sa température de distribution

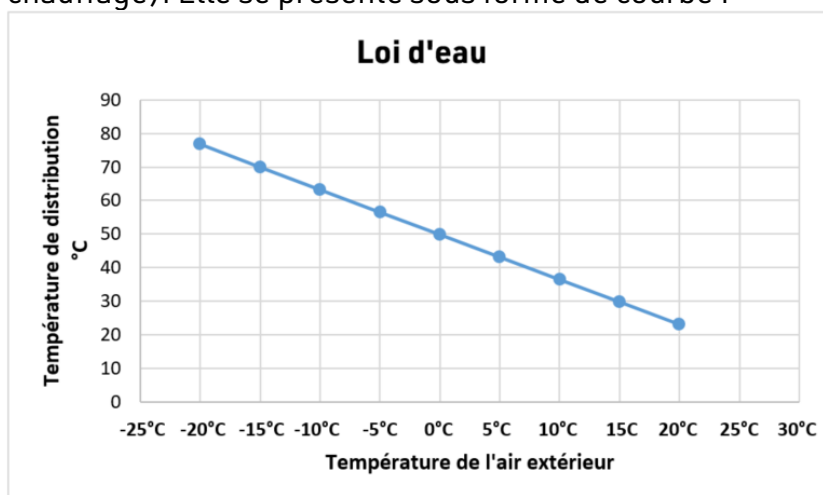


Plus la **température de distribution** (la température qui circule dans les radiateurs ou le plancher chauffant) est basse, plus la performance de la PAC est importante et plus votre facture d'énergie est faible.

Pour cela, plusieurs paramètres sont à considérer :

La loi d'eau (pour les PAC Air/Eau):

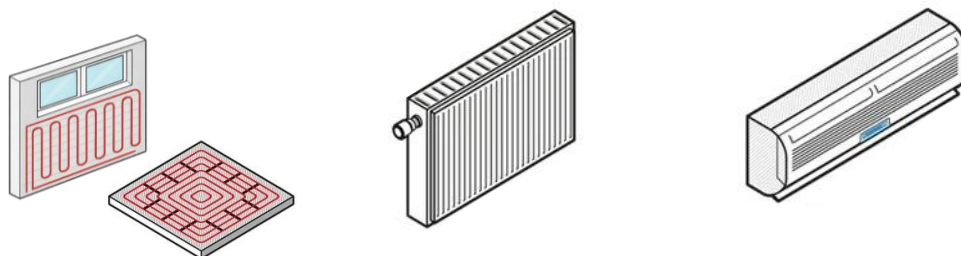
C'est la loi qui permet de régler **la température interne de l'eau des appareils de chauffage en fonction de la température de l'air extérieur**, mais aussi d'autres paramètres tels que les caractéristiques du logement (niveau d'isolation et type d'émetteurs de chauffage). Elle se présente sous forme de courbe :



→ **Objectif : Avoir la température de consigne la plus basse possible, tout en ayant assez de chaleur pour chauffer le logement.** Cela nécessite une sonde de température extérieure, ainsi qu'un professionnel compétent pour l'optimisation de cette loi d'eau

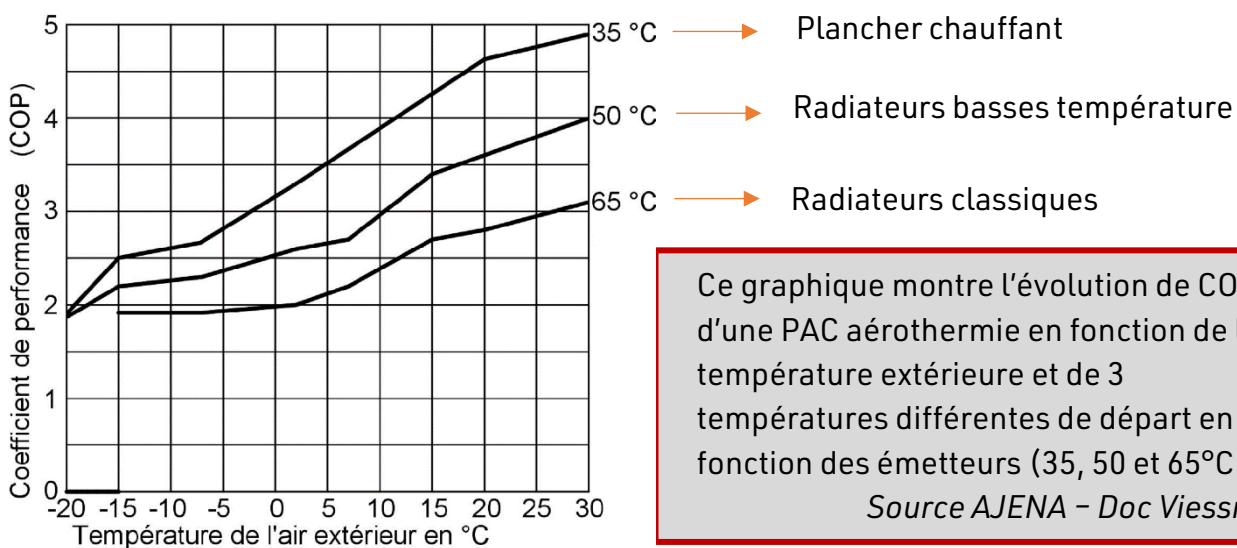
Pour les PAC Air/Air, plus la température de soufflage est proche de la température de consigne, moins la PAC a besoin de capter des calories de l'air extérieur. Une isolation performante est alors importante pour une PAC air/air performante.

Les émetteurs de chaleur



Type d'émetteur	Un plancher chauffant ou murs chauffants basses températures	Des radiateurs basse température	Des ventilo-convecteurs à eau ou à détente directe
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Confort • Gain de place • Limite les mouvements d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Système plus facile à réguler • Remplacement possible pour une partie du circuit • Confort (par rapport à air) • Moins onéreux 	<ul style="list-style-type: none"> • Refroidissement possible
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie – régulation • Eviter dans les chambres • Coûts 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement si radiateurs existants • Coût par rapport au plancher chauffant 	<ul style="list-style-type: none"> • Confort (air soufflé, stratifié) • Acoustique

La température de distribution de la chaleur doit être la plus basse possible : avantage aux planchers chauffants basse température qui procurent une meilleure surface d'échange.



Ce graphique montre l'évolution de COP d'une PAC aérothermie en fonction de la température extérieure et de 3 températures différentes de départ en fonction des émetteurs (35, 50 et 65°C)
Source AJENA – Doc Viessmann

L'isolation du logement

Une façon simple de diminuer la température de distribution est de **diminuer le besoin** en calorie du logement. Pour cela, **l'isolation est la seule solution**. Une bonne isolation permettra d'investir dans **un système de moins grande puissance, moins cher et plus performant**.

● La régulation du système

Installer les organes de régulation

THERMOSTAT D'AMBIANCE + **SONDE EXTERIEURE** + **ROBINETS THERMOSTATIQUES**

Les trois équipements sont complémentaires. Le thermostat permet d'atteindre une consigne précise de chauffage et la sonde permet au générateur de chauffage de réagir en avance aux variations de température extérieures (sans que la température de la pièce diminue). Les robinets thermostatiques doivent être installés **dans toutes les pièces à l'exception de la pièce où se trouve un éventuel dispositif de réglage automatique pour l'ensemble du logement** (thermostat d'ambiance).

Il est conseillé de mettre en place **un réseau divisé en deux zones différentes**, afin de réguler et programmer différemment le chauffage, ceci permettra notamment de prévoir des températures plus basses dans le volume qui sera occupé de façon occasionnelle.

Optimiser sa loi d'eau (PAC air/eau)

Privilégier un système de régulation **avec compensation d'ambiance**. Pendant le fonctionnement, cela permet à la PAC de **corriger la loi d'eau** en fonction de son paramétrage, de la température ambiante et de la température extérieure. **La PAC module donc sa température de départ** et sa puissance en fonction de ces paramètres et peut, dans certains cas, se servir de cette température ambiante pour aussi commander le marche/arrêt du compresseur une fois la consigne atteinte (sans court-circuiter les sécurités anti court-cycles).

Cette compensation d'ambiance permet d'obtenir une meilleure performance qu'avec un système où le thermostat ne sert qu'à piloter le démarrage arrêt de la PAC

Limitation du cyclage

Le **cyclage d'une PAC (pompe à chaleur)** désigne le nombre de cycle démarrage/arrêt de la PAC par période de temps. La multiplication des démarrages/arrêts induit une dégradation des performances de la PAC et une usure prématurée du compresseur à court ou moyen terme.

Afin d'éviter ces problématique, un professionnel compétent et une bonne mise en œuvre (régulation, paramétrage de la PAC, dimensionnement, Loi d'eau...) de l'installation sont indispensables.

Équilibrer son réseau (PAC air/eau)

L'**équilibrage d'un réseau de chauffage** représente le fait de régler les vannes pour que chaque radiateur reçoive la bonne quantité d'eau chaude et chauffe uniformément le logement.

L'**équilibrage d'un réseau de chauffage** est une étape cruciale lors de l'installation d'une pompe à chaleur, car il garantit une **distribution uniforme et efficace de la chaleur** entre tous les émetteurs (radiateurs, plancher chauffant, etc.). Sans un équilibrage correct, certaines zones du bâtiment risquent d'être surchauffées tandis que d'autres restent froides, ce qui pousse la PAC à fonctionner plus longtemps et de manière inefficace. Un réseau mal équilibré peut également entraîner des **cycles fréquents de démarrage/arrêt (cyclage)**, une **augmentation de la consommation d'énergie**, des **débites d'eau incorrects** et une usure prématurée de l'installation. En équilibrant correctement les débits de chaque boucle ou radiateur, on **optimise le rendement global de la PAC**, on **améliore le confort thermique des occupants** et on réduit les coûts d'exploitation. L'équilibrage contribue aussi à une **meilleure régulation de la température**, ce qui permet à la pompe à chaleur de fonctionner à des températures plus basses et d'atteindre des coefficients de performance (COP) plus élevés. Ainsi, un équilibrage bien réalisé est un levier essentiel pour tirer pleinement parti des performances d'une PAC et pour assurer la longévité et l'efficacité de l'installation.

Le circuit de distribution

En rénovation, il est fréquent de rencontrer des tuyaux de chauffage dont les diamètres petits, adaptés à des débits faibles et à des températures de distribution élevées. De plus, ces réseaux anciens peuvent avoir des tronçons partiellement obstrués (boue, corrosion).

Des diamètres de tuyaux non adaptés peuvent engendrer des bruits hydrauliques, une usure prématurée des circulateurs, une surconsommation électrique, une mauvaise répartition de la chaleur dans le logement...

→ Il est donc important d'adapter le réseau aux **contraintes spécifiques des PAC**

● La température extérieure

L'air extérieur est la source dans laquelle on puise l'énergie doit être à la température la plus élevée possible. Toutefois, il n'est pas possible de maîtriser le climat. La diminution de performance entre une région climatique plutôt douce et une région climatique rigoureuse est de l'ordre de 15 à 20%.

- Si possible, concentrer les **périodes de production du chauffage en journée**, où la température extérieure est plus clémente, améliore l'efficacité des PAC.
- L'ajout d'un **ballon tampon peut permettre d'optimiser les périodes de production. Il permet** d'optimiser les performances en limitant la fréquence des mises en route, donc l'usure de la machine.
- **L'emplacement** d'une pompe à chaleur aérothermique est important. Il convient de la positionner à l'abri des vents dominants, de la neige et de la pluie, et de **préférence éviter la proximité avec les chambres.**
- **Le camouflage des unités extérieures** perturbe le cheminement de l'air et entraîne un grivrage plus fréquent et donc **une diminution de la performance.**
- Il est nécessaire de bien respecter **les distances préconisées entre l'unité extérieur et le mur**, afin de garantir la bonne circulation de l'air au environ de l'unité, et ainsi **sa performance.**

● Dimensionnement de la puissance de la PAC

Dimensionner la puissance de la PAC en prenant en compte les déperditions du logement est un critère important de performance de la PAC. Même si les pompes à chaleur peuvent adapter leur puissance autour de leur puissance nominale, cette modulation est limitée. Ainsi, un mauvais dimensionnement engendrera une diminution de la performance de la PAC.

- **En cas de sous-dimensionnement :**

La pompe à chaleur ne sera pas assez puissante pour couvrir le besoin du chauffage du logement.

- **En cas de sur-dimensionnement :**

Une PAC surdimensionnée atteindra plus rapidement sa limite basse de modulation et sera plus exposée au phénomène de cyclage qu'une PAC mieux dimensionnée qui pourra davantage moduler sa puissance sur l'ensemble des températures extérieures rencontrées pendant la saison. De plus, une PAC plus puissante sera plus chère à l'achat.

Plusieurs sources documentent aujourd'hui le dimensionnement des PAC.

- Dans les règles de dimensionnement de l'AFPAC, il est préconisé de dimensionner la puissance de la PAC (hors appoint) entre 60% et 80% de la déperdition à température de base pour une PAC air/eau, et entre 80% et 120% pour une PAC eau/eau.
- Le DTU 65.16 recommande de dimensionner la puissance de la PAC entre 80% et 100% de la déperdition à température de base pour une PAC air/eau, et entre 80% et 120% pour une PAC eau/eau.

Il est donc important que l'installateur fournisse une note de dimensionnement détaillée prenant en compte à minima :

- Le volume d'air que devra chauffer la PAC
- La qualité d'isolation du logement
- La présence ou non de système de chauffage d'appoint (En prenant en compte leur fréquence d'usage le cas échéant)
- La zone climatique dans laquelle est le logement
- La température intérieure de consigne
- Le type d'émetteur de chaleur
- Les diamètres de tuyauterie du réseau de distribution

📌 Entretien et maintenance

Ce qui est obligatoire Décret n°2020-912 du 28 juillet 2020	Ce qui n'est pas obligatoire
<p>Un entretien périodique (tous les 2 ans) doit être réalisé par un professionnel agréé.</p> <p>L'attestation doit être délivrée par le professionnel qui réalise l'entretien, dans un délai maximum de 15 jours après l'intervention. Elle contient au minimum :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ la vérification du système thermodynamique, ✓ un contrôle d'étanchéité du circuit de fluide frigorigène ✓ si nécessaire, un nettoyage du système thermodynamique, ✓ le réglage du système thermodynamique, ✓ la fourniture des conseils nécessaires sur le bon usage du système et les améliorations possibles de l'ensemble de l'installation. 	<p>Souscrire un contrat de maintenance annuel ou pluriannuel auprès d'un professionnel spécifique.</p>

Il est important de souscrire à un contrat d'entretien comprenant une **vérification annuelle des performances** de l'ensemble de l'installation, Par exemple :

- ❖ Nettoyage des échangeurs,
- ❖ Nettoyage des filtres,
- ❖ Vérification des connexions électriques
- ❖ Vérification des réglages (débit, organe de sécurité, fonctionnement des appoints, optimisation de fonctionnement avec tests...)
- ❖ Etanchéité du fluide frigorigène + rechargement si besoin
- ❖ Test Turbidité de l'eau
- ❖ Suivi et ajustement de la loi d'eau avec retours terrains (1/3 des PAC peuvent améliorer leur rendement avec de meilleurs réglages d'après la dernière étude de l'ADEME)
- ❖ Pression des circuits
- ❖ ...

📌 Quelques éléments de vigilance



Les fluides frigorigènes les plus couramment utilisés pour les PAC sont le R134A et le R407 (ce sont des mélanges de HFC – hydrofluorocarbures).

Contrairement aux fluides des installations plus anciennes (les CFC ou chlorofluorocarbures, interdits depuis 1995), ils ne sont pas nocifs pour la couche d'ozone, mais sont une source importante de gaz à effet de serre.

- **L'habilitation de l'intervenant à manier les fluides frigorigènes** : en effet, ces fluides ont un impact néfaste sur l'environnement et ils doivent être manipulés avec attention. Il est important de demander l'attestation de capacité de l'entreprise, avec un numéro de capacité vérifiable sur les listes des organismes agréés (BVC, CEMAFROID, VERITAS, SGS...). Depuis juillet 2011, chaque intervenant sur ce type d'installation doit détenir une attestation d'aptitude, délivrée auprès des Organismes Évaluateurs Certifiés (COSTIC, APAVE...).
- **Le renforcement de la puissance électrique souscrite** est dans la majorité des cas nécessaire, l'appel de puissance étant important au démarrage du compresseur. Le passage à un échelon de puissance plus important peut engendrer une augmentation importante du coût de l'abonnement électrique.
- **L'homologation du matériel** : la marque « NF PAC » est une marque délivrée par l'AFAQ-AFNOR Certification, qui permet de vérifier la **conformité des pompes à chaleur** aux différentes normes en vigueur en France et au niveau européen, ainsi que le respect de performances minimales.
- **La fin de vie de l'installation** : les fluides doivent être **traités de manière appropriée** (récupérés par un spécialiste, puis recyclés ou détruits).
- **L'entretien** : il est recommandé de souscrire à un contrat d'entretien comprenant une **vérification annuelle des performances** de l'ensemble de l'installation (notamment pression des circuits, contrôle d'étanchéité, ...)

Les PAC et l'environnement

Une PAC est **un système qui valorise l'énergie** disponible puisée dans l'environnement immédiat (eau, sol, air) ; cette énergie est renouvelable et provient majoritairement du flux thermique solaire.

Ces quantités d'énergie mobilisable sont importantes, mais la contrepartie reste **l'utilisation de l'électricité**, indispensable au fonctionnement de la machine. Notons qu'en France seulement 12% de l'électricité est produite à partir d'énergie renouvelable, le reste est majoritairement d'origine nucléaire.

L'utilisation de ce type de chauffage contribue également à la **forte sollicitation électrique lors des pics de froid en hiver**, amenant la France à importer de l'électricité (provenant souvent de centrales thermiques, extrêmement polluantes). Cependant l'impact de l'utilisation de l'électricité peut être minimisé à condition d'utiliser des PAC performantes et surtout dans de bonnes conditions d'exploitation.

Enfin, l'impact de l'utilisation des fluides frigorigènes, source importante de gaz à effet de serre, n'est pas non plus négligeable. Il convient donc **de proscrire les rejets dans la nature** (notamment lors des maintenances et en fin de vie du matériel).

📌 Ressources

- Le guide de l'ADEME « Les pompes à chaleur » (<https://librairie.ademe.fr>)
- Le devis-type de l'AGEDEN (<https://www.infoenergie38.org>)
- Le site de l'AFPAC - Association Française pour les Pompes A Chaleur (<https://www.afpac.org/>)
- Le site Qualit'EnR pour les installateurs agréés « QualiPAC » (<https://www.qualit-enr.org/>)
- Le site de « Géothermie perspectives » (<https://www.geothermies.fr/>)
- Etude ADEME :
 - ➔ [Avis sur les performances réelles des pompes à chaleur](#)
 - ➔ [Mesure des performances de 100 PAC air/eau et eau/eau installées en maisons](#)
 - ➔ [Test de PAC air/eau en laboratoire semi-virtuel : avant et après rénovation](#)
 - ➔ [Etude sur les consommations des PAC air/air](#)