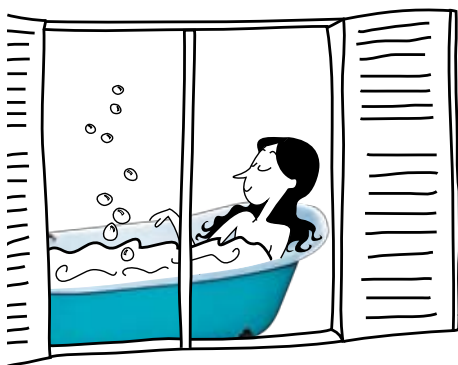


Installer une pompe à chaleur



*Quand le sol,
l'eau ou l'air
chauffent
la maison ou
produisent
l'eau chaude*



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

Édition : novembre 2013



renovation-info-service.gouv.fr
0 810 140 240

- *Il y a de la chaleur dans le sol, l'eau et l'air* 3
- *Quelle pompe à chaleur chez vous ?* 4
- *Comment ça marche ?* 6
- *Tout savoir sur les PAC géothermiques* 15
- *Tout savoir sur les PAC aérothermiques* 20
- *Une innovation pour l'eau chaude sanitaire* 24
- *Pour éclairer le choix d'une PAC* 28
- *Pour éclairer le choix d'un CET* 30
- *Pose et entretien, essentiels pour la performance* 31
- *Des aides financières* 34
- *L'ADEME* 36

Capteurs enterrés

tubes en polyéthylène ou en cuivre gainé de polyéthylène enfouis dans le sol et dans lesquels circule un fluide prélevant l'énergie du sol. Ils peuvent être horizontaux (et contenir de l'eau additionnée d'antigel ou du fluide frigorigène) ou verticaux. Dans ce dernier cas, on les appelle sondes géothermiques et ils contiennent un mélange d'eau et d'antigel.

Chauffe-eau thermodynamique (CET)

équipement indépendant de production d'eau chaude sanitaire (ECS) associant un volume de stockage et une petite PAC dédiée au chauffage de cette eau.

Émetteur de chaleur

appareil situé dans les pièces du logement et qui transmet la chaleur du système de chauffage. Les radiateurs, les planchers chauffants, les ventilo-convecteurs sont des émetteurs de chaleur.

Fluide frigorigène

fluide, confiné dans la pompe à chaleur, qui assure lors de ses changements de phase (gaz, liquide) les transferts de chaleur.

Plancher chauffant basse température

émetteur de chaleur constitué de tubes dans lesquels circule un liquide restituant la chaleur aux pièces à chauffer. Intégré à une chape de béton, il est dimensionné pour que sa surface reste à une température modérée (aux alentours de 23 °C, en tout cas pas plus de 28 °C). Un plancher chauffant peut assurer le rafraîchissement d'une habitation, on parle alors de plancher chauffant-rafraîchissant.

VMC

ventilation mécanique contrôlée. Système mécanique de renouvellement de l'air. Une VMC double-flux permet de limiter les pertes de chaleur inhérentes à la ventilation : elle récupère la chaleur de l'air vicié extrait de la maison et l'utilise pour préchauffer l'air neuf filtré venant de l'extérieur.

Il y a de la chaleur DANS LE SOL, L'EAU ET L'AIR

Notre environnement : le sol sous nos pieds, l'eau des nappes, l'air qui nous entoure, stockent chaque jour l'énergie que nous dispense le soleil.

Récupérer cette énergie gratuite et inépuisable et s'en servir pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire, c'est possible grâce aux pompes à chaleur.

Ces équipements électriques permettent de **réduire notre consommation d'énergies fossiles et nos rejets de gaz à effet de serre**. Il en existe plusieurs types, qui puisent la chaleur soit dans l'air (pompes aérothermiques), soit dans le sol ou l'eau des nappes phréatiques (pompes géothermiques).

L'ADEME encourage le choix des pompes à chaleur les plus performantes, quelle que soit la technologie, en insistant en particulier sur la qualité de mise en œuvre du système complet (capteur, pompe à chaleur, émetteur de chaleur).



Sur internet :

www.geothermie-perspectives.fr

site de l'ADEME et du Bureau de Recherches Géologiques et Minières

www.cstb.fr

site du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

www.afpac.org

site de l'Association Française pour les Pompes À Chaleur

Quelle pompe à chaleur **CHEZ VOUS?**

Comment savoir vers quel **type** de pompe à chaleur s'orienter quand on veut s'équiper? Tous les procédés ne conviennent pas forcément à votre situation.

Retrouvez tout au long de ce guide des informations techniques utiles pour faire de bons choix.

Vous faites construire

Si le terrain autour de votre maison s'y prête

Vous pouvez faire installer tout type de PAC

Une PAC géothermique à capteurs enterrés verticaux sous réserve des démarches administratives nécessaires (voir pages 15 et 18).

Une PAC géothermique à capteurs enterrés horizontaux s'il y a assez de place dans le jardin (voir pages 15 et 16).

Une PAC sur eau de nappe si celle-ci s'y prête et sous réserve des démarches administratives nécessaires (voir page 18).

Une PAC aérothermique. Dans les climats rigoureux, il sera peut-être nécessaire de faire installer un appoint de chauffage selon le modèle de PAC aérothermique envisagé (voir page 23). Attention au voisinage, certaines sont plus bruyantes que d'autres.

Si vous optez pour une production d'eau chaude sanitaire par chauffe-eau thermodynamique (CET), celui-ci pourra être géothermique mais aussi aérothermique ou héliothermique. Directement connecté à votre système de ventilation, le CET aérothermique sur air extrait est aussi une solution performante.

Si le terrain est petit (moins de 200 m²) et/ou planté d'arbres, le sol est rocheux...

Toutes les PAC sont envisageables, sauf la PAC géothermique à capteurs horizontaux

Vous faites remplacer un chauffage existant

Vous avez les mêmes possibilités que dans une construction neuve, à quelques restrictions près

Au préalable, faites vérifier l'état de l'isolation de votre maison (parois et ouvertures) et engagez des travaux de remise à niveau si nécessaire (des aides fiscales vous y aideront) : une bonne isolation permet en effet de limiter les consommations d'énergie et ce, quel que soit le système de chauffage utilisé.

L'installation d'un plancher chauffant nécessite une rénovation lourde, il ne sera peut-être pas possible d'installer une PAC fonctionnant avec ce type d'émetteur de chaleur (voir page 10).

Si vous choisissez une PAC aérothermique et si vous habitez une région au climat rigoureux, il sera peut-être nécessaire de faire installer un appoint de chauffage selon le modèle de PAC aérothermique envisagé (voir page 23).

Si vous optez pour une production d'eau chaude sanitaire par chauffe-eau thermodynamique (CET), celui-ci sera aérothermique, il récupérera son énergie sur l'air ambiant ou l'air extérieur.

Certaines PAC permettent la réutilisation du réseau de chauffage central déjà en place (voir pages 10 et 11).

Si vous possédez une chaudière en bon état, celle-ci pourra être couplée à une PAC aérothermique « en relève » (voir page 23).

Une PAC performante, c'est bien...

... mais une PAC installée dans un logement bien isolé, c'est mieux !

Si vous voulez installer une PAC chez vous, sachez qu'il est préférable de réaliser au préalable une bonne isolation de votre logement. Ceci permet

à la PAC de fonctionner à basse température (eau chauffée à moins de 55° C), ce qui améliore son rendement. Vous pourrez ainsi choisir une PAC moins puissante (donc moins coûteuse) qui vous procurera un confort optimum.



Attention au voisinage, certaines unités extérieures de pompes à chaleur aérothermiques sont plus bruyantes que d'autres.

Comment ÇA MARCHE ?

La pompe à chaleur prélève un peu de chaleur d'une « source froide » (sol du jardin, air environnant ou eau d'une nappe), augmente son niveau de température et restitue une chaleur à une température plus élevée dans le logement.

Son fonctionnement est d'autant plus efficace que la différence entre la température du milieu où est puisée la chaleur et celle des émetteurs de chaleur du logement est réduite.

Le principe de base...

La pompe à chaleur ou PAC est constituée d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un **fluide frigorigène** à l'état liquide ou gazeux selon les organes qu'il traverse. Ces organes sont au nombre de quatre : l'**évaporateur**, le **compresseur**, le **condenseur**, et le **détendeur**.



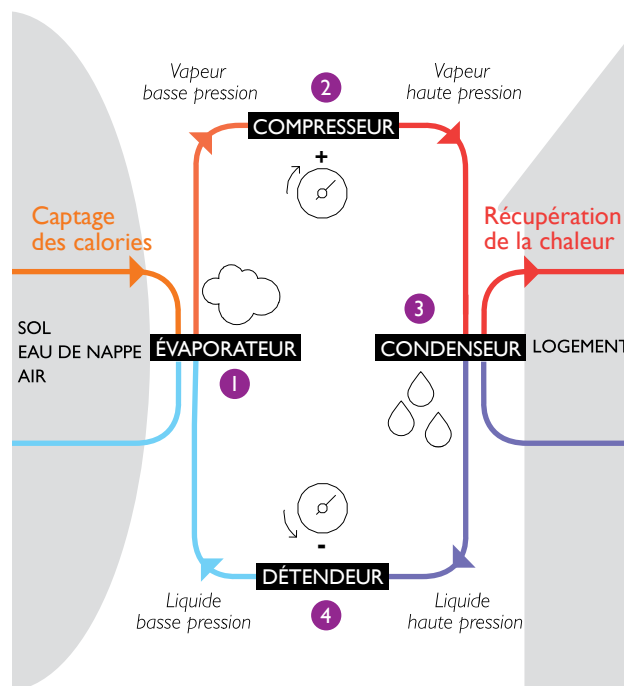
Pompe à chaleur géothermique reliée à un ballon tampon pour le chauffage et à un ballon d'eau chaude sanitaire.

Les fluides frigorigènes

Ils sont pour la plupart nocifs pour l'environnement. Ceux qui détruisent la couche d'ozone sont maintenant interdits ou en cours d'élimination. C'est le cas du R22, qui a longtemps été le fluide frigorigène le plus employé. Ils sont remplacés par des fluides comme les

HFC (R407C, R410A, R417A), inoffensifs vis-à-vis de la couche d'ozone. Mais ces fluides restent de puissants gaz à effet de serre. Des développements sont en cours sur des machines fonctionnant avec des fluides dits « naturels ».

Schéma de principe de la pompe à chaleur



- 1 La chaleur prélevée à l'extérieur est transférée au fluide frigorigène qui se vaporise.
- 2 Le compresseur électrique aspire le fluide frigorigène vaporisé. La compression élève la température du fluide frigorigène.
- 3 Le fluide frigorigène cède sa chaleur à l'eau du circuit de chauffage, à l'eau sanitaire ou directement à l'air du lieu à chauffer. Le fluide frigorigène se condense et revient à l'état liquide.
- 4 Le détendeur abaisse la pression du liquide frigorigène qui amorce ainsi sa vaporisation.

... ses applications...

À partir du principe de base de la pompe à chaleur, plusieurs systèmes existent, avec des performances et des possibilités d'application différentes. On peut regrouper les PAC destinées au chauffage des particuliers en deux grandes familles :

les **PAC géothermiques** qui puisent la chaleur dans le sol ou l'eau d'une nappe par l'intermédiaire d'un réseau de capteurs ou de forages ;

les **PAC aérothermiques** qui la puisent directement dans l'air ambiant, extérieur ou intérieur au logement.

Plusieurs modèles

On parle selon les cas de modèles **air / air, air / eau, sol / sol, sol / eau, eau / eau ou eau glycolée / eau**. Le premier terme désigne l'origine du prélèvement, le second le mode de distribution

de la chaleur dans le logement. Seule exception : la PAC eau glycolée / eau qui puise la chaleur dans le sol (avec des capteurs enterrés contenant de l'eau glycolée).

Pour s'y retrouver, les tableaux ci-dessous résument les procédés possibles en fonction des modèles de pompe à chaleur :

Les PAC géothermiques

SOURCE FROIDE	TYPE DE PAC	CAPTAGE		
		Capteurs enterrés horizontaux	Capteurs enterrés verticaux	PAC sur eau de nappe
SOL	sol / sol	PAC à détente directe	-	-
	sol / eau	PAC mixte	-	-
	eau glycolée / eau	PAC à fluides intermédiaires		-
EAU		-	-	PAC à fluides intermédiaires

Les PAC aérothermiques

SOURCE FROIDE	TYPE DE PAC	CAPTAGE	
		Captage de la chaleur dans l'air extérieur	Captage de la chaleur dans le logement (pièce non chauffée)
AIR	air / eau	PAC mixte	-
	air / air	PAC à détente directe	

... et les procédés mis en œuvre

Les constructeurs ont mis au point plusieurs procédés. La principale différence tient à la nature des fluides circulant dans les capteurs et les émetteurs de chauffage, et donc à la technologie des PAC utilisées :

dans les **PAC à détente directe**, un seul circuit : le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs de chaleur. Ce type de pompes à chaleur contient beaucoup de fluide frigorigène ;

dans les **PAC mixtes**, deux circuits : celui du fluide frigorigène des capteurs et de la pompe à chaleur et celui de l'eau chaude des émetteurs ;

dans les **PAC à fluides intermédiaires**, trois circuits : le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau additionnée d'antigel, le circuit qui alimente en eau chaude les émetteurs ;

Les **PAC géothermiques** peuvent être à détente directe, à fluides intermédiaires ou mixtes.

Les **PAC aérothermiques** sont toujours à détente directe ou mixtes.

Les émetteurs de chaleur

Selon le type de pompe à chaleur, différentes sortes d'émetteurs équipent l'installation.

• Un plancher chauffant basse température

Il est formé de tubes noyés dans une dalle de béton. Sa surface diffuse une chaleur douce et régulière (jamais supérieure à 28 °C), qui apporte une grande sensation de confort. Dans les tubes circule l'eau du circuit de chauffage (PAC à fluides intermédiaires ou mixtes) ou du fluide frigorigène (PAC à détente directe). Le dimensionnement des tubes et leur pose sont différents selon le fluide qui y circulera.



La pose d'un plancher chauffant est assez complexe en rénovation et est plus adaptée à la construction neuve.

• Des radiateurs basse température

Ils fonctionnent avec une **eau entre 45 et 50 °C**, ce qui est le cas dans un circuit de chauffage alimenté par une PAC mixte ou à fluides intermédiaires. Ils procurent une chaleur douce très agréable. Cette solution convient si on ne peut (ou ne veut) pas installer de plancher chauffant qui peut être difficile ou coûteux à mettre en œuvre en rénovation.

Les radiateurs d'une précédente installation de chauffage central peuvent convenir, à condition de vérifier leur dimensionnement.

• Des ventilo-convecteurs à eau

Ce sont des émetteurs de chaleur par air, **raccordés au circuit d'eau de chauffage d'une PAC mixte** ou à fluides intermédiaires. Ils filtrent et diffusent l'air des pièces grâce à un ventilateur.

• Des ventilo-convecteurs à détente directe

Ce système peut comporter **une unité par pièce ou une unité centrale** (installée dans un faux plafond, des combles ou un placard et reliée à un réseau de gaines de distribution d'air chaud). Chaque unité pulse dans le logement l'air réchauffé par passage sur une batterie d'échange où circule **le fluide frigorigène de la PAC à détente directe**.

La production d'eau chaude sanitaire

Les PAC peuvent également produire de l'eau chaude sanitaire (ECS). On peut obtenir de l'eau chaude sanitaire de deux façons :

avec une **PAC double service** qui assure les deux fonctions. La PAC assure le chauffage de la maison et l'eau du ballon est chauffée en récupérant une partie de la chaleur du fluide frigorigène. Quand la PAC ne fonctionne pas, une résistance électrique chauffe l'eau sanitaire ;

avec un **chauffe-eau thermodynamique (CET)**. Un chapitre (pages 24 à 27) est consacré à cet équipement innovant dont l'offre se diversifie rapidement.

Le rafraîchissement d'un bâtiment en été

En inversant le cycle du fluide frigorigène, la pompe à chaleur puise des calories dans le logement et les rejette à l'extérieur.

Les PAC munies de ce dispositif sont dites « réversibles ». Elles assurent une **baisse modérée** de la température, de l'ordre de 3 à 4 °C de moins qu'à l'extérieur. Il s'agit donc d'une fonction de rafraîchissement et non de climatisation.

Par ailleurs, certains climatiseurs individuels réversibles assurent une fonction « chauffage ». **Ils ne sont en général pas adaptés aux besoins de chauffage d'hiver** car ils ne sont pas dimensionnés pour cela.

L'installation d'un système réversible incite à la consommation d'électricité tout au long de l'année pour les besoins d'un certain confort thermique alors qu'une pompe à chaleur uniquement dédiée au chauffage n'en utilise que l'hiver. Pour votre confort d'été, les protections solaires passives sont à privilégier.

Raîraîchissement et condensation

Si votre pompe à chaleur alimente un plancher chauffant / rafraîchissant, la température de celui-ci ne doit pas descendre trop bas par rapport à celle

de l'air ambiant. Sinon, il y aura condensation de l'humidité de l'air sur le plancher. Pour éviter cela, une régulation appropriée assure ce contrôle.

Pour
en savoir
plus

Guide de l'ADEME « Garder son logement frais en été »

Performances et certifications

Les performances d'une PAC dépendent non seulement de l'efficacité du matériel, mais aussi de la **qualité de l'installation** et des **conditions d'utilisation** de l'équipement.

Des performances minimales exigées

Depuis novembre 2007, la **réglementation thermique dans l'existant** fixe le niveau de performances minimal requis pour les équipements de chauffage, de production d'eau chaude, de ventilation ou de climatisation que vous installez ou faites installer dans votre

logement, s'il n'est pas neuf. Dans le cas d'une PAC, elle doit satisfaire à un **COP minimal en mode chauffage de 3,2** aux conditions normales d'utilisation, mais ce COP n'est pas suffisant pour obtenir des aides financières.

• Des coefficients à connaître : COP et EER

Les performances des pompes à chaleur s'expriment par des coefficients qui rendent compte de leur efficacité en fonction de l'énergie qu'elles consomment.

Le rapport entre la quantité de chaleur produite et l'énergie électrique consommée (par le compresseur) est le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur. Il traduit la performance énergétique d'une pompe à chaleur en mode chauffage. Pour 1 kWh d'électricité consommé, les PAC restituent pour la plupart 2 à 4 kWh de chaleur. Par exemple, si une PAC consomme 1 kWh d'électricité et restitue 3 kWh de chaleur, on dit que son COP est de 3.

Le COP est mesuré par le fabricant ; il est valable pour **une température d'essai donnée**.

Dans la pratique, le COP constaté est en général différent du COP « nominal » donné par le fabricant : quand le milieu est plus froid que la température d'essai, l'efficacité énergétique de la pompe à chaleur diminue et devient inférieure au COP annoncé. À l'inverse, elle est supérieure à ce COP quand le milieu est plus chaud que la température d'essai.



Les variations entre le COP annoncé et la performance réelle sont très nettes pour les PAC aérothermiques, surtout celles sur air extérieur.

L'efficacité d'une PAC dépend aussi de son **bon dimensionnement** : le surdimensionnement multiplie les cycles marche/arrêt, ce qui provoque une surconsommation électrique.

L'appellation EER (coefficient d'efficacité frigorifique) traduit l'efficacité d'un système thermodynamique **quand il produit du froid**.

• Des consommations annexes

Le compresseur de la pompe à chaleur est le principal consommateur d'électricité, mais il n'est pas le seul. Les PAC sont le plus souvent équipées d'auxiliaires qui fonctionnent à l'électricité (circulateurs, organe de dégivrage, ventilateurs, etc.). Enfin, les ventilo-convecteurs sont eux aussi équipés de ventilateurs. Il faut tenir compte de ces consommations annexes pour estimer la performance réelle du système de chauffage.

• Des certifications pour un matériel de qualité

Le marquage **Eurovent** garantit que les puissances, le COP et l'EER des PAC réversibles sont conformes aux valeurs annoncées par les constructeurs.

La marque **NF PAC** certifie le COP, la puissance thermique et le niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur aérothermiques et géothermiques de moins de 50 kW.

Le label **Promotelec** est attribué aux matériels qui satisfont à un cahier des charges (fixant entre autres les performances des appareils).

La marque **NF Electricité Performance** pour les chauffe-eau thermodynamiques autonomes à accumulation est attribué aux systèmes les plus performants.

Dans tous les cas, les essais sont réalisés par des laboratoires indépendants.

Question de prix

Il existe un grand nombre de types de PAC. Leur coût varie dans une large fourchette en fonction du matériel installé, de la configuration retenue... Pour fixer les idées, l'**ordre de grandeur** des prix pour l'installation d'une PAC dans une maison individuelle de 110 m² est le suivant (chiffres 2012) :

PAC aérothermique dédiée au chauffage, **11 000 € HT**, pose comprise,

PAC géothermique dédiée au chauffage à capteurs verticaux, investissement supplémentaire de **2 500 à 4 000 € TTC** (coût des capteurs et du forage),

PAC géothermique dédiée au chauffage à capteurs horizontaux, investissement supplémentaire de **1 800 à 3 000 € TTC** pour une installation à capteurs horizontaux,

CET (60 % des installations), entre **3 000 et 4 000 € TTC** fourni et posé.

En fonctionnement, une PAC coûte entre **3 et 7 €/m²** par an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire hors abonnement d'électricité.

Tout savoir sur LES PAC GÉOTHERMIQUES

Elles valorisent les calories du sol ou de l'eau des nappes par le biais de réseaux de capteurs, de sondes ou de forages d'eau.

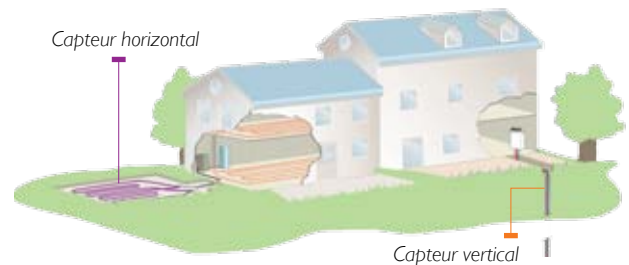
Ce type de PAC est très performant quelle que soit la température hivernale. En effet, les capteurs sont installés à la profondeur requise pour que la température y soit à peu près constante toute l'année et toujours suffisante.

Capter les calories

Dans les PAC géothermiques, le prélèvement de chaleur se fait par le biais de tubes enterrés dans le sol.

Ces **capteurs** peuvent être placés en configuration horizontale ou verticale. Dans ce dernier cas, on parle aussi de sondes géothermiques verticales.

Les capteurs enterrés



Les capteurs horizontaux

Ce sont des tubes de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène. Ils sont installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m). Dans ces boucles circule en circuit fermé de l'eau additionnée d'antigel ou le fluide frigorigène de la pompe à chaleur (selon la technologie employée). Les capteurs horizontaux peuvent équiper une PAC à détente directe, une PAC à fluides intermédiaires ou une PAC mixte (voir pages 8 et 9).



Pose de capteurs horizontaux.

Les capteurs verticaux

Ils sont constitués de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage (jusqu'à 80 m de profondeur) et scellés dans celui-ci par du ciment. Dans la plupart des cas, on réalise plusieurs forages qui doivent être distants d'au moins 10 m. On y fait circuler en circuit fermé de l'eau additionnée de liquide antigel. Seules les PAC à fluides intermédiaires (voir page 9) peuvent être équipées de capteurs verticaux.

Bien dimensionner les capteurs

La longueur totale des tubes d'un **capteur horizontal** dépasse plusieurs centaines de mètres. Ils sont repliés en boucles distantes d'au moins 40 cm, pour éviter un prélèvement trop important de la chaleur du sol. Dans le cas contraire, il y aurait des risques de gel du sol.

On estime la surface de capteur nécessaire de **1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer**. Pour une maison de 150 m², le capteur occupera entre 225 et 300 m² de votre jardin. Pour un chauffe-eau thermodynamique, la surface de capteurs nécessaire est de **25 m² environ**.

Pour **les capteurs verticaux**, deux sondes géothermiques d'environ **70 m de profondeur** chacune et distantes d'au moins 10 m, peuvent convenir pour chauffer une maison de 120 m² habitables (en fonction de la zone climatique et de l'isolation de la maison).

L'emprise au sol est faible par rapport à des capteurs horizontaux mais la réalisation du forage exige un minimum de place et une bonne accessibilité.

Prendre quelques précautions

• Les capteurs horizontaux doivent respecter certains principes de pose

Pelouse, massifs de fleurs et buissons peuvent cohabiter avec le capteur horizontal enterré.

Distances minimum pour les capteurs enterrés horizontaux

Se trouver à plus de 2 m des arbres.

Se trouver à au moins 1,50 m des réseaux enterrés non hydrauliques.



La surface au-dessus du capteur doit être perméable (pas de terrasse ou de construction) et ne pas être traversée par des réseaux d'eau (risque de gel). Le terrain ne doit pas être trop pentu, pour ne pas avoir à faire de remblai. Dans un sol rocheux ou argileux, il est préférable d'installer les capteurs sur un lit de sable.

• Les sondes géothermiques sont plus délicates à poser

En plus des précautions signalées pour la pose des capteurs horizontaux, il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage, de préférence adhérente à la charte de qualité Qualiforage. Vous trouverez la liste de ces entreprises sur www.geothermie-perspectives.fr, rubrique «je chauffe ma maison». De plus, il est impératif de respecter les procédures administratives concernant la protection des sous-sols.

Choisir une configuration

Actuellement, en France, les PAC géothermiques les plus répandues sont celles à capteurs horizontaux. Elles sont **moins coûteuses** que les PAC à capteurs verticaux mais nécessitent de disposer d'une **surface de terrain suffisante**. Elles sont donc surtout réservées au chauffage des **maisons individuelles**.

Les configurations verticales sont bien développées à l'étranger et l'on commence à voir de plus en plus de réalisations en France. Ces systèmes sont **plus coûteux** mais leur **emprise au sol est nettement plus réduite**. Ils peuvent donc convenir pour chauffer des **maisons individuelles** et aussi de **petits ensembles de logements** et d'**immeubles de bureaux** qui sont limités par la surface environnante.



L'installation de sondes verticales nécessite de la place pour l'accès du camion de forage sur le site.

Un cas à part, les PAC sur eau de nappe

Elles aussi font partie des PAC géothermiques. La chaleur du sous-sol est celle contenue dans l'eau de nappes aquifères peu profondes (moins de 100 m) captée par forage. On les appelle en général PAC eau/eau.

Les PAC **sur eau de nappe** nécessitent un ou deux forages de 30 à 100 m de profondeur. Le captage doit être réalisé par un foreur professionnel et déclaré à la DREAL locale (direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement).

Attention ! Démarches

Les forages sont soumis à des réglementations nationales et locales. Avant d'envisager un tel projet, il faut faire le point sur les démarches administratives à entreprendre et contacter un spécialiste (hydrogéologue agréé, Bureau de recherches géologiques et minières

[BRGM], bureau d'études spécialisé). Depuis le 1^{er} janvier 2009, tout particulier utilisant ou souhaitant réaliser un ouvrage de prélèvement d'eau souterraine à des fins d'usage domestique doit déclarer cet ouvrage ou son projet en mairie.

Dans les systèmes à un seul forage, l'eau de nappe prélevée est rejetée dans une rivière, un plan d'eau ou un réseau d'eaux pluviales (si ce type de rejet y est toléré) après qu'on y ait prélevé les calories nécessaires.

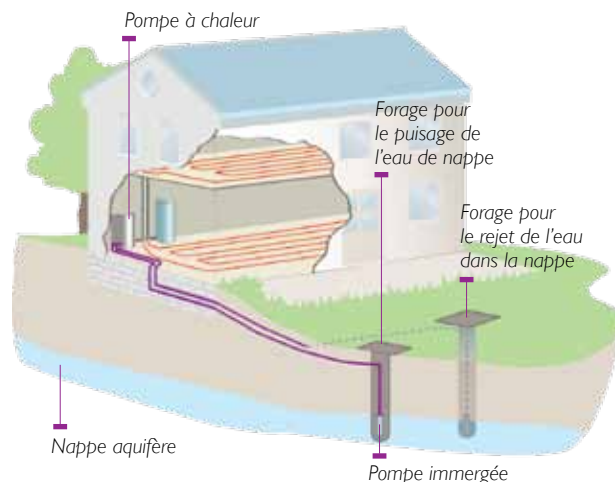
Dans le système à deux forages, le deuxième forage sert à réinjecter l'eau utilisée dans la nappe. Ce système, bien que plus coûteux, est fortement recommandé car il évite le gaspillage de l'eau souterraine, précieuse par nature.

Un débit suffisant

Pour qu'une pompe à chaleur sur eau de nappe donne toute satisfaction, il faut que le débit d'eau puisé dans la nappe soit suffisant et stable dans le temps.

Le débit requis peut atteindre ou dépasser 1 m³/h et s'élever jusqu'à 3 m³/h pour une maison individuelle, selon son degré d'isolation.

Pompe à chaleur eau/eau Exemple d'une pompe à double forage



Source : COSTIC

Et en rivière ?

Il est possible d'utiliser l'eau d'une rivière pour faire fonctionner une pompe à chaleur. Selon le débit prélevé par la pompe, le débit d'étiage du cours d'eau et le type de cours d'eau (domanial ou non), cet usage peut être soumis à déclaration ou à autorisation

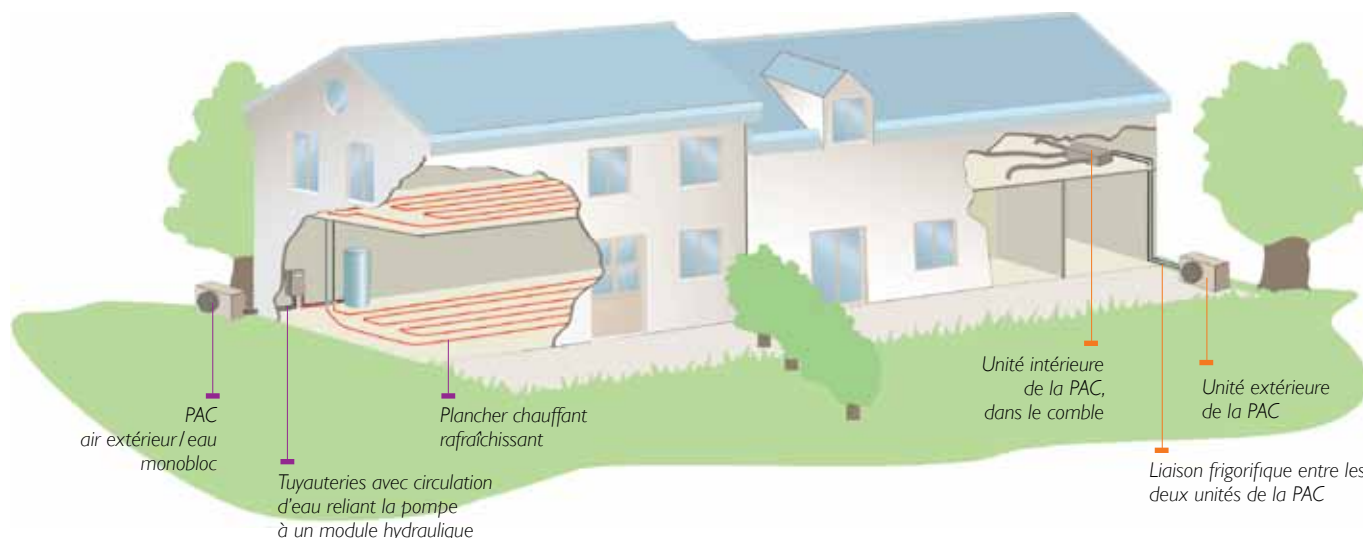
et assujetti à une redevance du domaine public (rivières domaniales). Pour plus de renseignements, contacter la direction départementale de l'agriculture et de la forêt. C'est auprès d'elle que se font les démarches nécessaires.

Tout savoir sur LES PAC AÉROTHERMIQUES

Simples à mettre en œuvre, elles récupèrent les calories de l'air ambiant (intérieur ou extérieur au logement) et s'adaptent à de nombreuses situations : l'air est une source de chaleur facilement exploitable, sans capteur à installer et sans autorisation spéciale. Elles peuvent convenir dans une maison individuelle, neuve ou ancienne.

La température de l'air extérieur varie beaucoup au cours de l'année et peut descendre très bas en hiver. En conséquence, les performances des PAC aérothermiques varient elles aussi largement.

Pompe à chaleur air extérieur / eau,
dite « mixte »



L'air, fournisseur de calories pour la PAC

Les installations diffèrent selon l'air utilisé pour y puiser la chaleur.

• L'air est puisé au dehors

La pompe à chaleur est installée à l'intérieur ou à l'extérieur du logement et **prélève la chaleur de l'air extérieur**. Quand il fait froid, l'évaporateur de la PAC, au contact de l'air extérieur, peut givrer et cela diminue son efficacité. Ce type de PAC est donc muni d'une régulation qui inverse périodiquement et pour un court moment son fonctionnement. Ceci assure le dégivrage de l'évaporateur.

Une **PAC air extérieur / eau** chauffe l'eau d'un circuit de chauffage. Les émetteurs de chaleur peuvent être un plancher chauffant, des radiateurs basse température et/ou des ventilo-convecteurs.

La pompe à chaleur peut être constituée d'un seul élément : on l'appelle alors PAC monobloc. Elle peut comporter aussi deux unités séparées, reliées par un circuit de liquide frigorigène.

Une **pompe air extérieur / air intérieur** chauffe directement l'air du logement par le biais d'un ou plusieurs ventilo-convecteurs à détente directe.

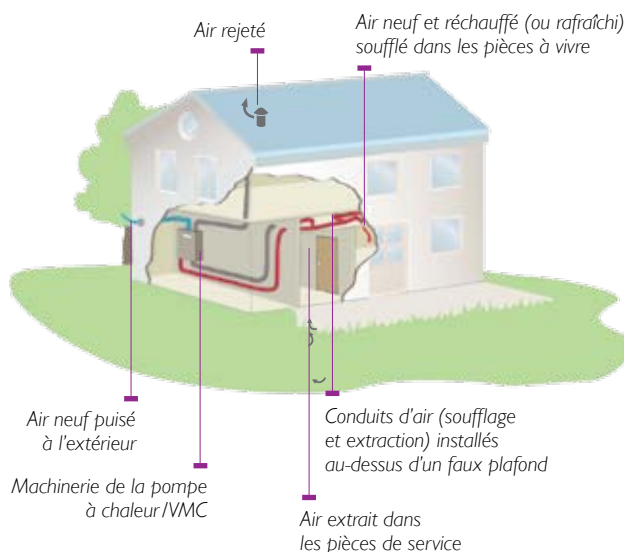
Les PAC sur air extérieur peuvent être réversibles et assurer le rafraîchissement du logement en été.

Pompe à chaleur air extérieur / air intérieur,
dite « à détente directe »

• L'air provient du logement

La pompe à chaleur air extrait/air neuf ou VMC double flux thermodynamique couple une ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux et une PAC. Elle assure à la fois le **renouvellement de l'air** du logement et son **préchauffage**: la PAC récupère la chaleur de l'air extrait par la VMC dans les pièces de service (cuisine, salle de bains et WC) et préchauffe ainsi l'air neuf soufflé dans les pièces à vivre (séjour, chambres).

Pompe à chaleur air extrait/air neuf



Source : COSTIC

Pour que le système fonctionne, l'air doit pouvoir circuler d'une pièce à l'autre. Le **détalonnage** des portes (mise en place d'un espace de 2 cm environ au bas des portes) est indispensable pour permettre cette circulation.

Ce dispositif est **réversible** et peut assurer le rafraîchissement du logement en été.

Un système d'appoint et de relèvement nécessaire

Les PAC aérothermiques sont toujours munies d'un **système de chauffage d'appoint** pour pallier une éventuelle insuffisance de la PAC quand il fait froid. La baisse de la température extérieure s'accompagne d'une diminution de l'efficacité de la pompe, jusqu'à un point où elle s'arrête (selon les modèles, entre -10 et -20°C). Le chauffage d'appoint (résistance électrique intégrée à la machine) assure alors le chauffage du logement. Certains modèles récents de PAC réversibles peuvent fonctionner sans appoint, même à basse température.

Une **PAC air extérieur/eau** peut aussi être intégrée à une installation de chauffage central classique existante, si celle-ci est encore en bon état. On parlera alors de «PAC en relèvement de chaudière» même si, en réalité, c'est la chaudière qui relève la PAC.

Dans ce type d'installation, le passage de relais entre la PAC et la chaudière se fait automatiquement, en général par mesure de la température extérieure. Sous une température seuil fixée par l'installateur (souvent autour de 0°C), la chaudière prend le relais. Au dessus de ce seuil, la PAC assure le chauffage. Dans tous les cas, la chaudière produira l'ECS. Cette solution permet des économies substantielles de combustible et présente en général un bilan énergétique plus avantageux qu'une solution PAC seule avec appoint électrique.

Une **pompe à chaleur air extrait/air neuf** ne couvre pas la totalité des besoins de chauffage: un **chauffage complémentaire est toujours nécessaire**.

Le bruit: attention au voisinage !

Certaines PAC aérothermiques sont bruyantes. Si la pompe à chaleur est installée à l'extérieur du logement, elle ne doit gêner ni ses habitants, ni les voisins. Il peut être nécessaire d'installer des dispositifs pour limiter la nuisance (écran anti-bruit, pose sur des plots anti-vibratiles, etc.). En copropriété, avant d'installer une PAC aérothermique, il faut vérifier que ce type d'appareil y est autorisé.

Une innovation POUR L'EAU CHAUDE SANITAIRE

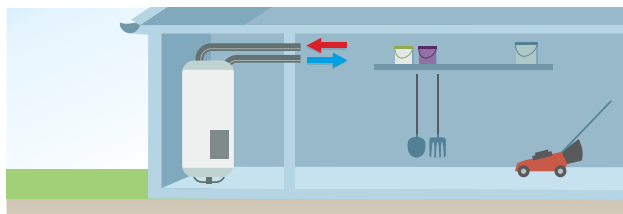
Le chauffe-eau thermodynamique (CET) est un équipement indépendant de production d'eau chaude sanitaire comprenant une pompe à chaleur spécifique et un ballon de stockage (150 à 300 litres) de l'eau chaude produite. Cet équipement fiable offre une solution intéressante pour chauffer l'eau sanitaire, sous réserve de respecter certains impératifs. C'est une alternative à l'installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI). Tout comme les PAC pour le chauffage, les CET existent en plusieurs versions.

Des CET pour toutes les situations

• Les CET aérothermiques

Ces équipements valorisent les calories de l'air. Ce sont les plus simples à mettre en œuvre et ils s'adaptent à de nombreuses situations, en rénovation ou dans les logements neufs. Certains récupèrent les calories sur l'air du logement (ambiant ou extrait), d'autres sur l'air extérieur.

Le CET sur air ambiant



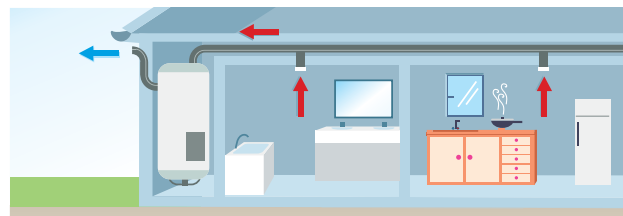
La pompe à chaleur récupère l'énergie de l'**air du local** où est installé l'appareil.

Facile à installer même dans l'existant, cet équipement est moins soumis qu'un CET sur air extérieur aux aléas du climat. Il a cependant l'inconvénient de rafraîchir l'air du local (cellier,

garage, buanderie...) où il est installé, ce qui peut entraîner une **surconsommation de chauffage** pour le logement.

Le CET sur air ambiant représente **la moitié du marché** actuel des chauffe-eau thermodynamiques.

Le CET sur air extrait

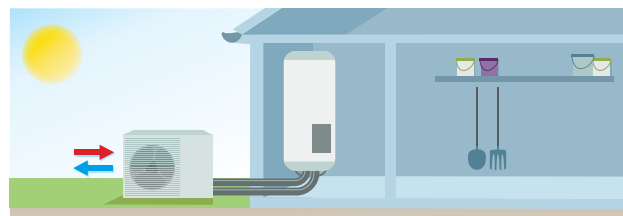


La pompe à chaleur récupère l'énergie de l'**air extrait par la VMC**. Directement raccordé au système de ventilation mécanique centralisée de la maison (VMC), il fonctionne avec une température d'air de 20°C au minimum toute l'année.

Cet équipement est **efficace** mais nécessite l'**existence d'une VMC**. De ce fait, il ne peut être installé que dans des logements neufs ou lors d'une rénovation lourde. Il est aussi plus encombrant que le précédent.

Certaines installations sont mixtes : le CET récupère l'énergie d'un mélange entre l'air de la VMC et l'air ambiant. Pour les CET ne fonctionnant que sur l'air extrait, il est déconseillé de surventiler le logement pour assurer les besoins d'eau chaude sanitaire comme peuvent le préconiser certains fabricants.

Le CET sur air extérieur



Cet équipement (type « split ») récupère l'énergie de l'**air du dehors** grâce à une unité installée à l'air libre.

Facile à installer et peu encombrant, il s'adapte à de nombreuses configurations. Le système comprend un ballon (à l'intérieur, dans le garage, le cellier...) et un récupérateur extérieur, reliés par un circuit contenant le fluide frigorigène. Il est soumis aux aléas du climat et ses **performances dépendent de la température extérieure**. L'unité extérieure peut être **bruyante** et gênante pour le voisinage.

● Les CET géothermiques

Ils récupèrent l'énergie stockée dans le sol par l'intermédiaire de capteurs enterrés horizontaux ou de sondes verticales (solution marginale).

Ce sont des équipements **performants**. Ils nécessitent une certaine **surface de terrain** pour l'installation des capteurs, moins importante cependant que pour une PAC géothermique dédiée au chauffage.

● Les CET héliothermiques

Les CET héliothermiques valorisent directement l'énergie solaire pour le fonctionnement de la pompe à chaleur du CET. Ils sont composés de panneaux solaires particuliers appelés capteurs évaporatifs solaires. L'énergie solaire est récupérée pour vaporiser le fluide frigorigène qui circule et transfère l'énergie à l'eau chaude via la pompe à chaleur.

Ces équipements performants restent peu répandus. Ils nécessitent l'installation de capteurs en façade ou en toiture et contiennent une quantité de fluide frigorigène plus importante que les autres types de CET.

Quelques précisions techniques

La capacité d'un CET se situe en général entre 150 et 300 litres. La plupart des CET sont équipés d'un **appoint électrique** pour assurer une montée en température (à 60°C) qui puisse empêcher le développement des légionnelles et pour pallier une éventuelle baisse de puissance de la pompe à chaleur.

● Le COP

Comme pour les pompes à chaleur consacrées au chauffage, le COP traduit la performance d'un appareil donné.

Il faut cependant préciser que le COP mesuré selon les normes en vigueur est toujours supérieur au COP constaté dans les conditions réelles de fonctionnement.

Dans la construction neuve (RT 2012), les appareils répondent aux exigences réglementaires* si leur COP est supérieur à 2.

* Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

● Les conditions de la performance

Les performances d'un CET aérothermique dépendent :

de la **température de l'air** puisé. Le COP diminue en moyenne de 2% par degré en moins ;

de la **température de consigne** pour l'eau du ballon. Les CET fonctionnent de façon optimale pour une température de consigne de 45 à 50°C. Le COP se dégrade rapidement si on l'augmente (de 40 à 60% pour une consigne de 60°C) ;

de la **consommation d'eau** : mieux on vide le ballon, meilleure est la performance. Il est donc **impératif de ne pas surdimensionner le ballon** par rapport aux besoins sous peine de voir baisser sensiblement les performances de l'appareil ;

de l'**emplacement du ballon**. Il ne doit pas être installé dans un local soumis à la température du dehors (abri hors d'eau à éviter par exemple).

Un marché en pleine croissance

Le CET est un équipement de plus en plus installé. En 2011, 26 000 installations ont été effectuées dans une palette de plus de 80 modèles.

La capacité des CET installés approche en général 300 litres. La différence de prix entre des CET de 200 et de 300 litres est assez faible, les installateurs proposent souvent un ballon de volume supérieur **avec des conséquences sur les performances de l'appareil**.

À noter que le CET bénéficie d'un crédit d'impôt à condition que l'appareil respecte un niveau minimum de COP (voir p. 34).

Pour éclairer

LE CHOIX D'UNE PAC

PAC SOL / SOL ou SOL / EAU		PAC EAU GLYCOLÉE / EAU ou EAU / EAU	
APPOINT			
Pas nécessaire		Pas nécessaire	
EAU CHAUDE SANITAIRE			
Production possible		Production possible	
RAFRAÎCHISSEMENT			
Pas possible sur plancher chauffant, possible avec des unités à détente directe		Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé	
AVANTAGES			
• Système simple, coût limité pour du géothermique • adaptée aux climats rigoureux • existence obligatoire d'un avis technique du CSTB (pompe sol / sol)		• Adaptée aux climats rigoureux • peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC • adaptation possible à un réseau de chauffage central existant	
CONTRAINTES			
• Systèmes à capteurs horizontaux seulement • quantité importante de fluide frigorigène mise en œuvre (surtout pour la pompe sol / sol) • exiger une solide expérience de l'installateur • pour la PAC sol / sol, technologie de plancher spécifique		• Système plus coûteux qu'une PAC sol / sol ou sol / eau Pour les PAC à capteurs verticaux ou sur eau de nappe : • exiger une solide expérience de l'installateur et du foreur • démarches et autorisations à envisager • coût élevé des forages	

PAC AIR EXTÉRIEUR / EAU		PAC AIR EXTÉRIEUR / AIR ou AIR EXTRAIT / AIR NEUF
PAC seule	PAC en relève de chaudière	
APPOINT		
Toujours intégré au système, peu ou pas utilisé dans les systèmes les plus performants, nécessaire pour les autres	Assuré par la chaudière	Toujours nécessaire
EAU CHAUDE SANITAIRE		
Préchauffage ou production possibles	Assurée par la chaudière	Non conçu pour produire de l'eau chaude sanitaire
RAFRAÎCHISSEMENT		
Possible (sauf si les émetteurs sont des radiateurs) et bien maîtrisé	Inadapté	Possible et bien maîtrisé
AVANTAGES		
• Système simple, coût limité • peu de fluide frigorigène, confiné dans la PAC • adaptation possible à un réseau de chauffage central existant	• Limitation de l'investissement avec une PAC de moindre puissance • appoint capable de couvrir 100% des besoins en cas de panne de PAC	• Utilisable en appartement à chauffage individuel • couplage avec la VMC pour les PAC air extrait/air neuf
CONTRAINTES		
• Exiger des modèles parti- culièrement performants dans les climats rigoureux • vérifier le niveau de bruit développé par la PAC	• Nécessité d'une chaudière combustible encore en bon état • double maintenance • vérifier le niveau de bruit	• N'assure pas la production d'eau chaude sanitaire • nécessite le passage d'un réseau de gaines de soufflage de l'air (dans un faux-plafond ou des combles, accessibles pour les besoins de l'entretien) • n'assure pas la totalité du chauffage pour les PAC air extrait/air neuf • vérifier le niveau de bruit

Pour éclairer LE CHOIX D'UN CET

CET aérothermiques			CET géothermiques
CET sur air extérieur	CET sur air ambiant	CET sur air extrait	
APPOINT			
Oui, par résistance électrique	Oui, par résistance électrique	Oui, par résistance électrique	Oui, par résistance électrique
AVANTAGES			
Solution la plus simple et la moins onéreuse à installer	Solution simple et plus performante que le CET sur air extérieur	Solution CET aérothermique la plus performante	• Adapté aux climats rigoureux • hautes performances
CONTRAINTES			
• Baisse des performances due à la baisse de température de l'air • augmentation des pertes statiques du ballon	En refroidissant le local dans lequel il est installé, le CET génère des consommations de chauffage en plus	• Solution plus onéreuse • nécessité d'une installation de ventilation mécanique centralisée	• Surface libre nécessaire dans le jardin • coût du forage

Pose et entretien, ESSENTIELS POUR LA PERFORMANCE

Les pompes à chaleurs sont des appareils bien au point mais plutôt sophistiqués. Leur conception, leur élaboration, leur dimensionnement et leur pose exigent un savoir-faire spécifique.

Des précautions à prendre pour la pose

Assurez-vous de la **qualité du matériel** que vous avez choisi, en vérifiant que la PAC est porteuse de la **marque NF PAC (NF Electricité Performance** pour les CET), qui permet de vérifier la conformité du matériel aux différentes normes en vigueur, françaises, européennes et internationales ainsi que le respect de performances minimales. La liste de toutes les machines certifiées NF PAC est disponible sur www.certita.org et celle des CET certifiés sur www.lcie.fr.

Vérifiez les **compétences des professionnels** dont vous vous entourez en vous assurant que le fabricant et l'installateur ont une solide expérience de ce type d'installation, vous proposent un matériel fiable adapté aux caractéristiques de votre habitation et peuvent en effectuer la pose dans les meilleures conditions.

Ne négligez pas la maintenance et le service après-vente.

Choisir un professionnel RGE

L'ADEME vous conseille de choisir un **professionnel qualifié RGE**. Cette mention signale les entreprises s'engageant dans une démarche de qualité pour les travaux d'installation d'équipements

utilisant les énergies renouvelables. Vous pouvez trouver la liste des professionnels RGE sur www.renovation-info-service.gouv.fr

Quel entretien doit-on faire soi-même ?

Pour les pompes aérothermiques :

il faut que l'air **circule librement** autour de l'**unité extérieure** d'une pompe sur air. Il faut donc veiller régulièrement à ce qu'aucun obstacle (feuilles d'arbres, objets divers) ne vienne gêner cette circulation ;

les bouches d'insufflation et les unités à détente directe doivent être **dépoussiérées et nettoyées périodiquement** (à l'eau savonneuse).

Pour les pompes géothermiques, l'utilisateur n'a pas d'entretien particulier à assurer lui-même.

La durée de vie de l'installation

Comme une chaudière classique, la pompe à chaleur a une durée de vie de l'ordre de 15 ans.

Les capteurs enterrés ont une durée de vie beaucoup plus longue, supérieure à 40 ans.

Maintenance et contrat d'entretien, une affaire de spécialistes

Pour que l'installation conserve ses performances et dure longtemps, il faut la faire surveiller et entretenir par un spécialiste **tous les ans**. Il contrôlera en particulier l'étanchéité du circuit frigorifique. Cette vérification est obligatoire pour les machines contenant plus de 2 kg de fluide frigorigène et ne peut être effectuée que par une **entreprise qualifiée respectant la réglementation existante**.

Signer un **contrat de maintenance**, c'est s'assurer d'une visite annuelle (éventuellement biannuelle pour une PAC réversible) pendant laquelle un technicien réalisera la liste d'opérations définies par le contrat.

Tout comme une PAC, un CET doit être entretenu régulièrement par un professionnel qualifié RGE (voir page 31).



La pompe à chaleur doit être entretenue par un professionnel qualifié.

Que faire d'une PAC en fin de vie ?

Elle doit être démontée par un spécialiste qui **récupérera le fluide frigorigène pour le recycler ou le détruire**. En particulier, les PAC anciennes contiennent des fluides frigorigènes maintenant interdits. Ils doivent être récupérés par une **entreprise habilitée à la manipulation des fluides** pour être traités ou détruits.

Des aides FINANCIÈRES

De nombreuses aides sont disponibles. Pour savoir si vous pouvez en bénéficier, contactez le service public de la rénovation énergétique : des conseillers sont là pour vous informer afin d'obtenir les meilleurs financements possibles.



● Des incitations fiscales

L'acquisition de matériels utilisant des énergies renouvelables pour le chauffage est encouragée par les pouvoirs publics grâce à des aides.

Le crédit d'impôt «développement durable»

Qu'est-ce que le crédit d'impôt ?

C'est une disposition fiscale réservée aux particuliers domiciliés fiscalement en France. Elle permet aux ménages de déduire de leur impôt sur le revenu une partie des dépenses réalisées pour certains travaux d'amélioration

énergétique, portant sur leur résidence principale. Si ce crédit d'impôt est supérieur au montant de l'impôt dû, l'excédent est remboursé au ménage. C'est le cas par exemple pour les ménages ne payant pas d'impôt.

Vous pouvez en bénéficier pour l'achat dans votre résidence principale neuve, ancienne ou encore en construction, d'une pompe à chaleur pour le chauffage de type géothermique ou de type air/eau ayant un **COP supérieur ou égal à 3,4**.

Pour les **CET**, les exigences de COP sont de **2,3** pour les versions géothermiques et aérothermiques (sur air extérieur et sur air ambiant, hors air/air) et **2,5** pour les versions sur air extrait.

Le montant du crédit d'impôt est de 26%, 34% dans le cadre d'un bouquet de travaux* (niveaux valables jusqu'au 31/12/2012).

** ensemble de travaux cohérents dont la réalisation simultanée augmente sensiblement l'efficacité énergétique d'un logement.*



Guide de l'ADEME «Les aides financières»

Sur internet: www.ecocitoyens.ademe.fr/financer-mon-projet

Un taux de TVA réduit

Vous pouvez bénéficier d'un taux réduit de **TVA** pour la **fourniture et l'installation** d'une pompe à chaleur dans votre résidence principale ou secondaire achevée depuis plus de deux ans.

L'entreprise qui vous vend le matériel et en assure la pose applique la réduction de TVA.

● L'éco-prêt à taux zéro

Vous pouvez en bénéficier pour la réalisation d'un «**bouquet de travaux***» comportant notamment l'installation d'une **pompe à chaleur à capteurs enterrés ou air/eau** ou si la nouvelle installation **améliore la performance énergétique globale** de votre logement. Attention, pour les mêmes travaux, crédit d'impôt et éco-prêt à taux zéro sont cumulables sous conditions de ressources.

** ensemble de travaux cohérents dont la réalisation simultanée augmente sensiblement l'efficacité énergétique d'un logement.*

● Des aides des collectivités territoriales

Des **primes ciblées** sont proposées par certaines régions, départements ou communes. Renseignez-vous localement auprès du service public de la rénovation énergétique.

● Des aides des distributeurs d'énergie

Sous certaines conditions, ils peuvent délivrer des **accompagnements financiers** (prêts à taux réduits, etc.) pour la mise en œuvre d'une PAC.

● Les aides de l'Anah

L'Agence nationale de l'habitat (Anah) peut vous **accorder une aide** si vous installez une pompe à chaleur.



Sur internet: www.anah.fr

site de l'Agence nationale de l'habitat

CONCEPTION GRAPHIQUE Atelier des Giboulées | RÉDACTION Hélène Bareau | PHOTOS ADEME: Romi / REA (p. 5, 10, 13, 33) - M. Latapie (p. 6) - SOFATH (p. 16) - Géostorage (p. 18) | SCHÉMAS ADEME / Graphies (p. 15, p. 17, p. 19, p. 20-21, p. 22) et Atelier des giboulées (p. 7, p. 24-25) | ILLUSTRATIONS Camille Leplay, Agnès Géraud

L'ADEME

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'Agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr

Pour bénéficier d'un dispositif complet d'accompagnement et de financement de vos travaux de rénovation énergétique, contactez les Points du réseau « Rénovation info service » et prenez rendez-vous avec un conseiller.



renovation-info-service.gouv.fr

0 810 140 240

PRIX D'UN APPEL LOCAL DEPUIS UN POSTE FIXE

Ce guide vous est fourni par :

