

Le chauffage

La pompe à chaleur géothermique





# La pompe à chaleur géothermique

## Le principe de base

Une pompe à chaleur (PAC) est un système dont le but est de valoriser la chaleur gratuite présente dans son environnement proche. Le modèle appelé géothermique ou **eau/eau** récupère l'énergie présente dans une source appelée froide puis augmente son niveau de température pour la restituer à une température plus élevée.

Ces sources froides peuvent être :

- le sol
- l'eau : nappe aquifère, rivière, lac, mer

Cette fiche technique n'aborde que les possibilités offertes par le sol et les nappes souterraines qui ont la particularité d'avoir une température constante.

Ces sources froides permettent d'obtenir une stabilité des performances énergétiques tout au long de l'année car elles ne sont pas soumises aux variations climatiques extérieures.

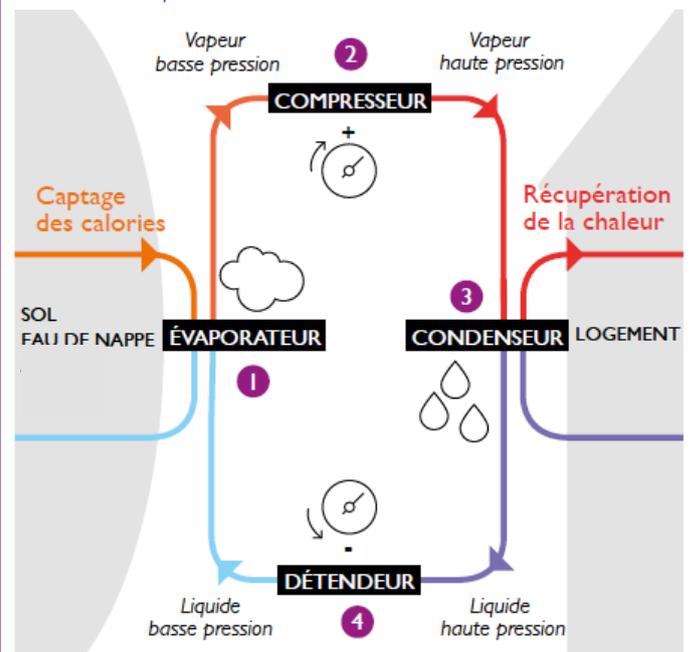
## Comment ça marche ?

La pompe à chaleur ou PAC à compression 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 4 :

- l'évaporateur
- le compresseur
- le condenseur
- le détendeur

## Principe de fonctionnement de la PAC



- 1 La chaleur prélevée dans le sol 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. 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. Le fluide frigorigène se condense et revient à l'état liquide.



## Quel potentiel géothermique ?

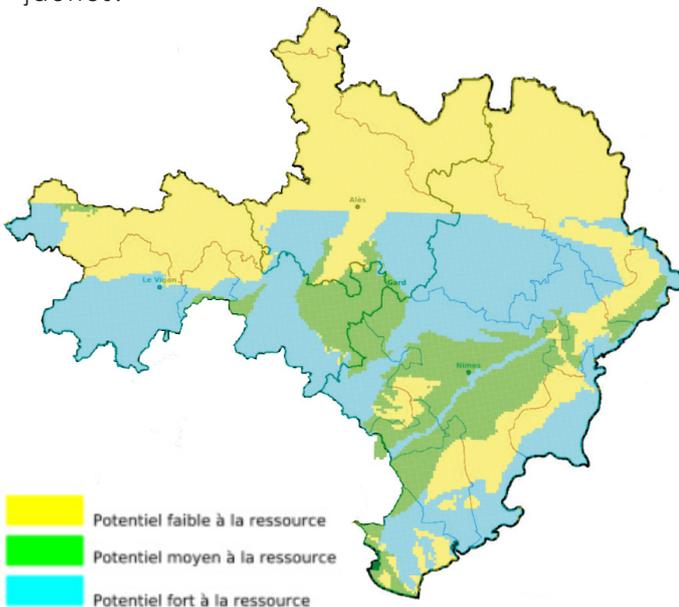
L'amélioration du rendement des pompes à chaleur a permis de développer la géothermie de très basse énergie, en améliorant la rentabilité du surcoût initial de l'installation. Elle peut être envisagée pour une construction neuve ou une réhabilitation.

Tout projet doit faire l'objet d'une analyse préalable pour déterminer le potentiel géothermique du site.

Une carte interactive réalisée par le BRGM permet d'avoir une première approche, elle est accessible depuis le site :

<http://www.geothermie-perspectives.fr/>

Dans le département du Gard les ressources géothermiques sont variables en terme de débits. Elles peuvent être très importante dans les zones bleues et faibles dans les zones jaunes.



*Ces informations transmises ne peuvent ni ne doivent en aucun cas remplacer l'étude de faisabilité réalisée par un bureau d'études compétent.*



## Pour quelles applications

La géothermie très basse température est exploitée pour le chauffage et le rafraîchissement des maisons individuelles ou des bâtiments. Elle peut également être utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire.

Les pompes à chaleur géothermiques ne sont compatibles qu'avec des émetteurs à eau chaude comme les planchers chauffants, les ventilo-convecteurs ou radiateurs basse température.



## L'eau chaude sanitaire

La fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) à partir de la PAC présente l'inconvénient de devoir porter l'eau à une température élevée (eau portée pendant 1 heure, à 65 °C pour éviter les risques de développement de la legionella). Cette contrainte a une incidence sur la performance de la PAC.

Pour produire l'ECS il existe deux solutions :

- l'installation d'un système indépendant
- l'Intégration d'une résistance électrique d'appoint qui assurera le complément des besoins.

Cette dernière a pour incidence de dégrader la performance globale de l'installation.



## Le rafraîchissement

En inversant le cycle du fluide frigorigène, la pompe à chaleur puise les calories dans le bâtiment et les réinjecte dans le sol. 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.



## Pour quels gains

Pour produire du chaud ou du froid, la pompe à chaleur consomme de l'électricité pour alimenter compresseur, pompes et auxiliaires.

Sa capacité à puiser les calories dans le sol ou sur eau de nappe lui permet d'obtenir un très bon rendement et donc de réduire les consommations énergétiques.

Ce niveau de rendement est évalué selon son coefficient de performance (COP): plus le chiffre est élevé, plus l'appareil est performant.

A titre d'exemple, un COP de 4 signifie qu'une pompe à chaleur restitue 4 kWh d'énergie pour 1 kWh d'énergie consommé.

Attention, car le niveau de performance est donné pour des conditions de températures précises. Il est donc indispensable de bien dimensionner son installation pour que la PAC fonctionne le plus possible en thermodynamique en limitant le recours à la résistance électrique qui intervient en appoint pour augmenter la puissance calorifique de la PAC.



## Les techniques de captage

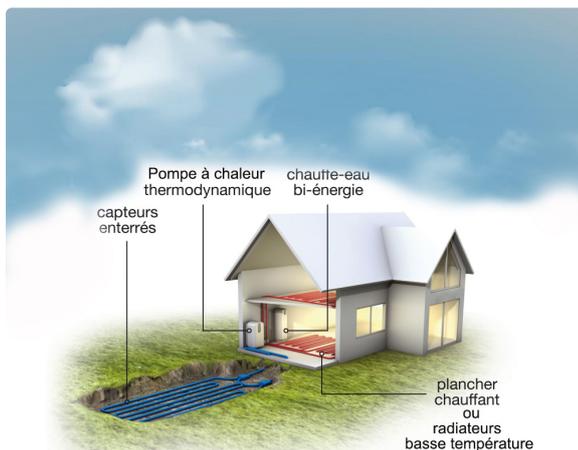
La production de chaleur s'effectue à l'aide d'une pompe à chaleur qui prélève dans le sol l'énergie thermique. Les calories sont puisées dans le sol avec des capteurs qui peuvent être installés horizontalement ou verticalement en fonction du type de ressource et de la technologie choisie.

Il existe 4 grandes catégories de captage d'énergie dans le sol :

- Les capteurs enterrés horizontaux
- Les capteurs enterrés verticaux (SGV)
- Le pompage sur eau de nappe
- Les pieux géothermiques

### Les capteurs enterrés horizontaux

Il s'agit de tuyaux (en polyéthylène généralement) enterrés horizontalement à faible profondeur (de 0,6 m à 1,2 m) dans lesquels circule un fluide caloporteur. Les capteurs sont installés sur le terrain jouxtant le bâtiment. Selon les fabricants la surface de captage préconisée varie entre 1,5 et 3 fois la surface chauffée de l'habitation.



Certains principes de pose sont préconisés, notamment en ce qui concerne les profondeurs d'enfouissement et d'espacement entre tubes. Les capteurs doivent être implantés à une distance d'au moins :

- 2 m des arbres,
- 1,5 m des réseaux enterrés non hydrauliques,
- 3 m des fondations, des puits, des fosses septiques et des évacuations.

Les apports de chaleur sont effectués par l'énergie solaire et les infiltrations de pluie. C'est pourquoi le terrain doit être adapté :

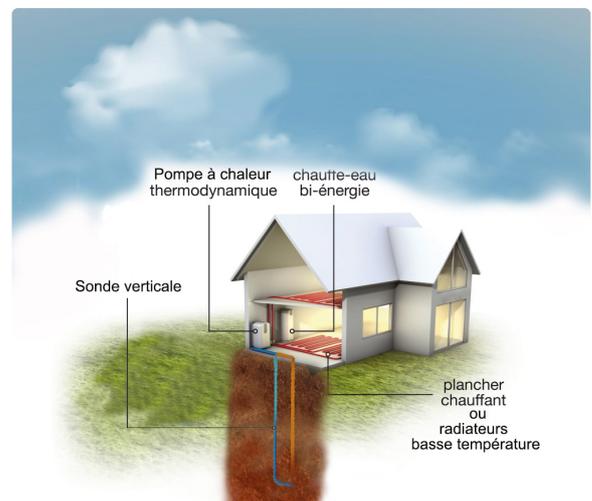
- il doit être bien exposé au soleil,
- il ne peut être recouvert d'un revêtement en dur (terrasse, piscine, ...),
- si il est rocheux et peu favorable aux échanges thermiques, il faudra prévoir un lit de sable,
- si il est trop pentu, il faudra envisager un remblaiement

### Les capteurs enterrés verticaux (SGV)

Le procédé consiste à implanter profondément dans le sol une ou plusieurs sondes verticales pour puiser l'énergie disponible. Cette technique de captage moins soumise aux variations de température permet d'obtenir des performances supérieures.

La longueur nécessaire de sondes géothermiques dépend de 2 facteurs :

- La puissance de la PAC calculée en fonction des déperditions du bâtiment)
- La capacité énergétique du terrain (environ 45W/ml selon les conditions géologiques du sol).



#### Le principe

Un forage vertical est effectué par un foreur agréé (Norme RGE-Qualiforage) dans lequel est placé une sonde géothermique (tube en U, ou double U en polyéthylène) contenant un fluide caloporteur circulant en circuit fermé.

Cette sonde est testée en pression en surface avant son implantation dans le forage puis dans le forage avant cimentation afin de prévenir toute fuite. Elle est ensuite scellée par du ciment et de la bentonite.

Une fois la cimentation terminée, un Test de Réponse Thermique (TRT) est réalisé et permet de vérifier la capacité thermique de l'installation. Cette étape validée, la PAC peut être installée et raccordée au forage.

## Le pompage sur eau de nappe

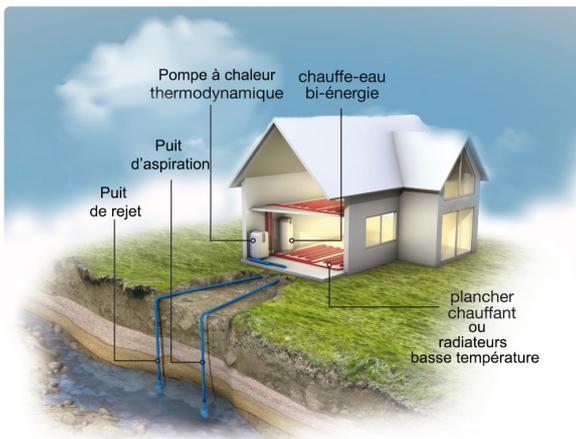
Lorsque l'eau souterraine est disponible en débit suffisant à une profondeur raisonnable, la géothermie sur nappe est la plus performante car elle a une température constante de l'ordre de 10°C toute l'année. La présence d'une nappe permet de récupérer les calories contenues dans l'eau.

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 après qu'on y a prélevé les calories nécessaires. Ce dispositif est intéressant d'un point de vue coût (un forage unique à réaliser), mais pour des raisons réglementaires liées à l'utilisation des eaux souterraines ce procédé est remplacé par la technique appelée à doublet.

### Le principe

L'eau de la nappe est prélevée dans un forage par l'intermédiaire d'une pompe immergée.

Elle est ensuite rejetée dans un 2ème forage, après prélèvement des calories nécessaires. Les forages d'alimentation et de rejet doivent être espacés au minimum de 15 mètres pour éviter de re-pompée de l'eau refroidie et qui ne serait pas encore réchauffée au sein de la nappe phréatique.



### Les contraintes

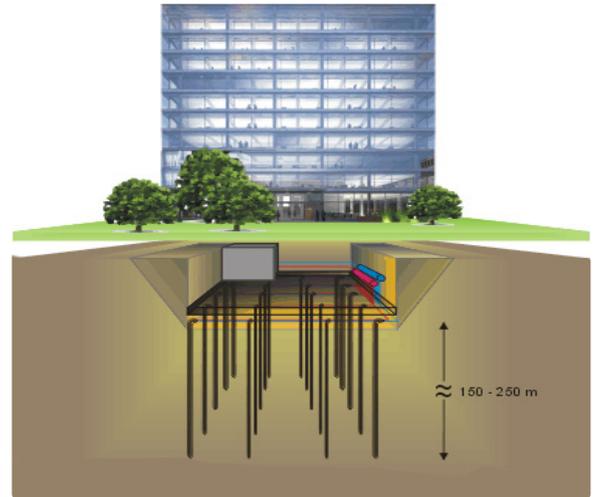
Ce type de captage nécessite la présence d'une nappe de surface avec un débit suffisant et stable dans le temps pour le bon fonctionnement de la pompe à chaleur. Un entretien régulier est à prévoir pour nettoyer l'échangeur primaire des éventuelles impuretés amenées par l'eau. Une analyse de la qualité de l'eau doit être réalisée préalablement par un laboratoire afin de déterminer le type d'échangeur à utiliser.

Au delà d'une profondeur de 30 m, le COP de l'installation est fortement impacté du fait de la consommation de la pompe de puisage. Il est donc déconseillé de puiser dans des nappes plus profondes.

## Les pieux géothermiques

Les 300 mètres supérieurs du sous-sol constituent une source de chaleur et de stockage idéal.

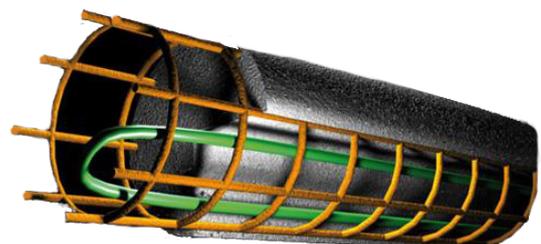
L'utilisation du sous-sol comme stockage d'énergie géothermique saisonnier est particulièrement efficace pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments de grandes surfaces.



Pour ces bâtiments neufs qui nécessitent un prélèvement important de calories, il existe des pieux de grandes profondeurs que l'on appelle aussi pieux géothermiques.

Le concept est simple : il consiste à profiter de la présence des fondations profondes, rendues nécessaires par la géologie du site, pour y intégrer un système de tubes géothermiques, qui vont permettre d'extraire la chaleur du sol en hiver et la fraîcheur en été. Autrement dit, il s'agit de transformer une contrainte structurelle en un atout énergétique.

Cette technique est généralement mise en œuvre dans les situations où la parcelle ne permet pas l'implantation d'un champ de sondes géothermiques verticales (CSGV).





## La conception



@Gina Sanders



### Les études préalables

Un bureau d'étude thermique qualifié RGE étude doit en premier lieu réaliser un bilan thermique du bâtiment selon la norme EN 12831. Ce calcul des déperditions permet de déterminer au plus juste la puissance nécessaire pour couvrir les besoins de chauffage et sélectionner le modèle de PAC adapté.

Il peut également définir les besoins calorifiques complémentaires si vous souhaitez produire l'eau chaude sanitaire et frigorifiques pour le rafraîchissement.

Puis, un bureau d'étude spécialisé en géothermie vérifie la faisabilité du projet en fonction du site, de la surface de captage, de la nature géologique du terrain ou de la disponibilité du débit d'eau et de ses caractéristiques.

Pour le captage sur eau de nappe, un foreur agréé (Norme RGE-QualiForage) doit faire des tests de débits et de durée pour valider le débit nominal requis. Les caractéristiques de l'eau utilisée sont également mesurées.

Des démarches administratives sont à suivre avant d'entamer le chantier. Il vous est conseillé de vous rendre auprès de votre mairie pour vérifier si le Plan Local d'Urbanisme exige une autorisation pour la concrétisation de votre projet. D'un autre côté, une déclaration de sondage doit être déposée auprès de la DREAL pour les techniques de captage sur sondes verticales à une profondeur comprise entre 10 et 200 mètres.

**Ces études et mesures sont indispensables pour calculer la puissance nécessaire de l'installation. Elles servent aussi à déterminer selon la technologie choisie, la surface, les longueurs de capteurs ou les débits de pompes à mettre en oeuvre.**

**Une mauvaise conception risque d'entraîner la mise en sécurité du système thermodynamique et une absence totale de chauffage.**

### Prescriptions de mise en oeuvre

Les principales prescriptions particulières de conception et mise en oeuvre des différents systèmes de PAC et forages sont rassemblées dans la norme NF 15450 – Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur.

### Les indicateurs de performances

Pour mesurer la performance d'une PAC en mode chauffage on divise la quantité d'énergie restituée par la quantité d'énergie électrique réellement consommée.

En mode chaud, ce coefficient de performance s'intitule **COP**.

Cette valeur est indiquée sur les documentations commerciales des fabricants (ex : prendre la valeur donnée pour 0/35 pour une géothermie avec forage sur sonde géothermique + plancher chauffant).

Cet indicateur vous permet de comparer les performances entre les divers modèles et fabricants de pompe à chaleur. Plus le coefficient est élevé, plus l'appareil est performant. Veillez toutefois à ce que la valeur annoncée soit **certifiée**.

*Exemple d'une matrice de performance COP pour une PAC d'une puissance de 10 kW alimentant un plancher chauffant.*

			θ amont (eau glycolée)	
			θ retour	0°C
θ aval (eau de distribution)			θ départ	-3°C
θ départ	θ retour	θ aval	θ amont	-1,5°C
35°C	30°C	32,5°C	Pcalo (kW)	10,00
			Pabs (kW)	2,22
			COP	4,50
			Valeur	certifiée

En fonctionnement, cette PAC de 10 kW va consommer 2,22kW d'électricité pour fournir une eau de chauffage à 35°C.

**Son Cop est de 4,50 : 10 kW/2,22 = 4,50**

Cela signifie qu'il faut récupérer 7,78 kW avec le capteur extérieur pour en restituer 10 kW.

Cette puissance à extraire devra être réévaluée si d'autres facteurs influencent les heures de fonctionnement de la PAC.

- Production d'ECS (Eau Chaude Sanitaire),
- Chauffage de piscine (en plus du chauffage hivernal),
- Altitude du logement.



## Les points de vigilance



### Aspects réglementaires

La réglementation concernant la réalisation d'un forage est encadrée par le code minier et le code de l'environnement (loi sur l'eau). Les DRIRE (Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) gèrent le code minier.

Le code minier implique, sous réserve de réglementations locales plus strictes :

- La **déclaration** de tout forage supérieur à 10 m de profondeur (cette déclaration est faite par le foreur).
- Une **autorisation** (donc enquête publique avec établissement d'un document d'incidence) pour tout ouvrage supérieur à 100 m de profondeur.



### L'entretien

La pompe à chaleur géothermique doit être entretenue au moins une fois par an par un spécialiste qualifié au titre du décret du 7 mai 2007 du code de l'environnement.

Les opérations de maintenance doivent être consignées dans un carnet d'entretien et comprennent à minima :

- contrôle d'étanchéité annuel du circuit frigorifique.
- Nettoyage régulier des filtres sur circuits hydrauliques.
- la vérification des pressions d'eau et des sécurités haute et basse pression frigorifique.
- la vérification de l'état de l'eau pour les planchers chauffants (mesure de pH, présence de boues).
- la vérification de l'état du fluide caloporteur (teneur en glycol, pH).
- la vérification du débit du prélèvement sur nappe aquifère.
- La vérification des connexions et tensions électriques.

L'idéal est de souscrire à un contrat d'entretien annuel pour un montant de l'ordre de 100 à 300€.

### A savoir

**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 bien isoler votre logement. Vous pourrez ainsi opter pour une PAC moins puissante (donc moins coûteuse) qui fonctionne à très basse ou basse température (eau chauffée à moins de 55° C), ce qui améliore son rendement.



Dans certains cas, il sera nécessaire d'adapter la puissance électrique souscrite auprès de votre fournisseur d'énergie. Cette modification entraînera une augmentation de votre tarif d'abonnement.



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

Pour l'installation, choisissez un professionnel **qualifié RGE**.

D'autres appellations de confiance comme **Qualipac** vous garantissent que l'entreprise a validé le cursus de formation élaboré par l'Afpac et le Costic. Elle accepte le contrôle de certaines de ses installations par un organisme indépendant.



La bonne mise en œuvre de la sonde géothermique conditionne la performance de l'ensemble de l'installation de chauffage. Ainsi, travailler avec une entreprise de forage adhérent à **Quali'Forage** garantit le respect des règles de l'art.



Il convient également de vérifier auprès de sa compagnie d'assurance que les éventuels dommages dont les matériels pourraient faire l'objet sont bien couverts (les cartes électroniques des pompes à chaleur sont des éléments fragiles et sensibles aux orages...).



## Combien ça coûte?



@suthisak



### Quel investissement

#### Le captage horizontal

Cette technique ne nécessitant pas de grands travaux est la plus répandue en France car c'est la solution la plus économique. Pour l'investissement global il faut compter environ 100 à 150€/m<sup>2</sup> chauffé. Elle comporte toutefois des contraintes liées à l'espace d'occupation du sol.

#### Le captage vertical SGV

Pour installer des capteurs verticaux, il faut forer profondément : les sondes géothermiques descendent jusqu'à un puits, situé entre 80 et 150m. Attention car au delà de 150 m, il est nécessaire d'adapter les sondes, il est donc préférable de réaliser 2 forages pour réduire les coûts.

Le prix de forage est d'environ 50 € par mètre de sonde installée.

Pour l'investissement global il faut compter environ 200€/m<sup>2</sup> chauffé.

#### Le captage sur eau de nappe

C'est la solution préconisée quand une habitation se trouve juste au dessus d'une nappe phréatique accessible et pas trop profonde.

Le forage est moins profond que pour le captage vertical standard. Et même si les coûts de forage sont plus importants sur nappe phréatique, on ne creuse que 2 puits, entre 10 et 50m. Le premier puits va pomper l'eau afin d'alimenter la pompe à chaleur. Le second puits sert à réinjecter l'eau dans la nappe phréatique. Ce coût est généralement estimé entre 10 et 15% du prix d'achat de la PAC.

Par ailleurs, la PAC géothermique nécessite des radiateurs à eau basse température ou un plancher chauffant pour fonctionner. Si vous n'en disposez pas, il vous faudra alors en installer.

### Les aides financières

**En rénovation**, l'installation d'une pompe à chaleur géothermique donne droit à une prime CEE (certificats d'économie d'énergie), délivrée par des entreprises que l'on appelle des «obligés».

Renseignez-vous auprès de votre installateur ou d'un conseiller énergie de votre région pour connaître les modalités d'obtention.

Pour les particuliers, une aide financière de l'état peut être mobilisée, son montant est déterminé en fonction d'un certain nombre de critères (date de construction, revenus du ménage, statut d'occupation...).

Pour en savoir plus, connectez-vous sur :

<https://france-renov.gouv.fr/>

Pour bénéficier de ces aides, l'installation doit être réalisée par un professionnel **qualifié RGE**.



### Les critères d'éligibilité

L'obtention de primes et des aides financières est conditionné par le respect d'un certain nombre de critères :

- Fourniture d'un devis non signé détaillant les caractéristiques de performances des futurs équipements.
- Respect des critères de performances minimales

Les pompes à chaleur (PAC eau/eau, sol/eau, sol/sol) doivent avoir une efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage, calculée avec son appoint électrique ou à combustible fossile :

≥ à 126% si elles fonctionnent à basse température ;

≥ à 111% si elles fonctionnent à moyenne et haute température

- Installation réalisée par un professionnel **qualifié RGE**.



## L'impact global



@Eakrtin



@bogdanhoda



### L'impact environnemental

Les fluides frigorigènes utilisés pour le fonctionnement des pompes à chaleur présentent en cas de rejets à l'atmosphère des risques majeurs pour l'environnement. Ces fluides appelés CFC et HCFC contribuent à la destruction de la couche d'ozone et les HFC à l'effet de serre.

Quand cela est possible, il faut remplacer les fluides les plus préjudiciables par des fluides qui ont moins d'impact sur l'environnement et la santé.

L'utilisation du **R410A** contenant moins de 3 kg de fluide sera interdite à partir du 1er janvier 2025.

Il est donc vivement recommandé d'opter pour un modèle de pompe à chaleur fonctionnant avec un gaz de nouvelle génération appelé **R32**. Ce nouveau type de fluide est plus respectueux de l'environnement que la plupart des autres gaz réfrigérants



### Durée de vie et recyclage

La durée de vie conventionnelle pour ce type d'équipements est de **17 ans**.

La plupart des modèles vendus aux particuliers bénéficient d'une garantie de 3 ans, parfois 5 ans, ce qui est relativement peu au regard de l'usage intensif et la complexité d'un tel appareil.

Il convient donc de procéder à la dépose et au recyclage d'une vieille pompe à chaleur en s'adressant à un professionnel du secteur qui déposera votre pompe à chaleur dans les points de collecte mis en place par la filière de recyclage des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE).

La récupération des fluides contenus dans tous les équipements est obligatoire et doit être intégrale. Les fluides ainsi collectés et non réutilisables doivent être détruits dans des conditions respectueuses de l'environnement conformément à la législation.



### Impact sur le sol, sous-sol et aquifères

Le recours à la géothermie comme source alternative d'énergie est en forte progression ces dernières années. Les raisons de ce développement sont à relier à diverses incitations réglementaires en vigueur. Or, comme toute activité humaine, l'exploitation énergétique des formations géologiques superficielles est susceptible d'avoir des conséquences sur le milieu naturel : sur les eaux souterraines (impact quantitatif et qualitatif) et sur la structure des terrains (destabilisation, gonflement, dissolution, ...).

Chaque phase de la construction d'une installation géothermique peut être vectrice d'impacts environnementaux plus ou moins importants.

Les actions les plus sensibles concernent la réalisation des sondes géothermiques verticales car des difficultés techniques sont susceptibles de survenir en phase de réalisation de l'installation (foration).

A cela s'ajoutent d'autres facteurs susceptibles de provoquer des impacts majeurs :

- non-respect des préconisations d'utilisation des équipements.
- mauvais dimensionnement et surexploitation des SGV entraînant le gel des terrains
- défauts de cimentation (dans les cas de forages d'eau et de SGV).

Pour prévenir tous ces risques, il est important de recourir à des professionnels qualifiés et spécialisés dans la réalisation d'opérations géothermiques.

La réalisation d'études préalables et le respect des règles de l'art en matière de réalisation des ouvrages d'exploitation permet de prévenir une grande partie des impacts sur le sol, sous-sol et les nappes aquifères.

Il existe aujourd'hui de nombreuses solutions techniques pour limiter notre impact sur l'environnement, réduire les consommations énergétiques et améliorer le confort thermique des bâtiments.

En rénovation ou en construction, de nombreuses questions se posent sur le choix énergétique et l'intérêt de chacune de ces propositions.

Pour vous éclairer dans vos choix, le CAUE 30 a élaboré une série de fiches techniques qui détaillent les points clé à connaître avant toute décision.



## Fiches complémentaires



FT06



- FT01 L'isolation thermique des murs
- FT02 L'isolation thermique des toitures
- FT03 L'isolation thermique des planchers
- FT04 Les menuiseries extérieures et occultations
- FT05 Les matériaux biosourcés
- FT06 La pompe à chaleur air/eau
- FT07 La pompe à chaleur géothermique
- FT08 Les chaudières et poêles à granulés de bois
- FT09 Les poêles à bois et inserts
- FT10 L'optimisation des systèmes de chauffage
- FT11 Le chauffe-eau thermodynamique
- FT12 La production solaire thermique
- FT13 La ventilation mécanique
- FT14 Les puits climatiques
- FT15 La production solaire photovoltaïque individuelle
- FT16 Le confort thermique
- FT17 Le guide des gestes verts

## Références

GÉOTHERMIE PERSPECTIVES  
LE CODE MINIER  
ADEME  
CERTITA  
AFPAC  
COSTIC  
CSTB  
AFNOR

