

PETIT GUIDE PRATIQUE
DES POMPES A CHALEUR GEOTHERMALES

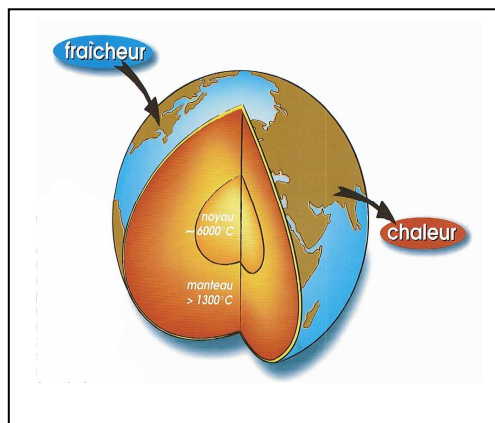


1. Introduction	3
2. Qu'est-ce que la Géothermie ?	
2.1 La Géothermie haute énergie	4
2.2 La Géothermie moyenne énergie	4
2.3 La Géothermie basse énergie	4
2.4 La Géothermie très basse énergie	4
3. Avantages de la Géothermie	5
4. Inconvénients de la Géothermie	5
5. La Géothermie très basse énergie	6
5.1 Le gisement géothermique basse température belge	6
5.2 La géothermie très basse température avec pompe à chaleur	6
6. La technologie des PAC géothermales	7
6.1 Le captage de la chaleur	
6.1.1 Les capteurs horizontaux	7
6.1.2 Les capteurs verticaux	7
6.1.3 Le captage par pompage rejet d'eau	8
6.2 Comparaison des différents systèmes	8
7. La pompe à chaleur géothermique	
7.1 Principes	9
7.2 Fonctionnement dans une installation de chauffage	10
8. La pompe à chaleur sur air	
8.1 Principes	11
8.2 Conditions d'utilisation	11
9. Les rendements des PAC	11
10. Comparatif écologique des PAC géothermiques avec d'autres énergies	12
11. Coût d'une installation géothermique	12
12. Situation de la filière	13
13. Aides à l'installation des pompes à chaleur	14
13.1 Activités soutenues	
13.1.2 Installation d'une PAC dans une maison neuve	14
13.1.2 Remplacement d'une chaudière par une PAC	15

1. Introduction

Ce petit guide présente la géothermie et plus particulièrement la géothermie très basse température avec pompes à chaleur. Cet ouvrage est largement inspiré d'un document rédigé en mars 2004 par Stéphanie Laporte (Petit guide de la pompe à chaleur - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - France).

2. Qu'est-ce que la géothermie ?



L'énergie géothermique est l'énergie calorifique stockée sous la surface terrestre. Les profondeurs de la terre recèlent d'énormes quantités de chaleur naturelle, dont l'origine réside essentiellement dans la désintégration d'éléments radioactifs. Selon les connaissances actuelles, les températures culminent à 6000°C dans le noyau et atteignent jusqu'à 1300°C dans le manteau supérieur du globe terrestre. Le flux géothermique qui parvient à la surface du globe dépasse 40 milliards de kW.

Plus de 99% de la masse de notre Terre est soumise à des températures dépassant 1000°C. Seul 0.1% est plus froid que 100°C.

En moyenne, la température augmente à partir de la surface terrestre de 3°C par 100 mètres de profondeur, ce qui correspond à un gradient géothermique normal. En de nombreux endroits du globe, nous constatons toutefois des anomalies géothermiques (dites positives). Il s'agit de régions présentant des gradients de température nettement plus élevés. Exemple : Islande, Italie, Chili...

Le but d'une exploitation géothermique est de capter la chaleur des profondeurs, pour l'amener à la surface de la terre en recourant à des techniques appropriées. A certains endroits, la nature fournit elle-même le système de circulation requis (par exemple : les sources thermales). En d'autres lieux, on doit faire appel à des forages avec pompes de production ou à des sondes géothermiques doublées de pompes de circulation.

La géothermie fait partie des énergies dites renouvelables. Son principe consiste à extraire de l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse, la très basse énergie. Les sites géothermiques à haute et moyenne température permettent la production d'électricité. Tandis que la production de chaleur est obtenue à partir des sites géothermiques de basse (utilisation des nappes d'eau chaude du sous-sol profond) et très basse température (utilisation de pompes à chaleur).

La géothermie est certainement le filière qui présente le plus large spectre d'activités : production de chaleur et d'électricité. En Europe, elle est la troisième source d'énergie renouvelable derrière l'hydraulique et la biomasse. Elle est davantage utilisée pour produire de la chaleur que de l'électricité.



2.1 La géothermie haute énergie :

Elle utilise des eaux et des vapeurs à plus de 180°C. Celles-ci entraînent des turbines qui à leur tour, entraînent des générateurs d'électricité.

2.2 La géothermie moyenne énergie

La géothermie moyenne énergie utilise des fluides dont les températures sont comprises entre 100 et 180°C et qui cèdent leur chaleur à un fluide plus volatil. Ce fluide entraîne alors une turbine qui entraîne à son tour un générateur d'électricité.

2.3 La géothermie basse énergie :

La géothermie basse énergie utilise des fluides à des températures comprises entre 30°C et 100°C. Le rendement est trop faible pour pouvoir produire de l'électricité, mais elle permet une large gamme d'usages : chauffage urbain, serres, utilisation de la chaleur dans les process industriels, thermalisme...

2.4 La géothermie très basse énergie

La géothermie très basse température est exploitée pour le chauffage et le rafraîchissement des maisons ou des bâtiments collectifs et pour la production de l'eau chaude sanitaire. La production de chaleur s'effectue à l'aide d'une pompe à chaleur qui prélève dans le sol l'énergie thermique.



3. Avantages de la géothermie

➤ **La géothermie est une source d'énergie indigène et respectueuse de l'environnement.** Elle n'engendre dans l'atmosphère ni substances polluantes, ni dioxyde de carbone et remplace ainsi de manière idéale les énergies fossiles comme le pétrole ou le gaz.

➤ **Les coûts d'une exploitation de l'énergie géothermique sont faibles.** Les dépenses liées au fonctionnement d'une pompe à chaleur géothermique se situent entre 2 à 4 € par m² et par an ! De plus l'installation demande peu ou pas d'entretien.

(La géothermie est disponible en permanence. Elle ne dépend pas des conditions climatiques, des saisons ou des heures de la journée.

(Inépuisable, la géothermie fait partie des énergies renouvelables, donc durables.

(La géothermie est exploitable partout et dans tous les types de sous-sol.

(Enfin, il existe une solution géothermique adaptée pour chaque construction.

4. Inconvénients de la géothermie

Seul réel désavantage d'une installation géothermique : son coût. Notamment, le système de captage de l'énergie. Néanmoins, dans le contexte énergétique actuel, une installation pourra être amortie en moins de dix ans. Vu cette évolution, la géothermie ne séduit plus seulement par ses arguments « écologiques ». Son aspect économique est devenu également un argument de vente. La géothermie pourrait devenir la solution d'avenir. Reste encore à améliorer et développer la production de l'électricité verte...

5. La géothermie très basse énergie

En Belgique, seules les géothermies basse et très basse énergie sont utilisées.

5.1 Le gisement géothermique basse température belge

En Belgique, seuls quelques sites bien localisés (Saint-Ghislain, Douvrain, Ghlin, Turnhout et Herentaels) permettent une exploitation de basse température.

Par exemple à Saint Ghislain, il existe une nappe phréatique à 72°C située dans une roche calcaire à 2400 m de profondeur

L'exploitation de ce site permet la production de 60 000 GJ utiles/an. L'économie en CO₂ est de 5400 tonnes par an. L'économie en énergie est de 2.3 millions de m³ de gaz par an. (<http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/?IDR=1852>).

Par contre, les ressources géothermales très basses températures sont accessibles partout et à tous, ou presque, quel que soit le site géographique.

5.2 La géothermie très basse température avec pompe à chaleur

Une PAC est une machine thermodynamique qui puise la chaleur dans un milieu naturel appelé « source froide » (eau, l'air ou le sol) dont la température est inférieure au local à chauffer. Elle transfère ensuite cette énergie au fluide de chauffage (en général l'eau chaude mais aussi quelquefois l'air) afin d'assurer le chauffage du local et aussi éventuellement la préparation de l'eau chaude sanitaire. Depuis peu, les pompes à chaleur sont dites **réversibles** : outre le chauffage en hiver, elles permettent de rafraîchir les pièces en été.

Pour les applications géothermiques, on utilise généralement des PAC à compression. Elles comportent un compresseur électrique. Pour un coefficient de performance de 4, une pompe à chaleur consomme 1 kWh électrique et fournit 4 kWh thermiques au bâtiment.

On distingue différentes PAC en fonction de la source « froide » : eau, air, sol. Ce guide présente plus particulièrement les PAC dites géothermales ou encore géothermiques. Ce type de PAC puise sa chaleur dans le sol.

Il en existe 3 types :

- les pompes à chaleur avec capteurs enterrés horizontaux
- les pompes à chaleur avec capteurs enterrés verticaux (sondes géothermiques)
- les pompes sur eaux de nappe



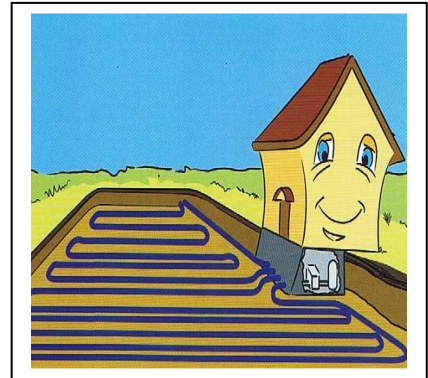
6. La technologie des PAC géothermales

6.1 Le captage de la chaleur

Les capteurs permettent d'extraire la chaleur de la source ou d'évacuer celle du bâtiment

6.1.1 Les capteurs horizontaux

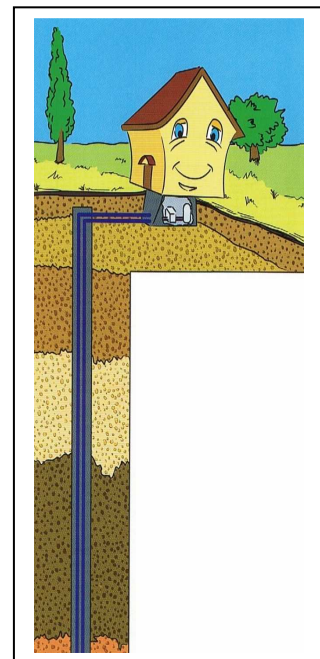
Il s'agit de tuyau en polyéthylène enterrés à environ 1 m de profondeur dans lequel circule un fluide caloporteur (monopropylène glycol). Les capteurs sont installés sur le terrain jouxtant le bâtiment. La surface de captage préconisée varie entre 1.5 et 3 fois la surface à chauffer de l'habitation. Pour le dimensionner, il faut tenir compte, entre autres, de l'isolation du bâtiment, sa localisation (climat), ainsi que de la nature du terrain.



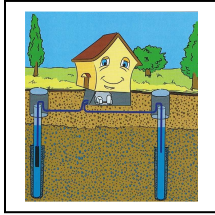
6.1.2 Les capteurs verticaux

Un forage d'un diamètre de 165 mm est réalisé dans lequel on place un double tuyau en U de polyéthylène haute densité contenant un fluide caloporteur. Le trou est comblé avec de la silice roulée sur toute ou une partie de la nappe phréatique. Enfin, au minimum les 15 derniers mètres seront rebouchés avec un mélange de ciment et de bentonite pour éviter toute contamination du sous-sol. A 10 m de profondeur la température est pratiquement constante toute l'année et est voisine de 11°C. Avec la profondeur, la température s'élève en moyenne de 3°C tous les 100m.

La puissance linéaire des capteurs verticaux dépend notamment de la nature du terrain. Elle est plus importante en milieu aquifère. La valeur moyenne en Wallonie est 55 W/m. La longueur de la sonde sera, en fonction des caractéristiques du bâtiment, égale à 1 ou 1.5 fois la surface à chauffer.






6.1.3 Le capteur par pompage rejet d'eau



L'eau d'un réservoir (la nappe phréatique, un cours d'eau, ou un étang) est pompée, passe dans un échangeur thermique couplé à la pompe à chaleur puis est évacuée dans le milieu (un puits dans le cas d'une nappe phréatique). Ce système est très intéressant du point de vue du coût mais il se heurte souvent à des problèmes de réglementation (essentiellement dans le cas des eaux souterraines).

6.2 Comparaison des différents systèmes.

<p>Vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Plus dispendieux ▶ Petit terrain ▶ Rendement élevé ▶ Confort 	<p>Horizontal</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Plus grand terrain ▶ Moins cher ▶ Petits bâtiments ▶ Rendement moindre ▶ Encombrement 	<p>Eaux souterraines</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Eau de puits + injection ▶ Le moins cher ▶ Réglementation 
--	--	---

7. La pompe à chaleur géothermique

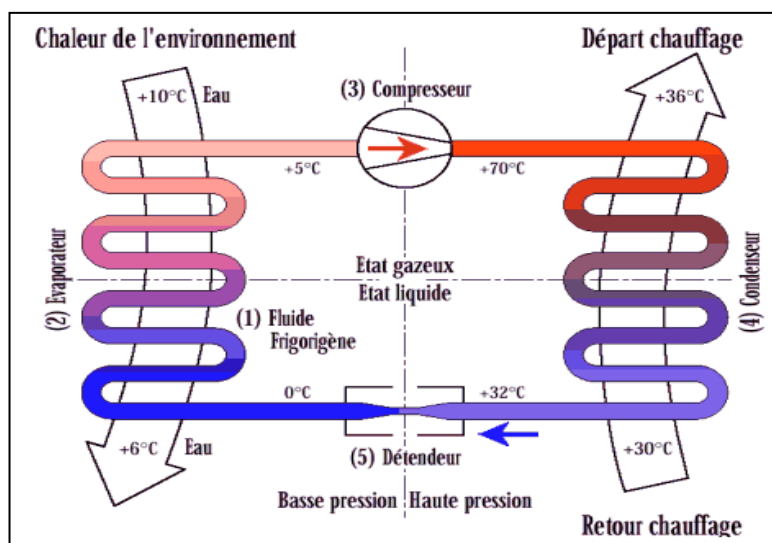
7.1 Principes

Le fonctionnement de la pompe à chaleur repose sur trois principes thermodynamiques :

- un corps réchauffe toujours un corps plus froid que lui¹
- quand on comprime un gaz, on élève sa température²,
- quand on baisse la pression d'un gaz, on diminue sa température³

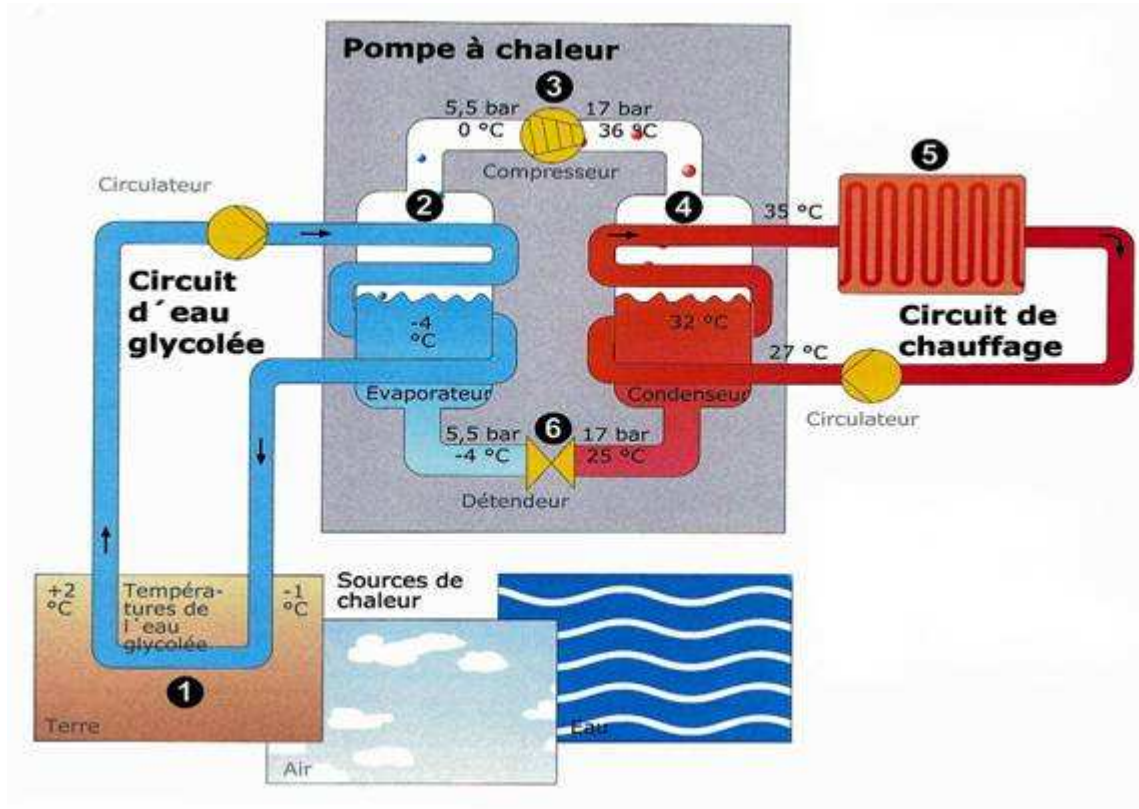
La pompe à chaleur, cœur du système chauffage et rafraîchissement par géothermie, est un appareil qui transfère les calories d'un milieu à un autre après en avoir modifié la température.

Pour transférer ces calories, on utilise un fluide frigorigène, c'est-à-dire ayant la particularité de s'évaporer à très basse température. La température du sous-sol, par exemple, suffit à évaporer le gaz liquide « froid »¹. Celui-ci est ensuite aspiré par le compresseur qui élève la pression du gaz et donc sa température (c'est le cycle de Carnot)². Le gaz « chaud » donne « sa chaleur » au bâtiment ce qui provoque le refroidissement du gaz : il condense³. Le cycle peut alors à nouveau recommencer...



Comme c'est l'électricité qui assure l'entraînement de la pompe, on veillera à atteindre des coefficients de performance suffisants pour que la technologie reste avantageuse tant sur le plan écologique qu'économique (COP de 3 minimum). Actuellement les **pompes à chaleur** peuvent atteindre des coefficients de performance très élevés (COP de 4,5): pour obtenir 4 KW de chaleur rendus dans le bâtiment, il suffit de 1 KW **d'électricité**. Les 3 Kw « gagnés » proviennent de l'environnement (l'air, le sol ou l'eau).

7.2 Fonctionnement dans une installation de chauffage



- ❶ L'eau glycolée du capteur enterré est réchauffée par le sol. Un circulateur l'emmène jusqu'à l'évaporateur. Le contact de l'eau « chaude » du capteur avec le fluide frigorigène provoque son évaporation.
- ❷ Le gaz produit est aspiré par le compresseur.
- ❸ Celui-ci comprime le gaz. Il passe de 5,5 bar à 17 bar (dans notre exemple) ce qui provoque son échauffement. Il passe de 0°C à 36°C.
- ❹ Dans le condenseur, le gaz chaud donne sa chaleur au circuit de chauffage ce qui provoque son refroidissement et sa condensation (condensateur).
- ❺ Par le biais d'un circulateur, l'eau du circuit de chauffage donne sa chaleur au bâtiment avant de revenir au contact du condenseur.
- ❻ Le passage du gaz liquide au travers du détendeur permet de ramener la pression de 17 à 5,5 bar. Cette chute de pression provoque un sous refroidissement du liquide de 25°C à -4°C. Ce liquide froid est remis au contact de l'eau glycolée du capteur ce qui provoque a nouveau son évaporation. Le cycle peut alors recommencer...



8. La PAC sur air

8.1 Principe

Les calories nécessaires au chauffage de la maison sont puisées dans l'air extérieur. C'est une source de chaleur facilement exploitable, qui n'a pas besoin de capteur coûteux à installer.

Le chauffage est assuré soit par de l'air chaud pulsé (PAC air/air), soit par le biais d'un circuit hydraulique alimentant un plancher chauffant, des radiateurs, ou des ventilo-convecteurs (PAC air/eau).

8.2 Conditions d'utilisation

Contrairement à la température du sous-sol qui reste stable tout au long de l'année entre 10 et 15°C (au de là de 10 m de profondeur), celle de l'air fluctue et peut devenir très basse.

Or la performance d'une pompe à chaleur est inversement proportionnelle à la différence entre la température du milieu où l'on prélève la chaleur et la température de consigne de chauffage. Plus cet écart est important moins bonne est la performance. Dans la plupart des régions, il est nécessaire de prévoir un chauffage d'appoint qui prend le relais de la PAC lorsque la température extérieure est trop basse. C'est pourquoi les PAC sur air sont moins performantes que les PAC géothermiques.

Il est plutôt conseillé de les installer dans des zones à climat doux comme les zones côtières.

9. Les rendements

La performance énergétique d'une pompe à chaleur se traduit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée par le compresseur. Ce rapport est le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur.

En moyenne, avec les PAC à compression électrique, pour 1 kW électrique consommé la pompe à chaleur produit entre 2 et 5 Kw de chaleur (COP de 2 à 5).

Facteurs influençant le rendement des PAC :

- température de la « source froide » (en réalité la source de chaleur)
- la consommation d'énergie auxiliaire (circulateur,...)
- rendement nominal de la pompe
- dimensionnement de la pompe par rapport à la demande
- le système de contrôle de la pompe à chaleur

Les raisons qui conditionnent le rendement d'une PAC sont multiples. Il est donc très important de réaliser une étude approfondie pour réaliser un dimensionnement précis de la PAC et des capteurs sans quoi le rendement de l'installation risque de s'en ressentir fortement. La réalisation d'un bilan thermique précis du bâtiment est obligatoire !



10. Comparatif Ecologique des PAC géothermiques avec d'autres énergies (source : ministère des ressources naturelles du Canada)

Les chiffres analysés dans le tableau tiennent compte des besoins en énergie d'une maison neuve de 120m² (6.5kW de déperditions). Dans le cas d'une installation de chauffage géothermique, le bénéfice en terme de réduction d'émission de CO₂ est de 2200 kg de CO₂ soit une réduction de 75% des émissions de CO₂ par rapport à une installation mazout classique!

Energie	Emission de CO ₂ kg/kWh	Demande annuelle en énergie de chauffage (kWh/an)	Rendement de l'installation	Emission de CO ₂ (kg)/an
Charbon	0.35	9000	75%	4200
Mazout	0.305	9000	75%	3660
Gaz naturel	0.2	9000	75%	2400
Géothermie	0.487 ¹	9000	400% ²	1095

¹ Valeur obtenue en pondérant tous les modes de production d'électricité par Electrabel en Europe (source Electrabel)

² Cette valeur correspond au COP de la PAC géothermique

11. Coût d'une installation Géothermique

Pour une installation complète de chauffage (sol chauffant, PAC, capteurs enterrés, ...), le montant de l'investissement varie selon que l'on opte pour le système à capteurs horizontaux ou à capteurs verticaux et la taille du bâtiment:

- Le coût d'investissement d'une installation avec capteurs horizontaux varie de 85 à 135 € TTC/m² surface chauffée.

- Le coût d'investissement d'une installation avec capteurs verticaux est de 125 à 160 € TTC/m² de surface chauffée.

Le temps de retour d'une installation est, selon le contexte énergétique actuel et le type d'installation, compris entre 5 et 10 ans.



12. Situation de la filière (source Observe'R : Observatoire des En. renouvelables)

L'exemple suédois :

La Suède arrive en tête avec une capacité estimée à 1700 MWth pour 185531 unités et un marché annuel 2004 de 39000 unités. La France arrive en deuxième position. Selon l'AFPAC (association française des pompes à chaleur, le marché 2004 a été de 11700 unités vendues (puissance moyenne comprise entre 10 et 12 kW pour un parc cumulé estimé à 50000 unités de PAC géothermiques à capteurs enterrés auxquels il faut ajouter 500 PAC sur eau de nappe.

Il faut souligner que la progression du marché français depuis trois ans a été de l'ordre de **30% par an !**

En Suède, 95% des nouvelles habitations sont équipées de pompes à chaleur !

En Belgique la demande devrait également fortement augmenter suite à la dernière hausse des produits pétroliers durant l'année 2004.

Pays	2003		2004	
	Nombre	Puissance (MWth)	Nombre	Puissance (MW/h)
Suède	147000	882	185631	1700
Allemagne	39069	507.9	48662	632.6
France	38250	420.8	49950	549.5
Autriche	26373	527.5	30577	611.5
Finlande	27100	80.4	30000	300
Danemark	6700	253.5	6700	80.4
Pays-Bas	1600	253.5	1600	253.5
Belgique	5000	60	5000	60
Irlande	1500	19.6	1500	19.6
Grèce	319	4	319	4
Royaume-Uni	550	10.2	550	10.2
Italie	6000	120	6000	120
Total	305293	2864	355837	3281

Pays	Nombre de PAC géothermales installées en 2002
Suède	29000
France	8000
Allemagne	6802
Autriche	3000
Finlande	1477
Pays-Bas	1215
Danemark	500
Irlande	300
Belgique	150
Royaume-Uni	100
Luxembourg	50

Ne sont pas incluses les PAC air/eau et air/air



13. Les aides à l'installation des pompes à chaleur

13.1 Activités soutenues

13.1.2 Installation d'une pompe à chaleur dans maison neuve

Vous pouvez demander une prime à partir du 1er mars 2005. Votre demande doit porter sur des travaux d'installation d'une pompe à chaleur faisant l'objet d'une facture datée au plus tôt du 1er mars 2005 et au plus tard du 31 décembre 2005. Votre demande doit être introduite dans les trois mois prenant cours à la date de la facture.

La Région wallonne a réservé un budget pour cette prime. A l'approche de l'épuisement de ce budget, un avis sera publié au Moniteur belge, dans les médias et sur ce site. Celui-ci précisera la période durant laquelle les factures pourront être prises en considération pour bénéficier de la prime. Cet avis sera publié au moins 2 semaines avant la date ultime de validité des factures.

- La prime est de 75% du montant de l'investissement (TVA comprise) avec un maximum de 1.500 euros pour l'installation d'une pompe à chaleur pour le chauffage d'une habitation neuve.
- La prime est de 75% du montant de l'investissement (TVA comprise) avec un maximum de 750 euros pour l'installation d'une pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau sanitaire d'une habitation.

Critères

POUR TOUTES LES POMPES A CHALEUR :

- les installations doivent être réalisées par un entrepreneur enregistré auprès du Service public fédéral Finances ;
- la pompe à chaleur doit respecter le cahier de charges ;

Pour plus de renseignements

Documents disponibles sur <http://energie.wallonie.be>

Formulaire et Critères - Pompes-à-chaleur (PDF-129 ko)

Annexe technique Entrepreneur - Pompes-à-chaleur (PDF-53 ko)

Annexe - Cahier spécial des charges - Pompes-à-chaleur (PDF-62 ko)



13.1.2 Remplacement d'une chaudière par une pompe à chaleur

Réduction d'impôt de 40% du montant des travaux plafonnée à 620 (habitation neuve) ou 750 EUR (rénovation).

Critères

Pour connaître les conditions techniques, fiscales et réglementaires précises, consultez le Service Public Fédéral Economie, P.M.E., Classes Moyennes et Energie, Direction générale de l'Energie

Pour toute information pratique, consultez gratuitement les Guichets de l'Energie de la Région wallonne.

Réglementation

Consultez-les directement sur le site du Service Public Fédéral Economie, P.M.E., Classes Moyennes et Energie

Pour plus de renseignements

- Les Guichets de l'Énergie
- Site portail du Service Public Fédéral Economie, P.M.E., Classes Moyennes et Energie
- Détails sur <http://energie.wallonie.be>