

GÉOTHERMIE



GÉOTHERMIE, AÉROTHERMIE, POMPE À CHALEUR, SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

= POMPE À CHALEUR (langage courant)

Je découvre les pompes à chaleur

Seule différence : source d'où l'on tire l'énergie (eau, terre, air,)

La Pompe à Chaleur (PAC) est un système thermodynamique permettant de récupérer l'énergie gratuite et quasi inépuisable fournie chaque jour par le soleil et emmagasinée par notre environnement, à savoir le sol sous nos pieds, l'eau des nappes phréatiques, l'air qui nous entoure.

La PAC puise ainsi des calories à un milieu extérieur (air, sol, eau) puis échange cette chaleur à un fluide caloporteur (air ambiant ou eau) qui la restitue au bâtiment.

Les systèmes d'émission de chaleur dans le bâtiment peuvent être variés : plancher chauffant, système centralisé à air, ventilo-convecteur, ...

Principe de fonctionnement

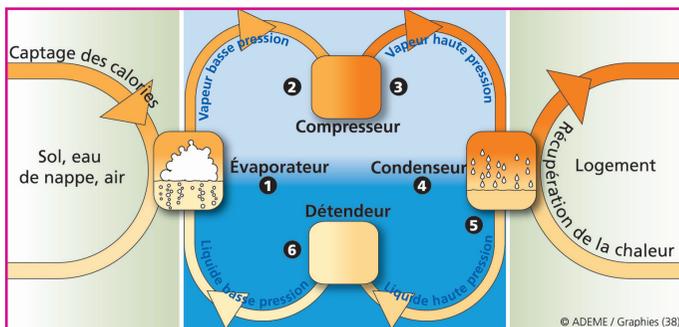
Une PAC est constituée de 4 équipements reliés entre eux par un circuit fermé et étanche dans lequel circule un «fluide frigorigène» qui a la propriété de pouvoir changer d'état (liquide ou gazeux) :

En mode «chauffage»

Le compresseur : actionné par un moteur électrique, il élève la pression et la température du fluide frigorigène gazeux en le comprimant.

À savoir : la PAC reste donc un système de chauffage ÉLECTRIQUE mais amélioré.

L'évaporateur : organe extérieur de la PAC dans lequel le fluide frigorigène absorbe de la chaleur du sol, de l'eau ou de l'air en se vaporisant (passage de l'état liquide à l'état gazeux).



Le condenseur : constitue la partie «chaude» de la PAC qui va restituer les calories absorbées, soit directement à l'air ambiant de la pièce à chauffer, soit à un circuit d'eau qui alimente les émetteurs de chaleur du bâtiment à chauffer (plancher chauffant, ventilo-convecteur, ...).

En effet, le fluide frigorigène restitue les calories emmagasinées en se condensant dans cet

équipement (passage de l'état gazeux à l'état liquide).

À savoir : la température de l'eau de chauffage produite par une PAC, même haute température, est inférieure à celle générée par une chaudière. Par conséquent, en cas de remplacement d'une chaudière par une PAC, il est nécessaire de vérifier si le dimensionnement des radiateurs est suffisant pour assurer la chauffage en fonctionnant à «basse température».

L'ensemble de ces composants constituent un cycle frigorifique.

Système réversible

La PAC peut fonctionner en mode «froid» et permettre dans ce cas de rafraîchir le bâtiment. Une vanne 4 voies permet l'inversion du cycle frigorifique : l'évaporateur devient condenseur et vice-versa.

En été, la PAC fonctionne en rafraîchissement : elle absorbe la chaleur de l'air ambiant permettant de refroidir les pièces et l'évacue dans le sol, l'eau ou l'air extérieur.

Les émetteurs finaux (plancher rafraîchissant, ventilo-convecteurs, ...) doivent être dimensionnés pour permettre d'évacuer ce «froid» sans provoquer de phénomène de condensation (transformation de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant en eau).

PAC sur sol ou eau = géothermie

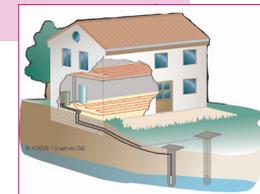
Elle récupère la chaleur du sol (PAC géothermale) ou éventuellement d'une nappe phréatique souterraine (PAC aquathermale) à partir d'un collecteur horizontal ou vertical (puits, sondes). La circulation de l'eau glycolée est assurée par une pompe.



Enterré à 1 m environ (80 cm au minimum)

Surface de captage : 1,5 à 2 fois la surface à chauffer

Pas de plantation d'arbres à longues racines



Profondeur de 30 à 100 m

Distants les uns aux autres de 10 m

1m² chauffé = 10 m de forage

Plus coûteux

Pas de contrainte sur le terrain

PAC sur air = aérothermie

Elle puise la chaleur dans l'air.

La circulation de l'air est assurée par un ou plusieurs ventilateurs.

Attention : en Bourgogne, il est fortement conseillé d'installer une aérothermie en relève de chaudière. La PAC fonctionnera pour des températures extérieures positives et la chaudière prendra la relève pour des températures extérieures négatives.



ZOOM sur le COP : COefficient de Performance de la machine

En utilisant 1 kWh d'électricité pour faire fonctionner la pompe à chaleur, vous pouvez récupérer jusqu'à 3 kWh de chaleur naturellement présents dans l'environnement tout en le préservant. Ce rapport 3 correspond au COefficient de Performance de la machine

Grandeur permettant de définir l'efficacité de la PAC (*s'apparente au rendement d'un moteur*), par le rapport entre l'énergie restituée à la source chaude et l'énergie fournie au niveau du compresseur.

PAC = système de chauffage électrique amélioré
COP = 3



Systèmes de chauffage électriques directs
Plancher chauffant électrique, ventilo-convecteur
COP = 1

Attention : pour comparer la performance des PAC aérothermiques

- Demander au constructeur un COP moyen de la machine sur une année d'utilisation dans les conditions climatiques du lieu d'installation (au minimum -11 °C en Côte-d'Or). En effet, le COP de la PAC dépend de la température du milieu extérieur (sol, eau, ou air) et de la température fournie au système de chauffage (air ambiant ou eau). Le COP diminue rapidement avec la baisse de la température extérieure. Donc seul le COP moyen annuel sera représentatif des consommations électriques réelles. COP annoncé dans la documentation technique du constructeur : valeur pour un air extérieur à 7°C (et non la température de base hivernale de -11°C en Côte-d'Or) et de l'eau de chauffage à 35°C ou de l'air ambiant à 20°C.
- Vérifier que l'appoint éventuel par épingles électriques de la PAC est pris en compte dans la valeur du COP transmise, ainsi que les consommations électriques des auxiliaires (ventilateurs, pompes, ...). Si 100 % du chauffage est assuré par **épingle électrique** → COP = 1 → baisse du COP moyen annuel → augmentation de la consommation électrique pour obtenir le même niveau de confort dans l'habitat.

→ Analyser le COP annuel de l'installation différent du COP nominal (théorique) de la PAC.

Remarque : pour les PAC géothermiques, le COP varie moins du fait d'une température moyenne plus stable du sol ou de l'eau de la nappe.

Comparatif

	Géothermie	Aérothermie	
	PAC sol/eau ou eau/eau	PAC air/eau	PAC air/air
Coût Investissement (€ TTC/m ² chauffé et rafraîchi) <i>Coût minimal : chauffage seul</i> <i>Coût maximal : réversible</i>	PAC avec capteur horizontal : 70 (chauffage seul) à 135 (réversible) € TTC/m ² PAC avec capteur vertical : 145 à 185 € TTC/m ² PAC sur eau de nappe : 80 à 130 € TTC/m ² PAC seule : 9 000 à 15 000 € TTC	70 à 150 € TTC/m ² PAC seule : 8 000 à 12 000 € TTC	50 à 90 € TTC/m ² PAC seule : 4 000 à 6 000 € TTC
Coût Fonctionnement (€ TTC/m ² chauffé et rafraîchi par an)	2,3 à 3,5 € TTC/m ² .an	2,5 à 3,7 € TTC/m ² .an	2,5 à 3,7 € TTC/m ² .an
Appoint	Pas nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Rafraîchissement	Possible	Possible	Possible
Eau chaude sanitaire	Possible	Préchauffage	Pas possible
COP hiver (mode chauffage)	3,4	2,1	2
COP été (mode climatisation)	4,3	3,0	2,9
Nuisance	Aucune	Bruit unité extérieure	Bruit unité extérieure

= Givrage de la machine

Attention aux nuisances sonores pour le voisinage

Vérifier les nuisances sonores : choisir l'emplacement de l'unité extérieure en conséquence.

Marque NF PAC :

Unité intérieure : 55 à 60 dBA (conversation à voix forte)

Unité extérieure : 60 à 75 dBA (circulation animée d'un boulevard)

Le saviez-vous ?

Système INVERTER : PAC avec compresseur à vitesse variable permettant d'adapter la puissance (débit du fluide frigorigène) aux besoins.

Pour limiter les appels de puissance au démarrage de la PAC (7 à 10 fois le courant nominal), privilégier une PAC équipée d'un démarreur électronique.

Conseils

Certifications

Installateurs : appellation QualiPAC, créée par l'Association Française pour les Pompes à Chaleur (AFPAC), est gérée, depuis 2010, par Qualit'EnR. Liste consultable sur le site www.qualit-enr.org.

Matériel : NF PAC (conformité des PAC aux différentes normes en vigueur ainsi que le respect de performances minimales – liste consultable sur www.certita.org) ou Eurovent (performances du produit : puissance et COP conformes aux valeurs annoncées par les constructeurs).

Forage : démarche «Qualité PAC». Liste consultable sur www.geothermie-perspectives.fr.

Connaître la consommation électrique réelle de chauffage → installer un compteur électrique sur le départ alimentant la PAC

Connaître la production d'énergie renouvelable → installer un compteur d'énergie en entrée PAC

Connaître le COP → installer un compteur d'énergie en sortie PAC

Éléments à vérifier pour une PAC sur eau (puits, rivière, lac, ruisseau, eaux souterraines) :

Source disponible en quantité suffisante et pérenne

Utilisation de la source autorisée

Rejet ou retour d'eau refroidie conforme aux conditions acceptables pour l'environnement

La pompe à chaleur est-elle une énergie propre ?

La notion d'énergie renouvelable est souvent confondue avec celle d'énergie propre. Or, même si une énergie peut être à la fois renouvelable et propre, toutes les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement propres. C'est le cas des PAC. En effet, même s'ils ne détériorent pas la couche d'ozone, les fluides frigorigènes «HFC⁽¹⁾» utilisés actuellement dans les circuits des pompes à chaleur sont des gaz qui, en cas de fuite, favorisent l'effet de serre, c'est-à-dire participent au réchauffement climatique de la planète. Leur potentiel de réchauffement global correspond en moyenne à 2 800 fois celui du dioxyde de carbone, notamment dû à leur grande durée de vie dans l'atmosphère.

Attention : les opérations de maintenance des PAC doivent être réalisées par des professionnels qualifiés maîtrisant les règles de sécurité pour la manipulation des fluides frigorigènes en assurant leur confinement afin d'empêcher ou de minimiser les fuites de ces gaz (déclaration en Préfecture).

À noter : les anciens fluides frigorigènes HCFC⁽¹⁾ (ex : R22), en plus d'être de puissants gaz à effet de serre, dégradent la couche d'ozone. Depuis le 1^{er} janvier 2010, seuls les HCFC recyclés/régénérés peuvent être utilisés pour la maintenance ou l'entretien des installations existantes et dès 2015, l'utilisation des HCFC sera totalement interdite.

Il est à remarquer qu'une installation utilisant un HCFC vierge (neuf) ou recyclé «sans fuite» peut fonctionner au-delà du 1^{er} janvier 2015. Dès l'apparition de fuites, après le 1^{er} janvier 2015, l'installation devra faire l'objet d'un remplissage avec un fluide frigorigène de substitution ou d'un déclassement de l'installation si cela est techniquement impossible.

⁽¹⁾ : HFC : HydroFluoroCarbure

CFC : ChloloFluoroCarbure

HCFC : HydroChloloFluoroCarbure

Quelles déclarations ?

Aérothermie

Depuis le 1^{er} janvier 2007, la pose d'une unité extérieure est soumise à une **déclaration de travaux préalable**.

Géothermie :

Les forages, puits et prélèvements en eaux souterraines relèvent de la réglementation EAU du Code de l'Environnement. Une **déclaration ou autorisation** est obligatoire suivant le volume annuel d'eau prélevé et la localisation de l'installation dans une zone de répartition des eaux,

Pour les puits de profondeur supérieure à 10 m, une **déclaration à la DREAL** (anciennement la DRIRE) s'impose au titre du Code Minier.

Depuis le 1^{er} janvier 2009, toute personne souhaitant réaliser un ouvrage de prélèvement d'eau souterraine à des fins d'usage domestiques doit **déclarer son projet en mairie**.



Pompe à chaleur et réseau électrique ?

Le département de la Côte d'Or, éminemment rural et très étendu en superficie, présente un habitat historiquement dispersé et, par voie de conséquence, un réseau de distribution d'énergie électrique assez important.

Or, la capacité des réseaux existants, limitée par nature, correspond à une puissance disponible prédéterminée. Toute demande de raccordement complémentaire peut nécessiter un renforcement du réseau, surtout en cas de puissance appelée importante, avec des délais de réalisation de plusieurs mois.

Dans ce contexte, le développement croissant de pompes à chaleur pour les constructions nouvelles ou existantes, souvent isolées dans ce département rural, accentue les contraintes sur les réseaux de desserte en énergie électrique.

Ce type d'équipement, qui s'inscrit certes dans une démarche vertueuse d'économies d'énergie, et constitue l'un des outils de la maîtrise de la demande en énergie, présente néanmoins un caractère perturbateur par la présence de moteurs électriques dont l'appel de puissance, au démarrage, est très important (7 à 10 fois le courant nominal) et génère des chutes instantanées de tension sur les réseaux existants déjà en contrainte de par leur longueur importante.

Je fais attention au réseau électrique

Ce phénomène provoque des dysfonctionnements de l'électronique de régulation qui, supporte mal les variations de tension et, un fonctionnement défectueux, voire nul, de l'équipement lui-même. Il entraîne également des perturbations chez les abonnés voisins raccordés au même réseau.

Ce constat devient aujourd'hui récurrent et ce phénomène observé après l'installation du matériel, contraint le SICECO à programmer dans l'urgence des investissements lourds de renforcement de réseaux sur des longueurs importantes qui ne sont pas sans incidence majeure sur la capacité de financement de la structure (coût moyen d'un renforcement de 50 000 € à 150 000 €).

Il convient donc de prévenir les installateurs que l'aménagement d'un système de chauffage utilisant des moteurs électriques, comme les pompes à chaleur, nécessite de vérifier au préalable la compatibilité du réseau électrique d'alimentation avec les puissances à installer. Cette précaution n'est pas respectée dans certains cas, ce qui conduit à des situations délicates avec l'ensemble des acteurs, allant jusqu'à l'absence complète de chauffage pendant plusieurs hivers.

Interlocuteurs premiers des particuliers, puisqu'ils sélectionnent et dimensionnent le système de chauffage électrique, les installateurs ont un rôle primordial à jouer dans leur mise en œuvre en respectant les normes en vigueur.

Quelles sont les responsabilités de chaque intervenant ?

L'installateur doit :

Déterminer les caractéristiques électriques du projet (puissance, tri ou mono, ...)

Respecter les normes (NF C 15-100) et, le cas échéant, contacter le distributeur ERDF pour vérifier la compatibilité du réseau électrique existant

Conseiller son client sur les caractéristiques ou les adaptations nécessaires pour son installation électrique

Le client doit

avant de commander les travaux :

Définir le type de chauffage et dimensionner la puissance électrique avec son installateur

Demander à son fournisseur d'énergie le contrat adapté à ses besoins

Le fournisseur d'énergie doit :

Proposer au client un contrat adapté

Contacteur si nécessaire le distributeur ERDF (attention : cas très rares)

Respecter les termes du contrat de fourniture (Article L121-87 – Loi n° du 8 décembre 2006)

La Commune doit dans le cadre d'une création (urbanisation) :

Consulter ERDF pour renseigner les demandes d'urbanisme

Refuser ou décaler l'autorisation d'urbanisme si besoin (dépend de la prise en charge des coûts d'extension/renforcement)

Le SICECO doit :

Indiquer à ERDF le délai de réalisation du renforcement quand il est maître d'ouvrage des travaux

Réaliser les travaux de renforcement lorsqu'il est maître d'ouvrage

Tableau 55A – Intensités maximales de démarrage des moteurs

	LOCAUX	INTENSITÉ MAXIMALE DE DÉMARRAGE	
		Réseau aérien	Réseau souterrain
Moteur raccordé en monophasé	d'habitation (branchement à puissance limitée)	45 A	45 A
	autres (branchement à puissance surveillée)	100 A	200 A
Moteur raccordé en triphasé	d'habitation (branchement à puissance limitée)	60 A	60 A
	autres (branchement à puissance surveillée)	125 A	250 A

Au-delà de ces intensités, l'alimentation des moteurs est subordonnée à l'accord préalable du distributeur d'énergie afin que des dispositions soient prises pour que leur utilisation reste compatible avec la conservation des installations de distribution et la desserte sans troubles graves des usagers.

Extrait de la norme C 15-100

Le distributeur ERDF doit :

Analyser la capacité du réseau en fonction du projet

Répondre au fournisseur et/ou à l'installateur quant à la compatibilité du projet avec le réseau existant

Donner un délai sur l'adaptation éventuelle du réseau

Réaliser les travaux de renforcements lorsqu'il est maître d'ouvrage

Annexe 1
Formulaire type pour questionner ERDF

Formulaire type pour questionner ERDF

Pompe à chaleur et réseau électrique ? (suite)

1

Définir le plus tôt possible les besoins liés au projet

- Les équipements liés aux énergies
- Les modes d'utilisation
- La puissance électrique nécessaire

Création → le propriétaire questionne le fournisseur d'énergie
Modification → le propriétaire et son installateur questionnent le fournisseur d'énergie et/ou ERDF

La répartition des responsabilités de chacun vise 2 objectifs

2

Le concessionnaire ERDF et l'autorité concédante répondent :

Soit le réseau est COMPATIBLE

Soit un RENFORCEMENT est nécessaire (dans un délai donné par le maître d'ouvrage)

La Loi Urbanisme et Habitat 2005 imposera de connaître et dimensionner les besoins électriques de chaque projet pour répondre aux autorisations d'urbanisme

Comment faire une réclamation ?

En cas de dysfonctionnement constaté, le client doit :

- Demander à l'installateur :
 - De vérifier la conformité de l'armoire électrique aux normes en vigueur
 - D'effectuer des mesures de tension
- Transmettre une réclamation à son fournisseur d'énergie avec copie au SICECO

→ Réclamation transmise à ERDF si nécessaire

2 cas sont à distinguer

1

Demande de vérification de compatibilité **effectuée** par l'installateur

↳ Mesures de contrainte par ERDF sous 15 jours

L'installation est conforme à la C 15-100 :

- Mise en œuvre par le maître d'ouvrage des travaux, ERDF ou le SICECO, dès que possible de toutes les solutions alternatives au renforcement susceptibles d'améliorer la qualité de fourniture d'électricité (équilibre réseau et phase, ...)
- MDE ou renforcement effectué, si nécessaire, dans les meilleurs délais par ERDF ou le SICECO
- Prise en charge d'une solution de chauffage temporaire par ERDF ou le SICECO

L'installation n'est pas conforme à la C15-100 :

- ERDF informe le tiers et le SICECO des résultats
- Mise en conformité par l'installateur
- Prise en charge d'une solution de chauffage temporaire par l'installateur

2

Demande de vérification de compatibilité **non effectuée** par l'installateur

↳ Procédure standard de traitement par ERDF

L'installation est conforme à la C 15-100 :

- Mise en œuvre par le maître d'ouvrage des travaux, ERDF ou le SICECO, dès que possible de toutes les solutions alternatives au renforcement susceptibles d'améliorer la qualité de fourniture d'électricité (équilibre réseau et phase, ...)
- Programmation de MDE ou de renforcement, si nécessaire, par ERDF ou le SICECO
- Prise en charge d'une solution de chauffage temporaire par l'installateur

L'installation n'est pas conforme à la C 15-100 :

- ERDF informe le tiers et le SICECO des résultats
- Mise en conformité par l'installateur
- Prise en charge d'une solution temporaire par l'installateur

Quel contrat électrique ?

Suivant la puissance de la PAC et donc son courant d'appel au démarrage, l'installateur doit préconiser une PAC monophasée ou triphasée en respect de la norme C 15-100.

En rénovation, la mise en place d'une PAC, en substitution d'une énergie fossile, nécessitera très certainement des modifications du contrat électrique :

- Augmentation de la puissance électrique souscrite (ex : passage d'un abonnement de 6 kVA en 12 kVA)
- Modification de la nature du contrat (formule tarifaire) : passage de monophasé en triphasé, avec une prestation payante lors de sa mise en place.

À puissance souscrite égale, les coûts de l'abonnement et du kWh électrique sont identiques en monophasé et triphasé.

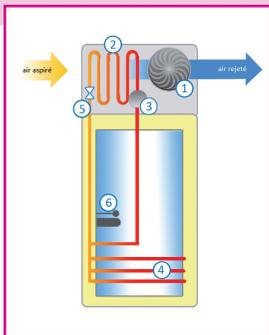
Le saviez-vous ?

L'ECS Thermodynamique, de quoi s'agit-il ?

Une PAC est l'élément constitutif principal d'un système de production d'**Eau Chaude Sanitaire thermodynamique**.

Couplée à une résistance électrique d'appoint, la pompe à chaleur chauffe l'eau chaude sanitaire qui est stockée dans un ballon d'accumulation (tampon). La PAC est une

aérothermie puisant les calories à de l'air ambiant non chauffé ou de l'air extérieur. Attention au niveau sonore !



Le SICECO et les PAC

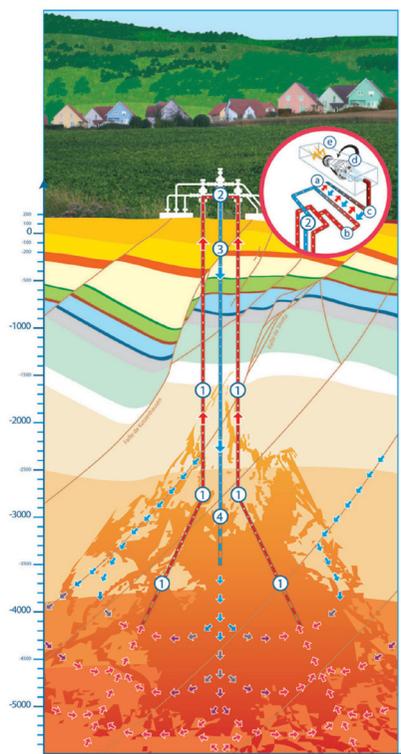
Pour sensibiliser l'ensemble des acteurs de la filière sur la problématique «PAC et réseaux électriques», le SICECO organise depuis deux ans diverses réunions d'information en partenariat avec le gestionnaire de réseau ERDF.

Afin d'éviter de nouvelles contre-références dans ce domaine, le SICECO a signé avec les chambres et fédérations regroupant les professionnels de ce secteur et les services d'ERDF, une convention de partenariat dont les objectifs sont :

- Informer les professionnels sur la gestion des réseaux électriques : interlocuteurs, maîtres d'ouvrage des travaux, problématique des contraintes,
- Rappeler les principales règles et procédures de raccordement
- Rappeler le rôle et les responsabilités de chaque intervenant dans la mise en place des pompes à chaleur
- Définir le «code de bonne conduite» pour l'installation des pompes à chaleur dans le respect des règles en vigueur
- Informer le grand public de cette démarche et des responsabilités de chacun

ZOOM sur la géothermie profonde, une technologie d'avenir ?

La géothermie profonde utilise la chaleur emmagasinée dans des formations rocheuses fracturées réputées peu perméables. La réalisation de forages profonds (5 000 m) a montré que ces formations rocheuses présentaient des perméabilités initiales faibles caractérisées par la présence de saumure naturelle (salinité 100g/l). Compte tenu de trop faibles débits naturels pour envisager un développement économique, il a fallu envisager d'augmenter artificiellement la perméabilité initiale des réservoirs géothermiques en stimulant hydrauliquement les fractures naturelles par injection d'eau sous pression. Une fois les opérations de stimulation réalisées, on met en place une circulation multi-puits ou boucle, en remontant par pompage de l'eau géothermale chaude en surface qui va céder son énergie à une unité de surface produisant de l'électricité, via une turbine, réinjectée sur le réseau de distribution électrique.



© Géothermie Soutz

Produire de l'électricité à partir de la chaleur du sol, c'est possible !

Une application encore expérimentale

En France, le projet le plus avancé est celui de Soutz-sous-Forêts qui a démarré en 1987 : l'eau géothermale est pompée en surface à **165°C** à partir de forages profonds de **5 000 m** et est réinjectée en profondeur à **200 °C** à un débit de **25 litres/s**. Les premiers kWh ont été produits en 2008.

1^{er} constat = 1^{ère} modification des pratiques :

Afin de limiter les risques sismiques inhérents à ce type de géothermie en milieu fracturé, les opérations hydrauliques réalisées avec une surpression de **180 bar** maximum ont été remplacées par des méthodes plus douces mécaniquement ou stimulation hydrochimique (eau et adjuvants).

- 1 : pompage via des pompes immergées de l'eau géothermale par les puits latéraux
- 2 : en surface, transformation par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (a) de l'eau chaude du circuit primaire (b) en vapeur dans le circuit secondaire (c) pour entraîner une turbine (d) qui produit de l'électricité (e)
- 3 : réinjection de l'eau refroidie dans le puits central
- 4 : circulation d'eau dans les fractures et réchauffement au contact de la roche chaude (200°C)

