

Géothermie

La **géothermie**, du grec Géo (la terre) et thermie (la chaleur), est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

On distingue trois types de géothermie :

- la géothermie peu profonde à basse température ;
- la géothermie profonde à haute température ;
- la géothermie très profonde à très haute température.

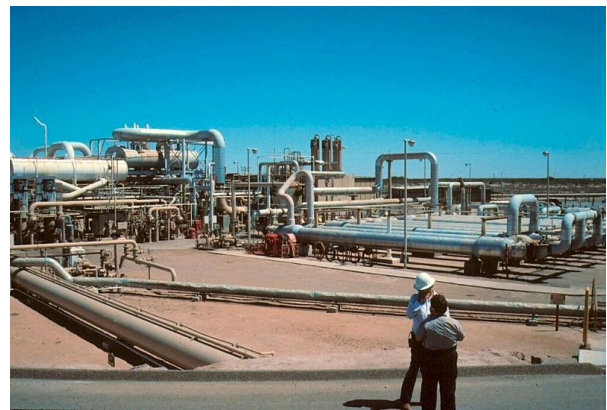
Ces trois types de géothermie prélèvent la chaleur contenue dans le sol.

L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude depuis des milliers d'années en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen.

L'augmentation des prix de l'énergie et le besoin d'émettre moins de gaz à effet de serre la rendent plus attrayante. En 2007, en France le BRGM a avec l'ADEME, créé un *Département Géothermie* pour la promouvoir, après s'être associé à différents programmes de recherche, de travaux de service public. Deux de ses filiales *CFG Services* (services et ingénierie spécialisée) et *Géothermie Bouillante* (qui exploite la centrale électrique de Bouillante en Guadeloupe) sont impliquées dans la géothermie.

Origine

La plus grande partie de la chaleur interne de la Terre (87%), est produite par la radioactivité des roches qui constituent le manteau et la croûte terrestre : Radioactivité naturelle produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. Depuis l'aube de l'humanité, l'homme a toujours su tirer parti de cette énergie. Mais la découverte d'énergie plus facilement accessible n'a guère encouragé son développement.



Structure interne du globe terrestre montrant les températures des différentes couches.



Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande

Principe

La géothermie peu profonde à basse température

Il s'agit principalement d'extraire la chaleur contenue dans le sous-sol afin de l'utiliser pour les besoins en chauffage. Les transferts thermiques peuvent aussi dans certains cas être inversés pour les besoins d'une climatisation. Les procédés d'extraction de l'énergie diffèrent suivant les solutions retenues par les constructeurs. La méthode utilisée pour assurer les transferts thermiques influe beaucoup sur le rendement de l'ensemble. L'utilisation de l'eau comme véhicule thermique améliore le rendement. Lorsque la terre est utilisée seule pour le transfert thermique le rendement est moins bon que lorsque l'on utilise l'eau. La géothermie peu profonde et basse température utilisera donc de plus en plus les nappes d'eau libre contenues dans le sous-sol alluvionnaire de nos rivières. La profondeur des deux forages aspiration et rejet sont peu profonds. La profondeur du forage est en fonction de la profondeur de la nappe phréatique et de la perméabilité du sous-sol. Plusieurs schémas d'installation existent :

- forage unique : un ou plusieurs forages de pompage sans forage de réinjection
- doublet : un ou plusieurs forages de pompage et un ou plusieurs forages de réinjection
 - doublet non réversible : chaque forage fonctionne toujours en pompage ou en injection
 - doublet réversible : chaque forage fonctionne alternativement en pompage et en injection

En général le principe du « doublet géothermique » est retenu pour augmenter la durée de vie de l'exploitation de la nappe phréatique dans laquelle on puise l'eau chaude. Le principe est de faire deux forages : le premier pour puiser l'eau, le second pour la réinjecter dans la nappe. Les forages peuvent être éloignés l'un de l'autre (un à chaque extrémité de la nappe pour induire un mouvement de circulation d'eau dans la nappe, mais ce n'est pas pratique d'un point de vue de l'entretien) ou rapprochés de quelques mètres mais avec des forages obliques (toujours dans le but d'éloigner les points de ponction et de réinjection de l'eau).

La géothermie profonde à haute température

Les forages sont dans ce cas plus profonds. La profondeur de forage est en fonction de la température désirée et du gradient thermique local qui peut varier sensiblement d'un site à l'autre. (en moyenne 4 °C par 100 m de profondeur). La méthode utilisée pour les transferts thermiques est plus simple (échangeur de température à contre courant) et ne nécessite pas de fluide caloporteur comme cela est le cas avec la géothermie peu profonde basse température.

La géothermie très profonde à très haute température

Plus on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. En moyenne, l'augmentation de température atteint 20 à 30 degrés par kilomètre. Ce gradient thermique dépend beaucoup de la région du globe considérée. Il peut varier de 3 °C / 100 m (régions sédimentaires) jusqu'à 1000 °C / 100 m (régions volcaniques, zones de rift comme en Islande ou en Nouvelle-Zélande). On distingue classiquement trois types de géothermie selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

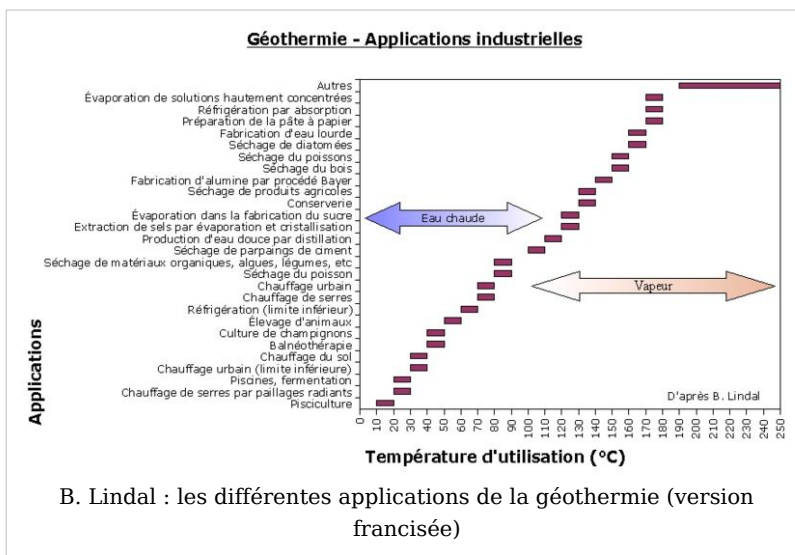
- la géothermie à haute énergie ou géothermie privilégiée exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de

l'électricité. Elle est parfois subdivisée en deux sous-catégories :

- la géothermie haute énergie (aux températures supérieures à 150 °C) qui permet la production d'électricité grâce à la vapeur qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.
- la géothermie moyenne énergie (aux températures comprises entre 100 °C et 150 °C) par laquelle la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire.
- la géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 °C et 100 °C. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.
- la géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 °C et 30 °C. Principales utilisations : le chauffage et la climatisation individuelle par dispositifs thermodynamiques généralement fonctionnant à l'électricité, d'où le terme barbare électro-thermodynamique, appelés plus communément « pompes à chaleurs aérothermiques » (puisant dans l'air extérieur) et « pompe à chaleur géothermique »

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 50 ans en moyenne).

Dès 1973, B. Lindal avait synthétisé dans un tableau les applications possibles de la géothermie.



« Doublet géothermique »

Géothermie haute énergie

La géothermie haute énergie, ou *géothermie profonde*, appelée plus rarement géothermie haute température, ou géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisés généralement à plus de 1500

mètres de profondeur et dont la température est supérieure à 150 °C. Grâce aux températures élevées, il est possible de produire de l'électricité et de faire de la cogénération (production conjointe d'électricité grâce à des turbines à vapeur et de chaleur avec la récupération des condensats de la vapeur).

Plus l'on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. En moyenne, l'augmentation de température atteint 20 à 30 degrés par kilomètre. Ce gradient thermique

dépend beaucoup de la région du globe considérée. Les zones où les températures sont beaucoup plus fortes, appelées anomalies de température, peuvent atteindre plusieurs centaines de degrés pour de faibles profondeurs. Ces anomalies sont observées le plus souvent dans les régions volcaniques. En géothermie, elles sont désignées comme des gisements de haute enthalpie, et utilisées pour fournir de l'énergie, la température élevée du gisement (entre 80 °C et 300 °C) permettant la production d'électricité.

L'exploitation de la chaleur provenant de la géothermie haute énergie est ancienne. Les bains dans des sources chaudes étaient déjà pratiqués dans l'Antiquité dans de nombreuses régions du monde. C'est au début du XX^e siècle qu'une centrale géothermique de production d'électricité a été pour la première fois réalisée à Larderello (Italie). La géothermie haute température connaît actuellement un renouveau important, notamment parce que la protection contre la corrosion et les techniques de forage se sont fortement améliorées.

De nouvelles applications technologiques sont envisageables pour récupérer la chaleur de la Terre. La cogénération permet déjà de combiner la production de chaleur et d'électricité sur une même unité, et augmente ainsi le rendement de l'installation. Un projet européen de géothermie profonde à Soultz-sous-Forêts vise à produire de l'électricité grâce au potentiel énergétique des roches chaudes fissurées (en anglais *Hot Dry Rock*)^[1].

Méthodes d'exploration avant forage

- **Gravimétrie** : Les mesures gravimétriques permettent d'identifier des corps lourds, liés à des stockages magmatiques à « faible profondeur ». Ces stockages peuvent constituer des sources potentielles de chaleur qui sont nécessaires au développement d'un réservoir géothermique.
- **Magnétotellurie** : Elle permet de déterminer la structure géoélectrique des zones prospectées entre terrains conducteurs et isolants, en particulier les couches imperméables susceptibles de constituer système géothermique convectif (couvercle d'eau chaude).
- **Polarisation Spontanée** : La polarisation spontanée (PS) détecte les circulations de fluides sous la surface.
- **Analyse chimique des eaux et des gaz** : La présence d'anomalies en He, CO₂, H₂S, CH₄ et radon permettent de mettre en évidence d'éventuelles contaminations par des gaz d'origine magmatique.

Installations dans le monde

Capacité géothermique installée (2002)	
Région du monde	MWe
Asie	3 220
Amérique du Nord	2 971
Union européenne	883
Océanie	441
Amériques centrale et du Sud	416
Autres pays d'Europe	297

Afrique	128
Total mondial	8 536
Source : EurObserv'ER, août 2003	

La géothermie est la source d'énergie principale de l'Islande [citation nécessaire], mais ce sont les Philippines qui en sont le plus gros consommateur, 28% de l'électricité générée y étant produite par la géothermie^[2]. Il existe trois centrales électriques importantes qui fournissent environ 17% (2004) de la production d'électricité du pays. De plus, la chaleur géothermique fournit le chauffage et l'eau chaude d'environ 87% des habitants de l'île.

L'une des sources géothermiques les plus importantes est située aux États-Unis. *The Geysers*, à environ 145 km au nord de San Francisco, démarra la production en 1960 et dispose d'une puissance de 2000 mégawatts électriques. Il s'agit d'un ensemble 21 centrales électriques qui utilisent la vapeur de plus de 350 puits^[3]. La Calpine Corporation gère et possède 19 des 21 installations. Au sud de la Californie, près de Niland et Calipatria, une quinzaine de centrales électriques produisent environ 570 mégawatts électriques.

La géothermie est particulièrement rentable dans la zone du Rift en Afrique. Trois centrales ont récemment été construites au Kenya, respectivement de 45 MW, 65 MW et 48 MW. La planification prévoit d'augmenter la production de 576 MW en 2017, couvrant 25% des besoins du Kenya, et réduisant ainsi la dépendance du pays aux importations de pétrole^[4].

En Guadeloupe, la seule référence française en matière de géothermie haute température se situe à Bouillante, non loin du volcan guadeloupéen de la Soufrière. Il a été réalisé en 1984 un premier forage d'une profondeur de 300 m sur la base duquel l'installation d'une centrale de 5 MW a été décidée. Très proches de ce site, trois nouveaux puits de production plus profonds (1 km en moyenne) ont été mis en service en 2001 et une centrale, construite en 2003 (Bouillante 2), a permis de mettre en production, à fin 2004, 11 MW supplémentaires. Ce nouvel apport d'énergie couvre environ 10% des besoins annuels en électricité de l'île.

En France métropolitaine, on fore actuellement à grande profondeur (de l'ordre de 5 000 m à Soultz-sous-Forêts^[5]) dans des « roches chaudes sèches » où de l'eau est injectée ; on crée ainsi un échangeur thermique.

En Allemagne, une centrale utilisant la géothermie de 3,4 mégawatts, devrait fonctionner à Unterhaching près de Munich à partir de 2007, et produire en cogénération de la chaleur et de l'électricité. Le forage a atteint 3350 mètres de profondeur, et 150 litres d'eau jaillissent par seconde à une température de 122 °C.

L'électricité est produite à partir de la géothermie dans plus de 20 pays dans le monde : la Chine, l'Islande, les États-Unis, l'Italie, la France, l'Allemagne, la Nouvelle-Zélande, le Mexique, le Nicaragua, le Costa Rica, la Russie, l'Indonésie, le Japon, le Kenya et le Canada.

Géothermie basse énergie

On parle de « géothermie basse énergie » lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre 30 °C et 100 °C dans des gisements situés entre 1500 et 2500 m de profondeur. Cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.

En France, un réseau de chauffage urbain situé en région parisienne utilise la géothermie basse énergie. Les installations de pompes à chaleur sur nappe continuent à se développer en région parisienne car elles correspondent à des techniques de chauffage et de refroidissement particulièrement bien adaptées aux secteurs tertiaire et résidentiel.

Une centrale géothermique fonctionnant sur le principe du doublet a été mise en service en 1994 à Riehen en Suisse, pour le chauffage des immeubles locaux. Depuis décembre 2000, une partie de la chaleur produite est exportée en Allemagne et approvisionne ainsi un quartier de la ville voisine de Lörrach. L'agrandissement a provoqué un mini tremblement de terre en décembre 2006.

La production de chaleur au moyen d'une pompe à chaleur sur nappe, repose sur le prélèvement et le transfert de l'énergie contenue dans l'eau souterraine vers les locaux à chauffer. Par ailleurs, une pompe à chaleur peut assurer simultanément et/ou successivement des besoins en chauffage et/ou climatisation/rafraîchissement. Cette catégorie est tout de même, d'un point de vue technique et d'investissement financier, plus de la famille des géothermies de très basse énergie.

Géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie est une géothermie au niveau des températures comprises entre 10 °C et 30 °C. Dans ce cas, la chaleur provient non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie, le sol du terrain jouant un rôle de source chaude du fait de son inertie et de sa mauvaise conductivité thermique.

Cette technologie est appliquée à :

- la climatisation passive avec par exemple le système du puits provençal,
- le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique

Ces systèmes permettent de faire, par rapport à l'usage unique d'une énergie primaire, des économies d'énergie sur le chauffage et la production d'eau chaude. Néanmoins ils nécessitent une source d'énergie extérieure, le plus souvent l'électricité, qui doit rester disponible.

La géothermie de pompe à chaleur consiste à puiser la chaleur présente dans le sol à travers des capteurs verticaux ou horizontaux, selon la configuration du terrain.

Un système thermodynamique (ou pompe à chaleur) a un fonctionnement comparable à celui d'un réfrigérateur ménager : il assure le chauffage d'un local à partir d'une source de chaleur externe (dont la température est inférieure à celle du local à chauffer). Il puise les 2/3 de l'énergie de chauffage dans la chaleur produite par les entrailles de la terre (géo = terre, thermie = chaleur) et l'autre tiers est un apport électrique pour le compresseur .

Fonctionnement

Tout se joue grâce au changement d'état, quand un fluide passe de l'état liquide à l'état gazeux, et inversement. C'est simple : un long tuyau de polyéthylène ou de cuivre gainé de polyéthylène est enterré dans le jardin. On fait circuler dedans un liquide, qui se réchauffe un peu au contact de la terre. Comme ce liquide a la propriété de se mettre à bouillir à très basse température, il passe alors de l'état liquide à l'état gazeux. Cette vapeur est comprimée par un compresseur situé dans la maison. Le simple fait de la comprimer a pour effet d'augmenter sa température. Elle est alors conduite à un condenseur qui la refait passer à l'état liquide. Lors de ce changement d'état il se dégage à nouveau de la chaleur, qui est transmise à l'eau de chauffage (radiateur, plancher chauffant, ...). Le liquide continue son cycle, et après s'être détendu, repart en circuit fermé rechercher de la chaleur dans la terre du jardin.

Il existe trois sortes de systèmes horizontaux :

- le système eau glycolée/eau
- le système eau/sol (=fluide frigorigène)
- le système sol/sol

Le fonctionnement des machines thermodynamiques (ici la PAC) est fondé sur la capacité des fluides frigorigènes à se vaporiser et se condenser à température ambiante. Le fluide frigorigène le plus utilisé pour la géothermie est le fluide R-134a. Sa composition chimique : hydrofluorcarbure ou H_F_C de formule : $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$

Ses propriétés essentielles sont :

- sa température d'ébullition à pression atmosphérique est de $-26\text{ }^\circ\text{C}$; ce qui lui permet donc de s'évaporer plus vite à basse température, donc meilleur passage de la chaleur.
- sa chaleur latente d'évaporation importante. À $-26\text{ }^\circ\text{C}$ (sa température d'ébullition) à pression atmosphérique sa chaleur latente est de 216 kJ/kg . Libère beaucoup d'énergie.
- son faible volume massique de la vapeur en mètre cube qui lui permet d'utiliser un petit compresseur.

Du point de vue du budget d'investissement, les pompes à chaleur, installées à plus de 90 % dans du neuf (sources : Ademe, Sofath) n'entrent pas en concurrence avec le chauffage électrique par effet Joule (résistance électrique), mais plutôt avec tous les autres véritables moyens écologiques (solaire actif, bois énergie, mais avant tout les architectures climatique et bioclimatique).

La pompe à chaleur gagnerait probablement à muter vers un fonctionnement à partir de moteur thermique, pouvant utiliser des combustibles issus de la biomasse (biogaz par exemple), et ce évidemment pour des raisons d'économie d'échelle, dans des grands ensembles, permettant ainsi de localiser la production proche des lieux d'utilisation et d'augmenter les potentiels de production d'énergies renouvelables locales tout en évitant d'amplifier les problèmes actuels en amont du compteur électrique.

Séismes

Les installations géothermiques ont parfois besoin d'être détartrées. Pour cela, on injecte de l'eau sous pression, ce qui dans certains cas peut déclencher des séismes de magnitude pouvant aller jusqu'à 4,6. Un moyen de limiter leur intensité est d'utiliser de l'acide chlorhydrique à la place de l'eau ^[6].

Géothermie et politiques publiques

En Islande ou aux Philippines, la géothermie est largement exploitée.

En France, où la priorité a été donnée au nucléaire, la société *Géochaleur* créée sur suggestion de la Délégation aux énergies nouvelles du Ministère de l'Industrie en 1978 et de l'UNHLM pour assister les maîtres d'ouvrage en géothermie, a finalement rapidement disparu faute de soutien budgétaire et politique, ainsi que l'IMRG (Institut Mixte de Recherche sur la Géothermie) créé plus tard à l'initiative du BRGM et de l'AFME, mais l'obligation d'économie d'énergie qui accompagne la souplesse des échanges de certificats pourrait redonner un intérêt à la Géothermie, considérée comme déjà rentable par la Commission Énergie, présidée par Jean Syrota dans ce pays ^[7].

Néanmoins pour augmenter leur part d'énergie renouvelable dans leur bouquet énergétique, de grandes collectivités se réintéressent à la géothermie, dont l'Ile-de-France qui avec l'Ademe a ouvert en 2009 un nouveau forage (dans la nappe du Dogger (57° C), à un point situé au nord-est de Paris, près de la porte d'Aubervilliers) qui doit chauffer plus d'un million de m² de logements, bureaux et commerces. 54 forages avaient déjà été réalisés dans les années 1980, dont 34 étant encore actifs en 2009. D'autres devraient être ceusés à 1.800 mètres. La CPCU et l'Agence nationale de la recherche travaillent à une projet *Géostocal* de stockage de l'excédent énergétique estival pour «recharger» la nappe et en faire une réserve de calorie pour l'hiver, avec un rendement espéré de 80%. Journal de l'environnement ; *L'Ile-de-France entend relancer la géothermie* ^[8] 05/05/2009 10:05

Notes et références

[1] Voir www.brgm.fr (<http://www.brgm.fr/Fichiers/ficheScientifique/num6.pdf>).

[2] Blaine Harden, Filipinos Draw Power From Buried Heat (<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/10/03/AR2008100303843.html>), *Washington Post*, 4 octobre 2008

[3] **(en)** The Geysers (brochure), Calpine Corporation, 2004.

[4] Voir par exemple <http://www.worldenergy.org/wec-geis/edc/countries/Kenya.asp>

[5] **(fr)** Géothermie Soultz (<http://www.soultz.net>)

[6] **(fr)** Sylvestre Huet, *La géothermie fait frissonner la Suisse* (<http://www.local.attac.org/marchew/spip.php?article92#geothermie>), *Libération*, 22 janvier 2007

[7] Source : [Commission « Énergie » Michèle Pappalardo, présidente du groupe 1 et Aude Bodiguel, rapporteur ; *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 Rapport d'orientation « Les enseignements du passé »*], Centre d'analyse stratégique, Avril 2007, page 52/91

[8] <http://www.journaldelenvironnement.net/fr/document/detail.asp?id=136&idThema=6&idSousThema=32&type=JDE&ctx=291>

Voir aussi

Articles connexes

- Centrale thermique
- Géotherme
- Source chaude
- Projet Géothermique de La Réunion
- The Geysers

Liens externes

- *Qu'est ce que la géothermie ?* (<http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier577-1.php>)
 - *Fonctionnement d'un chauffage géothermique pour particuliers* (<http://pagesperso-orange.fr/goongan/Goongan-Geothermie/>)
 - **(en)** Association Internationale de Géothermie (<http://iga.igg.cnr.it/index.php>)
-

Sources et contributeurs de l'article

Géothermie *Source:* <http://fr.wikipedia.org/windex.php?oldid=41985387> *Contributeurs:* Abrahami, Ahbon?, Andre315, Antoinel, ArséniureDeGallium, Baalzabal, Baptiste Deleplace, Bayo, CFC, Calmos, Chacal65, Chaoborus, Chouca, Chtfn, Colindla, Croquant, CyberChris, DDPAlphaTiger1, Dadounayon, Darkoneko, David Latapie, Deep silence, Desmoric, Dhatier, Dionysostom, DocteurCosmos, Dunogué, EDUCA33E, Eiffele, Emirix, Epop, Erasmus, Escaladix, Fabrice22, Fafnir, Flier, Fylyp22, Gem, Grondin, Gylid, Hashar, Hexasoft, Hégésippe Cormier, IAlex, Ico, Inisheer, Itomi Bhaa, Jd, Jef-Infojef, Jehhan, Jerome66, Khoyobegenn, KoS, Kolmigabrouil, Korg, Korrigan, Lamiot, Laurent Deschodt, Laurent Nguyen, Leag, Lilyu, Litlok, Loïc, Ludo29, MaCRoEco, Med, Mikaa, Mirgolth, Moez, Moumousse13, Naevus, Nanoxyde, Noritaka666, Passiv'energie, Pj44300, PoM, Polluks, Popol 1d, Rune Obash, Ryo, Sanao, Sbrunner, Skiff, Snipre, Sum, Surveyor, Tensai, Thecyberman, Thesupermat, Trimégiste, Urban, Van Rijn, Vinz1789, Weft, Xavier.lalieu, Xic667, Xofc, YSidlo, Yelkrokoyade, 295 modifications anonymes

Source des images, licences et contributeurs

Fichier:Geothermie.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/windex.php?title=Fichier:Geothermie.jpg> *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* unknown

Fichier:NesjavellirPowerPlant edit2.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/windex.php?title=Fichier:NesjavellirPowerPlant_edit2.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* User:Fir0002

Fichier:Tableau-lindal.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/windex.php?title=Fichier:Tableau-lindal.jpg> *Licence:* inconnu *Contributeurs:* -

Licence

GNU Free Documentation License
<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
