

Géothermie

Dernière révision : 07/05/2025

Contexte et problématique

La géothermie (« chaleur de la terre ») rassemble l'ensemble des technologies permettant d'accéder à la chaleur¹ ou au froid contenu dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraine. Elle entre dans la catégorie des énergies renouvelables. Cette ressource est exploitée pour chauffer ou rafraîchir des bâtiments, pour produire de l'eau chaude sanitaire, dans des procédés industriels nécessitant de la chaleur ou de l'électricité. Les « [gîtes géothermiques](#) » sont des ressources minières. Leur exploration et exploitation relèvent donc du code minier, à quelques exceptions près (puits canadiens, géostructures thermiques et échangeurs thermiques d'une profondeur inférieure à 10 m), et du code de l'environnement.

Les dispositions réglementaires concernent celles des forages et des mines, des prélèvements en eau, des autorisations environnementales et, également, du code de l'énergie en fonction des ouvrages, de leurs caractéristiques techniques, dont la profondeur du forage, les volumes d'eau mis en jeu ou encore la puissance de l'installation. Des synthèses de la réglementation applicable et de la soumission ou non des opérations de forage à évaluation environnementale ou à un examen au cas par cas sont disponibles sur les sites suivants : « [information sur les géothermies](#) », « [enjeux et réglementation de la géothermie](#) », « [géothermie de minime importance](#) ».

Techniquement, on distingue [deux grandes catégories](#) de géothermie qui sont différenciables selon la profondeur, la température ou encore l'utilisation de la ressource de chaleur :

- **la géothermie dite « de surface » ou superficielle** : elle exploite l'énergie du sol, du sous-sol ou des eaux souterraines à des profondeurs allant de quelques mètres sous la surface du sol à 200 mètres. À ces profondeurs, la température moyenne de l'eau ou du sous-sol est de l'ordre de 10°C à 20°C. À l'exception des cas de puits climatiques (« puits canadiens ») et des procédés dits de « géocooling »², cela ne permet pas une exploitation directe de cette énergie. La chaleur ou le froid prélevés nécessitent donc, pour être valorisés que leur niveau de température soit relevé ou ajusté, d'où l'emploi d'une pompe à chaleur (PAC) pour restituer la chaleur ou le froid au niveau de température souhaité pour des usages domestiques et tertiaires. Selon le mode de captage utilisé, on distingue :
 - les opérations avec pompe à chaleur sur aquifères superficiels, avec un forage de pompage et, le plus souvent, un forage de réinjection ;
 - les opérations avec pompe à chaleur sur capteurs (sondes) enterrés.

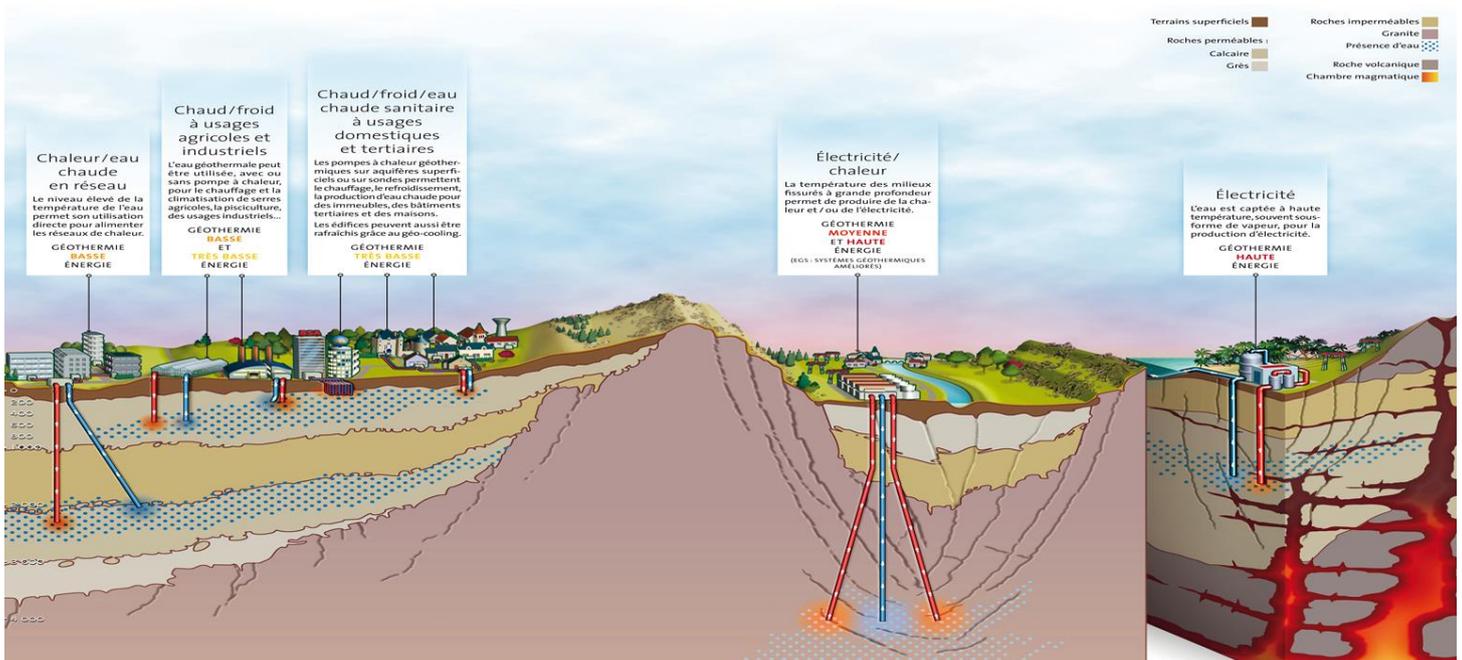
Dans la plupart des cas, les activités d'exploitation d'un gîte géothermique de surface sont considérées comme de la « géothermie de minime importance » (GMI), s'il respecte les dispositions mentionnées à

¹ Ici, le terme « chaleur » signifie l'énergie échangée lors d'un transfert thermique vers ou depuis un système thermodynamique.

² Le géocooling consiste en une utilisation directe par échangeur de chaleur et circulation d'eau sans pompe à chaleur pour rafraîchir les bâtiments.

l'article L. 112-2 du code minier³. Dans ce cas, ces projets ne sont pas soumis à évaluation environnementale.

- **La géothermie profonde** : elle consiste en la valorisation de ressources géothermales présentes dans des aquifères situés entre 400 et 2 500 m (voire jusqu'à 4 000 m dans les dossiers recensés) de profondeur pour des températures généralement comprises entre 30°C et 90°C pour de la géothermie basse température, voire au-delà pour la géothermie moyenne ou haute température dans des contextes géologiques particuliers (fossé d'effondrement, volcanisme...). Dans le cas de la production de chaleur, son exploitation repose sur un doublet de forages constitué d'un puits de prélèvement et d'un puits de réinjection. Au sein d'un échangeur thermique, l'eau géothermale pompée jusqu'à la surface cède sa chaleur ; à la sortie de l'échangeur, l'eau géothermale refroidie est réinjectée dans l'aquifère d'origine à distance suffisante du puits de production.



Les différentes formes de géothermie - Source : Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

L'énergie exploitable est fonction du gradient géothermique qui est l'évolution de la température dans le sous-sol en fonction de la profondeur. En France, le gradient géothermique correspond en moyenne à 3 °C tous les 100 mètres dans la partie superficielle de la croûte terrestre (pour des terrains sédimentaires), soit une augmentation de 1 °C tous les 33 mètres.

³ Parmi les gîtes géothermiques, sont considérées comme des activités géothermiques de minime importance (GMI) les activités de géothermie exercées dans le cadre du code minier qui utilisent les échanges thermiques avec le sous-sol, qui ne présentent pas de dangers ou d'inconvénients graves pour les intérêts mentionnés à l'article L. 161-1 du code de l'environnement et qui satisfont aux conditions fixées par décret en Conseil d'État sur la base des caractéristiques mentionnées au dernier alinéa de l'article L. 112-1 du code minier précisé par le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015. Ce décret en Conseil d'État détermine également les cas où il peut être dérogé aux titres II, III, V et VI du livre 1 du code minier pour les activités GMI. Pour les échangeurs géothermiques sur boucle ouverte (doublets sur nappe), sont considérés comme des exploitations de gîtes géothermiques à basse température relevant du régime de la minime importance, les systèmes géothermiques qui répondent à toutes les conditions suivantes :

- a) La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages est inférieure à 25°C ;
- b) La profondeur du forage est inférieure à 200 mètres ;
- c) La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW
- d) Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et les volumes d'eaux prélevées et réinjectées sont identiques ;
- e) Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixés à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement (80 m³/h). Toutefois, les activités mentionnées ne relèvent pas de la minime importance lorsqu'elles sont situées dans des zones rouges de la carte des zones réglementaires, où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves, définies à l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.

Dans des contextes géologiques particuliers (Auvergne, Alsace...) et en milieu volcanique actif (départements et régions d'outre-mer), les températures atteintes peuvent être supérieures, y compris à des profondeurs relativement proches de la surface. L'eau géothermale captée par forage, à des températures supérieures à 150 °C, dans des zones géologiques favorables à fort gradient géothermique, arrive en surface sous la forme d'un mélange d'eau et de vapeur d'eau. Les deux phases sont alors séparées et la vapeur est introduite dans une turbine pour produire de l'électricité (en 2022, 100 GWh d'électricité ont ainsi été produits en France).

L'exploitation des gîtes géothermiques profonds est généralement favorisée dans les régions où le potentiel géothermique⁴ du sous-sol est élevé. La chaleur et le froid produits sont non transportables, en conséquence. Ils répondent aux besoins locaux ou, le cas échéant, la chaleur peut être utilisée pour la production d'électricité.

Parmi les critères à considérer, pour l'élaboration d'un projet, son porteur doit notamment tenir compte de :

- la caractérisation de la ressource : propriétés géologiques (lithologie, structures), hydrogéologiques (perméabilité, porosité, transmissivité) et géochimiques (composition des fluides), identification des aquifères et de leurs géométries ;
- la productivité de la ressource : épaisseur et profondeur d'accès, température et débit du fluide ;
- l'évaluation des performances de l'installation : chaleur extractible, coefficients et indicateurs de performance (tel que le SCOP⁵), durée annuelle de fonctionnement de la pompe à chaleur (PAC) ;
- l'intégration des enjeux environnementaux et sociaux (analyse du cycle de vie, perception sociale, évaluation environnementale des incidences de son projet...).

Les projets de géothermie ont des émissions de gaz à effet de serre plus faibles que les centrales électriques à flammes, dite centrales classiques. En outre, il s'agit d'une ressource stable et continue, car elle n'est pas influencée par les fluctuations météorologiques comme l'énergie solaire ou éolienne.

Pour autant, l'exploitation de cette ressource peut induire des impacts notables dans le sous-sol et en surface au cours des travaux de forage et durant l'exploitation des installations. Ces incidents sont l'exception même s'ils font l'objet d'une forte médiatisation. Les impacts possibles sur l'eau sont détaillés ci-après. Les impacts sur les autres compartiments environnementaux méritent également attention mais ne sont pas l'objet de cette fiche (paysage, bruit, bilan des émissions de gaz à effet de serre du projet d'ensemble...). En particulier, la fiche ne traite pas des problématiques de sismicité induite par les opérations de géothermie profonde (notamment causées par la fracturation hydraulique avec injection de fluide en profondeur pour améliorer l'exploitation du réservoir géothermique capté).

Quelques exemples d'évènements causés par des malfaçons sur des installations géothermiques avec impacts environnementaux sur les aquifères, les milieux aquatiques et les riverains :

- mise en communication d'une couche d'anhydrite avec des arrivées d'eau provenant d'aquifères plus profonds et artésiens à Lochwiller (67), causée par une cimentation incomplète du forage : surrection par gonflement des sols provoqué par l'hydratation de sulfate naturel de calcium anhydre ou anhydrite, qui a provoqué la fissuration et la déformation d'une trentaine d'habitations, ainsi que de voiries et de réseaux ;
- mise en communication des couches salines avec des arrivées d'eau provenant d'aquifères plus profonds et artésiens à Hilsprich (57) causée également par une mauvaise cimentation : affaissement des terrains par dissolution de l'horizon salifère ayant entraîné des désordres sur une quinzaine de maisons ;
- fuite d'eau géothermale salée dans les aquifères superficiels utilisés pour l'AEP à Coulommiers (77), causée par le percement du tubage.

Ces trois exemples traduisent en partie des défauts de foration et d'équipement des forages, dans des conditions géologiques délicates, d'où les recommandations de ne faire intervenir que de entreprises de forages qualifiées.

⁴ Les critères qui définissent le potentiel géothermique d'un aquifère sont la profondeur d'accès à la ressource en eau, le débit d'exploitation par forage et la température de la nappe.

⁵ Seasonal Coefficient of Performance

Les points d'attention relatifs à l'eau dans les projets de géothermie sur nappe

Le projet doit présenter toutes les informations permettant de justifier qu'il ne porte pas atteinte aux aquifères traversés par le forage et que des mesures d'évitement, de réduction, voire de compensation, permettent de s'assurer de la bonne prise en compte des eaux souterraines tant en phase chantier qu'en exploitation des systèmes géothermiques. Lors de l'examen des dossiers de géothermie et concernant l'eau, l'autorité environnementale est particulièrement attentive aux points suivants :

1° au périmètre de projet d'ensemble

Le périmètre du projet s'entend dès les premières opérations de reconnaissance et d'exploration jusqu'à l'exploitation de la ressource géothermique. Lorsque le projet relève du code minier, le périmètre décrit dans le titre minier est inclus en totalité dans le « périmètre de projet » au sens de l'évaluation environnementale, ainsi que toutes les opérations entrant dans le cadre du titre minier et des demandes d'autorisation nécessaires au projet ;

Le périmètre doit inclure également :

- les installations connexes desservies car la géothermie ne constitue souvent qu'une composante (mode de chauffage ou de rafraîchissement) d'un projet généralement plus large (construction, puis exploitation d'un réseau de chaleur alimentant des bâtiments à usage d'habitation, industriel, agricole, tertiaire ou de loisirs). Le fait que le forage nécessaire à la GMI ne soit pas soumis à examen au cas par cas ou à évaluation environnementale systématique ne préjuge pas du régime applicable au projet dans son ensemble ;
- les équipements annexes au doublet de forages : installations de transfert de calories (échangeurs, pompes à chaleur, réseau de distribution de chaleur...) ou de production d'électricité, éventuellement en cogénération (turbines, cycle ORC⁶, raccordement au réseau électrique et poste de livraison).

2° aux caractéristiques hydrauliques du projet

- les débits et volumes prélevés et réinjectés, modalités de fonctionnement de l'installation (24h/24h, saisonnière, réversible...);
- les aquifères de réinjection : dans certaines situations, la réinjection peut être réalisée dans des aquifères isolés de celui de prélèvement par une couche argileuse. Le point de réinjection des eaux doit être situé à une distance du point de prélèvement permettant de conserver le fonctionnement hydrodynamique de la nappe. Parfois, les eaux peuvent être, en tout ou partie, rejetées dans les eaux superficielles. Cette situation devrait rester, autant que possible, exceptionnelle alors que la multiplication des projets dans des secteurs limités tend à banaliser cette option. Le dossier sera particulièrement précis sur les volumes prélevés réinjectés dans une nappe différente ;
- les risques de recyclage thermique ou de dérive thermique des doublets, voire de perturbations entre installations géothermiques : création de bulles de chaleur ou de fraîcheur dans les nappes au point de réinjection pouvant perturber au cours du temps des points de prélèvement situés à proximité... ;
- les effets cumulés de plusieurs installations géothermiques sur un même aquifère : interférences thermiques, hydraulique et piézométrique avec d'autres puits, échanges de chaleur entre installations...

3° aux impacts sur l'eau

- sur les nappes, en cas de géothermie de surface par :
 - la mobilisation de pollutions des eaux souterraines (point d' « appel » au puits de prélèvement et de « chasse » au puits de réinjection), voire des pollutions des sols proches de ces points ;
 - la pollution des eaux par les adjuvants et traitements des puits (phase travaux, notamment de rejet, décolmatage des crépines, régénération des colonnes de puits par des produits anti-corrosions, traitement antibactérien) ;

⁶ ORC : les cycles organiques de Rankin (Organic Rankin Cycle) sont des variantes des cycles à vapeur à eau, qui sont utilisés lorsque la source chaude à partir de laquelle on souhaite produire de la puissance mécanique est à basse ou moyenne température.

- la mise en contact de deux aquifères, causée par une mauvaise cimentation de l'espace annulaire entre le tubage et la paroi naturelle du forage ou une remontée d'eau de réinjection : risque de mise en pression locale de l'aquifère, échange d'eau entre nappes... ;
- les sites exposés à un risque sismique doivent examiner les effets de séismes sur l'intégrité du puits ;
- le risque de contamination des aquifères par de l'eau glycolée si le tube de l'échangeur de chaleur est percé ou par de l'eau fortement minéralisée si le tubage du forage est perforé, notamment par des phénomènes de corrosion ;
- un impact sur l'état quantitatif de l'aquifère dans le cas de rejets en surface.
- sur les milieux aquatiques en surface par :
 - la pollution des milieux aquatiques par les adjuvants de forage en phase de travaux et ultérieurement (polymères cellulosiques, viscosifiants, lubrifiants ou colmatants, eau glycolée présente comme fluide caloporteur dans les sondes géothermiques...) ;
 - la pollution des milieux par des rejets d'eaux « salines » ou fortement minéralisés et corrosives, présentant une composition naturelle chimique (arsenic, chlorure, sulfates, sulfures...), voire radioactive marquée. En outre, les eaux peuvent également contenir des gaz dissous, notamment du sulfure d'hydrogène dont le rejet dans l'atmosphère peut dégager une odeur désagréable à faible concentration et être toxique à plus forte concentration ;
 - la modification des paramètres physico-chimiques en cas de rejet en eau superficielle : réchauffement ou refroidissement local du cours d'eau et incidences sur la faune et la flore sur des distances à apprécier par le dossier...
- sur les ouvrages à l'aplomb des zones d'influence des doublets géothermiques lorsque l'aquifère exploité est en contact avec des réseaux ou les fondations et niveaux souterrains de bâtiments : perturbation des écoulements hydrauliques souterrains, modification de l'agressivité de l'eau sur les bétons, dénoisement de fondations au voisinage du forage de captage....
- la priorisation des usages de l'eau (exemple : cas de systèmes géothermiques captant des nappes utilisées pour l'alimentation en eau potable).

Afin de s'assurer également de la non dégradation des eaux souterraines, un suivi des eaux souterraines prélevées et réinjectées au moins pour les paramètres physico-chimiques, biologiques, débit, volume pompé, température, conductivité électrique, piézométrie et pression en tête de forage de réinjection doit être réalisé.

L'autorité environnementale signale l'évolution de certains projets de géothermie profonde vers des activités d'extraction de substances, telles que le lithium. Elle rappelle que ces activités constituent des modifications substantielles du projet initial et que, s'agissant des impacts sur l'eau, elle est attentive à :

- l'équilibre quantitatif entre prélèvement et réinjection d'eau,
- l'analyse des impacts qualitatifs du fait de la réinjection d'une eau de composition différente, voire contenant des substances non présentes dans l'aquifère exploité, issues du procédé d'extraction.

En matière de géothermie de faible profondeur, l'Ae constate une multiplication de projets dans des secteurs d'emprise limitée et sur des nappes d'intérêt majeur pour l'environnement et l'alimentation en eau potable. Un encadrement du développement de la géothermie à travers la planification territoriale, en particulier dans les documents d'urbanisme, les règlements des schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) et les plans climat-air-énergie territorial (PCAET), apparaît comme essentiel pour permettre le développement équilibré de la géothermie au regard du potentiel local. Dans tous les cas, l'autorité environnementale est attentive à la qualité de l'analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus.

Liens vers d'autres fiches :

- L'eau dans les dossiers soumis à évaluation environnementale
- Prélèvements en eau souterraine (forages, captages) : évaluation des impacts sur la ressource en eau et les milieux aquatiques
- Prise en compte de l'eau dans les documents d'urbanisme et de planification territoriale (SRADDET, SCoT, PLU et PLUi)
- L'eau dans les stations touristiques de montagne
- Les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) et la ressource locale en eau

Pour aller plus loin :

Site d'information sur les géothermies :

[INERIS - Etat des connaissances sur les risques, impacts et nuisances potentielles liés à la géothermie profonde](#)

[Cerema - Détermination du réchauffement de la nappe d'eau souterraine à Lyon](#)

[MTECT - La géothermie](#)

[MRAE IdF – Lettre d'information Géothermie – Creuser pour chauffer durablement](#)

[Les points de vue de la MRAe Grand Est](#) - (chapitre 4.3)

[Site Ademe - BRGM : portail de la géothermie](#)

[Rapport CGEDD n° 010967-01 - CGE n° 2017/05/CGE/SG d'octobre 2017](#) : « La géothermie de minime importance - propositions pour en faciliter le développement par l'amélioration de l'encadrement technique des forages