



Géothermie

de surface

*Une énergie performante et durable
adaptée à la Métropole du Grand Paris*

**7 bonnes
raisons** de
choisir la
géothermie



Patrick OLLIER
Ancien Ministre
Président de la Métropole du Grand Paris
Maire de Rueil-Malmaison

Le Plan climat air énergie métropolitain (PCAEM), adopté le 12 novembre 2018 par le Conseil métropolitain, propose la vision d'un avenir désirable et ambitieux, et d'un chemin pour le préparer en identifiant les opportunités à saisir. Cette ambition s'articule autour des objectifs stratégiques et opérationnels prioritaires suivants :

- **Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050**, c'est-à-dire zéro émission nette, en alignement avec l'Accord de Paris et le Plan Climat national ;
 - **Atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050**, en alignement avec le Schéma Régional Climat Air Énergie d'Ile-de-France de 2012 et la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 ;
 - **Accroître la résilience de la Métropole du Grand Paris aux effets du changement climatique ;**
- **Ramener les concentrations en polluants atmosphériques à des niveaux conformes aux seuils fixés par l'Organisation Mondiale de la Santé ;**
 - **Réduire massivement les consommations énergétiques finales** (-50% en 2050 par rapport à 2005), notamment pour les secteurs résidentiels et tertiaires, ainsi que pour le transport ;
 - **Obtenir un mix énergétique diversifié et décarboné**, en portant, d'ici 2050, à 60% la part des énergies renouvelables et de récupération dans la consommation d'énergie.

La Métropole du Grand Paris travaille depuis début 2020 à une déclinaison très opérationnelle de la trajectoire de transition énergétique du Plan Climat national, à travers l'élaboration du Schéma Directeur Énergétique Métropolitain.

Le développement d'une filière telle que la géothermie de surface s'inscrit pleinement dans les objectifs de transition énergétique ainsi poursuivis : il s'agit d'une énergie décarbonée, locale, pertinente économiquement et parfaitement adaptée aux spécificités de notre territoire. En partenariat avec l'ADEME et le BRGM, la Métropole du Grand Paris a souhaité développer des outils visant à mettre en valeur cette solution parfois mal appréhendée.

Ce plaidoyer est une des briques d'un projet plus global porté avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) qui a également permis la mise en place d'une cartographie interactive des opérations sur le territoire métropolitain et proposera une estimation fine du potentiel de fourniture de chaleur et de froid par la géothermie de surface.

A destination des élus métropolitains, des aménageurs ou de tous propriétaires de bâtiments, ce livret vise à promouvoir le choix de la géothermie de surface et vous propose des exemples de réalisations inspirants, tous situés au sein de la Métropole du Grand Paris.

A l'heure où la Métropole du Grand Paris affirme plus que jamais son rôle d'opérateur économique à travers un plan de relance résolument tourné vers la transition écologique, soutenir le développement d'une telle filière d'énergie renouvelable locale est une priorité !



Jérémie ALMOSNI,
Directeur régional Ile-de-France de l'ADEME
<https://twitter.com/JAlmosni/status/1384923676882182146>

L'ADEME Ile-de-France et la Métropole du Grand Paris sont partenaires sur de nombreux sujets tels que la mobilité au travers de la ZFE, l'économie circulaire ou l'énergie avec le schéma directeur des énergies. L'ADEME Ile-de-France, grâce à ses expertises et son expérience, est en mesure d'agir au plus près du terrain, en accompagnant les acteurs du territoire dans l'atteinte de leurs objectifs de décarbonation de l'énergie, notamment par le biais de financement d'études amont et d'investissements d'installations de production et distribution de chaleur renouvelable.

La chaleur représentant près de 45% des besoins énergétiques franciliens, il est essentiel que chaque collectivité du territoire s'empare du sujet. Celles-ci ont depuis des décennies développé les réseaux de chaleur dans les zones denses comme la métropole, qui pour partie sont alimentés par de la géothermie profonde (pour 41 réseaux) et par la chaleur de récupération des usines d'incinération (pour 17 réseaux). Après la question de la rénovation énergétique des bâtiments, le SRCAE d'Ile-de-France tout comme le Plan Climat Air Énergie Métropolitain incitent à la mutualisation des besoins et de la production à travers ces réseaux de chaleur, ou même à travers des réseaux de froid pour les besoins spécifiques de certains bâtiments (hôpitaux, musées, bureaux...).

La géothermie de surface a aussi ses atouts, en complément de la géothermie profonde, afin d'utiliser l'énergie présente en sous-sol pour alimenter des bâtiments. Dans les zones moins denses, où les réseaux de chaleur ne sont pas viables économiquement ou lorsque le réseau est trop éloigné, la géothermie de surface à l'échelle d'un bâtiment, ou plus largement d'un quartier, est une énergie locale, compétitive sur la durée et porteuse d'emplois locaux non délocalisables.

Le Fonds Chaleur accompagne, en particulier, la technologie de pompes à chaleur sur nappe superficielle ou sur champs de sondes. Chaque année, l'ADEME Ile-de-France et la Région Ile-de-France lancent des appels à projet de chaleur renouvelable, dont l'appel à projets « Pompe à Chaleur », qui permet d'accompagner et de financer des investissements de systèmes géothermiques. En 2020, le Fonds Chaleur a permis d'aider pour 34,53 M€ des projets de chaleur renouvelable sur la région soit 60 projets (dont 37 d'investissements) sur l'ensemble des 8 départements franciliens. Depuis 2009, ce sont 42 opérations de géothermie de surface (dont 20 opérations sur le territoire de la métropole) pour 61 GWh d'EnRR qui ont été financés par l'ADEME Ile-de-France.

Les contrats de développement des ENR thermiques constituent un autre des dispositifs du Fonds Chaleur. Ces contrats d'une durée de 3 ans visent à soutenir, dans le cadre d'un contrat unique, un ensemble de projets d'EnR thermiques sur un territoire ou un patrimoine défini, de l'étude de potentiel jusqu'aux investissements.

La question énergétique est centrale et doit être réfléchiée dès les prémices d'un projet. Ce plaidoyer a pour but de vous faire découvrir les avantages de la géothermie de surface avec des exemples de nature très différentes (porteur, taille, type de bâtiment...) sur le territoire métropolitain afin que cette énergie discrète une fois en fonctionnement, soit prise en compte dans vos projets énergétiques.

7 bonnes raisons de choisir la géothermie sur la Métropole du Grand Paris :

1. Une facture énergétique maîtrisée.....
2. L'exemplarité environnementale
3. La promotion des ressources locales
4. Une énergie adaptable pour anticiper les futurs défis
5. Une énergie qui s'intègre harmonieusement à son environnement
6. Des technologies qui ont fait leurs preuves
7. Des projets facilités par la réglementation

PAGES

05
07
10
12
14
16
17

Sur le plan énergétique, les territoires sont confrontés à un défi majeur : maîtriser et planifier les besoins en énergie de leur population, en réduisant les émissions de CO₂, à un coût raisonnable. A quelques mètres sous nos pieds, se trouve un élément de solution : la géothermie ! Le sous-sol offre en effet une énergie renouvelable, continue et capable, avec un même dispositif, de produire du chaud et du froid.

Développé par l'ADEME Ile-de-France, le dispositif EnR'choix permet d'accompagner les porteurs de projets dans le développement de stratégies tournées vers les énergies renouvelables en tenant compte des potentiels du territoire. A ce titre, la géothermie est une priorité à développer juste derrière la chaleur fatale.

Ce livret concerne la géothermie de surface, l'énergie que l'on exploite jusqu'à 200 mètres de profondeur. Au-delà, la géothermie profonde, très présente sur la Métropole du Grand Paris, permet d'alimenter des réseaux de chaleur dans les zones denses.

La géothermie de surface quant à elle apporte des solutions thermiques à des bâtiments allant de la maison individuelle à l'éco-quartier, aussi bien pour la rénovation que la construction neuve. Son principe est simple : capter l'énergie du sous-sol et la restituer au niveau de température désiré par le biais d'une pompe à chaleur (PAC) géothermique. Elle est disponible presque partout via l'exploitation de ressources énergétiques situées soit dans une nappe d'eau souterraine, soit dans les roches du sous-sol.

Elle permet également la production d'eau chaude sanitaire et répond à tous types d'usages : chauffage et refroidissement de logements et de bâtiments tertiaires, applications industrielles et agricoles. C'est une énergie durable, locale, disponible en continu, quelles que soient les conditions climatiques et qui n'a pas d'impact visuel.

Elle est compatible avec un milieu urbain dense puisqu'elle prend très peu d'espace, et est particulièrement performante pour les infrastructures du tertiaire et l'habitat collectif.

Ce livret contient des témoignages sélectionnés pour illustrer la diversité des projets existants, sur tout le territoire de la Métropole du Grand Paris et pour une typologie de bâtiments variée.

La géothermie, c'est aussi du froid !

La stabilité des températures du sous-sol au cours des saisons permet de produire aussi bien du chaud que du froid.

En hiver, la chaleur prélevée dans le sol sert à chauffer le bâtiment. En été, la fraîcheur du sous-sol peut refroidir/rafraîchir les constructions. Ces usages présentent l'avantage de « recharger » thermiquement le sous-sol et ainsi d'augmenter la performance des installations pour la saison suivante.

Deux possibilités permettent d'abaisser les températures des bâtiments et d'améliorer ainsi le confort d'été :

- **La production de froid actif.** Avec des émetteurs adaptés, un système équipé de pompes à chaleur réversibles produit de la climatisation.
- **La production de frais, par « géocooling ».** La température du sous-sol est suffisamment basse pour rafraîchir directement et naturellement le bâtiment, un simple échangeur de chaleur suffit alors à alimenter le circuit des émetteurs. La pompe à chaleur n'étant pas sollicitée, cela rend cette solution particulièrement économique.

Cette opportunité de produire du froid renouvelable est indispensable pour certains établissements (EHPAD, hôpitaux...) et à propos dans le contexte du réchauffement climatique, en évitant, dans les zones denses, l'augmentation des îlots de chaleur.

RAISON 1 Le choix d'une facture énergétique maîtrisée

La géothermie : une énergie compétitive

Ses coûts d'exploitation réduits permettent à la géothermie de surface d'être une énergie compétitive dans le temps. En moyenne, le temps de retour sur investissement de ces installations par rapport à une solution au gaz est de 5 à 18 ans, et de 10 ans dans le tertiaire¹. Une fois l'investissement amorti, il ne reste qu'à s'acquitter des coûts d'exploitation réduits, et ce pendant plusieurs décennies (la durée de vie des forages est estimée à 50 ans², celle des pompes à chaleur, moins coûteuses que ces derniers, à 17 ans³).

Emissions de CO₂/an - 40 t



TEMOIGNAGE

Schéma 3D du dispositif et de son intégration dans le bâtiment

Installation Celsius sur le campus de Schlumberger Clamart

« Nous avons choisi de déployer la solution Celsius sur notre campus de Clamart. Cette solution innovante de géo-énergie répond à trois objectifs importants :

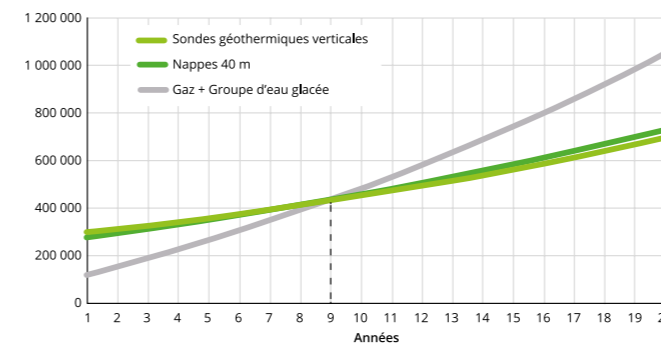
- premièrement, nous divisons par 10, l'empreinte carbone liée au chauffage et à la climatisation du bâtiment cible ;
- deuxièmement, l'installation a pu se faire en site occupé grâce à l'empreinte au sol réduite lors des forages ;
- finalement, le temps de retour sur investissement est de moins de 10 ans.

Et puis, Celsius illustre la réutilisation des savoir-faire et technologies de notre campus Schlumberger pour participer aux défis de la transition énergétique en cours. »

Sébastien LEMMET, Directeur de Schlumberger Clamart

> Usage	Alimentation en chaud et en froid d'un immeuble de bureau 3340 m ² .
> Besoins	- Chaud : 167 MWh/an (100 % couverts par la géothermie). - Froid : 131 MWh/an (95 % couverts par géothermie).
> Installation achevée en décembre 2020	10 sondes obliques, d'une profondeur de 165 m, solution innovante de forage permettant de minimiser l'empreinte au sol.
> Données économiques	- Investissement géothermie : 428 k€. - Aide demandée : 98 k€. - Economies prévisionnelles sur les coûts d'exploitation par rapport à une solution classique : 15 k€. - Temps de retour brut : 9,5 ans avec subvention.
> Gain environnemental	40 tonnes de CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.

Coûts cumulés : Collectif (avec rafraîchissement)



Coûts cumulés de trois solutions pour le collectif combinant chauffage et rafraîchissement ©AFPG

De leurs côtés, les énergies fossiles, polluantes et épuisables, seront toujours caractérisées par un marché volatile et une probable augmentation de leur taxation par le biais de la contribution climat énergie, par exemple.

Dans certains cas, les installations géothermiques peuvent se révéler encore plus compétitives :

- lorsque le système procure à la fois du chaud et du froid/frais. Avec la géothermie de surface, ces besoins sont assurés par une seule et même installation avec de plus des performances améliorées en raison du phénomène de « recharge » thermique évoqué précédemment ;
- lorsque le bâtiment que l'on souhaite équiper se situe au droit d'une ressource très favorable (par exemple, un aquifère peu profond et très productif ou des roches très conductrices de chaleur et faciles à forer...);
- en l'absence de servitude par un réseau de gaz.

(1) Géothermie de surface, étude technico-économique, Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG), 2020, selon les technologies.

(2) Géothermie de surface, étude technico-économique, Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG), 2020.

(3) Hypothèse retenue dans les fiches des certificats d'économie d'énergie

RAISON 1 Le choix d'une facture énergétique maîtrisée



Emissions de CO₂/an - 1087 t/an

TEMOIGNAGE

Vue de la piscine du complexe sportif de Puteaux ©Ville de Puteaux

Palais des Sports de la Ville de Puteaux

« Le Palais des Sports de la Ville de Puteaux représentait, à lui seul, plus d'un tiers des consommations de gaz naturel de l'ensemble des bâtiments communaux de la ville. Cette forte consommation était essentiellement due à la production de chauffage par les chaudières afin de chauffer les bassins extérieurs. Ainsi, grâce à sa situation géographique, l'utilisation de la géothermie sur nappe couplée à une pompe à chaleur a permis de chauffer en partie ces bassins, le but étant de réduire au maximum l'utilisation du gaz naturel et d'utiliser plutôt des énergies renouvelables diminuant les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, la géothermie présente l'avantage d'avoir des coûts stables, contrairement au gaz dont les coûts sont volatiles. A ce jour, les consommations de gaz naturel ont diminué de plus de 20 % annuellement depuis la mise en service de ce système sur le Palais des Sports en 2018. La mairie est satisfaite de cette installation géothermique. »

La ville de Puteaux

> Usage	Alimentation en chaud d'un complexe sportif comprenant une piscine.
> Besoins	Chauffage : 7 597 MWh/an (23% couverts par géothermie).
> Installation achevée en 2018	- Un forage de production et un forage d'injection dans la nappe de la Craie à 78 m de profondeur. - Débit moyen du forage de production après 4 ans d'exploitation : 24 m ³ /h.
> Données économiques	- Investissement géothermie : 1 004 k€. - Aide demandée : 287 k€. - Economies prévisionnelles sur les coûts d'exploitation par rapport à une solution classique : 28 800 €. - Temps de retour brut : 19 ans avec subvention*. - Coût maintenance annuelle : 10 000 €.
> Gain environnemental	1 487 tonnes de CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.

Des coûts d'exploitation stables et réduits

Comparée aux énergies conventionnelles (gaz, électricité, fioul), la géothermie demande un investissement initial supérieur (coût des échangeurs enterrés notamment).

En revanche, ses coûts d'exploitation sont réduits. Ils se composent des coûts d'entretien de l'installation et de la consommation d'électricité⁴ de la pompe à chaleur (PAC) et de ses auxiliaires.

On considère en moyenne que pour 1 kWh électrique consommé par la pompe à chaleur (PAC), 4 kWh thermiques sont restitués. Le rapport entre ces deux valeurs est le coefficient de performance (COP). Il est estimé en moyenne à 4. **Le budget de fonctionnement affiche ainsi une réduction des trois quarts de la facture énergétique.**

Cette moindre dépendance à l'énergie fossile se traduit aussi par une stabilité des coûts. La facture énergétique de bâtiments alimentés par du gaz, de l'électricité ou du fioul sera financièrement fortement impactée par l'évolution du prix des énergies traditionnelles. Cela aura moins de conséquences pour une installation géothermique, dont environ les trois quarts des besoins thermiques sont couverts par une énergie gratuite et locale prélevée dans le sous-sol. **La visibilité financière ainsi obtenue rend la planification plus aisée.**

(4) Certaines pompes à chaleur fonctionnent au gaz, mais cela reste marginal.

RAISON 2 Le choix de l'exemplarité environnementale

Une énergie verte

On considère que les installations de géothermie de surface rejettent, en moyenne, moins de 45 g de CO₂ par kWh de chauffage (émissions associées à la consommation électrique de la pompe à chaleur)⁵. **C'est environ 4 fois moins que l'électricité, 5 fois moins que le gaz naturel et 7 fois moins que le fioul pour satisfaire un même besoin de chauffage.**

Disponible localement, la géothermie de surface n'implique pas de transport. En effet, elle est, par nature, consommée directement là où elle est produite. Ce sont donc autant d'émissions de CO₂ et de particules fines qui sont évitées. Cela en fait un véritable atout pour la qualité de l'air des territoires.

Son usage, encadré par la réglementation et mis en œuvre par des professionnels qualifiés, se fait dans le respect de l'environnement et de la biodiversité, dans le sous-sol et en surface.

Cette énergie renouvelable contribue au déploiement des Bâtiments Bas Carbone (BBCA) et de Haute Qualité Environnementale (HQE). L'entrée en vigueur de la réglementation environnementale RE2020 qui prévoit à moyen terme la disparition du chauffage au gaz dans les constructions neuves, d'abord pour l'habitat individuel puis pour le collectif, favorisera l'étude de solutions géothermiques.

(5) Hypothèse d'un COP à 4. Valeurs pour kgCO₂/kWh issues de la base de données carbone de l'ADEME :
• électricité usage chauffage 2016 : 0,169 kgCO₂/kWh,
• gaz naturel : 0,244 kgCO₂/kWh PCI,
• fioul : 0,312 kgCO₂/kWh PCI.

TEMOIGNAGE

Résidence particulière avec piscine, Saint-Maur-des-Fossés (94)

« J'ai choisi la géothermie par conviction environnementale. J'avais des dépenses importantes en gaz mais ne l'ai pas fait initialement dans une démarche économique. J'ai hésité avec une pompe à chaleur (PAC) sur air mais les PAC sur eau sont réputées plus pérennes et surtout plus efficaces. Les professionnels se sont montrés très compétents. J'ai gardé une chaudière d'appoint au gaz mais je ne m'en suis pas servi jusqu'ici. Je suis très satisfait du dispositif qui fonctionne parfaitement. »

Le propriétaire de la résidence

> Usage	Chauffage d'une maison avec piscine.
> Installation achevée en 2019	- PAC raccordée à un doublet de forages sur nappe (forages de 25 m de profondeur). - PAC : 24 kW de puissance. - Besoin en chauffage : 56 MWh/an.
> Coûts d'investissement	Liés à la géothermie : 10 000 € pour les forages et 50 000 € HT pour la chaufferie.
> Gain environnemental	20,9 tonnes équivalent CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.



Emissions de CO₂/an - 20,9 t/an

Vue de la résidence particulière chauffée par géothermie

* Sur ce projet, les investissements de la solution de référence gaz n'ont pas été déduits car la solution géothermique ne s'est pas substituée entièrement à la chaudière existante.

RAISON 2 Le choix de l'exemplarité environnementale

TEMOIGNAGE

Intégration de la géothermie dans la stratégie de Grand Paris Sud Est Avenir (GPSEA)

« Grand Paris Sud Est Avenir a adopté son projet de Plan Climat Air Energie Territorial en octobre 2019.

L'ambition du territoire est de développer les énergies renouvelables et de récupération (Action 4 du projet de Plan Climat Air Energie Territorial) : + 30 % en 2030 et + 50 % en 2050.

Le diagnostic mené a montré l'importance de la géothermie : sur le territoire, il s'agit de la première énergie renouvelable utilisée. En effet, la production de chaleur renouvelable provient à 43 % de la géothermie profonde et à 1,5 % de la géothermie de surface. Malgré le manque de données sur la part réelle de la géothermie de surface, un potentiel a été mis en évidence.

En avril 2020, Grand Paris Sud Est Avenir s'est lancé dans la réalisation d'une étude complémentaire sur la stratégie en matière d'énergies renouvelables et de récupération (ENR&R). L'objectif est de constituer en 2021 une feuille de route de programmation énergétique et d'apporter des solutions concrètes pour le développement des ENR&R, en adéquation avec la réalité du territoire et la capacité et les besoins des différents acteurs. »

Cérine ALLALA

Chargée de projets à la Direction de la Cohésion territoriale

Un engagement pour lutter contre le changement climatique

Aux côtés des autres sources d'énergie renouvelable, la géothermie de surface est essentielle à l'atteinte des objectifs de la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV). Le Plan Climat Air Énergie Métropolitain (PCAEM), adopté fin 2018, fixe pour l'horizon 2030 de porter à plus de 50% de la consommation énergétique finale la part des énergies renouvelables et de récupération dont au moins 20 % produites localement.

Alors que certains pays européens ont su valoriser la géothermie de surface dans leur mix énergétique, il reste en France un très fort potentiel de développement. **La mobilisation sans réserve de toutes les énergies renouvelables est nécessaire pour s'adapter au changement climatique. La géothermie de surface présente de réels atouts.** Pour les collectivités territoriales, stratégies énergétiques, animateurs des dynamiques locales et maîtres d'ouvrage, c'est une énergie incontournable à considérer. C'est aussi vrai pour les particuliers.



TEMOIGNAGE

Vue générale de l'immeuble du Hive • ©Schneider Electric

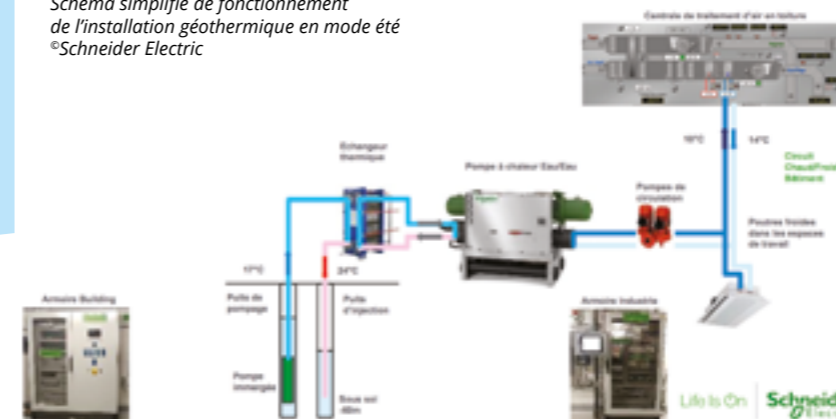
Immeuble Le Hive à Rueil Malmaison (92)

« Schneider Electric est locataire unique du bâtiment Le Hive. Depuis son arrivée en 2008, l'entreprise a été en recherche constante de performance énergétique. Cela l'a conduit à diviser par deux sa consommation entre 2008 et 2014. Soucieuse d'améliorer son empreinte écologique, l'entreprise a alors décidé de mettre en place un mix énergétique tourné vers les énergies renouvelables. Des panneaux photovoltaïques ont d'abord été installés et courant 2017, un doublet géothermique a été mis en place. Le choix de la géothermie répondait à plusieurs critères : énergie disponible sur place, processus performant et renouvelable car la température de la nappe varie peu au cours de l'année (16 à 17°C). La présence de plusieurs autres installations géothermiques assez proches du site impose la plus grande vigilance, afin de ne pas modifier l'équilibre de la nappe. Schneider Electric a ainsi mis en place un dispositif de suivi très élaboré, permettant un monitoring des installations et un suivi de la performance. C'est ce qui a conduit à détecter des points d'amélioration, notamment la gestion des pompes en relation avec la demande des pompes à chaleur (PAC). **Le monitoring permanent permet d'amener le dispositif à sa performance maximale et de maximiser les économies par rapport à la solution de référence.** »

R. MARTIN, Responsable performance énergétique et environnementale

> Usage	Chauffage et rafraîchissement du siège mondial de Schneider Electric de 35 000 m².
> Besoins énergétiques	Estimation de la consommation annuelle : - Chauffage : 1 760 MWh. - Froid : 770 MWh.
> Hybridation	280 MWh/an d'électricité en autoconsommation produits par 1 300 m² de panneaux photovoltaïques, associés au dispositif géothermique.
> Installation achevée en 2018	- Géothermie sur nappe de la Craie. - Deux forages de 40 m de profondeur (un de production, un d'injection). - Deux PAC réversibles. - Dispositif de contrôle et monitoring élaboré par Schneider Electric.
> Bilan énergétique	- Théorie : COP (chaud) de 5, EER (froid) de 5,2, 58 % de couverture des besoins en chaud, 60 % de couverture des besoins en froid. - Optimisation progressive de l'installation pour atteindre ces objectifs de rendement théoriques après 2 ans d'exploitation.
> Données financières	- Investissement (géothermie) : 1 155 000 €. - Subvention Fonds chaleur : 157 000 €. - Temps de retour sur investissement théorique : 14 ans. - Economie nette sur facture énergie 2019 : 28 k€, 2020 : 26 k€.

Schéma simplifié de fonctionnement de l'installation géothermique en mode été
©Schneider Electric



RAISON 3 Le choix de la promotion des ressources locales

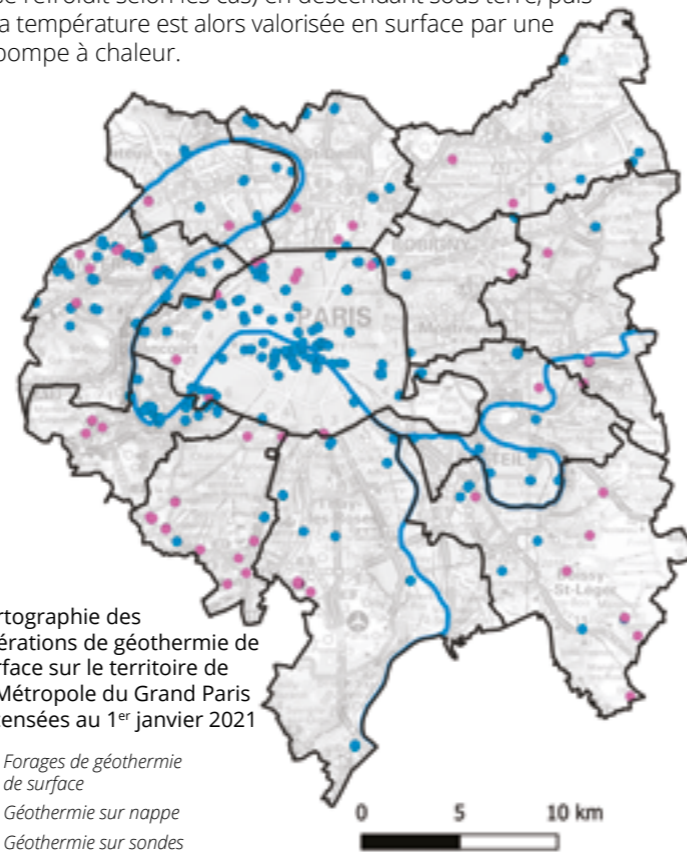
Une énergie disponible en permanence sur presque tout le territoire

La géothermie de surface est une énergie disponible en continu presque partout.

Les ressources géothermiques proviennent soit des roches du sous-sol (exploitation sur sondes) soit des nappes d'eau souterraines (exploitation sur nappe). L'exploitation de ces deux types de ressource passe ainsi principalement par deux technologies :

- pour la **géothermie sur nappe** : l'eau d'un aquifère est prélevée directement par une pompe dans un forage dit de production, et sa température est utilisée, soit pour chauffer soit pour rafraîchir, au moyen d'une pompe à chaleur. L'eau est alors réinjectée dans un second forage ;
- pour la **géothermie sur sonde** : la réalisation de forages « secs » permet, presque en tout lieu, d'avoir accès directement à la chaleur/fraîcheur de la roche du sous-sol. On crée une circulation d'eau dans un (ou des) tube(s)

qui passe(nt) dans ces forages. L'eau se réchauffe (ou se refroidit selon les cas) en descendant sous terre, puis la température est alors valorisée en surface par une pompe à chaleur.



Cartographie des opérations de géothermie de surface sur le territoire de la Métropole du Grand Paris recensées au 1^{er} janvier 2021

- Forages de géothermie de surface
- Géothermie sur nappe
- Géothermie sur sondes

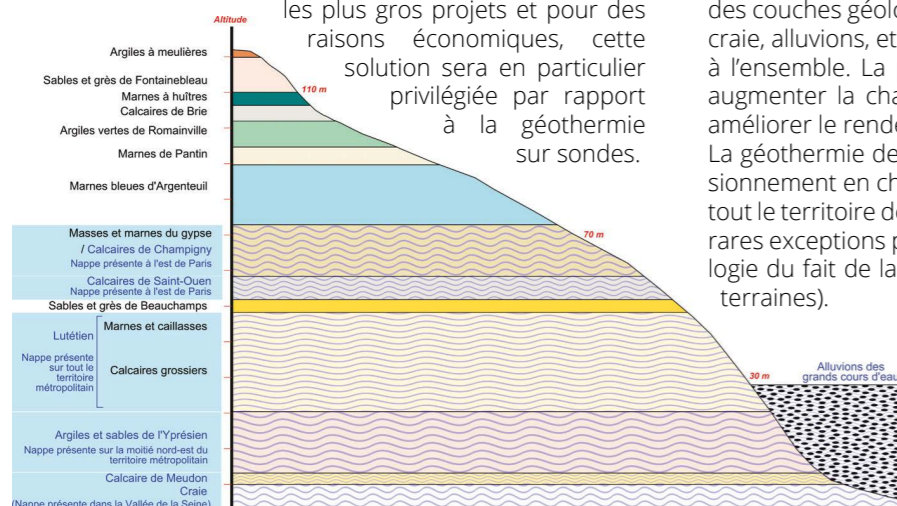
Des projets de plus en plus nombreux sur tout le territoire de la Métropole du Grand Paris

Fin 2020, plus de 620 forages de géothermie sont recensés au sein de la Métropole du Grand Paris, pour environ 250 opérations. 375 de ces forages de géothermie ont été déclarés ces 5 dernières années, ce qui indique une nette augmentation depuis l'existence du régime de déclaration Géothermie de Minime Importance⁶ (2015).

(6) <https://www.geothermies.fr/accompagner-votre-projet#demarches>

La géologie francilienne est favorable à la géothermie de surface

A l'échelle de la Métropole du Grand Paris, l'empilement des couches géologiques permet qu'il y ait au moins une nappe productive à faible profondeur (<100 m) partout. Une étude locale permet d'identifier la nappe la plus pertinente et les débits d'exploitations envisageables. Pour les plus gros projets et pour des raisons économiques, cette solution sera en particulier privilégiée par rapport à la géothermie sur sondes.



Cette dernière est encore plus généralement accessible : les propriétés thermiques des terrains étant relativement stables sur les 100 à 150 premiers mètres rencontrés en tout point de la Métropole du Grand Paris. Cette caractéristique est liée à la variation importante des typologies des couches géologiques (marnes, calcaires, sables, argiles, craie, alluvions, etc.) qui confère une certaine homogénéité à l'ensemble. La présence d'une nappe peut notamment augmenter la chaleur ou la fraîcheur disponible et donc améliorer le rendement des sondes.

La géothermie de surface est ainsi une solution d'approvisionnement en chaleur et en froid mobilisable sur presque tout le territoire de la Métropole du Grand Paris, à quelques rares exceptions près (par exemple : contraintes sur la géologie du fait de la présence de gypse ou de carrières souterraines).

Schéma des terrains géologiques rencontrés sur le territoire de la Métropole du Grand Paris en fonction de l'altitude. Les principales nappes sont indiquées en bleu.



Emissions de CO₂/an -4747 t/an

TEMOIGNAGE

© Dronepress / SOLIDEO

Alimentation du quartier Pleyel et du Village des athlètes par de la géothermie sur nappe

« L'aménagement de la ZAC Pleyel de Saint-Denis comprend notamment le Village des athlètes, la réhabilitation d'une tour en hôtel 4 étoiles et la construction « des Lumières Pleyel », ensemble de 519 logements. Dans ce cadre, l'approvisionnement en chaleur majoritairement renouvelable et le développement d'un réseau de froid bas-carbone sont apparus comme une nécessité.

Par ailleurs, la présence d'ENGIE Solutions sur le territoire, par le biais de sa filiale Plaine Commune Energie (PCE), exploitant du 2^{ème} réseau de chaleur d'Ile-de-France (alimentant en chaud les communes de Saint-Denis, l'Île-Saint-Denis, Pierrefite-sur-Seine et Stains et bientôt Aubervilliers), fut une évidence pour le raccordement de ce projet au réseau de chaleur existant. Cela permet d'inscrire le dispositif géothermique de la ZAC Pleyel dans la stratégie énergétique du territoire, pour un bénéfice à long terme.

Le choix de la géothermie de surface sur nappe a le grand intérêt de permettre la production de chaud et de froid simultanément, de manière locale, pour répondre aux besoins du quartier Pleyel.

Ce programme s'inscrit dans les engagements d'ENGIE Solutions d'accompagner les territoires dans leur transition bas carbone en leur permettant d'optimiser l'usage des ressources renouvelables et de verdir les énergies. »

Yann MADIGOU, Directeur Général de Plaine Commune Energie
ENGIE Solutions

Une énergie de mon territoire pour mon territoire

La géothermie est une énergie locale.

Elle n'implique donc pas de transport, pas de gestion de stocks. En s'émancipant des énergies fossiles, elle favorise l'indépendance énergétique des territoires. Elle mobilise les talents locaux : bureaux d'études, foreurs, installateurs... et contribue à l'emploi de proximité.

La géothermie est l'occasion de rappeler que les potentiels d'un territoire ne s'arrêtent pas en surface et comprennent aussi l'usage de son sous-sol.

Usage	Production de chaud et de froid pour 609 000 m ² de constructions neuves soutenues par trois programmes d'urbanisme au sein du quartier Pleyel (Village des athlètes, Tour Pleyel, ZAC Pleyel).
Besoins annuels	- Chaud : 27 GWh . Froid : 11,8 GWh. - Taux d'ENR total visé (dont géothermie) : 68 %.
Installation prévue pour 2024	- Géothermie sur nappe du Lutétien. - Trois forages de pompage et huit forages de réinjection, d'une profondeur de 65 m chacun.
Données économiques	- Investissement géothermie : 10,6 M€. - Investissement réseau : 6,1 M€. - Subvention ADEME / Région / SOLIDEO : 5,8 M€.
Gain environnemental	4 747 tonnes CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.

RAISON 4 Le choix d'une énergie adaptable pour anticiper les futurs défis



Emissions de CO₂/an - 422 t/an

Vue du quartier Nanterre Cœur Université ©Magenta Films/ADEME

Relever le défi de l'augmentation des températures : du froid/frais quasi-gratuit

La France fait face à des étés de plus en plus chauds. En effet, en 2017 et 2019, de nombreux centres urbains ont subi des vagues de chaleur jamais enregistrées depuis le début des mesures en 1872, en atteignant des températures supérieures à la normale de 1,5 °C. Les besoins en climatisation/rafraîchissement augmentent ainsi rapidement.

Pour construire aujourd'hui des bâtiments qui répondront aux exigences de demain et favoriser le confort, la géothermie est une énergie renouvelable particulièrement adaptée : elle produit du froid actif (avec une pompe à chaleur réversible) ou du frais (par géocooling) à un prix très compétitif. Sous réserve de disposer d'émetteurs adaptés, c'est le même système géothermique, équipé d'une pompe à chaleur réversible, qui produit du froid actif et du chaud. Avec le géocooling, 1 kWh d'électricité consommée⁷ peut produire jusqu'à 50 kWh de frais !

Cette production de froid ou de frais permet d'éviter l'utilisation de climatiseurs, fortement consommateurs d'électricité et qui contribuent, par leurs rejets d'air chaud, aux phénomènes d'îlots de chaleur. Ils sont particulièrement problématiques en zone très dense, comme l'est le territoire de la Métropole du Grand Paris.

(7) La pompe à chaleur ne fonctionne pas, ce sont des instruments secondaires, les circulateurs qui sont activés.

TEMOIGNAGE

Géothermie : champ de sondes du double Smart Grid de Nanterre

"La géothermie de surface est l'outil central de production d'énergie renouvelable sur l'écoquartier Nanterre Cœur Université. Il est composé d'un champ d'une centaine de sondes sèches installées sur 150 m de profondeur sous l'empreinte du quartier. La surface totale d'échange d'énergie avec le sol est considérable, l'équivalent de plus de la moitié d'un terrain de football ! Elle permet, d'une part de puiser efficacement chaleur et froid renouvelables toute l'année, d'autre part d'agir comme un gigantesque réservoir d'énergie, permettant de stocker, l'été, la chaleur émise par la climatisation afin de la restituer l'hiver pour le chauffage, et vice-versa. De plus, la complémentarité entre énergies thermiques et électriques au sein de l'écoquartier fait de Nanterre Cœur Université le premier Double Smart Grid de France qui permet de garantir à long terme la fourniture d'une énergie locale, durable, décarbonée et compétitive. Et c'est une énergie solidaire que nous mettons à disposition du quartier : au travers des deux réseaux de chaleur et d'électricité, nous partageons les énergies au bénéfice de tous les utilisateurs quotidiens : logements, bureaux et commerces."

Arnaud WESTRICH, Président, Dalkia Smart Building

> Usage	La géothermie est la ressource principale des 5 ressources énergétiques utilisées pour la production de chaud et de froid du double Smart Grid du quartier Nanterre Cœur Université. Il fonctionne sur un principe de stockage intersaisonnier permettant de limiter le gaspillage énergétique et de favoriser l'utilisation d'une ressource ENR locale.
> Besoins	- Chaud : 1406 MWh/an. - Froid : 1589 MWh/an.
> Installation de réseau achevée en 2020	90 sondes à 150 m de profondeur.
> Données économiques	- Investissement : 5 005 k€HT. - Aide : 738 k€HT sur la géothermie, 250 k€HT sur les réseaux (et 105 k€HT sur l'installation de récupération de chaleur sur eaux grises). - Temps de retour brut : 12 ans avec subventions.
> Gain environnemental	422 tonnes CO ₂ évitées par an par rapport à une solution au gaz.

La géothermie : un composant clé des réseaux basse énergie

Répondre aux exigences de la ville durable implique détermination et créativité. **Parce qu'elle est complètement adaptable, la géothermie de surface est un atout.**

La boucle d'eau tempérée en est une bonne illustration. Un réseau d'eau à une température proche de celle de la ressource naturelle (environ 15°C) alimente autant de pompes à chaleur qu'il y a de bâtiments à chauffer/refroidir. Sur un principe de mutualisation des coûts et des bénéfices, cela peut permettre :

- ❖ un usage de la géothermie en mix avec d'autres énergies renouvelables et de récupération,
- ❖ une gestion optimisée sur un mode « smart grid »,
- ❖ une évolutivité du réseau et un lissage des investissements.

Cela s'avère d'autant plus pertinent si les besoins de froid et de chaud sont simultanés.

Le choix d'une énergie qui s'intègre harmonieusement à son environnement



Ecole Saint-Exupéry • ©Ville de Bois-Colombes



Complexe omnisports Albert-Smirlian • ©Ville de Bois-Colombes

Emissions de CO₂/an -34 t/an

TEMOIGNAGE

> Usage	Besoins énergétiques du complexe omnisports Albert-Smirlian de 6 643 m ² et du groupe Saint-Exupéry de 4 311 m ² (maternelle et élémentaire).
> Besoins	Chaud : 316 MWh/an (46,5 % couverts par géothermie).
> Installation achevée en 2018	- Géothermie sur nappe du Lutétien. - Deux forages de 50 m de profondeur (un de production, un d'injection). - Prélèvement à 14,5°C environ, rejet dans la nappe à 9,5°C environ.
> Données économiques	- Investissement géothermie : 919 k€. - Aide : 576 k€. - Economies sur les coûts d'exploitation par rapport à solution classique : environ 10 500 € par an.
> Gain environnemental	34 tonnes CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.

Une énergie renouvelable économe d'espace

Au moment des travaux de forage, le terrain doit être accessible et dégagé. Une fois les forages réalisés, le chantier peut faire place à un jardin ou à des constructions. Les travaux de forages peuvent aussi se faire en réhabilitation de bâtiments, dans des parkings en sous-sol avec des foreuses adaptées. Le local technique nécessaire au fonctionnement des installations est restreint. Aucun espace de stockage n'est requis et, en l'absence d'approvisionnement extérieur, cela ne génère pas de trafic supplémentaire.

L'occupation foncière de la géothermie, fort réduite, lui permet, notamment en milieu urbain dense, d'être une énergie renouvelable décisive pour l'obtention des labels Bâtiments Bas Carbone (BBCA) et de Haute Qualité Environnementale (HQE).

Installation de géothermie mutualisée pour le complexe sportif Albert-Smirlian et l'école Saint-Exupéry à Bois-Colombe

« La Ville de Bois-Colombes est engagée depuis de nombreuses années dans une politique de renouvellement urbain d'envergure, à laquelle est annexé un volet environnemental multiforme et ambitieux.

Avec la précédente installation de géothermie similaire, mutualisée pour le groupe scolaire Pierre-Joigneaux et la crèche A Tire d'Aile (en cours de réhabilitation), la Ville possède désormais deux installations de géothermie sur nappe avec l'objectif d'utiliser au maximum les énergies renouvelables pour les besoins de chauffage des bâtiments communaux.

En partenariat avec différents acteurs tels que l'ADEME, la Région Ile-de-France et l'Union Européenne (Fonds Européen de Développement Régional FEDER), la Ville met en œuvre l'ensemble des actions sur la recherche de solutions d'aménagement, de construction et de gestion ultérieure de son patrimoine, engendrant de moindres nuisances environnementales, une efficacité technique et énergétique démontrée et une compatibilité avec un tissu urbain parmi les plus denses de la première couronne parisienne. »

Yves RÉVILLON,
Maire de Bois-Colombes, Vice-Président du Département des Hauts-de-Seine



Emissions de CO₂/an -35,4 t/an

TEMOIGNAGE

Projet de rénovation et de réhabilitation des Magasins 2 & 4 de la Samaritaine (Paris 1^{er})

« L'étude énergétique a permis de montrer que la solution géothermique sur nappe présentait plusieurs avantages significatifs sur les autres solutions :

- la géothermie est réversible – elle est utilisable en chaud comme en froid,
- dans le cas présent elle était peu coûteuse du fait de la présence d'une nappe peu profonde,
- et surtout elle s'insérait parfaitement dans un bâtiment historique, en prenant une place très réduite.

La mise en œuvre du projet a prouvé le savoir-faire de prestataires qualifiés à toutes les étapes et l'opération est un succès. »

Didier DUCHÊNE, Directeur du Patrimoine

> Usage	Production de chaleur et de froid pour les bâtiments réhabilités de la Samaritaine – 47 447 m ² .
> Besoins	- Chaud : 1053,5 MWh/an (49 % couverts par géothermie). - Froid : 1020,4 MWh/an (59 % couverts par géothermie).
> Installation achevée en 2020	Un forage de pompage et deux forages de réinjection, d'une profondeur de 40 m. Installation technique en sous-sol.
> Données économiques	- Surinvestissement géothermie : 973 000 €. - Subvention ADEME : 228 714 €. - Economies sur les coûts d'exploitation : 62 778 €. - Temps de retour brut : 13,1 ans avec subvention.
> Gain environnemental	35,4 tonnes CO ₂ évitées par an par rapport à la solution gaz.

Vue intérieure du bâtiment de la Samaritaine en cours de rénovation • ©La Samaritaine

Une énergie discrète

Une fois les travaux réalisés, la géothermie est discrète : sous terre, elle est invisible. Elle ne produit ni bruit, ni odeur. Elle est particulièrement adaptée aux bâtiments patrimoniaux, mais aussi à ceux pour lesquels l'esthétisme, le calme et le confort sont importants.



Implantation des forages de géothermie dans le sous-sol de la Samaritaine • ©La Samaritaine

RAISON 6 Le choix de technologies qui ont fait leurs preuves

Des technologies éprouvées et pérennes

Plus de 175 000 pompes à chaleur géothermiques fonctionnent en France. C'est donc une technologie éprouvée. De plus, elle est en amélioration constante grâce à la capitalisation sur les bonnes pratiques, aux progrès technologiques et à la recherche.

Des professionnels qualifiés

La mention RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) permet d'identifier un réseau de professionnels qualifiés (foreurs et installateurs de pompe à chaleur, maintenance) pour les travaux mais aussi les études (sous-sol et surface).

Les qualifications RGE

Type de prestation	Signe de qualité RGE
Études / Conseil	
Installation / Pose de la pompe à chaleur	  
Installation / Pose des échangeurs souterrains (sondes, forages sur nappe)	

TEMOIGNAGE

Syndicat des Foreurs d'eau et de Géothermie (SFEg)

« Les entreprises de forages spécialisées en géothermie acquièrent leur expérience chantier par chantier, sur le terrain et depuis de nombreuses années. Une bonne connaissance du sous-sol local est indispensable car le succès des opérations en dépend. La technicité des équipes est de mise, du fait de la sensibilité des dispositifs, notamment dans le cadre de la maintenance. La filière participe ainsi à l'emploi local. Les entreprises de forage géothermique sont donc hautement qualifiées et expérimentées en Ile-de-France. Elles sont soumises à la certification RGE QualiForage gérée par Qualit'ENR. »

Financement et garantie : un accompagnement institutionnel

Un accompagnement financier incitatif à considérer : le Fonds Chaleur



<https://fondschaleur.ademe.fr/>

Il cofinance les investissements nécessaires aux projets de production de chaleur et/ou de froid à partir d'énergies renouvelables et de récupération d'énergie (EnR&R) ainsi que les réseaux de chaleur et de froid liés à ces installations. Ces aides financières permettent à la chaleur renouvelable d'être compétitive par rapport à celle produite à partir d'énergies conventionnelles. En amont, ce dispositif peut également être sollicité pour accompagner les études de projet.

En Ile-de-France, l'ADEME et la Région lancent chaque année des Appels à Projets « Chaleur renouvelable et réseau en commun » afin de soutenir le développement de la filière.

<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/dispositif-aide/financement-dinstallations-geothermiques-production-chaleur-froid>



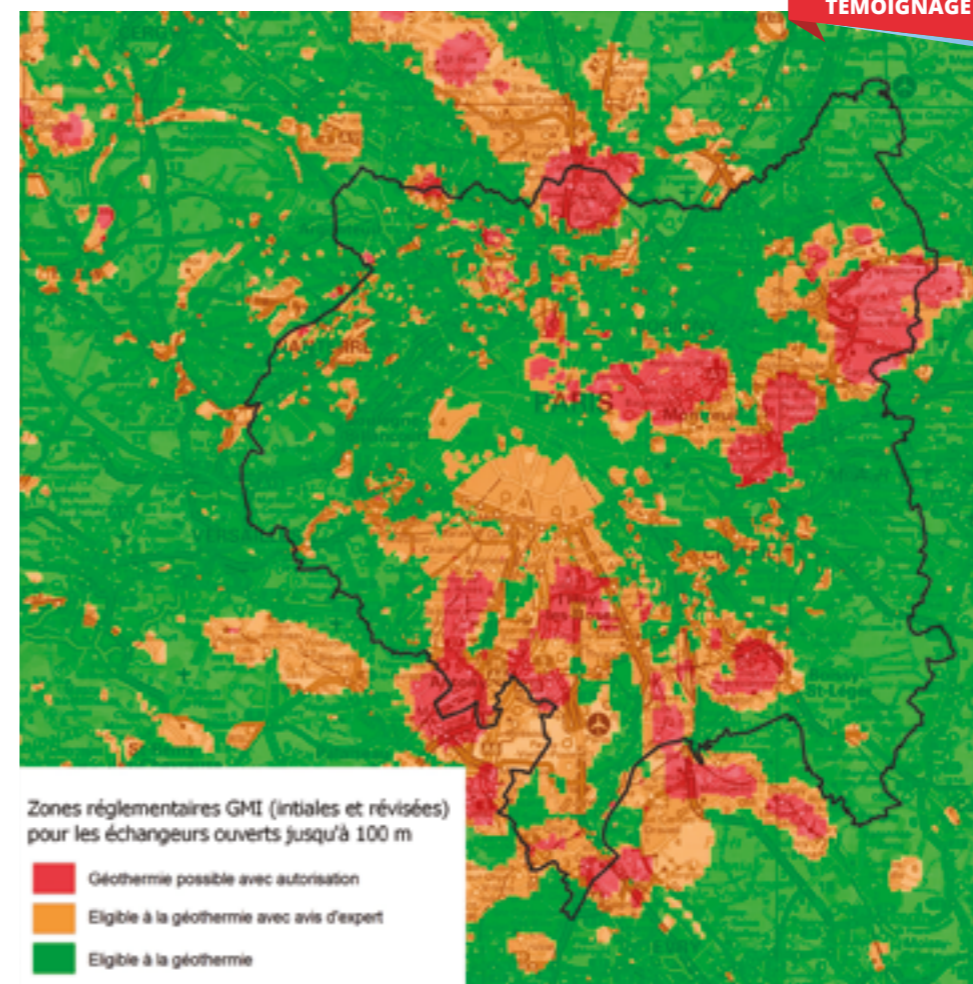
Une possibilité de garantie

Cette garantie, gérée par la SAF Environnement, concerne les opérations sur aquifère superficiel et couvre les risques d'échec de l'opération géothermique (débit d'exploitation insuffisant lors de la mise en œuvre du forage ou non pérenne dans le temps). Elle assure ainsi pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage, le transfert et la réinjection de la ressource. Elle s'adresse à des projets faisant appel à une ressource d'une profondeur de moins de 200 mètres et utilisant une pompe à chaleur de puissance thermique supérieure à 30 kW.

RAISON 7 Des projets facilités par la réglementation

La Géothermie de Minime Importance est le cadre réglementaire qui s'applique à l'essentiel des opérations de géothermie de surface (en fonction principalement de la taille et de la localisation des installations). D'un point de vue réglementaire, la réalisation d'une installation nécessite une simple déclaration sur environ 50 % du territoire de la Métropole du Grand Paris (zones « verte »), accompagnée, dans certains cas, d'un avis d'expert agréé (zones « orange », environ 37 % du territoire). Pour des raisons liées aux caractéristiques du sous-sol, une autorisation administrative est nécessaire sur moins de 13 % du territoire (zones « rouge »).

TEMOIGNAGE



Le mot de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports (DRIEAT)

« L'ensemble des projets de géothermie relève du Code minier. La plupart des projets de géothermie de surface s'inscrivent dans le régime de la Géothermie de Minime Importance (GMI), simplifié en 2015 pour faciliter son usage. D'autres projets, en raison de leur implantation ou dimensionnement, relèvent de la procédure de demandes de titres, aménagée en 2019.

Les projets de Géothermie de Minime Importance (GMI) sont soumis uniquement à télé-déclaration. Les déclarations sont à réaliser en ligne sur le site internet <https://geothermie.developpement-durable.gouv.fr/>. Après le dépôt de la déclaration, un récépissé en ligne est généré automatiquement. La procédure administrative est donc réduite et rapide.

Les autres projets de géothermie nécessitent un titre de recherche (permis exclusif de recherche ou autorisation de recherche), une autorisation de travaux pour les forages puis un titre d'exploitation (permis d'exploitation ou concession). Les procédures sont définies par le décret n° 2019-1518 du 30 décembre 2019. Un guide pour comprendre les procédures est disponible sur le site de la DRIEE (<http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/energies-renouvelables-et-de-recuperation-a3432.html>). La durée totale des procédures, de la recherche du gîte à l'obtention du titre d'exploitation dépend des choix du pétitionnaire (voir guide). Elle varie entre 13 mois et 23 mois. En Ile-de-France, la moyenne de cette durée totale est plus proche de 13 mois. »

B. LORENZI, chef adjoint du Service Energie et Bâtiment de la Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'aménagement et des Transports d'Ile-de-France (DRIEAT)

Au-delà des aspects réglementaires, qui attestent de la volonté administrative de faciliter le recours à la géothermie de surface, le bon dimensionnement de l'installation nécessite de connaître la ressource géothermique. Des cartes d'estimation de ressources et de potentiels sont disponibles en ligne (www.geothermies.fr) et permettent une première approche, sur un point donné ou sur un territoire plus large, qui sera ensuite poursuivie par l'expertise de bureaux d'études. L'objectif est de faciliter les réalisations opérationnelles. L'encadrement réglementaire des activités de géothermie permet, dans un sous-sol déjà exploité pour différents usages, de déployer cette technologie avec une sécurité optimale.

(8) Environ 95 % des dossiers traités en zone orange reçoivent des suites favorables

(9) Neuf critères relatifs aux caractéristiques du sous-sol (aquifères, cavités, mouvements de terrain, pollution...) sont pris en compte.

(10) Pour une vision complète de l'encadrement normatif et réglementaire de la géothermie de surface, voir <https://www.geothermies.fr/accompagner-votre-projet#demarches>

Cartographie des opérations de géothermie de surface



www.brgm.fr



www.metropolegrandparis.fr

Le BRGM a construit, pour le compte de la Métropole du Grand Paris, un webservice qui permet de visualiser l'ensemble des opérations de géothermie de surface pour lesquelles des informations ont pu être collectées. Ces données sont accessibles en libre accès via les logiciels SIG sous forme d'une adresse URL à intégrer en tant que WFS, ou sur certaines interfaces cartographiques comme celle de geothermies.fr (URL à saisir dans l'interface d'import de couches supplémentaires).

- ◆ Opérations en exploitation - URL du webservice http://infoterre.brgm.fr/geoserver/BSS_GTHSURF_MGP_FINALISE/ows?
- ◆ Opérations en cours de réalisation http://infoterre.brgm.fr/geoserver/BSS_GTHSURF_MGP_CONFIRMER/ows?
- ◆ Opérations déclarées http://infoterre.brgm.fr/geoserver/BSS_GTHSURF_MGP_DECLARE/ows?

Ces informations sont également accessibles sur :

- ◆ l'espace cartographique <https://www.geothermies.fr/viewer/> en ajoutant les couches dans Géothermie de surface / Opération (menu à droite dans l'interface).
- ◆ l'espace cartographie de la Métropole du Grand Paris : www.carto-metropolegrandparis.fr/portal/apps/webappviewer/index.html?id=afb6610495e74d04baff8bf3b48f97e8

Pour aller plus loin



www.geothermies.fr : le site institutionnel exclusivement dédié à la géothermie réalisé conjointement par le BRGM et l'ADEME. En ligne : des infos et des articles sur les différentes formes de géothermie, les technologies, les usages et les applications, la réglementation, les aides possibles, les cartes régionales des ressources géothermiques et des zonages réglementaires, etc.



www.ile-de-france.ademe.fr : l'équipe énergie de l'ADEME Ile-de-France conseille et oriente les porteurs de projets dans leurs choix énergétiques grâce à son expertise technique, sa connaissance des réseaux de professionnels compétents et ses outils pédagogiques. Retrouvez nos propositions d'accompagnement et de financement sur www.agirpourlatransition.ademe.fr



www.afpg.asso.fr : le site de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie contient des informations sur la filière, le marché, les acteurs, des fiches exemples (<http://www.afpg.asso.fr/nos-actions/nos-references-en-region/ile-de-france-2/>), la boîte à outils « géothermie très basse énergie ».

Coédité par la Métropole du Grand Paris, l'ADEME Ile-de-France et le BRGM

Coordinatrice de projet : Margaux Montagnon, Eva Frangiamone

Comité de rédaction :

ADEME Ile-de-France : Matthieu Mefflet-Piperel

BRGM : Timothée Dupaigne, Fanny Branchu

Les rédacteurs remercient ceux qui ont témoigné pour leur accueil et les informations fournies ainsi que l'APUR pour sa contribution à l'identification des exemples présentés.

Maquette et réalisation : Agence Kalankaa • Impression : Périgraphic - octobre 2021

Illustration de couverture : Principe d'une boucle d'eau tempérée géothermique sur nappe ©BRGM
N° librairie ADEME : EDI00005380

Métropole du Grand Paris
15-19 avenue Pierre Mendès-France
75013 PARIS - Tél. : 01 82 28 78 00

www.metropolegrandparis.fr

