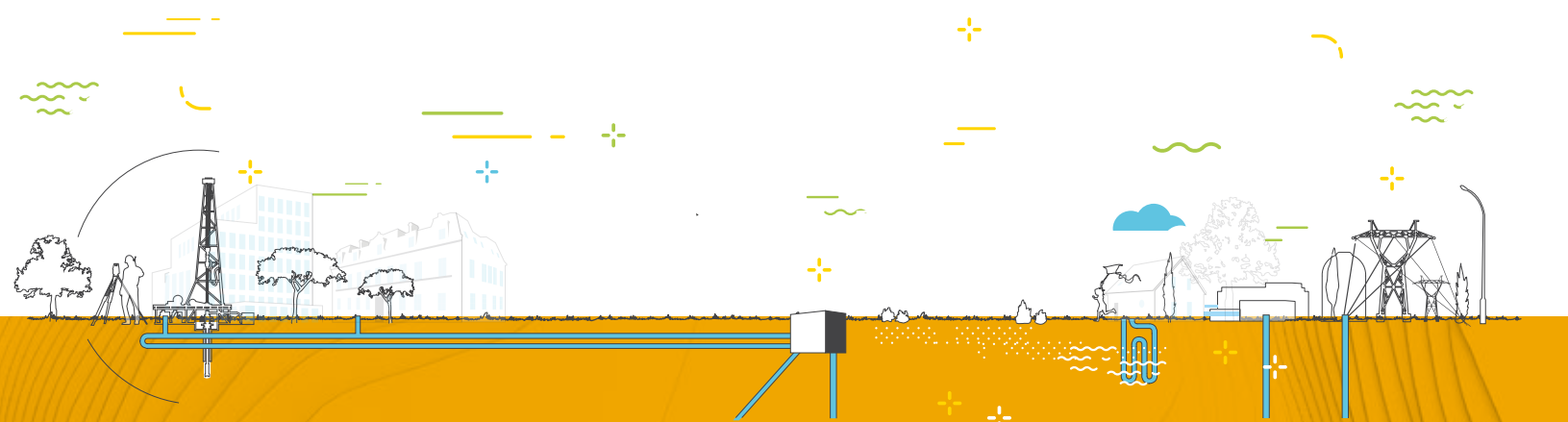




**La géothermie, l'énergie de demain, dès aujourd'hui !**



LA GÉOTHERMIE EN FRANCE

# Étude de filière

# 2025

8<sup>e</sup> édition

# Liens utiles

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie  
<https://www.ademe.fr>

Association française des professionnels de la géothermie  
<http://www.afpg.asso.fr>

Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
<https://www.brgm.fr>

Cadastre minier numérique  
<https://camino.beta.gouv.fr>

Données et études statistiques  
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

Espace institutionnel sur la géothermie réalisé par l'ADEME et le BRGM  
<http://www.geothermies.fr>

European Geothermal Council  
<https://www.egec.org>

Fédération professionnelle des entreprises de services pour l'énergie et l'environnement  
<https://fedene.fr/>

Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté  
<https://www.economie.gouv.fr/>

Ministère de la Transition écologique et solidaire (espace géothermie)  
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/geothermie>

Observ'ER  
<http://www.energies-renouvelables.org/accueil-observ-er.asp>

Pôle de compétitivités des industries du sous-sol  
<https://www.pole-avenia.com/fr/>

Qualit'EnR  
<https://www.qualit-enr.org>

Sybase (base de données du BRGM)  
<https://sybase.brgm.fr/sybase/#/ouvrage>

Syndicat des Énergies Renouvelables  
<http://www.enr.fr>

Syndicat national des entrepreneurs de puits et de forages pour l'eau et la géothermie  
<http://www.sfeg-forages.fr>

## Glossaire

### Aquifère

Roche suffisamment poreuse et perméable pour pouvoir contenir des fluides (ici, de l'eau). Ces roches (calcaires, dolomies, grès) ont un intérêt économique si leurs volumes sont suffisants, et si elles sont recouvertes de couches imperméables empêchant les fluides de s'échapper.

### Banque de données sous-sol (BSS)

Base nationale qui conserve toutes les données sur les ouvrages souterrains (forages, puits, sondages, ...) du territoire français, dont la gestion est confiée au BRGM.

### Bassin sédimentaire

Dépression de la croûte terrestre dans laquelle se sont accumulés des matériaux sédimentaires, formant progressivement des couches de roches sédimentaires.

### Cogénération

La cogénération est la production simultanée de 2 formes d'énergies à partir d'un même process. On parle souvent de cogénération électricité/chaleur, pour laquelle on valorise la chaleur résiduelle issue de la production de l'électricité.

### Coproduction

La coproduction permet de produire simultanément 2 formes d'énergies – typiquement électricité et chaleur. Contrairement à la cogénération, ce n'est pas l'énergie résiduelle issue de la production d'électricité qui est valorisée, mais une partie de la source d'énergie primaire. En pratique, dans une centrale géothermique électrogène, une partie de la vapeur extraite du sol sert à la production d'électricité, tandis que l'autre partie est valorisée sous forme de chaleur (par exemple dans un réseau de chaleur urbain).

### Équivalent-logement

Grandeur énergétique représentant la consommation d'un logement moyen, d'environ 70 m<sup>2</sup>, occupé par une famille de quatre personnes. Il sert de référence commune pour exprimer les quantités de chaleur livrées quelles que soient les caractéristiques des bâtiments desservis (logement, bureaux, hôpitaux, gymnases...). Conventionnellement, 1 équivalent-logement = 10 MWh/an.

### Production

Grandeur indiquant l'énergie convertie par un système sur une période donnée. Par exemple, une production exprimée en kWh/an mesure la quantité d'énergie (en kWh) convertie pendant un an.

En présence d'une pompe à chaleur (PAC), on distingue l'énergie calorifique (dont profite le consommateur) de l'énergie géothermique (frigorifique, renouvelable). Ces 2 énergies sont reliées de la façon suivante :

où le SCOP désigne le coefficient de performance saisonnier de la PAC géothermique.

$$E_{\text{géothermique}} = (E_{\text{calorifique}} - E_{\text{consoPAC}}) = E_{\text{calorifique}} \left(1 - \frac{1}{\text{SCOP}_{\text{PAC}}}\right)$$

### Puissance installée

Grandeur indiquant la quantité maximale d'énergie pouvant être convertie par unité de temps. Elle s'exprime en Watt (W). On peut distinguer les différentes formes de puissance : on parle par exemple de watts thermiques (Wth) et de watts électriques (We).

En présence d'une pompe à chaleur (PAC), on distingue la puissance calorifique (dont profite le consommateur) de la puissance géothermique (frigorifique, renouvelable). Ces 2 puissances sont reliées de la façon suivante :

$$P_{\text{géothermique}} = (P_{\text{calorifique}} - P_{\text{consoPAC}}) = P_{\text{calorifique}} \left(1 - \frac{1}{\text{COP}_{\text{PAC}}}\right)$$

# Sommaire



<b>Introduction</b>	4
Contexte en France	4
Rôle de l'AFPG	5
Géothermie, une énergie à haut potentiel	5



<b>La géothermie de surface</b>	7
Production de chaleur et de froid	8
A - Contexte	10
B - État de la production française en 2024	14
C - Perspectives et conclusions « géothermie de surface »	22
D - Méthodologie	23



<b>La géothermie profonde</b>	29
Production de chaleur	31
A - Contexte	31
B - État actuel de la production française en 2024	32
Centrales électrogènes	39
A - Contexte	39
B - État actuel de la production française en 2024	40
Lithium géothermal	43
A - Contexte	43
Perspectives et conclusions « géothermie profonde »	44
Méthodologie	47



<b>Les innovations</b>	48
------------------------	----



<b>La régionalisation</b>	52
---------------------------	----

<b>Le mot du président</b>	65
----------------------------	----



# Introduction

## ■ Contexte en France

### Respecter nos engagements climatiques

Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) souligne dans ses rapports l'importance de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter le réchauffement climatique, déjà estimé à 1,2 °C depuis la période 1850-1900. Tous les pays, y compris la France, sont appelés à intensifier leurs efforts, car chaque dixième de degré compte dans la lutte contre les dérèglements climatiques. La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) fixe ainsi un cap ambitieux : parvenir à une décarbonation complète de l'énergie d'ici 2050 (à l'exception du transport aérien) et réduire de moitié les consommations d'énergie dans l'ensemble des secteurs, notamment grâce à des équipements plus performants.

Aujourd'hui, 45 % de l'énergie est utilisée pour produire de la chaleur, 30 % pour le transport et 25 % pour l'électricité. Sur ces 45 %, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale de chaleur atteignait 31,1 % en 2024, en progression régulière par rapport à 2023. D'après la Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), la politique énergétique nationale a notamment pour objectif de porter cette part à 38 % d'ici 2030.

Afin de tenir ces engagements, il est essentiel d'inverser la tendance et de développer massivement des moyens de production à faible émission de carbone. Par exemple, la géothermie est une énergie particulièrement adaptée aux enjeux de performance énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, elle reste encore trop peu développée, représentant seulement 1 % de la consommation finale de chaleur en 2024, bien que notre territoire soit favorable à au moins une technologie de géothermie sur l'ensemble du pays.

### Les actions du Plan d'action national géothermie (PANG)

Le gouvernement a présenté un plan d'actions pour accélérer le développement de la géothermie, suite à une co-construction avec l'ensemble des parties prenantes de la filière (et notamment le SER, l'ADEME, et l'AFPG). La version initiale du plan date du 2 février 2023, publié officiellement par Madame Agnès Pannier-Runacher, Ministre de la Transition énergétique en décembre 2023, apportant des précisions et compléments sur les mesures à mettre en œuvre.

Parmi les mesures clés figurent :

- La création de formations spécifiques pour les foreurs, intégrant les techniques modernes telles que les sondes inclinées ou le géostockage, avec une adaptation du cadre réglementaire relatif aux qualifications et aux conditions de travail.
- L'harmonisation des exigences réglementaires entre les forages géothermiques et les forages d'eau, pour simplifier les démarches administratives.
- La finalisation de la cartographie régionale des zones favorables à la géothermie (zones GMI) par le BRGM, complétée par des campagnes d'observation locale comme Géoscan en Île-de-France ou Géoscan Arc, pour l'investigation de ressources potentielles plus profondes.
- L'adaptation de la réglementation aux nouvelles solutions géothermiques, avec notamment une élévation du seuil d'autorisation, ainsi qu'un projet de simplification du droit minier.
- La mise en visibilité des professionnels qualifiés via le site GéoArtisan, porté par l'AFPG et le SFEG, qui recense les installateurs et foreurs certifiés.
- Le renforcement du « coup de pouce chauffage CEE », prolongé jusqu'en 2025 et cumulable avec MaPrimeRénov' pour les pompes à chaleur géothermiques.
- La mobilisation des contrats de développement des énergies renouvelables, pilotés par l'ADEME, facilitant le regroupement de petits projets dans le secteur tertiaire pour accéder aux aides du fonds chaleur.

- La poursuite de la collecte, l'analyse et la diffusion des données géologiques par le BRGM principalement, afin de mieux orienter les projets.
- Le développement d'outils d'aide à la décision basés sur ces données, avec un comité public-privé assurant un suivi semestriel, prenant notamment la forme des cartographies publiées sur le site [www.geothermies.fr](http://www.geothermies.fr)

Ces mesures sont détaillées dans les documents officiels du Ministère de la Transition écologique, au sein du plan d'action gouvernemental « Géothermie, un plan d'action pour accélérer » publié en février 2023. La mise à jour de décembre 2023 est disponible en ligne : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20231222\\_DP\\_Plan-action-geothermie.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20231222_DP_Plan-action-geothermie.pdf)

## La géothermie en France

La France a été l'un des pays pionniers dans le développement de la géothermie. Aujourd'hui, ce potentiel reste encore peu exploité, et la filière se développe à un rythme plus modéré que d'autres énergies renouvelables telles que l'hydraulique, le solaire ou l'éolien. Dans un contexte marqué par des enjeux climatiques importants et des incertitudes liées à la crise énergétique mondiale, renforcée depuis le conflit en Ukraine, les politiques publiques cherchent à mieux accompagner les acteurs du secteur. À cet effet, le plan d'action gouvernemental cité ci-avant présente plusieurs pistes pour soutenir la souveraineté énergétique de la France et contribuer à la transition énergétique. Les prochaines études de filière de l'AFPG permettront d'évaluer l'évolution de cette dynamique dans les années à venir.

## Le rôle de l'AFPG

Créée en 2010, l'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) œuvre activement pour structurer la filière de la géothermie en France, et représenter ses acteurs auprès des pouvoirs publics.

Cette étude s'inscrit dans sa mission d'information sur l'état actuel de la géothermie en France. Elle a pour objectif d'exposer les derniers grands chiffres de la filière afin de les mettre en perspective avec les objectifs gouvernementaux. Seront également présentés les principales aides et réglementations en vigueur, les innovations récentes ainsi que les freins au développement de la filière à travers des avis d'experts.

## La géothermie une énergie à haut potentiel

### I. L'origine de la géothermie

La géothermie est une énergie naturelle qui provient essentiellement de deux sources : la chaleur résiduelle issue de la formation de la Terre, et la désintégration d'éléments radioactifs présents dans la croûte terrestre.

La Terre est constituée de plusieurs couches : le noyau (jusqu'à 6000°C), le manteau et la croûte à travers lesquelles la chaleur est diffusée jusqu'à la surface. Cette énergie, constante et disponible en continu, constitue une ressource renouvelable et inépuisable à l'échelle humaine.

En outre, la Terre a un rôle de « batterie » au regard de l'énergie solaire, qui explique les variations naturelles de température des couches peu profondes. Le rayonnement solaire est ainsi une troisième source d'énergie géothermique, bien que le bilan annuel soit globalement neutre entre ce qui est naturellement stocké et déstocké. Cet effet peut être exploité en géothermie « de surface », et est l'une des explications du retour à l'équilibre qui se produit au sein des installations, même lorsqu'elles ne sont exploitées que pour prélever de la chaleur géothermique.



## II. Une énergie du développement durable

La géothermie est une solution locale, bas carbone, et respectueuse de l'environnement. Elle émet très peu de gaz à effet de serre :

- Une pompe à chaleur couplée à une installation de géothermie de surface émet environ 45 g de CO<sub>2</sub> par kWh de chaleur fournie ;
- En comparaison, le gaz naturel en émet 227 g/kWh, et le charbon 820 g/kWh ;
- La géothermie est ainsi une option très vertueuse par rapport aux énergies fossiles.

En plus de sa faible empreinte carbone, la géothermie a de nombreux atouts :

- Elle produit de l'énergie en continu, 24h/24, quelles que soient les conditions climatiques.
- Elle peut fournir du chauffage, de l'eau chaude sanitaire, du refroidissement, et parfois même de l'électricité.
- Elle n'émet pas de chaleur dans l'air, ce qui limite les îlots de chaleur urbains.
- Le stockage thermique inter saisonnier est possible en sous-sol, et permet une restitution de la chaleur en hiver.
- Elle s'intègre discrètement dans les paysages et crée des emplois locaux non délocalisables.

## III. Le fonctionnement et l'utilisation de l'énergie géothermique

### Les différents types de géothermie

- La géothermie de surface ou très basse énergie (qu'on considère souvent s'arrêter à 200 m de profondeur en France, par association au cadre de la minime importance au sein du Code Minier) alimente des bâtiments individuels ou collectifs via des pompes à chaleur.
- La géothermie profonde (plusieurs centaines à milliers de mètres de profondeur) fournit de la chaleur à des réseaux, voire de l'électricité dans certains cas.

### Le principe du doublet géothermique

En géothermie profonde, on utilise souvent le principe du doublet : un puits extrait de l'eau chaude en profondeur, et un autre permet sa réinjection dans sa formation d'origine après échange de chaleur avec un circuit secondaire (souvent des réseaux de chaleur urbains). Cela permet de préserver la ressource d'un point de vue volumétrique, en ne prélevant finalement que les calories qu'elle transporte.

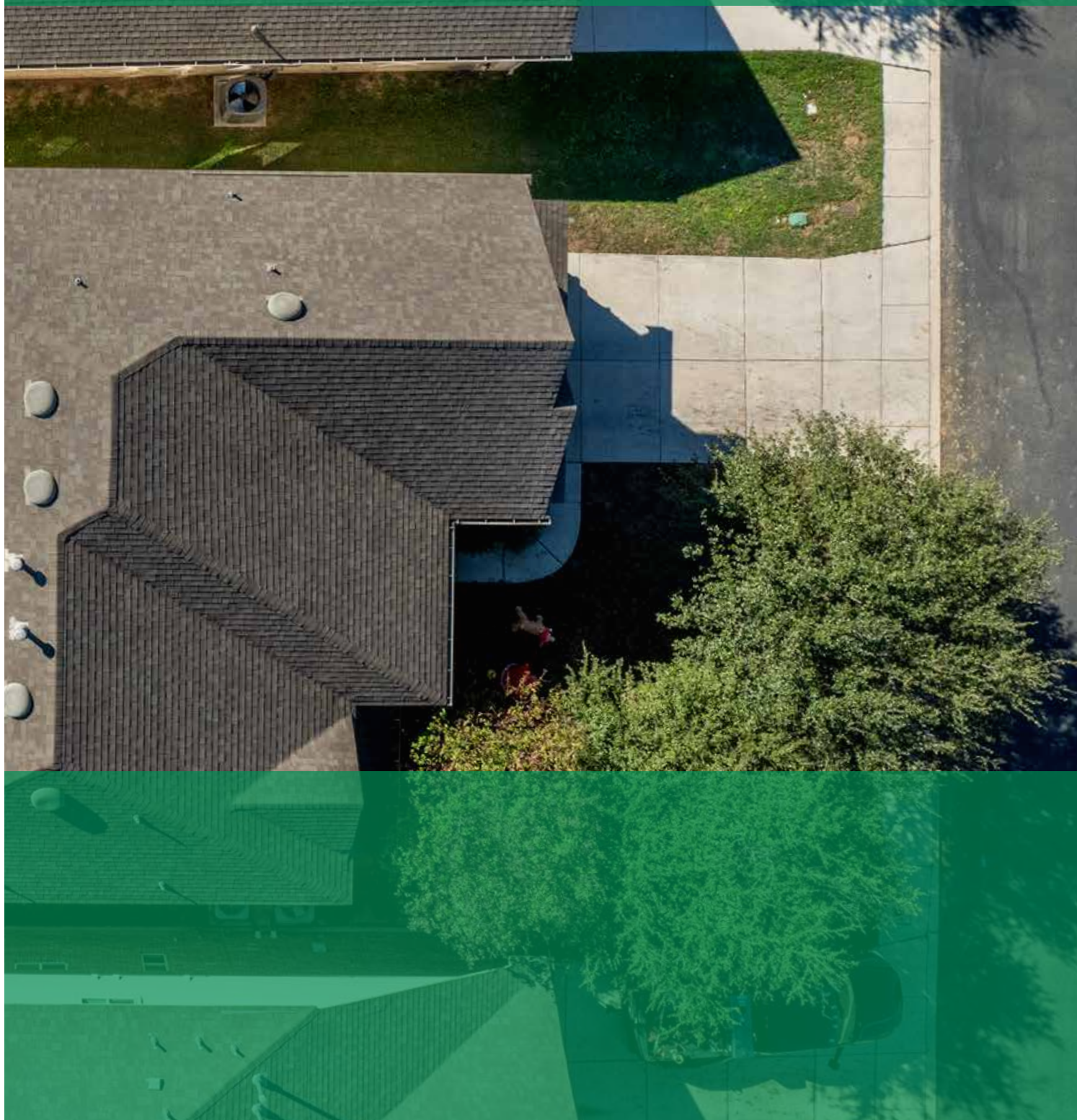
### En Outre-mer : un contexte volcanique favorable

Dans les départements d'Outre-mer, notamment en Guadeloupe, la géothermie y est déjà utilisée pour produire de l'électricité. La centrale de Bouillante, située dans la partie volcanique de l'île (Basse terre) fournit plus de 7 % de l'électricité de l'île (en 2023). Le contexte volcanique y est particulièrement propice à la géothermie haute température.



# LA GÉOTHERMIE DE SURFACE

---



# ■ Production de chaleur et de froid

## A – Contexte

### I/ Définition et utilisations

La géothermie de surface désigne les technologies exploitant une ressource géothermale de température inférieure à 30°C, se situant généralement à moins de 200 mètres de profondeur\*. Elle s'appuie sur la chaleur contenue dans le sous-sol, qui est une source d'énergie renouvelable, locale et disponible continuellement.

Selon son dimensionnement, un système énergétique de géothermie permet de couvrir tout ou partie des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de climatisation ou de rafraîchissement. Les installations de géothermie de surface peuvent être à destination des secteurs résidentiels individuels et collectifs, tertiaires\*\*, mais aussi plus rarement industriels et agricoles.

Une installation de géothermie de surface est constituée des éléments principaux suivants :

- Un dispositif de captage de la ressource : il amène les calories du sous-sol à la surface,
- Un dispositif de production : il valorise l'énergie du sous-sol afin de couvrir les besoins de chaud et/ou de froid (les pompes à chaleur permettent d'augmenter la température prélevée dans le sol).
- Un dispositif de régulation : il permet de gérer les différents modes de fonctionnement.

L'échange d'énergie calorifique avec le sol via le dispositif de captage de la ressource peut être lui aussi subdivisé en deux grandes familles :

- La géothermie sur nappe consiste à mobiliser une ressource en eau pour réaliser l'échange de calories avec le dispositif de production. Rejetée intégralement dans le sous-sol, généralement en aval hydraulique, cette eau se remettra en équilibre thermique avec le sol et retrouvera, à terme, sa température initiale.
- La géothermie sur échangeurs fermés, à l'image des sondes géothermiques. En sortie de l'échangeur géothermique, un fluide tiède arrive au dispositif de production pour échanger des calories avant de repartir vers l'entrée de ce même échangeur. Le contact prolongé avec le sol lui permettra de se tiédir à nouveau avant de ressortir de l'échangeur, ce qui permet au cycle de continuer à fonctionner.

Bien que ces deux dispositifs s'appuient sur des technologies différentes, ce sont dans les deux cas les calories du sous-sol qui sont mobilisées et acheminées vers l'installation de surface.

### Les dispositifs de captage

#### ➔ Le captage sur nappes (système ouvert)

En présence d'une nappe d'eau possédant un débit suffisant et située à une profondeur raisonnable, ce dispositif permet de capter les calories de l'eau du sous-sol.

Deux ou trois forages sont nécessaires pour la mise en œuvre de cette technique : un forage de production pour pomper l'eau et l'amener en surface, et un ou deux forage(s) pour réinjecter l'eau refroidie (ou réchauffée dans le cas de la production de froid). L'eau étant toujours réinjectée dans sa formation d'origine, il s'agit d'un système qualifié d'« ouvert » qui ne modifie pas le volume d'eau dans la nappe, à l'image du doublet géothermique utilisé en géothermie profonde.

Le captage est extrêmement modulable : selon les caractéristiques de la ressource, il peut alimenter une maison ou un quartier entier via une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique.

\* Ces valeurs sont données à titre d'ordre de grandeur, et ne font à notre connaissance pas l'objet d'une définition figée. En particulier, la valeur de 200 mètres largement adoptée en France est calquée sur la réglementation, et plus particulièrement sur le cadre de la minime importance au sein du Code Minier

\*\* Le secteur tertiaire englobe tous les équipements collectifs, les services publics, les activités commerciales, les activités de services...  
Exemple de tertiaire : théâtre, école, musée, ministère, magasin, restaurant...





Figure 1 : Principe du captage sur nappes

### → Le captage par sondes géothermiques verticales (SGV - système fermé)

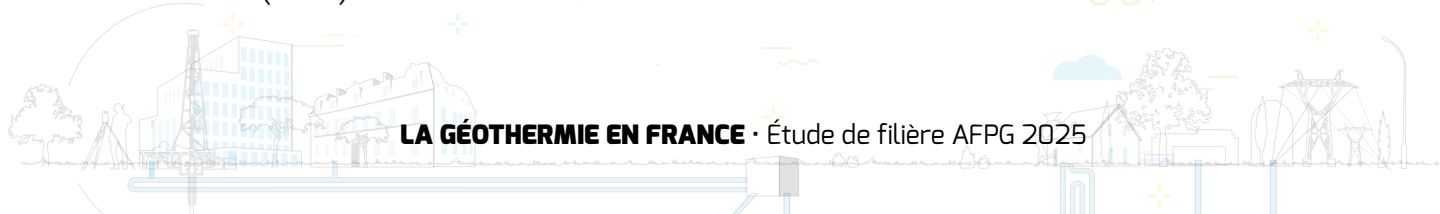
Une sonde géothermique verticale est constituée d'une boucle (« tube en U ») dans laquelle circule en circuit fermé un fluide caloporteur. Cette sonde est insérée dans un forage, qui est ensuite cimenté pour éviter toute fuite et favoriser le captage des calories du sol. La présence d'un aquifère n'est pas nécessaire, il suffit de forer le sol et d'y insérer ces sondes pour que le fluide caloporteur se réchauffe via la chaleur de la Terre. C'est pourquoi, contrairement au captage sur nappe qui nécessite la présence d'un aquifère, la technologie sur sonde est possible sur la quasi-totalité du territoire.



Figure 2 : Principe du captage par SGV

Pour 1 mètre linéaire foré, la puissance extraite est de l'ordre de 50 W lorsque la PAC fonctionne environ 2000 heures par an. Sur des bâtiments récents, la durée annuelle de sollicitation est souvent plus faible : la puissance linéaire extraite peut ainsi être significativement plus importante.

Ainsi, la puissance extraite augmente avec la profondeur de la sonde ou le nombre de sondes forées. Installer plusieurs sondes permet donc de répondre à un besoin de chaud ou de froid plus important. Dans le cas où plusieurs sondes sont installées, on parle de Champs de Sondes Géothermiques Verticales (CSGV).



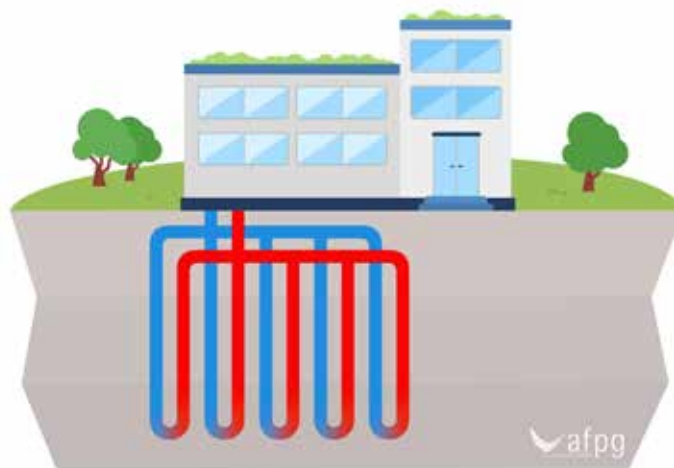


Figure 3 : Principe du captage par CSGV

Bien que les deux types de captage mentionnés ci-dessus représentent la grande majorité des installations, il existe également d'autres techniques pouvant s'appliquer dans des situations précises.

### → Les fondations thermoactives

Cette technique consiste à intégrer dans les fondations d'un bâtiment – par exemple dans les pieux – un système de captage d'énergie constitué d'un réseau de tubes dans lequel circule de l'eau glycolée en circuit fermé. Les fondations thermoactives servent à la fois d'éléments de portage du bâtiment et d'échangeurs de chaleur avec le terrain environnant, ce qui permet d'assurer le chauffage et le refroidissement du bâtiment.



Figure 4 : Principe des fondations thermoactives

## → Les échangeurs horizontaux

Ce système est constitué de tubes situés entre 80 cm et 120 cm de profondeur, dans lequel circule de l'eau glycolée (liquide caloporteur) en circuit fermé. A cette profondeur, l'énergie captée est principalement d'origine géosolaire (rayonnement solaire, ruissellement des eaux de pluie). Les tuyaux sont positionnés en « zig-zag » afin de maximiser la surface en contact avec le sol et ainsi imprégner au mieux sa chaleur ou froideur. La mise en place de ce type de captage est très rapide et peu coûteuse, mais nécessite une superficie importante.



Figure 5 : Principe du captage horizontal

## → Les échangeurs compacts

Ces échangeurs sont installés à quelques mètres de profondeur et sont des alternatives aux sondes verticales, aux nappes et aux échangeurs horizontaux (nécessite moins de surface au sol). Leur utilisation se trouve généralement chez des particuliers, mais on trouve des installations sur des bâtiments de plus grande envergure qui les mobilisent, à l'image d'un collège de 700 élèves dans le Var. Il en existe différentes sortes, comme les « murs géothermiques » ou encore les « corbeilles géothermiques ».



Figure 6 : Principe d'un mur géothermique



Figure 7 : Principe des corbeilles géothermiques

Les échangeurs horizontaux et compacts sont situés à moins de 10 mètres de profondeur : il ne s'agit plus de forage mais de terrassement. Les démarches administratives sont moindres par rapport à de la géothermie plus profonde, le Code Minier ne s'appliquant qu'à partir de 10 mètres de profondeur pour les échangeurs géothermiques.

L'ADEME a intégré il y a quelques années ces technologies au sein du Fonds Chaleur.



## Le dispositif de production : la pompe à chaleur (PAC)

Une pompe à chaleur (PAC) est un dispositif thermodynamique permettant de transférer les calories d'un milieu vers un autre. Ce dispositif permet par exemple de réchauffer une eau à 50°C à partir d'une ressource à 10°C. Le schéma suivant résume le fonctionnement d'une pompe à chaleur géothermique à compression.

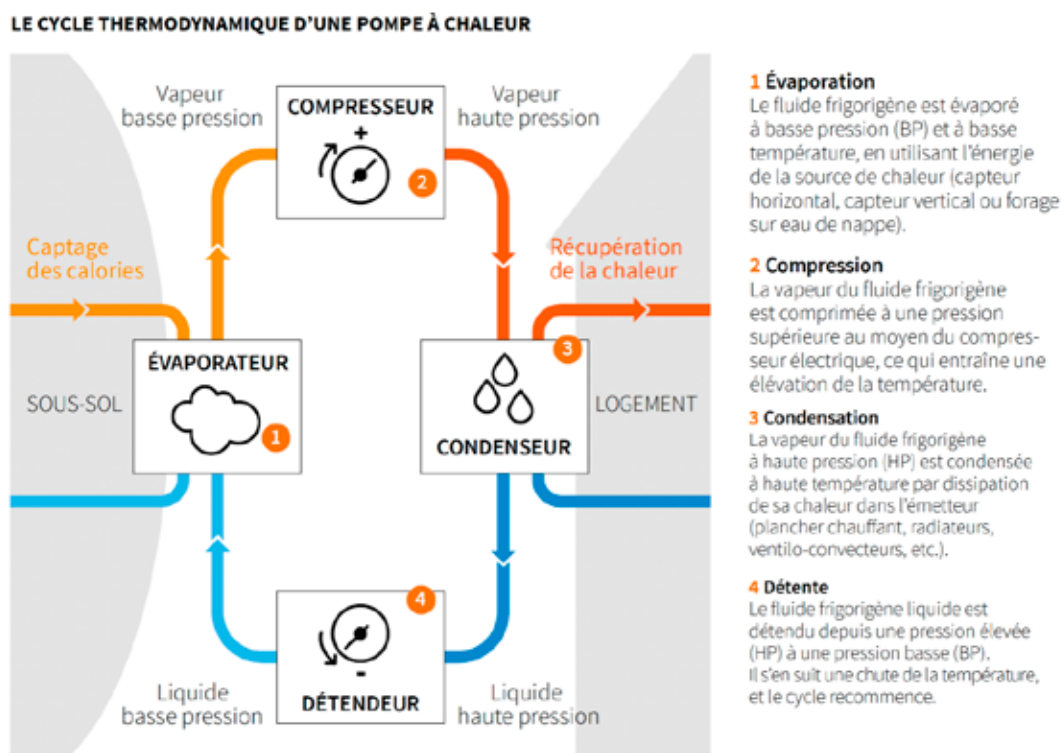


Figure 8 : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur géothermique à compression (ADEME, AFPG)

Les performances d'une PAC sont indiquées par son coefficient de performance, ou COP. Il s'agit du ratio entre la puissance apportée sous forme de chaleur au logement et la puissance électrique absorbée par la PAC. Ces valeurs dépendent principalement des températures nécessaires côté « source froide » et « source chaude ». En géothermie, les COP sont typiquement de l'ordre de 5 : c'est-à-dire que pour 1 kW d'électricité absorbée par la PAC, elle produit 5 kW de chaleur et 4 kW de froid. Ce COP dépend toutefois du régime de température en entrée et sortie PAC.

Outre les modes chauffage, production d'eau chaude sanitaire et climatisation, les PAC géothermiques peuvent fonctionner selon deux autres modes :

### → Le mode Thermo-Frigo-Pompe

Il s'agit d'un mode de production simultanée de chaud et de froid, ce qui permet un rendement de 700 % à 1200 %. Des ballons de stockage intermédiaires de chaud et de froid sont adossés à la PAC géothermique. On le retrouve principalement dans le secteur tertiaire.

## → Le geocooling (ou rafraîchissement passif)

Le geocooling permet de « rafraîchir » un bâtiment par simple échange thermique. La PAC est « by-passée », c'est-à-dire qu'on apporte directement la fraîcheur du sous-sol à la surface sans que le compresseur de la PAC ne se mette en route. Puisque la PAC ne fonctionne pas, les rendements sont extrêmement élevés : de l'ordre de 3000 % à 5000 % (30 à 50 kWh de froid apportés pour 1 kWh d'électricité consommée par le circulateur ou la pompe de forage).

Le rafraîchissement et la climatisation par géothermie, s'effectuent en rejetant la chaleur dans le sol, contrairement à d'autres modes de climatisation plus répandus qui la rejettent dans l'air extérieur. Ils trouvent donc tout leur intérêt en période de canicule où ils ne participent pas à l'apparition d'îlots de chaleur, c'est-à-dire à une hausse globale de la température dans les zones fortement peuplées.

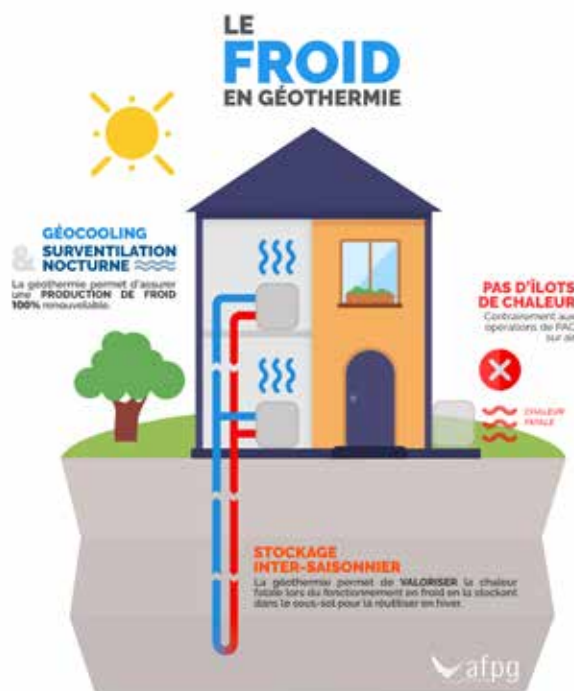


Figure 9 : Principe d'une installation de géothermie utilisant le geocooling

## Le dispositif de régulation

Le dispositif de régulation est régi par des programmes informatiques permettant de rendre le système de chauffage et de refroidissement intelligent en assurant une communication entre le dispositif de captage et celui de production (y compris des équipements type circulateurs et vannes). Le dispositif est intégré dans la pompe à chaleur ou dans l'armoire électrique de l'installation, et peut souvent être piloté à distance. C'est ce qu'on appelle la Gestion Technique Centralisée (GTC). La régulation est ajustée selon les besoins spécifiques du bâtiment, ce qui permet une optimisation énergétique et donc une diminution considérable de la facture énergétique.



## II/ Le réseau Géoartisan

Le réseau Géoartisan, initiative portée par l'AFPG, a pour objectif de structurer et valoriser la filière de la géothermie de surface en mettant en avant notamment des installateurs de PAC géothermiques. Ces installateurs signataires s'engagent, via une charte, à respecter un certain nombre de bonnes pratiques en matière de qualité d'installation, de performance énergétique, de respect de l'environnement et de transparence vis-à-vis des clients. La cartographie permet ainsi d'identifier des professionnels qualifiés, compétents et engagés dans une démarche de qualité. La charte ainsi que la liste des installateurs signataires est disponible sur le site de l'AFPG : <https://www.afpg.asso.fr/geoartisan/>.



Figure 10 : Carte des installateurs engagés par la charte des Géoartisans

## B - État de la production française en 2024

### I/ État actuel

Cette partie fait état de la production en France métropolitaine en 2024. En effet, aucune donnée de géothermie de surface n'est disponible pour les territoires ultra-marins.

Une caractérisation plus précise des installations déclarées, réalisée par le BRGM, permet aujourd'hui de distinguer les secteurs des opérations GMI avec une grande précision. C'est pourquoi, la production d'énergie en géothermie sera distinguée selon 5 catégories différentes :

- Le résidentiel individuel,
- Le résidentiel collectif (résidences et hôtels),
- Les exploitations agricoles et forestières...,
- Les activités industrielles,
- Les bâtiments tertiaires (commerces, piscines, écoles, bureaux...).

La méthodologie, incluant les choix de données et les hypothèses prises, est présentée dans la partie dédiée (en fin de chapitre).



## Vue d'ensemble : les installations géothermiques de surface

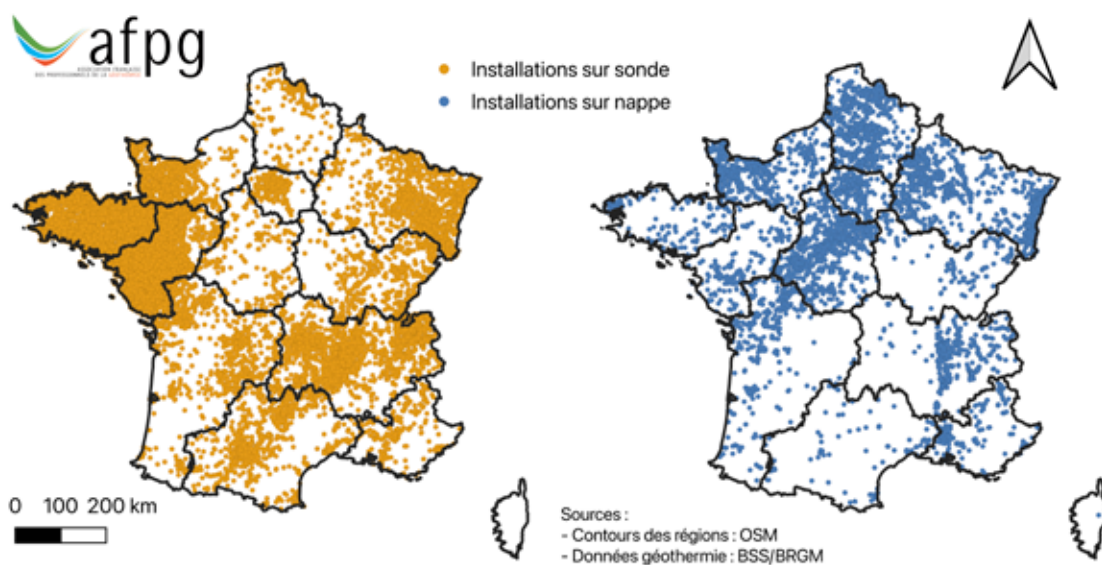


Figure 11 : Carte des installations en géothermie de surface recensées sur la BSS jusqu'au 11/07/2025

La carte ci-dessus permet de visualiser la répartition des installations géothermiques très basse énergie en France métropolitaine. Si l'Observatoire de la Géothermie de surface répertorie plus de 30 000 installations, il reste très difficile d'estimer leur nombre précis du fait du caractère diffus du marché et de l'absence de déclaration pour les échangeurs horizontaux ou compacts. En effet, ceux-ci ne relevant pas du Code Minier, ils ne font pas l'objet d'une déclaration réglementaire. Or ils représentent une part significative du marché du particulier car ce sont des alternatives courantes et plus aisées à mettre en œuvre que des solutions de forage de type sgw ou sur nappes.

## Marché de la géothermie de surface

### → Le secteur résidentiel individuel

Le secteur individuel, bien qu'en décroissance, est le plus développé en France par rapport aux autres secteurs en termes d'installations géothermiques. Elle peut prendre différentes formes, chacune ayant besoin d'une pompe à chaleur (PAC) pour fonctionner. On trouve deux principales catégories :

- Géothermie avec des échangeurs de plus de 10 mètres de profondeur (typiquement sonde ou nappe), visible via la GMI\* ;
- Géothermie avec des échangeurs de moins de 10 mètres (typiquement échangeurs horizontaux et compacts, ne faisant pas appel à des techniques de forage ; parfois aussi des puits de faible profondeur), non répertoriée dans la GMI.

Tous les ans, Observ'ER (l'Observatoire des Énergies Renouvelables) publie une étude sur le marché des pompes à chaleur individuelles. Cette étude s'appuie sur des questionnaires envoyés à tous les acteurs intervenant sur le marché français métropolitain en tant que fabricants, distributeurs ou importateurs.

\* La Géothermie de Minime Importance encadre les opérations de géothermie de surface respectant certains critères dont une profondeur de plus de 10 mètres, qui peuvent donc être recensées. Les termes « sonde » et « nappe » sont utilisés ici par simplicité de lecture : au sens réglementaire, on parle d'échangeurs « fermés » et « ouverts » (respectivement)

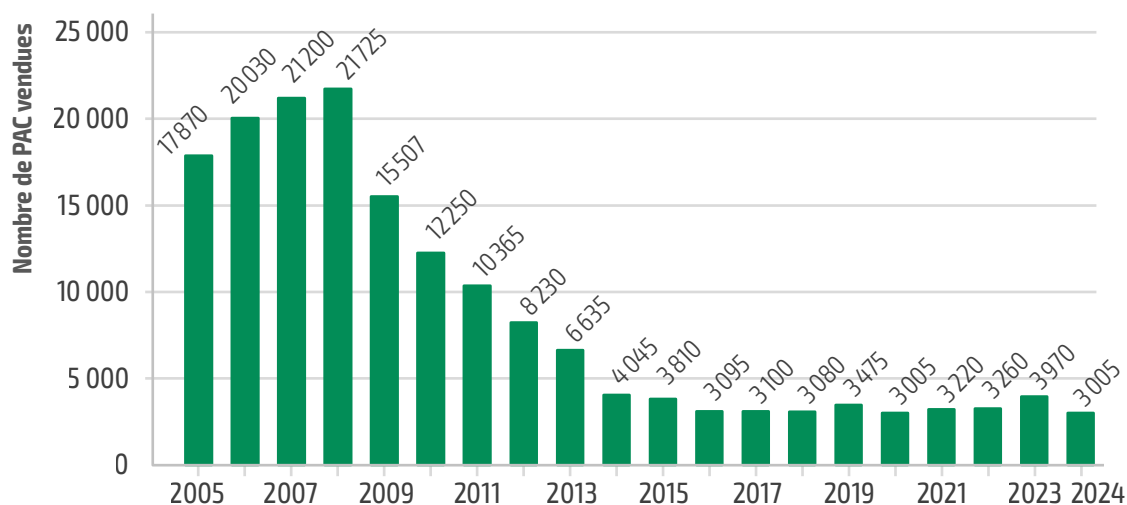


Figure 12 : Évolution des ventes de PAC géothermiques ( $P < 30 \text{ kW}$ ) (Observ'ER)

L'année 2024 enregistre un nombre de 3005 PAC vendues soit une baisse de près de 25% par rapport à l'année 2023. Quoique très significative, cette baisse reste inférieure à celle enregistrée par les PAC air/eau de même catégorie de puissance entre ces deux années.

Grâce aux données de l'Observ'ER, nous avons aussi la répartition régionale de vente des PAC (Figure 13).

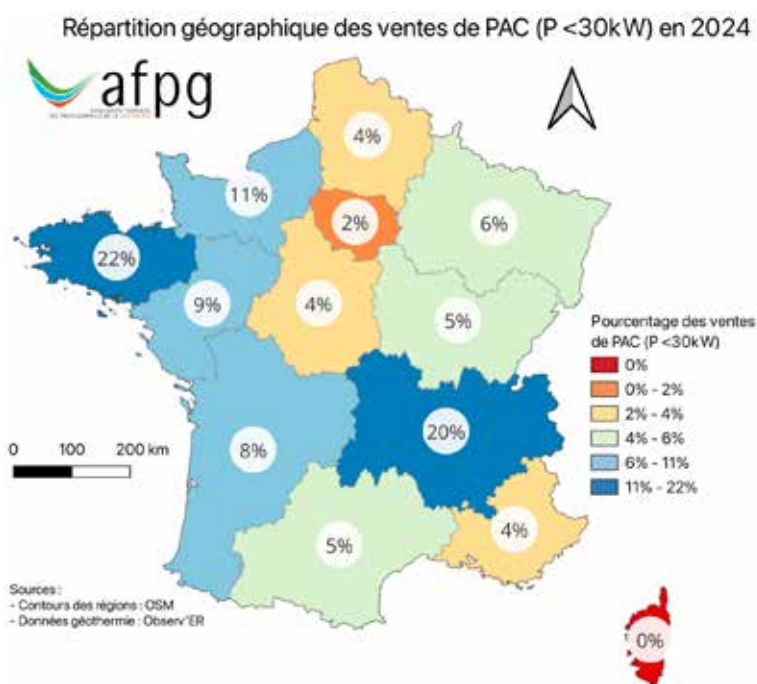


Figure 13 : Répartition géographique des ventes de PAC ( $P < 30 \text{ kW}$ ) en 2024 (Observ'ER)

Voici la répartition des ventes par type de PAC géothermique en 2024.

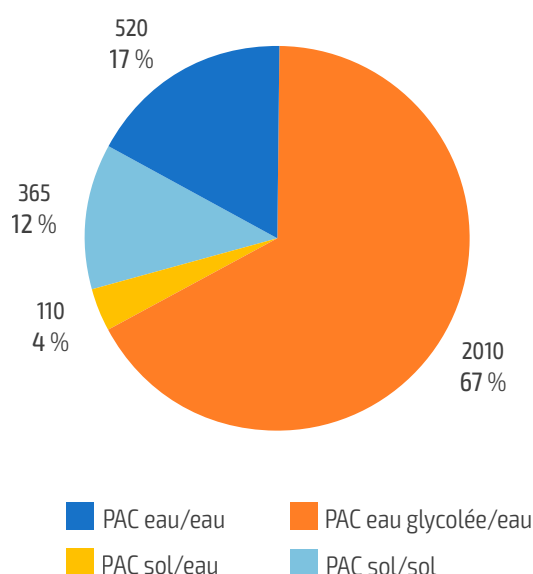


Figure 14 : Répartition des types de PAC ( $P < 30\text{kW}$ ) en 2024 (Observ'ER)

En conclusion, les ventes de PAC géothermiques individuelles constituent encore un marché de niche au regard des ventes annuelles de l'ensemble des systèmes de chauffage pour les particuliers.

Il s'agit d'une solution demeurant assez méconnue et trop rarement préconisée par les chauffagistes. A titre de comparaison, en 2024, les PAC aérothermiques dans l'individuel représentaient plus de 930 000 ventes.

Si la PAC géothermique peine à concurrencer la PAC aérothermique ou le chauffe-eau thermodynamique en termes de coûts d'installation, elle présente de nombreux avantages qu'il est nécessaire de rappeler :

- Elle est plus facile et moins chère à entretenir,
- Sa durée de vie est accrue (durée de vie moyenne de 26 à 27\* ans pour la pompe à chaleur, et bien plus pour le reste de l'installation, tels que les échangeurs thermiques),
- Elle est silencieuse et invisible,
- Elle demeure la plus performante d'un point de vue énergétique, avec une capacité de production de froid incomparable,
- Elle ne contribue pas à l'effet « îlot de chaleur urbain » lors du fonctionnement en froid, phénomène dont les effets sont particulièrement néfastes en milieu urbain dense.

\* Voir étude suisse (ZHAW) corrélée par les résultats de l'étude de 2022 portée par l'AFPG sur la durée de vie des PAC





Figure 15 : Avantages d'une PAC

### → Les logements et hébergements collectifs

Grâce à la caractérisation des installations déclarées en BSS, il est possible d'identifier les installations pour logements et hébergements collectifs.

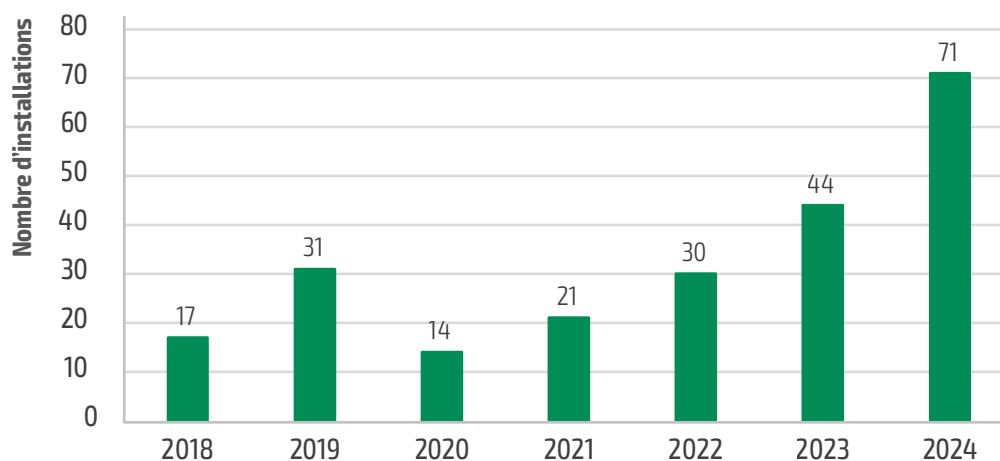


Figure 16 : Évolution du nombre de nouvelles installations dans le secteur résidentiel collectif (BSS)

## → Le secteur agricole

Dans ce secteur, toutes les activités agricoles et connexes sont rassemblées, notamment l'élevage d'animaux, les cultures de plantes (fruits, légumes, céréales, fleurs...), la viticulture, la pisciculture, ainsi que les exploitations forestières.

De manière similaire au secteur collectif, nous pouvons observer le nombre de nouvelles installations à partir de 2018.

Le marché dans le secteur agricole est très peu développé, et très hétéroclite : nous avons aussi bien affaire à des opérations atteignant 500 kW de puissance géothermique qu'à des installations de 4 kW. Le graphique ci-dessous représente le nombre de nouvelles installations par année, entre 2018 et 2024.

La géothermie de surface est encore peu utilisée dans les domaines agricoles, elle est pourtant utile pour les exploitants qui peuvent ainsi s'affranchir des fluctuations des prix du gaz tout en agissant pour l'environnement.

Quelques exemples de géothermie de surface dans ce secteur :

- Chauffer un poulailler,
- Chauffer une serre,
- Chauffer ou refroidir des caves à vin pour le processus de vinification.

Retrouvez les fiches opérations par région sur : <https://www.afpg.asso.fr/mediatheque> et choisissez «fiches opérations»

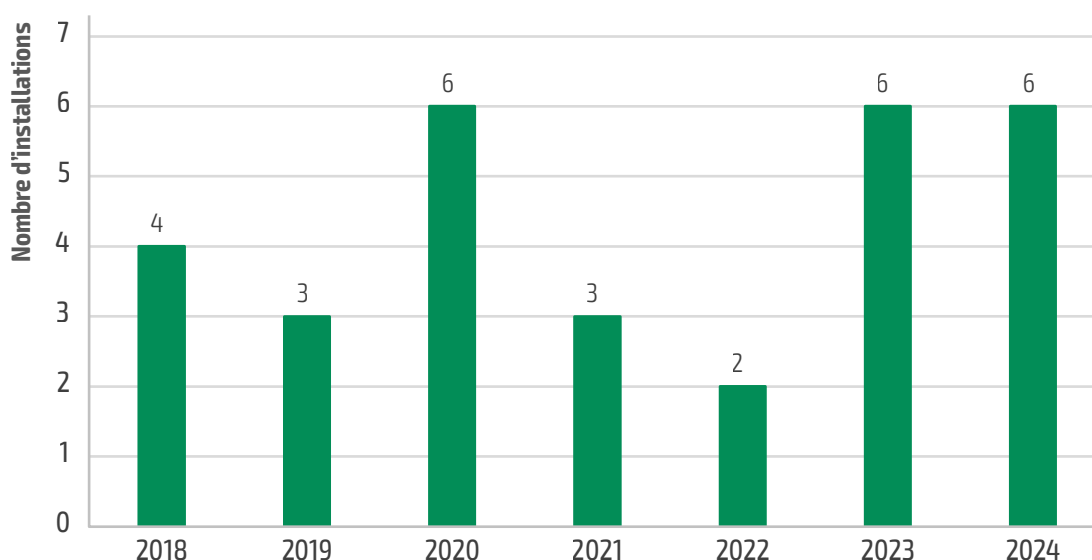


Figure 17 : Évolution du nombre de nouvelles installations dans le secteur agricole (BSS)

## → Le secteur industriel

Le secteur industriel regroupe les installations servant à chauffer des process industriels dans des usines agro-alimentaires, cuirs et textiles, mécanique, papiers cartons, chimie etc. Comme pour les secteurs précédents, on considère qu'environ deux pompes à chaleur sont nécessaires pour une installation.



On peut observer l'évolution du nombre de nouvelles installations depuis 2018 sur le graphique ci-dessous :

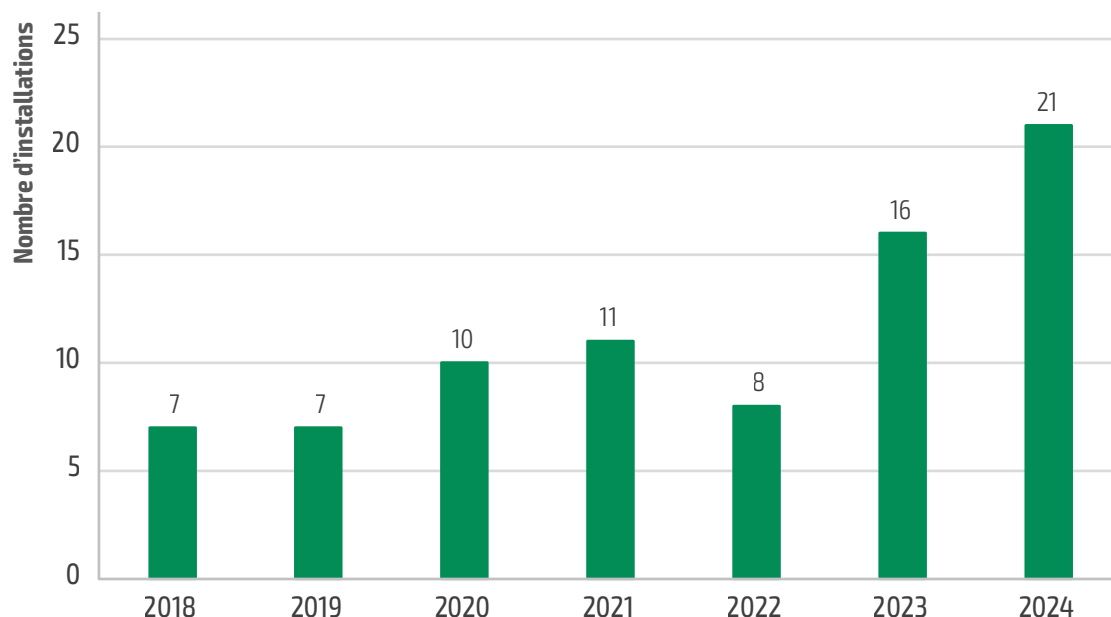


Figure 18 : Évolution du nombre de nouvelles installations dans le secteur industriel (BSS)

### → Le secteur tertiaire

Parmi les « équipements d'intérêt collectif et services publics », sont comptées les écoles, les piscines, les mairies... Les « commerces et activités de service » concernent les typologies de bâtiments suivantes : magasins, centres commerciaux, centres logistiques... Toutes les autres structures sont comptabilisées dans la catégorie « autres activités du secteur tertiaire » comme les bureaux d'entreprises.

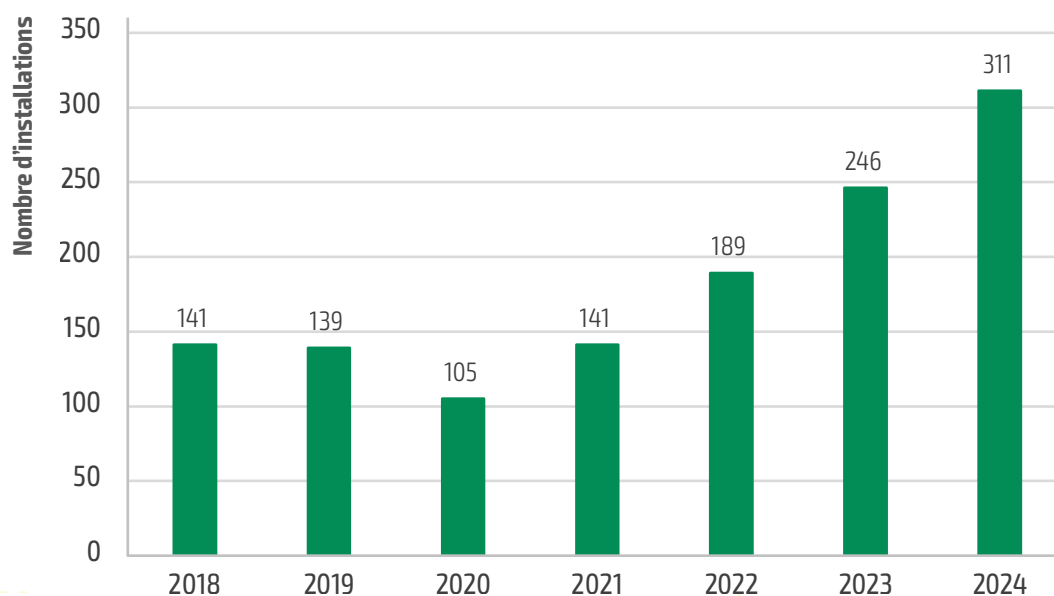


Figure 19 : Évolution du nombre de nouvelles installations dans le secteur tertiaire (BSS)



## → Bilan général

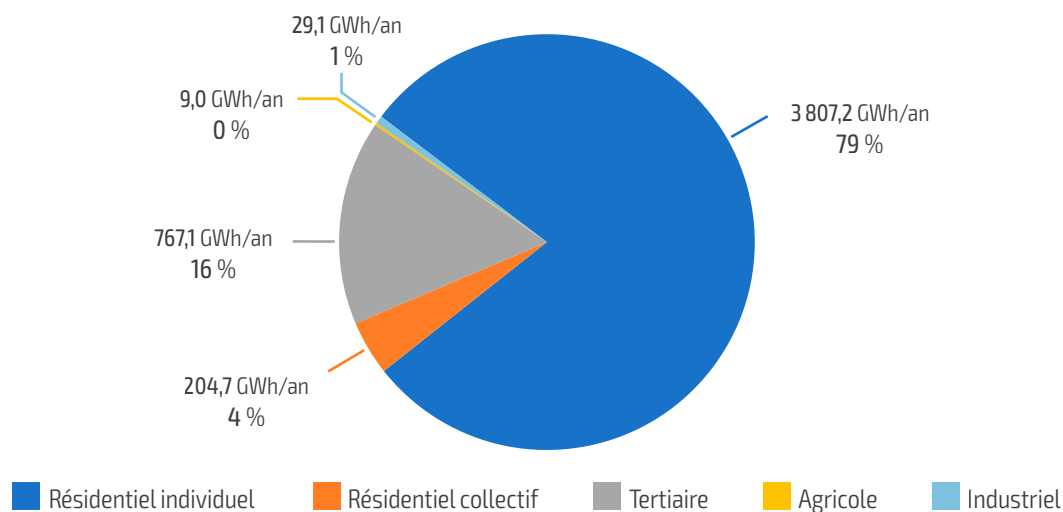


Figure 20 : Répartition par secteur de la production en TWh pour l'année 2024 (BSS)

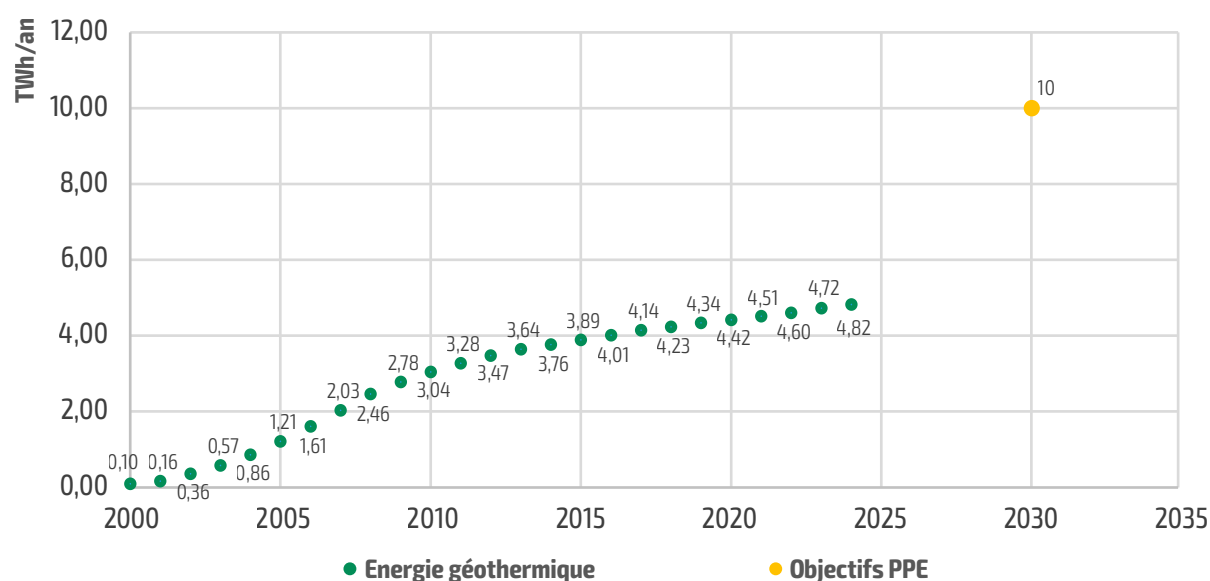


Figure 21-a : Production annuelle (TWh/an) par géothermie de surface en France Métropolitaine et objectifs PPE (2030)

Il est possible de revenir à l'énergie fournie aux bâtiments par géothermie de surface (énergie en sortie de pompe à chaleur) en intégrant un coefficient de performance saisonnier, défini à  $SPF=3,5$  dans la méthodologie européenne. On obtient alors le graphique 21-b ci-après :

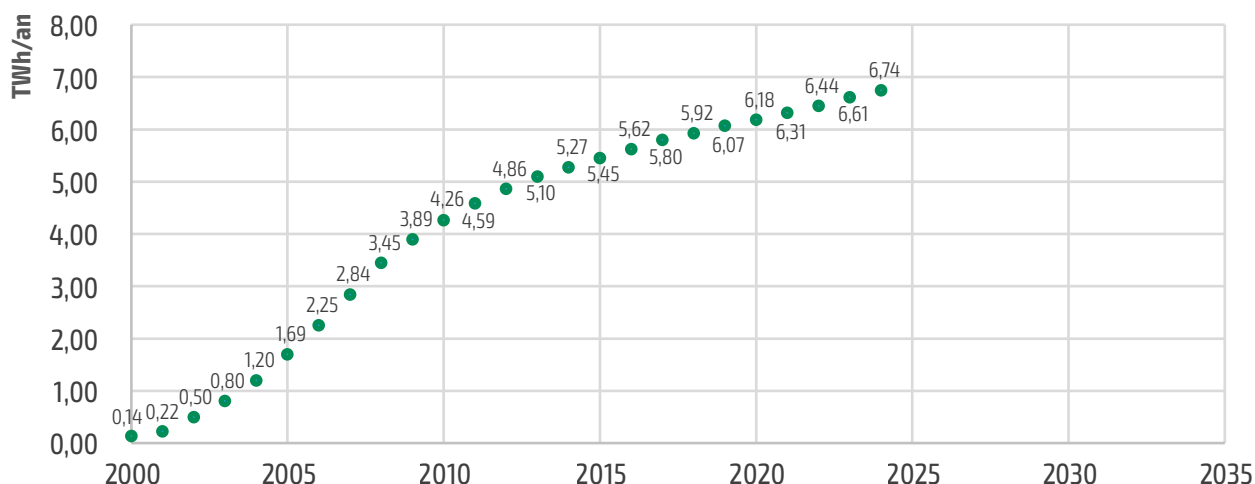


Figure 21-b : Énergie annuelle (TWh/an) produite par les PAC géothermiques (géothermie de surface) en France Métropolitaine

## II/ Perspectives

La nouvelle PPE et ses déclinaisons régionales n'ont pas encore été publiées au moment de la parution de cette étude. Des annonces sont attendues, notamment pour mieux positionner la géothermie dans les trajectoires de chaleur renouvelable.

## C - Perspectives et conclusions « géothermie de surface »

### I/ Soutenir le déploiement de la géothermie de surface

#### Développement de l'animation en région

Il existe un réseau d'animation régionale géothermie en France qui a pour objectif de déployer plus largement la géothermie sur l'ensemble des territoires. Leur mission est de promouvoir la géothermie, de sensibiliser, d'informer les potentiels porteurs de projet puis de les conseiller et de les accompagner, tout en favorisant les échanges avec les professionnels de la géothermie et les acteurs locaux. Enfin, l'animateur régional effectue un suivi des installations géothermiques en fonctionnement et en projet. Les cibles sont généralement les collectivités et les acteurs des secteurs industriel et tertiaire. Cette structuration des missions est susceptible de dépendre de spécificités régionales, notamment selon les réseaux qui préexistent à la mission d'animation et avec lesquels il est important d'agir en bonne intelligence.

## Adaptation et préservation du cadre de la GMI

En géothermie de surface, un cadre réglementaire fréquemment mobilisé est celui dit de la **minime importance**, qui permet une télédéclaration des opérations de forages géothermiques en substitution aux autorisations qui sont la règle au sein du Code Minier. Ce cadre a été modifié par un arrêté\*, dont les principaux effets sont relatifs à la fin de la qualification pour les entreprises de forage géothermiques, et la mise en place d'une certification « RGE-Certiforage ». Une période transitoire a été programmée entre la parution de cet arrêté et le 30 juin 2025. L'interdiction de faire appel au cadre de la minime importance a été levée au sein des périmètres de protection rapprochée des captages d'eau destinée à la consommation humaine. Il ne s'agit toutefois pas d'un blanc-seing à ces projets, qui doivent être examinés par un expert agréé au regard notamment d'éventuelles interdictions fixées localement au sein de ces périmètres.

\* Arrêté du 29 mai 2024 modifiant l'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance et l'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance

\*\* Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance

\*\*\* Un dossier de presse a toutefois été publié par le cabinet du Ministre chargé de l'Industrie et de l'Énergie le 25 juillet 2025. <https://presse.economie.gouv.fr/geothermie-des-mesures-concretes-pour-acceler-le-developpement-dune-energie-vertueuse/>

En outre, le Premier ministre François BAYROU a annoncé le 19 juin 2025 que le seuil de la minime importance allait prochainement être relevé à 2 MW pour les échangeurs fermés, au lieu des 500 kW qui prévalent depuis la mise en place du cadre de la minime importance. Ceci aurait pour effet de permettre (sous réserve des autres conditions) d'atteindre un linéaire cumulé de 40 000 mètres de sondes associées à une même installation, dans la mesure où cette puissance est réglementairement calculée comme le produit entre le nombre de mètres forés et une valeur de 50 W/m selon l'arrêté fixant les prescriptions générales\*\*. A notre connaissance, les textes n'ont pas été publiés à l'heure de la rédaction de ce document\*\*\*.

## Formations des foreurs en géothermie de surface

Face aux enjeux de développement de la géothermie de surface, la filière représentée par le SFEG, en collaboration avec l'AFPG, a créé un certificat de qualification professionnelle (CQP) « assistant-foreur ». Des premières formations conformes à ce certificat sont attendues pour le courant de l'année 2025.

# D - Méthodologie « géothermie de surface »

## Méthodologie européenne

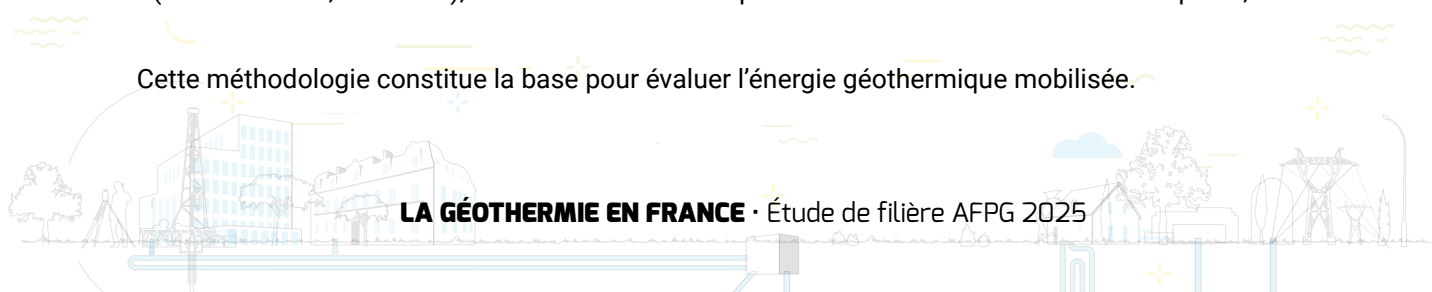
La méthodologie européenne sert à établir les lignes directrices relatives au calcul de la part d'énergie renouvelable produite à partir des pompes à chaleur. Elle s'appuie sur la Décision de la Commission du 1<sup>er</sup> mars 2013 (document 02013D0114-20130306).

Cette décision fournit un cadre harmonisé à l'échelle européenne, visant à garantir la comparabilité et la cohérence des données entre États membres.

Elle précise notamment :

- La formule de calcul de la part renouvelable issue des pompes à chaleur (cf. section 3.2) ;
- Une hypothèse standardisée de durée de fonctionnement annuelle des PAC fixée à 2070 heures/an (cf. section 3.6, tableau 1), dans des conditions représentatives définies au niveau européen ;

Cette méthodologie constitue la base pour évaluer l'énergie géothermique mobilisée.



## Double compte

Afin d'éviter un double comptage des équipements en fonctionnement, la durée de vie statistique des PAC géothermiques est intégrée dans l'estimation à partir des résultats d'une [étude suisse \(ZHAW\)](#) corrélée par les résultats de l'[étude de 2022 portée par l'AFPG](#). Rendez-vous sur : <https://www.afpg.asso.fr/mediatheque> et chercher « Étude durée de vie PAC »

Compte tenu de la qualité des données disponibles au sein de cette étude de 2022, notamment en termes de représentativité des échantillons, il est proposé de retenir les résultats issus de l'étude suisse comme base de référence pour la suite des travaux.

Voici la fonction de survie utilisée :

$$S = e^{-(x.\lambda)^k} \quad \text{Avec } \lambda=0,035 \text{ l/an et } k=7$$

Ce qui mène à une durée de vie moyenne d'une PAC de 26,7 ans avec un écart-type de 4,7 ans.

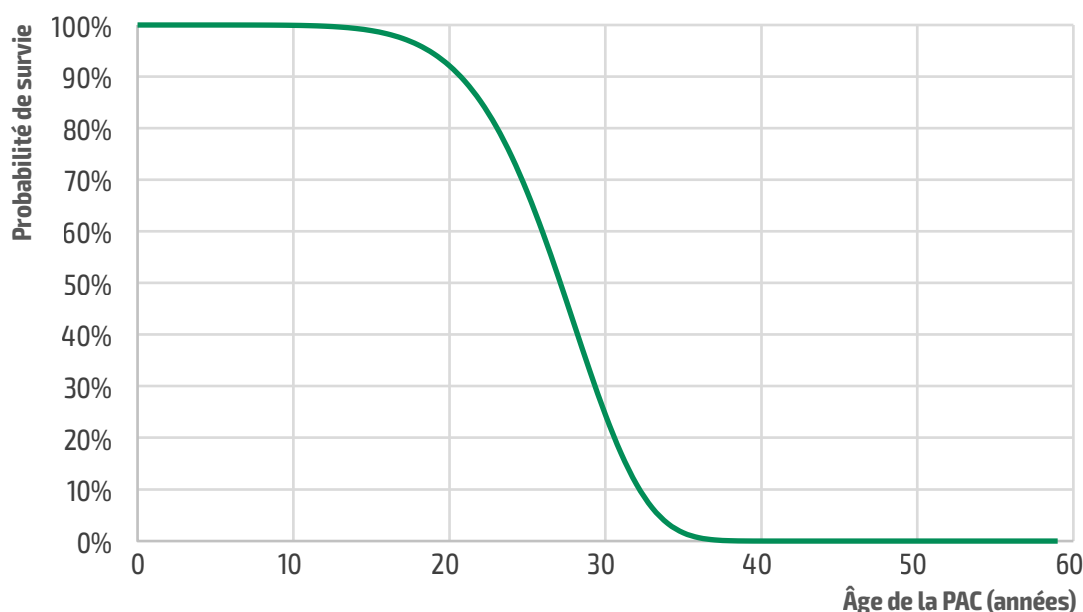


Figure 22 : Évolution de la survie selon la loi de Weibull

L'impact de cette prise en compte varie selon la méthode d'estimation utilisée :

- Lorsqu'on s'appuie sur les données de ventes de PAC (source : Observ'ER), l'introduction de la durée de vie statistique a pour effet de réduire le nombre estimé de nouvelles installations, car elle permet d'exclure les remplacements d'équipements arrivés en fin de vie.
- À l'inverse, lorsqu'on part du nombre de nouvelles installations (source : BSS), la prise en compte de la durée de vie a pour effet une augmentation du nombre estimé de PAC vendues, en intégrant les remplacements nécessaires pour maintenir le parc en fonctionnement.



## Origine des données

Les systèmes de géothermie sont classifiés selon trois grands secteurs, auxquels est appliquée la méthodologie européenne présentée ci-avant :

- Le résidentiel individuel,
- Le résidentiel collectif,
- Le tertiaire (incluant les usages industriels et agricoles).

Ces différents secteurs sont détaillés dans les paragraphes suivants.

### Le secteur résidentiel individuel

#### → Idée directrice

Les informations sur la puissance dans le secteur résidentiel individuel ne sont pas accessibles directement : des calculs sont réalisés en fonction du nombre de ventes de PAC ainsi que des données provenant de la BSS.

Les données de la BSS comprennent souvent la puissance de l'installation côté sous-sol, mais pour les données de vente de PAC, il a fallu définir une puissance moyenne d'une PAC pour déterminer la puissance globale.

C'est pourquoi, dans ce secteur, on estime qu'une installation correspond à une PAC de 9 kW de puissance côté sous-sol.

Soit :

$$P \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{FPS}}\right) = 9 \text{ kW}$$

**P** : Puissance calorifique moyenne d'une pompe à chaleur installée dans le résidentiel individuel compte tenu de la durée de vie

**FPS** : Facteur de performance saisonnier moyen estimé (ici FPS = 3,5)

Cette puissance moyenne côté sous-sol estimée avec les données de la BSS est de 10,7 kW (en 2024) et non de 9 kW. Toutefois, cette moyenne ne prend pas en compte les installations qui ne sont pas recensées dans la BSS et qui sont majoritairement de moindre puissance, c'est pourquoi la puissance moyenne des PAC pour le secteur résidentiel individuel retenue est de 9 kW.

Une fois la puissance déterminée, il faut obtenir le nombre de ventes de PAC.

#### → Hypothèses

Entre 1997 et 2005, les données utilisées proviennent du SDES (entre 1997 et 2001) et de l'AFPAC (entre 2002 et 2004).

Les données de l'AFPAC ont été majorées de 20% car, à partir de 2005, on observe un écart de 20% entre les données de l'AFPAC (recensant les ventes de leurs seuls adhérents) et celles d'Observ'ER (sur lesquelles nous nous appuyons par la suite).

Voici les valeurs de vente des PAC < 30 kW entre 1997 et 2004 :

Anciennes données SDES					Données AFPAC majorées de 20%		
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
520	1 040	1 560	2 080	2 600	9 606	10 806	14 048

Tableau 1 : vente des PAC (P<30kW) entre 1997 et 2004

Les données de ventes de PAC entre 2005 et 2014 proviennent d'Observ'ER (installations <30 kW, dites de faible puissance) et sont accessibles à l'échelle nationale.

Dans le cadre de la régionalisation, il a fallu déterminer la répartition géographique par région des ventes de PAC jusqu'en 2014. Ne disposant que de données nationales pour cette période, les pourcentages obtenus pour chaque région sur la période 2015-2017 ont été utilisés comme base pour estimer cette répartition. Afin de procéder aux arrondis et garantir une somme totale de 100 %, les données de la période 2015-2018 ont ensuite été prises en compte.

Voici la répartition obtenue :

<b>Île-de-France</b>	2%
<b>Centre-Val de Loire</b>	4%
<b>Bourgogne-Franche-Comté</b>	5%
<b>Normandie</b>	11%
<b>Hauts-de-France</b>	4%
<b>Grand Est</b>	6%
<b>Pays de la Loire</b>	9%
<b>Bretagne</b>	22%
<b>Nouvelle-Aquitaine</b>	8%
<b>Occitanie</b>	5%
<b>Auvergne - Rhône-Alpes</b>	20%
<b>Provence-Alpes-Côte d'Azur</b>	4%
<b>Corse</b>	0%

Tableau 2 : Répartition régionale des ventes de PAC (P<30kW) entre 2005 et 2014

À partir de 2015, les données régionalisées fournies par Observ'ER sont utilisées.

Les données issues d'Observ'ER portent sur les installations de PAC de puissance inférieure à 30 kW, communément appelées PAC de faible puissance. Si ces données sont généralement associées au secteur résidentiel individuel, il est utile de noter qu'elles incluent également certaines installations relevant d'autres secteurs.

À l'inverse, les données issues de la BSS, qui recensent des installations de puissance supérieure à 30 kW (dites PAC de forte puissance), comprennent aussi quelques installations dans le résidentiel individuel, bien que ce segment soit minoritaire au sein de ces fortes puissances.

En toute rigueur, pour distinguer précisément les installations par secteur, il faudrait :

- Partir des données Observ'ER sur les PAC de faible puissance
- Y ajouter les installations de la BSS (> 30 kW calorifique) identifiées comme relevant du résidentiel individuel
- Et soustraire les installations de faible puissance qui ne concernent pas le résidentiel individuel.

Ce calcul a été effectué, et le nombre d'installations concernées s'est révélé très faible.

Par conséquent, afin de simplifier le traitement sans affecter significativement les résultats, le comité a validé l'hypothèse d'assimilation du volume des PAC de faibles puissances à celui du résidentiel individuel jusqu'en 2017. La prise en compte de ce correctif ne s'effectue qu'à compter de 2018.

### → Idées générale

Dans cette étude, toutes les installations qui ne relèvent pas du résidentiel individuel sont classées dans le secteur résidentiel collectif ou le secteur tertiaire : ce sont donc les installations avec une puissance supérieure à 30 kW, dites « de grande puissance ».

Les données issues de la BSS sont considérées comme représentatives à partir de 2018. Elles permettent d'identifier le nombre d'installations, leur localisation, la puissance installée côté sous-sol, ainsi que la typologie des bâtiments concernés.

Pour la période antérieure à 2018, en raison de la fiabilité limitée des données BSS (incomplétude), une estimation a été nécessaire. Afin d'assurer une cohérence dans le calcul de la puissance totale installée, il a été retenu qu'une installation de forte puissance correspondait en moyenne à 2 PAC.

### → Hypothèses

En 2013-2014 et 2017-2018, l'Observ'ER a réalisé deux études permettant d'estimer les ventes de PAC de grande puissance (>30 kW).

Les données de l'étude 2017-2018 ont été corrigées en 2021 par l'AFPG, du fait d'une confusion entre le nombre de PAC et le nombre d'installations.

Voici les données corrigées issues des deux études :

Années	2013	2014	2017	2018
Ventes de PAC	500	550	820	920

Tableau 3 : Nombre de PAC (P>30kW) vendues (études Observ'ER)

Ces données ont ensuite servi de points pivot pour tracer une courbe représentant l'historique des ventes de PAC de grande puissance.

Avant 2018, en s'appuyant sur les points de référence issus des études de l'Observ'ER, une courbe a été tracée pour représenter le nombre de PAC d'une puissance supérieure à 30 kW vendues chaque année.

Pour établir cette courbe, plusieurs hypothèses ont été formulées :

- La première consiste à appliquer une augmentation constante de 10 % par an pour définir la forme de la courbe.
- La seconde est la nécessité de fixer une « année 0 ». L'année 2000 a été retenue, car le CEREN commence à faire apparaître les PAC à partir de 2001.

Voici la courbe obtenue des ventes de PAC géothermiques de fortes puissances :

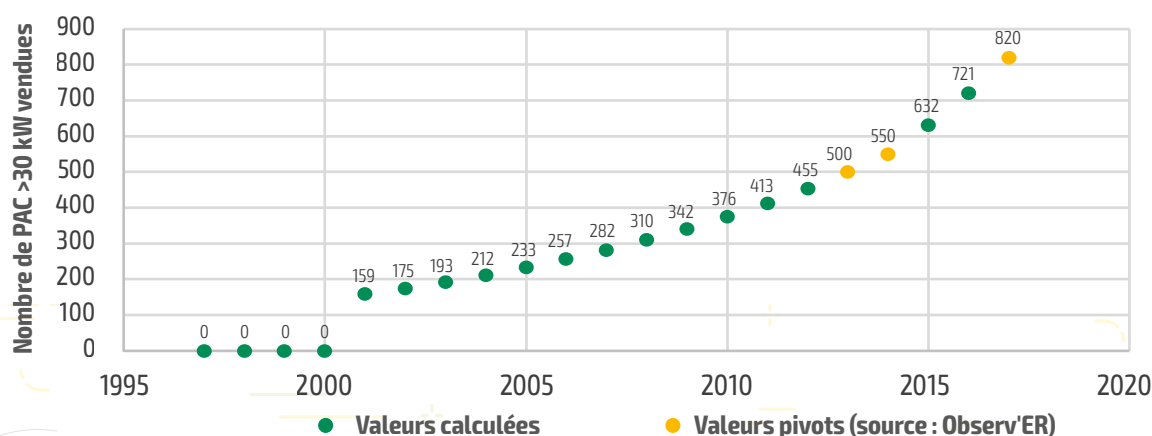


Figure 23 : Nombre de PAC (P>30kW) vendues jusqu'en 2017

Les données de vente de PAC entre 2001 et 2017 ont été calculées à l'échelle nationale. Dans le cadre de la régionalisation, il a été nécessaire de déterminer la répartition géographique de ces ventes sur cette période. Pour cela, le BRGM a évalué le poids de chaque région avant 2015, en se basant sur le nombre d'installations recensées dans l'Observatoire de la géothermie à cette date. Ensuite, la période 2013-2014 (issue de l'étude de l'Observ'ER) a été utilisée pour ajuster les arrondis.

Voici la répartition obtenue :

<b>Île-de-France</b>	7%
<b>Centre-Val de Loire</b>	6%
<b>Bourgogne-Franche-Comté</b>	3%
<b>Normandie</b>	4%
<b>Hauts-de-France</b>	6%
<b>Grand Est</b>	26%
<b>Pays de la Loire</b>	7%
<b>Bretagne</b>	5%
<b>Nouvelle-Aquitaine</b>	3%
<b>Occitanie</b>	3%
<b>Auvergne - Rhône-Alpes</b>	27%
<b>Provence-Alpes-Côte d'Azur</b>	3%
<b>Corse</b>	0%

Tableau 4 : Répartition régionale des ventes de PAC (P>30kW) entre 2001 et 2017

## Descriptif du marché des grandes puissances

### → Le résidentiel collectif

Dans le résidentiel collectif, on estime qu'une installation correspond à 2 PAC de 51 kW de puissance côté sous-sol, ce qui fait un total de 102 kW (côté sous-sol) par installation. Cette puissance correspond à la moyenne des puissances des installations hors résidentiel individuel issues de la BSS, d'après une étude AFPG de 2023.

D'après deux études de l'Observ'ER réalisée en 2016 et 2019, on remarque que 20 % des PAC de forte puissance correspondent au résidentiel collectif.

En conséquence, entre 2001 et 2017, 20 % des ventes de PAC seront considérées comme du résidentiel collectif.

### → Le tertiaire

Dans le tertiaire, on estime qu'une installation correspond à 2 PAC de 43 kW de puissance côté sous-sol, ce qui fait un total de 86 kW (côté sous-sol) par installation. Cette puissance correspond à la moyenne des puissances des installations hors résidentiel individuel issues de la BSS, d'après une étude AFPG de 2023.

Le secteur tertiaire représente tous les marchés autres que le résidentiel individuel et collectif.

À partir de 2018, on s'appuie sur les puissances en BSS plutôt que de définir une puissance par installation ; en revanche, on considère qu'il y a toujours une moyenne de 2 PAC par installation. La répartition par région est donnée par l'Observatoire de la géothermie.



# LA GÉOTHERMIE PROFONDE

---



## ■ Introduction

Les installations de géothermie profonde exploitent une eau géothermale à une température généralement comprise entre 30 et 90°C, se trouvant le plus souvent entre 400 et 2000 mètres de profondeur, et en présence d'une nappe d'eau souterraine (aussi appelées réservoirs ou aquifères). Dans de plus rares cas, la ressource géothermique peut être exploitée à plus grande profondeur et donc à plus haute température.

Lorsque cette eau est présente en quantité suffisante, elle peut être exploitée sous forme d'énergie géothermique. Elle est contenue dans des roches sédimentaires poreuses et/ou fracturées (sables, grès, calcaires, craie) se trouvant dans des bassins sédimentaires qui peuvent présenter une extension régionale importante. Dans d'autres contextes géologiques, la ressource en eau peut provenir majoritairement de la fracturation naturelle d'une roche métamorphique (exemple : gneiss) ou magmatique (exemple : granite).

La France possède deux bassins sédimentaires principaux (le Bassin parisien et le Bassin aquitain) et cinq plus restreints (Hainaut, Fossé rhénan, Limagne, Bresse, Couloir rhodanien) qui contiennent de nombreuses nappes d'eau souterraines, empilées les unes sur les autres et séparées par des roches imperméables.

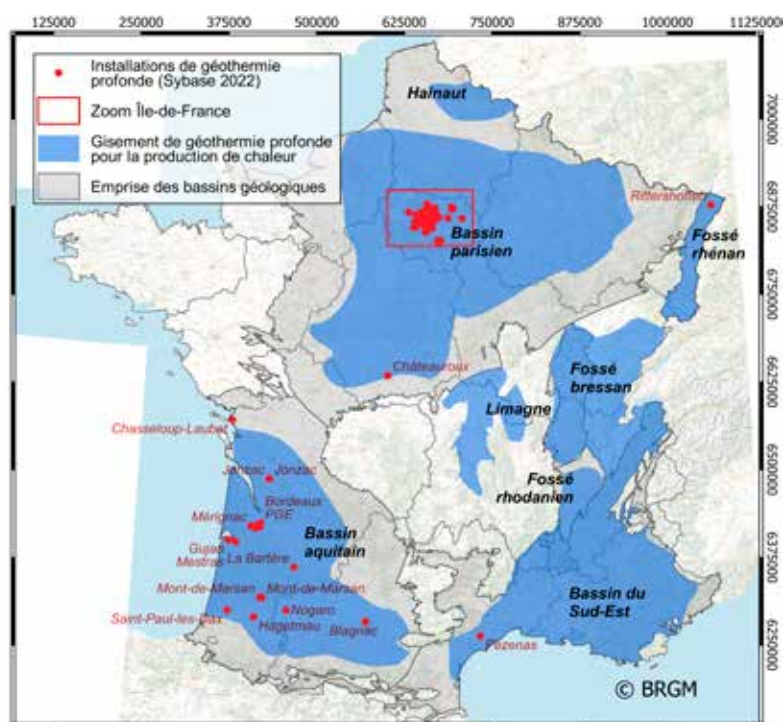


Figure 24 : Carte des bassins sédimentaires et aquifères profonds en France (BRGM)

Au total, près d'un tiers du territoire français possède une ressource de géothermie profonde connue valorisable. Sur le reste du territoire, des ressources restent probablement à découvrir et caractériser.

Dans la plupart des cas, l'exploitation de ces eaux souterraines chaudes s'effectue, comme pour les nappes de surface, par l'intermédiaire d'un puits producteur (extraction de la ressource en eau pour en valoriser les calories) et d'un puits injecteur (réinjection de l'eau refroidie dans la nappe). En profondeur, les deux puits sont généralement espacés de plus de 1 000 mètres afin d'éviter que l'eau réinjectée ne refroidisse l'eau pompée (phénomène de « bulle froide »).

Dans certains territoires (contexte volcanique, zones à fort gradient géothermique), il est possible d'exploiter les calories de l'eau pour produire de la chaleur mais aussi d'exploiter la vapeur d'eau pour faire tourner une turbine et produire de l'électricité.

# ■ Production de chaleur

## A – Contexte

L'énergie géothermique peut être valorisée de différentes manières :

- Par un réseau de chaleur urbain (incluant des logements collectifs, bâtiments publics comme des écoles, des hôpitaux, des théâtres, etc.),
- Par d'autres applications :
  - industrielles (procédés utilisant la vapeur, l'air chaud ou l'eau chaude),
  - agricoles (chauffage de serres, pisciculture, séchage),
  - aquatiques (piscines, centres nautiques, thermes...).

### 1. Réseau de chaleur

Un réseau de chaleur est un système distribuant de la chaleur produite de façon centralisée (plutôt que de produire la chaleur à partir de nombreuses installations individuelles et disparates) à plusieurs usagers via un réseau de canalisations enterrées. Le réseau contient une ou plusieurs unités de production de chaleur (renouvelables ou non) comme une centrale à gaz, une centrale géothermique, une centrale biomasse ou encore une industrie de laquelle est récupérée la chaleur fatale.

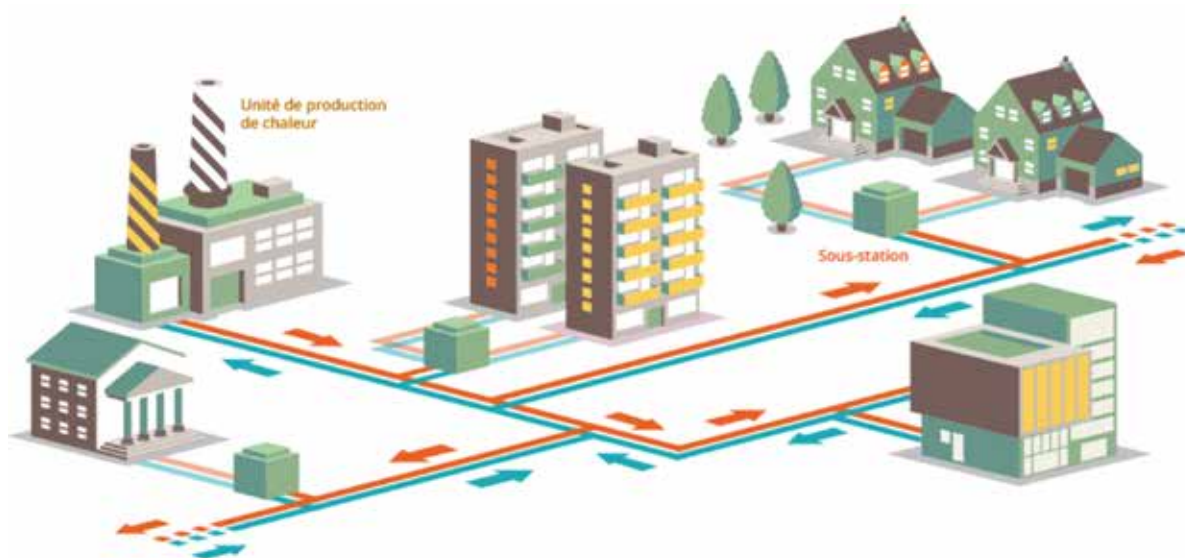


Figure 25 : Schéma d'un réseau de chaleur (ADEME)

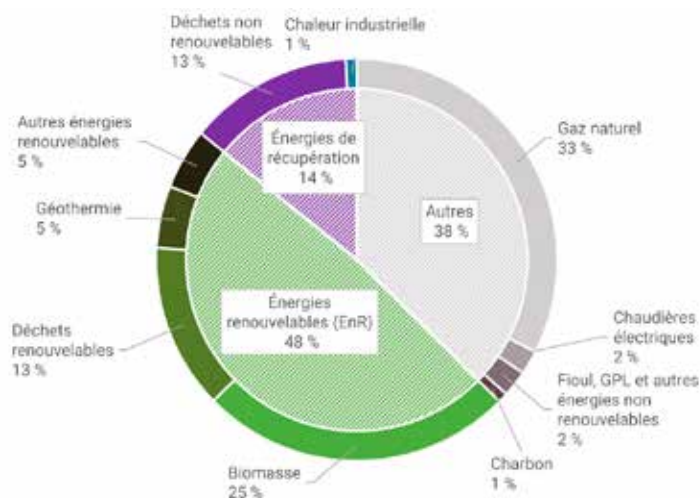


Figure 26 : Répartition par source d'énergie de la consommation d'énergie des réseaux de chaleur en 2023 (SDES 2024)

## 2. Généralités sur les centrales géothermiques

Moyennant un entretien régulier des puits (fonctionnement en doublet) et des équipements de la centrale géothermique, la durée de vie d'une telle installation est de 30 ans minimum. Un rechemisage (installation d'un nouveau tubage à l'intérieur du tubage d'origine) permet ensuite de prolonger cette durée de vie de 20 ans. A ce stade, la foration d'un troisième puits est envisageable pour maintenir un niveau de production similaire à celui du doublet initial. A l'issue de cette période, les puits sont rebouchés et, si la ressource de chaleur est toujours exploitable, de nouveaux puits peuvent être forés. Dans le cadre de la fin de vie du triplet (et notamment des 2 puits rechemisés), un quatrième puits seulement est nécessaire pour fonctionner à nouveau en doublet. Quoi qu'il arrive, le réseau de chaleur reste en place et peut accueillir d'autres sources d'énergie.

## B - État actuel de la production française en 2024

### 1. Vue d'ensemble

Cette partie fait l'état des lieux de la production en France métropolitaine. En effet, les territoires ultramarins ne présentent pas de centrale géothermique pour la production de chaleur.

En réalité, la géothermie profonde en France pour la production de chaleur se concentre principalement en Île-de-France et en Nouvelle-Aquitaine. Seulement cinq opérations sont situées hors de ces deux zones comme vous pouvez le voir sur cette carte ci-dessous.





Figure 27 : Carte des centrales de production de chaleur géothermique en France métropolitaine (AFPG, d'après Sybase)

En 2024, la production de chaleur par géothermie profonde est estimée à 2,28 TWh. Voici un graphique de l'évolution de la production de chaleur au fil des années.

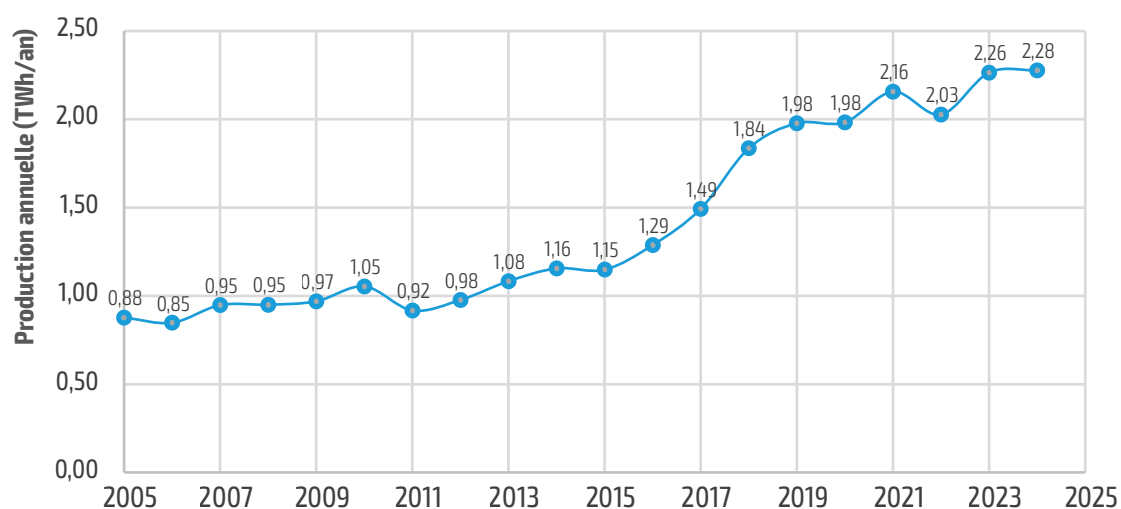


Figure 28 : Production annuelle de chaleur (TWh/an) par géothermie profonde en France Métropolitaine

Comme il est possible de le voir sur la carte ci-dessous (issue du rapport intégral sur le marché de la géothermie 2022 de l'European Geothermal Energy Council (EGEC)), l'Île-de-France est la région présentant la plus grande densité d'opérations de géothermie profonde en Europe.

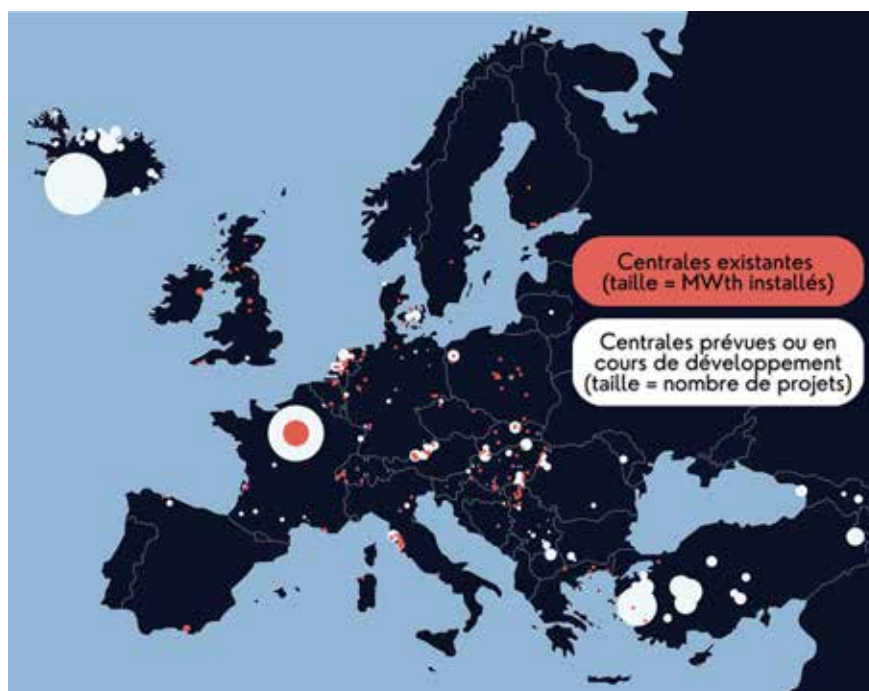


Figure 29 : Localisation des installations de géothermie profonde en Europe (Rapport complet sur le marché géothermique de l'EGEC – 2022)

## 2. Par bassin

### Le Bassin parisien

Le Bassin parisien compte quatre nappes d'eau pouvant être utilisées pour la géothermie, à savoir, par profondeur croissante : les sables de l'Albien et du Néocomien, les calcaires du Lusitanien, les calcaires du Dogger, les grès du Trias.

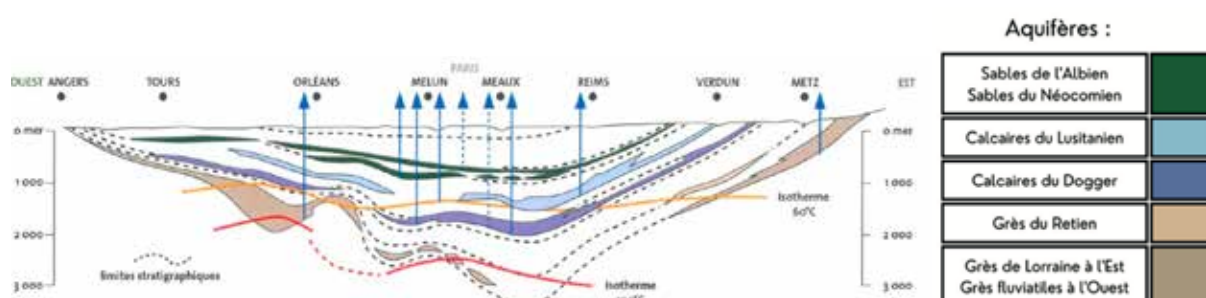


Figure 30 : Coupe du Bassin parisien (BRGM)

Le Dogger d'Île-de-France est aujourd'hui l'aquifère le plus exploité au monde, avec 50 installations de géothermie profonde en fonctionnement.

D'autres réservoirs géothermiques que le Dogger sont exploités en Île-de-France. Quatre centrales exploitent l'Albien (environ 650 m de profondeur). Seule la centrale du Plessis-Robinson (92) exploite le Néocomien (environ 850 à 1 000 m de profondeur). Ces opérations sont systématiquement assistées par des PAC du fait des basses températures (entre 28°C et 38°C dans le centre du Bassin parisien) pour alimenter les réseaux de chaleur.

Des études sont également menées pour valoriser la chaleur des eaux des aquifères du Lusitanien et du Trias, encore assez peu connus aujourd'hui du fait de leur non exploitation.

Département	Nombre de projets	Production géothermique annuelle (MWh) en 2024
ILE-DE-FRANCE		
Paris (75)	3	20 276
Seine-et-Marne (77)	12	436 905
Yvelines (78)	2	64 578
Essonne (91)	5	225 579
Hauts-de-Seine (92)	4	80 831
Seine-Saint-Denis (93)	8	297 398
Val-de-Marne (94)	19	814 284
Val-d'Oise (95)	1	34 190
TOTAL ILE-DE-FRANCE		1 974 039
CENTRE-VAL DE LOIRE		
Indre (36)	1	7 945
TOTAL CENTRE-VAL DE LOIRE		7 945
TOTAL BASSIN PARISIEN		1 981 984

Tableau 5 : Détails des installations de géothermie profonde dans le Bassin parisien en 2024 (AFPG, d'après les données SYBASE – BRGM/ADEME)

La carte ci-dessous (Figure 31) montre l'emplacement des différentes unités de production de chaleur géothermique profonde en Ile-de-France (Bassin Parisien). On observe une forte concentration d'installations au sud de Paris.

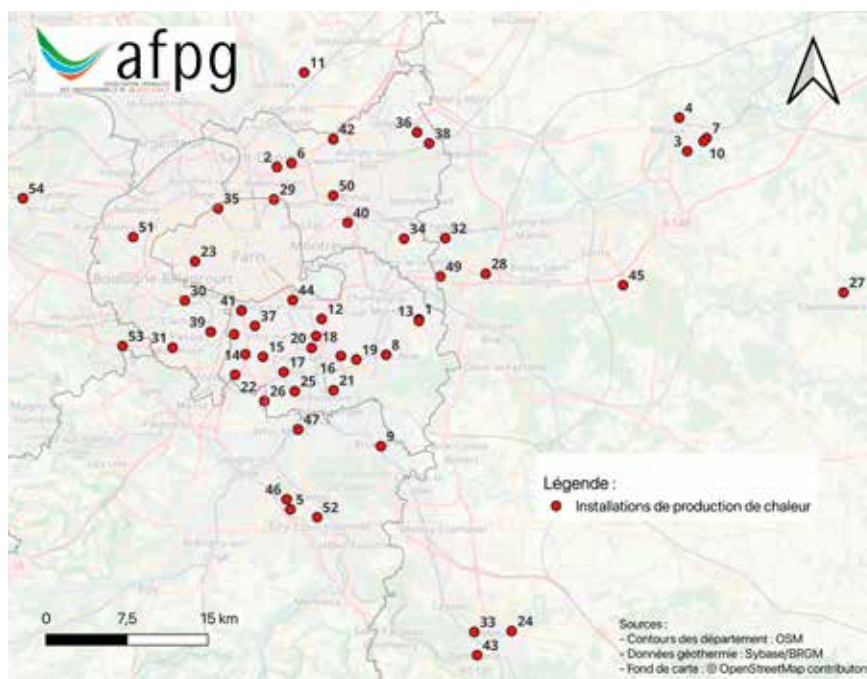


Figure 31 : Carte des centrales de production de chaleur géothermique en Ile-de-France (AFPG, d'après Sybase)

numéro	Nom du site	numéro	Nom du site
1	CHAMPIGNY 2	28	VAL-MAUBUEE
2	LA COURNEUVE SUD	29	AUBERVILLIERS
3	MEAUX COLLINET	30	ISSY-LES-MOULINEAUX
4	MEAUX HOPITAL	31	PLESSIS ROBINSON
5	RIS ORANGIS	32	CHELLES2
6	LA COURNEUVE NORD	33	LE-MEE-SUR-SEINE2
7	MEAUX BEAUVAL 1	34	NEUILLY-SUR-MARNE
8	SUCY-EN-BRIE	35	CLICHY-BATIGNOLLES
9	EPINAY-SOUS-SENART	36	VILLEPINTE
10	MEAUX BEAUVAL 2	37	VILLEJUIF
11	VILLIERS-LE-BEL-GONESSE	38	TREMBLAY-EN-FRANCE 2
12	MAISON ALFORT 1	39	BAGNEUX
13	CHAMPIGNY	40	ROSNY-SOUS-BOIS
14	L'HAY-LES-ROSES	41	ARCUEIL-GENTILLY
15	CHEVILLY-LARUE	42	LE BLANC MESNIL 2
16	CRETEIL MONT MESLY	43	DAMMARIE-LES-LYS
17	THIAIS	44	IVRY-SUR-SEINE 2
18	MAISON ALFORT 2	45	BAILLY-ROMAINVILLIERS
19	BONNEUIL-SUR-MARNE	46	GRIGNY II
20	ALFORTVILLE	47	VIGNEUX-SUR-SEINE2
21	VILLENEUVE ST-GEORGES	48	CACHAN 3
22	FRESNES	49	CHAMPS-SUR-MARNE
23	TOUR AGF CRYSTAL	50	BOBIGNY-DRANCY
24	MELUN L'ALMONT2	51	RUEIL-MALMAISON
25	ORLY 2 LE NOUVELET 2	52	EVRY 2
26	ORLY ADP	53	VELIZY
27	COULOMMIERS 2	54	SAINT-GERMAIN EN LAYE*

Tableau 6 : Liste des installations présentées sur la figure 31 (\* coproduction eau potable / géothermie)



En Île-de-France, lorsqu'un réseau de chaleur utilise une ressource géothermique profonde, celle-ci représente en moyenne 74% de la production totale. Les autres sources de production peuvent être une chaufferie biomasse, une centrale de cogénération ou une chaudière à gaz.

En Île-de-France, 1 million de personnes bénéficient de la géothermie, si l'on prend en compte le mix énergétique utilisé dans les réseaux de chaleur.

Le Bassin aquitain

Il existe 16 projets dans le Bassin aquitain, dont la plupart remontent aux années 1980. L'opération Plaine de Garonne Énergies (PGE) fait partie des rares projets mis en service depuis 2020 dans le Bassin aquitain. Le tableau ci-dessous détaille le nombre d'installations par département.

Département	Nombre de projets	Production géothermique annuelle (MWh) en 2024
NOUVELLE-AQUITAINE		
Charente-Maritime (17)	1	4 608
Gironde (33)	9	78 890
Landes (40)	4	16 590
TOTAL NOUVELLE-AQUITAINE		100 088
OCCITANIE		
Haute-Garonne (31)	1	12 442
Gers (32)	1	18 494
TOTAL OCCITANIE		30 936
TOTAL BASSIN AQUITAIN		131 024

Tableau 7 : Détails des installations de géothermie profonde dans le Bassin aquitain en 2024 (AFPG, d'après les données SYBASE – BRGM/ADEME)

La carte ci-dessous montre l'emplacement des différentes unités de production de chaleur géothermique profonde en Nouvelle Aquitaine (Bassin Aquitain). On observe une forte concentration d'installations autour de Bordeaux.



numéro	Nom du site
1	MONT-DE-MARSAN
2	PESSAC - STADIUM
3	BEGLES
4	PESSAC - SAIGE FORMANOIR
5	MERIGNAC - BA 106
6	MIOS LE TEICH
7	HAGETMAU
8	BORDEAUX MERIADECK
9	SAINT-PAUL-LES-DAX 1
10	PARENTIS*
11	JONZAC
12	ARCACHON*
13	TESTE DE BUCH*
14	BORDEAUX PGE

Tableau 8 : Liste des installations présentées sur la figure 32 (\* coproduction hydrocarbure / géothermie)

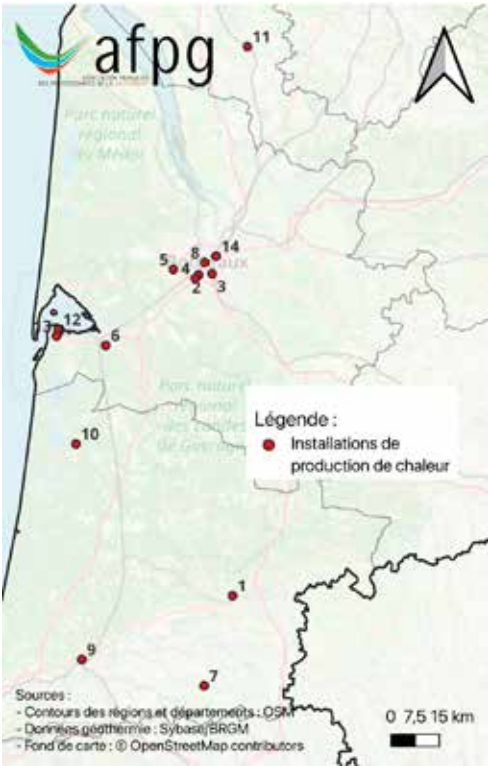


Figure 32 : Carte des centrales de production de chaleur géothermique en Nouvelle-Aquitaine (AFPG, d'après Sybase)

### Autres exploitations

En dehors de ces 2 bassins sédimentaires, on ne recense actuellement que deux installations en fonctionnement dédiées à la géothermie profonde, présentées dans le tableau ci-dessous.

Département	Nombre de projets	Production géothermique annuelle (MWh) en 2024
<b>OCCITANIE</b>		
Hérault (34)	1	11 576
<b>TOTAL OCCITANIE</b>	<b>1</b>	<b>11 576</b>
<b>GRAND-EST</b>		
Bas-Rhin (67)	1	153 000
<b>TOTAL GRAND-EST</b>	<b>1</b>	<b>153 000</b>
<b>TOTAL AUTRES BASSINS</b>	<b>2</b>	<b>164 576</b>

Tableau 9 : Détails des installations de géothermie profonde dans les autres bassins en 2024 (AFPG, d'après les données SYBASE – BRGM/ADEME)

# ■ Centrales électrogènes

## A – Contexte

Les centrales dites « électrogènes » exploitent les ressources géothermiques profondes pour produire de l'électricité, éventuellement couplée à de la chaleur (on parle alors de cogénération ou de coproduction).

La production économiquement rentable d'électricité est possible à partir d'un fluide géothermal qui arrive en surface à une température minimale d'environ 120°C. Certains prototypes expérimentaux peuvent produire de l'électricité dès 80°C mais, à ces températures, le rendement complet de l'installation est trop bas pour permettre le déploiement de cette technologie à grande échelle.

Aujourd'hui, principalement deux types de réservoirs sont susceptibles d'accueillir des centrales géothermiques électrogènes :

- Les réservoirs situés en zone volcanique,
- Les réservoirs fracturés situés au niveau des bassins d'effondrement où le gradient géothermique est élevé.

### 1. Les réservoirs en zones volcaniques

Les premières centrales géothermiques électrogènes ont vu le jour dans des zones volcaniques où la température du sous-sol dépasse allégrement 200°C sans avoir à forer au-delà de quelques centaines de mètres de profondeur. C'est le cas de la Toscane en Italie, de l'Islande ou de la Guadeloupe avec la centrale de Bouillante par exemple.

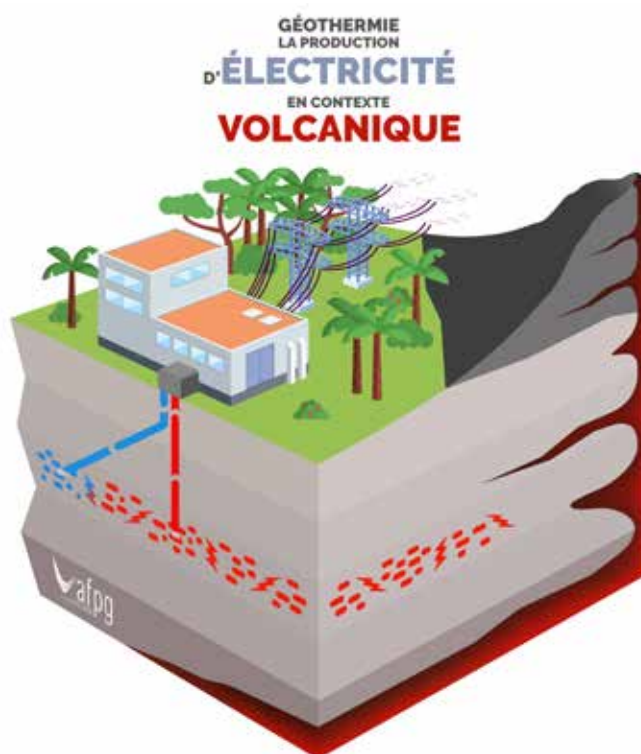


Figure 33 : Principe d'une centrale électrogène en zone volcanique

## 2. Les réservoirs fracturés situés au niveau des bassins d'effondrement

Ces zones géologiques composées de roches non perméables naturellement faillées, et profondes de plusieurs milliers de mètres, peuvent contenir un fluide géothermal.

Le principe de l'EGS (Enhanced Geothermal System) permet d'améliorer la circulation du fluide dans ces réservoirs géothermiques particuliers au niveau des connexions avec les puits.

La France fait figure de leader mondial dans ce domaine, avec la centrale de Soultz-sous-Forêts en Alsace, berceau de la recherche sur l'EGS qui, après avoir été opérée en tant que site pilote pendant plus de 20 ans, est entrée en phase d'exploitation industrielle en 2016 (1,7 MWe installé).

Cette technologie EGS ouvre des perspectives très intéressantes à des pays ou des régions ne disposant pas de contexte volcanique, leur donnant ainsi accès à une source d'énergie renouvelable, locale et disponible toute l'année sans interruption.

Néanmoins, ce procédé peine à s'industrialiser. Si les centrales géothermiques du GEIE EMC à Soultz-Sous-Forêts (électrogène) ou d'ECOGI à Rittershoffen (production de chaleur) fonctionnent parfaitement avec un taux de disponibilité supérieur à 90 % depuis 2016 sans événement sismique induit notable, l'arrêt de la centrale GEOVEN de Vendenheim sur décision préfectorale à la suite d'un tremblement de terre de magnitude 3,5 ressenti au nord de Strasbourg fin 2020, a brutalement freiné le développement de la filière EGS française pourtant en plein essor. Les acteurs de la géothermie se sont mobilisés ainsi que les pouvoirs publics pour définir les contours de l'exploitation géothermique dans ce type de géologie. Les conclusions de ces travaux sont actées dans un guide dédié à la maîtrise de la sismicité dans les opérations de géothermie profonde, rédigé par le BRGM et l'INERIS.

## B - État actuel de la production française en 2024

### Bouillante (1 et 2)



Figure 34 : Photo de la centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe

La centrale géothermique de Bouillante a commencé à produire de l'électricité en 1984, avec une capacité installée de 4,4 MWe (unité Bouillante 1).

Auparavant, de nombreuses études et forages d'essai avaient été réalisés dans les années 1960, révélant la présence de ressources géothermiques à une température pouvant atteindre 260°C.

L'unité Bouillante 2, d'une puissance de 11 MWe, a ensuite été mise en service en 2005 pour un coût total de 33,2 millions d'euros.

L'unité Bouillante 1 a également été entièrement rénovée en 2013, pour un coût de 4,4 millions d'euros.

La production finale de la centrale de Bouillante pour l'exercice 2024 a atteint 98,7 GWh, contre 117,3 GWh en 2023, soit une diminution de 18 %.

La centrale de Bouillante est actuellement la seule centrale géothermique en activité dans les Caraïbes.

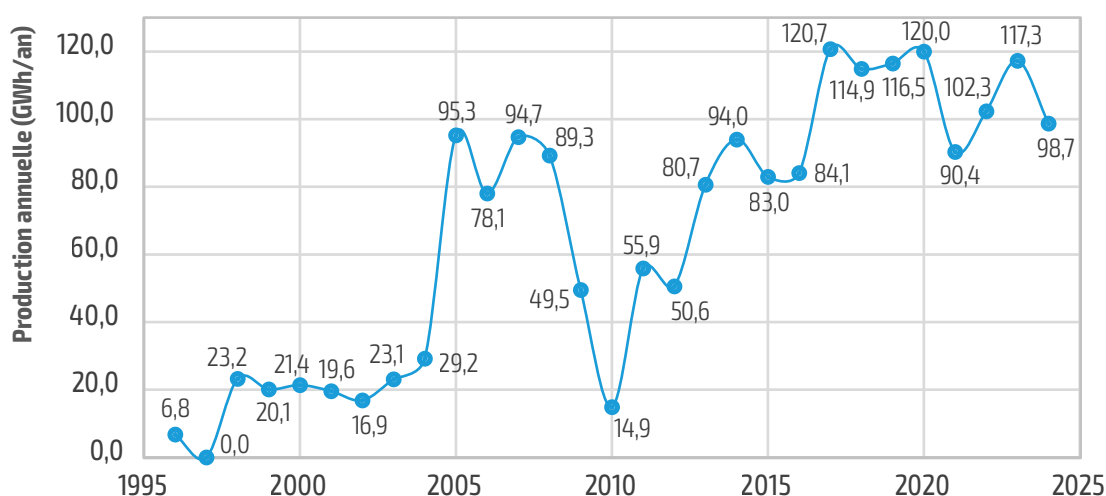


Figure 35 : Production annuelle d'électricité (TWh/an) de la centrale de Bouillante 1 et 2 (Guadeloupe)

Ces deux unités fonctionnent en valorisant la phase vapeur pour faire tourner une turbine. L'eau restante (sous forme liquide) est en partie réinjectée au sous-sol et en partie rejetée dans la baie de Bouillante.

Une nouvelle unité (Bouillante 1 bis) d'une puissance de 10 MWe, dont les travaux ont débuté en 2022, devrait être mise en service pour fonctionner simultanément avec B1 et B2 aux alentours de 2026. Sur cette nouvelle unité, trois puits ont été forés : un puits de production à 500 mètres de profondeur et deux puits de réinjection situés à 1500 mètres de profondeur. L'unité Bouillante 1bis permettra de valoriser l'eau séparée destinée aujourd'hui à être rejetée en mer.

## Soultz-sous-Forêts

Pendant 25 ans (de 1987 à 2012), le site de Soultz-sous-Forêts situé au nord de l'Alsace, a accueilli un programme européen de R&D consacré à la géothermie HDR (Hot Dry Rock) / EGS (Enhanced Geothermal System).

Ce programme a abouti à la construction d'un site pilote scientifique composé de quatre puits (un à 3500 m de profondeur et trois à 5000 m) permettant de capter des ressources géothermiques à 200°C, ainsi qu'à une centrale de démonstration (pilote) d'une capacité de 1,7 MWe, reconfigurée en 2016.

Selon la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), des objectifs visaient une montée en puissance à 2 MW d'ici fin 2023, mais la centrale est toujours à 1,7 MWe actuellement.

Des études ont également été lancées pour le forage de deux nouveaux puits (doublet).







Figure 36 : Photo de la centrale géothermique de Soutz-sous-Forêts

La figure 37 ci-dessous présente la production annuelle d'électricité de la centrale de Soutz-sous-Forêts depuis 2017.

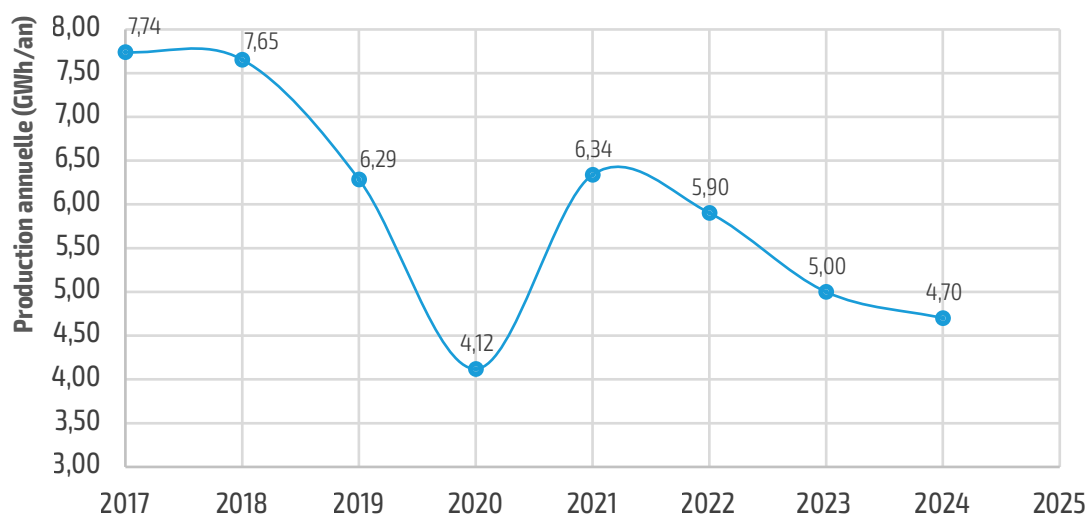


Figure 37 : Production annuelle d'électricité (GWh/an) de la centrale de Soutz-sous-Forêts

# Lithium géothermal

## A – Contexte

L'extraction des ressources minérales a largement contribué au développement des industries telles que la construction, l'électronique et l'automobile, en fournissant des technologies de plus en plus complexes à la société. Parmi ces ressources, le lithium occupe une place essentielle dans nos batteries (de téléphones portables, ordinateurs, voitures électriques, ...). Les principaux producteurs mondiaux de lithium, sont l'Australie, l'Amérique du Sud (et ses salars) et la Chine. Ces derniers ont recouru à des extractions peu en accord avec les défis actuels : à savoir une production respectueuse de l'environnement et une production répondant à la demande et aux besoins d'électrification pour sortir des énergies fossiles. En effet, l'extraction par évaporation des lacs salés est relativement longue (10 mois à 2 ans) et consommatrice d'eau. Quant à l'extraction minière à ciel ouvert, elle nécessite une grande emprise au sol, dégrade la qualité de l'air et fait appel à des procédés très énergivores.

En France, il est envisageable de relocaliser une production de lithium tout en réduisant son impact environnemental. En effet, du lithium dissous est présent dans certains réservoirs géothermiques profonds.

Si ces réservoirs sont déjà exploités par des installations géothermiques (que ce soit en production de chaleur ou d'électricité), il est cohérent d'optimiser la production de chaleur en extrayant le lithium géothermal. De nombreuses entreprises comme Eramet, ES, Adionics, Géolith et Lithium de France, s'efforcent de développer et d'industrialiser cette filière innovante. Cela permettrait d'accélérer la transition énergétique de la France et de promouvoir des solutions plus vertueuses dans le domaine de l'extraction et de l'utilisation du lithium.

Plus précisément, il s'agit de coupler une unité d'extraction du lithium à la centrale géothermique qui, après extraction des calories de l'eau via un échangeur de chaleur, pourra extraire le lithium dissous dans l'eau (saumure géothermale) via un filtre. Le lithium est ensuite dirigé vers une autre unité pour le purifier et donc améliorer sa concentration. La saumure est ensuite réinjectée dans le sous-sol, avec une concentration en lithium moindre.

### CO-PRODUCTION DE LITHIUM GÉOTHERMAL

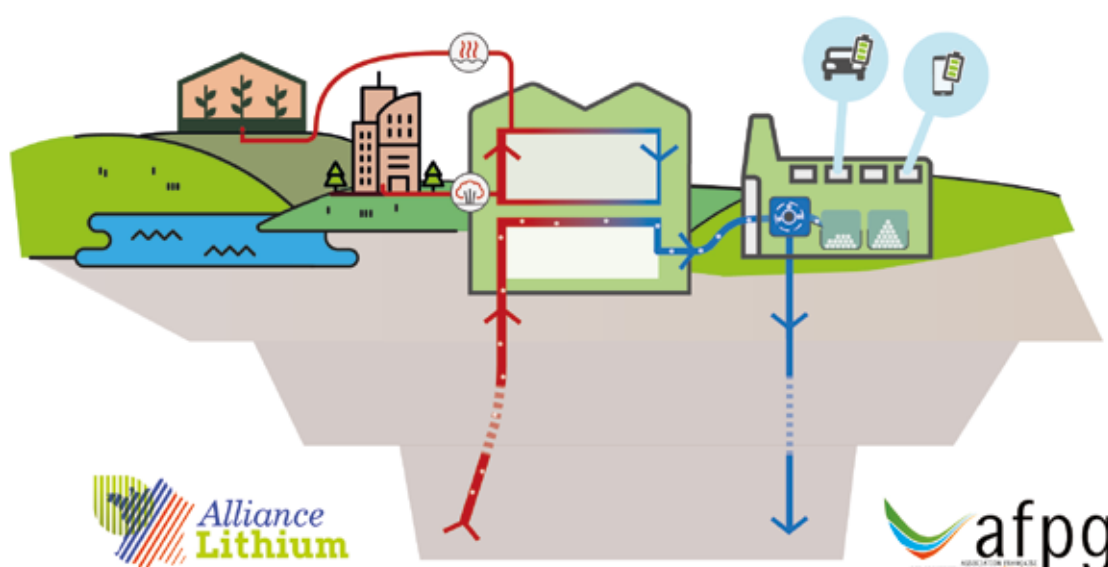


Figure 38 : Schéma de principe de l'extraction du lithium géothermal des saumures

## Perspectives et conclusions

### Chaleur

---

La filière se fixe des objectifs ambitieux et propose de les rehausser. Les valeurs proposées lors de la consultation pour la PPE 3 ne sont pas encore officialisées et ne seront donc pas présentées dans cette étude. Une note sera produite par la filière dans les mois qui suivent la publication de ce document.

### Électricité

---

La projection de la production d'électricité en France métropolitaine et dans les territoires d'outre-mer est assez difficile à estimer en raison des fluctuations de la production au cours de l'année (sur les deux sites en fonctionnement) et également en raison de l'arrêt des tarifs de rachat par les autorités françaises, ce qui a ralenti l'intégration de nouvelles centrales géothermiques, rendant cette technologie économiquement peu attrayante pour les investisseurs. Cependant, la PPE 2 de la Guadeloupe prévoit d'atteindre 78 MW d'ici 2028, ce qui représentera un défi majeur pour la région.

### Lithium

---

Les premiers puits ayant vocation à co-produire de l'énergie (chaleur) et du lithium sont prévus pour les mois qui suivent la publication de cette étude. La mise en service de l'unité d'extraction suivra et permettra de valider la faisabilité industrielle d'un tel process.

## Les objectifs nationaux et moyens mis en œuvre

---

### 1. Le Fonds Chaleur

---

Les projets de géothermie profonde sont éligibles à des aides à l'étude et à l'investissement via le Fonds Chaleur. Les conditions d'éligibilité sont disponibles sur le site de l'ADEME : <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/2024/installations-production-chaleur-a-partir-geothermie-profonde>

Par ailleurs, une subvention plafonnée (€/MWh EnR) peut être accordée si les conditions et critères d'éligibilité sont remplis. Cette aide est calculée sur la base d'une analyse coûts/bénéfices comparant la situation de référence utilisant des énergies fossiles avec la solution géothermique.

Si le projet prévoit la construction d'un réseau de chaleur (alimenté à au moins 65 % par des énergies renouvelables), ou son extension (si elle concerne un réseau produisant plus de 300 MWh/an d'énergie renouvelable et s'étendant sur plus de 200 mètres linéaires), alors il devient éligible à une aide spécifique aux réseaux de chaleur et de froid.

Lorsque la production est inférieure à 20 000 MWh/an, l'aide est versée sous forme forfaitaire; au-delà, elle est calculée selon une analyse économique conventionnelle.

Ces subventions sont soumises à des critères de qualité et de performance :

- Respect de la réglementation thermique,
- Adhésion au dispositif de dérisquage géré par SAF Environnement (couverture des risques géologiques),
- Bonne performance énergétique (COP et SCOP),
- Pour les réseaux : un taux d'approvisionnement en Énergies Renouvelables et de Récupération (EnR&R) supérieur à 65 % pour la chaleur et 50 % pour le froid.

## 2. Dispositif de couverture des risques

---

Géré par SAF Environnement, le Fonds de Garantie Géothermique court terme et long terme est un fonds destiné à atténuer les risques auxquels peut être confronté le maître d'ouvrage dans les projets de géothermie profonde produisant de la chaleur en France métropolitaine.

La garantie à court terme couvre le risque d'absence ou d'insuffisance des ressources géothermiques après forage. L'option à long terme couvre les risques géologiques ou la perte de productivité lors de la phase d'exploitation pour des raisons géologiques.

Le fonds est principalement financé par les contributions des porteurs de projets et par l'ADEME.

De plus, afin de soutenir les futurs projets dans des aquifères peu connus et donc plus risqués (comme le Trias en Île-de-France, ou les aquifères du Bassin Aquitain, d'Alsace, des Hauts-de-France et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur), la Commission européenne a approuvé un régime d'aides françaises de 195,6 millions d'euros dans le cadre des règles européennes relatives aux aides d'État, à mettre en œuvre sur une période de 10 ans et géré par l'ADEME.

Le nouveau Fonds de Garantie fonctionnera sur la base des contributions des porteurs de projets, réparties en fonction du risque du projet :

- Segment 1 : opérations en zone connue (par exemple le Dogger en Île-de-France ; taux d'échec supposé de 5 %),
- Segment 2 : opérations en régions géologiquement connues mais dont le potentiel géothermique est mal connu (taux d'échec supposé de 25 %),
- Segment 3 : opérations en zones encore à explorer (taux d'échec supposé de 40 %).

Plus le projet est risqué, plus la contribution est élevée (5 %, 10 %, 15 % selon le segment).

En complément de l'augmentation du fonds géothermique, ses services ont également été améliorés avec :

- Un taux de garantie à 90 % pour les doublets sur tout le territoire français (auparavant la garantie était fournie puits par puits avec une couverture à 65 %, augmentée à 90 % grâce à la région Île-de-France),
- Un plafond maximal de 3 millions d'euros par kilomètre foré (avec un maximum de 3 kilomètres forés),
- Une compensation à hauteur de 80 % des études de dérisquage en cas d'échec (avec un plafond d'1 million d'euros).

Un cahier des charges spécifique au dérisquage a été publié par l'AFPG et est disponible dans la médiathèque de l'association. Il détaille les conditions d'éligibilité au dispositif de couverture des risques géologiques :

AFPG – [Cahier des charges dérisquage géothermie profonde \(PDF\)](#)

## 3. Le cluster GEODEEP

---

L'AFPG assure depuis juin 2014, la coordination et l'animation du Cluster GEODEEP, « the French Geothermal Cluster for Heat and Power » composé d'une quinzaine d'entreprises, allant d'entreprises de taille internationale à des bureaux d'études spécialisés dans la caractérisation du sous-sol et l'ingénierie de la géothermie profonde. La feuille de route de GEODEEP s'articule autour de trois axes d'intervention :

- L'animation d'un collectif d'entreprises désireuses de s'impliquer dans une stratégie export,
- La représentation institutionnelle, lobbying et promotion du savoir-faire français,
- L'identification d'opportunités commerciales pour les thématiques « électricité », « chaleur & froid », « boucle d'eau tempérée », « géo-stockage ».

Impliqués dans diverses activités (projet européen, congrès internationaux, workshops thématiques...) auprès de nombreux partenaires (EGEC, IGA, IEA TCP géothermie, IRENA, ...), les membres de GEODEEP optimisent leur participation dans des appels d'offres internationaux et contribuent à promouvoir le savoir-faire français à l'export.

## 4. CT-GAP

---

Le Comité Technique pour la Géothermie sur les Aquifères Profonds (CT-GAP) est un groupe de réflexion réunissant les différents acteurs de la chaîne de valeur de la géothermie profonde (bureaux d'études, exploitants, foreurs, autorités publiques, etc.).

Créé en 2014 à l'initiative de l'ADEME, du BRGM et de l'AFPG, ce comité est un outil précieux pour le développement de la filière, qui passe par des actions coordonnées et une bonne appréhension des enjeux actuels.

Le CT-GAP s'articule autour de deux thématiques prioritaires : les retours d'expérience sur les projets de forage et de réhabilitation, ainsi que l'innovation et la prospection de nouvelles ressources géothermiques. Grâce aux travaux de ce groupe, des fiches de bonnes pratiques ont été élaborées concernant le forage, la maintenance et l'arrêt des puits géothermiques.

Le comité technique réoriente actuellement ses sujets de travail pour intégrer des thématiques nouvelles, liées à l'ouverture de projets en dehors du Dogger en Île-de-France (bassin aquitain, fossé rhénan, extraction du lithium dissous dans certaines eaux géothermales, etc.).

## 5. Le cluster Alliance Lithium

---

Alliance Lithium, fondé en 2022, est un cluster stratégique au sein de l'AFPG. Cette initiative est centrée sur l'extraction durable du lithium à partir des saumures géothermales (coproduit de la production de chaleur ou d'électricité), afin de répondre à la demande croissante en lithium pour les batteries de véhicules électriques et le stockage des énergies renouvelables.

Le cluster coordonne différents acteurs impliqués dans le développement des technologies d'extraction du lithium géothermal et dans la promotion de la durabilité environnementale. Parmi ses activités principales : l'innovation technologique, l'analyse des marchés et le développement de partenariats.

Les membres d'Alliance Lithium sont des organismes de recherche, des opérateurs géothermiques et des fournisseurs d'équipements, ce qui garantit une approche complète et une bonne connaissance du marché.

Depuis 2025, le cluster est animé par Romain Millot (Lithium de France) et Luca Mattioni (IFPEN). Alliance Lithium collabore étroitement avec l'État et d'autres associations impliquées dans la production de lithium, renforçant ainsi sa capacité à innover et à s'imposer dans le domaine de l'extraction du lithium d'origine géothermale.

À travers ces actions, Alliance Lithium ambitionne de positionner la France comme un leader dans la transition mondiale vers l'énergie propre.





## ■ Méthodologie « géothermie profonde »

### Chaleur

L'extrême majorité des installations de géothermie profonde produisant de la chaleur est recensée dans une base de données nationale appelée SYBASE, gérée conjointement par le BRGM et l'ADEME. Celle-ci recueille, en plus des données techniques, les données de production annuelle sur la plupart des opérations listées, provenant des remontées des opérateurs des projets, qui ont l'obligation légale de transmettre chaque année leurs données de production aux DREAL (DRIEAT pour l'Île-de-France).

Certaines opérations de géothermie sont considérées dans l'étude de filière mais n'apparaissent pas dans Sybase. Il s'agit notamment d'opérations de coproduction de chaleur et d'hydrocarbures sur des sites situés en Nouvelle-Aquitaine. Celles-ci sont comptabilisées dans le nombre d'installations en fonctionnement mais n'augmentent pas la production énergétique puisque les valeurs ne sont pas connues. Cela correspond à trois installations.

La plupart des valeurs d'Île-de-France proviennent de ces déclarations. En revanche, pour cette édition, 13 projets de géothermie n'ont pas fait l'objet de remontées. Ainsi, les valeurs moyennes des deux précédentes années ont été considérées.

Pour les opérations de Nouvelle-Aquitaine, une valeur estimée de la production énergétique est considérée puisque qu'aucune donnée annuelle n'est collectée, sauf pour 3 sites ayant fait l'objet d'une déclaration du gestionnaire des exploitations.

### Electricité

Les données relatives aux installations de géothermie profonde produisant de l'électricité sont collectées directement auprès des opérateurs et exploitants, dans le cadre de campagnes de recensement menées par l'AFPG.

### Lithium

Aucune donnée de projet de lithium n'est présentée dans cette étude.



# LES INNOVATIONS

---



## L'hybridation multi-énergie : une solution souple, efficace et durable

---

L'hybridation multi-énergie consiste à combiner plusieurs équipements thermiques (pompes à chaleur géothermiques, pompes à chaleur aérothermiques, chaudières gaz, etc.) et plusieurs sources d'énergie (sol, air, soleil) pour produire du chauffage et du refroidissement de manière optimisée. Il ne s'agit pas d'une technologie nouvelle, mais d'un assemblage intelligent, adaptable et performant.

La géothermie, par exemple, se prête bien à un fonctionnement en base, avec une grande stabilité saisonnière. Mais dans certains cas, il est plus pertinent de l'associer à une autre énergie, pour des raisons économiques, techniques, ou de disponibilité de la ressource. Le solaire thermique peut alors venir compléter la production, ou même être stocké via le champ de sondes géothermiques, ce qui permet d'en valoriser l'excédent quand les besoins dans les bâtiments sont faibles.

Un exemple concret a été réalisé sur le campus de l'École polytechnique à Palaiseau. Une installation hybride innovante y combine de la géothermie sur sondes verticales avec du solaire photovoltaïque. Ce couplage permet non seulement de mutualiser les ressources, mais aussi d'optimiser le stockage intersaisonnier : l'énergie solaire électrique excédentaire peut être injectée dans le sol au travers des PAC aérothermiques dont la chaleur est valorisée dans le champ de sondes pour être restituée plus tard, tandis que la géothermie joue un rôle tampon pour garantir la continuité de service. Ce projet démontre toute la pertinence des systèmes hybrides dans une logique de transition énergétique : adaptabilité, sobriété, efficacité.

Ce schéma, issu de la bibliothèque technique de l'entreprise DualSun, montre l'intégration de capteurs solaires thermiques dans le circuit hydraulique d'une chaufferie géothermique. Les capteurs sont placés entre le captage géothermique et la pompe à chaleur, de façon à préchauffer le fluide avant son passage dans la pompe. Une vanne deux voies permet de réguler le débit traversant le champ solaire, en fonction des besoins et de l'ensoleillement.

Ces capteurs peuvent aussi être hybrides, en combinant un capteur thermique et un panneau photovoltaïque. Ils produisent ainsi à la fois de la chaleur et de l'électricité, ce qui permet de mieux valoriser la surface installée.

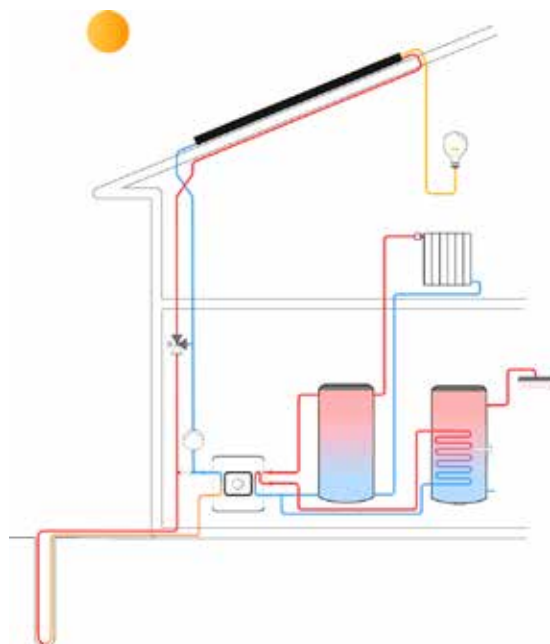


Figure 39 : Schéma de fonctionnement du système hybride

# Tiers-financement : un levier pour développer la géothermie avec un investissement initial réduit

---

Faciliter la transition énergétique sans mobiliser fortement les ressources financières de la maîtrise d'ouvrage dès le départ : le tiers-financement constitue une solution efficace pour déployer une installation géothermique tout en limitant, voire en supprimant, l'avance de fonds nécessaire.

## Une solution intégrée, performante et sécurisée

Un opérateur spécialisé prend en charge l'ensemble du projet selon un modèle clé en main, incluant :

- Le financement total ou partiel des infrastructures (forages, pompes à chaleur, réseaux, etc.)
- La conception, l'installation et l'exploitation avec un engagement contractuel sur la performance énergétique réelle
- Une fourniture immédiate d'énergie renouvelable locale, permettant de réduire les coûts d'exploitation, l'empreinte carbone, et la dépendance aux fluctuations des prix des énergies fossiles

## Un dispositif adapté aux différents porteurs de projet

Cette solution peut être mise en œuvre quel que soit le statut juridique du porteur de projet :

- Secteur public : collectivités territoriales, établissements publics, via le Marché Global de Performance Énergétique (MGPE) ou sa version à paiement différé (MGPE-PD), permettant de répartir les coûts dans le temps avec garantie de performance.
- Secteur privé : entreprises, bailleurs, gestionnaires immobiliers, via les Contrats de Performance Énergétique (CPE), qui intègrent une garantie de résultats et incluent le tiers-financement.

## Un fonctionnement simple et maîtrisé

- Peu ou pas d'investissement initial à mobiliser
- Paiement d'une redevance périodique, généralement inférieure ou équivalente aux économies d'énergie générées
- Stabilité des charges, voire économies immédiates pendant la durée du contrat
- À l'issue du contrat (15 à 25 ans), les économies deviennent pleinement nettes pour le maître d'ouvrage
- Garantie contractuelle de performance énergétique sur toute la durée
- Transfert de propriété des équipements sans frais supplémentaires en fin de contrat

## Avantages principaux du modèle

- Mobilisation limitée du capital au démarrage
- Sécurité assurée par la maintenance continue et le suivi de performance
- Optimisation et prévisibilité des coûts énergétiques sur le long terme
- Réduction de l'exposition aux variations du prix des énergies fossiles
- Respect des exigences réglementaires (performance énergétique, transition écologique, reporting)
- Amélioration du confort thermique des usagers via une régulation précise
- Délégation complète de la maîtrise technique et financière à un opérateur expert

## Expertise et garantie de performance

L'opérateur assure la maîtrise de l'ensemble de la chaîne : étude de faisabilité, ingénierie, travaux, exploitation et maintenance. Ce modèle garantit la fiabilité technique, la pérennité des installations et la rentabilité globale du projet.

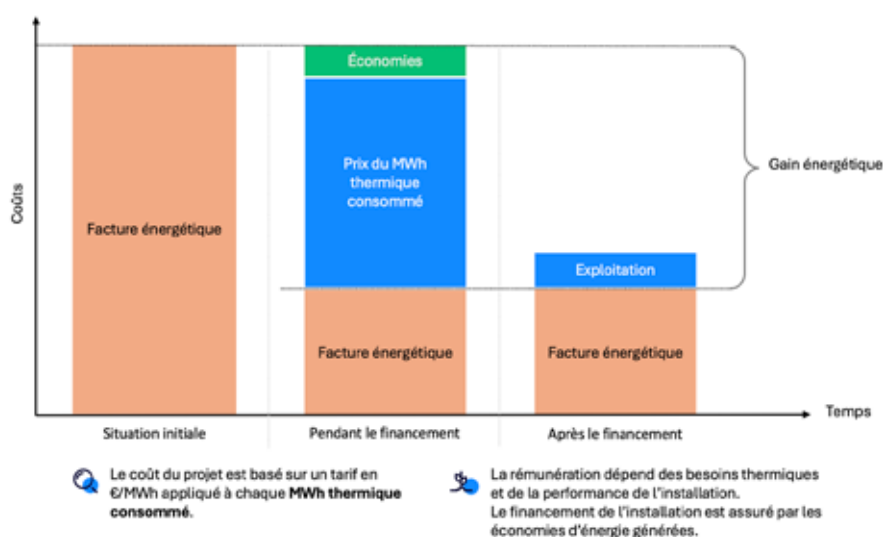


Figure 40 : Schéma du principe de fonctionnement du tiers financement

La Figure 40 illustre le principe du tiers financement appliqué à une installation géothermique, réparti sur trois phases dans le temps :

## 1. Situation initiale (avant la géothermie)

- Le coût total de l'énergie (facture énergétique) est élevé.
- C'est la situation de référence, avant la mise en place du système géothermique.

## 2. Pendant le financement

- L'installation géothermique est en fonctionnement, mais elle est encore en cours de remboursement.
- Les coûts sont désormais répartis :
  - Une partie de la facture énergétique reste (moindre qu'avant).
  - Une partie des économies réalisées est utilisée pour payer le coût du MWh thermique consommé (représente le financement de l'installation).
  - Le reste des économies est conservé par le bénéficiaire (zone verte : «Économies»).

Le principe du tiers financement : une entreprise tierce prend en charge l'investissement initial, et se rembourse via une fraction des économies générées sur la facture énergétique.

## 3. Après le financement

- L'installation est amortie.
- Le seul coût restant est celui de l'exploitation (très réduit).
- La facture énergétique baisse fortement.
- Le gain énergétique net est total pour le bénéficiaire (zone indiquée par la grande accolade droite).



# LA RÉGIONALISATION

---

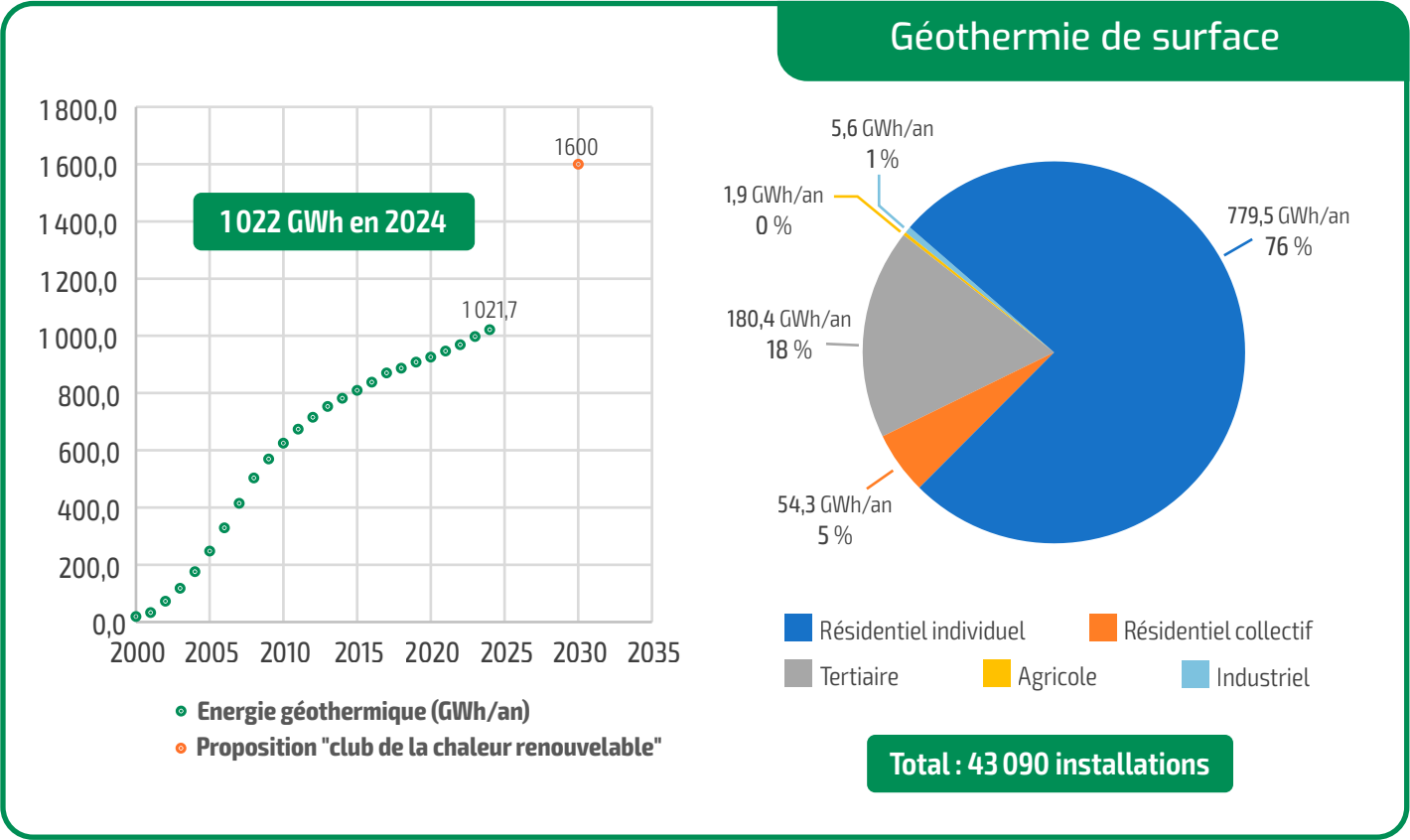


Ce chapitre est nouvellement créé au sein des études de filière, et vise à présenter l'état des lieux du développement de la géothermie à un échelon régional. La Corse et l'outre-mer ne font pas l'objet de fiches, dans la mesure où très peu d'opérations sont recensées. Les données relatives à la centrale de Bouillante (Guadeloupe) sont présentées dans le chapitre dédié à la production d'électricité par géothermie profonde.

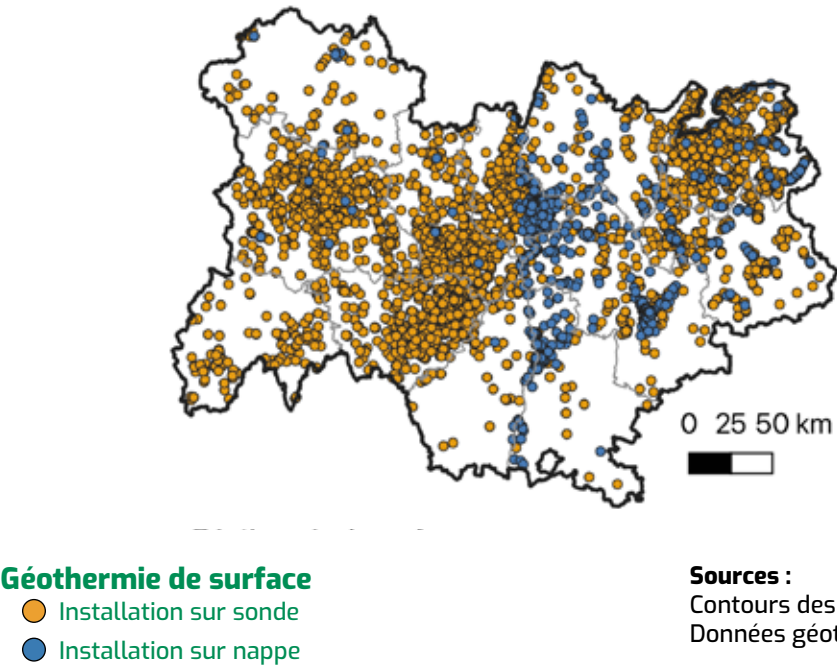
Les valeurs 2030 affichées en géothermie de surface dans ce chapitre sont issues de travaux menés par le club de la chaleur renouvelable début 2025, présentés à la DGEC lors des échanges préparatoires à la PPE3. La commande qui avait été faite au club de la chaleur renouvelable était de régionaliser les données pour atteindre 10 TWh au national. Ces valeurs avaient pour but d'alimenter les échanges pour l'établissement des PPE régionalisées.

La filière se fixe des objectifs ambitieux et propose de les rehausser. Les valeurs proposées lors de la consultation pour la PPE 3 ne sont pas encore officialisées et ne seront donc pas présentées dans cette étude. Une note sera produite par la filière dans les mois qui suivent la publication de ce document.

# Auvergne - Rhône-Alpes

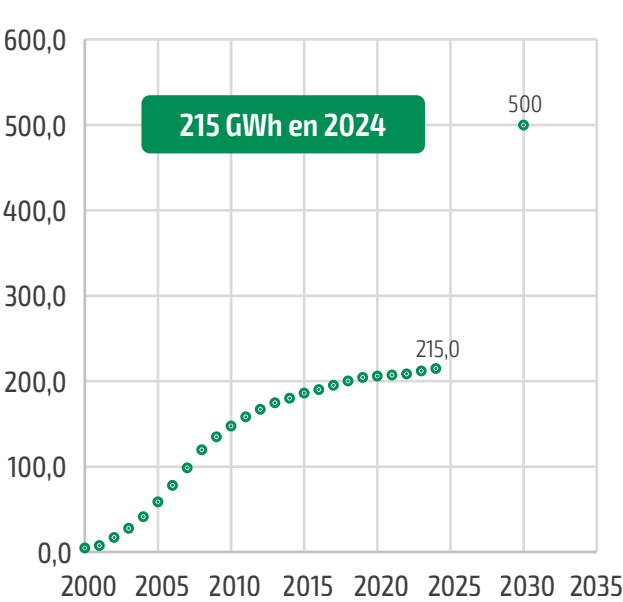


Carte des installations recensées en région Auvergne - Rhône-Alpes

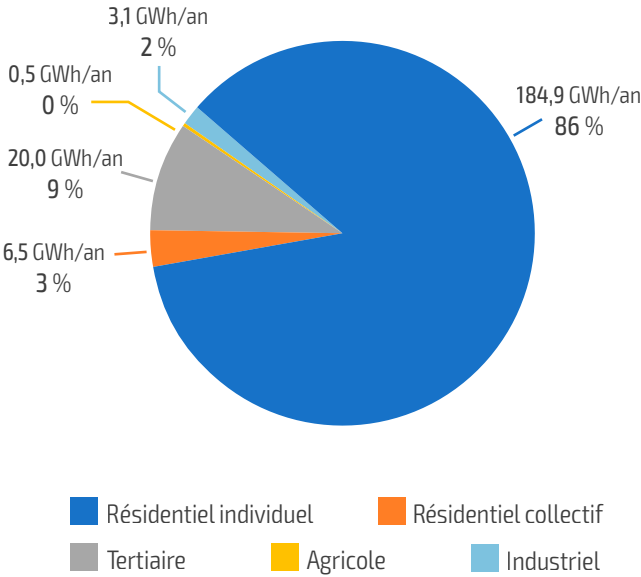


# Bourgogne-Franche-Comté

## Géothermie de surface

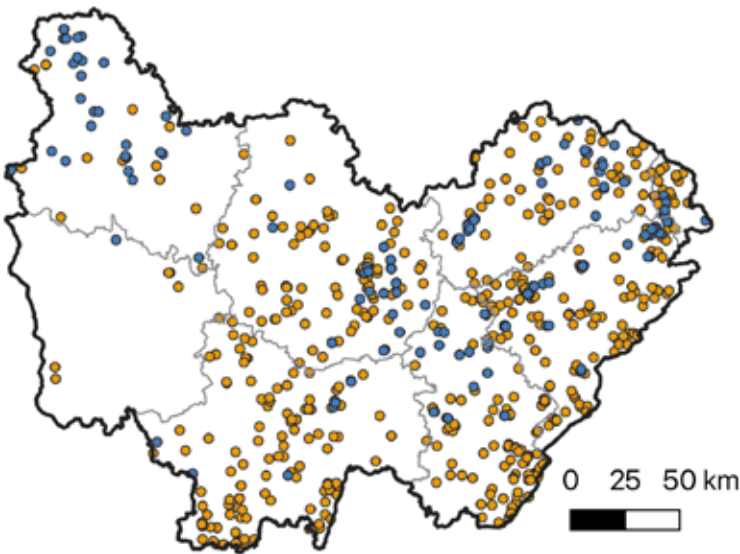


- Energie géothermique (GWh/an)
- Proposition "club de la chaleur renouvelable"



Total : 10 100 installations

## Carte des installations recensées en région Bourgogne-Franche-Comté

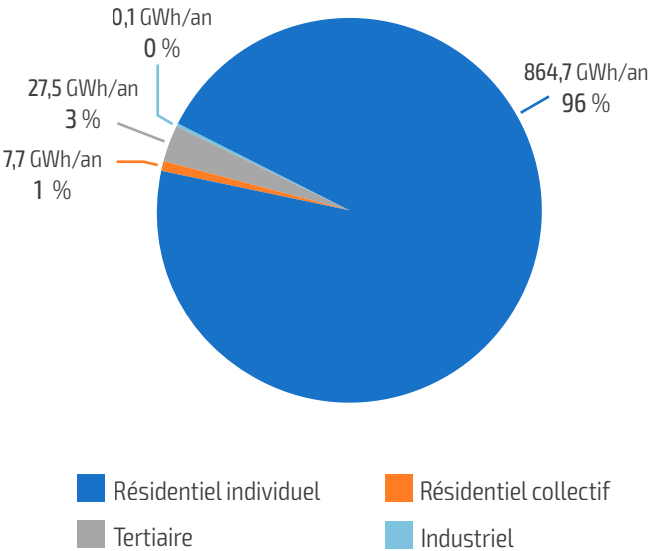
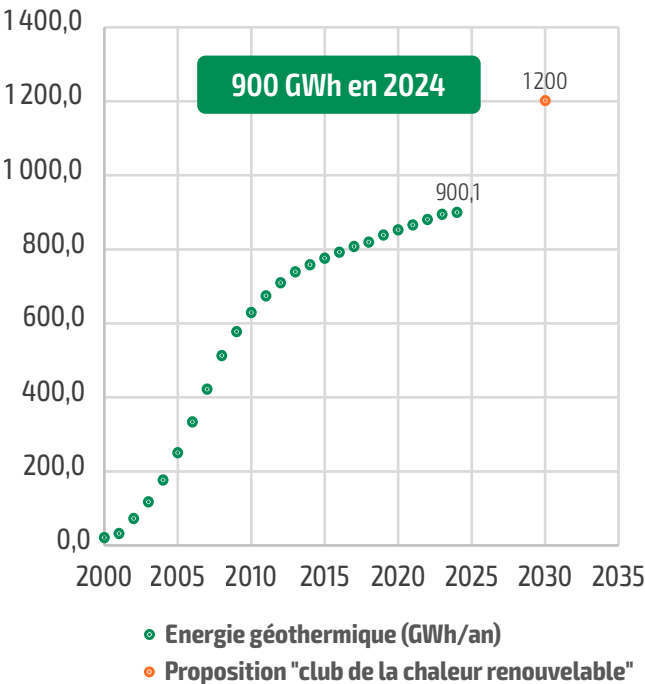


- Géothermie de surface**
- Installation sur sonde
  - Installation sur nappe

**Sources :**  
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

# Bretagne

## Géothermie de surface



Total : 46 640 installations

Carte des installations recensées en région Bretagne



**Géothermie de surface**

● Installation sur sonde

● Installation sur nappe

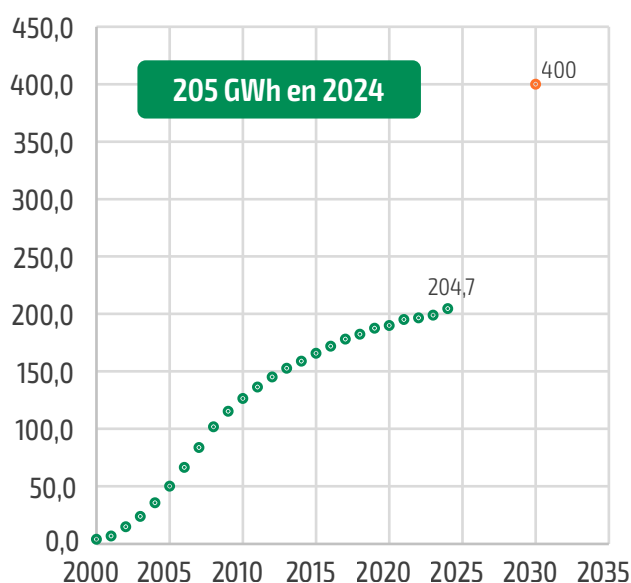
**Sources :**

Contours des régions et départements : OSM

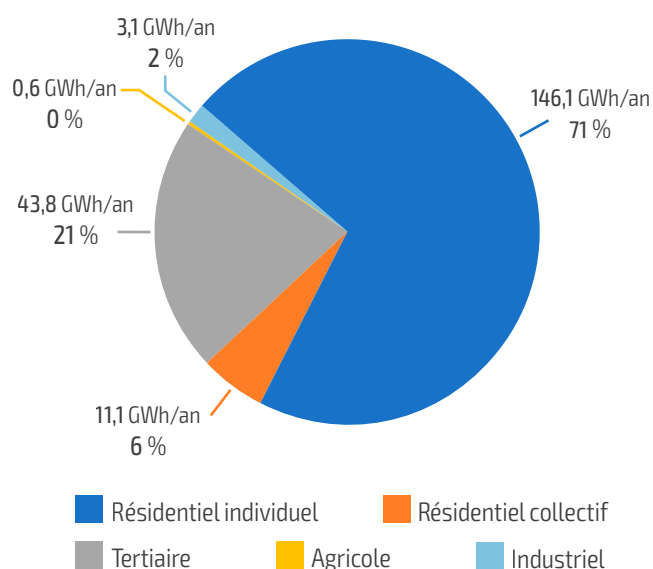
Données géothermiques : BSS / BRGM

## Centre-Val de Loire

### Géothermie de surface



- Energie géothermique (GWh/an)
- Proposition "club de la chaleur renouvelable"



**Total : 8 120 installations**

### Géothermie profonde

#### Production annuelle estimée :

Opération de Chateauroux  
**7,9 GWh/an**  
 (délivré sur réseau de chaleur)

#### Géothermie de surface

- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

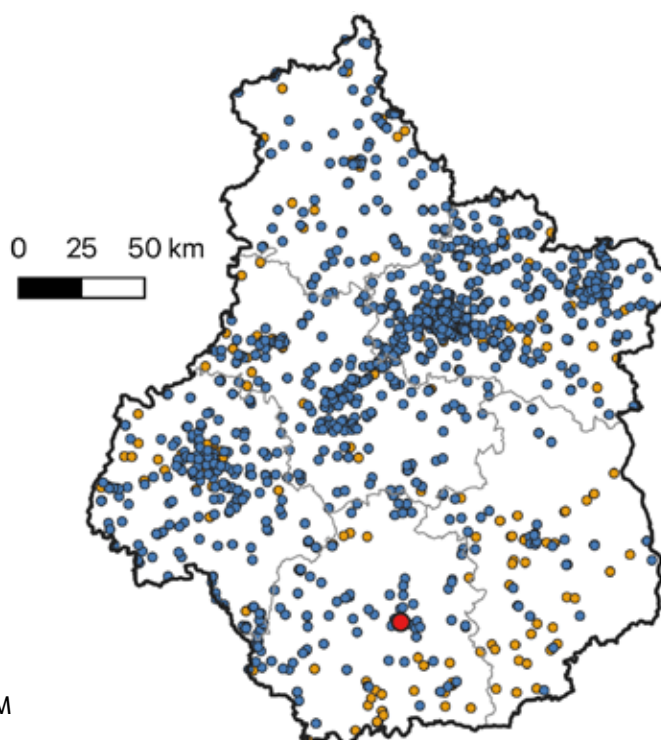
#### Géothermie profonde

- Installation de production de chaleur

#### Sources :

Contours des régions et départements : OSM  
 Données géothermiques : BSS / BRGM

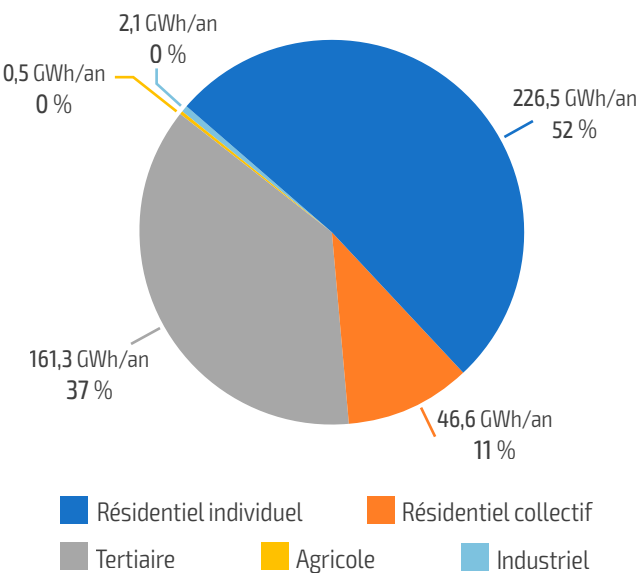
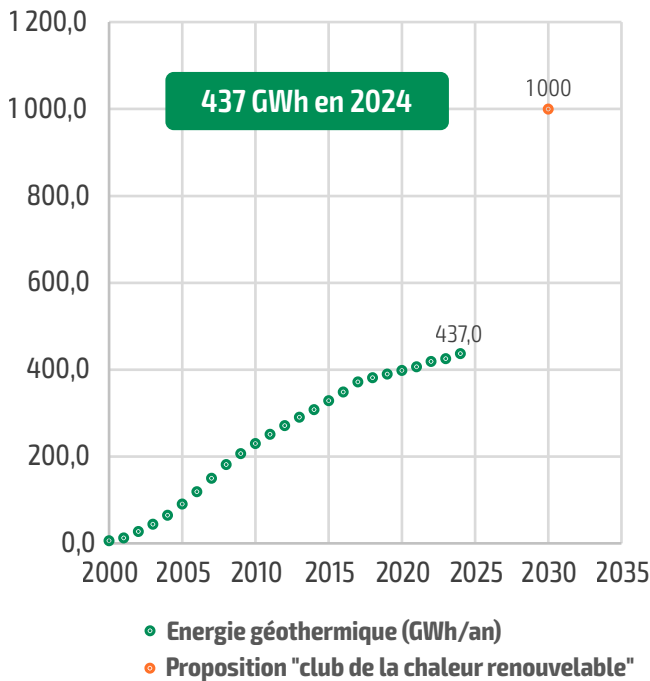
### Carte des installations recensées en région Centre-Val de Loire





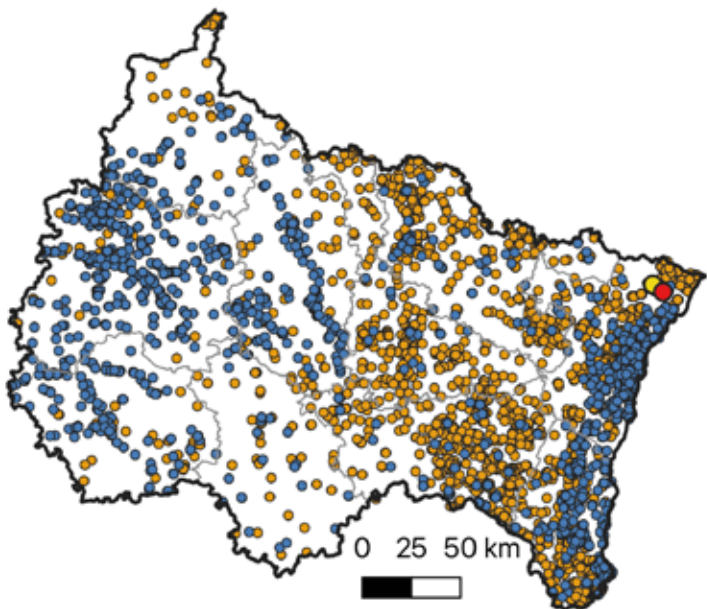
# Grand Est

## Géothermie de surface



Total : 13 200 installations

## Carte des installations recensées en région Grand Est



## Géothermie profonde

**Production annuelle de chaleur :**  
Opération de Rittershoffen  
**153 GWh/an** (chaleur industrielle)

**Production annuelle d'électricité :**  
Opération de Soultz-sous-Forêts  
**5 GWh/an** (ORC)

### Géothermie de surface

- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

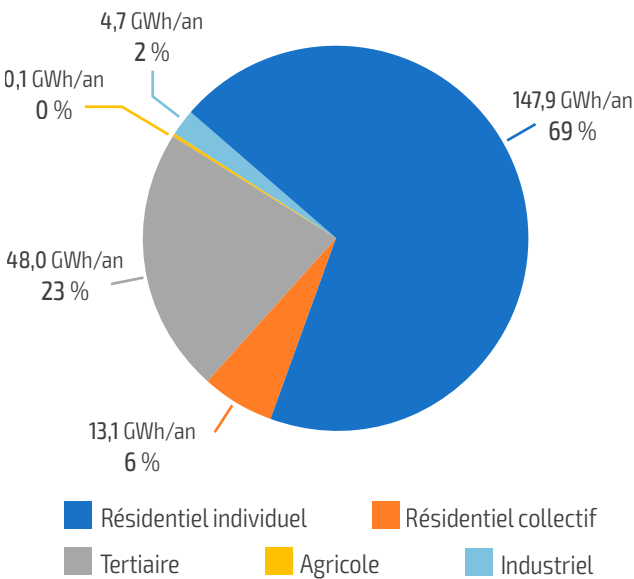
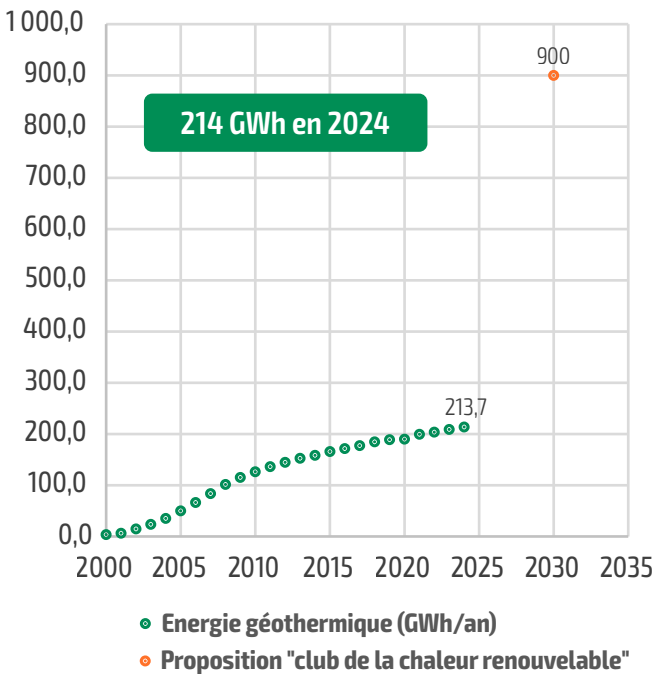
### Géothermie profonde

- Installation de production de chaleur
- Installation de production d'électricité

**Sources :**  
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

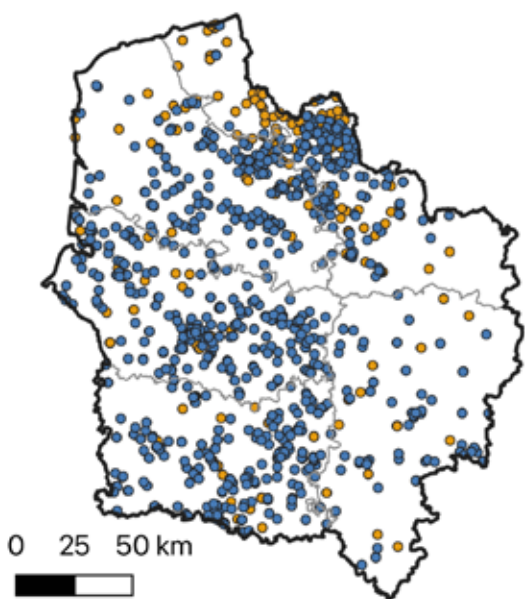
# Hauts-de-France

## Géothermie de surface



Total : 8 220 installations

## Carte des installations recensées en région Hauts-de-France



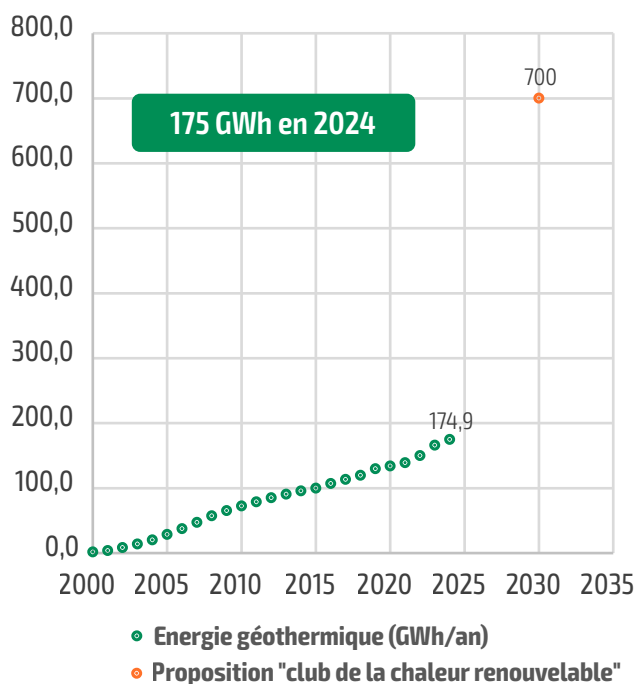
### Géothermie de surface

- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

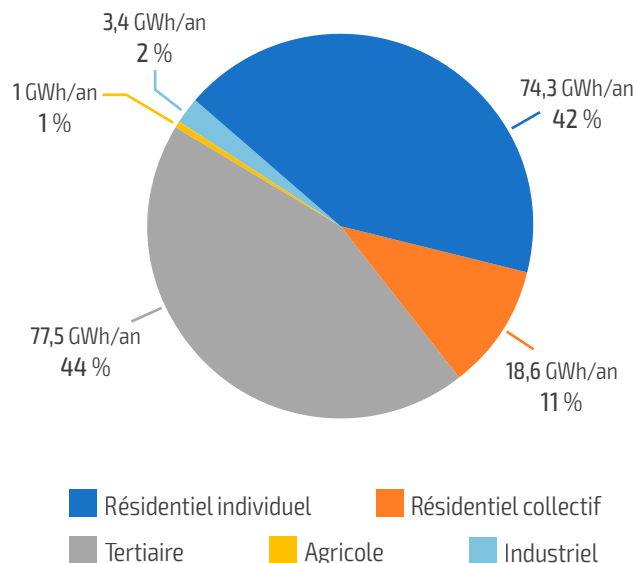
### Sources :

Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

## Île-de-France

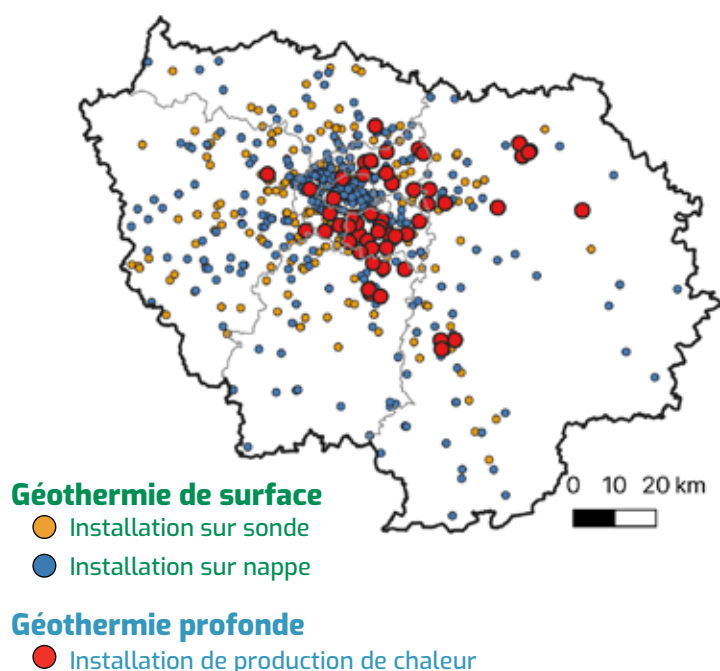


### Géothermie de surface



**Total : 4 330 installations**

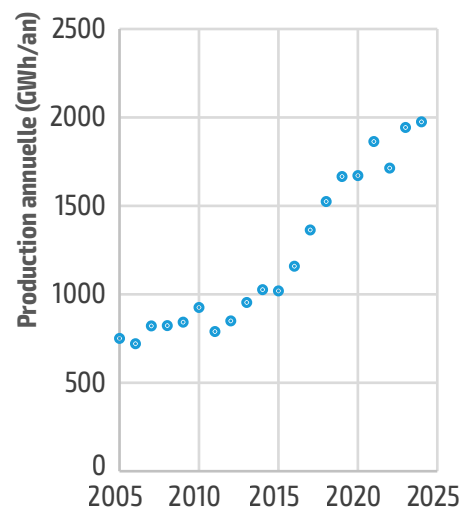
### Carte des installations recensées en région Île-de-France



**Sources :**  
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

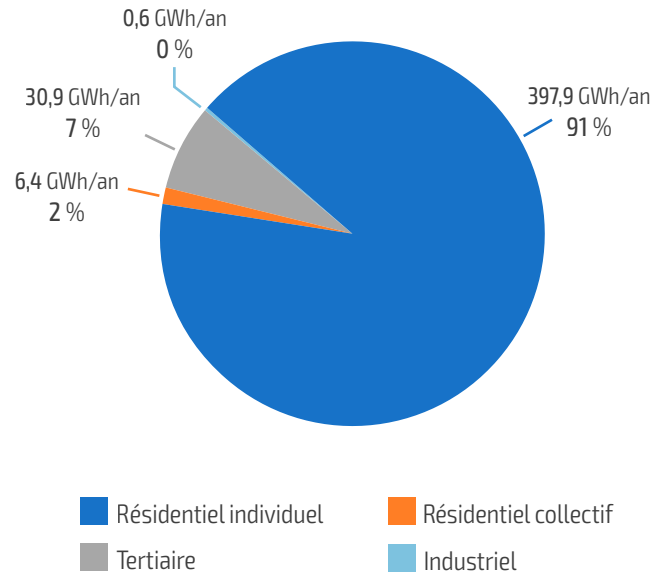
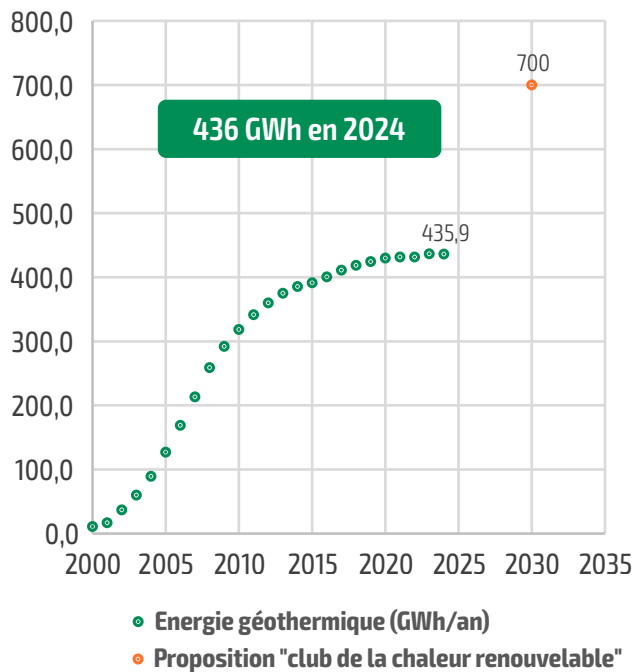
### Géothermie profonde

**Production annuelle de chaleur :**  
54 opérations  
1974 GWh/an



# Normandie

## Géothermie de surface

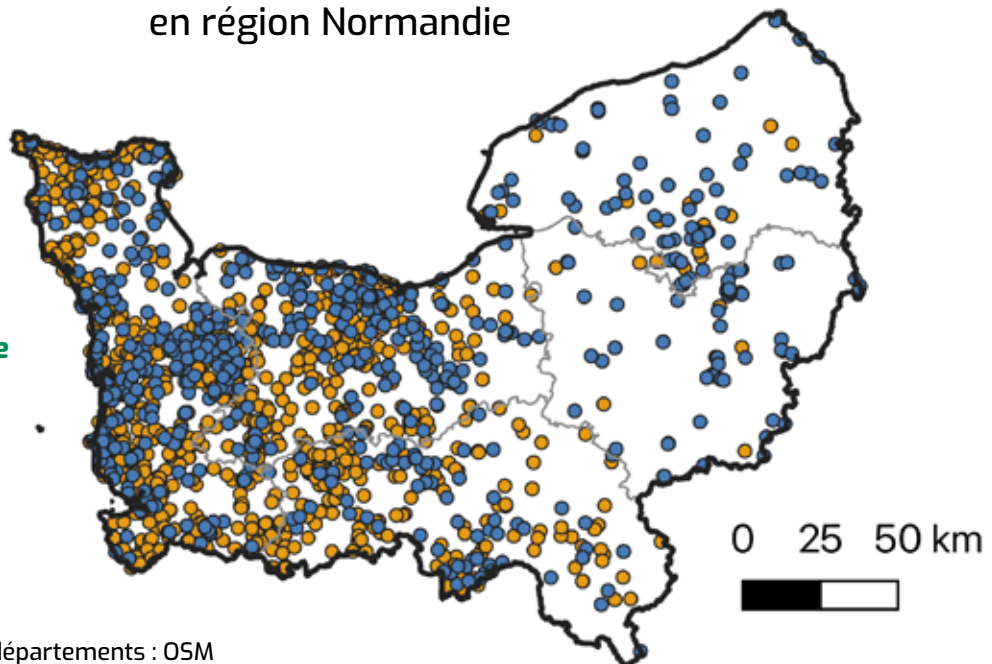


Total : 21 550 installations

## Carte des installations recensées en région Normandie

### Géothermie de surface

- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

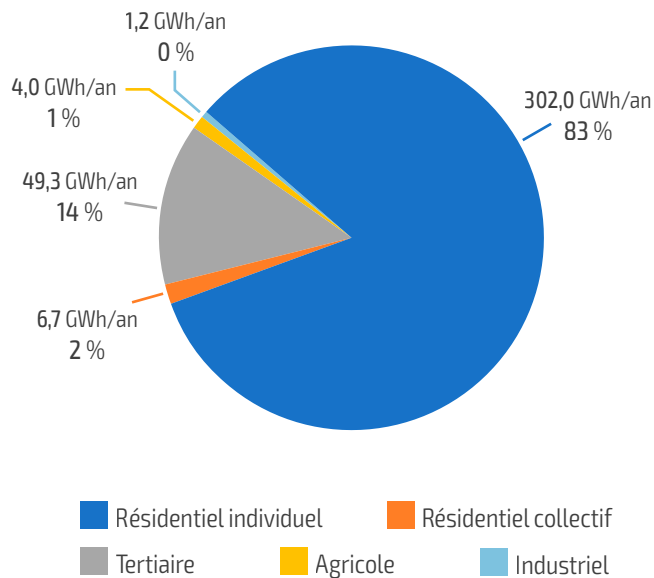
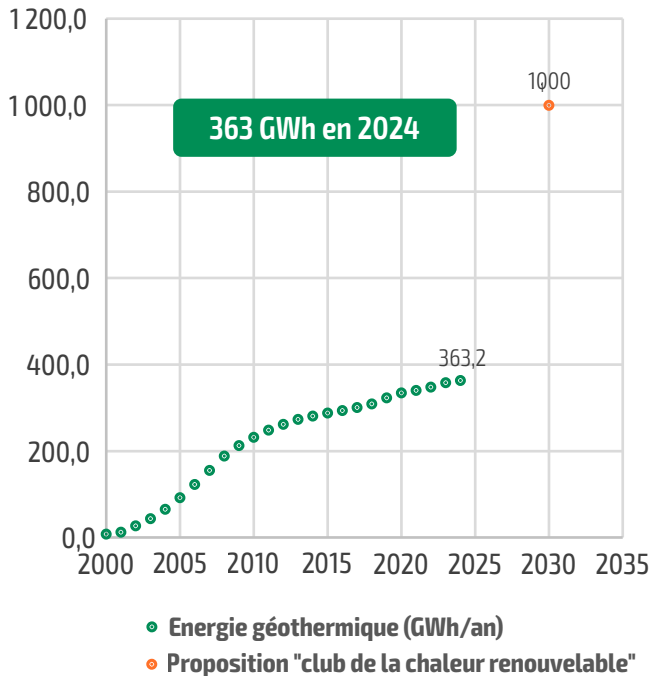


### Sources :

Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

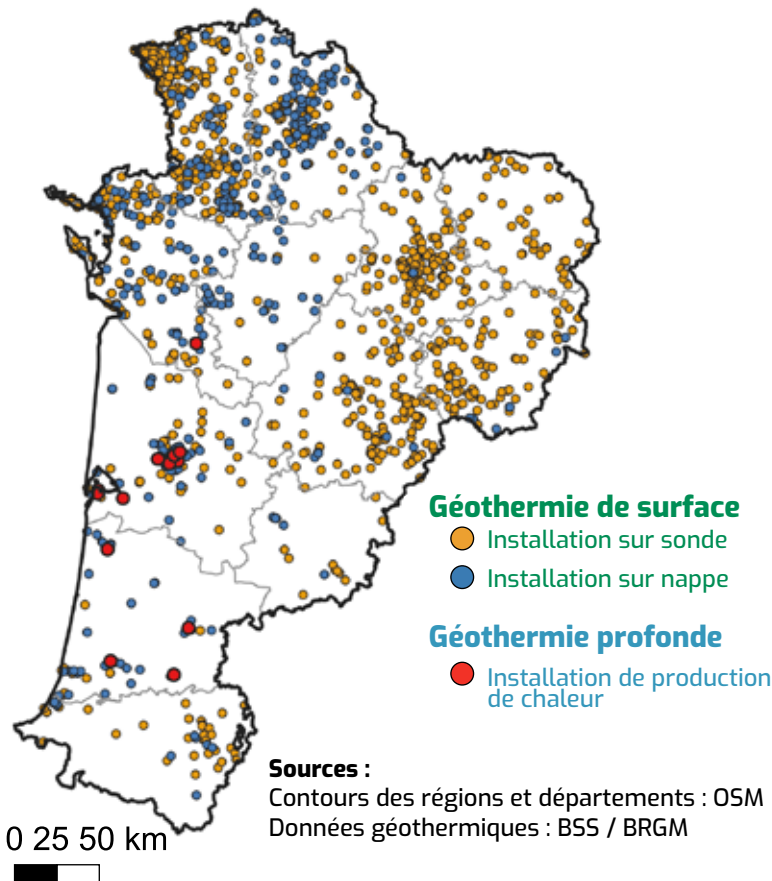
# Nouvelle-Aquitaine

## Géothermie de surface



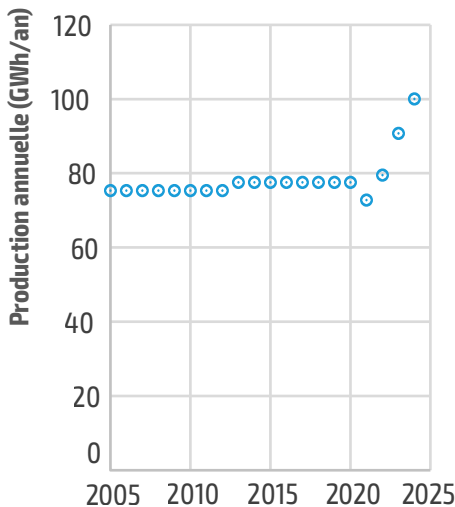
Total : 16 440 installations

## Carte des installations recensées en région Nouvelle-Aquitaine



## Géothermie profonde

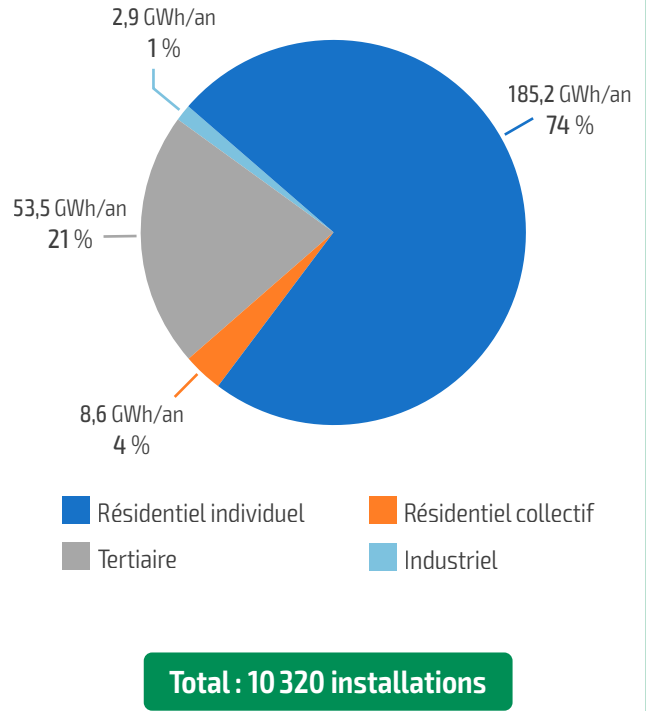
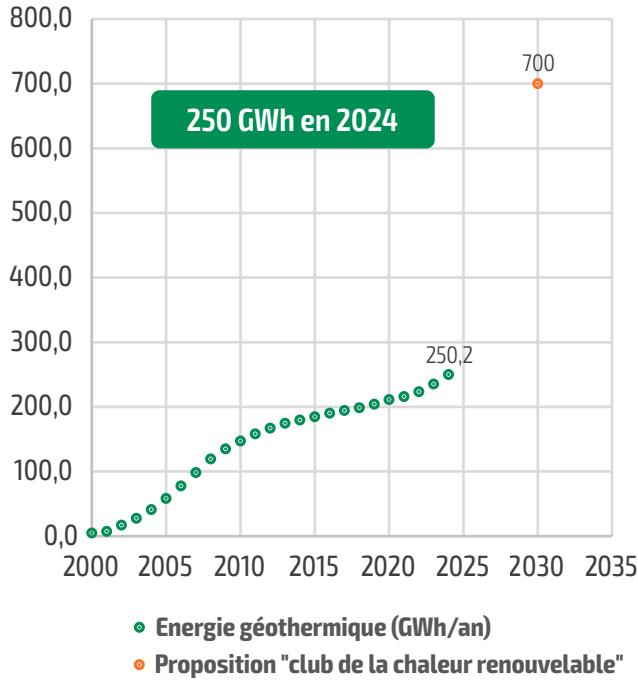
Production annuelle de chaleur :  
14 opérations  
100 GWh/an



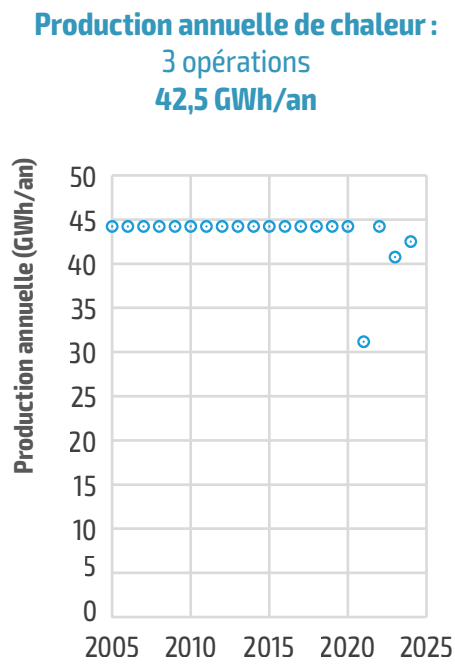


# Occitanie

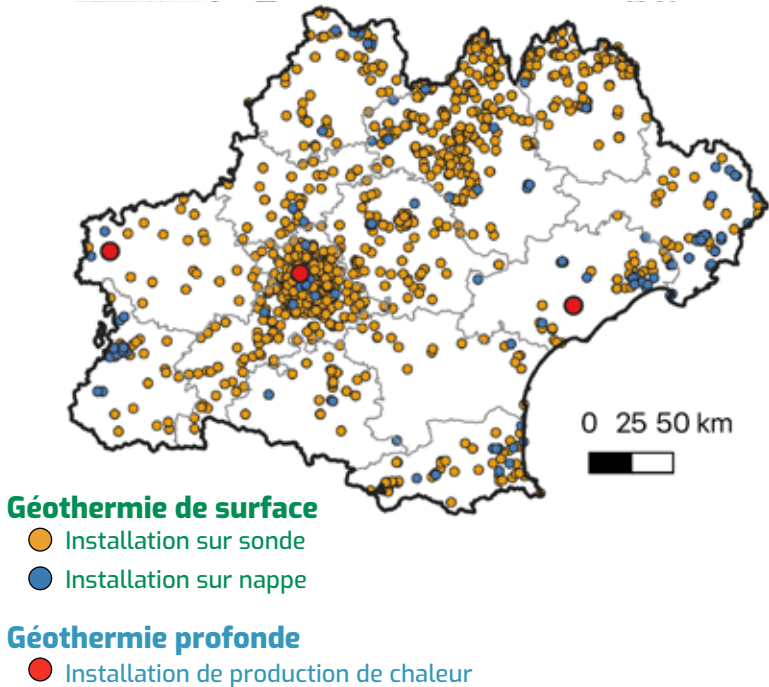
## Géothermie de surface



## Géothermie profonde



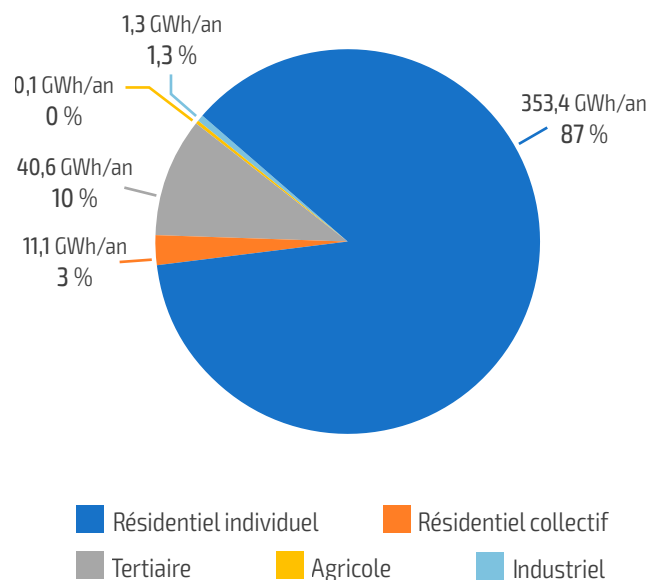
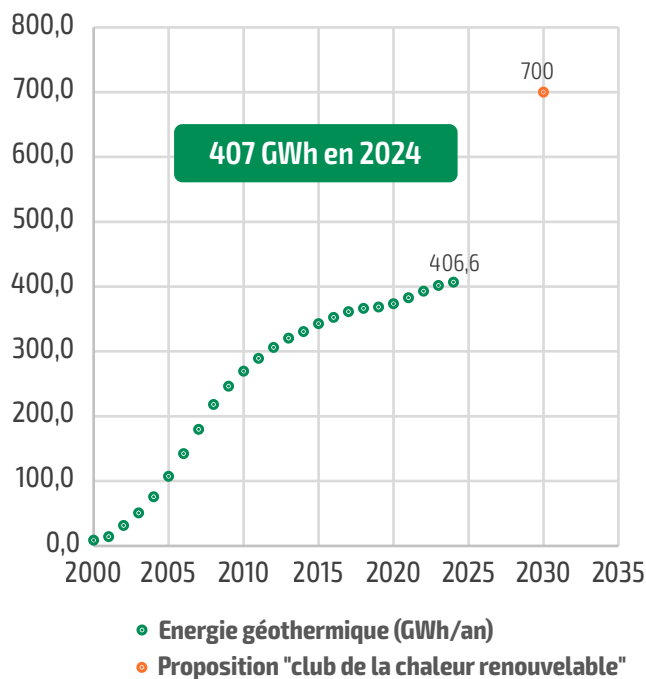
## Carte des installations recensées en région Occitanie



Sources :  
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

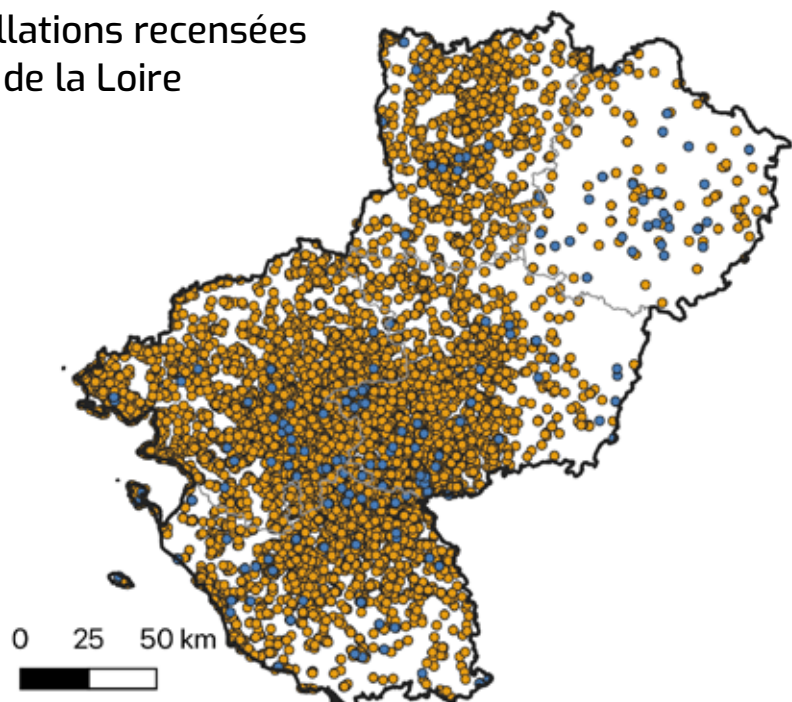
# Pays de la Loire

## Géothermie de surface



Total : 19 310 installations

## Carte des installations recensées en région Pays de la Loire



### Géothermie de surface

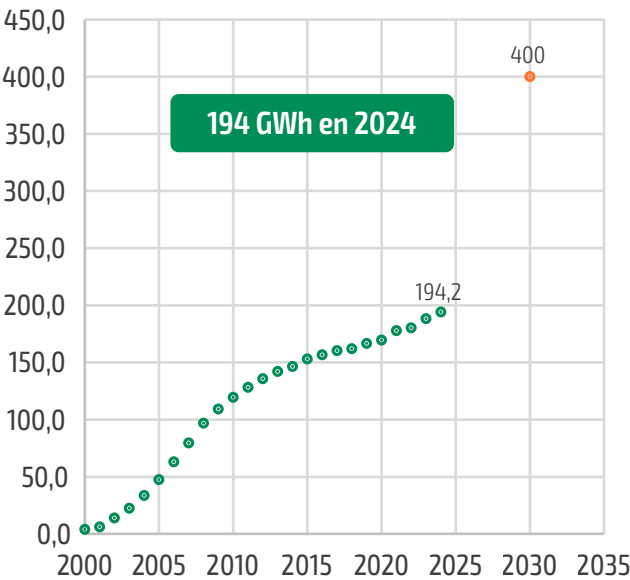
- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

### Sources :

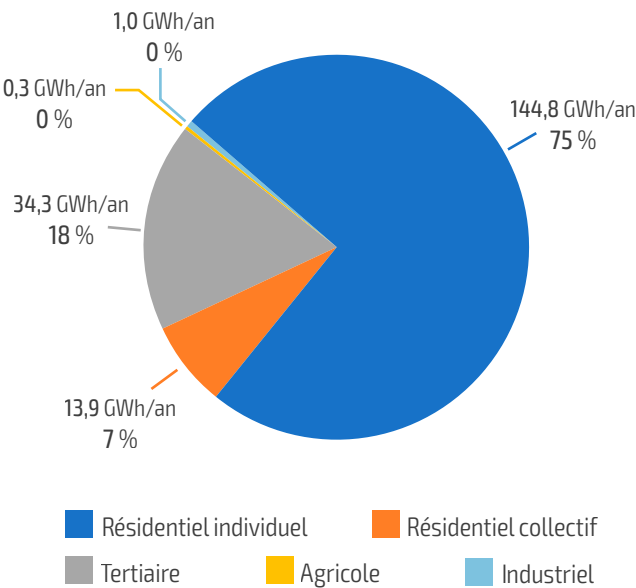
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

# Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Géothermie de surface

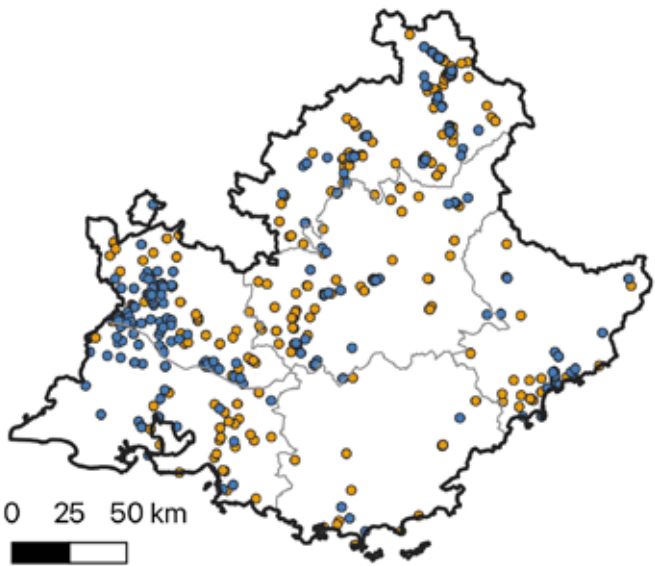


● Energie géothermique (GWh/an)  
● Proposition "club de la chaleur renouvelable"



Total : 7 950 installations

## Carte des installations recensées en région Occitanie



### Géothermie de surface

- Installation sur sonde
- Installation sur nappe

Sources :  
Contours des régions et départements : OSM  
Données géothermiques : BSS / BRGM

## ■ Le mot du président

### Les acteurs sont prêts !

---

Plan d'action national pour la géothermie, nouveau fonds de garantie, réhausse des seuils de la GMI, exploration du sous-sol dans les grands bassins, soutien des pouvoirs publics et filière géothermie plus motivée que jamais : le décor est planté !

Institutionnels, professionnels de la géothermie, animateurs régionaux, industriels du monde de l'énergie, collectivités, fédérations professionnelles du monde de l'énergie et de la décarbonation, bureaux d'études, foreurs, : les acteurs sont prêts !

Multiplication par 3 de l'énergie produite par géothermie(s), décarbonation de l'industrie, développement et géo-thermisation des réseaux de chaleur, intégration du froid et du géo-cooling, relance de la production d'électricité géothermale en zone volcanique, souveraineté énergétique et solution de lutte contre le dérèglement climatique et d'adaptation à ses conséquences : le scénario est écrit, il est ambitieux et crédible !



Alors...

Pour que le film soit une réussite, poursuivons le travail collectif pour que les Géothermies occupent progressivement la place qu'elles méritent dans notre mix énergétique à l'échelle de nos habitations, du tertiaire, de nos industries et de nos villes.

Eric Lasne, Président AFPG.

**Éditeur** : AFPG • 77 rue Claude Bernard 75005 Paris

**Directeur de la publication** : Eric Lasne

**Coordinatrice du projet** : Justine Goursaud

**Graphisme et mise en page** : Philippe Lapointe

**L'AFPG remercie** l'ensemble des contributeurs et contributrices ayant permis la réalisation de ce document au sein du BRGM, de l'ADEME, du SER, de la FEDENE, de l'AFPAC, d'Observ'ER, du pôle AVENIA et du SFEG.

**Imprimé** chez ABSURDE Impression à Strasbourg

**Dépôt légal** : novembre 2025



Retrouvez les dernières publications de l'AFPG

[www.afpg.asso.fr/mediatheque](http://www.afpg.asso.fr/mediatheque)

## Les partenaires de cette édition





# 209 000

installations en  
géothermie de surface

dont  
**900** nouvelles  
installations  
en 2024

dont



**500**  
installations  
dans le résidentiel  
individuel



**400 installations**

dans les secteurs  
du résidentiel collectif,  
du tertiaire, de l'agriculture  
et de l'industrie

ce qui représente  
**environ 800 nouvelles  
PAC installées**  
pour ces marchés.

# 4,82<sup>TWh</sup>

de chaud et de froid  
issus de la géothermie  
de surface

## Géothermie de surface



## Géothermie profonde

Production  
de chaleur

# 73

opérations

# 1 million

de personnes chauffées  
en France

# 2,28<sup>TWh</sup>

produits  
par géothermie  
profonde

Production d'électricité

# 2

centrales électrogènes

**15,5 MW**  
à Bouillante  
en Guadeloupe

**1,7 MW**  
à Soultz-sous-Forêts  
en Alsace

## Lithium géothermal

Un projet  
alsacien

production de  
**2 000 tonnes**  
de carbonate  
de lithium par an

=  
**140 000**  
batteries  
de lithium



Projets  
futurs

en Métropole

# 19 7

permis de recherche  
« **géothermie** »

permis de recherche  
« **lithium** »



# 8

permis de recherche  
« **géothermie** »

en France d'outre-mer