



HAUT-COMMISSARIAT
AU PLAN

*Liberté
Égalité
Fraternité*

OUVERTURE

n° 12
11 octobre 2022

RESPONSABILITÉ CLIMATIQUE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE : UNE ARME PUISSANTE

RESPONSABILITÉ CLIMATIQUE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE : UNE ARME PUISSANTE

Avant-propos de François Bayrou, Haut-Commissaire au Plan

*Le défi énergétique est le plus important que les pays du monde aient à affronter en ces temps de crise climatique. Nos sociétés ne peuvent se concevoir sans une consommation d'énergie qui irrigue chacun des secteurs de l'activité humaine : le logement, les déplacements, les modes de vie, la production industrielle et agricole, les échanges y compris les échanges numériques. Mais cette omniprésence des différentes sources d'énergie émettrices de gaz à effet de serre, notamment de CO₂, aggrave considérablement la contribution humaine au **déséquilibre climatique**.*

*Face à ce dilemme, s'élaborent peu à peu les **stratégies** auxquelles nous nous sommes collectivement engagés **pour décarboner** autant que possible nos modes de vie.*

*Le premier enjeu est la décarbonation **des usages**. Pour atteindre cet objectif, la réponse la plus fréquente est **l'électrification des activités**. C'est en particulier le cas pour les mobilités : remplacement systématique du moteur thermique qui émet beaucoup de CO₂ dès qu'il est en fonctionnement, par le moteur électrique, alimenté par batterie ou par une pile à combustible embarquée qui produit à la demande le courant électrique par oxydation de l'hydrogène. C'est aussi le cas des usages domestiques, notamment lorsqu'il s'agit des modes de chauffage. Dès lors, **la question essentielle devient celle de la production d'électricité la plus économe possible en émissions de gaz à effet de serre**. Les sources renouvelables sont bien connues : éolien, qu'il soit terrestre ou offshore, photovoltaïque, unités de production hydroélectriques, en particulier. Mais beaucoup d'entre elles sont intermittentes. D'où le recours nécessaire à des ressources pilotables indispensables en complément des unités renouvelables. Les sources pilotables traditionnelles sont fortement bien qu'inégalement émettrices (charbon, fuel, gaz), à la seule exception du nucléaire, technologie exigeante mais qui garantit des productions à l'échelle des besoins quasiment sans émissions de CO₂.*

C'est cette réflexion qui a justifié les choix du Président de la République et du gouvernement en faveur d'un plan ambitieux de sécurisation et de relance de notre capacité électronucléaire.

Cependant, au moment où la crise énergétique a été considérablement aggravée par l'agression russe contre l'Ukraine, d'autres efforts et d'autres technologies doivent être mobilisées pour aller vers un équilibre durable en matière climatique et énergétique.

À juste raison, nombre des intervenants sur cette question de l'énergie insistent sur la nécessaire sobriété. **Le KWh le moins émetteur et le moins cher est assurément le KWh que l'on n'utilisera pas.** D'où les politiques qui incitent à la baisse de la dépense énergétique : isolation des bâtiments, frugalité des usages, acceptation d'un abaissement des standards de confort, baisse de la consommation des appareils ou des moteurs, par la persuasion ou par la contrainte.

Mais il est étonnant de constater que sont relativement peu exploitées les pistes de réflexion qui conduisent à des **usages efficaces**, répondant **aux standards de confort**, et en même temps **économiques en énergie**.

Une des pistes les plus prometteuses est la mise en exploitation d'un gisement quasi-inépuisable d'énergie, compatible avec les besoins les plus avancés en matière de climatisation, qu'il s'agisse de chauffage collectif ou individuel, et de refroidissement en période de grosses chaleurs.

Ce gisement est sous nos pieds : il est contenu dans le sous-sol de nos villes et de nos campagnes, il est gratuit, inépuisable, sans aucune pollution, et il peut à court terme compléter avantageusement ou même se substituer à tous les autres systèmes de production de chaleur ou de froid, en générant de très importantes économies de fonctionnement.

Les unités de géothermie sont de natures très différentes. Le Haut-Commissariat au Plan n'étudiera ici que les systèmes de géothermie de surface (de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de profondeur). Il envisagera dans une autre étude la géothermie profonde (plusieurs milliers de mètres de profondeur) en raison de la mise en évidence de questions de coût de forage et de fonctionnement, et de certains risques de sismicité qui ont été révélés récemment.

Le but industriel n'est d'ailleurs pas le même dans les deux types de géothermie : la géothermie profonde a pour but, grâce aux températures atteintes à ces grandes profondeurs, de produire non seulement de la chaleur mais aussi de l'électricité par l'entraînement de turbines de grande capacité. Et la recherche de production de lithium, par exemple, pour prometteuse qu'elle soit, est

un enjeu industriel qui mobilise des techniques, par exemple de fracturation hydraulique, très exigeantes. **Mais la géothermie de surface n'a aucun de ces inconvénients** : elle permet d'avoir accès, à des coûts bas, à une production calorifique ou frigorifique, par les technologies maîtrisées et améliorables du forage et de la pompe à chaleur. C'est un mode de production économe, sans altération sensible dans le temps, et qui utilise simplement les capacités sans limite de notre planète, directement sur place, par le circuit de production/consommation le plus court possible.

Son potentiel est considérable. À ce jour en France métropolitaine, la géothermie de surface fournit seulement 3 % de la chaleur renouvelable, soit un peu plus de 1 % de la chaleur produite en France – la production de froid est négligeable aujourd'hui. De mise en œuvre rapide, la géothermie peut être déployée au niveau de l'habitat individuel, sans impact sur nos paysages, et ne rejette pas de gaz à effet de serre. **En additionnant les différents gisements, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) estime à 100 TWh annuels le potentiel d'économie de gaz accessible d'ici 15 à 20 ans grâce à la géothermie de surface. On peut donc penser que la géothermie GMI¹ qui peut être implantée sur l'ensemble du territoire français (quelle que soit la géologie sous-jacente) pourrait apporter 100 TWh d'énergie souveraine indépendante des fluctuations des prix des énergies fossiles, non polluante et non émettrice de gaz à effet de serre, soit l'équivalent, en matière de production électrique, d'environ 5 tranches nucléaires.**

Le Haut-Commissariat au Plan considère donc possible et nécessaire le lancement d'un plan d'action ambitieux de développement de la géothermie de surface. Ce programme pourra contribuer substantiellement à nos objectifs de souveraineté stratégique et énergétique, d'atteinte de la neutralité carbone et de sortie des énergies fossiles.

Ce plan comporte quatre volets :

- **développer la formation de professionnels du secteur pour renforcer le socle de compétences et accroître le volume de l'offre.** Cet effort de formation, estimé à 60 millions d'euros en 7 ans environ, vise à augmenter le nombre de foreurs sur le territoire national. De quelques centaines à peine pour l'ensemble de notre pays aujourd'hui, leur nombre devra atteindre plusieurs milliers qui seront nécessaires pour mener à bien un vaste plan de remplacement des chaudières au gaz et au fioul par des pompes à chaleur géothermiques. Cette capacité de maîtrise de la filière forage, la France l'avait, elle l'a perdue au fil des années, elle doit la reconquérir.

1 - Géothermie de Minime Importance.

- **développer les capacités de forage et l'offre de systèmes de chauffage, actuellement insuffisantes pour répondre à une demande plus élevée.** Le développement de la géothermie de surface passe par un renforcement de notre capacité industrielle, aujourd'hui insuffisante en ce qui concerne les outils de forage comme en matière de production de pompes à chaleur. Par une programmation pluriannuelle, les pouvoirs publics pourraient conférer aux industriels concernés la visibilité nécessaire sur les perspectives de déploiement de la géothermie et leur permettre d'engager la montée en charge de l'outil industriel.
- **réduire, pour les particuliers et le tertiaire, l'effort d'investissement initial et les risques financiers.** La géothermie de surface est un gisement important d'économies, grâce à une consommation électrique de 30 % inférieure à celle d'une pompe à chaleur aérothermique, mais son coût d'investissement initial est plus élevé. C'est donc un dispositif d'incitation coordonné entre l'État, les collectivités territoriales et les organismes de financement qu'il convient de mettre en œuvre.
- **établir de manière plus précise la cartographie du territoire,** pour favoriser le développement de la géothermie de surface, en repérant notamment les zones les plus favorables à des forages performants.

François Bayrou
Haut-Commissaire au Plan

LA GÉOTHERMIE DE SURFACE : UNE ARME PUISSANTE

L'activité interne de la Terre produit des phénomènes thermiques et génère une source d'énergie permanente. Cette énergie peut être transférée sous forme de chaleur soit aux eaux souterraines naturelles soit à un fluide caloporteur artificiel. La technique d'exploitation de ces eaux et de ces fluides, pour le chauffage, pour la climatisation ou pour l'électricité, est appelée géothermie. On distingue habituellement deux catégories de ressources géothermales² :

- **La géothermie de surface** : utilisée pour le chauffage ou le rafraîchissement, en fonction de la saison, des particuliers (maisons individuelles et habitat collectif) et du tertiaire, elle consiste à récupérer la chaleur du sous-sol (quelques dizaines de degrés) généralement entre 0 et 200 mètres de profondeur grâce à des sondes géothermiques et à la transférer par un fluide caloporteur (eau et antigel) vers un échangeur thermique (pompe à chaleur) ;
- **La géothermie profonde** : utilisée pour la production de chaleur ou de vapeur mais également pour la production et la distribution d'électricité, elle exige des forages profonds, très supérieurs à 200 mètres (généralement compris entre 1 500 et 3 000 mètres), là où les températures sont bien plus élevées qu'en surface, l'élévation moyenne de température étant d'environ 30 degrés Celsius par kilomètre de profondeur.

La géothermie de surface présente un très fort potentiel en réponse à la demande énergétique des bâtiments. Elle repose en effet sur l'exploitation de ressources présentes partout sur les continents et nécessite des technologies, notamment de forage, relativement peu onéreuses.

À l'heure où l'indépendance stratégique et énergétique de la France doit être renforcée, elle est un atout incontournable pour la transition écologique³ et énergétique à laquelle la France doit parvenir.

2 - Jacques Vernier, *Les énergies renouvelables*, PUF, Que sais-je ?, 2017.

3 - « Transition écologique en France : et la géothermie ? », Jacques Varet, *Futuribles*, 2018/4, n° 425.

Dans une note de mars 2021, « Electricité : le devoir de lucidité », le Haut-Commissariat au Plan appelait, afin de sécuriser notre approvisionnement en électricité, des décisions concrètes, rapides et d'envergure. Notre souveraineté énergétique est devenue plus nécessaire encore dans un contexte de hausse des prix de l'énergie, qui résulte en partie des tensions géopolitiques actuelles, et de dérèglement climatique. Cet objectif d'autonomie et de décarbonation passe par un effort de sobriété, par la relance du programme électronucléaire de la France et par le développement parallèle des énergies renouvelables. C'est ainsi que le Président de la République a annoncé le 10 février 2022 à Belfort la construction de 6 EPR2, plus 8 en option. Du côté des énergies renouvelables, l'accent est le plus souvent mis sur l'énergie éolienne (en mer notamment), les gaz « verts » ou le photovoltaïque. Pourtant d'autres technologies, moins connues, méritent d'être soutenues.

La géothermie fait sans nul doute partie des sources d'énergie à mobiliser. **Le Haut-Commissariat au Plan propose donc le lancement d'un programme ambitieux de développement de la géothermie de surface, qui pourrait contribuer substantiellement à nos objectifs de souveraineté énergétique, d'atteinte de la neutralité carbone et de sortie des énergies fossiles.**

La France produit moins d'un centième de sa consommation de gaz et 2 % de sa consommation de pétrole⁴, alors que ces formes d'énergie satisfont des besoins vitaux pour notre population et l'économie et sont de nature à déstabiliser, en cas de difficultés d'approvisionnement, nos sociétés et nos économies. En 2020, le gaz naturel est la principale forme d'énergie consommée par l'industrie avec 40 % du total, suivi par l'électricité (35 %) et les produits pétroliers (9 %), les énergies renouvelables (7 %), la chaleur commercialisée (6 %) et enfin le charbon (3 %)⁵. Dans les secteurs résidentiel et tertiaire, le gaz naturel représente près de 30 % (respectivement 29 et 28 %) du bouquet énergétique⁶. Les énergies fossiles, largement importées, composent presque la moitié du bouquet énergétique primaire réel de la France (28 % de pétrole, 16 % de gaz et 2 % de charbon)⁷ alors qu'elles sont la principale cause du réchauffement climatique en cours.

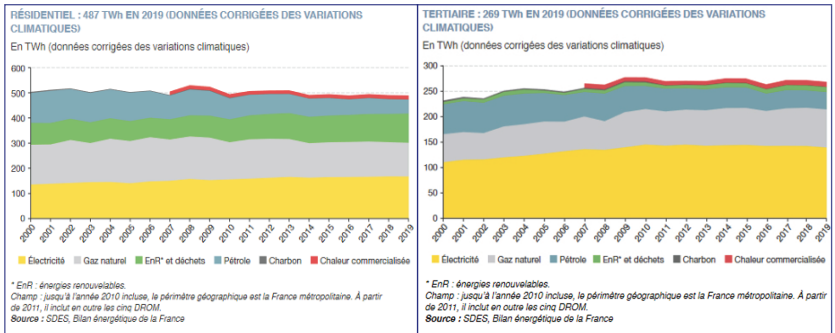
4 - Les chiffres clés de l'énergie, édition 2021, ministère de la transition écologique, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2021/pdf/chiffres-cles-de-l-energie-edition-2021.pdf>.

5 - Ibidem.

6 - Ibidem.

7 - Le bouquet énergétique primaire réel de la France se compose de 40 % de nucléaire, 28 % de pétrole, 16 % de gaz naturel, 14 % d'énergies renouvelables et déchets et 2 % de charbon. In *Les chiffres clés de l'énergie*, op. cit.

Composition de la consommation énergétique des secteurs résidentiel et tertiaire



Source : Les chiffres clés de l'énergie, édition 2021, ministère de la transition écologique.

Ainsi, en plus d'avoir un impact direct sur l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le dérèglement climatique et donc sur la dégradation à grande échelle des conditions de vie sur Terre, les énergies fossiles renforcent nos **vulnérabilités géopolitiques**. Entre juillet 2021 et juin 2022, nous avons ainsi importé de Russie des énergies fossiles pour une valeur d'environ 12,2 milliards d'euros (7,1 milliards d'euros d'hydrocarbures naturels, + 431 % par rapport à la période allant de juillet 2020 à juin 2021, 5,1 milliards d'euros de produits pétroliers raffinés et coke, + 46 %) ⁸. Au total, en 2021, les importations françaises d'énergie ont représenté 65 milliards d'euros ⁹. Notre « facture énergétique » (la balance commerciale de notre pays sur ce poste) est très élevée, affichant un déficit de 43 milliards d'euros pour ce poste, soit presque la moitié du déficit extérieur total en 2021 ¹⁰.

Il s'agit d'un affaiblissement de l'indépendance de la Nation. C'est une fragilité pour notre économie et notre industrie. Cette dépendance aux énergies fossiles pèse de plus en plus lourdement sur les Français qui y consacrent une part croissante de leur budget pour se chauffer ou se déplacer. À titre d'illustration, entre janvier 2021 et mars 2022, le prix du fioul domestique a doublé. Pour remplir une cuve de 1 000 litres, il faut désormais déboursier environ 1 500 euros (dont 400 euros de taxes), après un pic à 1 755 euros en mars 2022. Par rapport aux prix élevés observés fin 2018 – dont le niveau avait contribué au déclenchement de la crise des gilets jaunes –, la hausse est de 60 %.

8 - « Le chiffre du commerce extérieur », site des de la direction générale des Douanes et droits indirects, Données pays selon la nomenclature agrégée, Russie, https://lekiosque.finances.gouv.fr/site_fr/A129/data_brutes.asp?id=P10RU_Z1200&f=1&r=1

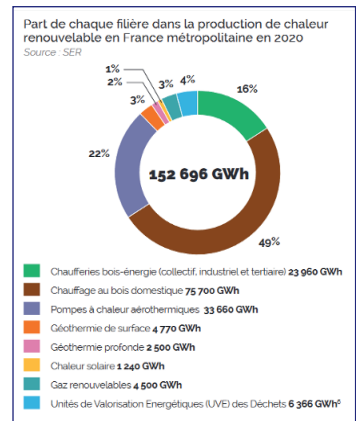
9 - Direction générale des Douanes et Droits indirects, importations CAF, hors matériel militaire et hors estimation des données sous le seuil.

10 - Rapport 2022 sur le commerce extérieur de la France, DG Trésor, 11 février 2022.

Comme il a été mentionné plus haut, le Haut-Commissariat au Plan a appelé en mars 2021 à fixer une nouvelle stratégie en matière d'électricité¹¹, en donnant un nouveau souffle aux énergies renouvelables, à la filière nucléaire et à la maîtrise de la demande (la « sobriété »). L'électricité est appelée à jouer un rôle clé dans la décarbonation de l'économie – d'un quart de notre consommation énergétique, elle devrait représenter environ la moitié de cette dernière d'après la plupart des scénarios présents dans le débat public. **La chaleur et le froid renouvelables peuvent également apporter une contribution substantielle à l'éviction des énergies fossiles de notre bouquet énergétique.** Or, dans ces domaines, des efforts considérables sont devant nous et le sujet reste méconnu du grand public.

En 2019, un peu moins de 21 % de la consommation finale de chaleur et de froid était d'origine renouvelable, à mettre en regard de l'objectif établi pour 2020, de 33 %. Pour 2030, il est de 38 %¹². La chaleur renouvelable peut être produite de différentes manières : par exemple, pour l'année 2020, à l'aide de bois-énergie et bois domestique (65 %), de pompes à chaleur aérothermiques (22 %), de géothermie de surface (3 %), de géothermie profonde (2 %), ou de solaire thermique (1 %).

Source : Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération, ADEME, CIBE, FEDENE, SER, UNICLIMA, 2021.



La géothermie de surface a été peu valorisée jusqu'à présent alors qu'elle ne comporte pas les inconvénients associés à la géothermie profonde (coûts de forage bien plus élevés ou risque de sismicité induite par exemple). En effet, les forages sont plus légers (tarières ou marteaux de fond de trou, tube en polyéthylène et ciment), bien moins profonds et d'une durée de vie estimée aujourd'hui à largement plus de 100 ans. De plus, leur mise en œuvre rapide peut être déployée au niveau de l'habitat individuel, sans impact sur nos paysages, et ne rejette pas de gaz à effet de serre. Ultime atout, essentiel : il s'agit d'une énergie quasi inépuisable, disponible en permanence contrairement à d'autres énergies renouvelables intermittentes.¹³ La géothermie de surface peut également fournir du froid, tout aussi décarboné : un atout majeur dès lors que les besoins de refroidissement sont voués à augmenter avec la hausse des températures.

11 - « Electricité : le devoir de lucidité », note d'ouverture n°4, Haut-Commissariat au Plan, mars 2021, <https://www.gouvernement.fr/electricite-le-devoir-de-lucidite>.

12 - Objectifs de développement des énergies renouvelables contenus dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), promulguée le 17 août 2015.

13 - « De la chaleur sous nos pieds », par Béatrice Ledésert, géologue, professeur CY Cergy Paris Université, in *La Recherche*, juillet/septembre 2022.

Le développement de la géothermie de surface peut aujourd'hui s'appuyer sur une technologie maîtrisée et un potentiel géothermique important dans notre sous-sol (1.). Le recours à cette technologie est aujourd'hui pertinent au regard des besoins et des coûts (2.). Mais ce développement passera par une politique publique volontariste (3.) articulée autour d'un plan d'action concret (4.).

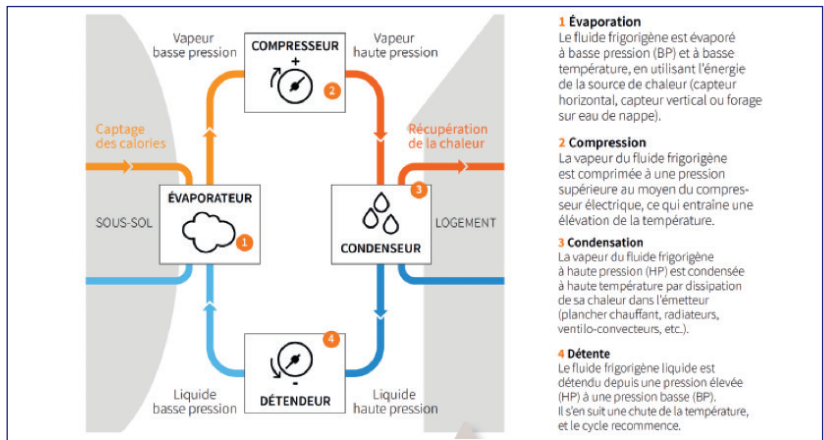
1. UN DISPOSITIF TECHNOLOGIQUEMENT MAÎTRISÉ ET UN POTENTIEL GÉOTHERMIQUE IMPORTANT

Pour la production de chaleur, la géothermie de surface extrait les calories du sous-sol grâce à des pompes à chaleur géothermiques (PACg) et peut s'appuyer sur un potentiel important aujourd'hui inexploité.

> a. Une pompe à chaleur est un système réalisant des transferts d'énergie thermique entre deux milieux.

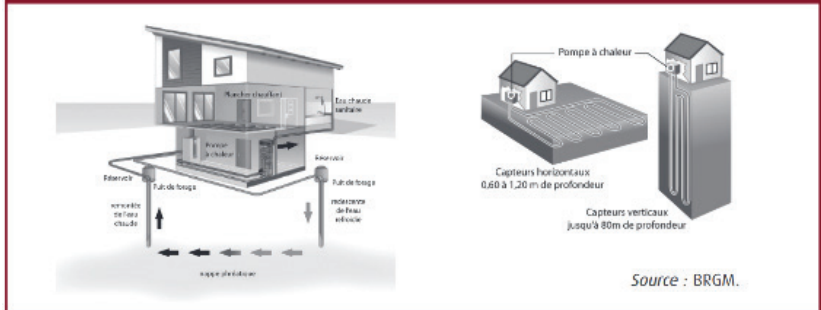
Il existe plusieurs types de pompes à chaleur, qui relèvent principalement de deux catégories : les pompes à chaleur aérothermiques (PACa), transférant les calories entre l'air extérieur et le bâtiment ; et les pompes à chaleur géothermiques (PACg) réalisant cet échange entre le sol et le bâtiment. Pour ces dernières, des capteurs généralement enfouis à moins de 200 m de profondeur récupèrent la chaleur du sol pour la transférer à un bâtiment. Ces calories sont exploitées par la pompe à chaleur pour réchauffer ou climatiser un bâtiment. À partir d'un sol à 12°C, elle peut par exemple chauffer de l'eau à 50°C. Cette installation possède un fort potentiel quant à son usage domestique puisqu'elle peut fournir à un bâtiment, à un habitat, de la chaleur ou du froid (rafraîchissement ou climatisation) ainsi que de l'eau chaude sanitaire.

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur géothermique à compression



Source : La géothermie en France. Étude de filière, ADEME, dans AFGP, 2021

Graphique — Les trois principales options de captage de la chaleur en sous-sol pour les pompes à chaleur géothermiques



Source : « Transition écologique en France : et la géothermie ? », Jacques Varet, *Futuribles*, 2018/4, n° 425.

Les PACg représentent aujourd'hui 2 % seulement du parc de pompes à chaleur alors qu'elles sont plus efficaces que leurs concurrentes aérothermiques qui **présentent un champ d'utilisation limité**. Puisqu'elles extraient la chaleur de l'air à l'extérieur du bâtiment, les PACa sont pénalisées lors des périodes de grand froid et ne peuvent donc être utilisées tout au long de l'année, 24 heures sur 24. Leur performance se dégrade lorsque la température extérieure avoisine 0°C et elles ne fonctionnent parfois plus lorsque la température devient négative.

Il en va autrement pour les PACg. **Le sol ayant une bonne inertie thermique** (avec une température stabilisée autour de 12°C), **les pompes à chaleur géothermiques peuvent en extraire de la chaleur en hiver et de la fraîcheur en été**. De plus, les PACa peuvent entraîner des nuisances sonores, alors que **les PACg sont silencieuses**. La durée de vie d'une PACg avoisine 30 ans à comparer à 15 à 20 ans pour une PACa selon les conditions d'exploitation. Enfin, une PACa consomme, en cas d'hiver normal, 30 % de plus qu'une PACg.

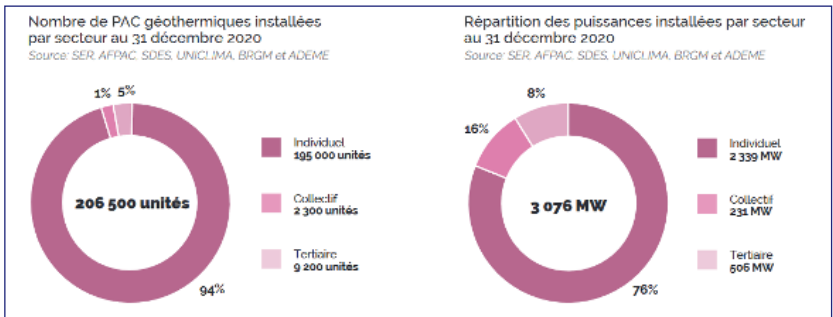
Pour le bâtiment résidentiel individuel, les PACg sont préférentiellement installées dans les maisons disposant d'un jardin sous lequel sont installées les sondes. Le logement concerné doit comporter une large surface de plancher ou des radiateurs de grande taille, qui permettent la diffusion de la chaleur sans qu'il soit besoin d'une température élevée de la source. Il s'agit là d'une des limites à la diffusion des PACg mais le potentiel d'habitations concernées reste considérable : il existe environ 20 millions de maisons individuelles en France¹⁴ et environ 8 millions d'entre elles sont chauffées au gaz ou au fioul, ce qui montre les marges de progression de la géothermie de surface.

14 - « 37,2 millions de logements en France au 1^{er} janvier 2021 », *Insee Focus*, n°254, 9 novembre 2011.

La puissance moyenne d'une PACg individuelle est d'environ 12 kW. Elle peut être comparée à la puissance d'une chaudière à gaz utilisée pour un logement de 100 m², d'environ 25 kW. On dénombrait 195 000 PACg individuelles en fonctionnement en 2020, pour une puissance installée totale de 2,34 GW¹⁵ et une production de 3,6 TWh¹⁶.

Dans le secteur tertiaire, leur puissance moyenne est de 55 kW¹⁷. 57,5 millions de mètres carrés étaient équipés en 2019¹⁸, pour 9 200 PACg. La puissance installée est de 230 MW¹⁹, pour une production de 360 GWh²⁰. Dans le résidentiel collectif, les PACg sont en moyenne d'une puissance de 100 kW, pour 2 300 unités en fonctionnement. La puissance installée y est de 506 MW²¹, pour une production de 0,78 TWh. Au total, 206 500 PACg sont recensées, avec une puissance installée de 3,1 GW²² et une production de 4,77 TWh en 2020²³.

Géothermie de surface : caractéristiques du parc installé



Source : Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération, ADEME, CIBE, FEDENE, SER, UNICLIMA, 2021.

- 15 - Pour un ordre de grandeur, cette puissance installée est un peu supérieure à celle de deux réacteurs nucléaires.
- 16 - En ordre de grandeur, environ la moitié de la production d'électricité d'un réacteur nucléaire. Ces données ne doivent être vues que comme une illustration, car elles ne sont pas directement comparables : du fait de son rendement élevé, la pompe à chaleur réduit le besoin d'énergie tout en remplissant le service attendu. Elle n'est pas non plus mobilisée toute l'année, uniquement lorsqu'il faut réchauffer (ou refroidir) le logement, contrairement à une centrale nucléaire dont la production d'électricité est nécessaire en continu au cours de l'année (cas général).
- 17 - La puissance comparable pour une chaudière à gaz est de 70 kW, mais la variabilité est grande puisqu'elle dépend du type de bâtiment, de sa surface, de la performance de la chaudière...
- 18 - Service des données et études statistiques (SDES), dans Étude de filière, Association Française des professionnels de la géothermie AFGP, 2021.
- 19 - En puissance installée, l'équivalent d'un petit barrage hydroélectrique.
- 20 - L'équivalent de la production d'un barrage hydroélectrique comme celui de Brégnier-Cordon dans l'Ain.
- 21 - Environ un demi-réacteur nucléaire.
- 22 - Soit un peu plus de trois réacteurs nucléaires.
- 23 - SDES, op. cit.

> b. Le sous-sol français offre un potentiel important aujourd’hui sous-exploité.

À ce jour en France métropolitaine, la géothermie de surface fournit 3 % de la chaleur renouvelable, soit près d’1 % de la chaleur produite en France – la production de froid est négligeable aujourd’hui. Ainsi qu’il a été dit plus haut, en 2019, un peu moins de 21 % de la consommation finale de chaleur et de froid était d’origine renouvelable (toutes sources) alors que l’objectif de consommation finale d’origine renouvelable était de 33 % pour 2020 et est de 38 % pour 2030.

Or le potentiel de la géothermie dans ses différentes composantes, est très important. Pour la géologue Béatrice Ledéserf, professeur à l’université de Cergy Paris, « en tant que source d’énergie renouvelable pour l’électricité et le chauffage, la récupération de la chaleur terrestre pourrait couvrir 3 à 5 % de la demande mondiale d’ici à 2050 », et 10 % d’ici à 2100 grâce à des incitations économiques²⁴.

S’agissant plus précisément de la géothermie de surface, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) estime en France, en additionnant les différents gisements, à 100 TWh annuels le potentiel d’économie de gaz d’ici 15 à 20 ans²⁵, soit un peu plus que la consommation annuelle française de gaz russe en 2021 (90 TWh).

À titre d’illustration, selon une étude cartographique réalisée par la Communauté de communes Loire Layon Aubance dans le Maine-et-Loire, ce sont plus de 70 % des parcelles de l’intercommunalité qui pourraient satisfaire leurs besoins de chauffage et rafraîchissement à partir de la seule géothermie.

En ce qui concerne la métropole du Grand Paris, la géothermie de surface pourrait produire 25TWh par an²⁶, ce qui représente plus de la moitié de ses besoins en chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation. L’Île-de-France constitue déjà une vitrine mondiale de la géothermie. Elle est la région la plus densément couverte du monde en réseaux utilisant la chaleur souterraine associée à une géothermie de moyenne importance. Toutefois, la ressource actuellement exploitée est proche de la saturation et de nouvelles campagnes d’exploration sont nécessaires pour soutenir de nouveaux développements.

En s’appuyant sur une ressource locale, inépuisable à échelle humaine, continuellement disponible, les PACg constituent une solution à développer massivement et sans tarder.

24 - De la chaleur sous nos pieds », *op. cit.*

25 - BRGM, 2022, *Note à l’attention du DGEC.*

26 - De la chaleur sous nos pieds », *op. cit.*

À ce jour, la connaissance du sous-sol national permet de considérer que 86 % du territoire métropolitain sont compatibles sans difficulté avec une telle installation et 12 % y sont favorables après avis positif d'un expert. Seuls 2 % du territoire métropolitain ne peuvent y recourir. La quasi-totalité du territoire français peut donc donner lieu au développement de la géothermie de surface et des réseaux de chaleur de moyenne importance. Le potentiel est considérable mais des contraintes brident encore sa valorisation.

2. LE DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE EST PERTINENT AU REGARD DES ENJEUX ACTUELS

> a. Un système contribuant au confort des bâtiments

Les PACg fonctionnent en toute saison, 24 heures sur 24, et, suivant leur dimensionnement, de manière indépendante puisqu'elles ne nécessitent pas de chauffage d'appoint. Cela permet de ne pas dépendre d'une autre source d'énergie (gaz, biomasse...) pour se chauffer et se refroidir.

À partir d'une faible consommation d'électricité, elles sont en mesure de fournir un service important. On mesure l'efficacité d'une pompe à chaleur en fonction de son coefficient de performance (COP)²⁷, qui traduit ce rapport entre l'énergie consommée et celle restituée pour les usages souhaités. Tandis qu'un radiateur électrique a un COP de 1, les pompes à chaleur suivent en moyenne les performances suivantes :

- PACa : entre 2 et 3
- PACg : supérieur à 4.

En d'autres termes, pour 1 kilowattheure (kWh) consommé pour faire fonctionner le moteur de l'installation, la pompe à chaleur géothermique fournit au moins 4 kWh (jusqu'à 5kWh selon hellowatt.fr) sous forme de chaleur et même plus pour le froid.

Pour un même usage, la PACg consomme quatre fois moins d'électricité qu'un radiateur électrique. Son rendement est donc bien meilleur. Une fois l'investissement amorti, le coût de fonctionnement est donc très faible pour un service de qualité.

Lorsque l'installation rafraîchit le bâtiment sans le climatiser et qu'elle est hors fonctionnement actif – elle fait uniquement circuler la fraîcheur récupérée dans le sol – elle fournit 30 à 50 kWh de froid pour 1 kWh d'électricité

27 - COP : Coefficient de Performance. Il est un indice de performance énergétique représentant le rapport entre l'énergie produite et l'énergie utilisée.

consommée. Dans ce cas, le gain de confort est substantiel pour une consommation d'énergie maîtrisée car, même si la température du bâtiment n'est pas maintenue proche de 20°C, la pompe à chaleur géothermique peut abaisser la température de 5 à 7 degrés en été.

> b. Une solution pour prévenir et limiter les dérèglements du climat

L'utilisation d'une PACg ne rejette pas de gaz à effet de serre, ce qui constitue un solide argument en sa faveur. Son faible recours à un appoint électrique devrait réduire la sollicitation des moyens thermiques centralisés de production de pointe, comme les centrales à fioul, gaz ou charbon.

La hausse des températures, avec la multiplication des épisodes caniculaires et leur intensification, entraînera des besoins accrus de rafraîchissement. Le taux d'équipement des ménages en climatiseurs au niveau mondial pourrait passer de 30 % en 2016 à plus de 60 % en 2050, selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE). En France, le taux d'équipement en climatisation chez les ménages se situe actuellement autour de 25 %²⁸. Sans maîtrise de ces besoins et sans effort supplémentaire d'efficacité énergétique, la consommation d'électricité pour le refroidissement pourrait être multipliée par quatre, toujours à l'horizon 2050, dans le secteur résidentiel. L'AIE estime également que les émissions découlant des besoins de climatisation pourraient doubler d'ici à 2050, pour atteindre 1 GtCO₂ par an, soit l'équivalent de celles de l'ensemble du continent africain²⁹.

À cet égard, la PACg est particulièrement intéressante puisqu'elle peut rafraîchir ou climatiser le bâtiment en opérant un transfert thermique du sous-sol plus frais au bâtiment sans émissions polluantes. De plus, en rejetant la chaleur du bâtiment dans le sol plutôt que dans l'air ambiant, la PACg n'accroît pas l'effet d'îlot de chaleur urbain, contrairement aux PACa.

> c. PACg : une technologie compétitive, qui contribue à l'indépendance énergétique de la France

Une PACa consomme, en cas d'hiver normal, 30 % d'électricité de plus qu'une PACg. Il en résulte, ainsi que le précisent les travaux du BRGM, que, alors que l'investissement initial pour une PACa est inférieur à celui d'une PACg, le coût global d'exploitation de la première est supérieur à celui de la seconde en prenant en compte la durée de vie totale d'une installation, soit une vingtaine d'années³⁰ pour les PACa et près de 30 ans pour les PACg.

28 - « La climatisation : vers une utilisation raisonnée pour l'impact sur l'environnement », Billet, ADEME, 30 juin 2021.

29 - AIE, 2018, *The Future of cooling*. Accessible en ligne : <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>.

30 - Calcul effectué sur la base des tarifs régulés de l'électricité et du gaz de mars 2022. BRGM, 2022, Annexe 1, Note à l'attention du DGEC, op. cit.

Les prix de l'électricité sont sujets à des évolutions fortes et devraient augmenter à l'avenir du fait des investissements massifs de décarbonation à effectuer. **En réduisant le besoin d'électricité, la PACg constitue un élément de la sobriété énergétique** et un moyen de diminuer les factures des consommateurs et les ressources collectives à consacrer au système. Elle peut également se substituer à des dispositifs de chauffage fonctionnant aux combustibles fossiles importés, eux aussi soumis à d'importantes variations et dont le prix devrait s'élever dans le futur.

La chaleur d'origine géothermique est compétitive avec les solutions concurrentes : l'ADEME³¹ estimait en 2020 le coût de production de l'ordre de 80 à 130 €/MWh pour la PACg contre 100 à 115 €/MWh pour le gaz et 130 à 160 €/MWh pour le fioul.

Par ailleurs, la géothermie peut devenir une filière française d'excellence. Elle en a les atouts. Avec des exportations qui dépassent déjà le demi-milliard d'euros – à destination de pays de l'Union européenne pour plus des trois quarts – la France affiche en ce qui concerne les pompes à chaleur un solde commercial excédentaire de 240 millions d'euros en 2020 et 73 millions d'euros³² en 2021. Les entreprises françaises et européennes se distinguent par leur savoir-faire dans la fabrication des pompes à chaleur. Le tissu industriel est diversifié, avec des spécialistes du chauffage domestique, des systèmes renouvelables et des acteurs plus généralistes.

Le développement des PACg contribuerait à l'indépendance énergétique de la France. La capacité à satisfaire nos besoins en énergie tout en préservant notre autonomie stratégique apparaît d'autant plus cruciale depuis le déclenchement par la Russie de la guerre en Ukraine. Bien qu'elle soit moins dépendante du gaz russe que d'autres pays européens, la France en importe environ 90 TWh par an (17 % de sa consommation de gaz en 2021³³).

En s'appuyant sur les données du Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN), le BRGM a calculé qu'en remplaçant dans les maisons individuelles la moitié des chaudières arrivant chaque année en fin de vie par des PACg, on arriverait en 15 à 20 à économiser l'équivalent de la moitié des importations de gaz russe pour 2021. A cela s'ajoute, dans le tertiaire, le gisement supplémentaire estimé à 37 TWh, soit les deux tiers de la consommation de gaz de ce secteur³⁴.

31 - ADEME, 2020, *Les énergies renouvelables, des filières de plus en plus compétitives. Communiqué de presse.*

32 - Haut-Commissariat au Plan, 2021, *Résultats détaillés du commerce extérieur de la France.*

33 - BRGM, 2022, *Note à l'attention du DGEC.*

34 - *Ibidem.*

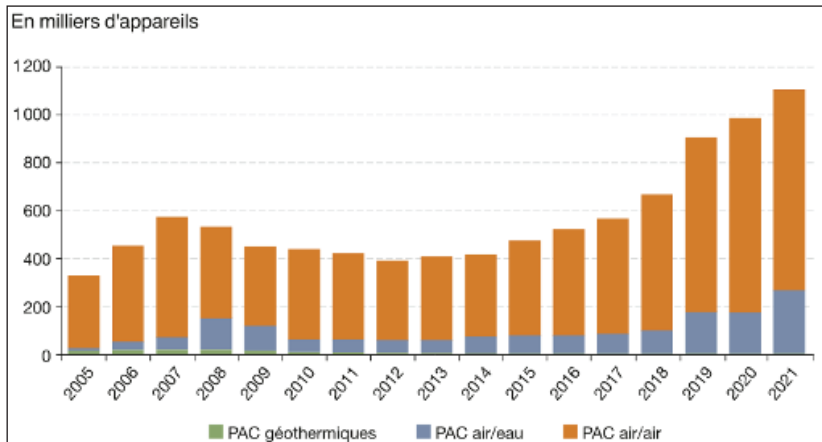
3. LE DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE DOIT ÊTRE STIMULÉ PAR UNE POLITIQUE PUBLIQUE VOLONTARISTE ET UNE OFFRE INDUSTRIELLE RENFORCÉE

> a. En France, un essor encore lent dans un contexte européen dynamique

Malgré ces avantages, le marché des pompes géothermiques stagne en France, alors que celui des pompes aérothermiques connaît une croissance soutenue, avec +12,4 % entre 2020 et 2021 et +13 % entre 2019 et 2020³⁵.

La PACg demeure une solution confidentielle : alors que plus d'un million de PACa ont été vendues en France en 2021, cela a été le cas de 3 200 PACg la même année. Après un pic de vente à la fin des années 2000 stimulé par des aides individuelles accordées de manière générale, le resserrement des conditions d'octroi de ces aides a conduit, à partir de 2009, à une décroissance des ventes, puis à leur stabilisation ces dernières années.

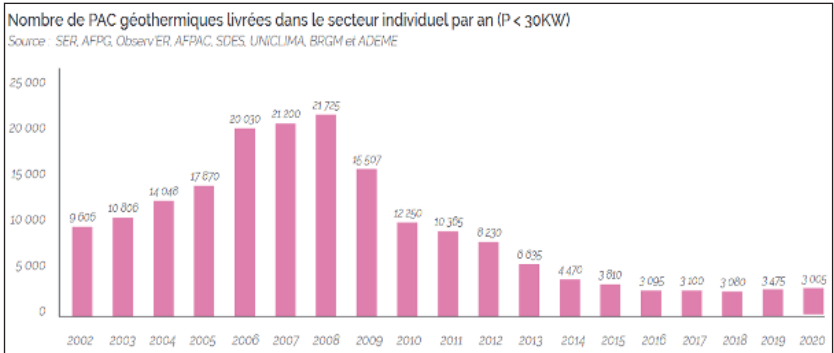
Ventes annuelles de pompes à chaleur (PAC) individuelles



Source : Les chiffres clés des énergies renouvelables, édition 2022, ministère de la Transition énergétique.

35 - Observ'ER, Suivi du marché 2021 du segment des pompes à chaleur.

Ventes annuelles de PACg individuelles



Source : Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération, ADEME, CIBE, FEDENE, SER, UNICLIMA, 2021.

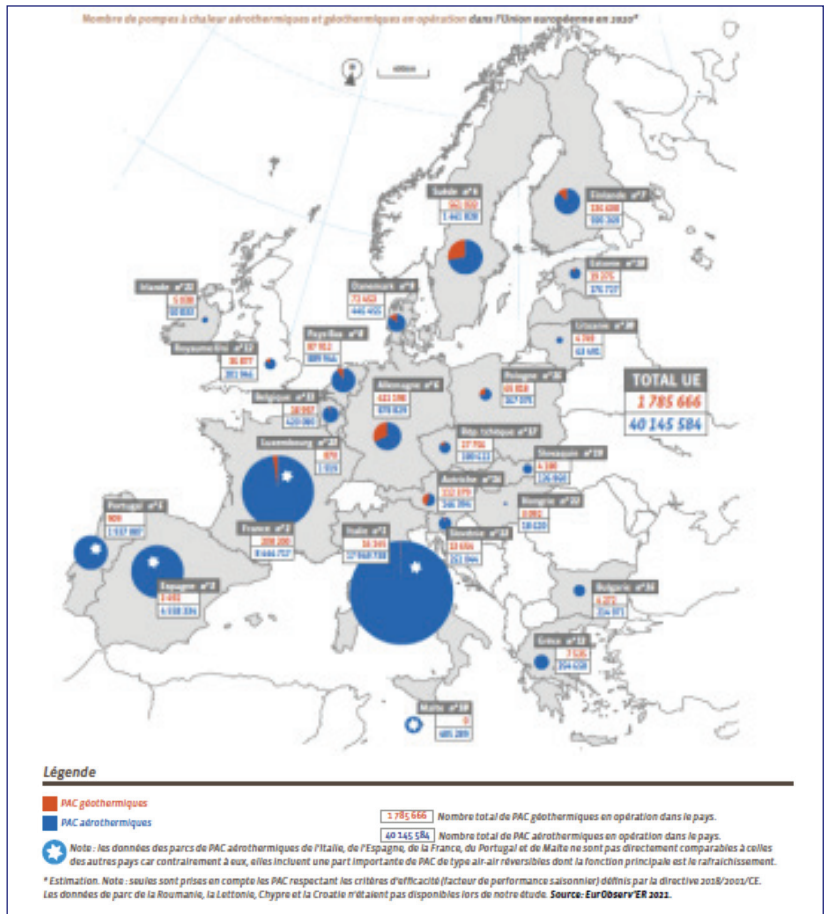
La France possède un parc de PACa considérable (8,4 millions³⁶) mais relativement peu de PACg (206 500), permettant une production thermique de 4770 GWh pour une puissance installée de 3076MW, soit 0,7% seulement de la consommation finale de chaleur³⁷.

Cette situation est à mettre en regard de celle constatée dans les pays du Nord de l'Europe qui ont un parc total moins volumineux, mais plus performant car composé d'une plus grande proportion de PAC géothermiques. Ainsi, en Allemagne, les PAC géothermiques constituent près de la moitié du parc avec environ 410 000 unités. L'Allemagne est deuxième derrière la Suède, champion européen dans ce domaine avec un peu plus de 560 000 PACg.

36 - Observ'ER, 2021, *Baromètre des pompes à chaleur*, <https://www.geothermies.fr/sites/default/files/inline-files/2021-EurObserv-ER-Baro-PAC-FR.pdf>.

37 - « De la chaleur sous nos pieds », op. cit.

Nombre de pompes à chaleur aérothermiques et géothermiques en activité dans l'Union européenne en 2020³⁸



Source : Observ'ER, 2021, Baromètre des pompes à chaleur.

En 2020 en Allemagne, 22 200 nouvelles unités ont été installées (contre environ 3 000 en France, chiffres de l'Observ'ER), une hausse d'environ 17 % par rapport à l'année précédente. Ce dynamisme observé outre-Rhin s'explique notamment par des subventions élevées pour l'installation de systèmes de chauffage utilisant les énergies renouvelables, qui peuvent couvrir 35 % de l'investissement. Ce niveau peut atteindre 45 % lorsqu'il s'agit de remplacer

38 - À quelques unités près, les comptages diffèrent entre les sources du fait de méthodes incluant des périmètres distincts. Les ordres de grandeur restent les mêmes.

une chaudière au fioul. La réglementation impose aussi un fort taux de couverture des besoins de chaleur et de froid des bâtiments par des sources renouvelables et le climat y est plus froid. Dans ce pays, la géothermie a été soutenue par les pouvoirs publics à l'aide d'un « chèque énergie » dédié à la mise en place de PACg.

En Suède, la fiscalité est également très incitative pour la chaleur renouvelable, de même que des obligations réglementaires de raccordement aux réseaux de chaleur et des normes constructives agissent en ce sens. Outre cela, le climat froid joue en faveur de la géothermie.

En comparaison, le marché des PACg reste en France un marché de niche. La dynamique est toutefois positive dans les bâtiments collectifs, avec une croissance annuelle de 10 %. Favorisée par les nouvelles normes thermiques distinguant les systèmes énergétiques les plus efficaces et les moins polluants, la géothermie de surface est aujourd'hui le segment le plus porteur pour la filière.

La nouvelle réglementation thermique des bâtiments³⁹ rend obligatoire à partir du 1er septembre 2022 le raccordement aux réseaux de chaleur existants de tout nouveau bâtiment construit dans leur périmètre. De même, si l'installation de chauffage d'un bâtiment est d'une puissance supérieure à 30 kW, tout changement de celle-ci doit se faire par raccordement au réseau de chaleur. Les bâtiments collectifs et le secteur tertiaire ne représentent aujourd'hui que 6 % des installations réalisées depuis 2001, mais 27 % de celles effectuées en 2020⁴⁰.

> b. Un investissement initial en décalage avec les capacités de financement des ménages

En France, comment expliquer cette stagnation persistante malgré les aides mises en place par l'État ?

Les aides existantes en matière de rénovation énergétique sont de diverses natures : subvention MaPrimeRénov' calculée en fonction des revenus du ménage et du bénéfice écologique des solutions retenues, éligibilité aux Certificats d'économie d'énergie (CEE, volume d'actions en faveur de la transition énergétique imposées par l'État aux fournisseurs d'énergie), TVA réduite (5,5 %), éco-prêt à taux zéro. Il existe également le Coup de pouce chauffage, qui soutient le remplacement d'une ancienne chaudière fonctionnant aux énergies fossiles ainsi que l'accompagnement par le

39 - Réglementation environnementale 2020, ou RE 2020. Entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2022 (elle était prévue pour le 1^{er} janvier 2020), elle accroît les exigences fixées aux bâtiments neufs en matière d'efficacité énergétique, d'empreinte carbone et de confort d'été.

40 - AFPG, *op. cit.*

programme Habiter mieux, qui apporte un conseil et des financements pour les travaux de rénovation énergétique des logements. Ces aides de l'État peuvent être renforcées par différentes actions locales (pour lesquelles les données d'impact manquent).

S'agissant des PACg, MaPrimeRénov' peut financer entre 4 000 et 10 000 euros du coût d'une pompe, cumulable avec 400 à 4 000 euros issus des CEE. Pour les bâtiments collectifs, le Fonds chaleur⁴¹, doté de 520 millions d'euros, vient alléger l'investissement initial.

Les PACa font l'objet d'aides très limitées : elles ne sont éligibles qu'aux CEE, pour 500 à 1 000 euros de soutien environ. Cependant, elles demeurent surreprésentées sur le marché.

Les aides sont en grande partie conditionnées au revenu ; néanmoins le reste à charge demeure élevé. Cela rend certaines PACa, même moins soutenues, relativement plus abordables pour les ménages modestes du fait de leur prix relativement bas.

Coût à l'achat de différents types de pompes à chaleur et dispositifs publics de soutien en fonction du revenu

Equipement	Prix moyen	Très modestes			Modestes		
		MaPrimeRénov'	CEE	Reste	MaPrimeRénov'	CEE	Reste
PAC géothermique	18 500€	10 000€	4 000€	4 500€	8 000€	4 000€	6 500€
PAC air-eau	12 200€	4 000€	4 000€	4 200€	3 000€	4 000€	5 200€
PAC air-air	8 500€	0€	1 000€	7 500€	0€	1 000€	7 500€
Equipement	Prix moyen	Intermédiaires			Elevés		
		MaPrimeRénov'	CEE	Reste	MaPrimeRénov'	CEE	Reste
PAC géothermique	18 500€	4 000€	2 500€	12 000€	0€	2 500€	16 000€
PAC air / eau	12 200€	2 000€	2 500€	7 700€	0€	2 500€	9 700€
PAC air-air	8 500€	0€	500€	8 000€	0€	500€	8 000€

Source : « Les aides pour les pompes à chaleur en 2022 », Conseils thermiques.

41 - « Le fonds chaleur, géré par l'ADEME, participe depuis 2009 au développement de la production de chaleur et de froid renouvelables en mobilisant des sources renouvelables locales. Ce fonds permet à la chaleur renouvelable d'être compétitive par rapport à celle produite à partir d'énergies conventionnelles : il s'agit d'un outil essentiel pour augmenter la part des énergies renouvelables dans notre mix énergétique et réduire la facture énergétique et les émissions de CO2. » In « Projet de loi de finances 2023 », ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et du ministère de la Transition énergétique, dossier de presse, 26 septembre 2022.

> c. Une offre insuffisante, notamment sur l'installation des PACg

Le faible nombre de professionnels proposant l'installation d'une PACg explique également ce phénomène, dans la mesure où celle-ci est beaucoup plus complexe que l'installation d'une PACa. Elle implique de forer le sol, ce qui suppose de disposer des machines et du savoir-faire adaptés. Pour l'heure, les installateurs proposent rarement d'eux-mêmes ce dispositif moins bien connu, qui nécessite des compétences relativement rares aujourd'hui. L'initiative provient le plus souvent des propriétaires de la maison, qui doivent avoir déjà connaissance du dispositif. Les freins psychologiques liés au forage du terrain sont également des facteurs explicatifs de la faible demande de PACg.

L'installation se fait en deux étapes, avec deux professionnels différents : un pour le forage, et l'autre pour la mise en place du chauffage. À ce jour, le nombre d'ateliers de forage en service en France est estimé à 70⁴² et ce sont pour la plupart de petites entreprises familiales.

4. UNE FEUILLE DE ROUTE POUR FAIRE DÉCOLLER LE SECTEUR DE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE EN FRANCE

Les PACg sont une solution prometteuse pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, renforcer notre indépendance énergétique et conforter notre tissu industriel tout en assurant un service essentiel aux Français. Une impulsion forte est nécessaire pour concrétiser leur potentiel. Les nouvelles réglementations thermiques (RE 2020, décret tertiaire) encouragent le recours à cette solution, mais **la demande et l'offre doivent être mieux structurées et accompagnées.**

La feuille de route proposée par le Haut-Commissariat au Plan avec l'appui du BRGM se décline en quatre volets pour rendre effectif ce déploiement partout où cela est possible, dans le logement individuel, le résidentiel collectif et le tertiaire.

> a. Développer la formation de professionnels du secteur pour accroître le volume de l'offre

Les besoins de main d'œuvre sont considérables par rapport à l'offre disponible à ce jour. Le BRGM estime à 2 400 le nombre de postes de foreurs nécessaires – contre environ 70 aujourd'hui, 200 en comptant les capacités de forage dans le domaine hydraulique – pour réaliser en deux décennies la conversion de la moitié des 8 millions de maisons individuelles chauffées au gaz ou au fioul.

42 - BRGM, 2022, Note au DGEC.

C'est là un gisement de compétences à haute qualification qui seraient ancrées localement, permettant de renforcer l'attractivité des territoires.

L'ampleur de cette montée en compétences requiert un plan de formation adapté et ambitieux auprès des organismes spécialisés et des entreprises potentiellement concernées. Afin de donner aux professionnels du secteur la visibilité nécessaire pour qu'ils s'engagent dans un plan de formation, les pouvoirs publics doivent donc proposer une trajectoire pluriannuelle ambitieuse assortie de jalons réguliers concernant les volumes de forages souhaités. Ils pourraient également mettre en place des aides financières à la formation et à la reconversion et inciter, en partenariat avec le BRGM, à intégrer ces nouveaux savoir-faire dans les cursus de formation initiale et continue. **C'est d'une grande école du forage (techniciens et ingénieurs) dont a besoin la France car un manque de compétences similaires existe pour l'implantation des éoliennes (marines en particulier), la géotechnique (bâtiments, réseaux, etc.) ou le stockage souterrain (H2, CO2).** Une initiative telle que l'École Française du Forage (EFF) située à Lescar dans les Pyrénées-Atlantiques pourrait être amplifiée, en lien notamment avec les Ecoles nationales des Mines.

La visibilité de cette solution ainsi que la diffusion des connaissances pourraient être renforcées afin d'être mieux partagées par les professionnels organisés en filière et les citoyens. **Une large campagne de communication**, d'une part, ainsi que la **désignation dans les régions d'animateurs de l'écosystème de la géothermie**, d'autre part, seraient souhaitables. Les régions les plus en pointe dans l'essor de la géothermie sont celles disposant de ce type de portage nécessaire à la mise en réseau des acteurs et à la diffusion des compétences. C'est le cas des régions Centre-Val-de-Loire, Grand-Est, Hauts-de-France et Île-de-France.

> **b. Développer les capacités de forage et l'offre de systèmes de chauffage**

Tout comme les ressources humaines, les outils de production font défaut pour déployer davantage de pompes à chaleur. Il est donc essentiel de lever ce verrou si l'on veut concrétiser les ambitions de développement de la géothermie de surface en France. L'acier et le cuivre sont les matières dont l'approvisionnement doit être sécurisé pour assurer cette montée en puissance. Il est impératif de consulter les industriels concernés pour établir un plan de montée en charge et ses conditions, par exemple dans le cadre du plan France 2030 ou d'une action européenne concertée. Les fabricants de machines de forage sont allemands, français, italiens. Ceux de pompes à chaleur sont allemands, français, suédois.

Il convient ainsi de s'assurer, avec l'ensemble des industriels présents sur la chaîne de valeur, que l'offre peut être étendue pour satisfaire une croissance forte de la demande dans les prochaines années. **Une programmation**

pluriannuelle des besoins pourrait être établie, sur laquelle les pouvoirs publics pourraient donner des garanties de stabilité (calendrier de déploiement, volumes, perspectives de soutien et d'accompagnement, visibilité sur la réglementation), et les industriels préciser comment ils pourraient répondre à ces commandes.

> **c. Réduire l'effort d'investissement initial et les risques financiers**

Les incitations à l'investissement doivent être revues afin de correspondre aux capacités de financement des ménages et d'inciter les démarches vertueuses. Ce soutien à l'investissement doit être arrêté en concertation entre l'État, les collectivités territoriales et les organismes de financement. Il peut emprunter différentes formes, telles que l'augmentation des aides aux PACg afin de diminuer le reste à charge ou des facilités de financement et de prêt.

Ce soutien pourrait être financé avec les revenus tirés du marché du carbone, supérieurs à ce qui était anticipé cette année, ou avec les recettes reversées à l'État par les producteurs d'énergies renouvelables électriques, qui dépassent également les prévisions.

Le **Fonds chaleur** doit poursuivre sa progression pour garantir la compétitivité des énergies renouvelables par rapport aux installations moins performantes et moins vertueuses et être en mesure de soutenir des volumes croissants de projets. De nombreux projets, pour un montant total d'environ 500 millions d'euros, sont actuellement en attente de financement par l'ADEME.

Un **prix plancher du carbone** – éventuellement dans le cadre du projet européen d'extension du marché du carbone aux bâtiments – pourrait être fixé afin de contribuer également à cet objectif.

Il convient de noter que l'équipement en PACg doit donner lieu à un bouquet de travaux mêlant isolation thermique et verdissement du mode de chauffage. Là-aussi, à service rendu égal, une optimisation est nécessaire afin d'établir un équilibre entre la réduction du besoin de chauffage (grâce à des travaux de rénovation et d'isolation), les performances obtenues par la pompe à chaleur et les ressources investies. Le BRGM estime que, pour un temps de retour sur investissement de 10 ans, cette optimisation peut faire gagner une année.

Du côté de l'offre, la mise en place d'un **fonds de garantie doté de 45 millions d'euros**, similaire à celui existant en Île-de-France pour couvrir les opérateurs des risques de forages infructueux ou de tarissement de la ressource, est prévue. Ce dispositif doit être conforté pour garantir sa mobilisation sur l'ensemble du territoire et pour l'exploitation de nouvelles ressources.

> **d. Établir de manière plus précise la cartographie du territoire pour favoriser le développement de la géothermie de surface, en repérant notamment les zones les plus favorables à des forages performants.**

Comme mentionné plus haut, en additionnant les différents gisements, le BRGM estim à 100 TWh annuels le potentiel d'économie de gaz accessible d'ici 15 à 20 ans⁴³ grâce à la géothermie de surface.

Pour fiabiliser les forages et optimiser les installations, une cartographie plus fine du territoire français est souhaitable. En particulier, les régions Bretagne, Bourgogne-Franche Comté, Corse, Hauts-de-France et PACA nécessitent des travaux plus poussés selon le BRGM. Il s'agit d'approfondir l'analyse de données existantes par des campagnes de reconnaissance sismique ou par forage. L'optimisation permise par les analyses du BRGM peut faire gagner de l'ordre de 15 %⁴⁴ sur le coût d'une installation, pour des campagnes ayant un coût total de quelques dizaines de millions d'euros.

En conclusion, au regard du triple objectif que s'est fixé la France – devenir la première nation à se passer des énergies fossiles, assurer son indépendance énergétique et atteindre la neutralité carbone –, **la géothermie a vocation à occuper une place croissante dans notre bouquet d'énergies renouvelables et dans notre mix énergétique général.**

Cette ambition est atteignable. Quelques éléments quantitatifs peuvent être établis pour donner un ordre d'idée des efforts à fournir. Ceux-ci s'inspirent des calculs réalisés par le BRGM :

Aujourd'hui, 3 000 PACg sont installées chaque année. 8 millions de logements sont chauffés au gaz ou au fioul. En faisant l'hypothèse que la moitié d'entre eux peut changer son système de chauffage pour une pompe à chaleur géothermique, cela signifie que si l'on veut opérer cette transition en 20 ans, il faut réaliser 200 000 forages par an. Pour des forages pour la GMI/PACg, considérant qu'il faut environ 2 jours de forage, cela revient à 400 000 jours de forages répartis sur une année ouvrée soit environ 300 jours, et ce sont ainsi 1 333 machines de forages qui sont nécessaires. Admettant qu'il faut 2 personnes par machine, ce sont plus de 2 500 emplois de foreurs qui sont en jeu.

43 - *Ibid.*

44 - Estimation du BRGM.

Or seuls 200 foreurs sont actuellement capables de telles opérations : il en faudrait entre 1 700 et 2 400 pour atteindre les objectifs (la borne haute incluant le secteur tertiaire). En tenant compte des temps de formation, cet effectif peut être atteint en 7 ans environ.

En démarrant en 2023 l'effort, la filière peut être en mesure de passer de 3 000 à 200 000 PACg installées en 2030. En 2035, un peu plus d'un million de logements auront alors changé de système de chauffage, 2 millions en 2040, 3 millions en 2045 et 4 millions en 2050. Ce rythme de « croisière » peut être modifié et réparti différemment sur l'ensemble de la période. **Pour changer la moitié des chauffages individuels au gaz ou au fioul d'ici à 2050, c'est dès aujourd'hui qu'il faut entraîner l'ensemble de la filière.**

Pour démarrer ce programme, le coût de la formation est estimé par le BRGM à 60 millions d'euros pour les finances publiques, celui de l'exploration et de l'analyse des gisements de chaleur souterraine, de l'ordre de 12 à 20 millions d'euros d'origine publique.

Si ces montants restent faibles, il faut également mentionner les dispositifs financiers visant à stimuler l'équipement des ménages. En 2022, le budget consacré par l'État à MaPrimeRénov' est de 2 milliards d'euros.

À ces incitations financières, il faudra ajouter des moyens pour l'accompagnement des ménages et l'animation de la filière dans les régions ainsi que des garanties pluriannuelles de commandes pour la filière. **Une programmation pluriannuelle des investissements pour la transition énergétique**, par exemple dans le cadre de la Stratégie française énergie-climat en cours de préparation, pourrait fixer ces différents éléments de cadrage.

Ces dépenses sont de réels investissements : elles sont bien moindres que le coût de l'inaction et contribueraient, à côté de la production électrique – nucléaire et énergies renouvelables –, à une souveraineté énergétique durable.

- > Plan d'action : comment développer à grande échelle la géothermie de surface d'ici à 2050 ?
 - a. **Développer la formation de professionnels du secteur pour renforcer le socle de compétences et accroître le volume de l'offre.** En 7 ans environ, pour un coût de 60 millions d'euros.
 - b. **Développer les capacités de forage et l'offre de systèmes de chauffage,** actuellement insuffisantes pour répondre à une demande plus élevée. Montée en charge en 7 ans, avec des modalités à définir avec les acteurs de la filière et les industriels concernés.
 - c. **Réduire, pour les particuliers et le tertiaire, l'effort d'investissement initial et les risques financiers.** C'est un dispositif d'incitation coordonné entre l'État, les collectivités territoriales et les organismes de financement qu'il convient de mettre en œuvre.
 - d. **Etablir de manière plus précise la cartographie du territoire,** pour favoriser le développement de la géothermie de surface, en repérant notamment les zones les plus favorables à des forages performants.

Sous nos pieds se trouve une source d'énergie renouvelable, permanente et inépuisable appelée géothermie. À ce jour en France métropolitaine, la géothermie de surface fournit 3 % de la chaleur renouvelable, soit un peu plus de 1 % de la chaleur produite en France – la production de froid est négligeable aujourd'hui. Or le potentiel de la géothermie en France est très important en réponse à la demande énergétique des bâtiments.

La présente note se concentre sur la géothermie de surface (généralement entre 0 et 200 mètres de profondeur) pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments et le dispositif associé de la pompe à chaleur géothermique.

Peu valorisée jusqu'à présent, la géothermie de surface ne comporte pourtant pas les inconvénients associés à la géothermie profonde (forages plus profonds, risque de sismicité induite et coûts plus élevés). De plus, sa mise en œuvre rapide peut être déployée au niveau de l'habitat individuel, sans impact sur nos paysages, et ne rejette pas de gaz à effet de serre. En additionnant les différents gisements, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) estime à 100 TWh annuels le potentiel d'économie de gaz accessible d'ici 15 à 20 ans grâce à la géothermie de surface.

Le Haut-Commissariat au Plan propose donc le lancement d'un plan d'action ambitieux de développement de la géothermie de surface. Ce programme pourrait contribuer substantiellement à nos objectifs de souveraineté stratégique et énergétique, d'atteinte de la neutralité carbone et de sortie des énergies fossiles.