



## Géothermie : l'énergie renouvelable oubliée ?

**Dans la famille des énergies renouvelables, une note pour faire le point sur le marché de la géothermie.**

Analyse  
Mai 2022

## Sommaire

Synthèse .....	3
1 La géothermie : quelques éléments de présentation .....	4
1.1 Les usages en fonction de la profondeur et de la température .....	4
1.2 Les deux grands marchés de la géothermie et leur chaîne de valeur .....	4
1.2.1 Utilisation directe de la chaleur.....	4
1.2.2 Conversion de chaleur en électricité .....	5
2 Tendances clés de la géothermie dans le monde .....	6
2.1.1 Marchés et principaux pays utilisant la géothermie .....	6
2.1.2 Principaux acteurs.....	7
2.1.3 Le renouveau de la géothermie ?.....	8
3 Focus sur la France .....	9
3.1.1 Le marché et son évolution .....	9
3.1.2 La situation aujourd'hui .....	11

# Géothermie : l'énergie renouvelable oubliée ?

## Note de synthèse sur les marchés de la géothermie

### Synthèse

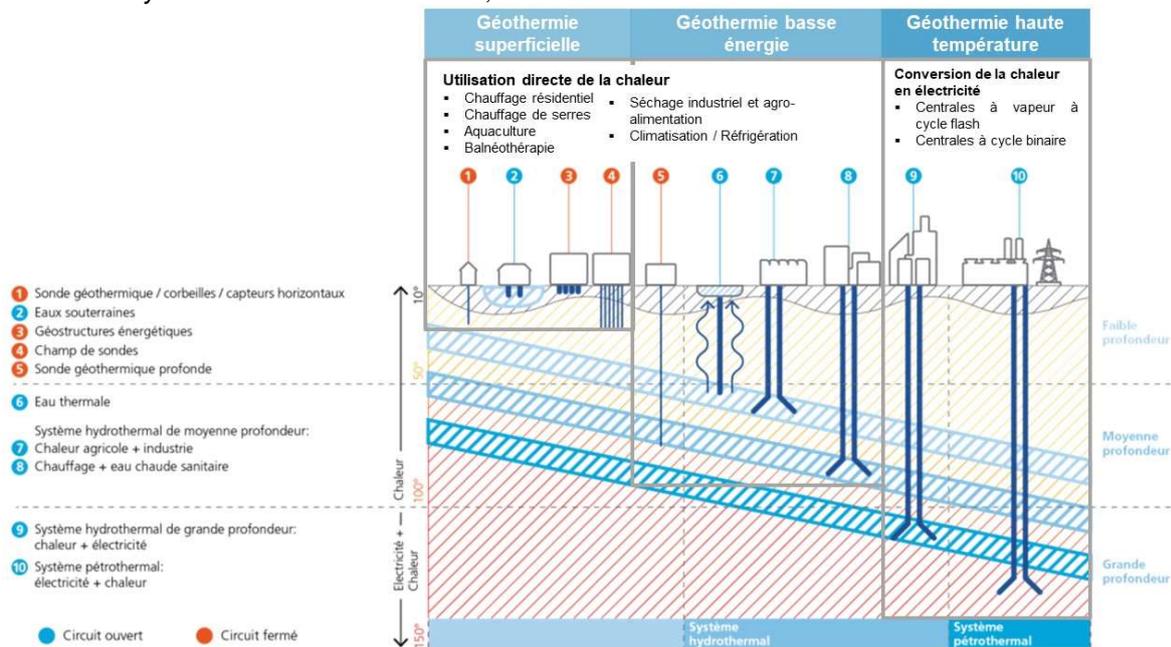
La sortie des hydrocarbures est une évidence de moins en moins contestée. Le boom des énergies renouvelables est une réalité, et qu'elles soient dominantes dans le mix énergétique à moyen terme, un objectif. Pour autant, les plus développées présentent des contraintes : l'hydroélectricité est contrainte par des réalités physiques, l'éolien comme le solaire le sont par l'absence de solutions de stockage économiquement attractives. Il y a une autre source renouvelable, l'énergie tirée du sol, relativement négligée et en tous les cas, encore méconnue, qui pallie les questions d'intermittences, est abondante et garantit l'indépendance énergétique pour le chauffage. Des majors du pétrole investissent le domaine, des start-ups se créent et apportent de nouvelles solutions, techniques ou économiques. En attendant une décarbonation complète du gaz, cette note se propose de faire un état des lieux des marchés de la géothermie (chaleur, froid et électricité).

# 1 La géothermie : quelques éléments de présentation

## 1.1 Les usages en fonction de la profondeur et de la température

### Principaux usages de la géothermie en fonction de la profondeur et de la température

Source : analyse SEA sur schéma de l'OFEN, données BRGM



### On dénombre trois principaux types de valorisation de la chaleur géothermique :

- **La géothermie superficielle (aussi appelé géothermie très basse température ou géothermie très basse énergie) :** elle exploite la chaleur du sol ou de l'eau du sous-sol à des profondeurs généralement inférieures à 200 mètres, pour des températures inférieures à 30°C. L'énergie permet de chauffer de petites installations à l'aide de pompes à chaleur.
- **La géothermie basse température (ou basse énergie) :** elle exploite la chaleur de gisements d'eau situés à des profondeurs de quelques centaines de mètres jusqu'à environ 2000 mètres, pour des températures généralement comprises entre 30°C et 90°C. Les réseaux de chaleur par géothermie peuvent produire aussi bien du chaud que du froid.
- **La géothermie haute température (aussi appelée haute enthalpie) :** elle concerne les fluides dont les températures sont supérieures à 150°C. Ceux-ci sont mis en production par forages généralement à plus de 1500 mètres de profondeur. Les ressources de géothermie haute température sont situées dans des zones au gradient géothermal anormalement élevé (jusqu'à 30°C par 100 m). La chaleur du sous-sol est ensuite transformée en électricité.

## 1.2 Les deux grands marchés de la géothermie et leur chaîne de valeur

### 1.2.1 Utilisation directe de la chaleur

#### Chaîne de valeur simplifiée des PAC (Pompes à Chaleur)

Source : SEA



La géothermie superficielle est portée par la filière des PAC (Pompes à Chaleur), sur un marché qui reste dominé par d'autres techniques que la géothermie, à savoir les PAC Eau/air et Air/air :

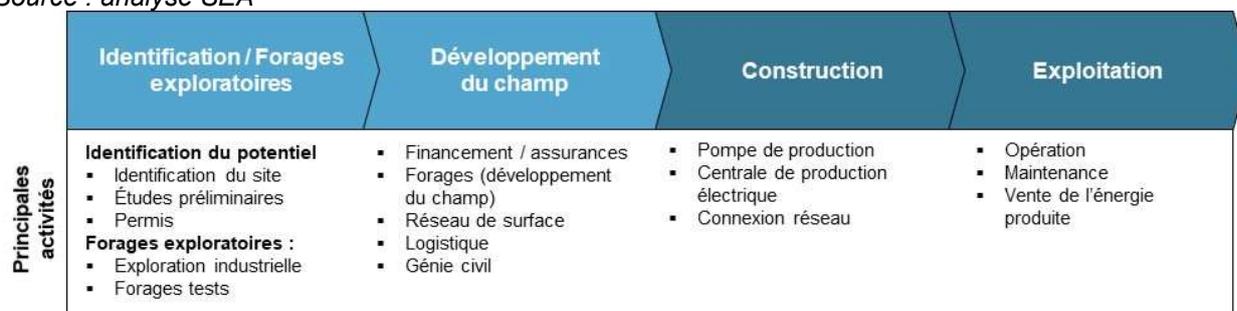
- **Pompes Sol/Eau et Eau/Eau** (géothermie) : la pompe puise la chaleur dans la terre à l'aide de capteurs horizontaux (longs serpentins enterrés à un mètre de profondeur) ou verticaux (plongeant à quelques dizaines, voire centaine de mètres de profondeur). Plus rarement, les PAC peuvent également puiser la chaleur dans les nappes phréatiques ou les sources souterraines (PAC Eau-Eau),
- **Pompes Air/Air** : la PAC puise la chaleur dans l'air extérieur (procédé aérothermique) pour la restituer sous forme d'air chaud pulsé à l'aide de ventilo-convecteurs (vecteur air).
- **Pompes Air/Eau** : la pompe fonctionne à partir d'un procédé aérothermique mais la restitution de la chaleur se fait à partir de radiateurs.

Sur le marché français (voir infra), ce sont les solutions de PAC Air/Air qui portent le marché, les PAC géothermiques restant faiblement développées (notamment en raison de leur coût, de la méconnaissance du public, du manque de compétences des installateurs). Ainsi, le secteur des pompes à chaleur géothermiques compte davantage sur le segment des installations collectives pour trouver une dynamique<sup>1</sup>.

### 1.2.2 Conversion de chaleur en électricité

#### Chaîne de valeur simplifiée de la production d'électricité ou chaleur en réseau par géothermie haute température

Source : analyse SEA



Le développement de la géothermie profonde est un processus long et demande de nombreuses compétences qui ne sont pas toujours maîtrisées par un seul opérateur sur la chaîne de valeur (voir infra la partie sur les acteurs).

La production de chaleur/électricité géothermique nécessite des investissements importants, mais ils sont contrebalancés par des coûts d'exploitation faibles et prévisibles. Le coût total installé d'une centrale géothermique couvre l'ensemble des activités sur la chaîne de valeur jusqu'à la construction.

D'après l'IRENA<sup>2</sup>, le coût total global installé des centrales géothermiques est généralement compris entre 1,87 MioUSD / MW et 5,05 MioUSD / MW, sachant que les fourchettes de coûts des centrales géothermiques dépendent du type de centrale (flash ou binaire), de la productivité des puits (le nombre de puits) et d'autres caractéristiques du champ géothermique. Les coûts sont donc très sensibles au site foré. Par exemple, l'installation d'une capacité supplémentaire sur des champs existants peut être un peu moins coûteuse, tandis que les coûts des projets dont les conditions de site plus difficiles se situent l'extrémité supérieure de la fourchette. En général, les coûts des centrales binaires ont tendance à plus élevés que ceux des centrales à vapeur directe et flash.

<sup>1</sup> Source : Etude Observ'ER, Avril 2021 – Suivi du marché et des prix 2020 des pompes à chaleur individuelles

<sup>2</sup> IRENA, Geothermal Energy, Technical Brief, 2017

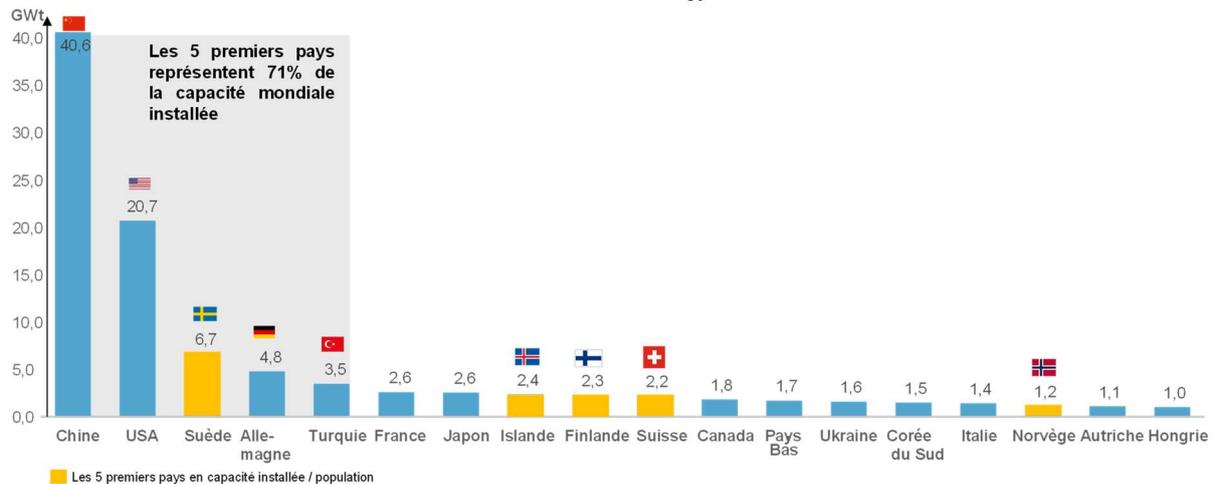
## 2 Tendances clés de la géothermie dans le monde

### 2.1.1 Marchés et principaux pays utilisant la géothermie

#### Le marché mondial des pompes à chaleur géothermiques : 108 GWth en 2019

#### Les 5 premiers pays consommateurs de géothermie en capacité installée en GWth 2019

Source : SEA sur données Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review, Octobre 2021

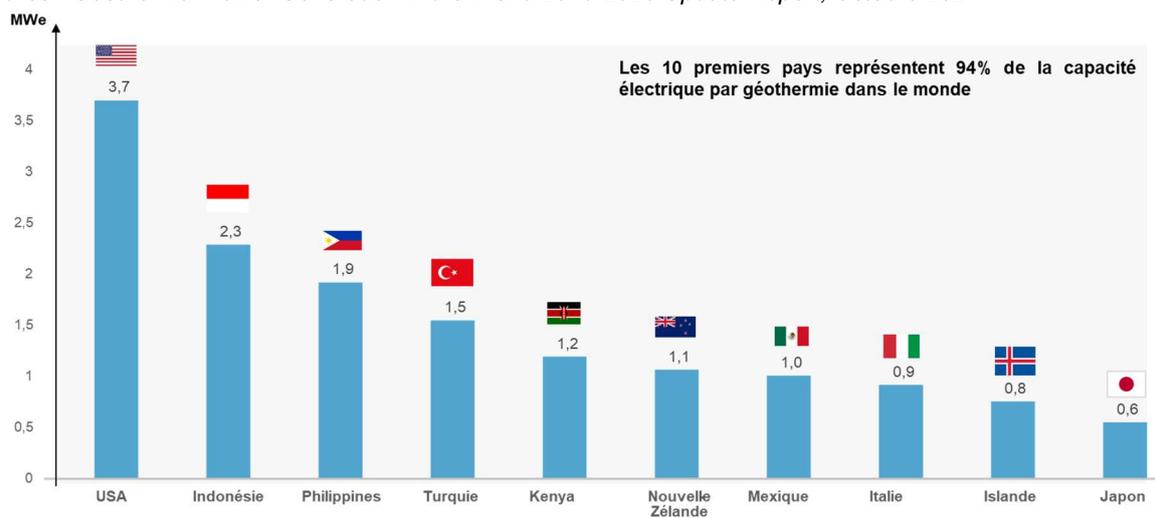


Les capacités installées mondiales d'utilisation directe de la géothermie sont de 108 GWth en 2019. Les 5 pays ayant la plus grande capacité installée (MWth) d'utilisation directe (y compris des pompes à chaleur géothermiques) sont : la Chine, les USA, la Suède, l'Allemagne et la Turquie, soit 71,1% de la capacité mondiale, et les cinq pays ayant la plus grande consommation annuelle d'énergie avec des pompes à chaleur géothermiques (TJ/an) sont : la Chine, les États-Unis, la Suède, la Turquie et le Japon, qui représentent 73,4 % de la consommation mondiale. Une analyse des données en termes de population montre que ce sont les petits pays qui dominent, notamment les pays nordiques. Les "cinq premiers" pour la capacité installée (MWth/population) sont l'Islande, la Suède, la Finlande, la Suisse et la Norvège.

#### Le marché de la géothermie électrique : un marché mondial de 15 Mds€ en 2019

#### Capacités installées de production électrique par géothermie en MWe en 2020

Source : Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report, Octobre 2021



Le marché Mondial de la géothermie électrique est estimé à 15 Mds€, correspondant à 16 GW installés et une production annuelle de 95 TWh. Dans les pays de l'UE, le marché est estimé à 1,55 Md€ pour une production de 6,6 TWh.

## 2.1.2 Principaux acteurs

### ▪ Pompes à chaleur

De nombreux fabricants de pompe à chaleur sont positionnés sur le marché de la géothermie. On peut citer les marques suivantes par origine (non exhaustif) :

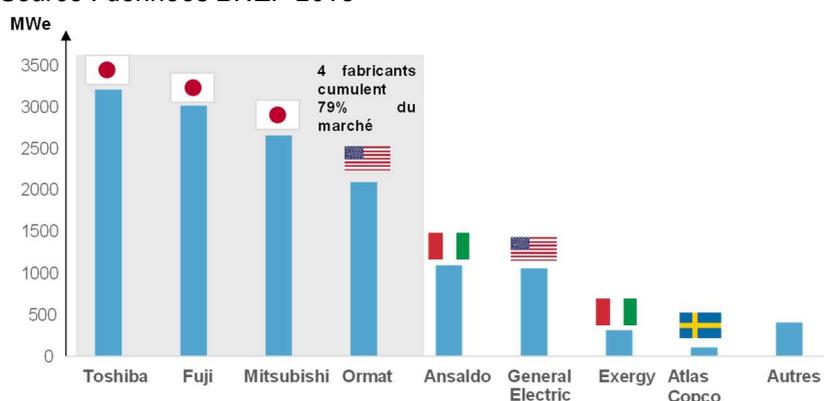
- **Japon** : Daikin, Mitsubishi, Toshiba
- **Allemagne** : Bosch Thermotechnik, Weishaupt, Stiebel Eltron, Alpha Innotec, Ochsner
- **France** : Airwell, Arkteos, Atlantic, Auer, France Air, France Géothermie, Saunier Duval, Viessmann
- **Irlande** : Dimplex
- **Suède** : Nibe, Thermia,
- **USA** : Carrier, CIAT (Groupe UTC)
- **Autres** : BDR Therma (plusieurs marques : Baxi, De Dietrich, Oertli, Sofath)

### ▪ Géothermie électrique

- Le marché des turbines

#### MWe installés par fabricants de turbines géothermiques

Source : données BNEF 2018



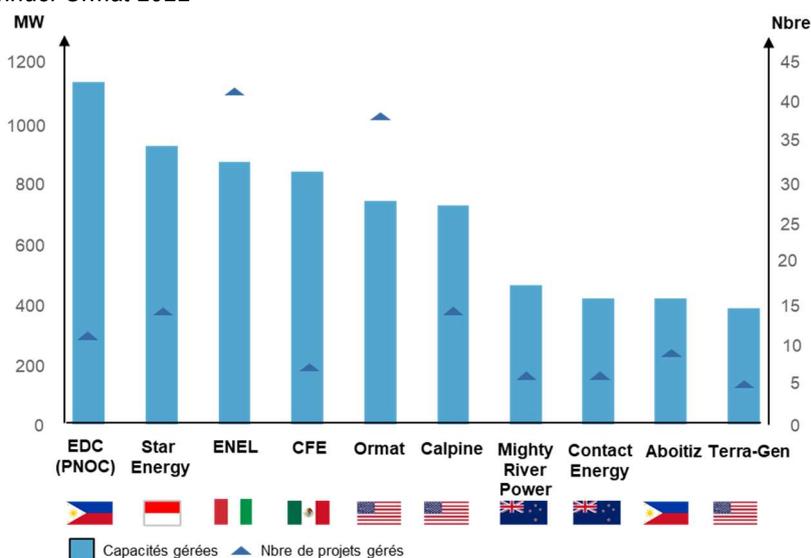
N.B. : comprend les projets géothermiques pleinement opérationnels et connectés au réseau jusqu'à fin 2017

Au niveau mondial, sur un parc installé à fin 2017 de 13,9 GWe, le marché des turbines est encore dominé par les systèmes géothermiques conventionnels à vapeur sèche ou flash, et les trois principaux fabricants de ces systèmes sont Toshiba, Mitsubishi et Fuji. Le quatrième opérateur, Ormat, est focalisé sur les systèmes binaires. Ces quatre sociétés cumulent 79% du marché.

- Les opérateurs de centrales géothermique

#### Les 10 premiers propriétaires et gestionnaires de centrales électriques géothermiques en 2021

Source : rapport annuel Ormat 2022



Parmi les 10 premiers opérateurs mondiaux, on trouve des entreprises publiques (PNOC aux Philippines, CFE au Mexique), un groupe énergétique européen (ENEL) et des opérateurs privés.

### 2.1.3 Le renouveau de la géothermie ?

- Le retour des compagnies pétrolières ?

Certaines compagnies pétrolières avaient par le passé investi dans la géothermie – elles avaient les compétences pour le forage – mais elles ont par la suite revendu leurs actifs, l'activité restant loin des standards de rentabilité des activités principales (Unocal of California, Chevron et Texaco avaient investi dans la géothermie). Deux éléments les font revenir aujourd'hui dans la géothermie : 1) l'émergence de start-ups (voir infra) qui apportent de nouvelles solutions technologiques qui permettraient de rentabiliser les projets, 2) les pétroliers cherchent à se diversifier et à verdir leurs activités, la géothermie pouvant présenter une opportunité. Ainsi, Chevron et BP ont investi des tickets dans plusieurs start-up en 2020 et 2021.

- Des innovations pourraient rendre le forage plus facile

#### Exemples de start-ups dans le domaine de la géothermie

Source : analyse SEA

#	Nom	Logo	Date de création	Pays	Levée de fonds	Solution
1	Eavor		2017	Canada	65 MioUSD	La solution technologique d'Eavor permet de s'affranchir de la nécessité d'une température de type volcanique ou d'aquifères perméables. Chevron et BP ont investi dans la société
2	Dandelion Energy		2017	USA	64,5 MioUSD	Dandelion Energy est un guichet unique pour la conception et l'installation de systèmes géothermiques. La société a été incubée au sein d'Alphabet (Google)
3	Quaise		2018	USA	58 MioUSD	Quaise Energy est née dans les laboratoires du MIT et propose de forer en grande profondeur grâce à un «gyrotron» (génération d'ondes à grande fréquence).
4	Fervo Energy		2017	USA	39 MioUSD	Fervo Energy a développé une série de solutions exclusives pour augmenter la productivité et réduire le coût de la production d'énergie géothermique.
5	Baseload Capital		2018	Suède	37,5 MioUSD	Spécialiste suédois de la géothermie basse température, ou basse énergie; Chevron est au tour de table
6	AltaRock Energy		2007	USA	36,5 MioUSD	AltaRock Energy se concentre sur le développement des ressources énergétiques géothermiques et des systèmes géothermiques améliorés (EGS).
7	QHeat		2018	Finlande	2,5 MioUSD	La technologie de QHeat est fondée sur des puits de chaleur de 2000 mètres de profondeur utilisant la chaleur géothermique
8	Darcy Solutions		2018	USA	0,775 MioUSD	Darcy Solutions a mis au point un échangeur de chaleur qui réduit la période d'amortissement de 12 à 4 ans, offre une réduction de 20 % des OPEX et une réduction de 80 % des coûts initiaux par rapport aux pompes traditionnelles.
9	Loki Geothermal		2014	Islande	0,75 MioUSD	L'entreprise est spécialisée dans la production et l'entretien d'équipements géothermiques et développe actuellement des vannes de tête de puits pour les puits géothermiques à haute température.
10	Enerdrape		2019	Suisse	0,160 MioFRS	Enerdrape développe le premier panneau géothermique permettant de capter la chaleur géothermique et résiduelle présente dans les environnements souterrains
11	Watinyoo		2017	France	nd	Watinyoo propose un concept de micro-réseaux de chaleur intelligents utilisant des boucles d'eau géothermiques

On répertorie plus d'une centaine de start-ups dans le domaine de la géothermie, certaines orientées vers la techno (Quaise, Eavor, ...), d'autres sur le développement de solutions géothermiques pour le grand public (Dandelion, Enerdrape). Les premières expérimentent notamment des techniques de forage qui permettent de réduire drastiquement les coûts et / ou qui permettent de forer en très grandes profondeurs, sans être obligatoirement en zone volcanique. Dans tous les cas, la géothermie suscite l'intérêt, avec une forte domination américaine (même si d'autres pays comme la Suède, l'Islande, la France, sont représentés).

- Lithium et géothermie

L'une des voies développées aujourd'hui pour améliorer la rentabilité des centrales géothermiques est d'extraire des coproduits existants dans les eaux géothermales, et notamment le lithium, minéral dont la demande a explosé ces dernières années, notamment pour les batteries. Plusieurs projets sont aujourd'hui orientés vers ce double modèle d'affaire (production d'électricité / extraction de minéral).

### 3 Focus sur la France

#### 3.1.1 Le marché et son évolution

##### ▪ PAC Géothermie

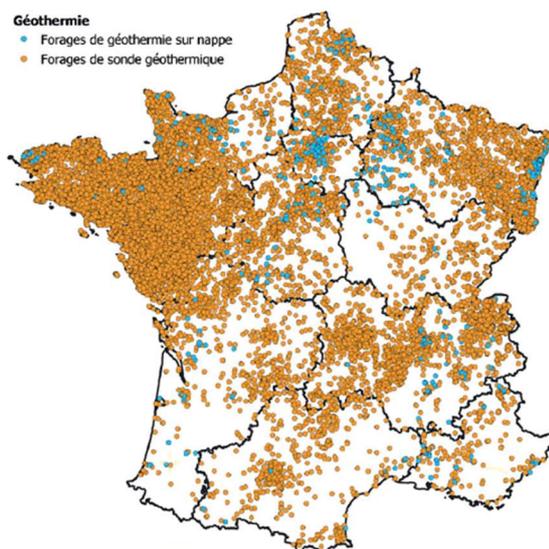
#### Parc installé de PAC géothermie de surface, poids de la géothermie dans la chaleur renouvelable, localisation

Source : données *Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération*, édition 2021 et carte BRGM/AFPAC

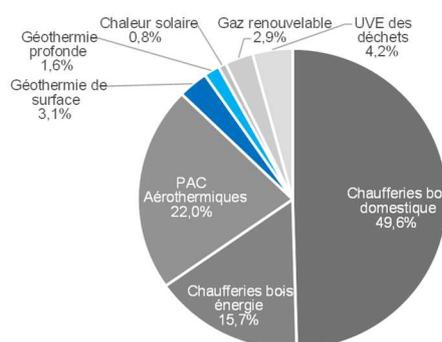
#### Parc installé de PAC géothermie de surface

Type	Nombre	Puissance en MW	Production en TWh
<b>Individuel</b>	195 000	2339	3,6
<b>Collectif</b>	2 300	231	0,4
<b>Tertiaire</b>	9 200	506	0,8
<b>Total</b>	<b>206 500</b>	<b>3 076</b>	<b>4,8</b>

#### Localisation des installations géothermiques très basse énergie



#### Poids de la géothermie dans la chaleur renouvelable



Le marché des PAC (toutes technologies confondues) a explosé ces dernières années : au global, le marché a été multiplié par 3,8 entre 2013 et 2021 (en nombre d'unités vendues sur le marché des particuliers). Pour autant, les ventes de PAC géothermiques restent, elles, stables, et ce depuis 2016, autour de 3000 unités vendues / an (après un fort développement sur la décennie 2002/2012)<sup>3</sup>. Concernant le marché des particuliers, les professionnels rappellent que les équipements sont relativement chers à l'achat comparés aux solutions alternatives (notamment les PAC aérothermiques), ce qui dissuade la grande majorité des particuliers d'envisager plus avant ces solutions. De plus, cette technologie reste très mal connue du grand public et les ventes de PAC géothermiques se font majoritairement dans l'existant (82 %).

Dans le mix de la chaleur renouvelable (total marché évalué à 153 TWh pour l'année 2020), la géothermie occupe une part relativement faible, de l'ordre de 3,1% pour la géothermie de surface (marché des PAC) et de de 1,6% pour la géothermie profonde.

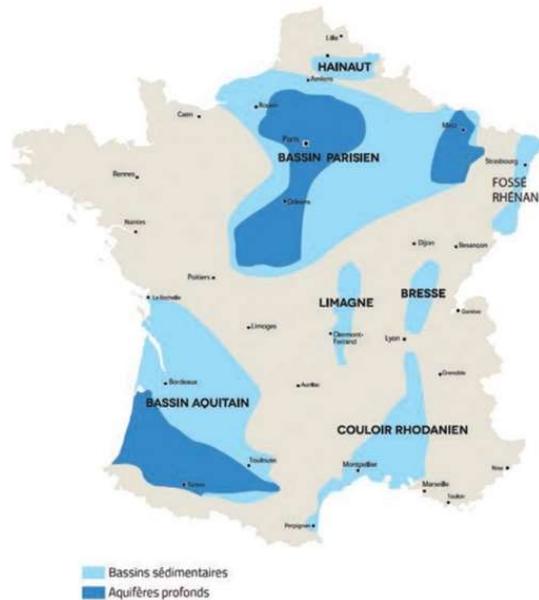
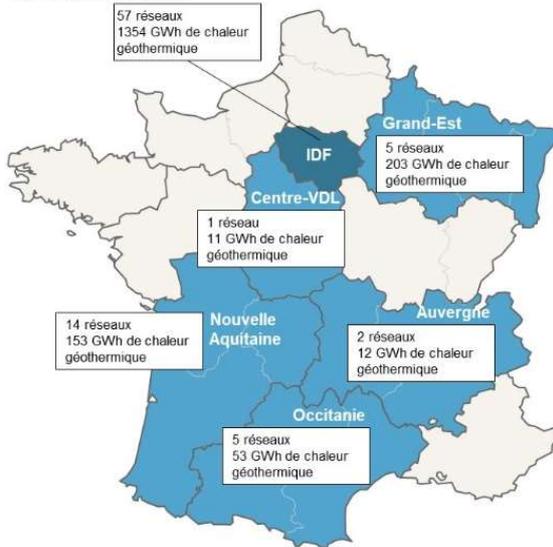
Le chiffre d'affaires estimé pour 2020 sur le segment des PAC géothermiques est de 13,2 Mio€. En matière de répartition géographique du marché, la Bretagne (31%) et l'Auvergne – Rhône-Alpes (25%) sont les principales régions métropolitaines.

<sup>3</sup> Par comparaison, en Allemagne et dans les pays Scandinaves, 25 à 50% des PAC installées sont des PAC géothermiques.

## ▪ Chauffage en réseau d'origine géothermique

Réseaux de chaleur avec géothermie par région (nbre et chaleur géothermique délivrée en 2019)  
Source : données AFPAC

Cartographie des bassins sédimentaires français  
Source : BRGM



En France, 79 réseaux de chaleur sont en activité en 2019, représentant 1,7 TWh de production annuelle. La majorité de ces réseaux sont concentrés en Ile-de-France sur le Bassin parisien, cette région concentrant 75% de la chaleur d'origine géothermique des réseaux de chaleur. Les autres régions sont la Nouvelle Aquitaine (Bassin aquitain) et ensuite, plus marginalement, le Couloir rhodanien, la Limagne et le fossé rhénan.

## ▪ Electricité d'origine géothermique

### Les deux centrales géothermiques électrogènes

Source : données sociétés

Centrale	Lieu	Région	Mise en service	Prod en		Opérateur
				Mwe	GWh	
Bouillante	Guadeloupe	DOM-ROM	1984	15	112	Ormat
Soultz-sous-Forêts	Soultz-sous-Forêts	Grand-Est	2008	2,1	10	Électricité de Strasbourg et EnBW

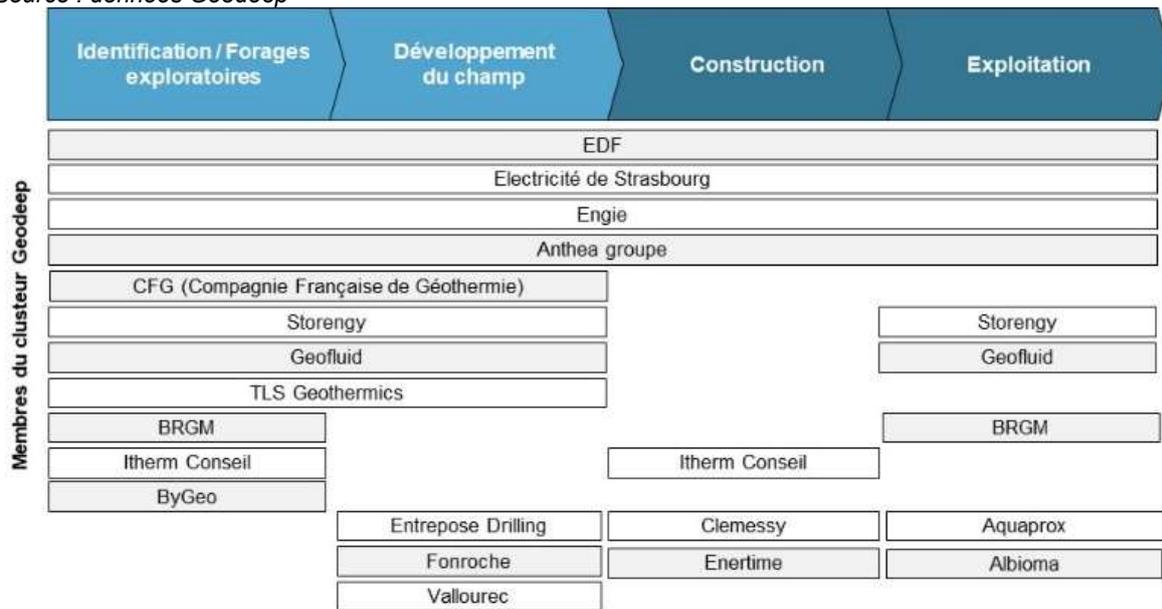
En France, la géothermie profonde de haute énergie concerne 2 centrales, une en géothermie volcanique (Bouillante) et une en technologie EGS (Soultz-Sous-Forêts). A noter qu'un pilote industriel a été installé dans l'usine géothermique de Soultz-Sous-Forêts pour réaliser l'extraction de lithium<sup>4</sup>.

Depuis 2011, quatre développeurs ont émergé (Fonroche, Electerre de France, ES Géothermie et Lithium Geothermal de France). De nombreuses demandes de permis ont été déposées. Par ailleurs, depuis 2015, la filière a créé un cluster qui regroupe des acteurs sur l'ensemble de la chaîne de valeur (géothermie profonde, chaleur / électricité) :

<sup>4</sup> Cette expérimentation, nommée Eugeli regroupe 9 partenaires (dont Eramet, le BRGM, l'Ifpen, la filiale géothermie d'ES, BASF). Une solution technologique a été développée et le projet s'est concrétisé par l'extraction de plusieurs kilos de lithium de qualité suffisante pour produire des batteries.

## Membres du cluster Geodeep

Source : données Geodeep

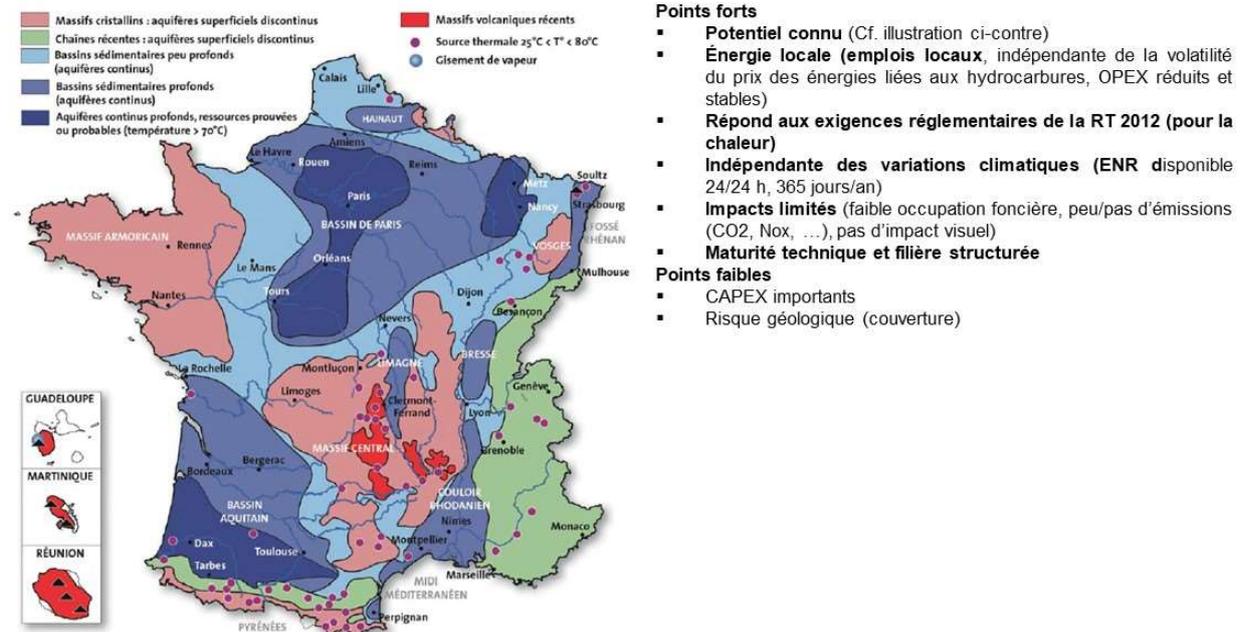


### 3.1.2 La situation aujourd'hui

#### Le potentiel géothermique

#### Variabilité des ressources géothermiques en France et atouts/faiblesses de la filière

Source : BRGM / Ademe pour carte, synthèse experts pour les atouts / faiblesses



#### Situation aujourd'hui

Malgré son potentiel, la dynamique de la géothermie a plutôt été lente ces dernières années, malgré les efforts redoublés de la filière qui s'est structurée en association (création de l'AFPG en 2010), en cluster (Geodeep en 2015) et a le soutien des pouvoirs publics (Ademe et le fonds chaleur, BRGM, Caisse des Dépôts et Consignations).

Les principaux freins de la filière restent : 1) pour la production de chaleur et de froid : outre la méconnaissance de la géothermie et son coût plus élevé que d'autres technologies, le principal obstacle a été le faible coût des combustibles fossiles et notamment le prix du gaz, et 2) pour les forages profonds : la principale limite est le risque géologique-hydrogéologique lors de l'investissement dans des puits profonds.

Dans son étude de la filière 2021, l'AFPG notait 4 points pour le développement de la géothermie en France<sup>5</sup> :

- **Développer les réseaux de froid géothermique** : en anticipation les pics de chaleur, l'AFPG note les futurs besoins en froid et considère que la géothermie présente un immense potentiel, aussi bien pour le secteur des particuliers que pour les réseaux de froid,
- **Alléger les procédures** : cette injonction étant une réponse aux réformes du code minier alors en cours,
- **Relocaliser la production de lithium** : ce point a déjà été évoqué dans cette note, géothermie et extraction de lithium pouvant être couplés, répondant d'une part à la réduction du coût de la production par géothermie et aux besoins croissant du minerais
- **Insuffler une nouvelle dynamique aux énergies renouvelables** : ce dernier point est une injonction de politique générale mais à l'aune de la situation géopolitique sur le gaz, on peut espérer que la filière sera entendue et que la géothermie trouvera une place de choix dans le futur mix énergétique de la France, au moins sur la chaleur et le froid, à défaut de trouver sa place dans la production électrique.

---

<sup>5</sup> Plus récemment, en avril 2022, l'EGEC (l'association européenne de acteurs de la géothermie) a adressé une lettre à la Commission européenne pour l'appeler à préparer d'ici 2023 une stratégie européenne pour libérer l'exploitation de la géothermie ainsi que l'extraction durable de minéraux associés tels que le lithium.



**SEA Conseil en stratégie est un cabinet de conseil qui accompagne ses clients sur des problématiques de croissance**

- sur quels métiers investir, rester ou sortir ?
- comment continuer à croître ou à augmenter la rentabilité sur des activités existantes ?
- quelles sont les opportunités de marché et les menaces concurrentielles ?
- quelles sont les priorités managériales ?