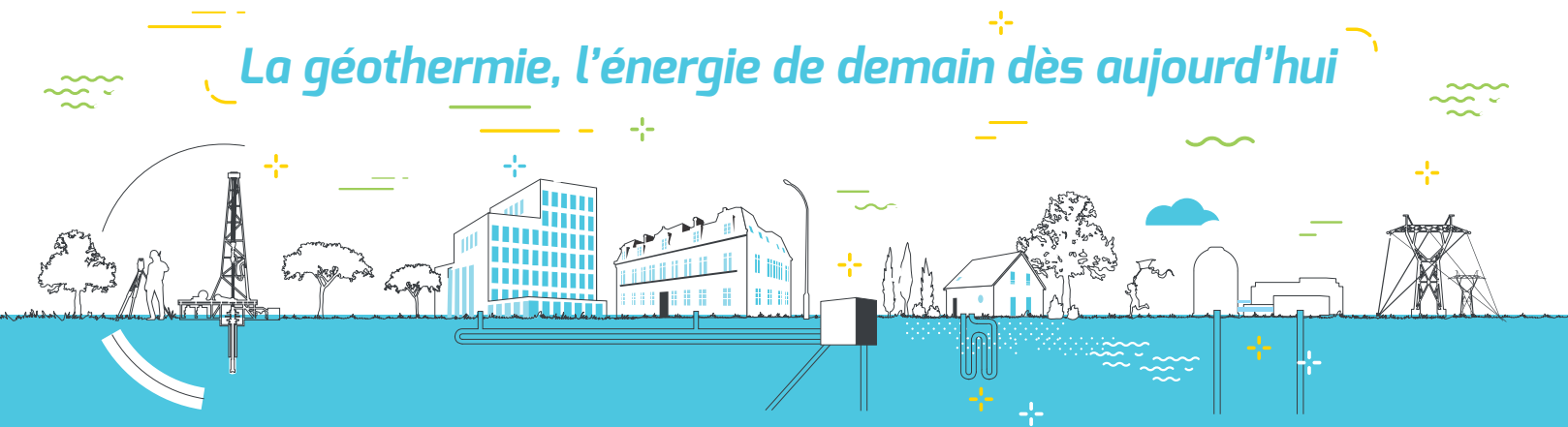




La géothermie, l'énergie de demain dès aujourd'hui



LA GÉOTHERMIE EN FRANCE

Étude du marché en 2015

• Sommaire

1	La géothermie, une vaste gamme de chaleur	3
2	De 10 à 30°C : La géothermie Très Basse Énergie	4
2.1	Méthodologie de l'enquête forages géothermiques	4
2.2	Les ventes des Pompes à Chaleur géothermiques (PACg)	4
2.3	Marché 2015 de la géothermie très basse énergie	6
2.4	Perspectives de développement	13
3	De 30 à 90°C : La géothermie basse énergie	14
3.1	Fonctionnements et usages	15
3.2	Etat de la production française en 2015	16
3.2.1	Le Bassin Parisien	16
3.2.2	Le Bassin Aquitain	19
3.2.3	Les autres ressources exploitées : Couloir Rhodanien et Limagne	20
4	Au-delà de 90°C : La géothermie haute énergie	21
4.1	Fonctionnements et usages	22
4.2	Les centrales géothermiques haute énergie en fonctionnement en France	23
4.3	Planning des projets en France	24
5	Une filière de plus en plus structurée	29
5.1	Dispositifs d'aides	30
5.2	Des professionnels qualifiés	33
6	La géothermie, un atout pour la transition énergétique	35

• Bibliographie / Liens utiles

Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
www.ademe.fr

Amorce
www.amorce.asso.fr

Association Française des Professionnels de la Géothermie
www.afpg.asso.fr

Association Française pour les Pompes à Chaleur
www.afpac.org

Bureau de Recherche Géologiques et Minières
www.brgm.fr

Certificats d'économies d'énergie
www.industrie.gouv.fr/energie/certificats.htm

Espace institutionnel sur la géothermie réalisé par l'ADEME et le BRGM
www.geothermie-perspectives.fr

Observ'ER
www.energies-renouvelables.org/accueil-observ-er.asp

European Geothermal Energy Council
www.egec.net

FEDENE
www.fedene.fr

Géothermie Soultz-Sous-Forêts
www.geothermie-soultz.fr

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
www.developpement-durable.gouv.fr

Qualit'Enr
www.qualit-enr.org

Syndicat des Énergies Renouvelables
www.enr.fr

Syndicat des Foreurs d'Eau et Géothermie
www.sfeg-forages.fr

• Glossaires / Abréviations

Bassin molassique : Formation sédimentaire détritique, épaisse, composée pour parties de couches turbiditiques mais aussi de couches terrigènes non turbiditiques (grès, conglomérats), déposée dans une zone orogénique en fin de tectonisation, et typiquement en discordance avec les couches sous-jacentes.

Cogénération : C'est la production simultanée de deux formes d'énergie différentes dans la même centrale, en général électricité et chaleur.

Équivalents logements : 1 équivalent-logement équivaut à environ la consommation de 12 MWh par an (soit 8 kWth installés)

Fossé d'effondrement (graben) : Structure tectonique constituée par des failles normales de même direction, et limitant des compartiments de plus en plus abaissés en allant vers le milieu de la structure. Elle peut se traduire dans la morphologie par un fossé d'effondrement (ou fossé tectonique). On connaît des grabens de toutes tailles : le fossé rhénan, les Limagnes, en constituent des exemples typiques. Il est à noter que la formation d'un graben exige une extension (ou distension) de la région.

Production (kWh/an) : Les kWh représentent le travail accompli d'1 kW pendant 1 heure. Les kWh/an expriment ainsi la consommation d'énergie sur une année. Afin d'avoir une idée du nombre de kWh consommés en un an, il faut tenir compte des heures de fonctionnement des PACg et donc des besoins en chauffage.

Puissances installées (kWth) : Un Watt (W) est l'unité légale de puissance et correspond à la quantité consommée ou produite par unité de temps, soit un joule par seconde. Les kW thermiques (kWth) correspondent à la puissance sous forme de chaleur installée.

Réservoir : Roche suffisamment poreuse et perméable pour pouvoir contenir des fluides (eau, pétrole, gaz,...). Ces roches (calcaires, dolomies, grès) ont un intérêt économique si leurs volumes sont suffisants, et si elles sont recouvertes par des couches imperméables interdisant aux fluides de s'en échapper.

Tonne Équivalent Pétrole (TEP) est une unité de mesure de l'énergie couramment utilisée pour comparer les énergies entre elles. C'est l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole moyen, ce qui représente environ 11 600 kWh.

1

La géothermie, une vaste gamme de chaleur

La géothermie est une énergie renouvelable capable de fournir du froid, de la chaleur, et de produire de l'électricité. Trois catégories permettent de classer la géothermie en fonction de la température prélevée dans le sous-sol.

La géothermie très basse énergie qui fonctionne à l'aide de pompes à chaleur géothermiques prélève des températures avoisinant les 15°C toute l'année à des profondeurs proches de 100 mètres en moyenne.

La géothermie basse énergie est concernée par des températures comprises entre 30 et 90 °C issues de nappes aquifères situées entre 400 et 2500 mètres de profondeur.

Enfin, la catégorie de la géothermie moyenne et haute énergie est concernée par des températures supérieures à 90°C dans des contextes géologiques particuliers.

En 2015, le marché français des pompes à chaleur géothermiques est passé en 8ème position du classement européen alors qu'en 2011 la France était 4ème derrière la Suède, l'Allemagne et la Finlande. Même si le parc français est parmi les plus fournis d'Europe, les nouvelles installations pour les particuliers sont à présent inférieures à 4000 unités par année, alors qu'elles atteignaient un maximum d'environ 20 000 en 2008 et environ 8000 en 2011.

La géothermie basse énergie française est le premier marché d'Europe pour délivrer de la chaleur via des réseaux urbains ou pour des applications agricoles et industrielles. En 2015, huit nouvelles centrales de géothermie basse énergie ont été créées, ce qui amène à 75 le nombre total d'installations de basse énergie en France.

Enfin la géothermie haute énergie compte à présent trois centrales en fonction en France, la dernière a été inaugurée en juin 2016. De nombreux projets sont en cours de développement en métropole et dans les DOM.

Une nouvelle politique environnementale est en cours de finalisation en France, il s'agit de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). La présente étude de marché compare les résultats 2015 avec les objectifs PPE de 2018, 2023 et 2030 qui ont été élaborés avec l'appui de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) et du Syndicat des Énergies Renouvelables (SER).

En juillet 2015, un nouveau décret est entré en vigueur définit les activités ou installations de géothermie dite « de minime importance » (GMI). Le décret simplifie le cadre réglementaire qui leur est applicable en autorisant ces installations par une simple déclaration de travaux effectuée par voie dématérialisée. Le texte précise également que les travaux devront être réalisés par des entreprises prestataires de forage disposant de qualifications particulières.

C'est donc toute la filière de la géothermie très basse énergie qui s'est structurée afin d'améliorer la qualité des installations et de simplifier la réalisation des opérations. L'AFPG a un rôle important à jouer pour communiquer au grand public les améliorations de la filière et ainsi aider son développement.

2

De 10 à 30°C : La géothermie Très Basse Énergie



La première étude de marché de la géothermie a été réalisée par l'AFPG en 2011, les résultats pour la géothermie très basse énergie étaient fondés sur les données de ventes de pompes à chaleur géothermiques (PACg) de puissances inférieures à 50 kW. Dans cette étude 2015, les pompes à chaleur de puissances supérieures ont également été comptabilisées, permettant de chiffrer le marché des bâtiments collectifs.

La partie Très Basse Énergie (TBE) de l'étude est organisée de manière à expliquer le calcul des chiffres du marché 2015, d'une part par la méthodologie de l'enquête AFPG réalisée auprès des foreurs en géothermie, d'autre part grâce aux chiffres de ventes de PACg. Ensuite, un inventaire des différentes technologies est réalisé pour estimer le nombre d'installations en 2015, avec un détail particulier sur les installations sur nappe et sur sondes. Enfin, une projection sur le développement de cette filière est réalisée avec une comparaison aux objectifs nationaux.

2.1. Méthodologie de l'enquête forages géothermiques

Une enquête auprès des foreurs de géothermie, qui réalisent des forages, pour **sondes géothermiques verticales** (SGV) et sur **nappes aquifères**, a été menée entre mars et juin 2016. Un questionnaire unique séparé en quatre tableaux (SGV particuliers, SGV collectifs, nappes particuliers, nappes collectifs) a été envoyé à quelques 130 entreprises de forages, dont environ 75 d'entre elles détenaient déjà la qualification QUALIFORAGE au moment du lancement de l'enquête. Le taux de réponse est d'environ 30%. L'AFPAC estime que cela représente 50% des opérations réalisées en 2015.

Les questionnaires ont permis d'extraire trois types de critères, pour les installations sur sondes, dans l'habitat collectif et les maisons individuelles :

- les répartitions des opérations par région (anciennes régions pour plus de détails),
- les répartitions entre l'habitat neuf et rénové,
- les puissances installées moyennes par type d'opération,

Exceptées pour les anciennes régions administratives Bretagne, Centre-Val-de-Loire, Basse et Haute Normandie, Limousin et PACA, les données concernant la répartition entre l'habitat neuf et rénové n'étaient pas assez fournies. Nous avons donc appliqué la moyenne nationale pour ces régions. Les données relatives aux installations sur nappes pour la répartition entre neuf et rénové n'étaient pas non plus suffisantes pour en permettre l'exploitation. Pour les deux autres critères les résultats de l'enquête étaient satisfaisants.

Le nombre de pompes à chaleur géothermiques vendue en 2015 a pu être établi grâce aux données de l'AFPAC, d'Uniclimate et d'Observ'ER. En ce qui concerne les proportions régionales nous avons pu les déduire à partir des questionnaires.

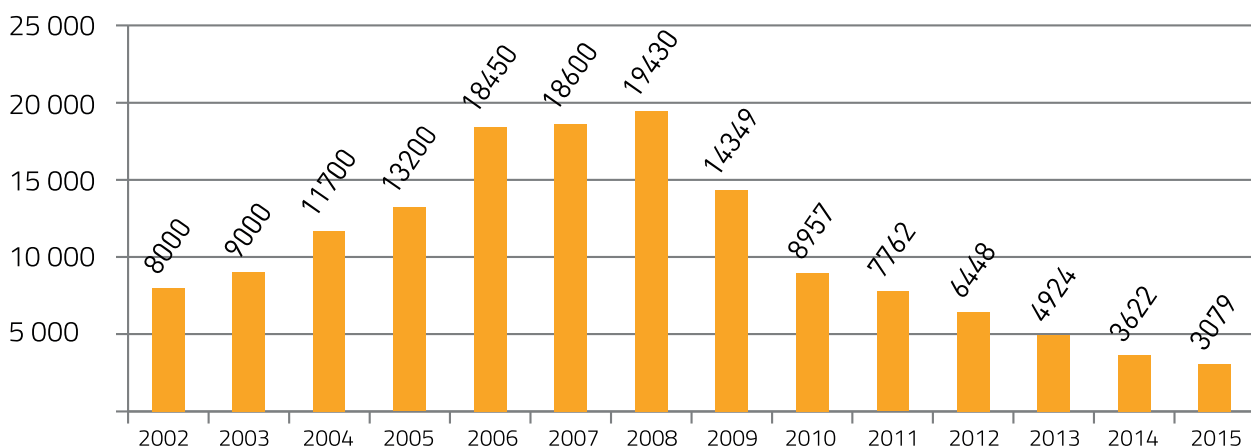
Il a donc été ainsi possible de déterminer des valeurs de puissances installées par région et par technique.

2.2. Les ventes des Pompes à Chaleur géothermiques (PACg)

• Evolution des ventes de PACg dont la puissance est inférieure à 50 kW depuis 2002

Les PACg recensées dans les enquêtes d'Uniclimate et de l'AFPAC ont des puissances inférieures à 50 kW ; elles sont utilisées pour les installations chez les particuliers ou dans le petit collectif. La Figure 1 montre l'effondrement de leurs ventes, traduisant la mauvaise situation de l'état du marché de la géothermie pour le particulier. Cette forte baisse provoque la cessation des activités géothermiques dans certaines entreprises voire la disparition totale de PME. Les études montrent que cette perte de marché profite majoritairement aux pompes à chaleur air-air.

FIG 1 | Nombre de PAC géothermiques de puissance installée entre 2 et 50 kW vendues chaque année entre 2002 et 2015 (Uniclimate & AFPAC)



Les études de l'AFPAC, d'Uniclimate et PAC & Clim Info révèlent qu'en 2015, 3079 PAC géothermiques ont été vendues. Entre 2014 et 2015, le marché a perdu 15%. C'est sur ce même rythme annuel que le marché décroît entre 2010 et 2015. L'AFPAC lors de son assemblée générale de mars 2016, délivre quelques compléments d'informations sur ses ventes 2015 de PACg, comme les répartitions de puissances.

Ainsi sur les 3079 ventes, il y en a :

- 82% dont la puissance est comprise entre 2 et 20 kW,
- 12% dont la puissance est comprise entre 20 et 30 kW,
- 6% dont la puissance est comprise entre 30 et 50 kW.

Les installations pour un bâtiment particulier n'excèdent pas, en général, 20 kW, donc ce sont environ 2525 PACg qui ont été vendues pour des particuliers en 2015. Parmi les installations pour les particuliers, environ **800** sont de la géothermie horizontale et des corbeilles. Il reste donc environ **1725 PACg** installées sur des champs de sondes verticales ou des nappes aquifères.

Pour les bâtiments du petit collectif, avec des puissances de PACg comprises entre 20 et 50 kW, ce sont donc environ **554 PACg** qui ont été vendues en 2015, dont 369 d'une puissance entre 20 et 30 kW et environ 185 d'une puissance comprise entre 30 et 50 kW.

• Evolution des ventes de PACg collectives, dont la puissance est supérieure à 30 kW

La seule étude existante sur le marché français des pompes à chaleur d'une puissance supérieure à 30 kW a été publiée en 2016 par Observ'ER concernant les données du marché en 2014. Cette étude ne traite pas des puissances des PAC, mais montre à l'échelle de la France :

- les répartitions des techniques utilisées (sonde, nappe, eaux usées et eau de mer/cours d'eau),
- une répartition en fonction du type de bâtiment (habitat collectif, tertiaire bureau, santé hôpitaux et bâtiments municipaux),
- une répartition entre le neuf et l'habitat rénové.

L'étude a recensé que 550 PAC d'une puissance supérieure à 30 kW ont été vendues en 2014 en France, ce qui correspond à environ 220 opérations. Dans le cas des opérations collectives, il est fréquent d'observer des installations avec au moins deux PAC et cela pour quatre raisons :

- elles n'ont pas la même utilisation : par exemple l'une sera dédiée au chauffage et/ou au rafraîchissement, l'autre à l'eau chaude sanitaire,
- plusieurs PAC permettent une optimisation du fonctionnement selon la courbe de besoins de chaleur,
- en cas de panne, l'opération continuera de fonctionner à une puissance réduite sur une seule des PAC,
- les fortes puissances se font souvent en plusieurs PAC.

Cette étude a également comptabilisé le nombre de PAC vendues en 2013, sans détail de répartitions. Les résultats montrent une augmentation de 10% du marché des opérations dans les bâtiments collectifs entre 2013 et 2014.

À partir de l'enquête réalisée par l'AFPG auprès des foreurs, une augmentation de l'ordre de 13% des installations de PAC dans des bâtiments collectifs a été affichée entre 2014 et 2015. Le nombre de PAC d'une puissance supérieure à 30 kW, vendues en 2015 est donc d'environ 620 pièces, pour à peu près 250 opérations en respectant les proportions de l'étude d'Observ'ER, mais sans prendre en compte les quelques PAC utilisées sur des projets d'eaux usées ou d'eau de mer et sur cours d'eau

De plus, environ 185 PACg comptabilisées dans les chiffres de l'AFPAC ont une puissance comprises entre 30 et 50 kW, elles viennent donc s'ajouter aux chiffres d'Observ'ER. Ces deux études se recoupent et l'AFPG a fait le choix d'intégrer ces 185 PACg en plus dans les calculs de puissances et dans les répartitions régionales. Le total de PACg vendues en 2015 à destination du petit et du grand collectif (à partir de 20 kW) est de 1175.

2.3. Marché 2015 de la géothermie très basse énergie

Afin d'estimer le développement en 2015 de chaque technologie de la géothermie très basse énergie, un inventaire est réalisé. Les pompes à chaleur géothermiques vendues en 2015 ont été réparties par technologie en fonction de leur puissance. Un détail particulier est apporté aux installations sur sondes géothermiques verticales et sur nappes phréatiques, permettant notamment une répartition régionale à partir des résultats de l'enquête auprès des foreurs. Ensuite un bilan national de toutes les technologies est réalisé avant d'expliquer les facteurs clés qui affectent le marché de la géothermie TBE.

• Installations horizontales

Le nombre d'installations de géothermie horizontale est évalué à environ 750 en 2015 en tenant compte :

- des chiffres de ventes de PAC < 50 kW,
- des retours de la part de membres de l'AFPG,

Cette géothermie demande une grande surface de terrain proportionnellement à la surface chauffée ou rafraîchie.

Elle est donc essentiellement réservée aux habitats individuels. Etant posée à moins de 10 m de profondeur, aucune étude ou recensement réglementaire ne donne de détails de répartition pour ce type d'installations.

• Les corbeilles

Le marché 2015 des installations de corbeilles n'a pas pu être étudié par l'AFPG et le cadre réglementaire n'en demande pas non plus l'inventaire car les installations sont à moins de 10 mètres de profondeur. Cette technologie requiert une mise en œuvre très sophistiquée avec notamment une très bonne homogénéité du sol. Le nombre de pompes à chaleur vendues pour cette utilisation est probablement compris entre 1 et 3 % du marché global, soit entre 30 et 90 installations en France en 2015.

• Fondations thermoactives

La plupart des bâtiments collectifs d'une certaine envergure a besoin de fondations pour maintenir une bonne stabilité. Le principe des fondations thermoactives revient à utiliser les calories entourant ces fondations, en faisant circuler un fluide caloporteur à l'intérieur des fondations. Cette technique est encore très peu développée en France alors qu'elle pourrait être systématisée. Le surcoût dû aux tuyaux contenant le fluide caloporteur est très faible comparé à un système de chauffage et de climatisation traditionnel. L'Autriche est un pays en avance pour cette technologie car son sous-sol l'oblige à construire la plupart des bâtiments avec des fondations profondes. En 2015 en France, ce sont moins de 10 projets qui sont recensés pour cette technologie, à chaque fois avec des puissances de PAC supérieures à 150 kW.

• Le « Geocooling »

En France, à partir de quelques mètres de profondeur la température est constante toute l'année. Selon la région et l'altitude du site, cette température est comprise entre 8°C et 16°C. La géothermie très basse température peut permettre un usage direct de la température du sous-sol pour assurer le rafraîchissement d'un bâtiment, l'été ou bien toute l'année. Le principe du « geocooling » est donc de faire circuler via un échangeur le fluide caloporteur, qui provient du système géothermique, directement dans le réseau du bâtiment. La pompe à chaleur est contournée grâce à un bypass, comme indiqué en **Figure 4**, alors qu'elle peut continuer à produire l'eau chaude sanitaire, et/ou le chauffage.

Un autre intérêt majeur du « geocooling » dans une installation fonctionnant en chauffage l'hiver et rafraîchissement l'été est le rechargement du sol en calories durant l'été. Ce rechargement permet une augmentation du rendement annuel de l'installation, surtout pour les champs de sondes. Si le ou les compresseurs de la PAC ne fonctionnent pas, alors la seule consommation électrique du système de refroidissement sera celle de la pompe de circulation du fluide caloporteur.

FIG 2 | Principe des corbeilles géothermiques



FIG 3 | Principe des fondations thermoactives

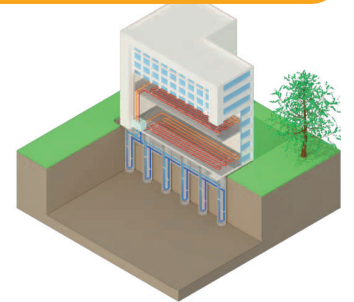
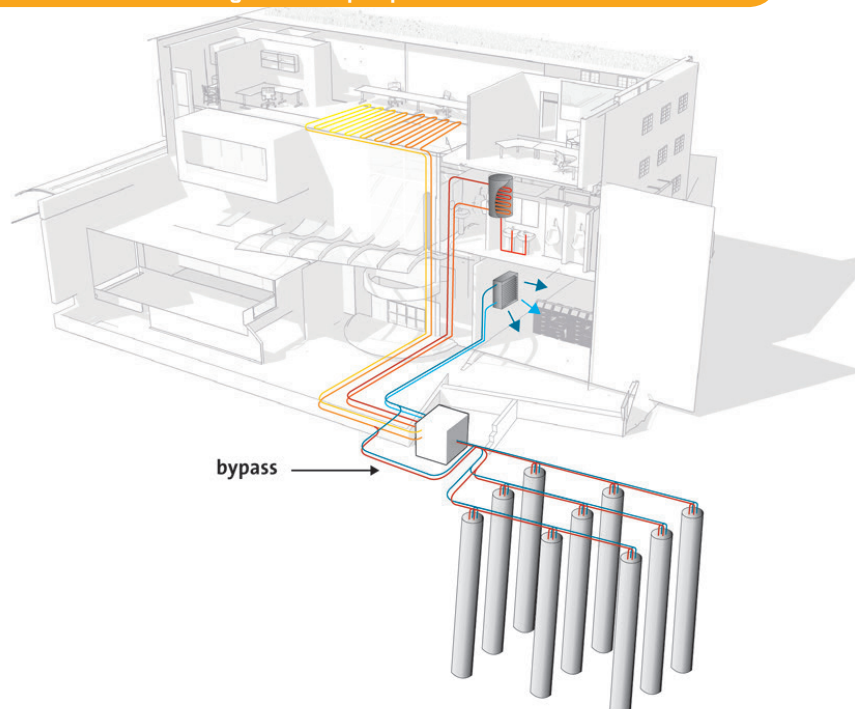


FIG 4 | Principe d'une installation de géothermie qui utilise le « geocooling » via un bypass, en plus de l'utilisation de la PAC © geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM



Le « geocooling » peut être utilisé dans tous les types d'opérations de la géothermie très-basse énergie, d'une installation pour le particulier, jusqu'au réseau qui connecte plusieurs bâtiments collectifs.

Il est complexe de chiffrer le nombre d'opérations de géothermie qui exploite cette technique relativement récente et encore plus d'estimer les kWh de froid produits.

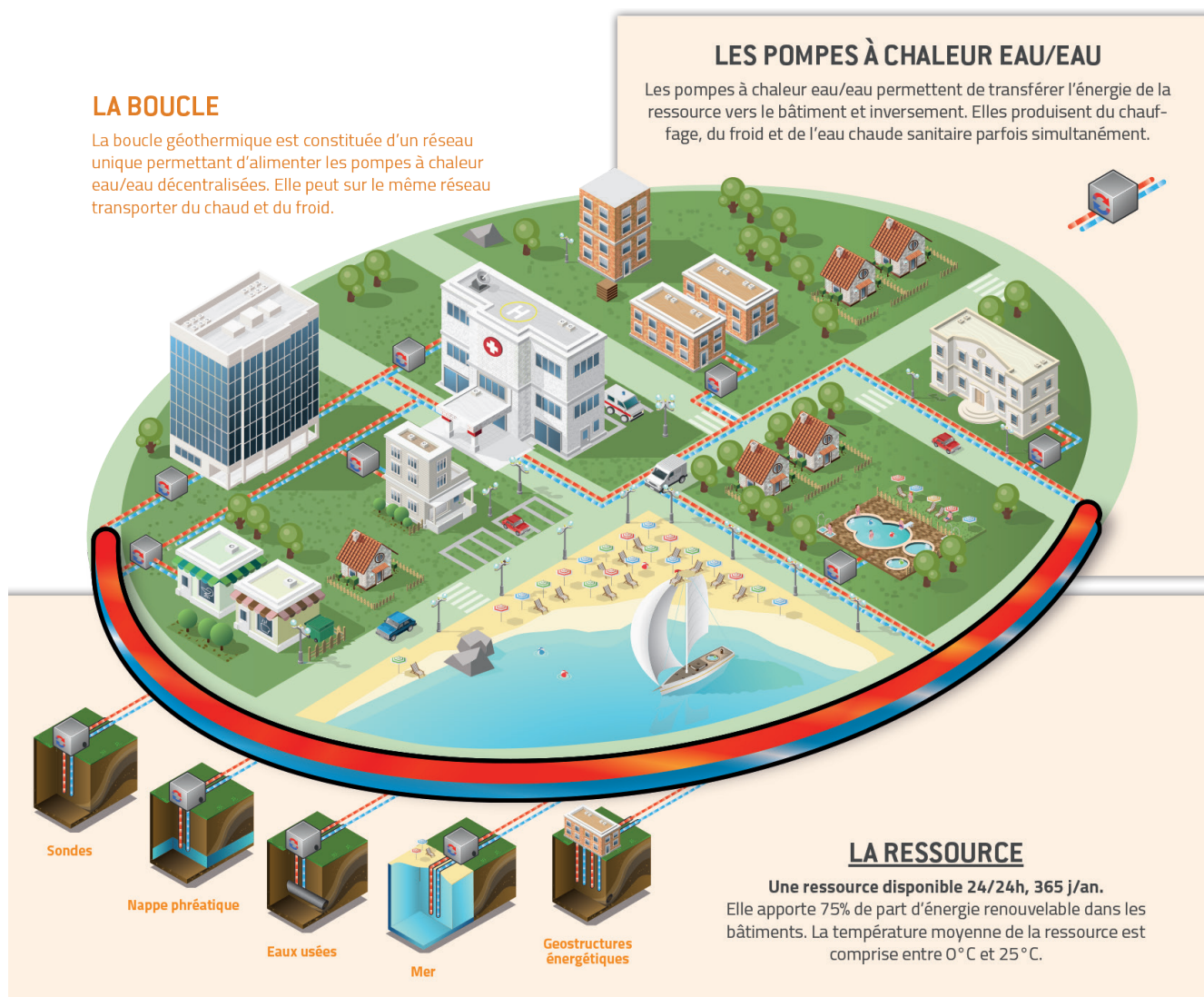
• Géothermie sur boucle d'eau tempérée

Le principe de la boucle d'eau tempérée est similaire à celui d'un réseau de chaleur, mais dans ce cas la source géothermique est d'assez faible profondeur. Il est donc possible de l'exploiter en chaud et en froid. De plus, les pompes à chaleur sont délocalisées par rapport à la source géothermique. Cela permet d'ajuster les températures en fonction des usages de chaque bâtiment, pour chauffer, produire de l'eau chaude sanitaire, de l'eau froide ou de l'eau glacée pour le rafraîchissement ou la climatisation.

En 2015, un groupe de travail AFPG s'est emparé du sujet de la boucle d'eau géothermie très basse énergie. Leurs travaux en cours donnent lieu à l'élaboration :

- d'un recensement des installations en cours de réalisation ou existantes,
- la mise en œuvre de documents de communication pour diffuser le principe et les avantages de cette technologie **Figure 5**.

FIG 5 | Illustration issue de la plaquette d'informations sur la boucle d'eau géothermique réalisée par le groupe de travail de l'AFPG



Les projets de boucle d'eau tempérée mettent plusieurs années à se réaliser, il est donc difficile de chiffrer le marché relatif pour l'année 2015. Néanmoins, on dénombre environ une dizaine de boucles d'eau tempérée à partir de

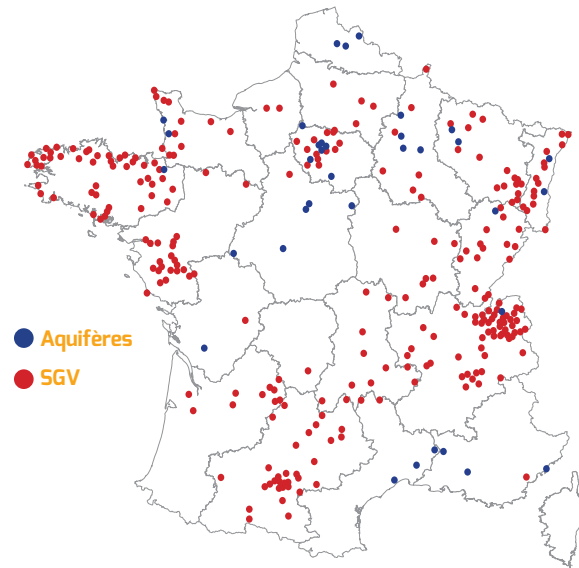
la géothermie et environ la moitié à partir d'eau de mer ou d'eau de stations d'épuration. Les coûts totaux pour ce type d'installations (forages, tranchées, tubes, PAC...) peuvent être compris, en fonction de la taille de l'installation, entre 300 000 € et 2 M€ HT.

• **SGV et Nappes : cartographie de la répartition nationale, réalisée par télé-déclaration**

Depuis juillet 2015, les opérations réalisées en géothermie très basse énergie, d'une profondeur supérieure à 10 m sont obligatoirement télé-déclarées dans une base de données gérée par le BRGM.

Ces déclarations permettent de montrer quel type de géothermie est réalisé (sondes ou nappes) en fonction de l'emplacement, tel qu'illustré par les points de la cartographie ci-jointe (**figure 6**).

FIG 6 | Télé-déclarations des forages géothermiques entre juillet 2015 et avril 2016 (BRGM, 2016)



Parmi les régions où la géothermie s'est le plus développée entre juillet 2015 et avril 2016, il y a par ordre décroissant d'activité, les anciennes régions : Rhône-Alpes, Bretagne, Alsace, Île-de-France, Midi-Pyrénées et Pays de la Loire.

• **SGV et Nappes : Résultats enquête 2015 auprès des foreurs**

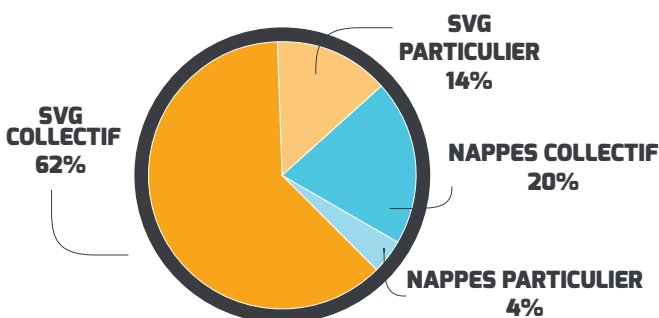
Le tableau récapitulatif par régions résume les données de puissances installées en kWth pour la géothermie très basse énergie en 2015, en fonction des types d'opérations, uniquement pour les SGV et les nappes. Une comparaison avec les résultats de l'étude du marché 2011 de l'AFPG permet de dresser les évolutions sur 4 ans.

En 2015, les régions ayant installé le plus de kW géothermiques sont par ordre décroissants de puissance : Île de France, Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, Bretagne, Alsace et Pays-de-la-Loire. Ces 6 régions sont également celles mises en évidence par la cartographie des télé-déclarations.

À l'échelle de la France, c'est environ **103,5 MW** géothermiques supplémentaires qui ont été installés pour ces deux techniques. En appliquant un facteur d'utilisation de la PAC d'environ 1500 h/an (moyenne française pour le chauffage l'hiver), on en déduit que ces nouvelles installations vont permettre de produire au moins **155 GWh/an** de chaleur et de froid géothermiques.

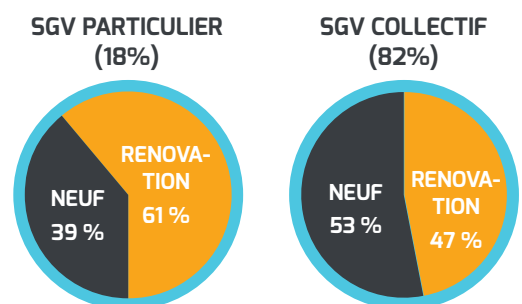
Globalement, le marché français 2015 se répartit avec environ 76% de la puissance installée qui provient des forages sur sondes géothermiques verticales (SGV), ce qui montre l'importance de ce type d'installations et seulement 24% de la puissance est installée sur des forages réalisés sur aquifères superficiels.

FIG 7 | Répartition en 2015 entre les différentes installations de géothermie sur nappes et avec SGV



La **Figure 7** ci-contre montre le détail avec les installations pour le particulier et pour le collectif :

L'enquête auprès des foreurs a permis de connaître les répartitions entre les opérations pour des bâtiments neufs et pour de la rénovation de bâtiment, pour les SGV uniquement. Les camemberts ci-dessous indiquent les valeurs à l'échelle de la France, en 2015 :



Puissance installée de PAC géothermique (kW) en 2015							
	SGV		Nappe		TOTAL en kW	2011 (kW)	Evolution en %
	particulier	collectif	particulier	collectif			
Auvergne Rhône-Alpes	2 880	13 940	124	523	17 468	10 394	68,00%
Auvergne	728	4 935	0	0	5 663	1541	
Rhône-Alpes	2 152	9 006	124	523	11 805	8 853	
Bourgogne Franche-Comté	587	5 341	21	613	6 562	NC	NC
Bourgogne	382	1 085	21	436	1 924	NC	
Franche-Comté	205	4 256	0	177	4 638	2 904	
Bretagne*	2 484	6 824	0	0	9 308	18 954	-51,00%
Centre-Val de Loire*	174	135	342	1 301	1 953	4 798	-59,00%
Corse	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Grand-Est	1 730	10 590	784	3 303	16 407	24 252	-32,40%
Alsace	1 112	6 811	0	781	8 704	13 554	
Champagne-Ardenne	243	818	589	1 764	3 414	3 045	
Lorraine	374	2 961	195	759	4 290	7 653	
Haut-de-France	139	678	799	2 317	3 934	6 474	-32,00%
Nord-Pas-de-Calais	0	109	526	1 292	1 927	3 902	
Picardie	139	569	273	1 025	2 007	2 572	
Ile-de-France	1 474	7 029	1 538	8 783	18 825	21 787	-14,00%
Normandie	276	1 841	66	582	2 765	NC	NC
Basse-Normandie*	202	953	66	371	1 593	3 227	
Haute-Normandie*	73	887	0	211	1 172	NC	
Nouvelle-Aquitaine	766	1 148	250	2 479	4 643	8 121	-43,00%
Aquitaine	305	715	163	1 454	2 637	3 900	
Limousin*	209	298	34	455	997	1 413	
Poitou-Charentes	252	136	53	569	1 009	2 807	
Occitanie	1 003	10 429	37	163	11 632	3 032	+284%**
Languedoc-Roussillon	99	668	37	163	966	1 230	
Midi-Pyrénées	904	9 761	0	0	10 666	1 801	
Pays de la Loire	2 195	5 848	0	0	8 043	6 343	27,00%
PACA*	299	348	195	1 139	1 981	4 609	-57,00%
Total France (kW)	14 007	64 154	4 156	21 203	103 520	114 894	-10,00%
Total France (MW)	14	64,2	4,2	21,2	103,5	114,9	
Total France (MWh/an)	21 011	96 231	6 235	31 805	155 281	172 341	
Total France (TEP/an)	1 807	8 276	536	2 735	13 354	14 821	

* La répartition entre opérations sur le neuf ou le rénové n'a pas pu être calculée dans ces régions. C'est donc la moyenne nationale qui a été appliquée.

** Evolutions entre 2011 et 2015 particulièrement significatives :

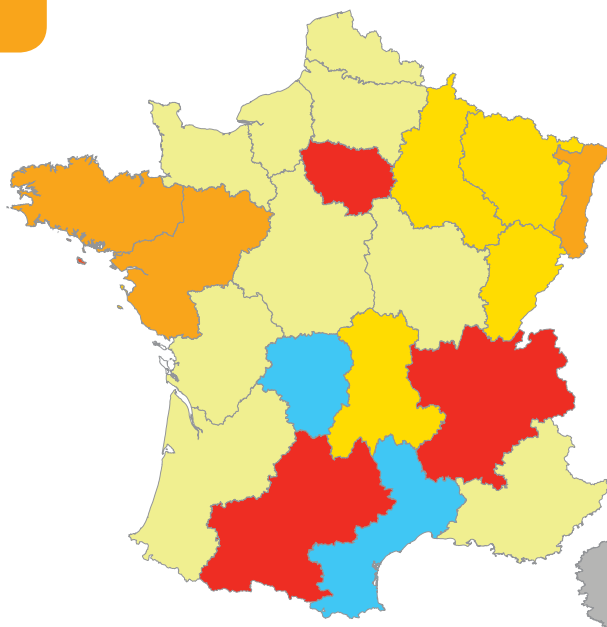
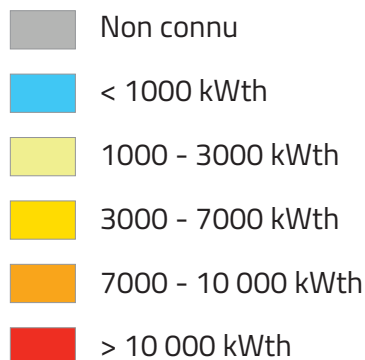
- Pour l'Auvergne, les chiffres de l'AFPG de 2011 auraient été sous-évalués,
- Pour la région Midi-Pyrénées, cette forte augmentation est liée principalement à la réalisation du champ de sondes du projet Airbus (plus de 30 kilomètres de sondes).

À l'échelle nationale, les installations 2015 pour le particulier représentent 18% de la puissance installée, et les installations pour le collectif représentent 82%. Ces chiffres ne reflètent pas le nombre d'opérations car les puissances ne sont pas les mêmes. Pour rappel, les ventes de PACg indiquent qu'environ 2900 pompes à chaleur, toutes puissances confondues ont été utilisées par des forages géothermiques (SGV ou nappes phréatiques).

La cartographie nationale de la **Figure 8** indique les régions avec le plus d'installations en 2015. En se référant aux données du tableau précédent, il est possible d'observer que certaines régions ont des puissances installées élevées uniquement grâce aux constructions pour bâtiment collectif.

FIG 8 | Carte des puissances installées en géothermie (SGV et nappes) en 2015

Puissances installées en 2015



Entre 2011 et 2015, les quantités de puissances installées par forage de SGV ou de nappes ont diminué de 10%. Cette valeur englobe les installations pour le particulier qui ont perdu environ 60% de marché (d'après les ventes de PACg), et les installations pour le collectif, qui semblent augmenter chaque année d'environ 10%.

• Bilan 2015 de la géothermie très basse énergie, toutes techniques incluses

Afin de prendre en compte toutes les installations de géothermie, il faut estimer une puissance moyenne pour les 800 PACg utilisées par la géothermie horizontale et les corbeilles. L'AFPG estime qu'en moyenne les PACg pour ce types d'opérations sont de 12kW, sachant que ce sont très majoritairement des opérations pour les particuliers. Donc ce types d'opérations représente environ **9600 kW** supplémentaires installés en 2015 pour le marché du particulier.

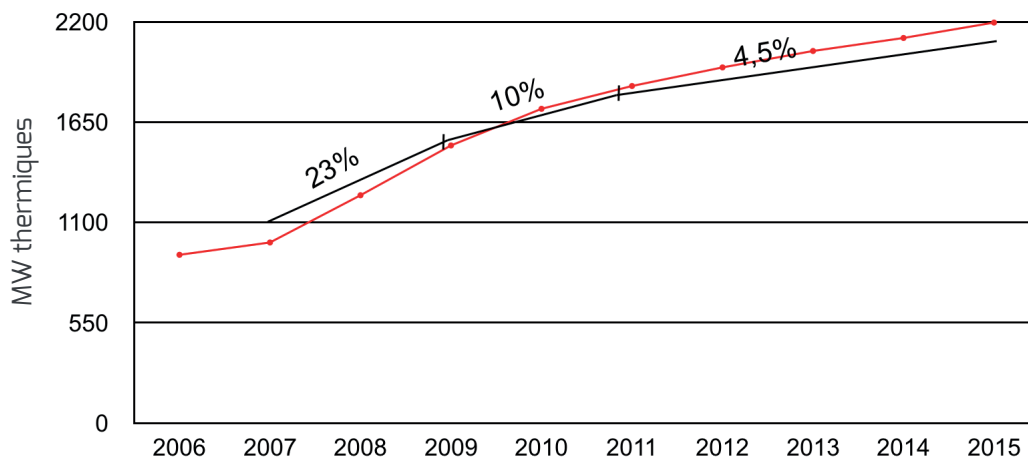
En émettant l'hypothèse que les quelques PACg vendues en 2015 pour les fondations thermoactives et les boucles d'eau géothermiques très basse température, sont comptabilisées dans les 1175 PACg collectives, alors la France totalise **113 120 kW** géothermiques installés en 2015. Le tableau suivant résume le marché 2015 de la géothermie très basse énergie.

Type d'opération	Installations pour le particulier			Installations pour le collectif		TOTAL 2015
	Réseaux horizontaux et corbeilles	SGV	Nappes	SGV	Nappes	
Nombre de PACg	800	1 725		1 175		3 700
Puissances installées (kW)	9 600	14 007	4 156	64 154	21 203	113 120
	27 763			85 357		

• Parc total installé en France

Il est complexe de donner une estimation du parc total installé concernant la géothermie très basse énergie. Dans l'étude de marché de 2011, l'AFPG estimait ce chiffre à 1850 MWth fin 2011. En fonction des ventes de PACg, Fin 2015, la puissance totale installée en France doit s'approcher de 2280 MWth, comme indiqué sur le graphique ci-dessous, qui permet également d'observer les variations de croissance et les tendances du marché depuis 2007.

FIG 9 | Cumul des puissances installées en géothermie très basse énergie et évolution du marché



• Pourquoi le marché de la géothermie TBE se dégrade t-il ?

Le nombre d'installations de géothermie chez les particuliers est en diminution depuis 2008 au profit des installations de pompes à chaleur aérothermiques. L'étude d'Observ'ER sur le marché des pompes à chaleur individuelles datée de novembre 2015 en donne quelques explications :

- « Les PACg sont chères et à court terme il n'y a plus beaucoup d'écart de consommation électrique entre une aérothermie installée correctement et une géothermie dont le coût d'installation est 50% plus chère.
- Cependant « la dégradation dans le temps d'une aérothermie est plus importante : l'encrassement du matériel, la dégradation de l'échangeur, les nuisances sonores... Le client découvre tout ça au fil du temps. L'aérothermie marche avec une bonne performance pendant deux ou trois ans, c'est-à-dire pendant la durée de la garantie, ensuite, elle nécessite des interventions qui vont renchérir le coût initial de l'installation. En revanche, en géothermie, la PAC fonctionne sur des températures stables ce qui permet un maintien du COP à un excellent niveau et donne une longévité plus importante aux matériels et en particulier à la PAC. L'entretien d'une géothermie est essentiellement lié à l'hydraulique (nettoyage filtres, pression d'eau, etc...)»

Au-delà, la géothermie est de plus en plus performante (des COP moyens annuels supérieurs à 5 deviennent courants) et les fabricants renouvellent leur gamme de PACg pour en augmenter encore leurs performances énergétiques.

• La diminution du prix des hydrocarbures

Avec la chute du prix des hydrocarbures c'est le secteur de la rénovation qui a fait défaut à la géothermie. Financièrement, il est beaucoup plus rentable à court terme de garder un système de chauffage aux hydrocarbures que de passer à la géothermie. Alors qu'elle est plus rentable à long terme tel que cela a été mis en évidence dans l'étude technico-économique réalisée en 2014 par l'AFPG.

« La géothermie, c'est un investissement, ce n'est pas une dépense ».

• La RT 2012

La réglementation thermique 2012 ne s'applique qu'aux bâtiments neufs alors qu'elle pourrait également réglementer les travaux de rénovation thermique. De plus, elle n'encourage pas suffisamment le développement de la géothermie, d'abord parce qu'elle ne réglemente pas les émissions de CO₂, mais aussi tout simplement car elle n'impose pas de part d'EnR dans le secteur collectif et tertiaire, contrairement au secteur de la construction des maisons individuelles.

2.4. Perspectives de développement

• Point de vue des fabricants :

Pour 2016, les fabricants de PACg voient trois possibilités pour maintenir un développement minimum du marché et ensuite le redévelopper :

- une forte incitation pour la demande de la part des pouvoirs publics français,
- des gammes nouvelles encore plus complètes en termes de puissance et d'équipements plus compétitifs,
- le renouvellement du parc installé; les premières PACg ont été installées dans les années 80.

Malgré ces propositions pour maintenir la croissance du marché, les chiffres de l'AFPAC du premier trimestre 2016 (de janvier à avril 2016) montrent que la diminution continue pour les PAC d'une puissance inférieure à 50 kW (788 PACg vendues en 4 mois, soit 23% de moins qu'en 2015).

• Titre V « geocooling »

Concernant le marché des pompes à chaleur, la réglementation thermique 2012 prend en compte, depuis l'arrêté du 5 mars 2013, les installations à double service, par l'agrément de titre V. C'est pourquoi l'AFPAC a entrepris de réaliser un Titre V système « geocooling ». Une fois que ce Titre V sera accepté, la réglementation thermique encouragera les installations de système de géothermie avec un bypass pour le geocooling. Ainsi confortée par la réglementation thermique, la géothermie devrait être plus largement préconisée en tant qu'unique énergie renouvelable qui produit du chaud et du froid.

• La participation des professionnels à l'élaboration de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie

Le SER et l'AFPAC ont rédigé un document qui a servi de base aux discussions avec le Ministère de l'Environnement pour la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE). Ce document daté d'avril 2015, a été établi sur la base des chiffres de 2012 pour faire des projections en 2018, 2023 et 2030. Les chiffres de 2015 sont rajoutés pour valider la tendance.

MWth PACg en cumulés	2012	2015	2018	2023	2030
Secteur particulier	1 680	1 780	1 920	2 260	2 820
Secteur collectif	270	500	720	1 095	1 620
Total	1 950	2 280	2 640	3 355	4 440

Pour le secteur particulier, l'évolution entre 2012 et 2015 est inférieure à l'évolution attendue entre 2015 et 2018. Cela démontre que des mesures doivent être prises pour augmenter les installations de géothermie chez le particulier. A l'inverse, pour le secteur collectif, les évolutions constatées en 2015 sont équilibrées. Il est même possible que la valeur définie pour 2018 soit dépassée étant donné la croissance du marché d'environ 10% par an.

• L'étude « Galliléo »

L'ADEME a commandé une étude sur les leviers permettant de redynamiser la filière géothermie très basse énergie dans les secteurs du résidentiel collectif, tertiaire, industriel et agricole. Le ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie a été associé au comité de pilotage de cette étude. Une enquête réalisée auprès de 50 maîtres d'ouvrage ayant investi en géothermie assistée par PAC montre qu'ils sont satisfaits à 96% de leur exploitation. De nombreux axes de développements ont été révélés, aussi bien à l'échelle régionale qu'au niveau national.

• RT 2018

La réglementation thermique de 2018 est en cours de préparation et l'AFPAC interagit avec les services de l'Etat en charge de cette réglementation pour aider au développement de la géothermie très basse énergie.

3

De 30 à 90°C : La géothermie basse énergie



En surface, différents usages de cette énergie apportée par la géothermie sont possibles :

- pour les réseaux de chauffage urbain,
- pour d'autres applications consommatrices d'énergie thermique :
 - Industrielles,
 - agricoles (chauffage de serres, pisciculture,...),
 - de services en santé, loisirs,... (piscines, centre nautique, thermes...)

Les besoins de température pour ces applications sont variables. Les calories de l'eau souterraine peuvent être utilisées directement (via un échangeur assurant le transfert d'énergie). Il peut aussi être ajouté à cet usage direct, une ou plusieurs pompes à chaleur, dont le rôle est alors d'augmenter la température de production finale. Sur un réseau de chauffage urbain, cela permet d'obtenir des températures de départ réseau plus élevées et ainsi de valoriser globalement plus de puissance à partir du gîte géothermique. Ce type de pompes à chaleur ayant des puissances comprises en 500 kW et 10 MW n'est pas dénombré dans la partie très basse énergie de cette étude. Elles sont adaptées à la plage de température correspondant à l'eau géothermale basse énergie (30°C à 90°C) et aux régimes de températures du chauffage urbain auquel elles sont raccordées (réseau eau chaude pouvant aller en général jusqu'à 110°C en période hivernale). Dans un second cas, les calories de l'eau souterraine ne sont pas utilisées en usages directs, c'est-à-dire que des pompes à chaleur augmentent la température dès la sortie du puits. Certaines installations peuvent par exemple être munies de pompes à chaleur pour différents usages, le chauffage des bâtiments (environ 30°C) et les eaux chaudes sanitaires (>60°C).

3.2. Etat de la production française en 2015

- **3.2.1. Le Bassin Parisien**
- Existant en Île-de-France

Le Bassin Parisien qui recouvre plusieurs régions françaises, compte cinq nappes d'eau qui peuvent être utilisées pour la géothermie, classées par profondeur croissante : les sables de l'Albien, les sables du Néocomien, les calcaires Lusitanien, les calcaires du Dogger, les grès du Rhétien et les grès du Trias (grès de Lorraine à l'Est et grès fluviatiles à l'Ouest).

La plus exploitée est celle du Dogger, dont les températures varient entre 56 et 85°C à l'aplomb de la région Île-de-France, entre 1600 et 2300 m de profondeur. Viennent ensuite les eaux présentes dans les sables de l'Albien (environ 650 m de profondeur) et du Néocomien (environ 850-1000 m de profondeur) qui sont également utilisées pour des réseaux de chaleur mais assistés systématiquement par PAC car les températures varient entre 28 et 38°C dans un même secteur.

L'Île-de-France compte à ce jour, 44 réseaux de chaleur alimentés par la géothermie pour 48 doublets ou triplets (**Figure 11**). Trois réseaux fonctionnent avec deux ou trois doublets ou en triplets (1 puits producteur et 2 puits réinjecteurs). Chaque réseau alimente en moyenne entre 4000 et 5000 équivalents logements. Ce sont donc près de **210 000 équivalents logements** qui sont chauffés par la géothermie en Île-de-France, soit 3,8% des logements de la région (INSEE, 2013), ce qui correspond à environ **450 000 personnes chauffées par la géothermie en Île de France**.

Parmi ces 44 réseaux géothermiques :

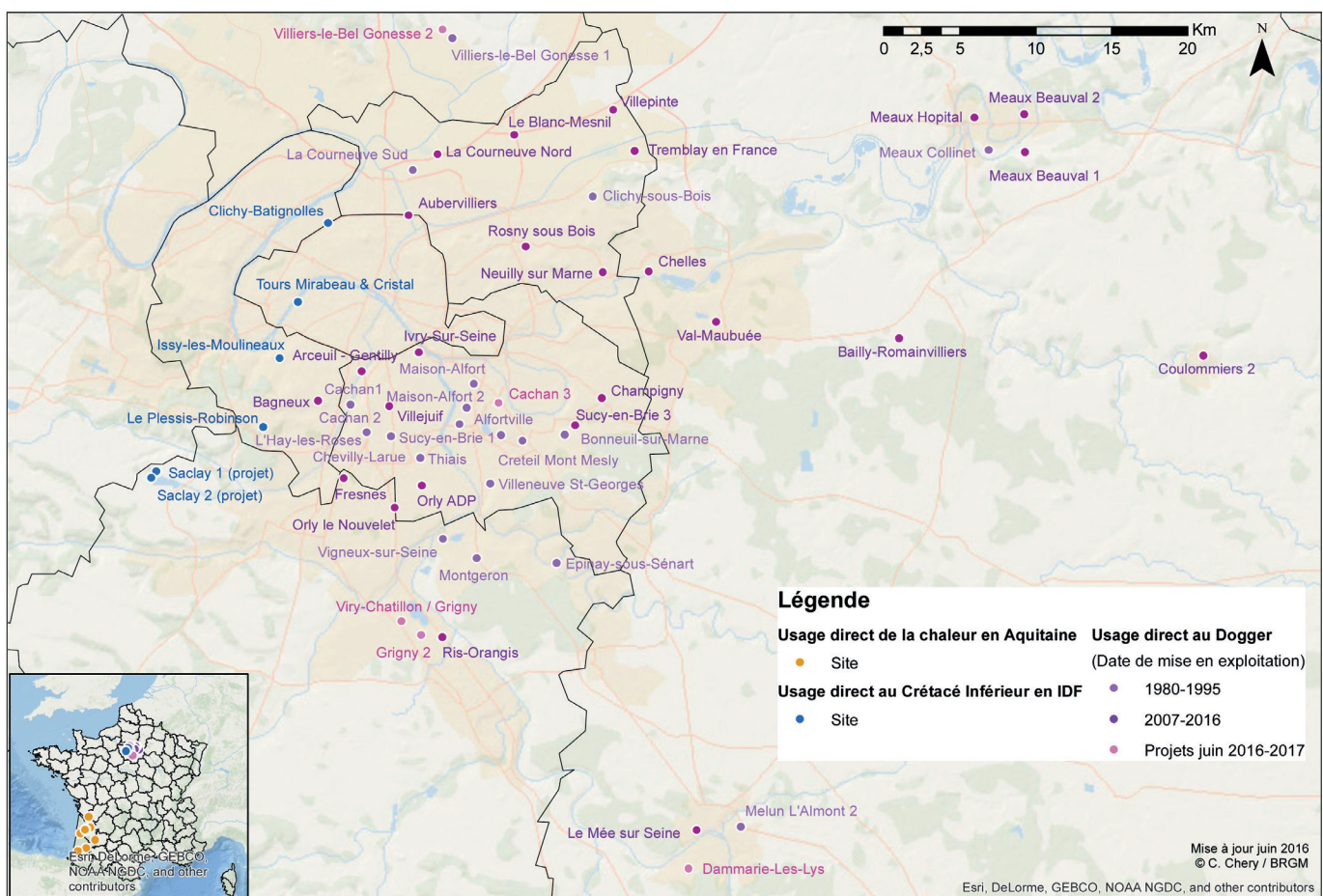
- 40 utilisent l'eau du Dogger et 4 les eaux de l'Albien ou du Néocomien.

• Réalisations 2015 et 2016

Depuis début 2015, ce sont 8 nouvelles centrales géothermiques qui ont vu le jour en Île-de-France, afin d'alimenter des réseaux de chaleur urbains et une zone touristique avec des bassins chauffés à plus de 30°C.

Réalizations 2015-2016 de 8 nouveaux réseaux de chaleur géothermique						
Nom du site	Puissance géothermique installée (MWth)	Puissance de PACg (en sortie de puits1 et en relève)	Longueur du réseau (km)	Equivalents logements	Profondeur forage (m)	Nappe exploitée
Clichy-Batignolles (75)	5	inconnu ¹	1	6 500	650	Albien
Bailly-Romainvilliers (77)	13,5	Pas de PAC	18	1 000 + 14 000 m ² de bassin chauffé à 30°C	1 800	Dogger
Bagneux (92)	10	13	12	9 500	1 800	Dogger
Rosny-sous-Bois (93)	14,4	7	11	10 300	1 800	Dogger
Villepinte (93)	11	Pas de PAC	7	5 200	1 900	Dogger
Arcueil-Gentilly (94)	9,5	2,5	13	10 000	1 600	Dogger
Ivry-sur-Seine (94)	12,5	Pas de PAC	5,5	12 500	1 600	Dogger
Villejuif (94)	11	4	Lié au réseau de Chevilly Larue et L'Hay Les Roses		1 600	Dogger
TOTAL	86,9	16,5	65,9	54 000		

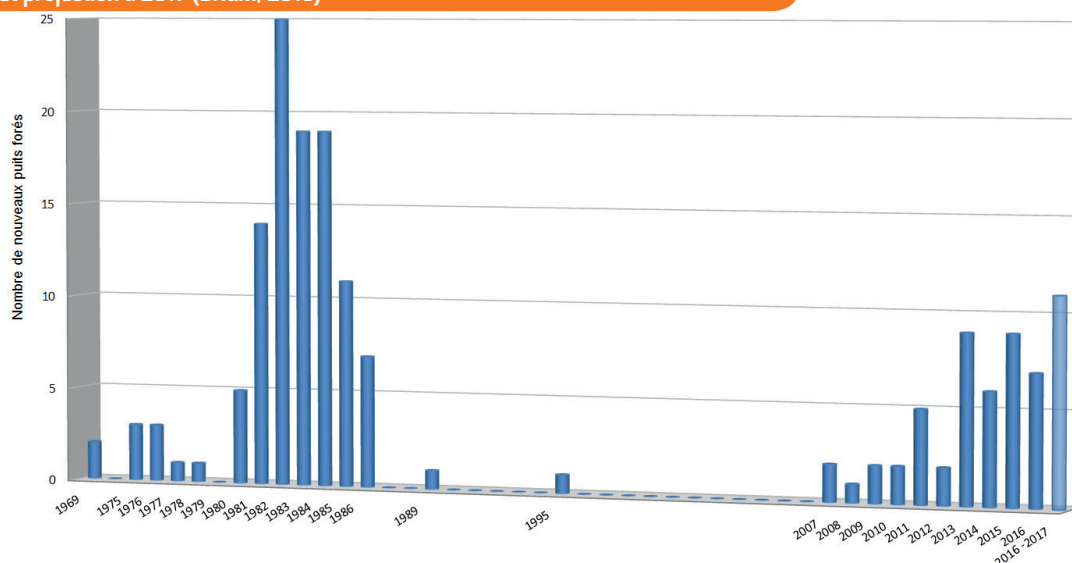
FIG 11 | Géothermie basse énergie, localisation des centrales d'Île-de-France (BRGM, 2016)



• Rénovations en Île-de-France

Ces 44 installations au Dogger ont principalement été réalisées, au début des années 80 et à nouveau lors d'une seconde phase démarrée en 2007. Les eaux du Dogger sont chargées en sels minéraux et sulfures qui ont une capacité de corrosion sur les matériaux de la boucle géothermale. Pour minimiser au mieux le phénomène de corrosion, il a été mis en œuvre un traitement inhibiteur de corrosion sur l'eau géothermale lorsque l'acier est utilisé en tubage. Pour faire face à la corrosion, une autre possibilité est le recours à des matériaux nobles (échangeurs à plaques en titane), mais aussi à des matériaux non métalliques (réseaux et tubage résines, fibre de verre...). Les forages réalisés dans les années 80 du fait de leur durée de vie, ont besoin d'être réhabilités. Dans certains cas, il faut réaliser un nettoyage mécanique et hydraulique du puits, ou de manière plus complexe, placer un nouveau tubage de diamètre inférieur (opération dite de rechemisage ou retubage) dans le puits. Dans d'autres cas, il faut forer de nouveaux puits pour permettre à l'exploitation de conserver, voire d'améliorer sa puissance thermique. Ainsi, parmi les nouveaux puits forés depuis 2007, certains ont permis à des centrales et des réseaux déjà existants de continuer à utiliser l'énergie géothermique. La **Figure 12** indique le nombre de puits forés au Dogger par année entre 1969 et aujourd'hui, ainsi qu'une projection en 2017.

FIG 12 | Histogramme des forages de puits géothermiques au Dogger entre 1969 et projection à 2017 (BRGM, 2016)



• Bassin Parisien hors Île-de-France

Le Bassin Parisien possède 5 installations supplémentaires hors Île de France; elles sont localisées par des points verts au Sud et à l'Est du Bassin sur la **figure 10**. Il s'agit de Châteauroux, dans l'Indre, pour un réseau de chaleur urbain avec une eau géothermale à 34°C et de quatre installations de chauffage, de thermes et de pisciculture avec des températures comprises entre 25 et 45 °C en Lorraine.

Le tableau suivant comptabilise toutes les opérations du Bassin Parisien, les 8 nouvelles installations y figurent en puissances installées et en nombre, mais sans production ou avec production partielle en 2015.

OPERATIONS DU BASSIN PARISIEN					
Départements	Nombre d'opérations	Puissances géothermiques installées (MWth)	Puissance de PACg (en sortie de puits et en relève)	Production 2015 (MWhth/an)	TEP/an
Paris (75)	3	14	6,5	12 489	1 074
Seine-et-Marne (77)	8	91	0	312 158	26 846
Essonne (91)	5	36,5	0	106 087	9 123
Hauts-de-Seine (92)	3	21	16	14 280	1 228
Seine-Saint-Denis (93)	8	61	22,5	53 509	4 602
Val-de-Marne (94)	16	204	35	604 298	51 970
Val-d'Oise (95)	1	4,6	0	24 555	2 112
SOUS-TOTAL IDF	44	432,1	80	1 127 376	96 955
Indre (36)	1	4	4,5	10 600	912
Meurthe-et-Moselle (54)	3	3,2	NC	5 861	504
Moselle (57)	1	2	NC	5 233	450
TOTAL BASSIN PARISIEN	49	441,3	84,5	1 149 070	98820

3.2.2. Le Bassin Aquitain

Dans le Bassin Aquitain, on dénombre une vingtaine d'installations de géothermie basse énergie datant pour la grande majorité des années 1980. Treize sites (dont 17 installations) sont représentés sur la carte ci-dessous et trois autres en points verts sur la carte en figure 10. Ces réseaux sont plutôt dédiés à la pisciculture, au chauffage de serres et de thermes. Les températures varient entre 25 et 73°C pour la ressource géothermale. Certaines installations ont la particularité de bénéficier de la réhabilitation d'anciens forages pétroliers, reconvertis pour l'utilisation de l'eau géothermale.

OPERATIONS DU BASSIN AQUITAIN					
Départements	Nombre d'opérations	Puissances géothermiques installées (MWth)	Puissance de PACg (en sortie de puits et en relève)	Production 2015 (MWhth/an)	TEP/an
Charente-Maritime (17)	2	3,1	0,3	19 975	1 718
Haute-Garonne (31)	2	5,2	NC	10 200	877
Gers (32)	2	6	NC	20 000	1 720
Gironde (33)	8	22	NC	73 000	6 278
Landes (40)	6	15	NC	53 360	4 589
Lot-et-Garonne (47)	1	NC	NC	NC	NC
TOTAL BASSIN AQUITAIN	21	51,3	NC	176 535	15 182

FIG 13 | Géothermie basse énergie, localisation des centrales d'Aquitaine (BRGM, 2016)



• 3.2.3. Les autres ressources exploitées : Couloir Rhodanien et Limagne

Parmi les 5 bassins sédimentaires restreints de la carte en figure 10, seuls deux sont actuellement exploités pour la géothermie basse température. Dans le couloir Rhodanien quatre sites sont en activité pour chauffer des serres, des piscines ou faire de la pisciculture avec des températures d'eau géothermale comprises entre 30 et 52°C. En Limagne, un site est recensé pour chauffer des serres avec une température de 43°C. Le fossé Rhénan en Alsace possède de par sa particularité géologique des installations de géothermie haute énergie, recensées dans la haute énergie de l'étude.

OPERATIONS DES BASSINS RESTREINTS					
Zones géologiques	Départements	Nombre d'opérations	Puissances géothermiques installées (MWth)	Production 2012 (MWhth/an)	TEP/an
Couloir Rhodanien	Hérault (34)	4	11	34 476	2 965
Limagne	Puy-de-Dôme (63)	1	7	11 512	990
TOTAL DES BASSINS RESTREINTS		5	18	45 988	3 955

3.3. Bilan et Projections

La contribution du Syndicat des Energies Renouvelables (SER) et de l'AFPG en avril 2015 pour la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) a défini des objectifs pour la géothermie basse énergie pour 2018, 2023 et 2030.

Afin de situer le développement de la géothermie basse énergie, il est possible de comparer les valeurs de 2012, 2015 et la projection 2018, avec un écart de trois années à chaque fois. Cependant, pour les chiffres de 2015, il faut déduire les 86,9 MWth des huit nouvelles installations qui ne sont pas encore en fonctionnement. Il faut également noter que certains sites en rénovation durant l'année 2015 peuvent avoir produit peu, voire pas du tout de chaleur géothermique. C'est notamment le cas de trois centrales en Seine-Saint-Denis (93) : Blanc Mesnil Nord pour création du nouveau doublet et rebouchage de l'ancien (puissance de 4,13 MWth), Clichy-sous-Bois pour arrêt définitif (puissance de 2,5 MWth datant de 1982), La Courneuve Nord pour abandon de puits producteur, d'une puissance de 6 MWth créé en 1983. Ce sont donc 12,63 MWth de puissance installée qui n'ont pas été utilisés en 2015 alors qu'ils sont comptabilisés dans le tableau suivant.

De plus, une moyenne de 5200 heures de fonctionnement par an était utilisée pour calculer les productions de chaque année. En 2015, d'après les réponses des exploitants des réseaux de chaleurs, la moyenne de temps de fonctionnement à l'échelle de la France, hors installation avec pompe à chaleur a été révisée et fixée à 3800 h/an à pleine charge. Le tableau ci-dessous récapitule les chiffres retenus dans la PPE.

Cumulé réseaux de chaleur (PPE)	2012	2014	2015	2018	2023	2030
Puissance (MWth)	290	305	423,7	530	790	1250
Energie annuelle (GWh)	1 500	1 593	1 371	2 767	4 128	6 453
Energie annuelle en ktep	129	137	118	238	355	555

Pour atteindre ces objectifs, différents axes de développement sont préconisés :

- **le doublement du Fonds Chaleur Renouvelable,**
- **le développement des réseaux de froid géothermique** (à ce jour, un seul réseau en Île-de-France distribue de la chaleur et du froid à la Porte d'Aubervilliers),
- **l'utilisation de technologies en cours de développement,** comme sur le plateau de Saclay la création de deux doublets à l'Albien pour une production de chaud et de froid, ou la réalisation à Cachan de faire un nouveau doublet en subhorizontal ce qui sera une première en géothermie au Dogger, mais devrait permettre de doubler quasiment la capacité de débit des ouvrages à plus de 450 m³/h,
- **la valorisation des aquifères profonds peu connus,** comme le Trias et le Lusitanien dans le Bassin Parisien, voire le Jurassique dans le bassin aquitain. L'ADEME a d'ailleurs lancé fin 2016 un appel à projet pour la géothermie au Trias avec des aides pour le développement des projets pilotes, afin d'inciter à l'exploration de cet aquifère profond.

Sept nouvelles centrales de géothermie basse énergie devraient s'implanter en Île-de-France d'ici 2018. Elles sont localisées sur la **Figure 11** en rose pâle ou en bleu annoté « (projet) ». Concernant le Bassin Aquitain, deux ou trois projets sont en cours d'étude à Bordeaux et sa Communauté Urbaine.

Le chiffre d'affaires total en 2015 de la filière de la géothermie basse température est estimé à 140 millions d'euros HT. Il est bon de rappeler ici que la TVA est réduite (5%) sur la facture d'énergie aux usagers pour les réseaux de chaleur utilisant dans leur mix énergétique plus de 50% d'énergies renouvelables et/ou de récupération.

4

Au-delà de 90°C : La géothermie haute énergie

La filière française de la géothermie de haute énergie connaît un nouvel essor depuis 2011, concrétisé en 2016, en Alsace, avec l'inauguration en juin de la troisième centrale haute énergie française. Plus d'une vingtaine d'autres projets sont en cours et au moins une dizaine devrait se réaliser dans les trois prochaines années.

4.1. Fonctionnements et usages

La géothermie dite de haute énergie peut servir à produire de l'électricité, en plus d'exploiter la chaleur par simple échange ou par cogénération. La production économiquement rentable d'électricité est possible à partir d'un fluide géothermal (eau chargée en minéraux, vapeur d'eau,...) 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 des coûts économiquement viables.

Avec les technologies courantes actuelles pour produire de l'électricité à partir de la géothermie, on peut classer les ressources en deux catégories en fonction de leur température :

• Les ressources de moyenne température (de 90 à 180°C)

Pour produire de l'électricité, avec cette gamme de température, il faut utiliser des centrales dites binaires, fonctionnant avec un cycle de Kalina ou un cycle organique de Rankine (ORC en anglais). Ce type de turbine a en moyenne une puissance électrique unitaire comprise entre 1 et 10 MWe. Certaines installations, par addition de modules en parallèle peuvent atteindre jusqu'à 60 MW ou plus. Lorsque l'on produit de l'électricité d'abord et qu'on valorise la chaleur résiduelle ensuite, on parle de cogénération.

• Les ressources à haute température (supérieure à 180°C)

Les températures de cette gamme peuvent être exploitées pour produire de l'électricité de différentes façons :

- directement avec la vapeur sèche issue naturellement de la ressource que l'on extrait du sol ;
- par une centrale à vaporisation par flash, où le fluide sous pression issu du forage entre dans une chambre à pression inférieure à celle du puits afin d'aider sa vaporisation avant d'accéder à la turbine ;
- par la combinaison d'une des deux méthodes développées ci-avant avec une centrale de type binaire (exploitée dans les ressources de moyenne température), ce qui donne lieu à une centrale hybride,
- par cycle binaire comme à moyenne température, lorsque le fluide est trop agressif pour être valorisé directement par flash.

Ces différents types de centrales géothermiques peuvent fournir une puissance électrique typique comprise entre 10 et 100 MWe, voire plus dans certains cas très favorables. Ces systèmes permettent également la cogénération de chaleur pour le chauffage urbain de grandes villes. Il faut noter qu'au-dessus de 200°C, ces ressources sont généralement limitées à des zones volcaniques.

Les réservoirs géothermiques se situent dans des contextes géologiques très différents. Les premières centrales géothermiques ont vu le jour dans des zones volcaniques où la température du sous-sol dépasse facilement 200°C sans avoir à forer au-delà de quelques centaines de mètres de profondeur ; on y trouve un fluide géothermal (eau chargée en minéraux, vapeur et parfois quelques faibles quantités de gaz non condensables) naturellement chauffé qui peut être pompé et réinjecté dans des zones de roches perméables, souvent fracturées. C'est le cas de la Toscane en Italie, de l'Islande ou de la Guadeloupe avec la centrale de Bouillante par exemple. Ce sont des ressources à haute température.

Cependant, les zones volcaniques actives se limitent à quelques pays situés à proximité des jonctions de plaques tectoniques. D'autres techniques ont été développées pour exploiter des eaux moins chaudes situées dans les zones continentales. Dans ce contexte, les ressources d'eaux chaudes se trouvent souvent plus en profondeur, mais sont disponibles sur une part plus importante du globe. Ces ressources de haute température se situent en général dans des zones géologiques que l'on peut classer en deux grandes familles de réservoirs :

- D'une part les réservoirs de type matriciel qui sont situés dans des roches chaudes poreuses et perméables. Ces couches géologiques contiennent un fluide géothermal qui y est donc naturellement chauffé. Plus cette zone poreuse est profonde, plus ce fluide sera chaud ; il est alors possible grâce à des forages très profonds de pomper ce fluide, d'exploiter sa chaleur pour l'utiliser directement mais aussi pour produire de l'électricité, puis de le réinjecter plus froid dans l'environnement de départ afin qu'il se chauffe à nouveau. C'est le cas par exemple des couches karstiques du Bassin molassique aux environs de Munich.
- D'autre part, il y a les réservoirs fracturés qui se trouvent essentiellement dans les bassins d'effondrement. Ces zones géologiques faillées contiennent parfois un fluide géothermal, mais il est difficile de le pomper ou de le réinjecter car la connexion des puits au réservoir n'est pas toujours optimale. Des programmes de recherches se sont développés pour étudier les possibilités d'exploiter cette ressource géothermale, notamment à Soultz-Sous-Forêts en France. Le principe EGS du système géothermique amélioré (Enhanced Geothermal System) a été mis au point afin de développer la circulation du fluide dans ces réservoirs géothermiques particuliers. Le nettoyage des sédiments qui obstruent les fractures souterraines naturelles est au cœur de cette technologie.

Cette technologie EGS est prometteuse et permettrait à de nombreux pays de se tourner vers la géothermie pour produire de l'électricité et de la chaleur renouvelables, locales et disponibles toute l'année sans interruption.

Une troisième famille de réservoirs peut également être mentionnée, celle des réservoirs artificiellement créés par fracturation hydraulique. Ce concept consiste à créer un échangeur au sein d'une roche chaude profonde. Ce concept est souvent classé par certains opérateurs dans la catégorie des EGS. À ce jour, aucun réservoir créé de manière artificielle n'est en exploitation, cela reste du domaine de la recherche fondamentale.

4.2. Les centrales géothermiques haute énergie en fonctionnement en France

En 2016, la France compte trois installations géothermiques avec des températures supérieures à 150°C. Les deux plus anciennes sont les centrales de Bouillante en Guadeloupe et la centrale de Soultz-Sous-Forêts en Alsace.

La centrale de Bouillante a commencé à produire de l'électricité en 1984 avec une puissance installée de 4,5 MWe (unité de Bouillante 1). Cette mise en production a été précédée de nombreuses études et forages d'essais réalisés dans les années 1960 et ont démontré une température d'environ 250°C avec un investissement de départ de l'ordre de 2,5 M€. À partir de 2000, de nouvelles études ont débuté pour augmenter la puissance installée de 11 MWe supplémentaires. Après trois forages successifs, l'unité Bouillante 2 a été mise en service en 2005, pour un coût total de 33,2 M€. L'unité de Bouillante 1 a par ailleurs été totalement rénovée en 2013 pour un investissement de 4,4 M€.

En 2015, la production annuelle moyenne de cette centrale de Bouillante d'une capacité totale installée de 15,5 MWe est de 80 GWh/an. Cette production représente 6% des besoins annuels de la Guadeloupe. Malgré les 40,1 M€ investis, Géothermie Bouillante, unique unité française de production électrique à usage civil a été rachetée par le groupe ORMAT, un opérateur américain qui en reprendra la concession à compter de septembre 2016.

FIG 14 Principe de fonctionnement géologique de la centrale de Bouillante
© geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM

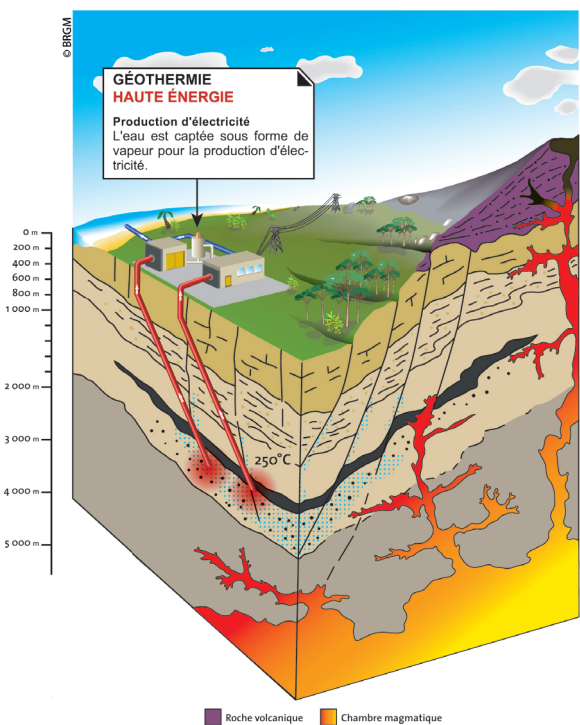
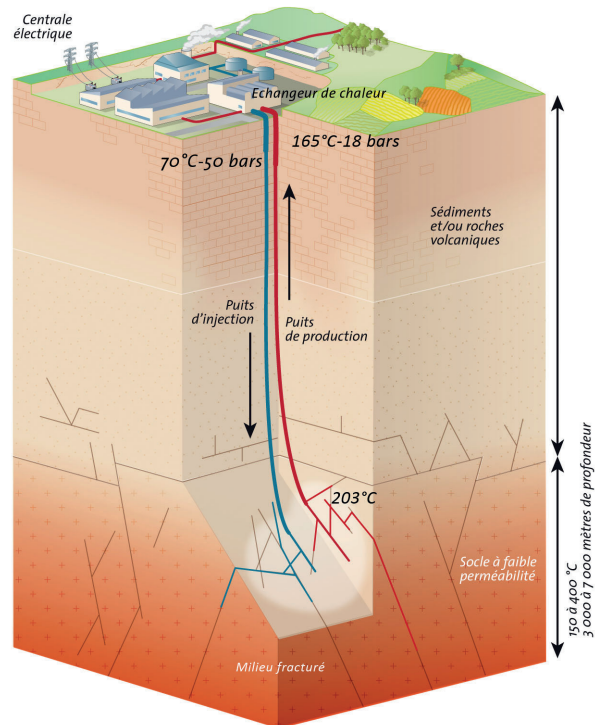


FIG 15 Principe de fonctionnement de la centrale de Soultz-Sous-Forêts
© geothermie-perspectives.fr, ADEME-BRGM



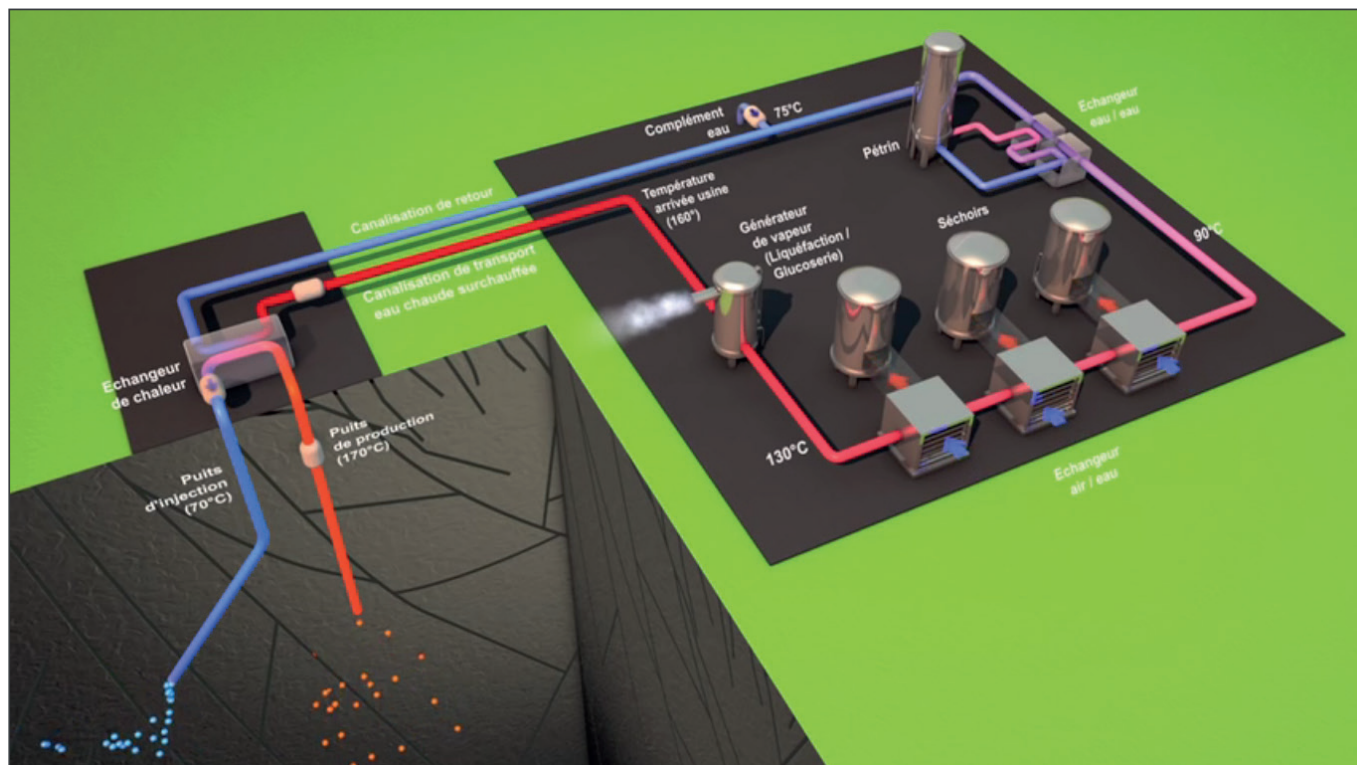
La centrale de Soultz-Sous-Forêts, portée depuis son origine et jusqu'en 2001 par une filiale du BRGM, est une centrale expérimentale qui est en fonctionnement depuis 2008. Durant plus de 20 ans, elle a servi à la mise au point de la technologie EGS pour produire aujourd'hui 1,5 MWe à partir d'une puissance thermique de 13 MWth. L'eau qui se trouve à 5000 m de profondeur a une température de l'ordre de 200°C. Cette centrale expérimentale a servi de modèle à de nombreux nouveaux projets français et mondiaux qui développent la géothermie dans des zones fracturées profondes que l'on trouve principalement dans les fossés d'effondrement appelés aussi grabens. Le projet de Soultz-sous-Forêts a constitué un investissement total de 80 M€ (30 M€ par l'Union Européenne, 20 M€ par la France (Ademe), 20M€ par les ministères allemands de l'industrie et de l'environnement, le reste ayant été apporté par des industriels réunis au sein d'un Groupement Européen d'Intérêt Économique (GEIE) appelé « Exploitation minière de la chaleur ». Ce GEIE, créé en 1995 par Électricité de Strasbourg et Pflazwerke, son homologue allemand du

Palatinat, a repris en 2001 le rôle de Maître d'ouvrage du site. En 2016, la rénovation intégrale de la centrale a été achevée.

La nouveauté de la géothermie française est la **centrale ECOGI** (Exploitation de la Chaleur d'Origine Géothermale pour l'Industrie), basée à Rittershoffen en Alsace et située à quelques kilomètres à l'Est de la centrale de Soultz-Sous-Forêts. Cette centrale a utilisé la technologie EGS pour connecter le premier forage au réservoir où circule une eau chauffée naturellement à plus de 175°C, à environ 2600 m de profondeur. La production d'électricité serait possible, mais cette centrale est uniquement dédiée à la production de chaleur pour un processus industriel à haute température qui transforme des matières premières végétales en produits à destination des marchés de la pharmacie, de la nutrition, de l'alimentation et d'autres secteurs industriels. L'installation géothermique est d'une puissance de 24 MWth, soit 190 000 MWh avec un fonctionnement de près de 8000 h/an. Elle permet d'économiser 39 000 tonnes de CO₂, ce qui correspond aux émissions annuelles de 25 000 voitures.

Ce projet a été initié en 2005 et la société de projet ECOGI a été créée en 2011 par Électricité de Strasbourg, Roquette frères et la Caisse des Dépôts. Le premier forage a été réalisé en 2012 avec une trajectoire verticale. Le nettoyage du puits, afin d'améliorer la circulation du fluide géothermique, a été nécessaire pour atteindre un débit suffisant à la poursuite du projet. Le second puits, foré en déviation, a été terminé en 2014, sans besoin d'améliorer la connexion au réservoir, une imagerie du sous-sol réalisée avant le forage ayant permis de bien caler la trajectoire. Enfin, c'est en 2015 que les constructions de surface ont été réalisées, avec la centrale et les 30 km aller-retour de canalisations pour le transport de chaleur entre la centrale et l'usine, situé 15 km plus à l'Est. L'investissement total de ce projet est de 55 M€.

FIG 16 | Principe de Fonctionnement d'ECOGI
© ES Géothermie, 2015



4.3. Planning des projets en France

• Historique de la création du Cluster GEODEEP

Sous l'impulsion de l'ADEME, une étude de structuration de la filière géothermie profonde, qui comprend les usages directs et la production électrique a été réalisée entre 2013 et 2015. Suite à cette démarche, l'AFPG a créé en son sein un regroupement d'entreprises (cluster) dénommé GEODEEP ayant pour but de développer cette filière.

L'étude de structuration de cette filière a notamment mis en évidence que le frein principal au développement de nouveaux projets de géothermie profonde était le manque de couverture financière en cas d'échec du projet. C'est-à-dire qu'il y a un risque de ne pas trouver la ressource géothermique escomptée pour mener à bien les projets. Ce risque appelé « risque géologique », est en fait un risque financier. Pour mettre en évidence une ressource géothermique exploitable, il est en effet nécessaire de réaliser un ou plusieurs forages et donc d'engager des financements qui peuvent être importants (environ 12 à 15 M€ pour un forage terrestre dévié de 4000 m de profondeur). Pour faire face à ce risque géologique et permettre à une filière française structurée de développer des projets de géothermie haute énergie en France et à l'Export, le Cluster GEODEEP et l'ADEME travaillent à l'élaboration de deux fonds de garantie :

• Fonds de garantie EGS Geodeep

Le fonds de garantie EGS Geodeep, en cours de création, est destiné aux projets utilisant la technologie EGS. Il sera opérationnel pour des projets situés sur le territoire français métropolitain et sera doté de financements public et privé d'une hauteur totale de 50 M€. Fondé sur un système de royalties sur les ventes d'électricité produite une fois l'installation en place, il devrait être opérationnel en 2017.

• Fonds de garantie volcanique Geodeep

Le fonds de garantie volcanique sera créé pour développer des projets de géothermie volcanique sur le territoire français et plus largement dans les zones à fort potentiel à l'export. Il pourra donc être un levier pour promouvoir le savoir-faire français dans le domaine volcanique.

• Appel à Manifestation d'intérêt de l'ADEME

En parallèle de cette structuration de filière, l'ADEME avait lancé fin 2011 un Appel à Manifestation d'Intérêts (AMI) Géothermie, dans le cadre de l'action "Démonstrateurs en énergies renouvelables et décarbonées" des investissements d'avenir. Le projet de géothermie profonde Fongeosec, rattaché au permis de recherche Pau-Tarbes (développé ci-après), a été accepté officiellement en septembre 2013. Ce projet, piloté par la société Fonroche, fait travailler 10 entreprises françaises en partenariat. Un deuxième projet bénéficie d'une aide de même type, il s'agit du projet Geotref qui est localisé dans les Antilles en Guadeloupe. Piloté par la société Teranov et comprenant deux entreprises et neuf laboratoires de recherche, il est surtout axé sur les méthodes d'exploration de réservoirs fracturés de type volcanique.

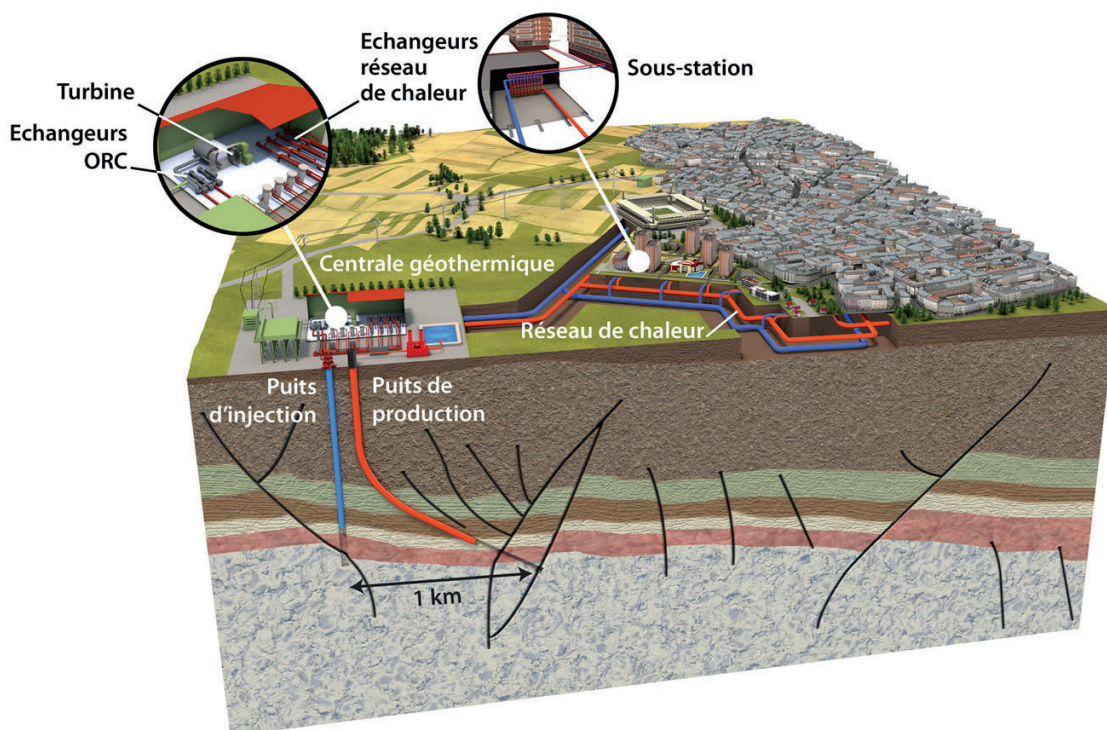
• Source de données sur les projets de géothermie haute température

Actuellement le territoire métropolitain est convoité par les industriels pour des recherches de gites géothermiques de haute température. Treize permis exclusif de recherche ont déjà été accordés et trois autres sont en cours d'instruction par les services de l'Etat. Ces seize permis de géothermie haute température sont gérés par des entreprises membres de l'AFPG et du Cluster GEODEEP. Il a donc été possible pour cette étude de marché de collecter des informations non publiques. Afin de respecter une certaine confidentialité, ces informations sont uniquement regroupées par zone géographique et non par projet.

• Les projets en métropole

Ces projets métropolitains sont conçus, pour la plupart, pour produire de l'électricité mais également de la chaleur par cogénération. Cette chaleur sera utilisée via des réseaux pour du chauffage urbain ou des installations diverses.

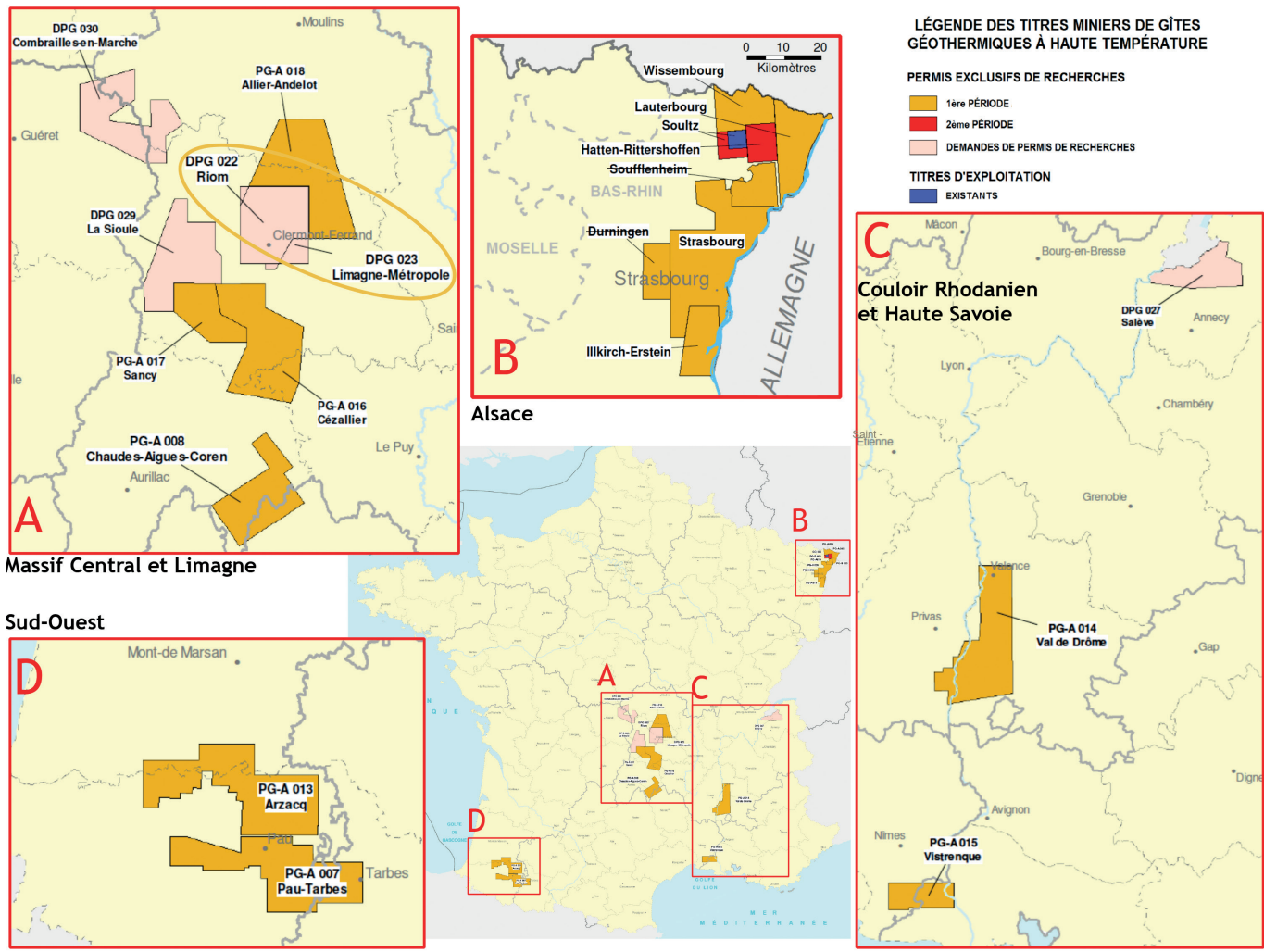
FIG 17 | Principe du réseau de chaleur urbain à partir d'une centrale géothermique profonde de type EGS avec cogénération - © ES Géothermie, 2015



La cartographie des permis de recherche de gîtes géothermiques de haute énergie **Figure 18**, délivrée par le Bureau d'Exploration-Production des Hydrocarbures dépendant du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, est datée de janvier 2016. Entre sa parution et le mois de juillet 2016, un permis de plus a été accepté en métropole, en fusionnant deux demandes de permis (Riom et Limagne Métropole) pour créer Clermont Métropole et deux permis ont disparu (Durningen et Soufflenheim). Cette cartographie indique la répartition géographique des seize permis métropolitains.

Les études de potentiels de ressources géothermiques de haute température ont démontré que d'autres régions recèlent des possibilités de développement grâce à la technologie EGS et maintenant il y a plus de projets en cours de développement dans le Massif Central et la Limagne qu'en Alsace. Le tableau suivant donne des informations de dates, de puissances et d'investissements sur les regroupements de nouveaux projets.

FIG 18 | Cartographie des permis de recherche et concession pour des gîtes de géothermie haute température en métropole. - Source (BEPH, janvier 2016)



Zone	Nom du permis	Dates prévisionnelles des premiers forages	Estimations de la puissance globale installée par zone	Investissement prévisionnel global
Alsace	Lauterbourg Wissembourg Strasbourg Illkirch-Erstein	2017 - 2019	13,6 Mwe 75 MWth	195 M€
Massif Central et Limagne	Chaudes-Aigues-Coren Cézallier Sancy Allier-Andelot Riom-Clermont Métropole La Sioule Combrailles en Marche	2018 - 2020	22,92 Mwe 60 MWth	311,5 M€
Sud Ouest	Pau-Tarbes Arzacq	2018 - 2019	9,6 Mwe 30 MWth	140 M€
Couloir Rhodanien et Haute Savoie	Val-de-Drôme Vistrenque Salève	2017 - 2022	13,8 Mwe 45 MWth	180 M€

Si l'intégralité des seize projets fonctionne selon les estimations de puissances des bureaux d'études, alors la France métropolitaine comptera d'ici 2025 environ 60 MWe et 210 MWth géothermiques renouvelables pour une alimentation locale en électricité et en chaleur. L'investissement prévisionnel total en cas de succès s'élève à plus de 800 M€. Le succès de ces projets permettra également aux entreprises françaises de montrer leur savoir-faire dans la technologie EGS et donc d'avoir de bons atouts pour s'exporter sur le marché international.

• **Projets dans les Départements et Régions d'Outre-Mer**

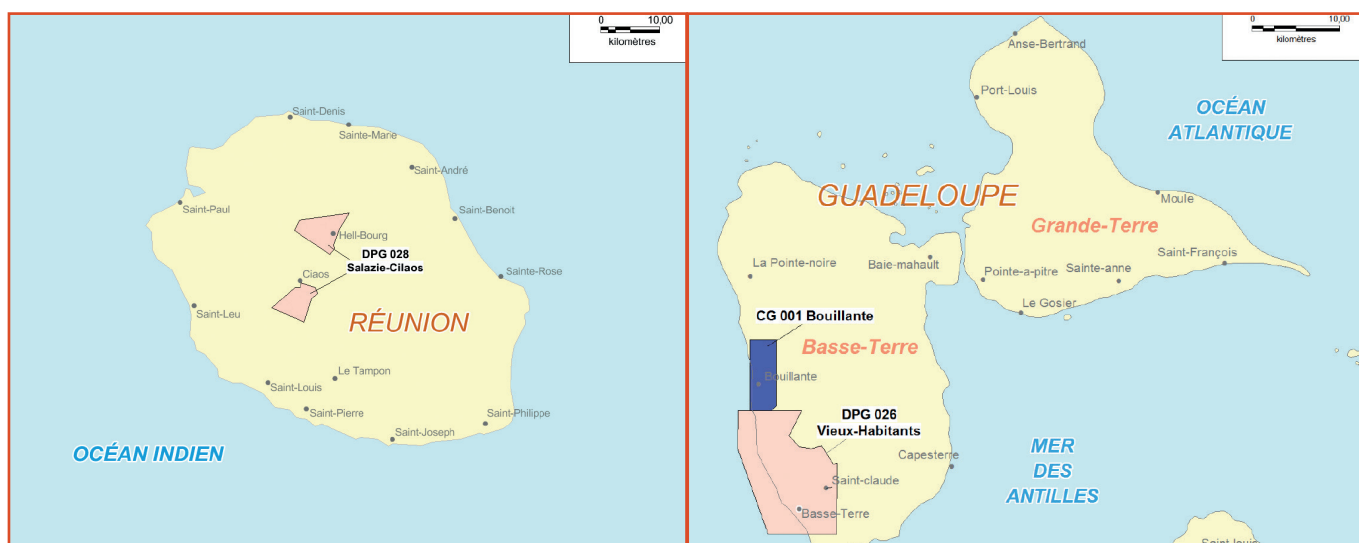
La France a la chance de pouvoir développer des activités de géothermie en domaine volcanique sur son territoire grâce aux îles de la Réunion, de la Guadeloupe et de la Martinique.

Deux demandes de permis ont été déposées dans les DROM :

- en Guadeloupe, sous le nom de Vieux Habitants, au Sud de la centrale de Bouillante. Ce permis est accepté depuis le 10 mai 2016. Il est le terrain d'investigation de l'AMI Geotref (voir la partie sur les appels à Manifestation d'intérêt de l'ADEME)
- à La Réunion, sous le nom de Salazie-Cilaos. Cette demande de permis est en cours d'instruction.

Contrairement aux projets en métropole, ces installations géothermiques ne produiraient a priori que de l'électricité.

FIG 19 | Cartographie des permis de recherche et concession pour des gîtes de géothermie haute énergie dans les DOM - Source (BEPH, janvier 2016)



Zone	Nom du permis	Dates prévisionnelles des premiers forages	Estimation de la puissance globale installée par zone	Investissement prévisionnel global
Guadeloupe et la Réunion	Vieux Habitants Salazie-cilaos	2017 - 2019	24,6 Mwe	70 M€

• **Autres projets en Caraïbes, hors permis de recherche**

Les Caraïbes avec l'île de la Dominique située entre la Guadeloupe et la Martinique constituent l'un des autres principaux terrains où se concentrent les efforts des acteurs français de la géothermie profonde. Des projets d'envergure se multiplient, notamment en raison d'un coût de production de l'électricité à partir des énergies fossiles de plus en plus élevé et d'une volonté d'autonomie énergétique à l'horizon 2050.

Deux projets d'installations hors permis de recherche, sont également en réflexion depuis plusieurs années :

- le projet « Géothermie Dominique », initié en 2005, devrait permettre de créer une centrale géothermique d'une puissance de 100 MWe en Dominique. Elle assurerait une couverture complète des besoins de l'île (besoins électriques estimés à 20MWe), les 80 MWe restant seraient envoyés via des câbles sous-marins, vers la Guadeloupe pour 40MWe et vers la Martinique pour les 40MWe restants. Ce projet représente environ 500 M€ d'investissements, 650 000 T de CO2/an évités, des centaines d'emplois créés, pour une source d'électricité stable à coût réduit.
- Un projet dans le cadre de la concession de Bouillante en Guadeloupe nommé Bouillante 3 et qui consiste à la réalisation d'une troisième unité de production électrique dotée d'une capacité installée estimée entre 20 et 40 MWe. Les investissements liés à ce développement devraient être compris entre 50 et 100 M€.

Ces deux projets sont liés au projet global de coopération INTERREG IV « Géothermie Caraïbes – Phases 1 et 2 », dont la phase 2 a pris fin en 2015. Les objectifs de la phase 2 étaient :

- de prolonger l'accompagnement du Projet en Dominique ;
- de préparer les conditions de mise en œuvre d'un programme caribéen de développement de la géothermie ;
- d'aider à positionner une offre française sur la zone.

Afin de prolonger la Phase 2, la région Guadeloupe envisage de lancer en 2017 un nouveau projet au titre du programme INTERREG « Espace Caraïbe V ». Le sujet principal concernant la géothermie serait la création d'un « Centre Caribéen d'Excellence en Géothermie ».

• Projection globale à 2030

Pour conclure, si tous les projets exposés précédemment sont réalisés, alors d'ici 2030, la France serait équipée de 23 installations de géothermie haute énergie.

	Nombre de projets	Puissance électrique (MWe)	Puissance thermique (MWth)	Investissements (M€)
Installations existantes en 2016	3	17	37	164,1
Permis Métropole	16	59,92	210	826,5
Permis DOM	2	24,6	0	70
Projets hors Permis (DOM)	2	110	0	> 500
Total France en 2030	23	211,5	247	> 1560,6

5

Une filière de plus en plus structurée



5.1. Dispositifs d'aides

De nombreux dispositifs d'aide existent pour soutenir les différentes filières de la géothermie. Les dispositifs développés ci-après sont différents pour le particulier, les entreprises et les collectivités qui souhaitent installer de la géothermie très basse énergie ou mettre en œuvre un réseau de chaleur géothermique.

• Le crédit d'impôt

Le taux du crédit d'impôt 2016 pompe à chaleur pour les dépenses payées à partir du 1 septembre 2014 est fixé à 30 %. Pour en bénéficier, la pompe à chaleur de type géothermique doit avoir un COP (coefficient de performance) supérieur ou égal à 3,3.

Les dépenses pompes à chaleur sont plafonnées à 8 000 € pour une personne célibataire, veuve ou divorcée et à 16 000 € pour un couple marié ou pacsé soumis à une imposition commune. Le plafond du crédit d'impôt pompes à chaleur géothermique est majoré de 400 € par personne à charge. Par ailleurs, ces majorations sont divisées par deux pour les enfants vivant en résidence alternée.

Le montant du crédit d'impôt 2016 est soit déduit de l'impôt à payer, soit versé par chèque ou virement si vous ne payez pas d'impôt ou si l'impôt est inférieur au montant du crédit.

La fourniture et l'installation d'une pompe à chaleur bénéficient d'un taux de TVA réduit à 5,5 % (depuis le 1 janvier 2014) si l'entreprise qui vend le matériel en assure aussi la pose. Les travaux doivent être réalisés dans des habitations achevées depuis plus de deux ans. L'Agence nationale d'amélioration de l'habitat (ANAH) peut accorder une subvention ou des primes si le logement a au moins quinze ans et constitue la résidence principale.

• Garantie Aquapac

La garantie AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à moins de 200 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique aux installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 KW. Comme le Fonds chaleur, elle n'est donc pas accessible aux particuliers.

C'est donc une double garantie, dont les deux aspects sont indissociables :

- La garantie de recherche couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement des installations tel que prévu durant l'étude.
- La garantie de pérennité couvre pendant 10 ans le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation.

Cette garantie s'applique à tous les secteurs économiques : habitat, tertiaire, industriel ou agricole, qu'il s'agisse de bâtiments neufs ou existants, et quelle que soit la puissance de l'installation thermique. Elle peut être sollicitée par les maîtres d'ouvrage ou leurs mandataires (bureaux d'études, entreprises, prestataires de services, exploitants).

Un Comité composé des représentants de l'ADEME, du BRGM, et d'EDF, assisté de la SAF-Environnement, décide de l'attribution, ou non, de la garantie, après examen d'un dossier que le requérant aura déposé auprès de la SAF-Environnement.

• Fonds Chaleur Renouvelable

En France, la production de chaleur représente la moitié des consommations d'énergie et repose encore principalement sur les combustibles fossiles. C'est pourquoi, dès 2009, l'Etat a mis en place le Fonds Chaleur pour développer la production de chaleur renouvelable issue de la biomasse, de la géothermie, du solaire thermique, du biogaz et des réseaux de chaleur. Ce dispositif destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises et géré par l'ADEME depuis sa création, doit contribuer ainsi aux objectifs du paquet européen énergie-climat, qui consiste à porter la part des EnR à **23 %** de la consommation énergétique nationale d'ici à 2020 puis à **32%** en 2030.

De 2009 à 2014, le Fonds Chaleur a été doté d'un budget d'1,12 milliard d'euros pour soutenir plus de 3 260 installations et une production totale de chaleur renouvelable et de récupération de 1,554 M tep. Reconnu pour son bilan positif et son efficacité lors du débat sur la transition énergétique, le Fonds Chaleur a été reconduit sur la période 2015-2017 afin d'accompagner des projets de qualité et permettre à la chaleur renouvelable d'être compétitive par rapport à celle produite à partir d'énergies conventionnelles. Concernant la filière géothermie, le Fonds Chaleur a été un outil incitatif car entre 2009 et 2015 ce sont 106 M€ d'aides aux investissements qui ont été accordées pour réaliser 394 opérations dont 369 installations de pompes à chaleur sur eau de nappe superficielle, champ de sondes, eaux usées et eau de mer. Les niveaux de subventions du Fonds Chaleur peuvent aller de 20 à 30% selon les projets et technologies employées en géothermie. Selon la taille de l'installation, l'aide Fonds chaleur sera calculée sur la base d'une aide forfaitaire ou d'une analyse du coût de revient. Dans tous les cas, le montant octroyé devra respecter les règles de l'encadrement communautaire des aides.

Outre les aides aux investissements, le Fonds Chaleur permet aussi d'octroyer des aides à la décision en finançant les études de potentiel et études de faisabilité nécessaires à la conception de projets de qualité (études sous sol et

surface, test de réponse thermique de terrain et géo-modélisation, forages d'essais sur nappe, ...). Sous réserve de recourir à des professionnels qualifiés RGE Etudes, les taux d'aides à la décision peuvent varier de 50 à 70%.

La définition du dispositif Fonds Chaleur ainsi que les critères d'éligibilité et niveaux d'aide par filière EnR sont disponibles sur la page Fonds Chaleur du site de l'ADEME.

• Fonds Nouvelles Technologies Emergentes (Fonds NTE)

L'appel à projets 2016 « Nouvelles Technologies Émergentes » a pour but de soutenir des technologies qui ne sont pas encore diffusées à grande échelle mais existantes à une échelle industrielle ou quasi industrielle, en France ou à l'étranger.

Pour progresser sur la connaissance de ces technologies en devenir, et en vue d'une éventuelle intégration à un dispositif de soutien approprié à terme, l'ADEME souhaite pouvoir apprécier les performances énergétiques, économiques et environnementales de ces solutions à travers le fonctionnement d'opérations « pilotes » suffisamment instrumentées pour en connaître objectivement leurs performances in situ. L'analyse détaillée du suivi permettra d'évaluer les arguments permettant le déploiement à grande échelle de nouveaux systèmes énergétiques.

Les projets attendus à l'AAP NTE 2016 concernent les nouvelles technologies en lien avec l'énergie solaire, la géothermie, la combustion de la biomasse, le couplage de ces énergies aux réseaux de chaleur, et les projets combinant l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés existants et l'introduction de sources d'énergies renouvelables.

• Autres aides régionales

D'autres dispositifs d'aides aux projets d'énergies renouvelables sont le cas échéant développés en région. Il s'agit alors au cas par cas de se rapprocher des services « Energie » régionaux pour connaître les modalités des éventuels dispositifs en cours. Ils coexistent alors avec les aides citées ci-dessus dans le cadre du Fonds Chaleur. L'objectif est le même que celui exprimé par le Fonds Chaleur, celui de rendre compétitif des solutions ayant recours aux énergies renouvelables par rapport à des solutions d'énergies conventionnelles.

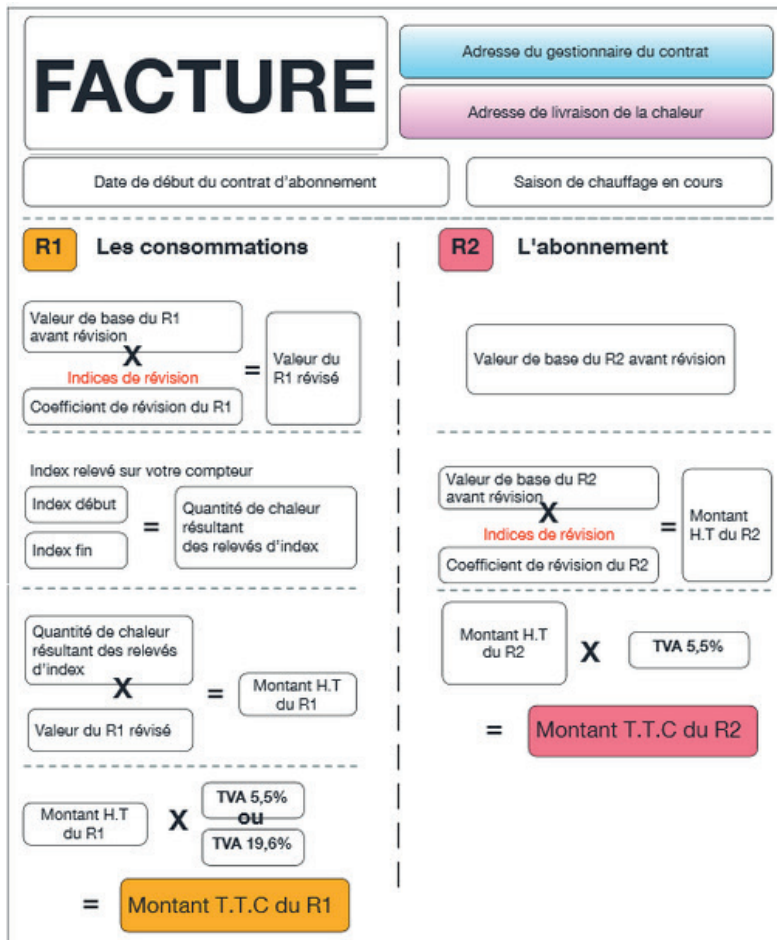
Les incitations pour le développement des réseaux de chaleur géothermique

• La TVA réduite à 5,5%

Les termes R1 et R2 décrits ci-dessous esont assujettis à la TVA, comme l'électricité et le gaz. La part variable (R1), habituellement soumis à une TVA classique (20 %), peut bénéficier d'une TVA réduite (5,5 %) lorsque le réseau de chaleur utilise plus de 50 % d'énergie renouvelable et de récupération. L'abonnement (R2) est soumis à une TVA réduite (5,5 %).

• Rappel des éléments constitutifs du prix de la chaleur payé par l'abonné à l'exploitant du réseau de chaleur

Suivant le mode de gestion du réseau de chaleur (régie, DSP, affermage), son gestionnaire peut également s'octroyer un bénéfice sur la vente de chaleur. La facture envoyée aux abonnés par le gestionnaire du réseau couvre logiquement l'ensemble des dépenses ci-dessus. Comme pour l'électricité et le gaz, cette facture est binomiale avec une part variable (R1) et une part fixe (R2).



Source : Fedene

- **Part variable R1 :**

Ce terme couvre l'achat de combustible. Il résulte du produit de la consommation de l'abonné par le prix de la chaleur (€/MWh). Il est fonction de la consommation mais dépend également du prix des combustibles utilisés et du rendement du réseau. Dans le cas d'un réseau avec un mix diversifié, pour calculer ce terme, on multiplie la consommation par la moyenne des coûts de chaque combustible, pondérée par leur part dans le mix énergétique. Le terme R1 représente 30 à 70 % de la facture, suivant le type de réseau. Pour les réseaux géothermiques par exemple, la part combustible est très faible puisque le gros de la dépense réside dans le forage. La part variable (R1), habituellement soumise à une TVA classique (20%) peut bénéficier d'une TVA réduite (5,5%) lorsque le réseau de chaleur utilise plus de 50% d'énergie renouvelable et de récupération

- **Part fixe (ou abonnement) R2 :**

La nature capitalistique d'un réseau de chaleur induit une part «abonnement» élevée, par rapport aux autres solutions de chauffage. Il peut parfois atteindre 70% du prix de la chaleur. L'abonnement (R2) est soumis à une TVA réduite (5,5%).

- **Un nouveau cadre réglementaire**

Après plusieurs années de concertation entre les pouvoirs publics et les professionnels, le décret sur les gîtes géothermiques de minime importance a été publié au journal officiel le 10 janvier 2015 et est entré en vigueur le 1er juillet 2015. L'AFPG qui a participé activement à ces travaux estime que ces nouvelles dispositions permettront tout en assurant un meilleur encadrement de la filière, de sécuriser, simplifier et réduire les délais de réalisation de nombreux projets de PAC. De plus, grâce à la qualification des entreprises, la profession harmonisera ses pratiques en s'engageant dans une démarche collective de qualité.

Ce texte permet d'exclure du code minier la plupart des ouvrages géothermiques de – de 10 m de profondeur, il facilite la plupart des opérations de petites puissances par la création d'un régime déclaratif allégé et dématérialisé (télé-déclaration) pour la TBE.

Ce nouveau texte s'applique :

- aux ouvrages de 200 m maximum de profondeur
- pour les échangeurs ouverts : aux seuls dispositifs qui assurent la réinjection dans le même aquifère des eaux prélevées.
- aux ouvrages prélevant moins de 80 m³/h d'eau et de puissance inférieure à 500 kW
- aux seuls secteurs ne présentant pas des risques environnementaux significatifs au regard des caractéristiques de l'ouvrage

Ce décret s'appuie sur 5 arrêtés :

- **Une cartographie réglementaire** (définition de trois zones verte, orange, rouge)
- **L'agrément des experts** (cas des zones orange)
- **Les prescriptions générales** (pour la réalisation des ouvrages)
- **L'obligation de qualification des entreprises de forage** (qualiforage)
- **La télé-déclaration des opérations**

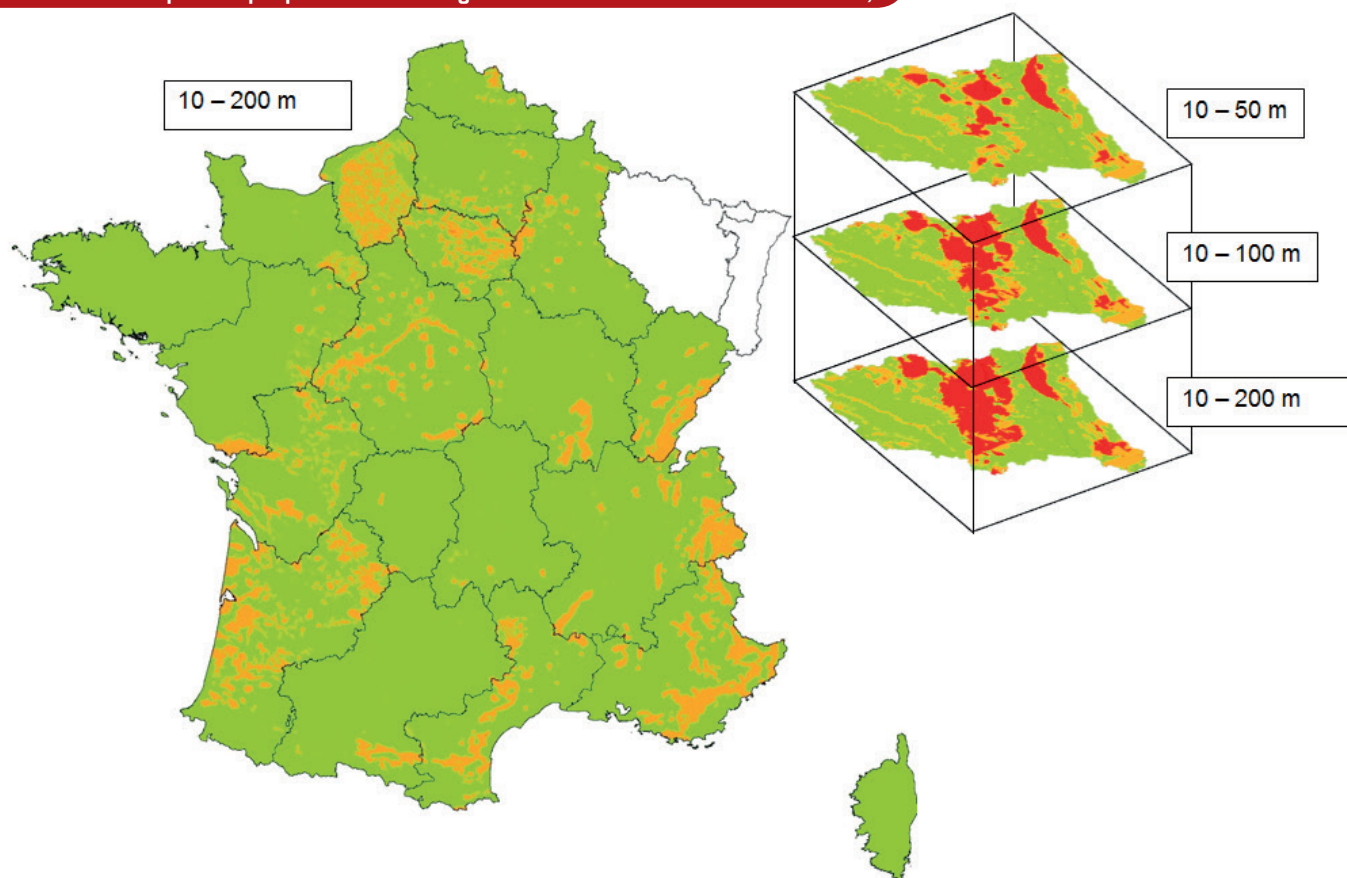
Concernant la cartographie, les maîtres d'ouvrage devront désormais vérifier que leur projet se trouve dans une zone adéquate en consultant la cartographie nationale ou la cartographie régionale plus précise, quand celle-ci a été établie par la Région. Plusieurs régions (Alsace, Lorraine, Rhône-Alpes, Île de France, Aquitaine et Limousin) ont déjà engagé la réalisation de leur cartographie régionale. Dans l'attente de leur publication, c'est la carte nationale qui fait foi.

Ces cartographies présentent 3 zones :

- Des zones ne présentant pas de risques, dites « verte »
- Des zones « orange » dans lesquelles, en l'absence de connaissances suffisantes ou compte tenu des risques déjà identifiés, il doit être joint à la déclaration l'attestation d'un expert agréé, qui garantit l'absence de risques graves du projet
- Des zones à risque significatif, dites zones «rouge » où le projet ne pourra être réalisé qu'après autorisation de l'installation au titre du code minier.

Cette simplification administrative doit permettre une amélioration de la qualité des forages. En effet, les procédures de télé-déclaration ne sont possibles que si les travaux de forage sont réalisés par un foreur qualifié, titulaire de la qualification RGE « QUALIFORAGE ». Seules les opérations télé-déclarées seront éligibles au Crédit d'Impôt Transition Energétique (CITE) pour les particuliers et au Fonds Chaleur de l'ADEME pour les opérations d'une puissance supérieure à 20kW.

FIG 20 | Carte réglementaire pour la géothermie de minime importance avec décomposition par profondeur des régions Alsace et Lorraine - Source BRGM 2015)



5.2. Des professionnels qualifiés

• RGE QUALIFORAGE

La qualification des entreprises de forage géothermique se décline pour deux technologies : les forages sur nappe aquifère et les sondes géothermiques verticales. Qualiforage est un signe de qualité géré par Qualit'EnR et «Reconnu Garant de l'Environnement». Les installateurs Qualiforage ont signé et se sont engagés à respecter les 10 points suivants de cette charte.

- Posséder au sein de son entreprise les compétences professionnelles nécessaires, acquises par la formation initiale ou continue, et par une pratique confirmée.
- Être à jour de ses obligations légales, et disposer des garanties légales couvrant explicitement l'ensemble des activités et travaux qu'elle réalise.
- Préconiser des matériels et équipements conformes aux exigences réglementaires et être le relais des informations de l'Association Qualit'EnR et des organismes publics.
- En amont, assurer auprès du client un rôle de conseil, l'assister dans le choix des solutions les mieux adaptées compte tenu du gisement local, des contraintes du site et de la législation relative au sous-sol.
- Après visite sur site, soumettre au client un devis descriptif écrit, détaillé et complet, de la prestation qu'elle propose, en fixant un délai de réalisation, des termes de paiement et des conditions de garantie légale.
- Informer le client sur les démarches nécessaires, relatives en particulier aux déclarations préalables de travaux, aux conditions d'octroi des aides publiques et des incitations fiscales en vigueur.
- Une fois l'accord du client obtenu (devis co-signé), réaliser le forage commandé dans le respect des règles professionnelles, normes et textes réglementaires applicables, selon les prescriptions prévues.
- Réceptionner les travaux en présence du client, lui remettre les notices et tous documents relatifs aux conditions de garantie et d'entretien/maintenance de l'installation.
- Remettre au client une facture descriptive détaillée (qui distingue a minima le poste « fourniture des équipements », et le poste « main d'œuvre ») et complète de la prestation, conforme au devis (avec désignation précise des équipements).
- Lui fournir en outre toute attestation signée dont celui-ci aurait besoin pour faire valoir ses droits aux aides publiques.

- En cas d'anomalie ou d'incident de fonctionnement de l'installation signalés par le client, s'engager à intervenir sur le site dans des délais rapides, et procéder aux vérifications et remises en état nécessaires, dans le cadre des obligations d'intervention attachées à la garantie de bon fonctionnement.
- Favoriser toute opération de contrôle que l'Association Qualit'EnR ou son mandataire souhaiterait effectuer sur ses réalisations, aux fins d'examiner les conditions de mise en œuvre et de réalisation des prestations.

En novembre 2016, 97 qualifications Qualiforage ont été délivrées. 60 pour le modules sondes géothermiques et 37 pour le module nappe. 37% de ces qualifications sont probatoires pour deux ans et 63% sont attribuées pour une période de quatre années. Trente dossiers sont en cours de traitement et donc en 2017, ce sont plus de 120 sociétés de forages qui pourront réaliser des ouvrages de géothermie de minime importance. Parallèlement, une formation pour les foreurs a été mise en place par le BRGM. 56 référents techniques ont suivi cette formation en 2015 et 2016 pour un taux de réussite supérieur à 80% à l'examen final (QCM). C'est donc 46 référents techniques supplémentaires qui sont qualifiés Qualiforage (27 pour sondes et 18 pour nappe).

• RGE QUALIPAC

Les installateurs QUALIPAC ont signé et se sont engagés à respecter scrupuleusement les 10 points de la charte pour les installateurs de Pompe à Chaleur. A savoir :

- Posséder au sein de son entreprise les compétences professionnelles nécessaires, acquises par la formation initiale ou continue, et par une pratique confirmée. Etre à jour de ses obligations légales, et disposer des garanties légales couvrant explicitement l'ensemble des activités et travaux qu'elle réalise.
- Préconiser des matériels NF PAC – ou respectant les mêmes exigences - et être le relais des informations de l'Association Qualit'EnR et des organismes publics.
- En amont, assurer auprès du client un rôle de conseil, l'assister dans le choix des solutions les mieux adaptées à l'aide d'une étude thermique et compte tenu des contraintes du site, de la taille du foyer, et des énergies d'appoint disponibles.
- Après visite sur site, soumettre au client un devis descriptif écrit, détaillé et complet, de l'installation d'un système de pompe à chaleur, en fixant un délai de réalisation, des termes de paiement et des conditions de garantie légale.
- Informer le client sur les démarches nécessaires, relatives en particulier aux déclarations préalables de travaux, aux conditions d'octroi des aides publiques et des incitations fiscales en vigueur.
- Une fois l'accord du client obtenu (devis co-signé), réaliser l'installation commandée dans le respect des règles professionnelles, normes et textes réglementaires applicables, selon les prescriptions prévues.
- Régler et mettre en service l'installation, puis procéder à la réception des travaux en présence du client. Lui remettre les notices et tous documents relatifs aux conditions de garantie et d'entretien/maintenance de la PAC et lui proposer systématiquement un contrat d'entretien.
- Remettre au client une facture descriptive détaillée (qui distingue a minima le poste «fourniture des équipements», et le poste «main d'œuvre») et complète de la prestation, conforme au devis (avec désignation précise des matériels installés et références exactes de leur certification). Lui fournir en outre toute attestation signée dont celui-ci aurait besoin pour faire valoir ses droits aux primes publiques.
- En cas d'anomalie ou d'incident de fonctionnement de l'installation signalés par le client, s'engager à intervenir sur le site dans des délais rapides, et procéder aux vérifications et remises en état nécessaires, dans le cadre des obligations d'intervention attachées à la garantie de bon fonctionnement.
- Favoriser toute opération de contrôle que l'Association Qualit'EnR ou son mandataire souhaiterait effectuer sur ses réalisations, aux fins d'examiner les conditions de mise en œuvre et de réalisation des prestations.

• RGE ETUDES

L'AFPG en collaboration avec l'OPQIBi a finalisé la mise en place de deux rubriques entièrement dédiées à la qualification des bureaux d'études œuvrant dans la géothermie. ICERT délivre également deux qualifications analogues. Elles sont toutes deux conformes à la Charte RGE et seront indispensables à compter du 1^{er} janvier 2017 pour que les bureaux d'études contractés par les maîtres d'ouvrages permettent de faire bénéficier à leurs clients les aides du Fonds chaleur de l'ADEME.

• 1) OPQIBI

Qualification 1007 : rubrique géothermie du sous-sol : Etudes des ressources géothermiques – 10.07

Qualification 20.13 : rubrique surface : Ingénierie des installations de productions utilisant l'énergie géothermique – 20.13.

• 2) ICERT

BENR Faisabilité : conception de la performance énergétique des lots techniques mention géothermie

BENR Etudes/éxé : suivi de travaux de la performance énergétique des lots techniques mention géothermie

6

La géothermie, un atout pour la transition énergétique

Malgré la régression du marché de la géothermie très basse énergie pour le particulier, le nombre d'installations de tailles plus conséquentes a augmenté. Le Fonds Chaleur Renouvelable de l'ADEME dont la dotation a été doublée en 2016 constitue un levier important pour le développement de la géothermie ; n'hésitons pas à le solliciter. La prise en compte du « geocooling » dans la réglementation thermique attendue pour le Printemps 2017 et le déploiement de la solution des boucles d'eau tempérée à énergie géothermique sont deux atouts sur lesquels la filière pourra compter pour redresser le marché des opérations de surface et augmenter le nombre d'installations dans les années à venir.

La réforme de la GMI a apporté de nombreuses modifications pour les professionnels du domaine du forage. Il en est de même pour les bureaux d'études qui devront eux aussi penser à se qualifier selon le référentiel RGE Etudes et ainsi faire bénéficier leurs clients des aides de l'ADEME. Ces différentes qualifications attestent du professionnalisme et du souci de qualité de notre filière ; elles sont indispensables au bon développement de la géothermie en France.

2015 aura surtout été une année très favorable pour la géothermie des réseaux de chaleur qui compte huit nouvelles installations en Ile-de-France et la rénovation de nombreuses autres. Ces forages de nouveaux puits au Dogger viennent alimenter les discussions du Comité technique sur aquifères profonds co-animé par l'AFPG afin de dresser les bonnes pratiques issues de l'interprofession.

A l'heure où paraît cette étude, la géothermie française peut se targuer de compter trois centrales haute énergie sur son territoire avec l'inauguration de la centrale ECOGI à Rittershoffen en Alsace en juin 2016, véritable vitrine industrielle du savoir-faire français. Les membres du Cluster GEODEEP ne manquera pas de capitaliser sur cette nouvelle installation pour s'exporter et développer davantage la géothermie à travers le monde.

Enfin, dans cette période très agitée tant au niveau géopolitique qu'environnemental, il ne faut pas oublier que la chaleur de la Terre est un atout essentiel pour réduire la dépendance énergétique et l'impact des gaz à effets de serre. Il est temps de regarder la pertinence des projets de géothermie sous un angle autre que celui de leur simple rentabilité économique (dans l'attente de l'indispensable mise en place d'une taxe carbone sur les énergies fossiles). Nous le devons aux générations futures !

RÉSUMÉ DE LA SITUATION 2015 ET COMPARAISONS AVEC LES OBJECTIFS NATIONAUX

Puissances installées cumulées en MWth et Production en ktep/an		2015 (étude AFPG)	Croissance attendue 2015 - 2018	2018 (PPE)	2023 (PPE)	2030 (PPE)
TBE PACg	Secteur particulier	MWth	1 780	8,00%	1 920	2 260
		ktep/an	230	8,00%	248	292
	Secteur collectif	MWth	500	44,00%	720	1 095
		ktep/an	87	43,00%	124	189
Total TBE		MWth	2 280	16,00%	2 640	3 355
		ktep/an	317	17,00%	372	644
Réseaux de chaleur urbains hors secteurs industriel et agricole (basse énergie)		MWth	377	41,00%	530	790
		ktep/an	107	122,00%	238	355
Réseaux de chaleur, usages industriels et agricoles (haute énergie)		MWth	24	13,00%	27	104
		ktep/an	0		12	45
Electricité		Mwe	17	0,00%	17	112

L'AFPG

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

L'Association Française des Professionnels de la Géothermie a été créée le 15 juin 2010 à Paris. L'AFPG compte fin 2016, 100 adhérents représentatifs des métiers de l'énergie géothermique en France et dans les DROM : foreurs, fabricants et installateurs de pompes à chaleur, gestionnaires de réseaux de chaleur, bureaux d'études, etc.

Elle est organisée en 3 filières :

- Haute énergie
- Usages directs de la chaleur
- Géothermie assistée par pompe à chaleur

Les objectifs énergétiques nationaux précisent que la géothermie devra contribuer à la production de 2,4 Millions de Tonnes d'Equivalent Pétrole, soit environ 12% de la part des énergies renouvelables pour la chaleur et l'électricité d'ici 2023.

A ce titre, l'AFPG s'est fixée comme objectif de promouvoir le recours à la géothermie, énergie renouvelable capable de produire de l'électricité et/ou de la chaleur et du froid. Ces missions se déclinent en trois axes majeurs :

- **Représenter et fédérer** les professionnels de la filière en France métropolitaine et dans les DROM,
- **Informers les collectivités**, les industriels et les particuliers des ressources et de la diversité de l'offre géothermique,
- **Accompagner les pouvoirs publics** en matière de réglementation, de législation et de certification,
 - **Contribuer à l'émergence de nouvelles technologies** telles que la «Boucle d'eau tempérée à énergie géothermique ».