



Schéma Régional des Énergies Renouvelables (SRER)

Etat des lieux de la filière « GEOTHERMIE » en ALSACE

**Sous l'égide de la DREAL-ALSACE, mandatée par Monsieur le Préfet de la
Région Alsace pour la constitution du SRCAE au titre de la loi Grenelle 2**

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE LA FILIÈRE.....	3
1.1. Définition et principes des différentes catégories de géothermie.....	3
1.2. Situation au niveau international, national et régional.....	5
1.2.1. Concernant la géothermie haute et moyenne énergie	5
1.2.2. Concernant la géothermie basse énergie	6
1.2.3. Concernant la géothermie très basse énergie	7
1.3. Perspectives nationales de développement de la géothermie	8
1.4. Spécificité alsacienne.....	10
1.4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	10
1.4.2. Concernant la géothermie très basse énergie	10
2. ETAT DES LIEUX EN ALSACE	13
2.1. Études réalisées sur la filière en général et éventuellement pour chaque catégorie.....	13
2.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	13
2.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie	13
2.2. Bilan des installations et des productions par catégorie de géothermie	13
2.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	13
2.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie	14
2.3. Tableau synthétique récapitulatif	17
2.3.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	17
2.3.2. Concernant la géothermie très basse énergie	17
2.4. Bilans cartographiques de répartitions régionales des installations et par catégories.....	19
2.4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	19
2.4.2. Concernant la géothermie très basse énergie	20
3. AVANTAGES/INCONVÉNIENTS/CONTRAINTE/DISPOSITIONS PARTICULIÈRES	23
3.1. Avantages, inconvénients.....	23
3.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	23
3.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie	23
3.2. Dispositions particulières	25
3.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	25
3.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie	25
4. MODE DE GOUVERNANCE	27
4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	27
4.2. Concernant la géothermie très basse énergie.....	27
5. DÉFINITION DU POTENTIEL / OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT À L'HORIZON 2020.....	28
5.1. Études des potentialités réalisées par catégorie.....	28
5.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	28
5.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie	28
5.2. Tableau de synthèse des potentiels ou, si inconnus, méthode proposée pour les étudier	28
5.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	28
5.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie	29
5.2.3. Tableau de synthèse récapitulatif des productions annuelles et des potentialités. 0	
6. ACTEURS À MOBILISER	26
6.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie	26
6.2. Concernant la géothermie très basse énergie.....	26

1. PRÉSENTATION DE LA FILIÈRE

1.1. Définition et principes des différentes catégories de géothermie

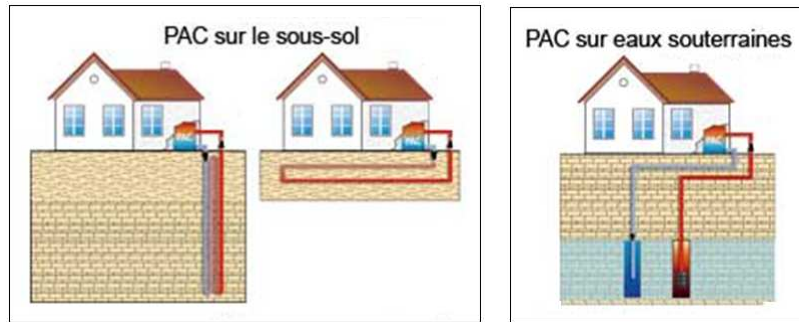
La géothermie peut se diviser en quatre catégories :

- **La géothermie haute énergie** : elle concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150 °C. La ressource se présente soit sous forme d'eau surchauffée, soit sous forme de vapeur sèche ou humide. En Alsace elle est généralement localisée à des profondeurs importantes (1500 à 5000 m) et dans des zones au gradient géothermal anormalement élevé révélateur de zones faillées actives. De part les puissances thermiques atteintes et les investissements à réaliser, cette ressource est réservée aux projets industriels visant à l'alimentation de grands consommateurs de vapeur d'eau pour leurs procédés de fabrication, ou à la production d'électricité.
- **La géothermie moyenne énergie** : elle se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 °C et 150 °C. Elle se situe dans les zones propices à la géothermie haute énergie mais à des profondeurs inférieures de 1000 m. On la trouve également dans les bassins sédimentaires à des profondeurs allant de 2000 à 4000 m. Une technologie utilisant un fluide intermédiaire est nécessaire pour produire de l'électricité.
- **La géothermie basse énergie** : elle consiste en l'extraction d'une eau à moins de 90 °C et jusqu'à 30 °C dans des gisements situés en général entre 1500 et 2500 m de profondeur. L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires généralement constitués de roches poreuses imprégnées d'eau comme ceux présents par exemple dans le Bassin aquitain et dans la Région île de France. Le niveau de chaleur est insuffisant pour produire de l'électricité mais convient parfaitement pour le chauffage d'habitations et certaines applications industrielles.
- **La géothermie très basse énergie** : concerne l'exploitation des aquifères peu profonds et l'exploitation de l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines, voire quelques centaines, de mètres. Elle peut se subdiviser en deux parties :
 - *Géothermie PAC sur aquifère* : ces aquifères peu profonds, d'une température inférieure à 30 °C, sont largement répandus sur l'ensemble du territoire. Il s'agit soit de nappes alluviales qui accompagnent les cours d'eau, soit d'aquifères présents à différentes profondeurs dans les bassins sédimentaires et dans les régions de socle qui peuvent présenter en surface une zone altérée qui contient de l'eau (Bretagne, Massif central). L'eau de la nappe est amenée par pompage à la pompe à chaleur puis réinjectée dans celle-ci après prélèvement des calories.
 - *Géothermie PAC sur champ de sondes verticales et sur capteurs horizontaux* : en France, la température moyenne au niveau du sol est en général de 10 à 14°C et au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, celle-ci augmente en moyenne de 3 °C tous les 100 m (gradient géothermal). La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire. Les techniques de capture de cette énergie sont adaptées en fonction des besoins thermiques et des types de terrains rencontrés. Le système est composé de sondes géothermiques verticales, de 30 à 150 mètres de profondeur et parfois plus, ou de capteurs horizontaux à faible profondeur, de un à quelques mètres de profondeur. Un fluide circule dans les sondes, permettant de prélever les calories du sous-sol pour les amener à la pompe à chaleur.

La géothermie très basse énergie ne permet l'utilisation de la chaleur par simple échange que dans des cas d'applications spécifiques comme le chauffage de serre, de bassins de piscicultures, ou éventuellement de piscines. Par contre, pour le chauffage d'habitations, elle nécessite la mise en œuvre de pompes à chaleur qui, sur le principe du cycle thermodynamique, élèvent l'énergie basse température apportée par la géothermie à un niveau suffisant pour assurer le chauffage d'habitations. Cette opération requiert de

l'énergie électrique et l'utilisation d'un fluide frigorigène dont le changement d'état (vapeur ou liquide) permet de transférer les calories captées dans le sous-sol vers les logements. Ainsi, une pompe à chaleur qui assure 100 % des besoins de chauffage d'un logement consomme seulement 30 % d'énergie électrique, les 70 % restants étant puisés dans le milieu naturel.

Le concept de géothermie très basse énergie recouvre des applications qui vont du chauffage de maisons individuelles jusqu'au chauffage de petits réseaux de chaleur. Ce type de géothermie se montre particulièrement adapté au chauffage de logements collectifs ou de locaux du secteur tertiaire (hôpitaux, administration, centres commerciaux...).



(Source BRGM)

Exemple d'une installation pionnière à Paris :

L'exploitation de ces ressources à très basse température a commencé très tôt en France, dès 1963, à la Maison de la Radio à Paris, avec la mise en œuvre d'un système de chauffage et de climatisation qui puise l'eau de l'aquifère de l'Albien à 600 m de profondeur à une température de 27°C. Elle cède 20°C au dispositif énergétique avant d'être rejeté à 7°C. En hiver, cette énergie géothermique est utilisée en appoint d'un chauffage original : un système complexe de pompes à chaleur récupère la chaleur dégagée par les activités des studios (projecteurs, matériels, public). En été, le système est inversé pour le rafraîchissement et la climatisation. Après plus de quarante ans d'exploitation, des travaux sont en cours pour substituer ce captage par un doublet géothermique utilisant un aquifère plus superficiel. A deux pas de là, de l'autre côté de la Seine, la tour Mirabeau, où se trouve le siège du BRGM, est également chauffée par un forage dans l'Albien.



Photo de la maison de la radio

1.2. Situation au niveau international, national et régional

1.2.1. Concernant la géothermie haute et moyenne énergie

La filière géothermie haute et moyenne énergie est essentiellement tournée vers la production d'électricité. On dénombre actuellement plus de 350 installations géothermiques au niveau mondial produisant une puissance électrique de l'ordre de 10,8 GW en 2010, ce qui représente moins de 1% de la puissance mondiale électrique. Elle est cependant avec l'hydroélectricité, la biomasse et l'éolien, une des sources principales de production d'électricité par énergie renouvelable dans le monde. Les productions d'électricité d'origine géothermique se répartissent de la manière suivante dans le monde (tableaux et illustration issu du « Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report »):

Continent	Nombre de pays producteurs	Puissance électrique totale installée en 2010 (MW)
Amériques	6	4 561
Asie	5	3 661
Europe	8	1 635
Afrique	2	174,3
Océanie	3	685

Chiffres relevés en 2010

Les principaux pays producteurs sont :

	Puissance électrique totale installée en 2010 (MW)	Puissance électrique totale produite en 2010 (GWh)
Etats-Unis	3 093	16 603
Philippines	1 904	10 311
Indonésie	1 197	9 600
Mexique	958	7 047
Italie	843	5 520
Nouvelle Zélande	628	4 055
Islande	575	4 597
Japon	536	3 064
El Salvador	204	1 422
Kenya	167	1 430

Chiffres relevés en 2010



La géothermie couvre ainsi 0,3 % des besoins mondiaux en électricité mais avec d'importantes disparités nationales, ce pourcentage en termes de contribution pouvant être notablement plus élevé.

Actuellement, en France, la production d'électricité par la géothermie est assurée par le site de Bouillante en Guadeloupe qui délivre une puissance totale de 15 MW. Elle devrait bientôt être rejointe, par la centrale expérimentale de Soultz-Sous-Forêts, en France métropolitaine, dont la puissance électrique nette doit atteindre dans un premier temps 1 MW.

Avec une croissance de 11 % par an pendant la décennie précédente, la géothermie comme source d'électricité devrait poursuivre son essor dans le monde. D'après le rapport mondial de 2010, en 1990 la capacité installée est de 5 834 MW, en 2010 de 10 715 MW, soit une augmentation de 35% en 10 ans.

Les investissements devant prioritairement se porter vers les pays en forte croissance économique cumulant des capacités géothermales importantes : Philippines, Indonésie, Amérique Latine, etc....

A côté de la production électrique apparaissent aussi des projets d'applications industrielles utilisant également la chaleur directe géothermique en moyenne et haute énergie (de 90 à 200 °C) sous forme d'eau ou de vapeur pour les procédés de fabrication. Le projet emblématique de Roquette à Beinheim illustre ces nouveaux débouchés pour la géothermie qui présentent un véritable enjeu économique pour tout un territoire en terme d'accès à une ressource énergétique compétitive permettant la pérennisation d'une activité industrielle sur le plan local.

1.2.2. Concernant la géothermie basse énergie

La géothermie basse énergie est présente dans de nombreuses régions du globe :

- le bassin de l'Amazone et du Rio Plata en Amérique du Sud,
- la région de Boise (Idaho) et le Bassin du Mississippi-Missouri aux USA,
- le bassin pannonien en Hongrie,

- les bassins parisien et aquitain en France
- le bassin artésien en Australie
- la région de Pékin
- l'Asie centrale...

La filière géothermique basse énergie est dédiée au chauffage collectif avec une température de l'eau géothermale suffisamment élevée pour se passer dans la très grande majorité des cas de pompes à chaleur. Des opérations de grandes ampleurs en matière de raccordements d'ensembles immobiliers à la géothermie basse énergie se sont déroulées en France métropolitaine. Depuis 1961, 112 forages profonds, qu'il s'agisse de puits forés ou de forages existants réhabilités ont été réalisés et principalement dans le Bassin parisien et le Bassin aquitain. Les deux tiers environ des installations sont encore exploitées permettant de substituer annuellement 1265 GWh, ce qui représente environ 130 000 tep économisés pour un parc avoisinant 166 000 équivalents-logements. Les émissions polluantes évitées sont estimées à 401 200 tonnes de CO₂ par an, soit 109 400 tonnes de carbone par an (données à fin 2004). Depuis le début des années 2000 plusieurs projets de raccordements de nouveaux ensembles immobiliers et de forages de doublets ont été réalisés dans le cadre de partenariats ADEME-Conseil Régional Ile de France-Collectivités territoriales, montrant l'intérêt pour cette filière. On peut citer entre autres la création d'un nouveau doublet à Orly en 2007, la réhabilitation d'un doublet existant en triplet à Sucy-en-Brie (2008) et la création d'un doublet à Paris (Porte d'Aubervilliers) en 2009.

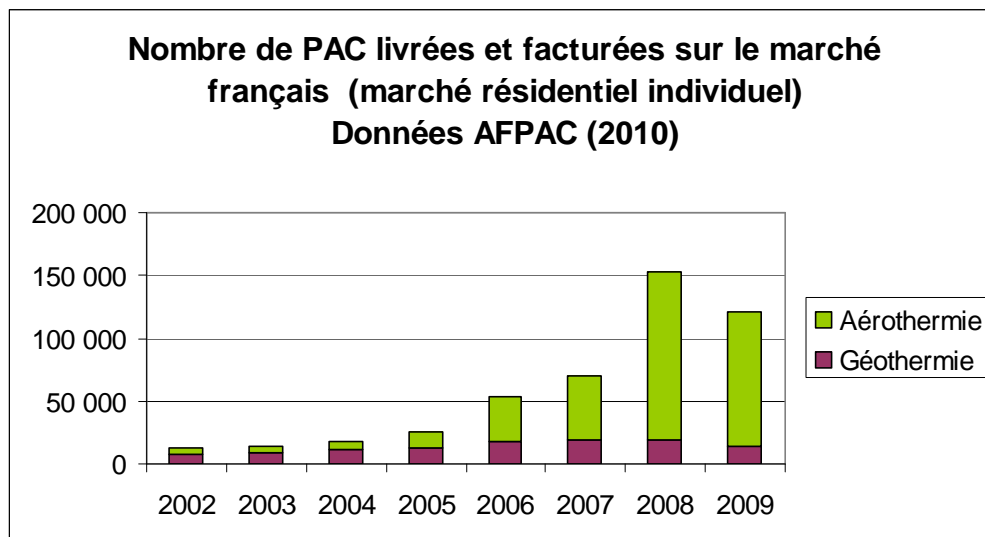
On peut encore citer des opérations de géothermie de basse énergie qui ont été réalisées en Limagne, Languedoc, Lorraine et Bresse. Pour ce qui concerne l'Alsace, un seul site exploité peut être mentionné, celui des Hélicons de Merckwiller-Pechelbronn en Alsace du Nord, en cours de réhabilitation et au potentiel relativement limité.

1.2.3. Concernant la géothermie très basse énergie

En France, depuis quelques années, le marché des pompes à chaleur géothermiques pour le chauffage des maisons individuelles connaît un réel développement à l'image de ce qui se passe dans d'autres pays européens.

Pour fixer un ordre de grandeur, le nombre des maisons individuelles neuves construites en France de fin avril 2008 à fin avril 2009 s'élève à environ 451 000 (Source : MEEDDAT Economie & Statistiques Juin 2009).

<p>En 2005, le nombre d'unités vendues pour équiper des maisons individuelles était de l'ordre de 13 200 ; à comparer aux 700 installations vendues en 1997. Depuis 2002, le marché a progressé de 70 % environ.</p>		2003	2004	2005	2006	2007	2008
	Détente Directe	5400	6800	7800	9600	9 600	7900
	Eau glycolée/Eau - Eau/Eau	3600	4900	5400	8850	9 000	11530
	Total	9000	11700	13200	18450	18600	19430
	<p>Évolution du marché des pompes à chaleur dans le résidentiel de 2002 à 2008 (Source : AFPAC)</p>						



En 2010, **plus de 120 000** nouveaux appareils ont été installés (géothermie et aérothermie comprises).

1.3. Perspectives nationales de développement de la géothermie

Pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle de l'Environnement, et particulièrement en ce qui concerne le développement de la part des énergies renouvelables dans le futur mix énergétique français de 2020 fixé à 23%, l'ensemble des énergies renouvelable devra être mobilisé. Concernant l'énergie géothermique, grâce à ses nombreux avantages, l'objectif est de multiplier par 6 sa production d'énergie géothermique d'ici 2020, toutes filières de production de chaleur confondues (avec Pompes à Chaleur sur aquifères superficiels et sur champs de sondes ou par usage direct sur aquifères profonds). Concernant la production d'électricité, il est prévu de multiplier la production par 10.

Ces chiffres proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle ont été validés par la PPI Chaleur 2009-2010 (Programmation Pluriannuelle des investissements). La mise en place, par l'ADEME, du Fond Chaleur en 2009, pour les opérations dans le tertiaire collectif, et la modification du crédit d'impôt par la loi de finances 2010 pour les particuliers (portant maintenant également sur la pose des échangeurs géothermiques) devraient permettre une forte progression de production de chaleur (ou de froid) d'origine géothermique.

Ces objectifs français de développement des énergies renouvelables correspondent aux objectifs européens, qui devront rapidement être déclinés dans les plans d'action nationaux qui doivent être rendus par chaque état membre à la Commission dès juin 2010. Ces plans nationaux devront décrire la stratégie choisie pour atteindre les objectifs en matière d'énergies renouvelables fixés pour 2020.

Le Grenelle Environnement prévoit de porter à au moins 23% en 2020 la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale (ce qui équivaut à un doublement par rapport à 2005). Atteindre cet objectif suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) la production annuelle d'énergie renouvelable d'ici 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep.

Parmi ces 20 Mtep, 10 millions seront valorisées sous forme de chaleur.

Le Comité Opérationnel « énergies renouvelables » du Grenelle Environnement a proposé une multiplication par 6 de la production de géothermie et des pompes à chaleur à l'horizon 2020, soit une contribution de 2 millions de tonnes équivalent pétrole représentant 10% de l'augmentation de la production d'énergie renouvelable à cet horizon.

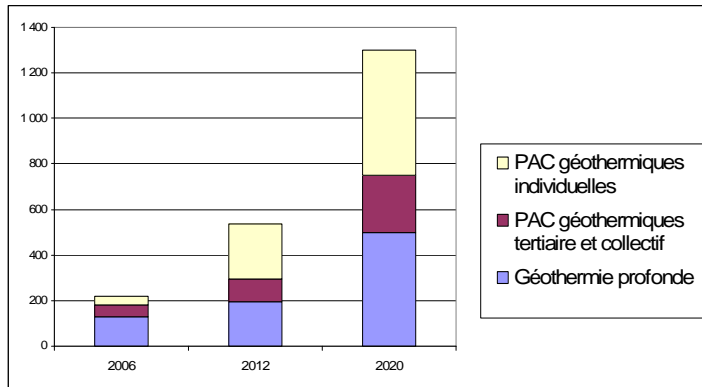


Figure **Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.**-1 Objectifs de production de chaleur géothermale en ktep (Source : COMOP 10)

Les objectifs de développement de la géothermie, proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle, ont été fixés par arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur. Les objectifs de développement de la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables en France (PPI Chaleur 2009-2020) sont les suivants, en termes de production globale :

	Au 31 décembre 2012	Au 31 décembre 2020
Géothermie profonde	195 ktep	500 ktep
Géothermie intermédiaire	100 ktep	250
Pompes à chaleur individuelles	1 200 ktep	1 600

Les nouveaux moyens mis en place comme le Fond Chaleur Renouvelable, pour les opérations du secteur du logement collectif et du tertiaire, ou la modification du crédit d'impôt, pour les particuliers, vont permettre d'accélérer la mise en place d'opérations de géothermie.

Concernant l'**électricité**, l'objectif est de multiplier par 10 la production d'électricité géothermale française.

Dans cet objectif, de nouveaux tarifs de rachat de l'électricité produite par géothermie ont été fixés par l'arrêté du 23 juillet 2010 publié au Journal Officiel du 24 juillet 2010.

Métropole (installation pilote de Soultz sous forêts) :

T1 = 20 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est < à 30%

T1 = 28 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est > à 70%

St Pierre et Miquelon et DOM :

T2 = 13 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est < à 30%

T1 = 16 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est > à 50%

Afin d'accélérer le développement de la géothermie dans notre pays, Jean-Louis Borloo, ministre d'État, ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, a décidé de mettre en place un Comité national de la Géothermie. Ce Comité, créé officiellement en juillet 2009, a pour tâche de proposer des actions et des recommandations pour le développement de chacune des formes de la géothermie, au travers d'une « Gouvernance à 5 », en cohérence avec la méthode du Grenelle Environnement. 35 personnes participent aux travaux de ce comité, présidé par Philippe VESSERON, Président d'honneur du BRGM.

Le Comité National de la Géothermie a débuté ses travaux sur trois enjeux prioritaires : la simplification administrative et la qualité, la formation des personnels et la diffusion de l'information vers chacune des parties intéressées.

1.4. Spécificité alsacienne

1.4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Dans le contexte tectonique et géologique particulier de l'Alsace du Nord, seul le captage d'un aquifère présent en profondeur dans une zone faillée peut permettre l'exploitation industrielle d'une ressource géothermale (température et débit suffisants) économiquement exploitable (i.e. Genter et al., 2010 ; Sanjuan et al., 2010 ; Dezayes et al., 2010 ; Géraud et al., 2010). Les réservoirs sédimentaires ne peuvent être exploités industriellement que si les débits sont importants ce qui nécessite en plus de leur perméabilité matricielle la présence de zones fracturées. En effet, les formations tectonisées jouent le rôle de drains dans lesquels les fluides thermo-minéraux peuvent circuler abondamment. Une bonne circulation de ces eaux géothermales est donc essentielle pour permettre leur remontée, via des boucles convectives au sein du réseau de failles, et ainsi autoriser une exploitation industrielle de la ressource géothermique. En Alsace du Nord, la recherche de ressources géothermiques profondes économiquement exploitables impose donc l'implantation des puits de façon à atteindre en profondeur un contexte tectonique favorable.

1.4.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère

L'Alsace est particulièrement favorisée par la présence de la nappe alluviale rhénane qui est l'une des plus importantes réserves en eau souterraine d'Europe. La quantité d'eau stockée, pour sa seule partie alsacienne, est estimée à environ 35 milliards de m³ d'eau. Sa température varie peu au fil des saisons, entre 8 et 12 °C, gage d'une efficacité élevée même en hiver, dans le cas de son exploitation à travers des pompes à chaleur.

Trois critères peuvent être retenus pour qualifier le potentiel géothermique de très basse température lié à l'utilisation de PAC Eau/Eau :

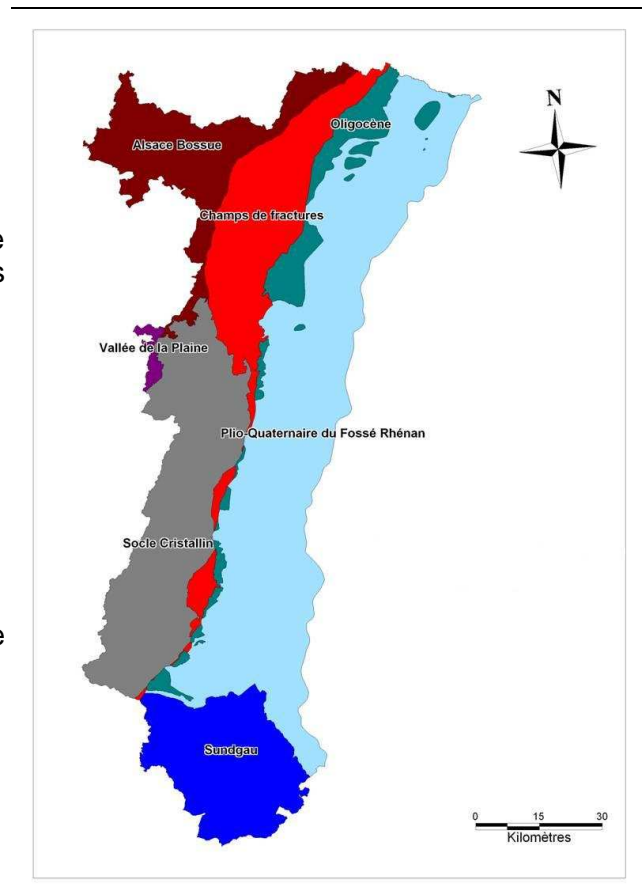
- Critère « Productivité d'aquifère »
- Critère « Profondeur d'accès à la ressource »
- Critère « Température »

Ces critères sont loin d'être déterminés pour l'ensemble des ressources en Alsace. Néanmoins on peut exprimer les tendances générales de la potentialité sur la base des grands découpages en zones géologiques de l'Alsace.

Globalement, le territoire alsacien peut se découper en grandes zones géologiques distinctes:

- L'Alsace bossue
- Les champs de fractures
- Le Sundgau
- Les Vosges cristallines
- La Plaine alluviale d'Alsace
- Formations oligocènes affleurantes

Ces zones demandent également une approche géothermique séparée



Carte des différentes zone de potentiel géothermique PAC sur aquifère sur le territoire alsacien

De part l'accessibilité de sa ressource et par les débits de pompage élevés dans les alluvions, la **Plaine d'Alsace avec la nappe alluviale rhénane** (en bleu clair dans la carte) se dégage comme le potentiel majeur pour l'exploitation géothermique sur aquifère. Les formations pliocène qui affleurent dans le Nord sont incluses dans cette entité d'ordre régionale bien que leur potentialités soient plus aléatoires que la nappe alluviale au sens stricto-sensu.

L'Alsace Bossue comprend les séries sédimentaires structurellement liées au système du bassin de Paris. A ce titre le potentiel géothermique sur aquifère est lié à deux systèmes aquifères distincts dont les potentialités exactes restent à déterminer. Les **champs de fracture** en bordure de la Plaine d'Alsace constituent des zones géologiquement et hydrogéologiquement complexes aux potentialités variables. Ces zones fracturées demandent également des applications géothermiques bien encadrées en raison des risques liés aux aquifères captifs. Les **Vosges cristallines** sont globalement peu propices à la géothermie sur aquifère, hormis peut être sur les nappes alluviales d'accompagnement des principales rivières vosgiennes ou bien encore dans les formations gréseuses du Trias qui surplombent localement le socle cristallin dans sa partie Nord. Le **Sundgau** regroupe plusieurs situations géologiques et hydrogéologiques contrastées (Aquifères des cailloutis du Sundgau, Horst de Mulhouse, Jura Alsacien) qui demandent des approches détaillées pour en définir les potentiels particuliers. **Les formations oligocènes** essentiellement marneuses sont peu propices au développement de géothermie sur aquifère.

La **vallée de la Plaine** est une zone limitrophe qui comme pour l'Alsace Bossue se rattache aux séries du Bassin Parisien. Intégrant des formations de socle suivies de quelques séries sédimentaires essentiellement gréseuses, ses potentialités sont liées à ces séries.

Le BRGM a édité en juin 1985 une cartographie détaillée des potentialités et des contraintes de géothermie basse température en Alsace. Il s'agit d'un jeu de cartes avec notices réalisé pour chaque département (cartes « AQUAPAC »).

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales et sur capteurs horizontaux :

Le sous-sol alsacien présente globalement les mêmes caractéristiques thermiques (peu de variation de température jusqu'à 100 / 150 m) que celui du reste de la métropole avec une diversité naturelle en matière de taux d'humidité et de conduction thermique des matériaux le composant. Cependant, une incertitude existant localement au niveau des propriétés thermique réelles du sous sol, il est fortement conseillé de réaliser un test de son potentiel thermique, notamment lorsqu'il s'agit de projets de grande ampleur mettant en œuvre un champ de plusieurs dizaines de sondes verticales.

2. ETAT DES LIEUX EN ALSACE

2.1. Études réalisées sur la filière en général et éventuellement pour chaque catégorie

2.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Une « synthèse géothermique du Fossé Rhénan supérieur » a été réalisée en 1979 par le BRGM en coopération avec le Service Géologique du Bade – Württemberg. Cette synthèse s'intéresse aux niveaux aquifères présents dans les formations sédimentaires mésozoïques : le Rauracien-Séquanien, la Grande Oolithe, le Muschelkalk supérieur et le Buntsandstein.

En 1991, le rapport « Aquifères profonds : constitution d'une base de données à usage géothermique » (BRGM – IMRG) présente l'ensemble des informations disponibles liées aux forages existants.

En 2007, le rapport « Estimation du potentiel géothermique des réservoirs clastiques du Trias dans le Fossé rhénan. Rapport ADEME / BRGM – 55729 – FR. Auteur C. Dezayes

En 2010, un article à l'occasion du congrès international de géothermie à Bali, « Towards a better knowledge of the clastic Lower Triassic reservoirs in the upper Rhine Graben (France), Auteur C. Dezayes et al.

Actuellement, l'un des volets du projet INTERREG « GEORG » a pour objectif une mise à jour transfrontalière des informations disponibles pour caractériser les potentialités géothermiques profondes du Fossé Rhénan. Cette mise à jour débouchera sur des modélisations à différentes échelles et en se focalisant sur certaines zones.

2.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie

Une cartographie des potentialités géothermiques des nappes phréatiques du Bas-Rhin et du Haut-Rhin a été réalisée en 1985. Les données de débits mais aussi celles liées à la qualité des eaux et leur impact sur une installation PAC ont fait ainsi l'objet de cartes et d'une notice explicative par département. Ces documents sont en vente au SGR Alsace.

2.2. Bilan des installations et des productions par catégorie de géothermie

2.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Sur le territoire alsacien, il n'existe que deux installations géothermiques fonctionnelles en haute, moyenne et basse énergie : la centrale électrique de Soultz-Sous-Forêts et la source des Héliens II.

Le projet de géothermie de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin), géré par le Groupement européen d'intérêt économique (GEIE) Exploitation minière de la chaleur, est un programme de recherche qui a nécessité 16 années d'études. Ce programme consiste à démontrer la faisabilité de l'utilisation de la chaleur des roches sèches fracturées. Le 13 décembre 2007, ce projet pilote est entré dans sa phase industrielle avec la pose d'une turbine qui lui permettra de produire de l'électricité. Il pourra également alimenter des réseaux de chaleur pour épuiser la chaleur résiduelle. La puissance électrique nette devrait atteindre dans un premier temps 1 MW.

Grâce au nouveau tarif de rachat publié au JO du 24 juillet 2010, elle devrait à terme produire activement du courant électrique tout en conservant sa vocation expérimentale initiale.

La source géothermale des Héliions a alimenté en chaleur jusqu'en 2009 le bâtiment de la Communauté de communes de Sauer-Pechelbronn à Merkwiler-Pechelbronn. En 2009, des travaux d'aménagement de la source thermale ont été entrepris afin d'éviter les rejets dans la nature et ainsi de pérenniser son utilisation sous sa forme actuelle. La puissance attendue devrait se situer à 100 kW thermiques.

2.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie

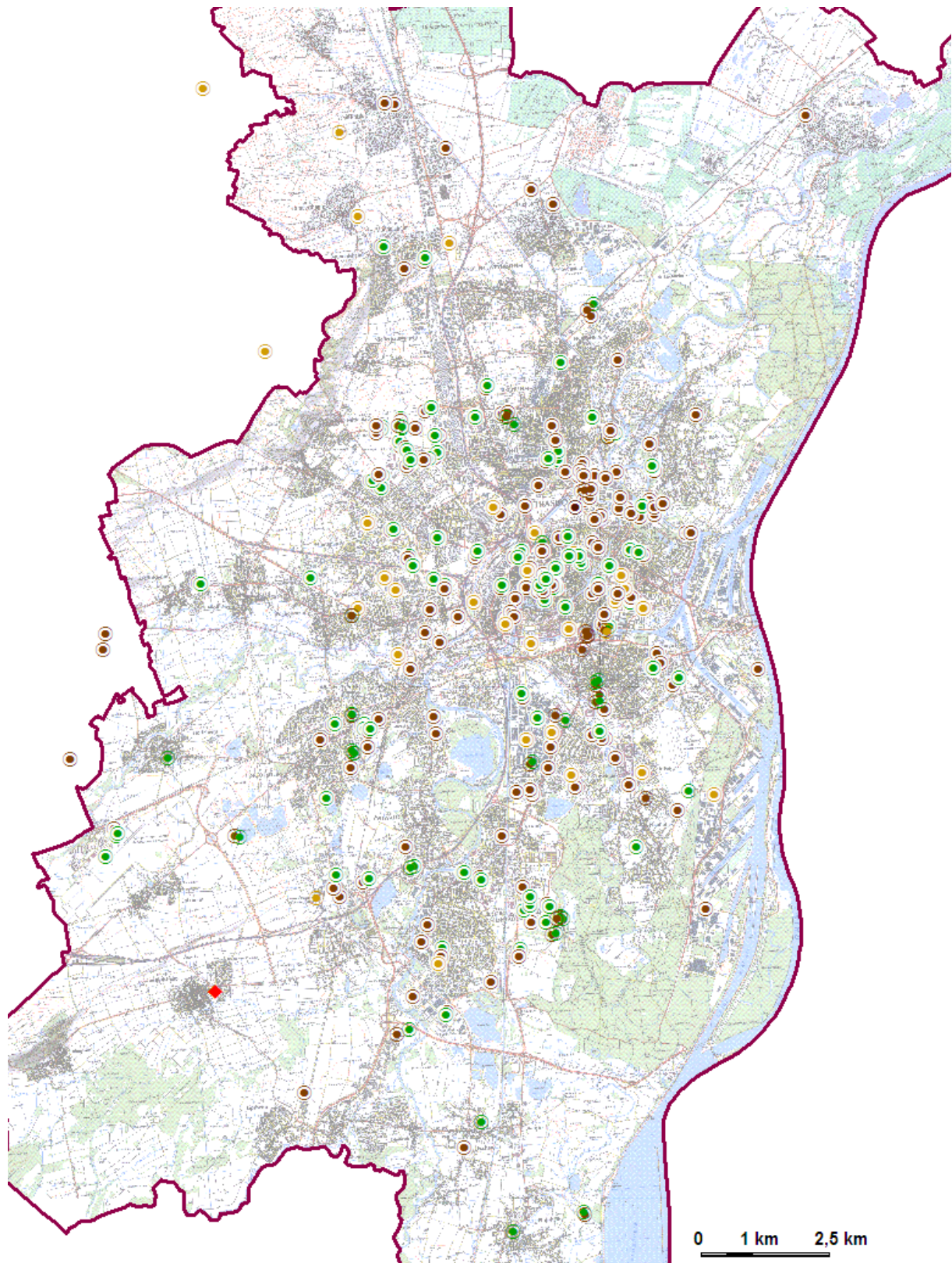
➤ Géothermie PAC sur aquifère

Les conditions naturelles très favorables en Alsace (nappe alluviale) et une relative simplicité de mise en œuvre ont contribué à son succès et sa diffusion devance très largement les autres techniques de géothermie très basse température. Des opérations de promotion très incitatives dans l'habitat individuel ont eu lieu en Alsace au début des années quatre-vingt suite aux chocs pétroliers mais malheureusement aucun suivi ni recensement récent à l'échelle de l'Alsace ne peut donner l'importance des installations réalisées ni le nombre de celles qui seraient encore actuellement en service.

Cas remarquable du secteur de la Communauté Urbaine de Strasbourg :

A l'échelle de la Communauté Urbaine de Strasbourg, l'Observatoire de la Nappe de la CUS a réalisé plusieurs recensements de PAC. Les données collectées restent cependant lacunaires et aboutissent à un résultat non-exhaustif de l'état actuel (nombre total de PAC, caractéristiques des ouvrages, débits captés, etc..).

Néanmoins, le travail de recensement des installations géothermiques sur le territoire de la **Communauté Urbaine de Strasbourg** qui a été effectué offre un éclairage particulier en zone d'agglomération dense. On dénombre ainsi 374 ouvrages à usage géothermique (captages et rejets confondus) en novembre 2009. Par rapport au recensement précédent datant de 2008, 43 captages ont été réalisés. La localisation de ces captages est fournie par l'illustration ci-dessous :

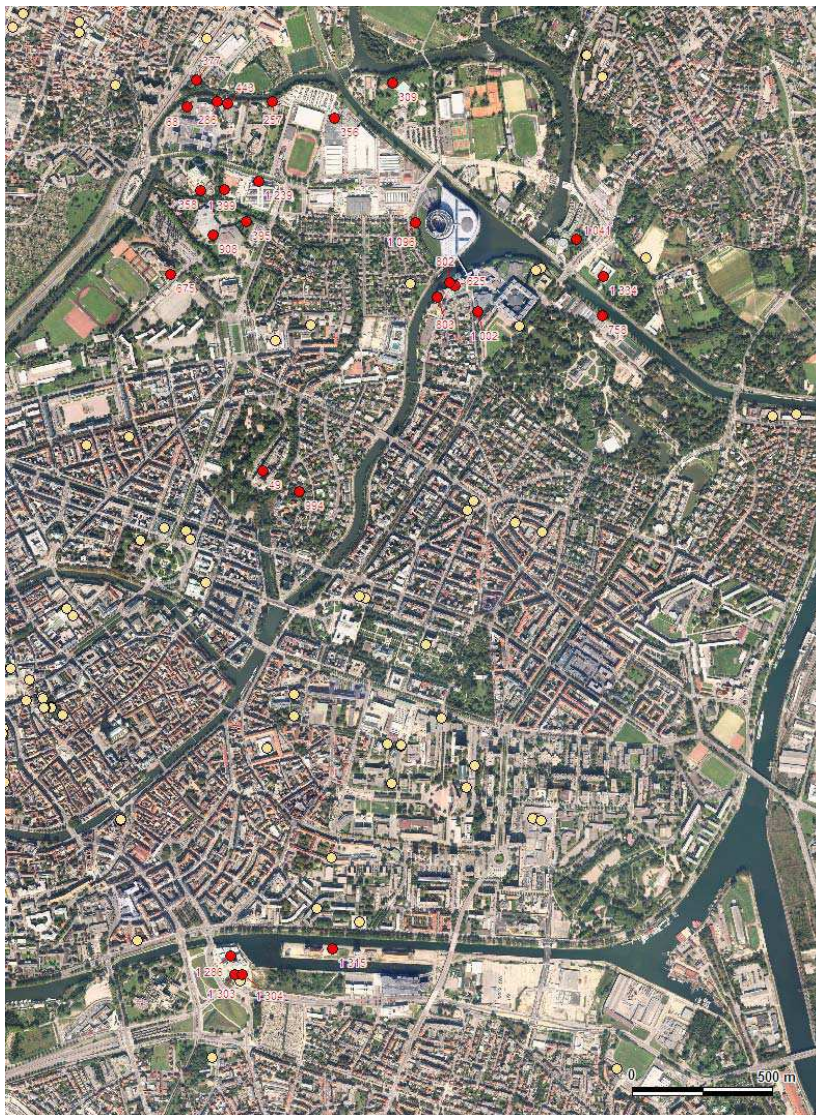


Localisation de tous les captages PACs recensés sur le territoire de la CUS en novembre 2009

D'une manière générale, les PACs sont localisées principalement dans quatre secteurs géographiques :

1. secteur du Parlement Européen avec les PACs du Parlement Européen, des droits de l'Homme, serres de l'Orangerie, ...
2. secteur du Wacken avec de nombreuses PACs d'établissements bancaires, de l'Hôtel de Région, ...
3. Secteur au Nord de la place de la République (2 PACs d'établissements bancaire ou d'assurance),
4. Secteur de la place de l'Etoile avec les PACs du Conservatoire de Musique, de la nouvelle médiathèque, ...

La détermination des ouvrages s'est faite à partir des informations contenues dans la banque de données du sous-sol (BSS) géré par le BRGM. La concordance des captages – rejets est relativement compliquée compte tenu que l'instruction BSS est réalisée uniquement ouvrage par ouvrage. La mention de forage associé n'est pas automatique. Il existe également un certain nombre d'installation géothermique associant un captage dans l'aquifère à un rejet dans les eaux superficielles, c'est le cas notamment du quartier des institutions européennes (voir illustration ci-dessous).



Localisation des PACs rejetant dans le réseau superficiel (points rouges)

L'ambiguïté sur le rattachement de deux ou un ouvrage à une installation géothermique n'a pu être levé pour l'ensemble des cas étudiés.

Un calcul des puissances consommées sur la base d'une statistique détaillée n'est pas actuellement possible du fait de données manquantes. Toutefois on estime que les débits pompés par captage varient entre 50 et 100m³/h. La PAC utilisée pour le Parlement Européen constitue un maximum avec un débit d'exploitation d'environ 1100 m³/h.

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

Cette technique est relativement récente en France et aussi en Alsace mais elle bénéficie d'un retour d'expérience de pays limitrophes comme la Suisse et l'Allemagne qui la mettent en œuvre depuis environ trois décennies avec des résultats très positifs si un minimum de précautions sont prises. De part les moyens à mettre en œuvre pour leur implantation, les sondes verticales sont surtout choisies dans le cas de constructions neuves. C'est une technique qui est appelée à croître de part son universalité.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

Cette technique a été promue en Alsace dans les années quatre-vingt-dix et continue encore aujourd'hui avec une diffusion surtout dans l'habitat individuel neuf.

2.3. Tableau synthétique récapitulatif

2.3.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Voir le tableau des potentialités en 5.2.

2.3.2. Concernant la géothermie très basse énergie

Les PAC nécessitant de l'énergie électrique pour fonctionner, les tableaux suivants font apparaître les besoins couverts par les PAC (Besoin), l'énergie électrique consommée (Cons), ainsi que l'énergie extraite du sous-sol (Apport).

Rappel concernant le coefficient de performance, ou COP, d'une pompe à chaleur :

La performance énergétique d'une pompe à chaleur se définit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée par son compresseur. Dans les tableaux ci-après a été pris en compte un COP moyen de 3, envisageable pour une source de calories issue du sous-sol et d'aquifères aux capacités thermiques relativement stables.

➤ Géothermie PAC sur aquifère

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Prév 2010	TOTAL
Total Bas-Rhin	Besoin MWh	17927	17938	18370	18581	19640	19982	21644	25686	23985	183751
	Cons MWh	5976	5979	6123	6194	6547	6661	7215	8562	7995	61250
	Apport MWh	11951	11959	12246	12388	13093	13321	14429	17124	15990	122501
Total Haut-	Besoin MWh	3585	3588	3674	3716	3928	3996	4329	5137	4797	36750

Rhin	Cons MWh	1195	1196	1225	1239	1309	1332	1443	1712	1599	12250
	Apport MWh	2390	2392	2449	2478	2619	2664	2886	3425	3198	24500
TOTAL Alsace	Besoin MWh	21512	21525	22043	22298	23568	23978	25972	30823	28782	220501
	Cons MWh	7171	7175	7348	7433	7856	7993	8657	10274	9594	73500
	Apport MWh	14341	14350	14696	14865	15712	15985	17315	20548	19188	147001

Production estimée par année des nouvelles réalisations de PAC sur aquifères

Les besoins indiqués dans le tableau précédent ont été estimés à partir de l'inventaire du nombre de PAC sur aquifère chauffant les maisons individuelles existantes et neuves, raccordées chaque année sur le territoire géré par Électricité de Strasbourg, ainsi que celles chauffant et/ou climatisant les bâtiments des institutions européennes, publiques territoriales, de la santé, de l'éducation et du secteur tertiaire. En 2010, l'estimation de l'énergie totale soutirée du sous-sol alsacien au travers des PAC sur aquifère est d'environ 147001 MWh.

Comme déjà évoqué ci-dessus, il faut considérer que l'étude de la filière PAC sur aquifère est très incomplète. En effet, aucun inventaire du parc existant n'est disponible. D'autre part, il manque des informations concernant les installations de grosses puissances, notamment celles de la Communauté Urbaine de Strasbourg dont les puissances et les énergies représentent une part déterminante dans le bilan régional et pour lesquelles il n'y a pas de recensement public. Ces installations de grosses puissances, déjà en nombre important, influencent les chiffres indiqués dans le tableau de manière très significative : on peut estimer qu'elles représentent quasiment 80 % de la couverture des besoins par les PAC sur aquifère dans le Bas-Rhin .

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Prév 2010	TOTAL
Total Bas-Rhin	Besoin MWh	814	682	528	750	910	837	493	364	998	6376
	Cons MWh	271	227	176	250	303	279	164	121	333	2125
	Apport MWh	543	455	352	500	606	558	329	243	665	4251
Total Haut-Rhin	Besoin MWh	407	341	264	375	455	419	247	182	499	3188
	Cons MWh	136	114	88	125	152	140	82	61	166	1063
	Apport MWh	271	227	176	250	303	279	164	121	333	2125
TOTAL Alsace	Besoin MWh	1221	1023	792	1125	1365	1256	740	546	1497	9564
	Cons MWh	407	341	264	375	455	419	247	182	499	3188
	Apport MWh	814	682	528	750	910	837	493	364	998	6376

Production estimée par année des nouvelles réalisations de PAC sur sondes géothermiques verticales

Les besoins indiqués dans le tableau précédent ont été estimés à partir de l'inventaire du nombre de PAC sur sondes géothermiques verticales, chauffant les maisons individuelles neuves, raccordées chaque année sur le territoire géré par Électricité de Strasbourg. En 2010, l'estimation de l'énergie totale soutirée du sous-sol alsacien au travers des PAC sur sondes géothermiques verticales est d'environ 6 376 MWh. De 2002 à 2009, l'essentiel des PAC sur sondes géothermiques verticales ont été installés chez des particuliers. Ces installations, malgré leur nombre, couvrent un besoin thermique relativement modeste.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Prév 2010	TOTAL
Total Bas-Rhin	Besoin MWh	1188	781	594	737	836	737	539	297	220	5929
	Cons MWh	396	260	198	246	279	246	180	99	73	1976
	Apport MWh	792	521	396	491	557	491	359	198	147	3953
Total Haut-Rhin	Besoin MWh	594	391	297	369	418	369	270	149	110	2965
	Cons MWh	198	130	99	123	139	123	90	50	37	988
	Apport MWh	396	260	198	246	279	246	180	99	73	1976
TOTAL Alsace	Besoin MWh	1782	1172	891	1106	1254	1106	809	446	330	8894
	Cons MWh	594	391	297	369	418	369	270	149	110	2965
	Apport MWh	1188	781	594	737	836	737	539	297	220	5929

Production estimée par année des nouvelles réalisations sur capteurs horizontaux

Les besoins indiqués dans le tableau précédent ont été estimés à partir de l'inventaire du nombre de PAC sur capteurs horizontaux, chauffant les maisons individuelles neuves, raccordées chaque année sur le territoire géré par Électricité de Strasbourg. En 2010, l'estimation de l'énergie totale soutirée du sous-sol alsacien au travers des PAC sur capteurs verticaux est d'environ 5 929 MWh.

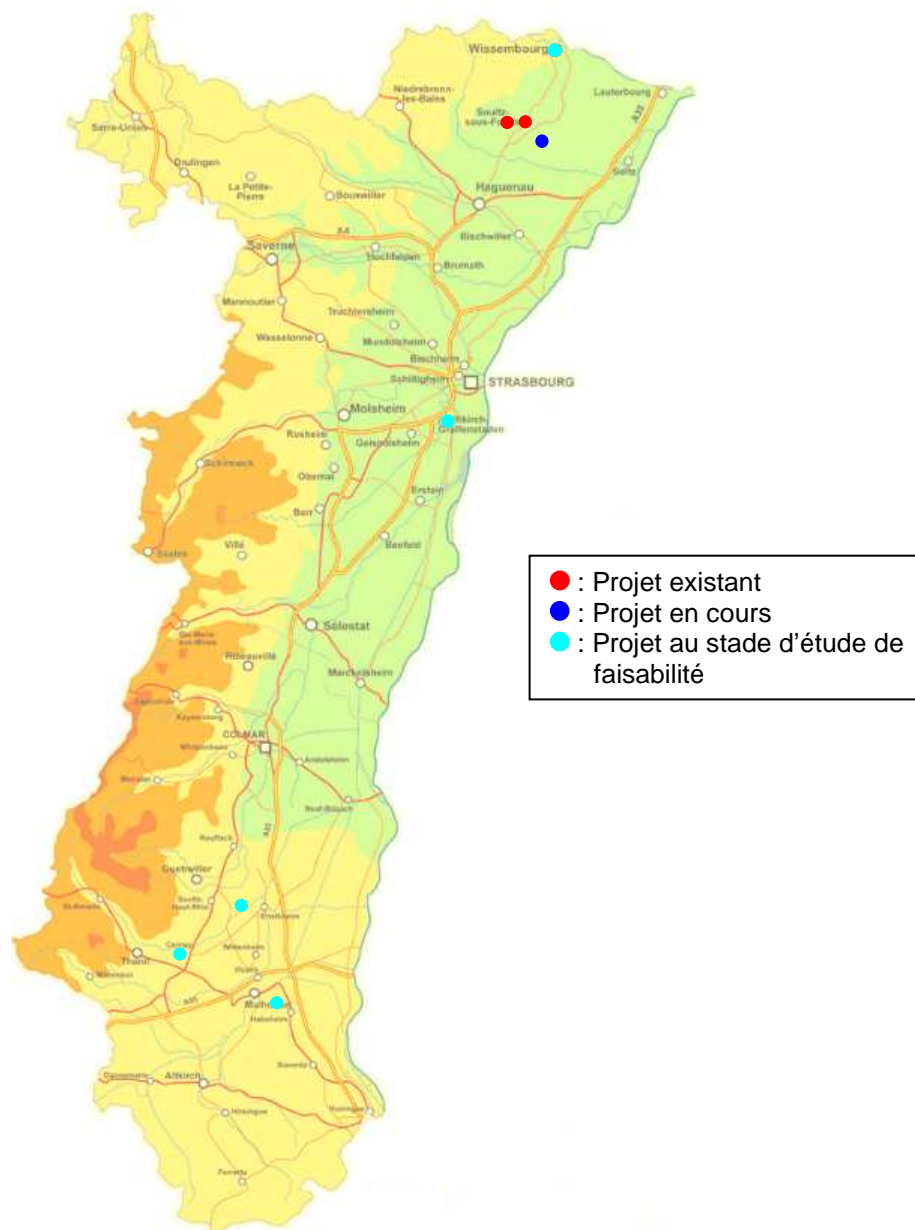
De manière synthétique et d'après les données à disposition, on peut estimer que la géothermie a couvert, en Alsace, et pour l'année 2009, 208,35 GWh de besoin thermique, soit un apport géothermique en énergie d'environ 138,90 GWh permettant l'économie de 11,97 ktep.

2.4. Bilans cartographiques de répartitions régionales des installations et par catégories

2.4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Dans cette catégorie, la carte ci-dessous présente les positions géographiques des projets :

- existants : le G.E.I.E. Exploitation Minière de la Chaleur à Soultz-sous-Forêts, la source des Héliens II à Merkwiler-Pechelbronn,
- en cours : l'usine Roquette à partir du site de Rittershoffen,
- au stade de l'étude de faisabilité : les villes de Wissembourg, d'Illkirch-Graffenstaden, de Cernay, de Rixheim et du parc de loisir d'Ungersheim

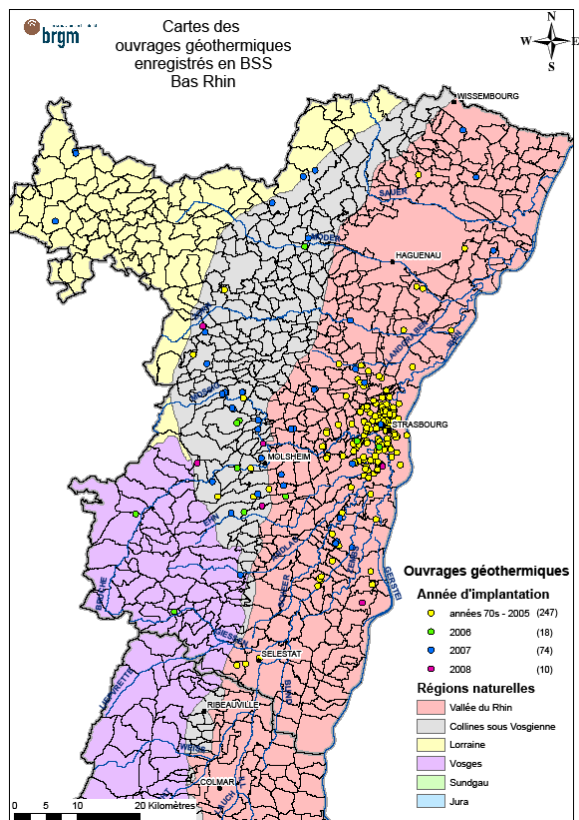
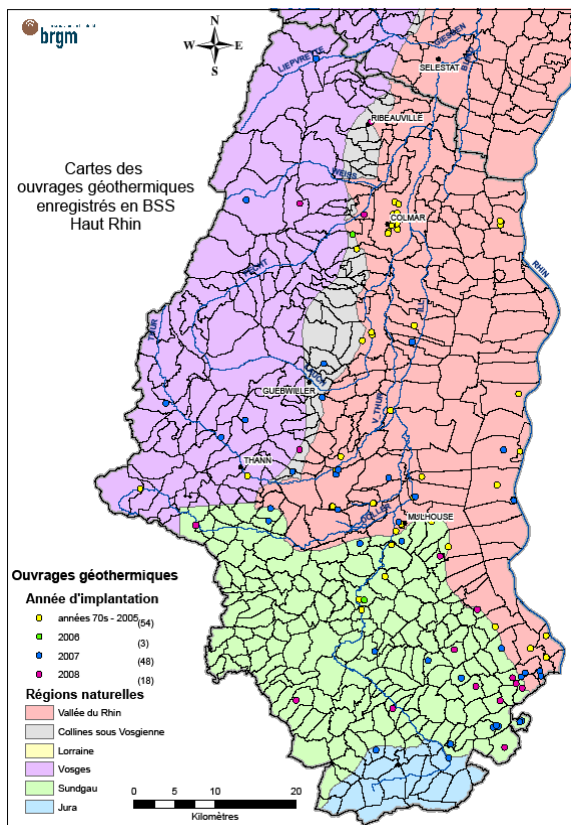


2.4.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère et sur champs de sondes verticales

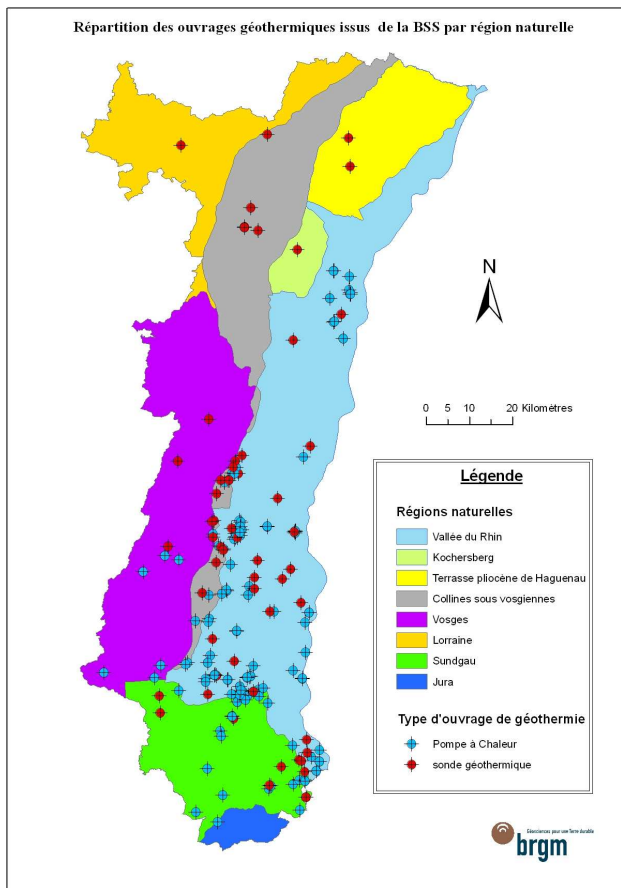
La base de données BSS (Banque de données du sous-sol permet de cartographier les forages à vocation géothermique (basse température) qui ont fait l'objet d'une déclaration. Il s'agit ici d'une représentation à minima, car de nombreux ouvrages n'ont vraisemblablement pas été déclarés.

Les deux illustrations ci-dessous cartographient l'évolution des ouvrages répertoriées jusqu'en 2008



Cartographie chronologique de l'implantation des ouvrages géothermiques

Une sélection sur la base des informations contenues dans la BSS permet également d'obtenir une cartographie distinguant les PAC et les sondes géothermiques (illustration ci-dessous)



Cartographie 2010 distinguant les PACs des sondes géothermiques

Bien que la nappe phréatique d'Alsace constitue le territoire privilégié pour le développement de PACs, on s'aperçoit qu'une quantité non négligeable de sondes y ont été également installées.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

Pas de cartographie disponible

3. AVANTAGES/INCONVÉNIENTS/CONTRAINTE/DISPOSITIONS PARTICULIÈRES

3.1. Avantages, inconvénients

3.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Une des 3 régions favorables en France, • Grosses puissances thermiques disponibles, • Études de faisabilité subventionnées par la région Alsace et l'ADEME à hauteur de 70 %, • Implication d'entreprises locales pour le développement, • Coût du kWh thermique garanti et stable sur la durée de vie du projet, • Bilan carbone très favorable, 	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel restreint aux zones ayant un sous sol rendu localement perméable grâce aux zones fracturées créées par les mouvements tectoniques (Nord de l'Alsace), • Procédures d'autorisations minières indispensables, • Demande des études hydrogéologique, hydrodynamique, géologique, thermique, géochimique et sismique* détaillées, • Risque minier existant, • Fluides géothermaux fortement minéralisés, entraînant des risques de dépôts et de corrosion, • Filière en cours de développement, • Délais de réalisation important, • Investissements élevés, • Tributaire des variations des matières premières et de l'activité pétrolière,

* voir en annexe étude synthétique sur la sismicité dans le cadre de la géothermie

3.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage et rafraîchissement possibles avec une même installation, • Bon coefficient de performance par rapport à une PAC air/eau, • Technologie éprouvée, • De nombreuses références, • Filière structurée, • Aide du Fonds Chaleur pour les projets supérieur à 50 kW / Crédit d'impôt pour le particulier, 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un aquifère peu profond avec un débit d'exhaure suffisant, • Demande une étude hydrogéologique détaillée, • Procédure d'autorisation selon code de l'environnement si exploitation supérieure à 200 000 m³/an ou 80 m³/h, • Procédure d'autorisation minière si les forages dépassent 100 m, • Problèmes possibles d'entartrage, de floculation ou de corrosion du circuit hydraulique lié à la qualité de l'eau souterraine, • Risque de durcissement de la législation sur l'eau,

	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de conflit d'usage (agriculture, captage AEP...),
--	--

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage et rafraîchissement possibles avec une même installation, • Réalisable sur tous les terrains (ne nécessite pas d'aquifère), • Bon coefficient de performance par rapport à une PAC air/eau, • Conflit d'usage limité, • Technologie éprouvée pour le particulier, • Aide du Fonds Chaleur pour les projets supérieur à 30 kW / Crédit d'impôt pour le particulier, 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des longueurs importantes de forage, • Procédure d'autorisation minière si les forages dépassent 100 m ou si la puissance soutirée est supérieure à 232 kW, • Demande une étude géologique détaillée, • Test de réponse thermique indispensable pour les projets de moyenne et grande importance, • Risque de mise en relation d'aquifère par forages mal suivis, • Nécessite une bonne adéquation entre les besoins et les potentialités calorifiques renouvelables du sous-sol, • Température maximale du circuit de chauffage plus faible que pour une chaudière (impact sur le dimensionnement de l'installation de chauffage), • Filière en cours de développement pour les projets de puissances importantes.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage et rafraîchissement possibles avec une même installation, • Utilisation d'engins de chantier classiques pour la mise en place de capteur horizontaux, • A puissance équivalente, l'installation de capteurs horizontaux est moins chère que l'installation de capteurs verticaux ou de forage sur aquifère, • Réalisable sur tous les terrains (ne nécessite pas d'aquifère), • Technologie éprouvée, • Crédit d'impôt pour le particulier, 	<ul style="list-style-type: none"> • L'emprise au sol est bien plus élevée que pour les sondes verticales, • Technique réservée essentiellement à l'habitat rural, • Température maximale du circuit de chauffage plus faible que pour une chaudière (impact sur le dimensionnement de l'installation de chauffage),

3.2. Dispositions particulières

3.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

- **Aides financières**

Des aides financières sont apportées aux porteurs de projets en France de géothermie haute, moyenne et basse énergie au travers du Fonds Chaleur. Ces aides concernent les projets destinés à la production de chaleur. Les aides concernent aussi la centrale géothermique comprenant les forages et l'installation de surface, que les éventuels réseaux de chaleur nécessaires pour distribuer l'énergie.

Pour rappel, de nouveaux tarifs de rachat de l'électricité produite par géothermie ont été fixés par l'arrêté du 23 juillet 2010 publié au Journal Officiel du 24 juillet 2010.

Métropole (installation pilote de Soultz sous forêts) :

T1 = 20 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est < à 30%

T1 = 28 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est > à 70%

St Pierre et Miquelon et DOM :

T2 = 13 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est < à 30%

T1 = 16 c€/kWh si l'efficacité énergétique de l'installation est > à 50%

- **Couverture des risques de forages**

Un système financier de couverture des risques géologiques est géré par la SAF environnement. Ce système repose sur deux dispositifs complémentaires :

- **Court terme** : Une procédure à court terme qui garantit les résultats du premier forage et qui est basée sur la mutualisation des risques. Le taux d'échec, très faible dans les zones favorables, permet de réaliser des forages à plus forts risques dans les zones encore peu explorées.
- **Long terme** : Une procédure à long terme qui prend effet au moment de la mise en service des installations et qui, sur une durée de 15 ans d'exploitation, garantit la pérennité de la ressource contre les risques de tarissement total ou partiel ainsi que les équipements en contact avec le fluide géothermal.

3.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère

- **Aides financières**

Le Fonds Chaleur prévoit des aides financières pour les porteurs de projets de géothermie PAC sur aquifère. Les projets sont instruits au cas par cas, avec une analyse économique. Le montant des aides est calculé de telle sorte que le coût de la chaleur renouvelable livrée à l'utilisateur soit inférieur d'au moins 5 % à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle. Le montant total des aides peut s'élever jusqu'à 40 % des dépenses éligibles¹.

¹ Les dépenses éligibles correspondent aux dépenses qui concourent directement à la réalisation de l'opération (ingénierie comprise) déduction faite des dépenses qui auraient été réalisées pour une installation de production d'énergie classique à combustible fossile couvrant les mêmes besoins.

Pour le particulier, une incitation financière a été mise en place via un crédit d'impôt. Ils bénéficient ainsi en 2010 d'un crédit d'impôt de 40 % sur la PAC et les forages, conditionné par la mise en œuvre d'un professionnel.

- **Couverture des risques de forages**

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 100 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 KW. 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 qu'il avait été prévu,
- La garantie de pérennité couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation.

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

- **Aides financières**

Le Fonds Chaleur prévoit des aides financières pour les porteurs de projets de géothermie PAC sur sondes verticales. Les projets sont instruits au cas par cas, avec une analyse économique. Le montant des aides est calculé de telle sorte que le coût de la chaleur renouvelable livrée à l'usager soit inférieur d'au moins 5 % à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle. Le montant total des aides peut s'élever jusqu'à 60% des dépenses éligibles.

Pour le particulier, une incitation financière a été mise en place via un crédit d'impôt. Ils bénéficient ainsi en 2010 d'un crédit d'impôt de 40 % sur la PAC et l'installation des sondes verticales, conditionné par la mise en œuvre d'un professionnel.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

- **Aides financières**

Pour le particulier, une incitation financière a été mise en place via un crédit d'impôt. Les particuliers bénéficient ainsi d'un crédit d'impôt de 40 % sur la PAC et l'installation des sondes horizontales, conditionné par la mise en œuvre d'un professionnel.

4. MODE DE GOUVERNANCE

4.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Au niveau régional, il n'y a pas de gouvernance spécifique pour les projets de géothermie haute, moyenne et basse énergie. En effet, le nombre de projet existant n'est pas encore significatif pour justifier la mise en place d'un groupe de travail destiné à partager les expériences.

Toutefois, on notera que l'ADEME suit avec attention l'évolution des projets de géothermie en Alsace, que ce soit au niveau des aides accordés pour la réalisation d'études de faisabilité, que pour les suites à donner à ces études.

La région s'intéresse également au développement de la filière, notamment en appuyant les aides ADME pour les études de faisabilité. Le conseil général d'Alsace a également décidé de participer, le 7 novembre 2008, au projet INTERREG « GEORG » destiné à la réalisation d'une cartographie tridimensionnelle du potentiel géothermique du Rhin supérieur. Cet outil est destiné à faciliter la prise de décision des élus et des industriels intéressés.

4.2. Concernant la géothermie très basse énergie

Au niveau régional, la Région Alsace, en partenariat avec Électricité de Strasbourg, a élaboré une charte qualité et un cahier des charges technique appelé Éspirit PAC. Cette charte permet de recommander des professionnels qualifiés pour l'installation de PAC aux particuliers.

A noter que la Communauté Urbaine de Strasbourg renouvelle chaque année un marché public pour la mission d'observatoire de la nappe (Onap) au droit du territoire de la CUS. Un des groupes de travail de cet observatoire a pour mission de faire le point sur les PAC et leur développement, la promotion de cette forme d'énergie et la protection de la ressource en eau.

5. DÉFINITION DU POTENTIEL / OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT À L'HORIZON 2020

5.1. Études des potentialités réalisées par catégorie

5.1.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Le succès des opérations de Soultz-sous-Forêts et de Rittershoffen (projet Roquette) déterminera à moyen termes l'avenir de cette filière. Ainsi, concernant la production d'électricité d'origine géothermique, une projection de trois nouvelles centrales de 3 MW net en 2020 et huit centrales en 2050 paraît réaliste.

Concernant la chaleur industrielle, la problématique se situe au niveau des consommateurs potentiels d'importance qui restent à identifier. A côté de cela, des réseaux de chaleur alimentés par la géothermie sont au stade d'étude de faisabilité et sont susceptibles de se développer en Alsace, comme par exemple le chauffage d'une piscine à Illkirch.

Le potentiel géothermique des niveaux aquifères contenus dans les séries sédimentaires profondes (Grande Oolithe du Bajocien, Muschelkalk supérieur, grès du Buntsandstein et du Permien) reste à caractériser à l'échelle de zones de projet pour une exploitation de moyenne et basse énergie.

5.1.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère

Voir § sous 1.3. Spécificité alsacienne

L'observatoire de surveillance de la nappe du Rhin sur la CUS a observé des variations de température anormales dont l'origine serait les pompes à chaleurs exploitant cette nappe. Dans l'avenir, cet observatoire risque de freiner le développement des opérations sur nappes afin de préserver celle-ci.

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

Sa relative universalité et la mise en place du Fonds Chaleur devrait inciter la réalisation d'installations de grande taille, de type bâtiments publics, tertiaires ou logements collectifs, exploitant des champs de sondes. Sur le territoire alsacien, une première réalisation sur champs de sondes devrait voir le jour fin 2010 sur la commune de Kriegsheim. Le potentiel est réel et de nombreuses installations devraient ensuite voir le jour, stimulées par le Fonds Chaleur.

➤ Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

Le marché est confiné au marché des maisons individuelles. En Alsace, ce marché semble s'essouffler au profit des sondes verticales moins gourmandes en surface de terrain.

5.2. Tableau de synthèse des potentiels ou, si inconnus, méthode proposée pour les étudier

5.2.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Pas de méthode particulière, l'Ademe et la DREAL suivent de façon fiables ces opérations (grâce aux aides du Fonds Chaleur et aux procédures du code minier).

5.2.2. Concernant la géothermie très basse énergie

➤ Géothermie PAC sur aquifère

L'utilisation de la géothermie en Alsace connaît un développement croissant depuis quelques années. On observe ainsi une demande d'information grandissante des acteurs dans ce domaine (entreprise de forage, installateurs de système de récupération de chaleur, maître d'ouvrage tel que décideurs publics, industriels, particuliers).

Cette demande engendre le besoin d'une information synthétique destinée à guider les choix de ces acteurs pour la réalisation de leur projet.

Du point de vue des administrations concernées, il apparaît nécessaire de posséder un document de référence faisant le point sur les potentialités géothermiques de la région, mais aussi des précautions à prendre en compte pour la réalisation de projets.

Si la nappe d'Alsace constitue une ressource évidente (néanmoins avec certains facteurs limitatifs à l'échelle locale), d'autres zones comme les champs de fractures en bordure des Vosges), le massif Vosgien ou bien encore les aquifères du Sundgau nécessitent une information particulière.

La nappe phréatique elle-même est sujette à un découpage selon certains critères influant les doublets géothermiques (présence de strates imperméables à faible profondeur, risque d'entartrage ou de corrosion, etc..)

Il est également nécessaire d'évaluer a priori les risques d'utilisation de ces ressources comme cela a pu être constaté (captage d'aquifère captif mal maîtrisé par exemple). Un maximum d'informations en amont des projets géothermiques permet ainsi, pour les acteurs publics ou privés, d'évaluer l'intérêt d'une telle approche et de réduire les risques.

Ainsi, le BRGM propose de:

1. Réaliser une cartographie hydrogéologique de l'Alsace (entités aquifère et non aquifères) ;
2. Collecter les paramètres utiles pour une exploitation géothermique (débits, profondeur, température, etc..) ;
3. Réaliser une analyse multicritère pour définir la potentialité des ressources ;
4. De rappeler les aspects législatifs et les contraintes géologiques et hydrogéologiques liées à l'exploitation de la ressource.

Dans le cadre de cette proposition, le BRGM fournirait un rapport final avec en annexe un CD ROM permettant une utilisation interactive et une visualisation en SIG de l'atlas géothermique à l'échelle de l'Alsace.

Pour une diffusion plus large une mise en ligne mise de l'atlas sous le site <http://www.geothermie-perspectives.fr> est envisagé.

➤ Géothermie PAC sur champ de sondes verticales

Pour faciliter l'étude des nouveaux projets, il serait intéressant de rendre disponible dans la BSS une rubrique dédiée aux forages géothermiques en distinguant ceux sur aquifères de ceux équipés en sondes verticales. Les informations disponibles devraient comprendre la

coupe géologique, les éventuelles propriétés du terrain (thermiques, débits...) ainsi que les puissances des projets. Ceci permettrait de renseigner plus précisément les études d'impacts. Le BRGM, déjà en charge de la BSS, pourrait piloter cette opération.

En complément, cette technique étant amenée à se développer, il y a lieu de réaliser un recensement le plus précis possible des champs de sondes en exploitation pour établir une banque de données fiables à la fois des besoins énergétiques couverts, mais aussi des caractéristiques des sous-sols exploités. Un autre aspect de ce recensement serait le suivi de l'évolution des températures du sous-sol exploité.

Il serait également intéressant de réaliser une cartographie de la caractéristique thermique des sous-sols à l'aide d'une campagne de forage test, suivie de test de réponse thermique. Le maillage de cette cartographie pourrait être basé sur le potentiel des consommateurs régionaux. Cette cartographie permettrait également d'affiner la connaissance géologique du sous-sol alsacien sur la première centaine de mètre.

Ainsi, ES Géothermie propose de piloter cette cartographie qui sera disponible sous forme d'une synthèse pour aider les futurs projets sur le territoire alsacien, et pour une diffusion plus large, sur l'atlas du site <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

- Géothermie PAC sur capteurs horizontaux

Pas de méthode particulière proposée

5.2.3. Tableau de synthèse récapitulatif des productions annuelles cumulées et des potentialités

														POPE		3*20 %		Facteur 4		
														2010		2020		2050		
Energies renouvelables : Géothermie		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2020		2050		
		GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	GWh	ktep	
Haute énergie (production électrique)	Production nette GWh		0,000		0,000		0,00		0,00		0,00		0,00	0,75	0,06	50,63	4,36	120,00	10,34	
	Besoin couv GWh															120,00	10,34	200,00	17,24	
Haute énergie (chaleur)	Conso élect GWh															6,00	0,52	10,00	0,86	
	Apport géoth GWh															114,00	9,83	190,00	16,38	
	Besoin couv GWh															50,00	4,31	80,00	6,90	
Moyenne énergie (chaleur)	Conso élect GWh															3,00	0,26	4,00	0,34	
	Apport géoth GWh															47,00	4,05	76,00	6,55	
	Besoin couv GWh															20,00	1,72	50,00	4,31	
Basse énergie (chaleur)	Conso élect GWh															1,00	0,09	3,00	0,26	
	Apport géoth GWh															19,00	1,64	47,00	4,05	
	Besoin couv GWh															20,00	1,72	50,00	4,31	
Très basse énergie (chaleur)	PAC aquifère	Besoin couv GWh	65,08	5,61	87,38	7,53	110,95	9,56	134,92	11,63	160,90	13,87	191,72	16,53	220,50	19,01	400,21	34,50	700,09	60,35
		Conso élect GWh	21,69	1,87	29,13	2,51	36,98	3,19	44,97	3,88	53,63	4,62	63,91	5,51	73,50	6,34	133,40	11,50	233,36	20,12
		Apport géoth GWh	43,39	3,74	58,25	5,02	73,96	6,38	89,95	7,75	107,26	9,25	127,81	11,02	147,00	12,67	266,81	23,00	466,73	40,24
	PAC sondes V	Besoin couv GWh	3,04	0,26	4,16	0,36	5,53	0,48	6,78	0,58	7,52	0,65	8,07	0,70	9,56	0,82	28,69	2,47	95,64	8,25
		Conso élect GWh	1,01	0,09	1,39	0,12	1,84	0,16	2,26	0,19	2,51	0,22	2,69	0,23	3,19	0,27	9,56	0,82	31,88	2,75
		Apport géoth GWh	2,02	0,17	2,77	0,24	3,68	0,32	4,52	0,39	5,01	0,43	5,38	0,46	6,38	0,55	19,13	1,65	63,76	5,50
	PAC capteurs H	Besoin couv GWh	3,84	0,33	4,95	0,43	6,20	0,53	7,31	0,63	8,12	0,70	8,56	0,74	8,89	0,77	22,23	1,92	35,57	3,07
		Conso élect GWh	1,28	0,11	1,65	0,14	2,07	0,18	2,44	0,21	2,71	0,23	2,85	0,25	2,96	0,26	7,41	0,64	11,86	1,02
		Apport géoth GWh	2,56	0,22	3,30	0,28	4,14	0,36	4,87	0,42	5,41	0,47	5,71	0,49	5,93	0,51	14,82	1,28	23,72	2,04
	TOTAL ALSACE	Besoin couv GWh	71,96	6,20	96,49	8,32	122,68	10,58	149,02	12,85	176,54	15,22	208,35	17,96	239,71	20,66	691,76	59,63	1281,31	110,46
		Conso élect GWh	23,99	2,07	32,16	2,77	40,89	3,53	49,67	4,28	58,85	5,07	69,45	5,99	79,65	6,87	160,38	13,83	294,10	25,35
		Apport géoth GWh	47,97	4,14	64,33	5,55	81,78	7,05	99,34	8,56	117,69	10,15	138,90	11,97	159,31	13,73	480,76	41,44	987,21	85,10

6. ACTEURS À MOBILISER

6.1. Concernant la géothermie haute, moyenne et basse énergie

Les acteurs pertinents à consulter en région dans le cadre de projet de géothermie haute, moyenne et basse énergie sont les suivants :

- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL),
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME),
- Conseil Régional Alsace,
- Conseil Général du Bas Rhin et du Haut Rhin,
- Services départementaux de l'architecture et du patrimoine (SDAP) Bas Rhin et Haut Rhin,
- Directions départementales des territoires (DDT),
- Gestionnaires de réseau et distributeurs d'électricité,
- Le groupe ES qui a déposé de nombreux Permis Exclusif de Recherche haute température dans le nord de l'Alsace,
- BRGM, pour la banque de données sous-sol et pour les informations relatives aux synthèses géothermiques.
- SAF Environnement,
- Association française des professionnels de la géothermie,
- Comité national de la géothermie.

Les experts qui pourront être mobilisés au besoin sont les suivants :

- Le GEIE Exploitation Minière de la Chaleur,
- La Compagnie Française de Géothermie,
- L'entreprise de forage COFOR,

6.2. Concernant la géothermie très basse énergie

Les acteurs pertinents à consulter en région dans le cadre de projet de géothermie de très basse énergie sont les suivants :

- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL),
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME),
- Conseil Régional Alsace,
- Conseil Général du Bas Rhin et du Haut Rhin,
- Services départementaux de l'architecture et du patrimoine (SDAP) Bas Rhin et Haut Rhin,
- Directions départementales des territoires (DDT),
- Gestionnaires de réseau et distributeurs d'électricité,
- BRGM pour les données relatives aux forages (banque de données sous-sol) et aux eaux souterraines (ADES).
- SAF Environnement, pour la couverture AQUAPAC pour les projets de géothermie très basse énergie sur nappe,

- L'Aprona, observatoire de la nappe d'Alsace,
- Association française des professionnels de la géothermie,
- Comité national de la géothermie,
- Le pôle de compétitivité Energie-vie

Les experts qui pourront être mobilisés au besoin sont les suivants :

- Les entreprises régionale ou nationale de forages d'eau ou de sondes verticales,
- Les bureaux d'études spécialisés dans les études du sous-sol,

Remarques concernant l'Association française des professionnels de la géothermie et le Comité national de la géothermie :

Au niveau national, le 15 juin 2010, l'Association française des professionnels de la géothermie a été créée. Cette association regroupe des bureaux d'études thermiques et des sociétés d'ingénierie sous-sol, des entreprises de forage, des installateurs de chauffage et de climatisation, des fabricants de pompes à chaleur, des exploitants et des promoteurs de réseaux de chaleur, ainsi que les acteurs manufacturiers de la filière géothermie et électricité. Des associations partenaires (AFPAC, ATEE), le Syndicat des Foreurs d'Eau (SFE) et un pôle de compétitivité en géosciences (Avenia) font partie du Conseil d'Administration.

L'Association française des professionnels de la géothermie est organisée en quatre filières : production d'électricité, usages directs de la chaleur géothermique, pompes à chaleur géothermiques dans le secteur tertiaire et le résidentiel collectif, géothermie à l'usage des particuliers. L'association a pour but d'accroître l'exploitation des ressources géothermiques en France. L'association souhaite également se positionner comme le partenaire professionnel incontournable et l'interlocuteur privilégié des pouvoirs publics pour la géothermie.

Le Président actuel de l'association en est Mr Christian Boissavy, et le Vice-président, Mr Jean-Jacques Graff.

L'Association française des professionnels de la géothermie a un siège dans le Comité national de la géothermie. Ce comité a été officiellement créé le 20 juillet 2010 par Jean-Louis BORLOO, ministre d'État, ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, en charge des Technologies Vertes et des Négociation sur le Climat. Il est présidé par Philippe VESSERON, Président d'honneur du BRGM. Ce comité de 35 personnes aura pour mission de « proposer des actions et des recommandations pour le développement de chacune des formes de la géothermie ». Il axera notamment ses travaux sur trois enjeux prioritaires : la formation, la diffusion de l'information et la simplification administrative en vue d'accélérer le développement de la géothermie dans notre pays.

En effet, le Plan de développement des énergies renouvelables issu du Grenelle de l'Environnement fixe des objectifs ambitieux de développement de la géothermie : «multiplication par 6 de la production d'énergie issue de la géothermie en 2020, en relançant à grande échelle les programmes en Ile-de-France, en Alsace, en Aquitaine, Midi-Pyrénées, et Centre, et en équipant 2 millions de foyers de pompes à chaleur, ce qui représente un investissement entre 15 et 20 milliards d'euros».

7. BIBLIOGRAPHIE

La géothermie, les enjeux des Géosciences, publié par l'Ademe et le BRGM

Banque Sous Sol

« Synthèse géothermique du Fossé Rhénan Supérieur » ouvrage commun du BRGM et du Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1979)

« Aquifère profonds d'Alsace : constitution d'une base de données à usage géothermique », BRGM – IMRG (1991)

« Estimation du potentiel géothermique des réservoirs clastiques du Trias dans le Fossé rhénan ». Rapport ADEME / BRGM – 55729 – FR. (2007) C. Dezayes

« Recensement des pompes à chaleur géothermiques sur le territoire de la CUS - actualisation 2009 et principales évolutions », Rapport 2009 pour l'ONAP CUS ;

« Towards a better knowledge of the clastic Lower Triassic reservoirs in the Upper Rhine Graben (France) », Article pour le World Geothermal Congress 2010 / Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, C. Dezayes et al.

Utilisation énergétique des nappes phréatiques du Bas Rhin et du Haut-Rhin (AQUAPAC), , Cartes et notices éditées par le BRGM (1985)

Genter, A., K. Evans, N. Cuenot, D. Fritsch, and B. Sanjuan (2010). Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS), *Geoscience*, 342, 502-516.

Dezayes, C., A. Genter, and B. Valley (2010). Structure of the low permeable naturally fractured geothermal reservoir at Soultz, *Geosciences*, 342, 517-530.

Sanjuan, B., R. Millot, C. Dezayes, M. Brach (2010). Main characteristics of the deep geothermal brine (5 km) at Soultz-sous-Forêts (France) determined using geochemical and tracer test data, *Geosciences*, 342, 546-559.

Géraud, Y., M. Rosener, F. Surma, J. Place, E. Le Garzic, M. Diraison (2010). Physical properties of fault zones within a granite body: Example of the Soultz-sous-Forêts geothermal site, *Geoscience*, 342, 566-574.

Geothermal Power Generation in the World 2005-2010; Update Report, R.Bertani, Proceedings World Geothermal Congress 2010

En annexe : Etude synthétique de la sismicité dans le cadre de la géothermie

Annexe : Risque sismique

Définitions

Un **séisme**, ou **tremblement de terre**, résulte de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Un séisme engendre une vibration du sol, causée par la propagation d'ondes élastiques dans le sous-sol et en surface. Le résultat de la rupture des roches s'appelle une faille qui peut soit être créée à l'occasion du séisme ou réactivée. Les séismes sont l'une des manifestations de la tectonique des plaques. L'activité sismique est généralement concentrée à proximité des frontières entre ces plaques. Le mouvement des plaques tectoniques est souvent accommodé immédiatement par le mouvement de certaines failles, mais aussi par une accumulation d'énergie le long d'autres failles, bloquées. Lorsque l'énergie stockée est suffisante, la faille est réactivée : elle rattrape, en un mouvement bref et brutal, le retard pris vis-à-vis du mouvement des plaques. Le déplacement instantané qui en résulte est la cause du séisme.

- Magnitude

La magnitude d'un séisme est une valeur intrinsèque du séisme, indépendante du lieu d'observation, des témoignages de la population. La notion de magnitude tente de quantifier l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre pour pouvoir ainsi comparer les séismes entre eux. On utilise l'échelle ouverte de Richter. La magnitude n'est pas une échelle linéaire, c'est une fonction logarithmique; c'est à dire que lorsque l'énergie dégagée varie d'un facteur 30, la magnitude change d'une unité. Par exemple, un séisme de magnitude 4 rayonne trente fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 3 et neuf cent fois plus qu'un séisme de magnitude 2.

- Intensité

L'intensité d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par les Hommes (réveil, chute d'objets, ...) ou qu'ils aient causés des dégâts plus ou moins importants aux constructions (fissures...). On parle alors d'effets macrosismiques.

L'intensité d'un séisme dépend du lieu d'observation des effets causés par le séisme. Elle décroît généralement lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre du séisme mais varie aussi selon la structure géologique. Une intensité plus forte est souvent associée à des bassins sédimentaires (sable, vase, argile et remblais), alors qu'on note une intensité plus faible dans des zones de roches plus solides (grès, granites, basaltes, ...).

Pour un séisme donné, on donne souvent uniquement l'intensité à l'épicentre qui est généralement la plus forte: c'est l'intensité épicentrale.

Depuis janvier 2000, la France utilise l'échelle EMS 98 (European Macroseismic Scale 1998) adoptée par l'ensemble des pays européens.

- Magnitude versus intensité

A l'inverse de la magnitude qui se calcule, l'intensité d'un séisme ne peut donner lieu qu'à une estimation et est en général subjective en fonction des témoignages recueillis. En revanche, la magnitude est une valeur associée intrinsèquement au séisme. Il n'existe pas de véritable relation entre magnitude et intensité. Ainsi deux séismes de même magnitude peuvent donner en surface des intensités différentes. Et inversement deux séismes de même intensité en un lieu peuvent avoir des magnitudes différentes.

Attention à ne pas les confondre ! Lors d'un séisme, la notion d'intensité et de magnitude sont exprimées selon des critères et des échelles différents (références relatives et données estimées pour la première, résultats de calculs à partir de mesures scientifiques pour la deuxième).

Sismicité naturelle en Alsace

L'Alsace est une région concernée par le risque sismique naturel.

Dans le cas de l'Alsace du Nord, la tectonique des plaques entraîne, actuellement, l'étirement de la croûte continentale. Cet étirement conduit à la formation d'un bassin sédimentaire étroit et orienté NNE-SSO : le fossé rhénan. Ainsi, les séismes ressentis dans cette région témoignent de l'ouverture du graben accommodée avec un certain retard par les failles situées en bordure.

En Alsace, 51 séismes ont été recensés entre 1906 et 1995. Dans la zone située entre Wissembourg et Haguenau, une douzaine d'épicentres ont été recensés avec des intensités variant de « séisme fort » à « dommages prononcés ».

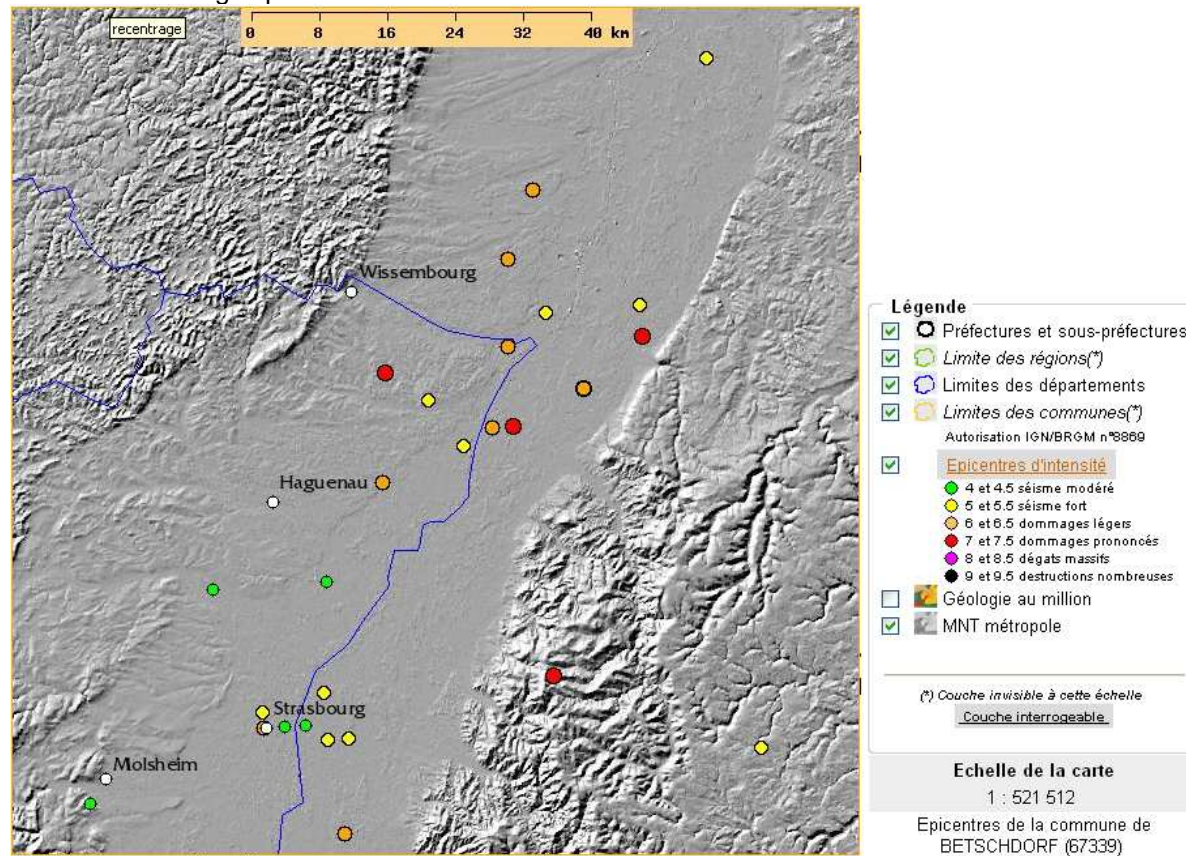


Figure 27. Carte des épicentres de séismes dans le Bas-Rhin

L'ensemble de la région alsacienne est classé en zone « *sismicité faible mais non négligeable* » vis-à-vis du risque sismique naturel selon la carte sismotectonique du BRGM (Nouveau zonage sismique de la France, 1985, Ministère de l'environnement). Avec le déploiement de stations sismologiques permanentes depuis les années 80, environ une centaine de séismes sont détectés en moyenne annuellement dans la région du Rhin supérieur dont environ cinq sont ressentis par la population. D'un point de vue historique, la magnitude maximale enregistrée est de 3,4 sur l'échelle de Richter entre 1982 et 1996. La probabilité d'occurrence de tels évènements sismiques naturels est donc a priori élevée.

Ces données montrent l'existence d'un « bruit de fond sismique » d'origine naturelle en Alsace associé aux mouvements des failles du graben du Rhin.

Sismicité induite par les projets géothermiques

De manière générale le risque sismique induit par les projets de géothermie basse ou très basse énergie par sondes horizontales, par champs de sondes verticales ou par exploitation de nappes aquifères proches de la surface, ainsi que ceux de moyenne enthalpie (perméabilité matricielle) doit être considéré comme nul de par les profondeurs atteintes et/ou les débits d'eau utilisés.

En ce qui concerne la géothermie profonde à moyenne et haute enthalpie, il est important de faire la distinction entre les projets de géothermie classiques qui visent à capter de l'eau géothermale présente dans les couches sédimentaires perméables (i.e. Dogger en région Parisienne) et les projets de géothermie qui visent à capter des fluides géothermaux présents dans des réservoirs fracturés. Pour ce dernier type de projet, la fracturation peut être soit induite par des opérations réalisées au cours du projet afin d'établir une boucle de circulation en augmentant la perméabilité des roches granitiques (projets scientifiques du type Soultz-sous-Forêts, Basel), soit être déjà naturellement présente dans les formations visées (futur projet Roquette). Il faut noter que ce n'est pas l'exploitation par géothermie en elle-même qui risque d'induire un risque sismique, mais bien les opérations entreprises afin de fracturer les roches qui peuvent engendrer des séismes parfois perceptibles par la population.

1. Captage de l'eau géothermale présente dans les couches sédimentaires perméables :

A l'heure actuelle, ce type de projets de géothermie à haute température constitue une large majorité des projets géothermiques en cours d'exploitation. A ce jour aucun de ces projets n'a induit de sismicité perceptible par la population dans la mesure où le réservoir exploité présente une perméabilité naturelle qui ne nécessite en aucune façon le recours à la fracturation hydraulique. Tout au plus, une solution, constituée par un mélange d'acides, est injectée après la phase de foration afin de dissoudre les minéraux déposés dans les interstices de la roche et d'améliorer les caractéristiques hydrodynamiques du puits. On parle alors de stimulation hydraulico-chimique. Toutefois les débits engagés sont nettement moindres que dans le cas des projets par création de la fracturation et ne sont pas propices à générer des tremblements de terre susceptibles d'être perçus par la population.

2.1 Captage de l'eau géothermale présente dans des réservoirs fracturés : Amélioration ou création de la fracturation

Pour ce type de projets, lors des phases de stimulation hydraulique, l'injection d'eau sous haute-pression dans les terrains a pour conséquence la diminution de la contrainte principale maximum qui maintient les fractures fermées. Le système étant alors soulagé, des micro ajustements par mouvements des plans de fracturation se produisent engendrant une micro sismicité, ce qui a pour effet d'augmenter la perméabilité du réseau de fractures présent dans le massif rocheux.

L'expérience scientifique sur le site de Soultz-Sous-Forêts et sur des sites similaires montre que ces secousses n'excéderaient pas une magnitude de 3 sur l'échelle de Richter, bien en deçà du seuil de 3,5, au-delà duquel des mesures de protection et d'investigation doivent être engagées. En 1993, 1995 et 1996, lors des expériences de stimulation hydrauliques à Soultz-Sous-Forêts entre 3000 m et 3900 m de profondeur, seuls quelques rares événements ont dépassé la magnitude de 2, seuil à partir duquel on considère que la « détection humaine » devient possible. Des expériences à profondeur similaire à celle de ce projet n'avaient donné lieu à aucune inquiétude.

C'est seulement lors d'opérations entre 4500 et 5000 mètres de profondeur avec des débits d'eau injectés comprises entre 50 l/s et 100 l/s, qu'une crise d'événements micro sismiques de magnitude comprise entre 1,9 et 2,6 a pu être enregistrée au moment des opérations de stimulation (2003). Un seul a atteint une magnitude de 2,9, soulevant l'émotion de ceux qui l'ont ressenti mais n'entraînant aucun dommage.

2.2 Captage de l'eau géothermale présente dans des réservoirs fracturés : Utilisation de la fracturation déjà présente

Pour les projets visant à exploiter des fluides géothermaux au sein de réservoirs fracturés (EGS), le but n'est pas de fracturer la roche encaissante, mais de capter l'eau déjà présente dans les fractures du sous-sol en profitant de la perméabilité et des circulations naturelles présentes dans le réseau de failles existantes.

Toutefois des stimulations hydraulico-chimiques (par solutions acides) peuvent être mises en œuvre afin de dissoudre les précipitations minérales autour du puits pour ainsi améliorer la perméabilité du réservoir. Les volumes et les pressions d'injection sont cependant nettement moindres que dans le cas des projets par fracturation. Les caractéristiques de stimulations hydraulico-chimiques, dans le cadre du projet Roquette, ne nécessitent que des pressions d'injection permettant de déplacer dans les fractures existantes le mélange d'acides qui se neutralise au contact des minéraux qu'il dissout. Ces injections chimiques sont de faible amplitude et donc sans incidence sur les populations avoisinantes.

La micro sismicité induite par la stimulation hydraulico-chimique de ces réservoirs s'inscrirait dans le bruit de fond sismique naturel du secteur du Rhin supérieur en termes de magnitude et ne représenterait aucune gêne pour la population au voisinage du chantier. Cependant, conformément aux recommandations d'un groupe d'experts indépendants réuni en 2001 par le B.C.S.F. (Bureau Central Sismologique Français) dans le cadre du projet de Soultz-Sous-Forêts et afin de limiter d'une part la probabilité d'occurrence d'événements micro sismiques perceptibles par la population et d'autre part, si ces derniers ont lieu, leur impact sur les populations avoisinantes, le partenariat Roquette/ES envisage :

- avant toute opération de stimulation, une information préalable sera diffusée par voie de presse et par communiqué auprès des mairies ;
- la réalisation des stimulations hydrauliques avec diminution progressives des pressions d'injection en fin d'essai. Cette technique permet le rééquilibrage progressif des contraintes exercées sur les fractures du voisinage avec un risque d'à-coups minimum et donc réduira le risque d'occurrence de micro séismes post-stimulation perceptibles ;
- de procéder par étape pour les opérations de stimulation tout en vérifiant à chaque étape que les caractéristiques statistiques de la relation fréquence d'occurrence-magnitude ne suggèrent pas d'accroissement sensible du risque micro sismique en cours d'opération ;
- de mettre en place un renforcement du réseau d'observation sismique local, opéré indépendamment par le Bureau Central Sismologique français dans le cadre du projet voisin de Soultz-Sous-Forêts, afin que ce dernier puisse à tout moment satisfaire à toute demande d'information (administration, journaliste, particulier...) sur les paramètres (localisation, intensité...) relative à un évènement particulier d'intensité anormale.

Compte tenu de la faible énergie dispersée par l'activité micro sismique, les vibrations perceptibles constituent un faible risque d'impact temporaire d'ordre essentiellement psychologique limité aux périodes de stimulation hydrauliques qui seront de très courtes durées. Une information des populations concernées permettra d'en limiter l'impact psychologique si ces derniers venaient à se produire.